

반복하중 하에서 고인성 시멘트 복합체 내 철근의 겹침이음성능

Lap Splice Performance of Reinforcing Bars in High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite under Repeated Loading

전에스더* 김선우** 양일승*** 한병찬*** 윤현도****
Jeon, Esther Kim, Sun Woo Yang, li Seung Han, Byung Chan Yun, Hyun Do

ABSTRACT

Experimental results on lap splice performance of high performance fiber reinforced cementitious composite(HPFRCC) with fiber types under repeated loading are reported. Fiber types were polypropylene(PP), polyethylene(PE) and hybrid fiber[polyethylene fiber+steel cord(PE+SC)]. The development length(l_d) was calculated according to the relevant ACI code requirements for reinforcing bars in concrete.

The current experimental results demonstrated clearly that the use of fibers in cementitious matrixes increases significantly the splice strength of reinforcing bars in tension. Also, the presence of fibers increased the number of cracks formed around the spliced bars.

1. 서론

철근콘크리트구조에서 주요구조부재의 소성힌지부 또는 응력집중부위에 철근의 이음부는 피할 수 없으며 이러한 철근 겹침이음부는 콘크리트구조설계기준¹⁾에 준하여 산정된 응력전달상 요구되는 소요 철근 겹침이음길이만큼 겹침이음되어야 하고 이로 인하여 철근배근상세가 매우 복잡하며, 겹침이음길이에 따른 철근의 소비량이 전체 철근소비량에서 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 각종 기계적 정착 및 이음방법이 사용되고 있으나, 기계적 이음은 재료의 가격상승과 추가적인 작업공정에 의한 인건비상승과 같은 문제점을 지니고 있다. 또한 한상환²⁾ 등은 철근의 겹침이음된 모멘트 골조기둥이 겹침이음되지 않은 기둥에 비해 낮은 변형능력을 나타내는 것으로 보고하고 있다.

최근 우수한 인장변형능력 및 유사변형경화(Pseudo strain hardening)특성을 지닌 고인성 시멘트 복합체(High performance fiber reinforced cementitious composite, 이하 HPFRCC)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 HPFRCC는 인장력작용시 복합체에 발생하는 균열을 섬유로 적절하게 보강함으로써 균열이 국부적으로 집중되지 않고 미세균열을 폭넓게 분산시킬 수 있도록 하며 반복하중 하에서도 강성이나 내력저하를 지연할 수 있다고 보고되고 있다³⁾.

본 논문은 인장을 받는 철근의 겹침이음부에 인장변형능력이 우수한 HPFRCC를 적용함으로써 반복하중하에서 겹침이음부의 성능을 향상하고 겹침이음길이를 줄임으로써 궁극적으로 철근배근상세를 단순화하기 위한 연구의 일환으로 HPFRCC의 인장성능에 따른 철근 겹침이음부 강도, 인장변형능력 및 미세균열분산특성을 규명하고자 한다.

* 정회원, 충남대 건축공학과 석사과정
*** 정회원, (주)AMS엔지니어링, 공학박사

** 정회원, 충남대 건축공학과 박사과정
**** 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

표 1 실험계획 및 강도특성

시험체	철근 직경	겹침이음 비율 (%)	b×d×h (mm)	섬유 혼입률 (%)			압축강도 (N/mm ²)	탄성계수 (GPa)	최대 변형률 (μ)	휨강도 (N/mm ²)	직접 인장강도 (N/mm ²)
				PE	SC	PP					
Concrete-16-90	D16	90	100×80×540	-	-	-	54.85	27.97	3138	5.73	-
PP2.0-16-90	D16	90	100×80×540	-	-	2.00	55.59	18.91	3581	8.83	4.13
PE1.5-16-90	D16	90	100×80×540	1.50	-	-	57.03	16.27	4444	15.46	5.30
PE0.75+SC0.75-16-90	D16	90	100×80×540	0.75	0.75	-	54.98	15.37	5328	18.15	5.45

1) PP2.0[fiber-V_f (Vol. %)]-16(bar size)-90(lap splice length, %)

2. 철근의 이음실험계획

2.1 실험계획 및 사용재료

HPFRCC의 인장성능에 따른 철근 겹침이음부의 강도 및 인장변형능력을 평가하기 위하여 폴리프로필렌(Polypropylene, 이하 PP)섬유를 시멘트 체적비의 2.0%, 폴리에틸렌(Polyethylene, 이하 PE)섬유를 1.5% 및 폴리에틸렌(PE)섬유와 강연선(Steel cord, 이하 SC)을 0.75%씩 하이브리드화 한 3가지 종류의 HPFRCC 내 겹침이음부 시험체를 계획하였으며 이를 보통 콘크리트에서의 겹침이음부 성능과 비교하였다. 철근의 겹침이음길이는 콘크리트구조설계기준(2003)¹⁾의 인장 이형철근 및 이형철선의 정착 및 이음에 관한 기본정착이음길이(l_d)에 따라 산정하였으며, 본 연구에서 겹침이음된 철근량은 전체 철근량의 1/2이상을 차지하고 있는 B급 이음에 해당되기 때문에 겹침이음부의 최대강도가 철근 항복강도의 1/2을 만족하면 충분한 이음성능을 확보하는 것으로 평가할 수 있다. HPFRCC의 인장성능에 따른 평균 균열폭은 시험체 양측면에 변위계(LVDT)를 설치하고 각 사이클의 최대 응력치에서 발생하는 변형량을 측정된 균열수로 나누어 산정하였다.

2.2 HPFRCC의 직접인장성능

HPFRCC는 압축성능 보다는 인장변형성능이 획기적으로 개선된 시멘트 복합재료이기 때문에 각 섬유종류에 따른 직접인장성능을 평가하였으며 취성적인 성질을 갖는 보통 콘크리트에 대한 직접인장강도 실험은 제외하였다. 그림 1에 나타난 바와 같이 직접인장실험에서 HPFRCC는 유사변형경화특성, 다수의 미세균열 분산특성 및 1.98~2.78%의 우수한 인장변형능력을 나타냈다. PE 및 하이브리드 섬유(PE0.75+SC0.75)로 보강된 HPFRCC는 PP섬유에 비해 혼입률은 낮았지만 섬유자체가 갖는 높은 인장강도 및 탄성계수로 인해 휨 및 직접인장특성은 보다 우수한 것으로 나타났다.

3. 철근의 겹침이음실험결과

3.1 응력-변형률 관계

그림 2는 철근의 겹침이음부에 콘크리트와 PP2.0, PE1.5 그리고 PE0.75+SC0.75를 혼입한 HPFRCC의 응력-변형률 관계를 비교하여 나타낸 것이다. 콘크리트의 경우에는 섬유로 보강된 시험체에 비해

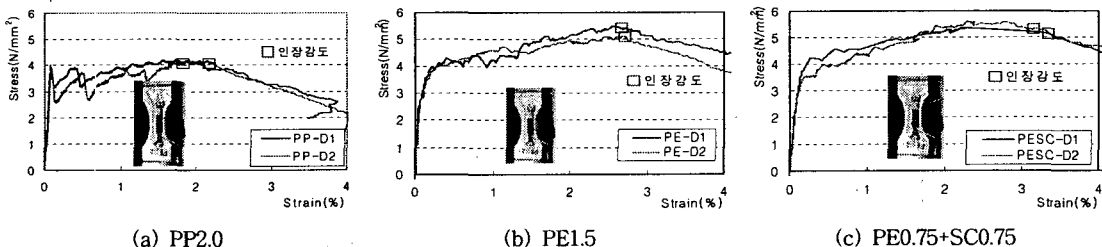


그림 1 HPFRCC의 직접인장실험결과

상대적으로 낮은 인장강도와 인장변형률을 나타냈으며 최대강도에서 소수의 초기 균열폭이 증가되면서 취성적으로 파괴되었다.

PP2.0시험체의 인장강도는 PE1.5 및 PE0.75+SC 0.75시험체의 74.31 및 65.32%에 해당하는 강도를 나타냈는데 PE 및 강섬유에 비하여 상대적으로 낮은 PP섬유의 탄성계수 및 인장강도로 인하여 균열 발생부위에서 섬유의 가교작용이 낮아 시멘트 복합체 내에서 응력재분배가 이루어지지 못하였기 때문으로 판단된다. 섬유혼입률은 1.5%로 같고 PE섬유를 강섬유로 일부 대체한 시험체(PE0.75+SC0.75)는 PE1.5시험체에 비해 인장강도가 13.76%증가하였지만

최대강도 이후의 연성적인 측면에서는 PE1.5시험체가 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 강섬유의 혼입으로 인해 겹침이음부의 인장강도는 증가시키지만 인장변형능력은 저해하는 것으로 나타났다.

반복하중 하에서 콘크리트의 겹침이음부는 사이클이 진행됨에 따라 소수의 초기 균열폭이 증가되면서 인장강성이 현저히 저하되는 현상을 보였다. 그러나 PE1.5 및 PE0.75+SC0.75로 보강된 HPRCC의 겹침이음부는 사이클이 진행됨에 따라 섬유의 가교작용으로 인해 인장강성이 크게 저하되는 현상은 볼 수 없었다.

3.2 평균 균열폭 및 균열양상

그림 3에 나타난 바와 같이 인장성능에 따른 평균 균열폭 및 균열수 관계를 평가한 결과 HPRCC는 각각 혼입된 섬유특성에 따라 인장응력을 재분배하여 콘크리트에 비해 초기 균열발생 이후 실험이 진행됨에 따라 균열폭은 초기 균열폭과 큰 차이를 보이지 않았으며 HPRCC에는 그림 4의 최종파괴 상황과 같이 시험체 전면에 다수의 미세균열이 폭넓게 분산되는 것을 알 수 있었다.

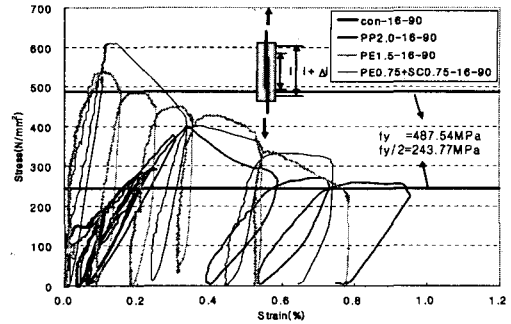
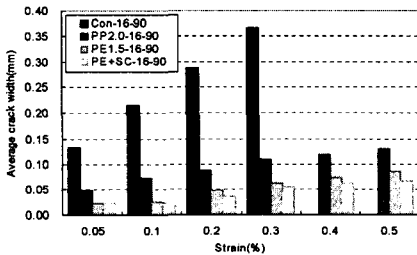
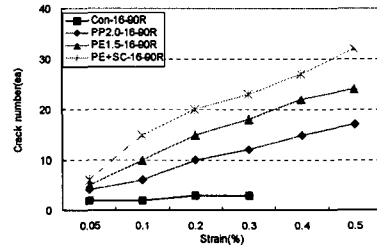


그림 2 철근 겹침이음부의 응력-변형관계곡선

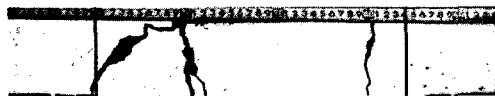


(a) 평균 균열폭

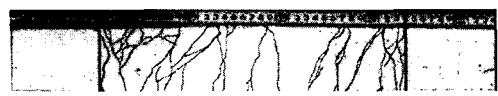


(b) 균열수

그림 3 평균 균열폭 및 균열수 관계



(a) Concrete-16-90



(b) PP2.0-16-90



(c) PE1.5-16-90



(d) PE0.75+SC0.75-16-90

그림 4 최종 파괴상황

3.3 시멘트 복합체에 따른 최대응력비

그림 5는 인장성능에 따른 HPRCC의 최대 겹침이음강도를 조건이 동일한 콘크리트의 최대 겹침이음강도로 나누어 나타낸 것이다. PE1.5 및 PE0.75+SC0.75시험체는 섬유자체의 높은 인장강도로 인해 콘크리트나 PP2.0보다 우수한 최대응력을 발휘하였다. 참고문헌 4에 나타낸 겹침이음길이가 60%인 합성섬유(PP, PE)의 겹침이음 실험결과⁴⁾를 토대로 최대응력을 비교하여 그림 5에 빗금친 막대그래프로 나타내었다. PE1.5시험체의 경우에는 높은 인장강도와 우수한 인장변형능력으로 인해 겹침이음길이가 90%인 콘크리트의 겹침이음강도비와 동일한 강도비를 나타냈다. 따라서 철근의 겹침이음부에 PE1.5% 및 PE0.75+SC0.75로 보강된 HPRCC를 적용할 경우, 겹침이음길이를 규준식의 60%까지 줄여도 대등한 인장응력을 발휘하며 인장변형능력도 향상되는 것으로 나타났다.

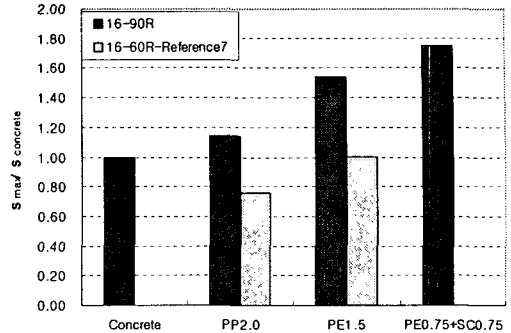


그림 5 철근 겹침이음부의 최대응력비

4. 결 론

우수한 인장강도 및 인장변형능력을 갖는 HPRCC를 인장을 받는 철근의 겹침이음부에 적용함으로써 겹침이음길이를 줄이고 궁극적으로 배근상세를 단순화하기 위한 연구의 일환으로 인장성능에 따른 HPRCC내에서의 철근의 겹침이음성능을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 휨 및 직접인장실험과 철근의 겹침이음 실험에서 HPRCC는 혼입된 섬유에 의해 균열주변으로 응력을 재분배함으로써 시험체 전면에 다수의 미세균열이 분산시키고 휨 및 인장강도가 증진되며 우수한 인장변형능력을 발휘했다.

2) 3.3절에 나타낸 바와 같이 PE1.5 및 PE0.75+SC0.75를 철근의 겹침이음에 적용하였을 경우, 겹침이음길이는 콘크리트구조설계기준에서 제시한 규준값(l_d)의 60%만으로도 충분한 응력을 발휘하는 것으로 나타났다.

3) 반복하중에 따른 응력-변형률 관계곡선에서 PE1.5 및 PE0.75+SC0.75시험체의 인장강성은 보통 콘크리트 및 PP2.0시험체에 비해 상당히 높게 나타났으며 사이클의 증가에도 강성저하 없이 초기 사이클과 유사한 인장강성을 보였다. 이를 통해 HPRCC는 내진요소의 겹침이음부의 적용에도 매우 효과적이며 미세균열분포특성으로 인해 내구성 증대에도 크게 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호 03산학연A10-01)과 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 R01-2005-000-10546-0)의 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 제정, "콘크리트구조설계기준(2003),"
2. 한상환(2005), "보통과 중간 모멘트 골조 기둥의 내진거동 비교," 한국콘크리트학회 논문집, pp.51-58
3. 윤현도, 양일승, 한병찬, 福山洋, 전에스더, 문연준(2004), "복합섬유 보강 고인성 시멘트 복합체의 인장거동," 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, pp.55-58
4. 윤현도, 전에스더, 양일승, 한병찬(2005), "합성섬유로 보강된 고인성 시멘트 복합체에서 철근이음성능," 대한건축학회 논문집 심사중