

섬유 보강 시멘트 복합체의 시공성 향상에 관한 연구

A Study on the Improvement for Construction Performance of Fiber Reinforced Cementitious Composites

고경택* 박정준** 류금성** 강수태** 안기홍**
Koh, Kyung-Taeg Park, Jung-Jun Ryu, Gum-Sung Kang, Su-Tae Ahn, Ki-Hong

ABSTRACT

This study present the experimental research investigating the influence of material factors such as a type or amount of superplasticizer, velocity agent, mineral admixture and steel fiber on the construction performance of fiber reinforced cementitious composites. As for the test results, it was found that the workability of fiber reinforced cementitious composites can be improved when the material factors were matched properly in amount and composition. Furthermore, it was shown that the smaller value of the aspect ratio of fiber improved the workability of fiber reinforced cementitious composites. And the fiber reinforced cementitious composites with better workability showed the enhanced compressive strength and flexural strength.

1. 서론

최근 종래의 섬유보강콘크리트(Fiber Reinforced Concrete, FRC)보다 성능이 진일보된 다양한 고인성 섬유보강 시멘트 복합체가 개발되어 국내외적으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 고인성 섬유보강 시멘트 복합체의 연구는 대부분 역학적 성능이 초점에 맞추어 이루어지고 있으나, 시공성에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 고인성 섬유보강 시멘트 복합체의 특징인 변형경화(straining hardening)와 무수한 미세 균열(multi-cracking)이 분산되는 특성을 실현시키기 위해 섬유 및 매트릭스의 특성, 섬유와 매트릭스와의 부착강도, 매트릭스의 공기량 등의 영향을 받지만, 섬유를 다량으로 사용하여 균등 분산시키는 것이 무엇보다 중요하다. 일반적으로 섬유를 다량으로 사용하면 배합 중에 섬유공침(fiber ball) 현상이 발생하여 유동성, 시공성이 저하되어 경우에 따라서 소요의 역학적 특성을 얻지 못하는 경우가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 섬유보강 시멘트 복합체의 소요 워커빌리티를 확보하고, 복합체 내의 섬유 분산성을 향상시키는 방안에 대해 검토하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료 및 기본배합

본 연구에서 사용한 재료를 표 1에 나타내었다. 물-결합재비(W/B) 35%, 모래-결합재비(S/B) 50%, 단위수량 350kg/m³, 강섬유 혼입율 2.0%(체적)으로 기본배합으로 구성된 섬유보강 시멘트 복합체를 대상으로 증점제, 고성

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

능감수제, 혼화재, 강섬유의 종류 및 양 등이 시공성에 미치는 영향을 검토하였다.

3.2 배합방법 및 시험방법

배합은 3리터 모르타르용 믹서를 사용하였으며, 배합순서는 그림 1과 같다. 섬유보강 시멘트 복합체의 위커빌리티는 플로우시험(KS L 5105)에 의해 유동성으로 평가하였으며, 또한 육안관찰에 의해 재료 분리 상태를 평가하였다. 그리고 섬유의 분산성은 육안으로 관찰하여 모르타르 중의 fiber ball의 상태에 따라 등급 1(양호), 2(보통), 3(불량)으로 구분하여 평가하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 고성능감수제의 영향

그림 1은 고성능감수제의 종류와 양이 섬유보강 시멘트 복합체의 유동성 및 섬유 분산성에 미치는 영향을 검토한 결과이다. 본 실험에 사용된 폴리카본산계 고성능감수제는 정전기전인 반발력과 고분자 흡착층의 상호작용에 의한 입체반발력(입체장해 작용)에 의해 높은 감수효과가 발휘되고, 멜란민계 고성능감수제는 정전기적인 반발력에 의한 효과가 지배적으로 알려져 있다. 본 연구에 의하면 폴리카본산계 고성능감수제의 경우에는 첨가량이 증가할수록 플로우값이 증가하였고 fiber ball 현상도 없는 것으로 나타났으며, 시멘트 중량의 0.5%를 사용한 경우에 플로우값이 200mm이상의 고유동성을 얻을 수 있으며, 시멘트 중량의 1% 정도에서 fiber ball 현상도 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 멜란민계 고성능감수제는 첨가량을 증가시키더라도 매트릭스의 유동성 및 섬유의 분산성 향상에 거의 효과가 없는 것으로 나타났다.

이상과 같이 섬유보강 시멘트 복합체 제조 시 고성능감수제가 섬유분산성과 매트릭스의 유동성에 미치는 영향을 검토한 결과, 폴리카본산계 고성능감수제는 멜란민계 고성능감수제보다 효과가 있으며, 이것은 감수제의 흡착에 의한 입체장해 효과가 유동성 향상에 역할을 한 것으로 판단된다.

표 1 사용재료 및 물성

사용재료	기호	물성
시멘트	C	보통포틀랜드시멘트, 비표면적 3,333cm ² /g, 밀도 3.15g/cm ³ , MgO 2.8%, SO ₃ 2.3%
혼화재	FA	플라이애시, 비표면적 3,618cm ² /g, 밀도 2.80g/cm ³ , 강열감량 3.8%, SiO ₂ 55.9%
	BS	고로슬래그, 비표면적 4,358cm ² /g, 밀도 2.91g/cm ³ , SiO ₂ 34.5%, Al ₂ O ₃ 15.8%
	SF	실리카폼, 비표면적 240,000cm ² /g, 밀도 2.10g/cm ³ , 강열감량 1.5%, SiO ₂ 96.0%
모래	S	6호 규사, 20~30mesh 90%, SiO ₂ 95%
섬유	F1	강섬유, 양단후크형, L35×D0.7mm
	F2	강섬유, 양단후크형, L30×D0.5mm
고성능감수제	SP1	폴리카본산계
	SP2	멜란민계
증점제	VL	비이온성 셀룰로오스계

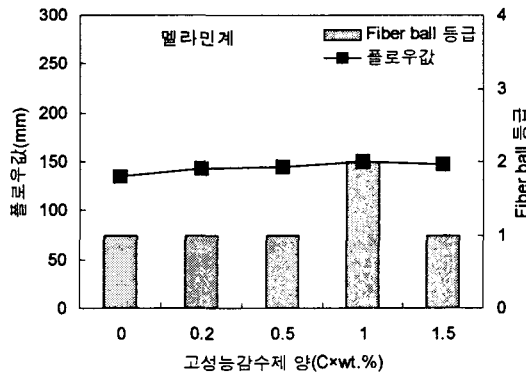
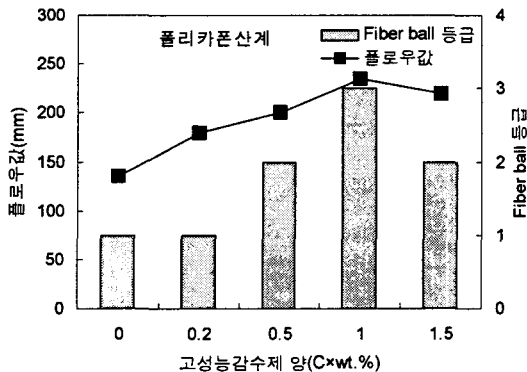


그림 1 고성능감수제의 종류 및 양이 섬유분산성에 미치는 영향

3.2 증점제의 영향

그림 2는 증점제의 사용방법에 따른 영향을 검토한 결과이다. 셀룰로오스계 증점제는 수용성이지만, 배합시간 안에 완전히 용해되지 않아 증점제의 역할을 충분히 발휘되지 않을 가능성이 높은 것으로 알려져 있어 본 연구에서는 분말형 증점제와 분말형 증점제를 20% 수용액으로 제조한 다음 증점제 수용액으로 사용하는 방법에 대해서도 검토하였다. 증점제를 분말형으로 사용한 경우에는 첨가량이 증가할수록 플로우값이 감소하는 것으로 나타났으나, 증점제를 수용액으로 사용한 경우에는 분말형에 비해 시멘트 중량에 0.2%까지는 플로우값이 감소가 큰 것으로 나타났으나, 그 이후에는 플로우값이 거의 일정하고 fiber ball 현상이 거의 없는 것으로 나타났다.

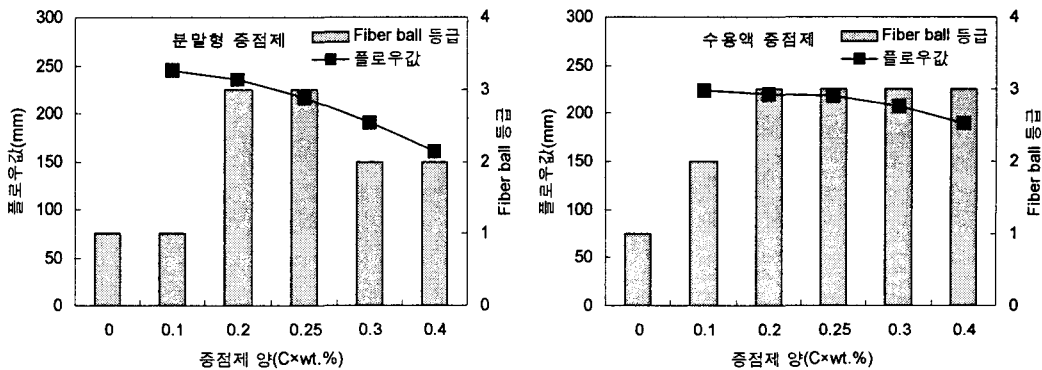


그림 2 증점제 사용방법 및 양이 섬유분산성에 미치는 영향

3.4 무기질 혼화재의 영향

그림 3은 무기질 혼화재가 섬유보강 시멘트 복합체의 섬유분산성과 유동성에 미치는 영향을 검토한 결과이다. 고로슬래그 치환율 30% 까지 매트릭스의 유동성이 향상되는 것으로 나타났고, 이것은 무기질 혼화재를 첨가함으로써 볼베어링 효과 등에 의한 영향으로 사료된다. 그리고 고로슬래그 50% 이상부터 모르타르의 유동성이 저하되는 것으로 나타났으며, 이것은 혼화재를 다량으로 첨가함으로써 슬러리 중의 입자 표면적이 증가하여 흡착할 고성능 감수제 양이 부족하였기 때문으로 추정되며, 고성능감수제 양을 증가시키며 유동성은 다시 증가될 것으로 추정된다.

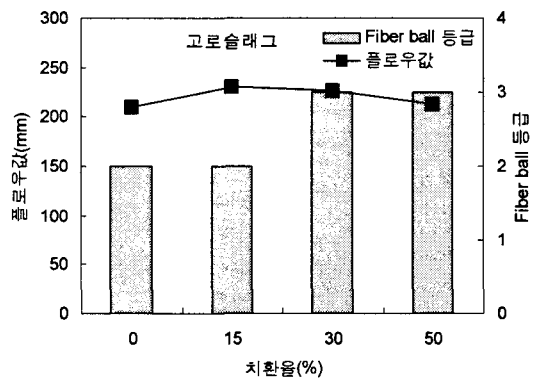


그림 3 고로슬래그의 영향미치는 영향

이상과 같이 고로슬래그 등과 같은 무기질 혼화재를 적절한 양으로 치환하여 사용하면, 모르타르의 유동성이 향상되고 섬유의 분산을 안정화시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

3.4 강도시험 결과

그림 4는 압축강도와 휨강도로 강섬유의 혼입률이 증가할수록 압축강도와 휨강도가 증가되었다. 그리고 휨시험의 하중-변위 곡선에 의하면, 강섬유를 혼입하지 않은 시멘트 복합체는 균열 발생 하중에 도달한 후 급격한 하중이 저하되는 취성파괴가 발생하였으나, 강섬유 보강 시멘트 복합체는 강섬유

의 혼입률이 증가할수록 최초의 피크 하중은 초기 균열 발생 하중에 나타나고, 그 후 하중이 저하되면서 변형이 진행되는 연성효과가 발생하여 휨인성이 크게 증가되고 있음을 알 수 있다. 이처럼 강섬유를 다량으로 사용할수록 강도 및 인성이 향상되는 것은 강섬유의 가교작용에 의해 매트릭스에 발생하는 균열을 제어했기 때문이고, 이런 가교작용은 강섬유를 다량으로 사용하더라도 강섬유가 매트릭스 내에 안정적으로 분산되었기 때문이다.

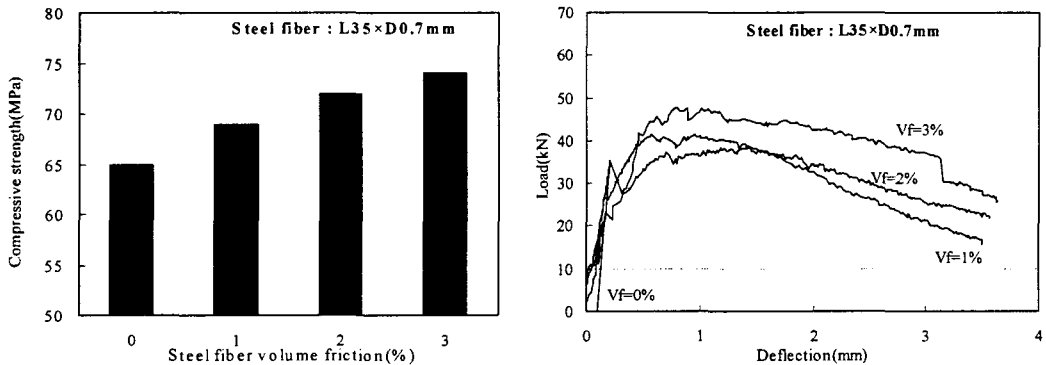


그림 4 압축강도, 휨강도 시험결과

4. 결론

본 연구에서는 고인성 섬유보강 시멘트 복합체의 소요 워커빌리티를 확보하고, 복합체 내에 섬유 분산성을 향상시키는 방법에 대해 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 섬유보강 시멘트 복합체 제조 시 폴리칼폰산계 고성능감수제는 멜란민계 고성능감수제보다 섬유의 분산성과 매트릭스의 유동성 향상에 유효하며, 증점제를 수용액으로 사용하는 방법은 분말형으로 사용한 방법보다 섬유보강 시멘트 복합체의 시공성 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다.
- (2) 고로슬래그 등과 같은 무기질 혼화재를 적절한 양으로 치환하여 사용하면, 모르타르의 유동성이 향상되고 섬유의 분산을 안정화시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.
- (3) 강섬유의 분산성이 향상된 강섬유 보강 시멘트 복합체는 섬유의 혼입률이 증가할수록 압축강도, 휨강도 및 휨인성이 향상되었다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발, 2005. 12.
2. Li, V. C. and Leung, C. K. Y., "Steady-state and multiple cracking of short random fiber composites, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.118, No.11, pp.2246-2264, 1992.
3. Naaman, A. E. and Reinhardt, H. W., "High performance fiber reinforced cement composites 2(HPFRCC 2)", E&FN Spon, 1996.
4. "新・コンクリート用混和材料 技術と市場", シーエムシー, 1988.