

초세립 미립자로 구성된 고성능 SFRC에서 강섬유의 혼입에 따른 인장강도의 변화

the Effect of Steel Fiber on the Tensile Strength of the High Performance Steel Fiber Reinforced Cementitious Composites

강 수 태* 고 경 택** 류 금 성* 김 성 욱*** 이 장 화****
Kang, Su Tae Koh, Kyung Taek Ryu, Gum Sung Kim, Sung Wook Lee, Jang Hwa

ABSTRACT

High performance SFRC composed of micro-sized ultra fine particles is characterized by high strength, high ductility and excellent durability. therefore many researches about materials based on new composition like this are performed recently. many researchers have reported that adding steel fiber to concrete improved its tensile and flexural strength significantly. the main objective of this research is to examine the effect of adding steel fiber on the tensile strength of high performance SFRC. variables considered in this study are w/c ratio and fiber volume fraction.

1. 서론

지난 3~40여 년 동안 섬유보강 복합체는 구조재료로서 매우 많은 분야에서 사용되면서 복합체의 역학적 성질에 많은 연구들이 이루어져 왔다. 콘크리트는 본질적으로 수많은 결함과 미세균열을 가지고 있다. 하중이 재하될 경우 이러한 미세균열의 급격한 진전으로 인해 낮은 인장강도를 나타내고 상대적으로 낮은 휨강도와 인성을 가지며 충격에 대해서도 저항성이 약하다. 일반적으로 강섬유보강 콘크리트가 직접인장 용력을 받을 경우, 모체 콘크리트 내의 강섬유는 인장용력에 의한 콘크리트 내의 균열 확산을 제어하고 강도 후 영역에서 균열을 가로질러 인장용력에 저항하는 강섬유의 뽑힘 작용에 의하여 인장강도 및 인성이 일반콘크리트에 비교하여 크게 증가하게 된다. 이것은 섬유가 미세균열의 진전을 구속하고 따라서 인장균열의 발생을 늦춰서 인장강도를 증진시키기 때문이다. 근래에 들어 이러한 문제점을 보완한 고성능 강섬유보강 시멘트 복합재료들의 현장 적용사례가 차츰 늘어가고 있다. 본 연구에서는 초세립 미립자로 구성된 고강도 시멘트 복합재료에 인성을 향상시키고 더불어 여러 가지 역학적 성능을 향상시키도록 강섬유를 혼합한 압축강도 100MPa 이상에 이르는 고성능 SFRC에서 강섬유의 혼입이 인장강도에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

*정회원, 한국건설기술연구원 연구원

**정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

***정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

****정회원, 한국건설기술연구원 기획조정실 기획조정실장

2. 초세립 미립자로 구성된 고성능 SFRC의 특성

초세립 미립자로 구성된 고성능 SFRC는 미세균열이나 공극과 같은 결함을 최소화하여 구성재료에 의해 정의되는 대부분의 잠재 극한하중을 전달하게 되고, 최소한의 결함으로 내구성에서도 향상된 성능을 가진다.

초세립 입자로 구성된 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 개발은 재료구성과 비빔방법, 그리고 탈형 후 열처리방법에 대한 기본적인 이론을 바탕으로 이루어진다. 초고성능 섬유보강 시멘트 복합재료는 다음과 같은 기본적인 원칙들을 적용하고 있다. 먼저 굵은 골재를 사용하지 않음으로써 동질성을 향상시키며, 밀도를 최대화하도록 초세립 구성입자분포를 통해 최적의 구성을 이루고, 탈형 후 열처리(90℃ 이상)를 통해 미세구조를 더욱더 치밀하도록 향상시킨다. 그리고 작은 크기의 강섬유를 혼입하여 연성(ductility) 향상시키며, 가능한 한 실제 적용 가능한 배합과 타설과정을 유지한다. 위의 원칙 중 앞선 세 개는 매우 높은 압축강도의 매트릭스를 구성하기 위해 적용한 원칙으로 연성에서는 일반 모르타르와 다를 바가 없다. 강섬유의 혼입으로써 인장강도를 향상시킬 뿐만 아니라 요구되는 연성확보가 가능하다. 표. 1은 초세립 미립자로 구성된 고성능 SFRC의 일반적인 재료특성으로 일반 콘크리트와 섬유보강 콘크리트와 비교하여 나타낸 것이다.

표. 1 초세립 미립자로 구성된 고성능 SFRC의 일반적인 재료특성

Properties	Plain Concrete	FRC	고성능 SFRC
압축강도	21~27MPa	30~50MPa	50~400MPa
휨강도	1~3MPa	5~15MPa	15~60MPa
탄성계수	21,000~35,000MPa	30,000~40,000MPa	< 50,000MPa
거동특성	Brittle	Quasi-Brittle	Ductility

3. 배합설계 및 실험방법

3.1 배합설계

초세립 미립자로 구성된 고성능 SFRC의 인장강도는 물결합재비와 섬유혼입률의 변화에 따른 영향으로 나누어 파악하였다. 물결합재비에 따른 인장강도의 변화는 섬유혼입률을 2%로 고정하고 물결합재비를 각각 0.16, 0.18, 0.2, 0.23, 0.26, 0.30으로 세분화하여 그 영향을 파악하고자 하였으며, 섬유혼입률에 따른 인장강도의 변화는 물결합재비를 0.2로 일정하게 하고 섬유혼입률을 각각 0, 1, 2, 3, 4, 5%의 여섯 가지로 나누어 그 영향을 파악하였다. 콘크리트 배합설계는 표. 2와 같으며, 물과 고성능감수제를 통해 요구되는 워커빌리티를 맞추었다.

표. 2 시멘트 복합재의 기본 배합표(중량비)

W/B	시멘트	실리카폼	충전재	잔골재	고성능감수제	강섬유 (×concrete volume)
0.16 ~ 0.3	1	0.25	0.3	1.1	0.004 ~ 0.016	0 ~ 0.05

시험체는 $\Phi 100 \times 200 \text{mm}$ 의 크기의 원주형으로 제작하였으며, 콘크리트 믹싱은 0.3m³ 용량의 강계식 회전 믹서기를 사용하였으며, 섬유는 진동을 이용한 섬유 투입기를 제작하여 일정한 비율로 균일하게 투입하였다. 양생은 탈형 후 20°C 수중에서 28일동안 양생을 실시하였다.

3.2 실험방법

인장강도 시험은 할렬인장시험을 실시하였으며, 100tonf 용량의 만능재료시험기를 이용하여 실험을 실시하였다.

4. 실험결과 및 분석

표. 3은 각 실험변수별 인장강도의 결과를 보여주고 있다. 물결합재비에 따른 고성능 SFRC의 인장강도의 결과를 보면 그림. 1과 같이 물결합재비 0.23 이하에서는 인장강도가 크게 변하지 않는 것으로 나타났으며, 그 이상의 물결합재비에서는 강도가 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이것은 실리카폼과 반응성 분체의 역할이 일부는 수화반응에 역할을 하고 일부는 공극을 메워서 높은 밀도를 만드는 채움재의 역할을 하는데 일정 값 이하의 낮은 물결합재비에서 반응성 분체의 양이 낮은 배합수량으로 인해 수화반응의 정도가 적게 일어나고 채움재의 역할이 상대적으로 커져서 치밀한 조직구성에 따른 인장강도 증가의 효과가 나타나지 않았기 때문으로 판단된다.

고성능 SFRC의 섬유혼입률의 변화에 따른 인장강도의 변화를 살펴보면 섬유의 혼입률이 증가할수록 인장강도가 현저히 증가하는 것을 볼 수 있으며, 일반적인 섬유보강 콘크리트에서 섬유몽침 현상으로 2% 이상에 대해서는 배합이 잘 이루어지지 않는 반면에 초세립 미립자로 구성된 고성능 SFRC에서는 높은 유동성을 가지면서 적절한 점착력을 통해서 섬유혼입률 5%에 대해서도 양호한 섬유분산이 이루어졌고, 인장강도의 결과를 보면 섬유가 없는 경우에 비해 약 3배 이상의 강도 증진이 있음을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 균열면에서 단위면적당 bridging 역할을 하는 섬유의 수의 증가로 인해 뽀뽀 저항력이 증가하여 나타나는 것으로 판단된다.

표. 3 실험변수 및 시험체 인장강도

No.	물결합재비 w/b	섬유혼입률 V_f (%)	할렬인장강도 (MPa)
1	0.2	0	8.21
2	0.2	1	12.63
3	0.2	2	14.50
4	0.2	3	15.12
5	0.2	4	17.49
6	0.3	5	23.16
7	0.16	2	14.86
8	0.18	2	15.10
9	0.23	2	14.50
10	0.26	2	14.91
11	0.3	2	9.20

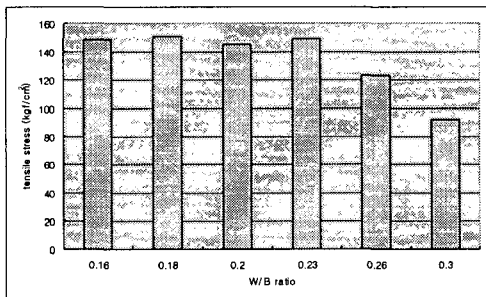


그림. 1 물결합재비에 따른 인장강도 변화

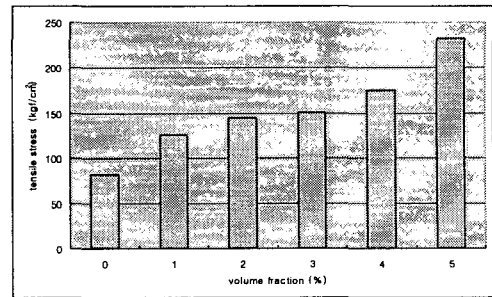


그림. 2 섬유혼입률에 따른 인장강도 변화

4. 결론

고성능 SFRC에서 물결합재비에 따른 인장강도의 변화는 물결합재비 0.23이하에서는 크게 변하지 않는 것으로 나타났으며 이것은 실리카폼과 반응성 분체와 같은 초세립 미립자가 일부는 수화물 생성에 관여하고 일부는 채움재로 작용하여 밀도는 높이는 데 관여하는데 이 두 가지 역할의 상호작용에 의해서 일정값 이하의 물결합재비에서는 인장강도의 증가가 나타나지 않는 것으로 판단된다. 섬유혼입률에 따른 고성능 SFRC의 인장강도 변화 결과를 살펴보면 섬유혼입률이 증가할수록 강도가 증가하고 섬유혼입률 5%에 대해서는 섬유가 없는 경우와 비교할 때 3배 이상의 강도증진을 볼 수 있었다. 또한 초세립 미립자로 구성된 매트릭스가 높은 점성으로 섬유혼입률 5%까지 섬유뭉침 현상이 나타나지 않고 양호한 섬유분산성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건교부 2003년도 산·학·연 과제 '초고성능 시멘트 복합재료를 활용한 교량거더 개발'에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Shah, S. P. and Rangan, B. V., "Fiber Reinforced Concrete Properties", Journal of ACI, Proceedings, Vol. 68, No. 2, 1971.
2. Colin D. Johnston, "Steel Fiber Reinforced and Plain Concrete: Factors influencing Flexural Strength Measurement", ACI Journal, March-April, 1982, pp. 131-138.
3. M. Iman, L. Vandaele and F. Mortelmans, "Indirect Tensile Strength of very High Strength Concrete", Utilization of High Strength Concrete, Symposium in Lillehammer Norway, June, 1993, pp. 1114-1121.
4. M. Behloul, G. Bernier and M. Cheyrezy, "Tensile Behavior of Reactive Powder Concrete(RPC)", 4th International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, Paris, 1996.