

# Steel Cord와 PVA 혼합섬유 보강 고인성 시멘트 복합체의 비빔 및 압축강도 특성

## Mixing and Compressive Strength Characteristics of Steel Cord and PVA Hybrid Fiber Reinforced Cement-Based Composites

윤현도\* 양일승\*\* 한병찬\*\*\* 福山洋\*\*\*\* 전에스터\*\*\*\*\* 문연준\*\*\*\*\*  
 Yun, Hyun Do Yang, Il Seung Han, Byung Chan Hiroshi, Fukuyama Cheon, Esther Moon, Youn-Joon

### Abstract

This paper discusses the role of micro and macrofibers in the workability, compressive strength, and failure of cementitious composites. Workability(flow), compressive strength, splitting strength and fracture mechanism of hybrid fiber reinforced cement composites(HFRCC) have been investigated by means of Korean Standard (KS). The specific blend pursued in this investigation is a combination of polyvinyl alcohol(PVA) and steel cord. It was demonstrated that a hybrid combination of steel and PVA enhances fiber dispersion compared to only steel cord reinforced cement composites and that the brittle and wide cracking was much reduced in HFRCC as expected because in the matrix containing the PVA fiber around the steel cord, a multiple microcracking occurred and the steel cord could sufficiently work for bridging the cracked surface.

### 1. 서론

콘크리트와 같은 시멘트 복합체는 그림 1에 나타난 것과 같이 인장응력의 작용시 매트릭스내에 마이크로 균열(Microcrack)이 발생되고 이러한 마이크로 균열이 연결되어 매크로 균열(Macrocrack)로 발전하며 파괴에 이르게 된다. 이러한 과정은 본질적으로 낮은 인장응력상태에서 발생되며 매크로 균열이 발생된 이후 취성적인 파괴 특성을 보이지만 매트릭스(Matrice)에 단섬유를 혼입함으로써 시멘트 복합체의 역학적 특성, 특히 인성, 연성 및 에너지 흡수능력 등은 개선될 수 있다. 그러나 매트릭스내 보강 섬유재의 재질, 기하학적 형태, 매트릭스와의 부착특성 등에 따라 시멘트 복합체내에서 보강용 섬유의 역할은 달라지게 된다.

일반적으로 직경 50 $\mu$ m이하의 마이크로 섬유(Microfiber)는 마이크로 균열이 연결되어 매크로 균열로 진전되는 것을 억제하여 강도 증진에 기여하는 반면 직경 200 $\mu$ m이상의 매크로 섬유(Macrofiber)는 그림 1에 나타난 바와 같이 매크로 균열 폭이 증가되어 재료 또는 부재의 연화(Softening)를 제어하는 기능을 하여 최대강도 이후

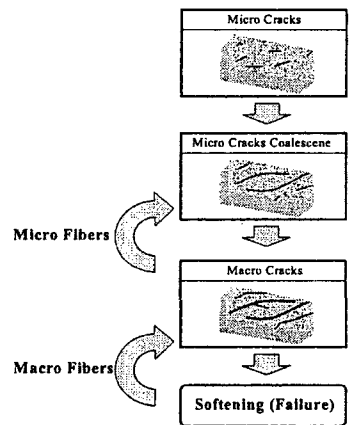


그림 1 복합체의 파괴기구

\* 정희원, 충남대학교 건축공학과 교수

\*\* 정희원, 충남대학교 건축공학과 박사후 연수과정

\*\*\* 정희원, 충남대학교 건축공학과 강사

\*\*\*\* 정희원, 일본건축연구소 구조그룹 수석연구원

\*\*\*\*\* 정희원, 충남대학교 대학원 석사과정

\*\*\*\*\* 정희원, 동신대학교 건축공학과 교수

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

연성을 증진시킨다. 특히 시멘트 복합체에 발생되는 균열이 국부적으로 집중되지 않도록 하여 미소균열(Multiple cracks)을 폭 넓게 확산시킴으로써 복합체에 변형경화 특성을 부여하고 고인성 특성을 갖도록 하기 위해서는 매크로 균열면에 교차(Bridge)되는 매크로 섬유는 매트릭스에 적절하게 정착될 수 있도록 부착력이 우수하고 높은 휨강성을 갖는 섬유를 사용하여야 한다.

이에 본 논문에서는 고인성 시멘트 복합체를 제조하기 위하여 부착력 및 휨강성이 높아 자동차 타이어 보강용으로 사용되고 있는 5연선 꼬인 강섬유(Steel cord)의 활용하고자 하는 연구의 일환으로 매크로 섬유인 5연선 강섬유 1%에 PVA 혼입(0.25~2.00%)에 따른 시멘트 복합체의 시공성(플로우), 섬유의 분산상태, 압축 및 쪼갬인장강도 특성에 끼치는 영향을 평가하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험계획 및 사용재료

본 논문에서는 물시멘트비 45%인 시멘트 복합체에 시멘트 체적비 1%의 5연선 강섬유 혼입 시멘트 복합체의 시공성(플로우), 섬유분산 및 강도특성을 규명하고 PVA 합성섬유의 혼입율에 따른 이러한 특성 변화를 평가하고자 하며 이를 위하여 표 1과 같이 10 수준의 실험을 계획하였다.

실험체 제작시 사용된 시멘트는 T사의 조강토폴랜드 시멘트(비중 3.14), 세골재는 S사에서 생산된 접착제용 규사7호(비중 2.61, 직경 105~120 $\mu$ m)를 각각 사용하였다. 시멘트 복합체의 보강용 섬유로는 D사에서 생산된 타이어 보강용 5연선 꼬인 강섬유와 K사 REC15의 PVA가 사용되었으며 각 섬유 특성은 표 2와 같다.

### 2.2 비빔방법 및 시험방법

섬유보강 시멘트 복합체의 제조시 재료의 투입 순서 및 비빔시간은 섬유의 뭉침 및 침강에 중요한 영향을 끼치는 요인이며 이는 경화전후 복합체의 특성에 주요한 영향인자가 되기도 한다. 본 연구에서는 그림 1과 같은 절차에 따라 시멘트 복합체를 비빔하였다. 그림에 나타난 바와 같이 모르타르에 비중이 낮은 합성섬유를 1/2로 나누어 투입하고 30초씩 비빈후 비중이 높은 강섬유를 1/3씩 나누어 투입한 후 각각 40초씩 비빔하였으며 모든 섬유를 투입한 후 1분 30초 동안 비빔하여 토출하였다. 시멘트 복합체의 플로우 시험은 KS L 5111에 준하였으며 낙하운동후 가장 긴 직경과 가장 짧은 직경의 값을 측정하여 산술 평균값을 채택하였다. 압축 및 쪼갬인장강도 시험체는 KS F 2403(콘크리트 강도 시험용 공시체 제작방법)에 준하여 제작하였으며 재령 7일인 공시체에 대하여 압축강도는 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법), 쪼갬인장강도는 KS F 2423(콘크리트의 쪼갬인장강도 시험방법)에 준하여 실시하였다.

표 1 배합조건

기 호	W/C	섬유 혼입률 V <sub>f</sub> (Vol. %)		단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )		
		SC	PVA	시멘트	물	모래
Mortar	0.45	-	-	12.66	5.70	5.06
SC1.0		1.00	-	12.53	5.64	5.01
PVA1.0		-	1.00	12.53	5.64	5.01
SC1.0+PVA0.25		1.00	0.25	12.49	5.62	5.00
SC1.0+PVA0.50		1.00	0.50	12.46	5.61	4.98
SC1.0+PVA0.75		1.00	0.75	12.43	5.59	4.97
SC1.0+PVA1.00		1.00	1.00	12.40	5.58	4.96
SC1.0+PVA1.30		1.00	1.30	12.36	5.56	4.94
SC1.0+PVA1.70		1.00	1.70	12.30	5.54	4.92
SC1.0+PVA2.00		1.00	2.00	12.26	5.52	4.91

표 2 섬유특성

종류	비중	길이 (mm)	직경 ( $\mu$ m)	형상비	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
Steel Cord	7.85	32	405	79	2300	206
PVA	1.30	12	39	307	1600	40

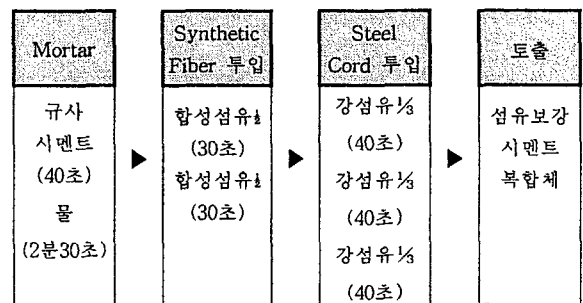


그림 1 비빔순서

### 3. 실험결과

#### 3.1 비빔상태

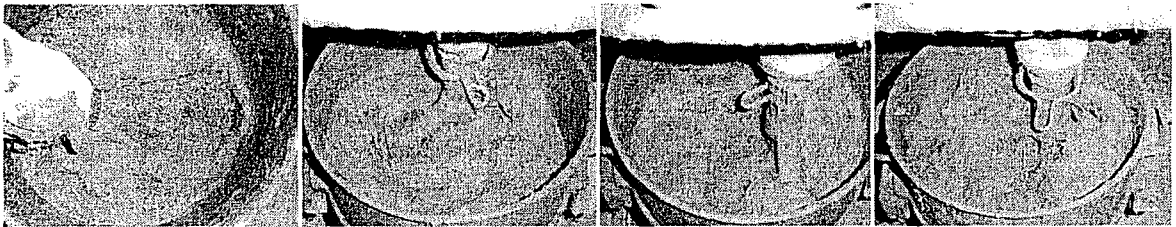
그림 2는 각 실험 수준별 비빔완료후 시멘트 복합체의 강섬유 분산상태를 비교하여 나타낸 것으로 강섬유만을 혼입한 시멘트 복합체에서 비빔완료후 섬유는 높은 비중으로 인하여 그림 2(a)와 같이 믹서하부에 강섬유가 침강되는 경향을 보이고 있으나 강섬유에 비하여 비중이 낮은 합성섬유 PVA의 혼입률이 증가됨에 따라 침강되는 강섬유는 현저히 감소되는 경향을 보이고 있다.

#### 3.2 시공성(플로우)

그림 3은 각 수준별 데이블형 플로우 시험으로부터 측정된 최대 및 최소값의 평균값을 비교하여 나타낸 것이다. 본 연구에서 적용된 배합조건하에서 모르타르의 플로우 값은 평균 19.3cm로 나타났으며 강섬유 1% 혼입시 16.8cm로 플로우 값은 감소되는 경향을 보였다. 합성섬유는 강섬유에 비하여 친수성 및 흡수성이 높은 PVA 1% 혼입시 플로우 값은 16.5cm로 강섬유에 비하여 낮은 플로우 값을 보이고 있다. 또한, 강섬유에 PVA의 혼입률이 증가됨에 따라 플로우 값은 감소되는 경향을 보이고 있으며 이는 친수성이 높은 합성섬유의 표면적이 증가됨에 따른 것으로 판단된다.

#### 3.3 섬유의 분산

본 연구에서는 합성섬유 PVA의 혼입률에 따른 시멘트 복합체내에서 강섬유의 분산상태를 평가하기 위하여 휨시험체를 절단하여 강섬유의 분산상태를 정성적으로 평가하였다. 강섬유만을 혼입한 복합체는 타설방향 하부 섬유가 침강되어 있으나 합성섬유의 혼입률이 증가됨에 따라 전면에 분산되는 특성을 보였다. PVA 혼입률 0.75%이상에서는 합성섬유와 강섬유가 뭉쳐 국부적으로 강섬유가 집중되는 경향을 보였다.



(a) SC1

(b) SC1+PVA0.25

(c) SC1+PVA0.50

(d) SC1+PVA1.30

그림 2 비빔완료후 시멘트 복합체 상태

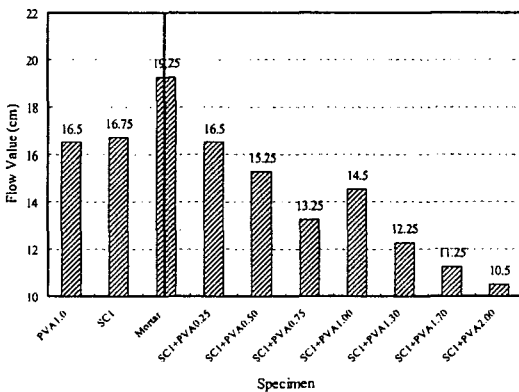


그림 3 굳지 않은 시멘트 복합체의 플로우

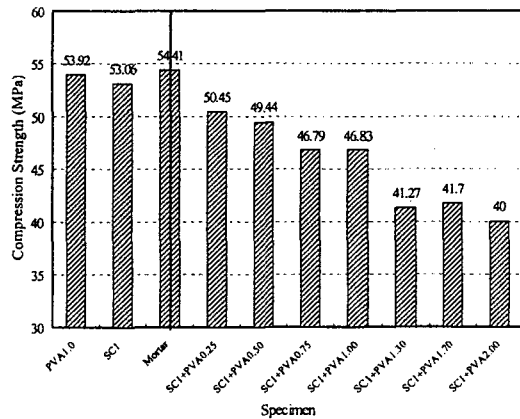


그림 4 경화된 시멘트 복합체의 압축강도

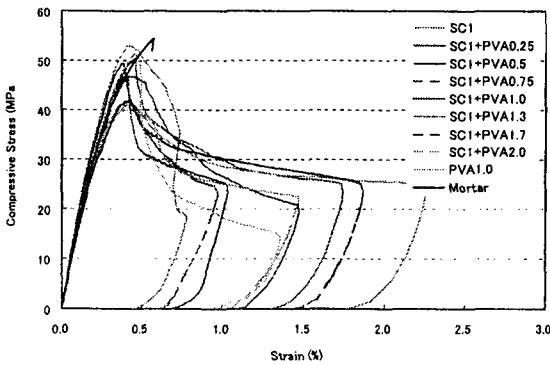


그림 5 시멘트 복합체의 압축응력-변형률 관계

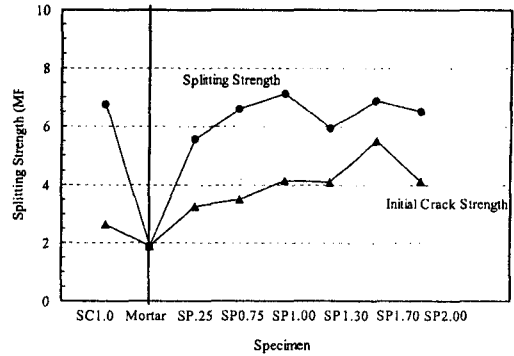


그림 6 시멘트 복합체의 쪼갬강도

### 3.4 압축강도

그림 5는 각 수준별 공시체의 압축응력-변형률 관계를 비교하여 나타낸 것으로 PVA 섬유 혼입률이 증가됨에 따라 압축강도는 감소되는 경향을 보이고 있으며 특히 PVA 혼입률 1.3% 이상에서는 모르타르의 압축강도 75%로 나타났다. 강섬유 1% 혼입된 SC1은 모르타르에 비하여 높은 강성을 보이고 있으나 상대적으로 섬유의 탄성계수가 낮은 합성섬유의 혼입률이 증가됨에 따라 낮은 강성을 보이고 있다. 최대강도이후 연화(Softening)부분은 강도 및 탄성계수가 낮은 합성섬유의 혼입률이 증가됨에 따라 다소 안정된 강도저하 특성을 보이고 있다. 이는 합성섬유가 이질재료 시멘트 복합체의 공극 등과 같은 내부결함으로 에너지를 흡수하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.5 쪼갬강도

그림 6은 각 수준별 쪼갬인장강도를 비교하여 나타낸 것으로 섬유보강 시멘트 복합체에 대한 할렬 재하시 모르타르와 다르게 초기균열이후에도 강도저하 없이 일정범위까지 하중이 증가된 후 강도가 저하되는 경향을 보였다. 따라서 그림 6에서 초기균열강도(Initial crack strength)라 함은 쪼갬인장강도 시험시 초기 인장균열의 발생시점의 응력을 의미하고 쪼갬강도(Splitting strength)는 강도저하가 발생된 시점의 응력을 의미한다. 1% 강섬유로 보강된 시멘트 복합체의 쪼갬강도는 모르타르 쪼갬강도에 비하여 3배이상 높게 나타났으나 합성섬유와 혼용시 다소 감소되는 경향을 보였다. 강섬유 1%와 PVA 0.75%이상의 혼합시 강섬유만으로 보강된 시멘트 복합체와 대등한 쪼갬강도특성을 보이고 있다.

## 4. 결론

5연선의 꼬인 강섬유는 시멘트 복합체의 인장특성을 개선하는데 적용 가능성이 있으며 특히 마이크로 합성섬유 PVA와 혼용시 강섬유의 침강 및 엉킴 등이 발생되지 않도록 섬유의 분산성을 개선할 수 있는 것으로 나타났으나 마이크로 합성섬유 PVA는 굳지 않은 시멘트 복합체의 시공성(플로우 및 비빔성) 및 경화된 복합체의 압축강도를 다소 저하시키는 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. JCI(2002), "Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC)," Proceedings of the JCI International Workshop on DFRCC.
2. 윤현도, 양일승, 한병찬, 福山洋, 전에스더, 문연준(2004), "복합섬유 보강 고인성 시멘트 복합체의 특성," 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 24(1), pp.27~30.
3. 윤현도, 양일승, 한병찬, 福山洋, 전에스더, 문연준(2004), "복합섬유 보강 고인성 시멘트 복합체의 인장거동," 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 24(1), pp.55~58.
4. 윤현도, 양일승, 한병찬, 福山洋, 전에스더, 문연준(2004), "Steel Cord와 PVA 혼합섬유 보강 고인성 시멘트 복합체의 인장강도," 한국콘크리트학회 춘계학술발표대회.