

# PVA 섬유로 보강된 고인성 시멘트 복합체의 역학적 특성에 대한 잔골재 치수의 영향 평가

## Assessing Effects of Fine Aggregate Size on the Mechanical Properties of HPFRCCs Reinforced with PVA Fiber

이원석\*      변장배\*      윤현도\*\*      전에스더\*\*\*  
Lee, Won Suk    Byun, Jang Bae    Yun, Hyun Do    Jeon, Esther

### ABSTRACT

HPFRCCs(High performance fiber reinforced cementitious composites) exhibit characteristics of strain hardening and multiple crack. These lead to improvement in ductility, toughness, and deformation capacity under compressive and tensile stress. These properties of HPFRCCs are affected by type of fiber, size of sand. Furthermore these influence compress strength and flexural strength. Therefore experimental study on the mechanical properties of HPFRCCs using PVA fiber was carried out. In this paper, HPFRCCs made of PVA fiber were tested with size of sand, strength of concrete to evaluate characteristics of compressive strength and flexural strength.

### 1. 서론

최근 환경오염 및 자원고갈 등이 주요한 사회문제로 대두되는 현 시점에서 보다 내구적이고 구조성능이 우수한 건설 신재료(Advanced structural materials)의 개발과 이를 구조물에 활용하기 위한 연구가 국내외에서 활발히 수행되고 있다. 또한 건설 신재료는 사회기반시설의 보수 및 보강에 소요되는 유지관리비용을 절감할 수 있을 것으로 판단되며, 이러한 측면에서 고인성 시멘트 복합체(HPFRCCs)는 철근부식 방지 및 내진성능이 요구되는 다양한 용도의 철근콘크리트 구조물에 적용 가능성이 높은 신재료로 평가<sup>1)</sup>되고 있다. 한편 미국 및 일본에서는 1960년대부터 섬유보강 시멘트 복합체에 관한 연구가 활발히 진행되어 현재 HPFRCCs에 대한 시험방법 및 규정을 제정 중에 있다. 그러나 국내의 경우 2003년 건설교통부의 연구과제에 의해 본격적인 연구가 시작되어 고인성 시멘트의 역학적 특성에 관한 연구가 주를 이루고 있으며 굵은 골재가 포함되지 않은 고인성 시멘트 모르타르에 관한 연구에 한정되어 있는 실정이다.<sup>2)</sup> 그러나 HPFRCCs를 구조부재로 활용하기 위해서는 고가의 규사를 대체할 새로운 골재에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 HPFRCCs 제조에 기존에 주로 사용된 규사 대신 잔골재를 대체하여 잔골재의 사용 및 입径의 영향에 따른 HPFRCCs의 거동특성을 평가하여 시멘트 매트릭스와 섬유의 상호관계를 규명하고자 한다.

### 2. 실험

#### 2.1 시험체 계획 및 사용재료

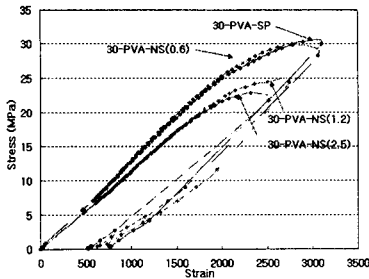
\* 충남대 대학원 석사과정

\*\* 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

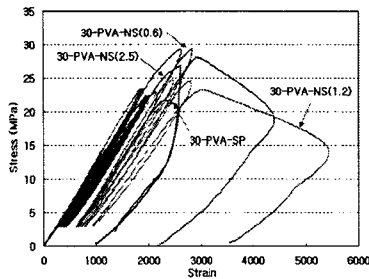
\*\*\* 충남대 대학원 박사과정

본 논문은 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 R01-2005-000-10546-0)의 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부이고, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았으며, 이에 감사드립니다.

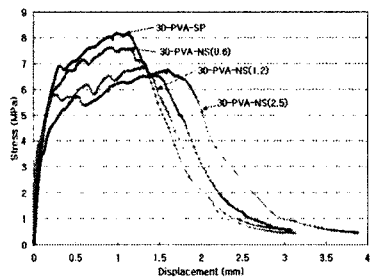




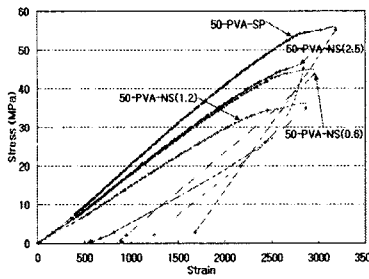
(a) 시리즈 I



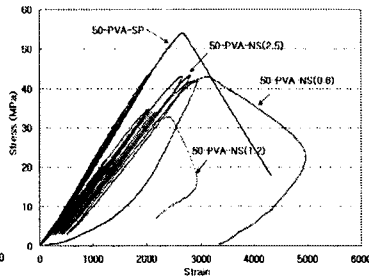
(a) 시리즈 I



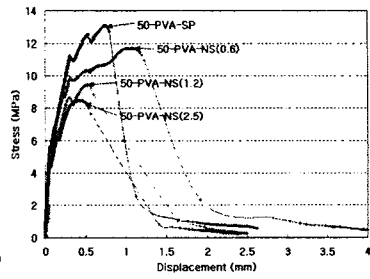
(a) 시리즈 I



(b) 시리즈 II



(b) 시리즈 II



(b) 시리즈 II

그림 3 단조가력시 압축응력-변형률

그림 4 반복가력시 압축응력-변형률

그림 5 휨응력-변형

2.5mm의 잔골재를 사용한 시험체를 제외한 나머지 시험체에서 잔골재 입경이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 한편, 설계기준 압축강도에 따른 탄성계수를 비교한 결과, 시리즈 II의 경우 시리즈 I에 비하여 현저히 높은 탄성계수를 나타냈으며 잔골재 입경에 따른 탄성계수의 차이도 크게 나타났다.

### 3.2 단조 및 반복 가력시 압축거동특성

그림 3은 단조가력 조건하에서의 압축응력-변형률을 각각 비교하여 나타낸 것이다. 시리즈 I의 경우 잔골재의 입경에 따라 다소 차이를 보이고 있으며, 입경이 증가함에 따라 최대압축응력 및 최대변형률은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 잔골재의 입경이 증가함에 따라 시험체 내의 공극이 증가되어 섬유와 잔골재와의 부착면적 감소로 인한 부착력 저하 때문인 것으로 판단된다. 시리즈 II의 경우 최대변형률은 골재의 입경이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으나, 입경 2.5mm의 잔골재를 사용한 시험체의 경우 입경 0.6 및 1.2mm의 잔골재를 사용한 시험체보다 높은 최대내력을 나타내었다. 그림 4는 반복가력 조건하에서의 압축응력-변형률을 비교한 것으로 골재의 입경에 따라 큰 차이를 나타내었으며, 시리즈 I의 경우 단조가력시와 달리 잔골재로서 규사를 사용한 30-PVA-SP 시험체에서 가장 낮은 압축강도 및 변형률이 나타난 것을 제외하고, 나머지 시험체에서는 단조가력시와 유사한 경향을 보였다. 시리즈 II의 경우 50-PVA-NS(2.5) 시험체에서 반복가력시 가장 큰 변형률 증가를 보이고 있으며, 전반적으로 단조가력시와 유사한 거동특성을 나타내었다. 이와 같이 잔골재의 입경에 따라 PVA를 사용한 HPRFCCs의 단조 및 압축거동특성은 큰 차이를 나타내었으며, 골재의 입경이 증가함에 따라 전반적으로 최대압축응력 및 변형률은 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 표 5에 나타난 바와 같이 단조가력에 대한 반복가력의 압축강도비를 비교한 결과, 잔골재의 입경 및 시멘트 복합체의 배합강도에 따른 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

### 3.3 휨거동 특성

그림 5는 각 수준별 시험체의 휨응력-변형곡선을 나타낸 것으로 잔골재의 종류에 관계없이 전반적으로 초기휨균열 전까지는 유사한 거동특성을 보이고 있으나 이후 골재의 입경에 따라 다소 상이한 변형특성을 나타내었다. 특히 배합강도 50MPa인 시리즈 II의 경우 1.2 및 2.5mm의 잔골재 입경을 갖는 시험체에서 초기균열 이후 최대내력까지 다른 시험체에 비해 매우 적은 변형량을 보이는 등 시멘트 복합체 내 PVA 섬유와 부착응력이 저하되는 특성을 나타내었다. 배합강도 30MPa인 경우, 그림

표 5 압축강도 및 휨성상 측정결과

시 리 즈	시험체명	단조가력	반복가력	초기균열		최대내력		압축강도비 (반복/단조)	휨강도비 (최대/초기)	휨변위비 (최대/초기)
		압축강도 $f_{cu}$ (MPa)		응력 (MPa)	변위량 (mm)	응력 (MPa)	변위량 (mm)			
I	30-PVA-SP	30.33	22.91	1.68	0.027	8.17	1.01	0.76	4.86	37.41
	30-PVA-NS(0.6)	29.95	29.29	1.01	0.013	7.61	1.04	0.98	7.53	80.00
	30-PVA-NS(1.2)	24.40	24.72	0.91	0.016	6.89	1.20	1.01	7.57	75.00
	30-PVA-NS(2.5)	22.80	26.73	1.09	0.023	6.76	1.60	1.17	6.20	68.09
II	50-PVA-SP	55.13	53.85	4.39	0.041	13.10	0.73	0.98	2.98	17.80
	50-PVA-NS(0.6)	43.81	42.37	3.75	0.034	11.71	1.09	0.97	3.12	32.06
	50-PVA-NS(1.2)	34.97	32.50	4.22	0.047	9.48	0.53	0.93	2.24	11.28
	50-PVA-NS(2.5)	45.16	43.43	2.61	0.020	8.47	0.42	0.96	3.24	21.00

5(a)에 나타난 바와 같이 규사를 사용한 30-PVA-SP 시험체에서 가장 높은 강도를 보였으며, 2.5mm의 잔골재를 사용한 30-PVA-NS(2.5) 시험체에서 최대내력시 다른 시험체에 비해 다소 큰 변형률을 나타내었다. 또한 초기균열 이후 최대내력시까지 보강섬유의 기여분에 관한 휨강도 및 휨변위비는 표 5에 나타난 바와 같이 규사를 사용한 30-PVA-SP 시험체에서 각각 4.86 및 37.41을 보여 가장 작게 나타났으며, 잔골재를 사용한 시험체의 경우 6.20~7.57의 휨강도비 및 68.09~80.00의 휨변위비를 보여 보강섬유의 가교작용에 따른 휨강도비는 개선되는 것으로 나타났다. 그림 5(b)에 나타난 바와 같이 배합강도 50MPa인 시리즈 II의 경우 50-PVA-NS(0.6) 시험체를 제외하고 잔골재 입경이 커짐에 따라 초기균열 이후 최대내력에 이르기까지 보강섬유의 가교작용에 의한 변형량 증가분이 감소되었으며, 최대내력 또한 저하되는 특성을 나타내었다. 특히 50-PVA-SP 시험체의 경우 13.10MPa의 최대내력을 보여 가장 높은 것으로 나타났으나, 이후 강도저하율은 다른 시험체에 비해 매우 급격히 나타나는 등 취성적 파괴특성을 보였다. 한편 배합강도에 따른 HPRCCs의 휨응력-변형에 대한 분석결과, 그림 5(b)에 나타난 바와 같이 50-PVA-NS(1.2) 및 50-PVA-NS(2.5) 시험체의 경우 최대휨응력까지의 휨변위량이 크게 감소하는 등 시멘트 복합체의 강도증가에 따른 변형량 감소가 심각한 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 잔골재의 입경 및 설계기준강도에 따른 PVA를 사용한 HPRCCs의 역학적 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PVA를 사용한 HPRCCs의 단조 및 압축거동특성은 잔골재의 입경에 따라 큰 차이를 나타내었으며, 골재의 입경이 증가함에 따라 전반적으로 최대압축응력 및 변형률은 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 단조가력에 대한 반복가력의 압축강도비를 비교한 결과, 잔골재의 입경 및 시멘트 복합체의 배합강도에 따른 영향은 적은 것으로 나타났다.
- 3) 보강섬유의 가교작용으로 인해 0.6mm의 잔골재를 사용한 시험체의 휨변위비가 32.06, 80.00로 가장 크게 나타났다.
- 4) 배합강도가 50MPa인 시험체의 휨강도 및 휨변위비가 30MPa인 시험체에 비해 약 50~60% 감소된 것으로 보아 고강도의 HPRCCs 제조시 시멘트 복합체의 강도특성을 고려한 보강섬유의 선정 및 섬유혼입율이 결정되어야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Victor C. Li, Large Volume, High-Performance Applications of Fibers in Civil Engineering, Journal of Applied Polymer Science, Vol.83, pp660~686, 2002
2. 윤현도, 양일승, 한병찬, 전에스더, 문연준(2004), "복합섬유보강 고인성 시멘트 복합체의 특성." 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 24(1), pp 27~30.
3. Kawamata, A, Mihashi, H. and Fukuyama, H., "Flexural failure properties of hybrid fiber reinforced cementitious composites", Proceedings of AIJ Tohoku Chapter Architectural Research Meeting, No.63, pp69-72(in Japanese), 2000
4. 社団法人, 日本コンクリート工學協會, "高韌性セメント複合材料を知る・作る・使う", 高韌性セメント複合材料の性能評價と構造利用研究委員會報告書, 2002.01