

음향방출기법을 이용한 혼입되는 섬유 종류에 따른 SHCC의 직접인장거동특성 평가

Evaluation of SHCC on Direct Tensile Load using Acoustic Emission Technique

김 윤 수*
Kim, Yun-Su

윤 현 도**
Yun, Hyun-Do

전 에스더***
Jeon, Esther

박 완 신****
Park, Wan-Shin

ABSTRACT

SHCC shows the high energy tolerance capacity due to the interfacial bonding of the fibers to the cement matrix. For effective material design and application of SHCC, it is needed to investigate the damage process and micro-fracture mechanism of cement matrix reinforced with different types of fibers. The objective of this paper is to investigate the direct tensile response of cement composites reinforced with single and hybrid fibers using acoustic emission(AE) technique. In this study, the correlations between AE signal and result of the direct tensile response of SHCC. For these purposes, three kinds of fibers were used: PET1.5%, PET1.0+PE0.5%, PET1.0%+PVA0.5% . The result of the direct tensile response of SHCC, for the same volume fraction of fibers, ultimate strength of PET-PE specimen was 2.7 times higher than specimens with PET fibers . And from AE signal value, AE event numbers and cumulative energy were different according to kind of fiber because of the different material properties of reinforced fiber.

요 약

SHCC는 섬유와 시멘트 매트릭스 계면의 부착작용으로 인해 높은 에너지 흡수능력을 보여준다. 서로 다른 종류의 섬유로 보강된 SHCC는 혼입되는 섬유자체가 가지는 재료적 특성에 의해 서로 다른 특성을 나타내기 때문에 시멘트 매트릭스와 혼입되는 섬유의 상호작용에 의한 손상진전에 따른 미세적 파괴 메카니즘에 대한 평가가 필요할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 AE기법을 사용하여 단독섬유와 하이브리드 섬유를 혼입한 시멘트 복합체의 직접인장특성을 평가하고자 하였다. 이러한 목적으로 본 실험에서는 PET2.0%, PET1.5%+PE0.5%, PET1.5%+PVA0.5%의 세 종류의 단독섬유 및 하이브리드 섬유를 혼입하여 실험을 실시하였으며, 실험에서 나타난 AE신호와 직접인장실험결과를 상호비교·분석하였다. 직접인장실험결과, 같은 혼입율에서 PET만을 단독혼입한 시험체에 비해 PET-PE시험체에서 최대강도에서 약 2.7배 높게 나타났으며, 손상진전에 따른 AE신호결과, 혼입되는 섬유의 재료적 특성에 따라 AE이벤트수와 누적에너지에서 상이한 특성을 나타내었다.

* 정회원, 충남대학교 고지능 콘크리트 구조연구실 석사과정

** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*** 정회원, 충남대학교 건축공학과 박사과정

**** 정회원, 충남대학교 건축공학과 계약교수, 공학박사

1. 서 론

현재 국내외에서는 콘크리트의 낮은 인장강도 및 취성적 특성을 보완하기 위해 시멘트 복합체에 2% 내외의 섬유를 혼입하여 인장응력 하에서 매트릭스 내 미세균열을 폭넓게 분산시켜 내구성 및 연성을 획기적으로 개선한 변형경화형 시멘트 복합체(Strain Hardening Cement Composites, 이하 SHCC)의 구조부재 활용에 관한 연구¹⁾가 활발히 진행되고 있다. 기존의 연구결과, SHCC는 혼입된 섬유의 가교작용에 의해 미세균열을 다수 형성시키고 재료의 인성 및 에너지흡수 능력을 증가²⁾증가시킬 수 있으며, 다양한 기존 철근콘크리트 부재에 SHCC의 적용시 파괴기구, 변형능력, 이력특성 및 손상 등을 적절하게 제어할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 현재까지 이루어진 SHCC에 관한 연구는 혼입되는 섬유의 종류와 혼입율에 대한 특성 연구가 주를 이루고 있으며, 혼입되는 섬유 자체의 인장강도 및 탄성계수 등 재료특성에 따라 상이하게 나타난 균열분산능력 및 변형특성 등 혼입된 섬유와 시멘트 매트릭스 간의 상호작용에 따른 미시적 파괴 및 거동특성에 관한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 AE기법³⁾을 이용하여 직접인장하에서 동일수준의 혼입율에서 혼입되는 섬유의 종류에 따른 SHCC의 인장거동시 내부 매트릭스의 손상 및 거동특성을 비교·분석하였다. 이러한 결과를 근거로 하여 직접인장하에서의 SHCC의 외형적 손상수준과 매트릭스 내부에서 발생하는 AE신호특성과의 연관성을 분석함으로써 SHCC의 미시적 파괴메커니즘에 관해 규명하고자 하였다.

2. 실 험

2.1 시험체 계획 및 제작

본 연구에서는 혼입되는 섬유의 종류에 따른 시멘트 복합체의 파괴과정에 따라 나타나는 AE신호를 측정 및 평가 위하여 PET섬유만을 단독혼입한 물-시멘트비 45%인 PET시험체를 기준시험체로 하여 PE(Polyethylene) 및 PVA (Polyvinyl alcohol) 섬유를 0.5%씩 대체 혼입하여PET-PE 및 PET-PVA시험체를 각각 제작하여 인장강도 및 균열발생특성을 평가하고자 하였다. 각 시험체의 배합표는 표 1에 나타내었으며, 실험에 사용된 각 섬유의 형상비, 인장강도 및 탄성계수 등과 같은 기계적 특성과 섬유의 형상은 표 2 및 그림 1에 각각 나타내었다.

2.3 시험체 설치 및 AE측정상황

HPFRCC의 직접인장거동시 발생하는 AE신호특성을 분석하기 위하여 그림 2에 나타난 바와 같이 최대 100kN 용량의 직접인장실험장치를 이용하여 시험체를 가력하였고, 시험체 양측면에 설치한 변위계를

표 1. 배합조건

시험체명	압축강도 (MPa)	W/C	섬유혼입율 V _f (Vol.%)			단위중량 (kg/m ³)					MC ¹⁾	SP	AE	
			Total	PET	PE	PVA	W	C	S	FA				SF
PET	27.72	0.45	1.5	1.5	-	-	282	626	626	564	63	2.25	30	120
PET-PE	36.11			1.0	0.5	-								
PET-PVA	30.24			1.0	-	0.5								

1) MC : Methyl Cellulose 계 증점제

표 2. 섬유의 기계적 특성

섬유종류	비중 (t/cm ³)	길이 (mm)	직경 (μm)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	형상비 (ℓ/d)
PET	1.37	20	33	950	11	600
PE	0.97	15	12	2,500	75	1,250
PVA	1.35	12	40	1,600	40	375



그림 1. 섬유의 형상

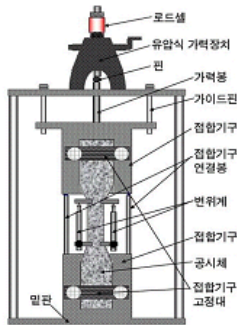


그림2. 직접인장실험장치

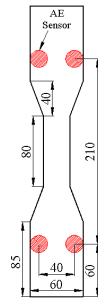


그림3. AE 측정위치 (unit:mm)

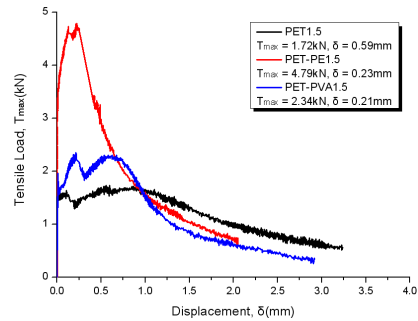


그림4. 하중-변위 관계 곡선

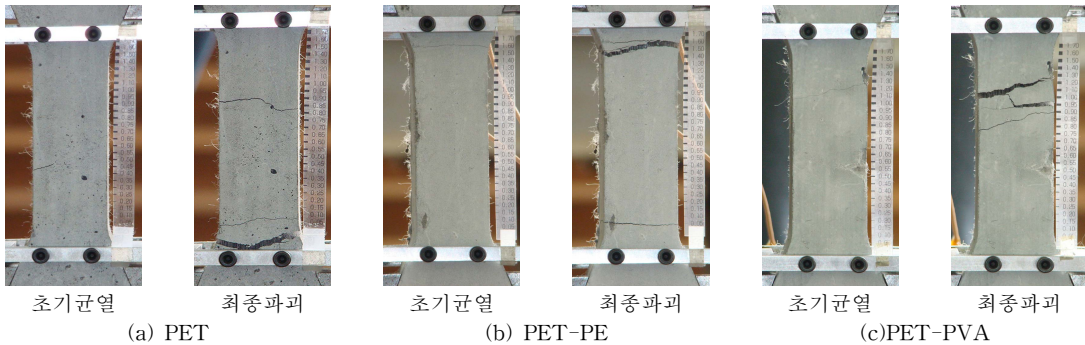


그림5. 파괴양상

통해 시험체의 균열발생으로 인한 변위값을 측정하였다. 또한 가력시 손상발생에 따른 AE 신호 특성을 계측하기 위하여 그림 3과 같이 AE 센서를 4개 설치하여 실험 종료시까지 AE 신호를 측정하였으며, 문턱값(Threshold)은 33dB로 정하였다. AE 센서(SE900, DECI 사)는 100~900 kHz의 광대역 센서이고, 이를 프리앰프(20dB, Vallen system)에 연결하여 상용 AE 장비(Vallen AMSY4)를 사용하여 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 거동특성

그림 4에서는 시험체에서 나타난 하중-변위 관계곡선을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 PET-PE시험체 및 PET-PVA시험체는 PET섬유에 비해 상대적으로 높은 인장강도 및 부착력을 갖는 PE 및 PVA섬유를 혼입함으로써 시험체내에서 높은 계면부착작용으로 인해 탁월한 강도증진 성능을 나타내었다. 특히 PET-PE시험체는 PET시험체에 비해 최대강도가 약 2.7배 높게 나타났으나, 최초균열이 발생하는 시점에서 균열면의 파괴에너지가 다른 시험체에 비해 높게 나타나 높은 파괴에너지로 인해 섬유는 파괴모드가 파단의 형태로 나타나면서 급격한 내력저하를 나타내었다. 반면 그림 5에서 보는 바와 같이 모든 시험체에서 실험종료 시까지 미세균열의 확산현상이 거의 나타나지 않았으며, 이는 섬유의 재료적 성능이 현저히 낮은 PET섬유에 비해 상대적으로 성능이 높은 PE 및 PVA섬유의 혼입율이 다소 낮기 때문인 것으로 판단되며, 향후 SHCC의 하이브리드 되는 섬유의 혼입율에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

3.2 시간에 따른 이벤트와 누적에너지 관계

그림 6에서는 실험종료시의 시간으로 무차원화 시켜 시간에 따른 이벤트수와 누적에너지의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 보는 바와 같이 PET시험체는 인장실험장치와 시험체가 밀

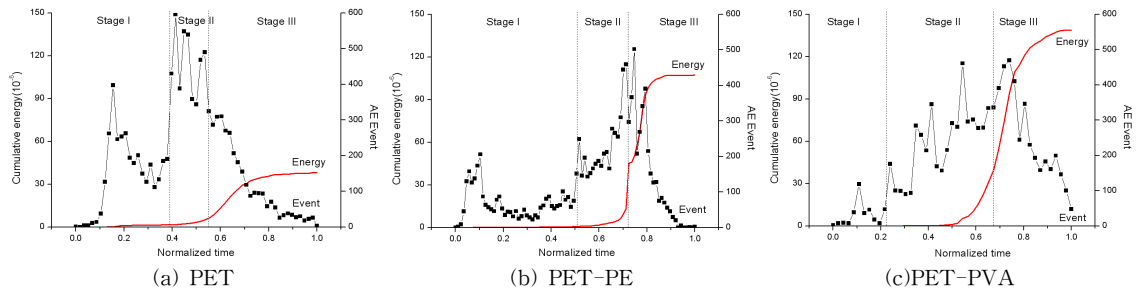


그림6. 시간에 따른 이벤트-에너지 관계곡선

착되는 시점에서 이벤트수 증가를 보인 후 2단계 변형경화구간의 최초균열시점에서 가장 496개로 가장 높은 이벤트 수를 나타내었으나, 다른 섬유에 비해 낮은 부착 및 손상흡수 능력으로 인해 최대강도 시까지 이벤트수가 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 반면 PET-PVA시험체는 최초균열시점까지 PET시험체와 유사한 경향을 나타내었으나, 2단계인 변형경화구간에서 다른 섬유에 비해 PVA섬유의 상대적으로 큰 직경으로 인해 부착력이 저하되어 혼입된 섬유가 인발 및 파단으로 인해 이벤트수의 증감이 지속적으로 나타났다. PET-PE시험체는 2단계에서 이벤트수가 증가하는 경향을 보였으나, 시멘트 매트릭스와의 부착력이 상대적으로 높은 PE섬유가 높은 파단에너지로 인해 파단되면서 이벤트수의 증감은 거의 나타나지 않았다. 또한 모든 시험체에서 2단계인 변형경화시점까지 누적에너지의 증가는 나타나지 않았으며, 최대강도이후 급격한 누적에너지의 증가를 나타내었으나, PET만을 단독 혼입한 시험체는 다른 시험체에 방출되는 누적에너지가 약 40%정도로 낮게 나타나는 등 PE 및 PVA 섬유를 하이브리드 함으로써 혼입되는 섬유의 종류에 따라 방출되는 누적에너지가 상이하게 나타났다.

4. 결 론

- 1) 혼입되는 섬유종류에 따른 직접인장거동특성을 비교·분석한 결과, 단독섬유만을 혼입한 PET시험체에 비해 PE섬유를 하이브리드 하여 혼입한 시험체에서 PE섬유의 높은 인장강도로 인해 최대강도에서도 약 2.7배 높게 나타나는 등 뛰어난 강도증진성능을 나타내었으며, 차후 응력의 효과적인 재분배를 위해 하이브리드 되는 섬유의 혼입율에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.
- 2) 시험체별 AE신호특성을 비교한 결과, PE 및 PVA에 섬유를 하이브리드 한 시험체에서 최초균열시점 이후 최대강도 시까지 지속적인 이벤트수의 증가를 나타내었으며, 누적에너지에서도 PET시험체에 비해 높게 나타나는 등 혼입되는 섬유의 종류에 따른 재료특성에 따라 AE신호특성이 상이한 특성을 보이는 것으로 판단되며, 향후 AE기법을 이용한 SHCC의 인장거동특성평가가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년 건설교통R&D정책·인프라사업(과제번호 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부이고, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 윤현도, 양일승, 한병찬, 전에스터, 김선우(2005), "고인성 섬유보강 시멘트 복합체의 인장강성 특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 21(10) pp.27~36
2. 윤현도, 양일승, 한병찬, 福山洋, 전에스터, 김선우(2004), "하이브리드 섬유보강 고인성 시멘트 복합체의 반복인장거동", 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 24(2), pp.119~122
3. Keru Wu, Bing Chen, Wu Yao, "Study on the AE characteristics of fracture process of mortar, concrete and steel-fiber-reinforced concrete beams", Cement and Concrete Research, 30, 2000, pp.1495~1500