

하이브리드 섬유를 사용한 고인성 섬유보강 시멘트 복합체내의 철근이음에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Splice of Reinforcement Embedded in High Performance Hybrid Fiber Reinforced Cementitious Composites

| | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 전에스더 [*] Jeon, Esther | 양일승 ^{**} Yang, Il-Seung | 한병찬 ^{**} Han Byung-Chan |
| 서수연 ^{***} Seo, Soo-Yeon | 윤승조 ^{***} Yoon, Seung-Joe | 윤현도 ^{****} Yun, Hyun-Do |

ABSTRACT

Experimental results on splice strength of concrete and hybrid fiber reinforced cementitious composite are reported. Two series of tests, with six specimens each, were carried out. The research parameters were : bar diameter(D16, D22), lap splice length(50, 75, 100%). The current experimental results demonstrated clearly that the use of hybrid 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, delayed the growth of the splitting cracks, and consequently, improved the ductility of bond failure.

1. 서 론

최근 시멘트 복합체에 섬유를 혼입함으로써 인장강도와 연성을 증진시키기 위한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻²⁾. 이러한 재료 중 고인성 섬유보강시멘트복합체(High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites, 이하 HPRFRCs)는 인장응력 하에서 초기 인장균열 발생이후에도 섬유의 가교작용(Bridging action)에 의해 균열이 분산되며(Multiple crack) 유사변형경화(Pseudo strain hardening) 특성이 있어 구조부재 활용 시 여러 가지 장점을 가질 것으로 기대된다. 특히 철근의 이음이나 정착부에서의 HPRFRCs는, 재료가 갖는 큰 부착력으로 인하여 시멘트 매트릭스에서 발생하는 쪼갬균열을 억제하고 보다 연성적인 파괴를 유도하며, 궁극적으로 응력전달에 필요한 이음길이를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구는 HPRFRCs를 구조부재에 적용하기 위한 연구의 일환으로 HPRFRCs 내 철근이음의 거동 특성 및 성능을 실험적으로 평가하고자 하였다.

2. 철근의 이음실험계획

본 연구에서는 콘크리트와 HPRFRCs에서의 철근의 이음길이에 대한 영향을 평가하고자 폴리에틸렌(Polyethylene)섬유와 강섬유(Steel cord)를 0.75%씩 하이브리드 한 HPRFRCs를 사용하여 철근의 이음실험을 통해 콘크리트와의 부착성을 비교하였다. 또한 철근의 부착응력은 철근의 길이, 하중조건 등에 따라 다르기 때문에 철근의 직경(D16, D22), 철근이음 규준에 대한 비율(이음규준의 50, 75, 100%)을 변수로 하여 그 영향을 평가하였다.

* 정회원, 충남대 대학원 석사과정

*** 정회원, 충주대 건축공학과 교수, 공학박사

** 정회원, (주)AMS엔지니어링, 공학박사

**** 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

본 연구는 건설교통부 2003년 건설핵심기술연구개발사업 연구비 지원(과제번호 03산학연A10-01)에 의한 연구의 일부임

2.1 시험체 제작

철근의 이음실험을 위한 시험체의 단면은 철근의 피복을 철근직경의 2배로 하여 철근을 따라 발생하는 조깅균열을 방지하도록 하였다. 게이지는 시험체 당 총 3개를 시험체의 중앙에, 그리고 단부에서 각각 30mm 떨어진 부분에 부착하였다. 또한 변위계 (Linear voltage differential transducers)를 설치하여 인장실험시 시험체의 전 구간에 발생하는 변형량을 측정하여 각 시험체의 평균 균열폭을 평가하도록 하였다. 그림 1에는 시험체의 형상 및 게이지 부착 위치를 나타내었다.

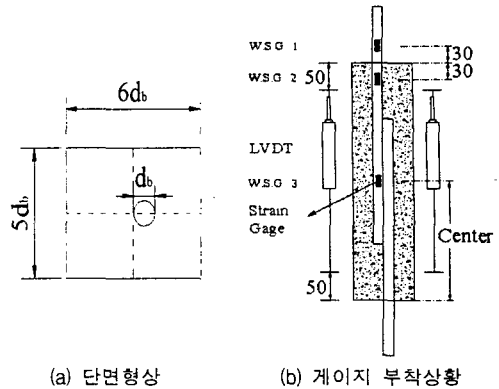


그림 1. 시험체 형상

2.2 실험계획 및 재료특성

철근의 이음실험에 관한 변수를 고려하기 위하여 표 1과 같이 실험계획을 하였다. 본 실험에 사용된 PE섬유, 강섬유의 물성을 표 3에, 철근(D16, D22)의 기계적 특성과 콘크리트의 압축강도는 각각 KS B 0802와 KS F 2406에 따라 측정하여 그 결과를 표 4와 5에 나타내었다. 1축 인장실험은 최대 2000kN 용량의 만능시험기를 이용하여 실시하였다. 각각의 실험체에 대해 반복가력을 실시하였다. 또한 각 사이클의 최대 응력치에서 균열의 폭과 수를 확인하여 고인성 시멘트 복합체의 특성을 검토하고 이를 콘크리트와 비교하였다.

표 1. 실험계획

| 재료 | 철근직경 | l_d^* (%) | 비고 | | |
|---------------|------|-------------|---|-----------------------------|----------------------|
| Concrete | D16 | 50 | * 이음규준 ³⁾ 에 대한 비율 $l_d = \frac{0.90d_b f_y}{\sqrt{f_c}} \left(\frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{c + k_{tr}} \right)$ (MPa, mm) | d_b : 철근의 직경 | f_y : 철근의 항복응력 |
| | D22 | 75 | | f_c : 압축강도 | α : 철근배치 위치계수 |
| PE0.75+SC0.75 | | 100 | | β : 에폭시 도막계수 | γ : 철근지름 |
| | | | λ : 경량콘크리트계수 | $(c + k_{tr})/d_b \leq 2.5$ | |

표 2. 배합조건

| 기호 | W/B | 섬유 혼입률 V_f (Vol. %) | | 단위중량 (kg/m^3) | | |
|----------|------|--------------------------|------|--------------------------|-------|-------|
| | | SC | PE | 시멘트 | 모래 | 물 |
| Concrete | 0.45 | - | - | 331 | 764 | 175 |
| PE+SC | 0.45 | 0.75 | 0.75 | 1041.5 | 416.6 | 468.7 |

표 3. 섬유특성

| 종류 | 비중 | 길이 (mm) | 직경 (μm) | 형상비 | 인장강도 (MPa) | 탄성계수 (GPa) |
|------------|------|---------|----------------------|-------|------------|------------|
| Steel Cord | 7.85 | 32 | 405 | 79 | 2,300 | 206 |
| PE (DYN-A) | 0.97 | 15 | 12 | 1,250 | 2,500 | 75 |

표 4. 철근의 기계적 특성

| 철근종류 | 항복강도 f_y (MPa) | 항복 변형률 ϵ_y (μ) | 인장강도 f_t (MPa) | 탄성계수 E_s (GPa) |
|------|------------------|-------------------------------|------------------|------------------|
| D16 | 487.54 | 3019.63 | 586.03 | 180.46 |
| D22 | 472.27 | 3310.28 | 603.95 | 174.11 |

표 5. 콘크리트의 강도 특성

| 종류 | 압축강도 f_{cu} (MPa) | 탄성계수 E_c (GPa) | 최대 변형률 ϵ_u (μ) |
|----------|---------------------|------------------|-------------------------------|
| Concrete | 36.44 | 27.97 | 2054.63 |
| PE+SC | 54.98 | 15.37 | 5328.67 |

3. 철근의 이음실험결과

3.1 응력-변형률 관계

그림 2에서는 철근의 직경 D22에 대한 콘크리트와 혼합섬유보강 시멘트복합체로 제작된 시험체의 1축 인장실험에 대한 응력-변형률 관계를 나타내었다. 콘크리트의 응력은 철근이음길이규정의

50<75<100% 순으로 응력이 증가하였는데 이는 1축 인장에서의 응력은 철근의 길이가 길수록 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 콘크리트의 경우에는 이음길이에 관계없이 콘크리트의 취성적인 성질로 인해 0.2%의 변형률을 전후로 파괴가 일어난 반면, PE섬유와 강섬유를 혼합사용한 시멘트 복합체의 경우, 철근직경이 D16일 때 철근이음길이규정의 75, 100%에서 시험체 단부의 철근파단으로 인해 비슷한 최대응력을 보였다. 또한 최대응력이후 완만한 감소를 보이면서 연성적으로 파괴되었다. 그리고 그림 3에서는 최대하중을 시멘트 복합체의 압축응력으로 무차원화 한 값을 나타내고 있다. 콘크리트 시험체는 철근의 항복강도보다 낮은 값에서 부차파괴가 발생하였으나, PE섬유와 강섬유를 혼합사용한 시멘트 복합체는 0.5 f_c 시험체를 제외한 모든 시험체에서 철근의 항복하중 이상의 값을 확보하였다.

3.2 평균 균열폭 및 균열양상

그림 4와 5에는 변형률에 따른 평균 균열폭과 그 때의 균열수를 나타내었다. 평균 균열폭은 시험체의 변형률 측정거리를 총 균열수로 나누어 계산하였으며 변형률의 증가에 따라 각각 균열수를 관찰하였다. 콘크리트 시험체의 경우에는 최대 균열수가 3~6개로 29~45개의 PE+SC 시험체에 비해 상대적으로 적어 그에 따른 평균 균열폭은 최대 0.369mm까지 측정되었다. 반면, PE와 강섬유를 혼합사용한 시멘트 복합체는 고인성 시멘트 복합체의 특징 중 하나인 폭넓게 분산된 미세균열(Multiple crack)이 나타났고, 변형률과 균열수의 증가에도 평균 균열폭은 초기 균열폭과 큰 차이를 보이지 않았다.

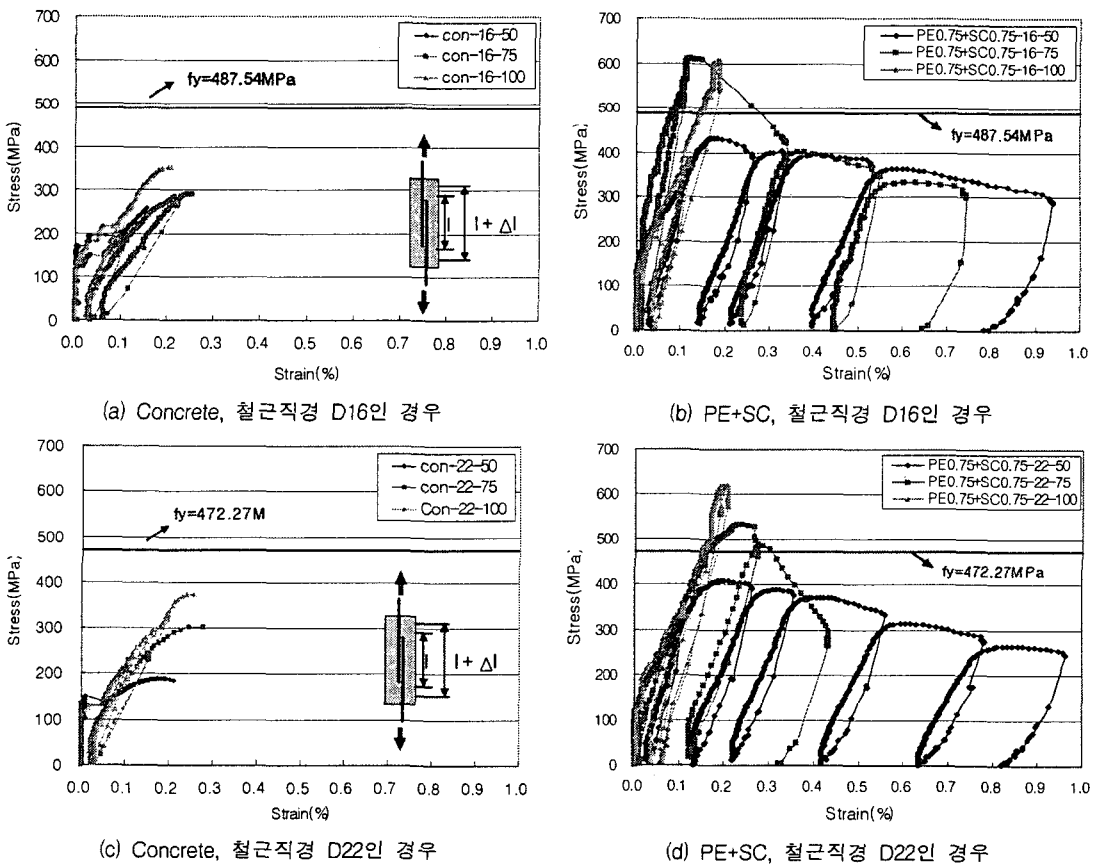
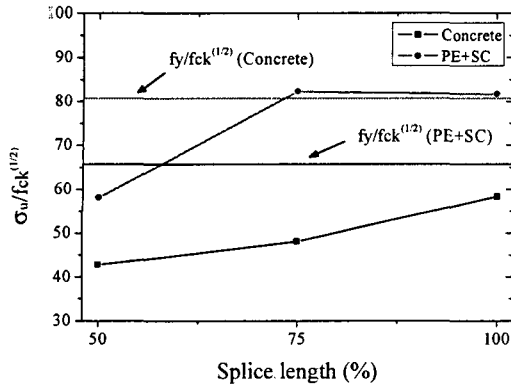
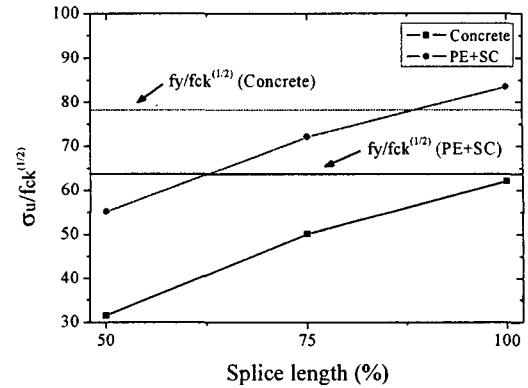


그림 2. 응력-변형률 관계곡선



(a) 철근의 직경 D16인 경우



(b) 철근의 직경 D22인 경우

그림 3. 이음길이에 따른 응력

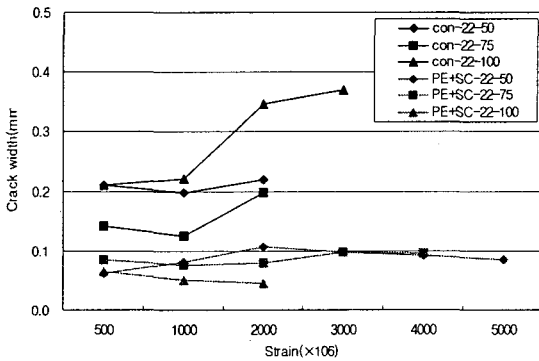


그림 4. 변형률에 따른 평균 균열폭 (D22)

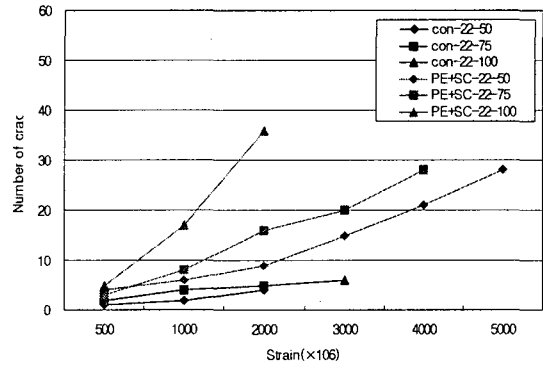
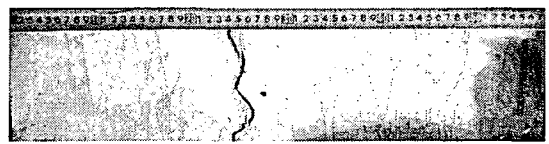


그림 5. 변형률에 따른 균열개수 (D22)



(a) Concrete-22-50



(b) PE+SC-22-50

그림 6. 파괴상황

4. 결론

콘크리트와 PE, 강섬유를 각각 0.75% 혼합사용한 고인성 섬유보강 시멘트 복합체의 부착응력을 평가하기 위해 1축 인장을 받는 철근의 이음실험을 수행하였고 그 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 철근의 1축 인장실험시 콘크리트는 낮은 부착특성으로 인해 초기 균열발생이후, 균열수는 크게 증가하지 않는 반면, 균열폭은 급속히 진전되어 취성적 파괴를 유도하였다. 그러나 HPRCC의 경우에는 초기 균열발생이후 강성의 큰 변화없이 미세균열을 폭넓게 확산시켰으며 최대응력이후에도 연성적인 파괴를 보였다.
- 2) 고인성 섬유보강 시멘트 복합체를 사용함으로써 응력전달에 필요한 이음길이를 줄일 수 있었고 일반 콘크리트의 이음규준은 HPRCC의 인장강성효과를 과소평가하므로 HPRCC의 인장강성 특성을 묘사할 수 있는 모델의 제안이 요구된다.

참고 문헌

1. 윤현도 외 5인, "Steel Cord 및 PVA 혼합섬유 보강 고인성 시멘트 복합체의 인장강도 특성", 한국콘크리트학회 춘계학술발표대회 논문집, 16(1), pp. 18-21
2. A.E. Naaman and J.R. Homich(1989), "Tensile Stress-Strain Properties of SIFCON," ACI Material Journal, 86(3), pp. 244-251
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary(ACI318-02),"ACI, 2002, 187p