

변형 경화형 시멘트 복합체로 단면 대체된 콘크리트 보의 강도 및 균열손상 제어 특성

Strength and Crack-Damage Control Characteristics of Concrete Beams Layered with Strain-Hardening Cement Composites (SHCCs)

윤 현 도* 김 선 우** 전 에스더** 김 윤 수*** 장 광 수***
Yun, Hyun Do Kim, Sun Woo Jeon, Esther Kim, Yun Soo Jang, Kwang Soo

ABSTRACT

This paper reports on the cracking mitigation and flexural behavior experimentally observed in concrete prisms layered with strain-hardening cement composites (SHCCs) which is micro-mechanically designed cement composite and exhibits pseudo tensile strain-hardening behavior accompanied by multiple cracking while using a moderate amount of fiber, typically less than 2 percent in term of fiber volume fraction. In this study, SHCC is reinforced with 1.3 percent polyvinyl alcohol (PVA) and 0.20 percent polyethylene (PE) in volume fraction. Tests were conducted using 100 x 100 x 400mm long prisms supported over a simply supported span of 350mm. The four point load was applied using MTS servo control machine. The thickness patched with SHCC is the main variable for this study. Experimental study shows that when subject to monotonic flexural loading, the SHCC layered repair system showed 2.7 - 4.2 times increased load carrying capacity, and mitigated cracking damage of concrete beams layered with SHCC compared with plain concrete beams.

요 약

본 연구에서는 취성적인 시멘트 복합체에 2%이내의 단섬유를 보강하여 균열하중이 이후에도 급격한 강도저하 없이 강재와 같은 변형경화 특성을 부여한 신개념의 건설재료인 변형 경화형 시멘트 복합체(SHCC)를 활용한 콘크리트 구조물의 균열제어성능 개선을 위한 방안을 모색하고자 한다. 본 연구에 활용된 SHCC는 물결합재비 0.45의 시멘트 복합체에 1.3%의 PVA 섬유 및 0.2%의 PE 섬유를 보강하여 제조되었다. 단면 100 x 100mm의 정사각형 단면을 갖는 무근 콘크리트 보와 인장축 하부면에서 30 및 50mm 두께의 콘크리트를 SHCC로 단면 대체한 보의 휨 및 균열진전 과정을 비교하여 본 연구에서 제조된 SHCC에 의한 균열제어성능을 평가하고자 하였다. 인장축 하부면을 SHCC로 대체한 콘크리트 보 실험체의 휨거동 특성 및 균열제어성능은 무근 콘크리트 보에 비하여 크게 개선되었다.

* 정회원, 충남대학교, 건축공학과, 교수

** 정회원, 충남대학교, 고기능콘크리트구조연구실, 박사과정

*** 정회원, 충남대학교, 고기능콘크리트구조연구실, 석사과정

본 논문은 충남대학교 교내 자체연구비 지원에 의한 연구의 일부이며 발표자의 일부는 BK21 지원을 받고 있음.

1. 서 론

사회기반시설의 노후화됨에 따라 신설비용에 비하여 유지관리비용이 급격하게 증대되고 있으며 그림 1에 나타난 바와 같이 이러한 유지관리비용에 있어서 특히 구조체의 유지관리비용은 점진적으로 증가되고 있는 추세에 있다. 아울러 천연자원의 고갈 및 환경에 대한 사회적인 관심이 증대됨에 따라 신축 구조물뿐만 아니라 기존 구조물의 수명연장기술에 대한 관심이 고조되고 있다. 기존 구

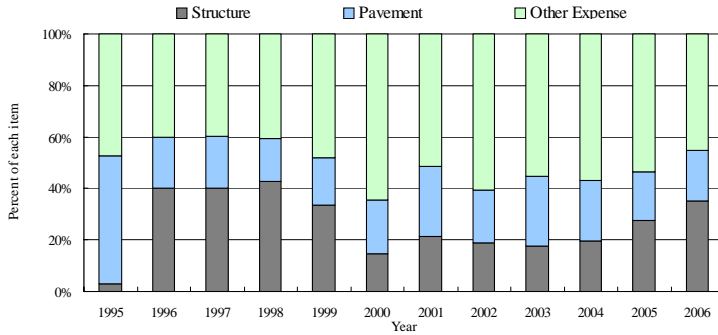


그림 1. 고속도로 시설물의 유지관리 비용 점유율(국토해양부 자료)

여하여 강제와 같이 초기균열발생이후에도 급격한 강도저하 없이 다소의 강도 증진을 보이는 변형 경화형 시멘트 복합체(strain-hardening cement composite, SHCC)가 개발되었고 이를 다양한 용도로 활용하기 위한 연구가 시도되고 있다.²⁾ 본 연구에서는 SHCC를 기존 철근콘크리트 구조물의 휨 인장 부위에 적용하여 기존 콘크리트의 균열손상특성을 제어함으로써 기존 구조물의 강도 및 내구성 성능 개선을 위한 적용가능성을 평가하고자 한다.

구조물의 내하력 향상을 위한 보강재료로 섬유보강재 또는 강판 등이 널리 활용되고 있으나¹⁾ 기존 철근콘크리트 구조물의 균열 제어에 의한 손상제어 및 내구성 개선을 위한 보수재료에 대한 개발 및 활용 연구는 상대적으로 미비한 실정이다.

최근 시멘트 복합체에 단섬유를 보강하여 취성적인 시멘트 복합체에 미세한 다수균열특성을 부

2. 실험

2.1 사용재료

본 연구에서 활용된 SHCC는 표 1에 나타난 배합비로 물결합재비 0.45이며 시멘트 복합체의 보강섬유로 PVA 및 고강도 PE 단섬유가 각각 시멘트 체적비로 1.3 및 0.2% 사용되었다. SHCC의 압축강도와 유사한 압축강도를 갖도록 콘크리트 보를 제작하기 위하여 사용된 콘크리트 설계기준강도는 40MPa로 계획하였다.

표 1. SHCC의 배합표

Composite	W/B (%)	Fiber volume fraction (%)		Fly ash/Binder (wt.%)	Sand/Binder (wt.%)	Polymer/Cement (wt.%)	SP/binder
		PE	PVA				
45-PVA1.30+PE0.20	45	0.20	1.30	35.0	50.0	5.0	1.2

Agents in binder : silica fume, antifoaming agent, shrinkage-reducing agent, superplasticizer, multi-functional agent

2.2 실험체 제작 및 실험방법

SHCC의 강도특성 및 직접인장하에서 다수균열 및 변형 경화성능을 평가하기 위하여 압축강도 시험용 원주형 공시체, 직접인장강도 시험용 덤벨(Dumbbell)형 인장 시험편, 휨강도 평가용 휨 시험편을 각각 제작하였다. 콘크리트 보의 휨인장측 부위에 대하여 콘크리트를 SHCC로 단면 대체후 균

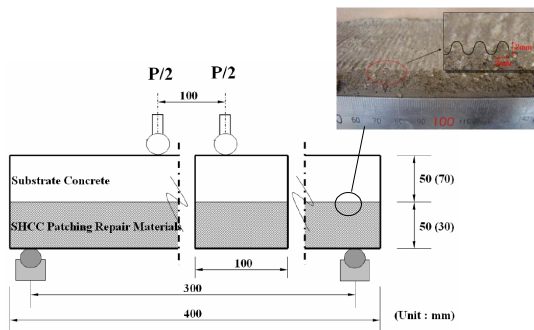


그림 1. 가력조건

열손상 제어성능을 평가하기 위하여 휨물체에 실험조건에 따라 두께 70mm 및 50mm로 콘크리트를 타설한 이후 12시간 경과후 그림 1에 나타난 바와 같이 기존 콘크리트 보와 SHCC의 경계면을 골 높이 2mm인 요철을 만들었다. 1주일 경과후 SHCC를 타설하고 2주 동안 수중 양생한 이후 실험 1주전부터 대기양생 하였다. SHCC로 단면복구된 휨 시험체의 가력은 그림 1에 나타난 바와 같이 4점가력하였으며 받침부는 회전이 가능하도록 하였다. 보 시험체는 총 4개가 제작되었으며 콘크리트 보(Concrete), SHCC 보(45-PVA1.3+PE0.2-0), 휨인장축 하부 30mm를 SHCC로 대체한 보 실험체(45-PVA1.3+PE0.2-30), 휨인장축 하부 50mm를 SHCC로 대체한 보 실험체(45-PVA1.3+PE0.2-50)로 구성된다.

3. 실험결과

3.1 SHCC의 인장거동

그림 2는 본 연구에서 휨 인장축 단면복구재로 사용된 SHCC의 직접 인장하에서 응력-변형률 관계곡선과 0.50%, 0.75%, 2.00% 및 2.60%의 변형률에 다른 시점에서의 균열패턴을 비교하여 나타내었다. 본 연구에서 제조된 SHCC는 인장시험편의 전면에 걸쳐 미세한 균열이 폭 넓게 분산되며 초기 균열 발생이후에도 지속적인 응력재분배로 인하여 강재와 같은 유사 변형 경화특성을 보이고 있다. 이러한 경향은 인장시험편에 초기에 발생된 균열이 국소화(Localization)되는 인장변형률 2.6%에 이를 때까지 지속되었으며 이후 국소화된 균열의 폭이 급격히 증가되며 최종과피 되는 양상을 보이고 있다.

3.2 SHCC로 보수된 보의 거동 특성

그림 3은 보의 중앙부에서 도입된 하중과 가력점 하부에서 측정된 변위의 관계를 비교하여 나타낸 것이다. SHCC만으로 구성된 보의 높은 휨강도 및 변형능력을 보이고 있으나 표준 실험체인 콘크리트 보의 초기균열이후 급격한 파괴양상을 보이고 있다. 휨인장축 하부 30mm 및 50mm를 SHCC로 대체한 두 실험체는 유사한 거동을 보이고 있으나 45-PVA1.3+PE0.2-50 실험체가 45-PVA1.3+PE0.2-30 실험체에 비하여 낮은 변형능력을 보이고 있다. 이는 기존 콘크리트와 SHCC의 계면에 작용되는 전단 응력이 SHCC로 50mm 대체된 실험체가 30mm 대체된 실험체에 비하여 높기 때문에 콘크리트와 SHCC 계면분리가 상대적으로 빠르게 진행됨에 따른 것으로 판단된다. 또한 초기강성은 SHCC로 대체된 단면이 클수록 낮게 나타났으며 이는 SHCC의 탄성계수가 기존 콘크리트에 비하여 낮기 때문인 것으로 판단된다. 휨강성 측면에서는 SHCC 보에 비하여 휨인장축 일부를 SHCC로 대체한 단면을 갖는 보가 유리하고 이러한 보는 콘크리트 보와 대등한 휨 강성특성을 보이고 있다 그림 3(b)는 하중재하 단계별 균열진전 상황으로 그림에 나타난 바와 같이 콘크리트 보의 경우 가력점 하부에 인접된 부위에서 초기 휨균열이 발생되었으며 휨 인장축 연단에서 발생된 균열은 하중이 증가됨에 따라 상부로 진전되었다. 반면 SHCC로 단면 대체된 보의 경우 가력점 하부의 기존 콘크리트와 SHCC의 경계면에서 시작하여 콘크리트 단면에 초기 휨균열이 발생된 이후 각각 콘크리트 및 SHCC 부분에서 점진적으로 상부로 균열이 진전되었다. 특히 SHCC에 발생된 균열은 직접인장시와 유사하게 미세한 다수균열이 발생되며 균열을 분산하여 균열에 의한 콘크리트의 손상을 제어하는데 유효하게 작용하였다.

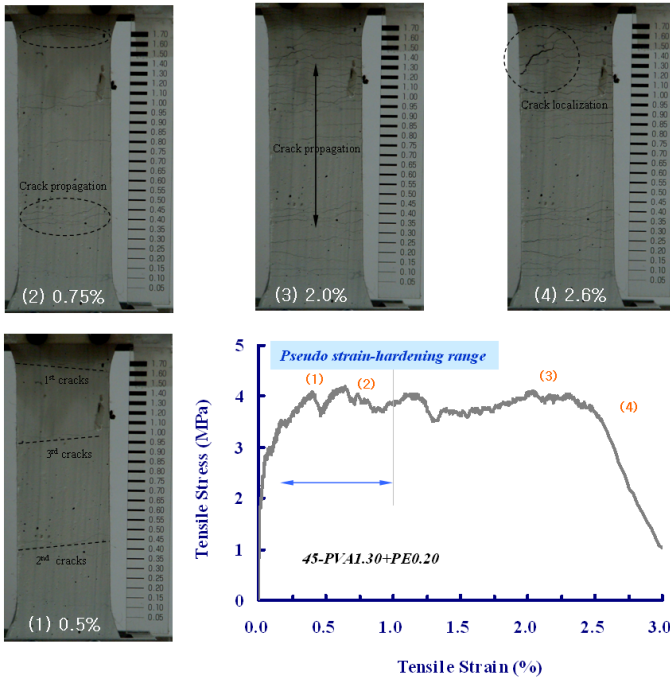
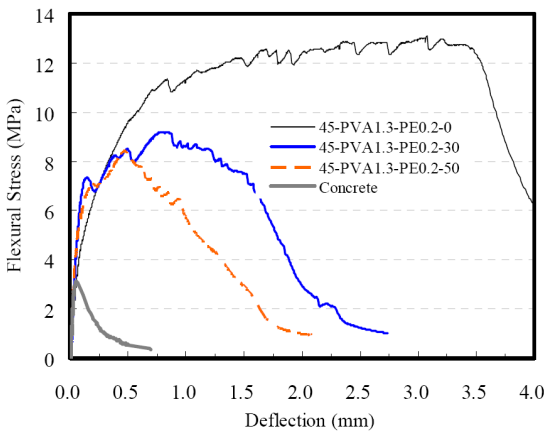
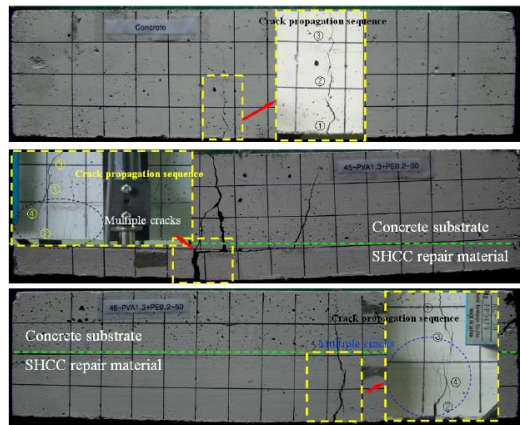


그림2. SHCC의 직접인장 거동 및 균열특성



(a) 하중-변위 거동



(b) 균열 발생 현황

그림3. SHCC로 단면복구된 콘크리트 보의 휨 및 균열특성

교각의 내진성능 평가, 한국콘크리트학회 2008년도 봄 학술발표회 논문집, 20(1), 2008, pp. 85-88.

2. 윤현도 외 3인, 철관 보강된 섬유보강 시멘트 복합체 합성 커플링 보의 내진성능, 대한건축학회 논문집(구조계), 22(8), 2006, pp. 37-44.

4. 결 론

본 연구에서 제조된 물결합재비 0.45, PVA 1.3% 및 PE 0.2%를 혼입하여 보강한 시멘트 복합체는 다수의 미세한 균열을 폭 넓게 분산하며 2.6%까지 높은 인장변형능력을 보였다. 개발된 고인성 시멘트 복합체를 기존 콘크리트 휨인장축 단면에 콘크리트를 대체하여 단면복구시 휨거동 특성 및 균열손상 제어능력이 크게 향상되는 것으로 나타났으며 실제적인 적용을 위하여 SHCC의 종류 및 두께 등을 변수로 철근콘크리트 부재에 대한 적용을 통한 평가가 요구된다.

참고문헌

1. 이도형 외 3인, CFRP로 보수된 RC