

고인성 시멘트 복합체에 의해 보수된 보 부재의 내하력 평가

The Evaluation of Flexural Performance of Beam of Repair as High Toughness Cementitious Composites

류 금 성* 고 경 택** 박 정 준* 안 기 홍* 윤 필 용*** 김 진 수****
Ryu, Gum Sung Koh, Kyung Taeg Park, Jung Jun Ahn, Ki Hong Yoon, Pil Yong Kim, Jin Su

ABSTRACT

In this study, the beam which is repaired as high toughness cementitious composites evaluated on flexural performance. As for the test results, it was found that high toughness performance of beams of the repair as high toughness cementitious composites showed more better than the existing repair method and demonstrated about 95% semi-reinforcement to compare with reinforcement of carbon fiber sheets of one layer without interface and brittle failure. Therefore, applying on using PVA fiber reinforced high toughness cementitious composites, the repaired concrete structures can be increased to flexural performance.

1. 서 론

우리나라는 급속한 경제발전을 시작한 1970년 이후 새로운 구조물의 건설이 대단위로 이루어져 왔으며, 국토 개발계획에 따른 신고속도로 및 고속철도의 건설, 신공항 건설, 댐, 발전소 건설 등과 수도권 주택문제의 해결을 위한 신도시 건설, 행정수도 건설 및 수도권 일원의 재개발 사업에 따른 고층구조물의 건설 등 콘크리트 구조물로 구성된 많은 사회기반 시설물이 활발하게 건설되고 있다.

이런 상황을 대응하기 위해 국내에서도 다양한 보수재료 및 공법을 사용하고 있으나, 보수층의 들뜸 및 균열 등의 하자가 발생하는 등 근본적인 해결방안이 되지 못하고 임시적 조치에 불과한 결과를 초래하고 있으며, 이러한 반복적인 보수공사와 시행착오로 지출되는 사용비용은 엄청나게 증가하고 있는 실정이다.

한편 최근 PVA 섬유 또는 강섬유 등을 다양으로 혼입한 다양한 고인성 시멘트 복합체가 개발되어 여러 분야에 적용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 고인성 시멘트 복합체는 경제성 저하의 이유로 현장에서 대량으로 타설이 필요한 구조물 본체의 적용보다는 소량으로 대응할 수 있고 기존 제품에 대해서도 가격면에서 대체 가능한 단면복구재 등의 보수재료로 적용이 현 시점에서 유망한 것으로 판단된다. 그러나 국내에서는 고인성 시멘트 복합체에 의해 보수된 부재에 대한 성능을 체계적으로 검토한 사례가 많지 않다.

따라서 본 연구에서는 PVA 섬유 혼입 시멘트 복합체가 보수재료로서 현장에 안정적으로 활용되기 위해 보수된 보 부재의 휨내하력 실험을 통해 보수 성능을 평가 하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

*** 정회원, 원하종합건설(주) 과장

**** 정회원, 원하종합건설(주) 전무이사

2. 고인성 시멘트 복합체의 역학적 특성

표 1은 고인성 시멘트 복합체의 역학적 특성 시험 개요 및 결과를 나타내고 있다. 시험항목으로는 보수재료로서 규정된 KS F 4042[콘크리트 구조물 보수용 폴리머 모르타르]에 준하여 평가하였다. 그 결과, KS F 4042의 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

표 1. 섬유복합 모르타르 공법의 물성 결과

항목	시험결과	품질기준
압축강도(MPa)	56.3 (57.2)	20.0 이상
휨강도(MPa)	13.0 (17.4)	6.0 이상
부착강도 (MPa)	표준	2.0 (2.1)
	냉온반복 후	1.8 (1.9)
내알칼리성	55.1	20.0 이상
중성화 저항성(mm)	1.6	2.0 이하
투수량(g)	1	20 이하
물흡수계수($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$)	0.04	0.5 이하
습기투과저항성(Sd)	0.3	2 m 이하
염소이온침투저항성(Coulombs)	343	1,000 이하
길이변화율(%)	-0.021	± 0.15 이내

(섬유혼입율 1.2%, 가로안은 섬유혼입율 1.5%)

3. 휨내하력 성능 평가

3.1 실험개요

고인성 시멘트 복합체의 휨내하력을 평가하기 위한 시험체는 그림 1과 같이 300×300×2,400 mm으로 하였고 표 2에는 시험체 종류 및 적용된 공법의 개요를 나타내었다. 무보강 시험체(Plain)는 2개를 제작하였고, 고인성 시멘트 복합체를 적용한 시험체는 보강 두께를 30mm, 50mm로 하였으며, 섬유 혼입률은

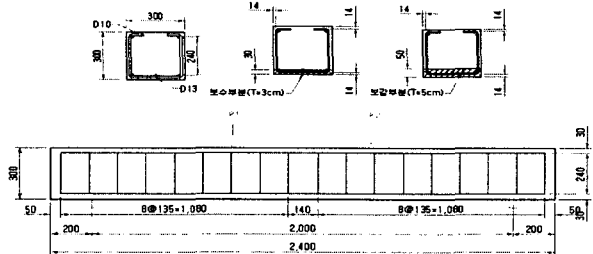


그림 1. 시험체 개요

1.2%, 1.5%로 총 3개를 제작하였다. 고인성 시멘트 복합체와 비교하기 위해 단면복구제로 많이 사용되는 폴리머계 보수물탈공법 및 탄소섬유슈트를 1점으로 보강한 보강공법을 적용한 시험체도 제작하였다.

3.2 실험방법

휨내하력 실험은 4점 재하 휨 실험방법에 의해 실시하였고, 하중 재하는 100 tonf UTM을 사용하였고, 그림 2와 같이 초기의 비균열 단면과 균열단면의 강성을 조사하기 위하여 2 tonf, 4 tonf, 6 tonf 까지는 하중제어를 하였으며, 그 이후에는 변위제어를 이용하여 파괴시까지 재하 하였다. 시험체의 측정 항목은 하중에 대한 수직변위, 인장철근의 변형률, 콘크리트의 변형률, 그리고 재하실험 중 및 종료 후에 균열양상을 관찰하였다.

3.3 시험체 제작

시험체 제작에 사용된 콘크리트는 굵은 골재 최대 치수 25mm, 설계기준강도 24 MPa를 사용하였

고, 철근은 SD30을 사용하여 시험체를 제작하였다.

3.4 시험 결과

표 3은 고인성 시멘트 복합체의 휨 내하력 시험결과를 하중-변위관계 및 인장철근의 변형률 결과이다. 그림 3은 하중-변위관계를 나타내고 있으며 그림 4는 인장철근의 하중-변형률곡선을 나타내고 있다. 주철근의 항복변형률은 주철근의 강종이 SD30임으로 항복강도를 $f_y = 350MPa$ 로 가정하여, 주철근의 항복변형률 $\mu\epsilon = 1,750$ 이 되는 하중(P_y)으로 정의하였다. 또한 보강 실험체들의 항복하중(P_y)을 무보강 실험체 및 탄소섬유 보강실험체의 항복하중(P_y)에 대한 비로 나타내었다.

기준 실험체인 Plain 1과 Plain 2의 거동은 유사하게 나타났으며, 최대하중은 약 13 tonf, 항복하중 및 항복변위는 각각 9.8 tonf에 4 mm로 나타났다.

최근 보강공법으로 많이 사용되는 탄소섬유 슈트를 1겹 부착시에는 기준 실험체에 비하여 최대강도는 기준 실험체에 비하여 50.7% 증가를 보였으나, 15.6 mm 변위에서 섬유 파손이 발생하여 그 연성능력은 현저히 감소되는 것으로 나타났다. 또한, 인장철근의 변형률의 증가율은 기준 실험체와 유사한 약 4 tonf에서 증

가를 보였으며 항복 변형률은 기준 실험체보다 약 3 tonf 이 증가한 12.76 tonf에서 나타났다. 그리고 보강효과는 기준 실험체에 비해 1.3배 정도로 나타났다. 따라서 탄소섬유 슈트 보강공법은 시공 초기 내하력에 대해서는 보강효과가 있으나, 파괴 시 섬유와 콘크리트와의 계면에서 급작스런 파괴, 즉 취성 파괴가 발생할 수 있으므로 주의 할 필요가 있다.

기준 단면복구재를 적용한 실험체인 경우에는 기준 실험체에 비하여 강도 및 강성 모두 증가를 없으

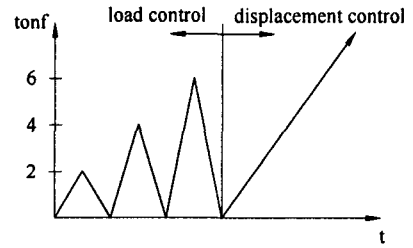


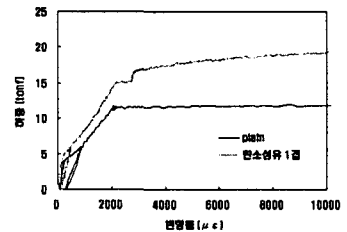
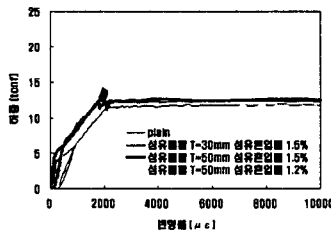
그림 2. 하중 재하방법

표 2. 시험체 종류와 적용 공법

구분	시험체 종류	본수	규격	비고
Plain	무보강시험체	2본	Plain	
보수공법	고인성 시멘트 복합체	PVA1.5-T30	1본 T=30mm	$V_f=1.5\%$
		PVA1.2-T50	1본 T=50mm	$V_f=1.2\%$
		PVA1.5-T50	1본 T=50mm	$V_f=1.5\%$
기존공법	A사 보수물탈	1본	T=50mm	기존공법
보강공법	기존	탄소섬유보강공법	1본	탄소섬유 1겹
	계		8본	

표 3. 시험 결과

실험체	하중-변위 결과			P_y (평균)	인장철근의 변형률	
	최대하중 (tonf)	항복하중 (tonf)	항복변위 (mm)		보강/무보강	보강/탄소2겹
plain 1	13.358	9.86	3.99	9.82	1.00	0.77
plain 2	12.989	9.79	4.19			
PVA1.5-T30	14.089	12.17	5.04	12.17	1.24	0.95
PVA1.2-T50	14.895	11.79	4.57	11.79	1.20	0.92
PVA1.5-T50	15.187	12.10	4.27	12.1	1.23	0.95
A사 보수물탈	12.509	9.93	4.57	9.93	1.01	0.78
탄소섬유 1겹	20.135	12.76	4.52	12.76	1.30	1.00



므로 기존 단면복구재로는 보강효과를 기대할 수 없을 것으로 판단된다. 또한 기준시험체와 인장철근의 변형률이 거의 차이가 없는 것으로 나타난 바 보강효과는 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

고인성 시멘트 복합체를 적용한 실험체 3종류 모두 최대강도 및 강성의 증가를 확인할 수 있었다. 3종류 실험체 중에서 보강두께 50mm에 섬유 혼입률 1.5%인 실험체의 최대강도와 강성이 제일 크게 나타났으며, 기준 실험체 보다 최대강도는 약 15%, 항복강성은 약 17%의 증가를 나타내었다. 또한, 섬유의 혼입률 및 보강 두께에 관

계없이 기준 실험체에 비하여 항복변형률이 발생하는 하중이 1.2배 증가하였으나, 실험체 종류에 대한 차이는 거의 없는 것으로 분석되었다. 따라서 FCSM 공법도 보강효과가 있으므로 내구성과 내하력 등을 종합적으로 고려할 경우에는 단면복구재와 보강효과가 조합된 공법으로 충분히 적용가능할 것으로 판단된다.

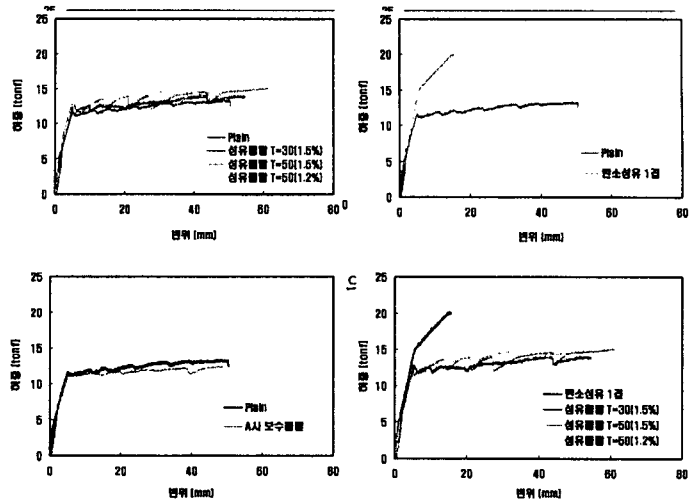


그림 3. 하중-변위관계

4. 결론

PVA 섬유 혼입 고인성 시멘트 복합체로 보수된 보 부재 및 기존 단면복구재와 보강공법에 대해 각각 4점 재하 휨 실험으로 내하력을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기존의 단면복구재는 내하력 증진 효과가 거의 나타나지 않았고, 기존의 1겹으로 보강된 탄소 섬유쉬트 보강공법은 초기의 내하력 보강효과가 크게 나타났으나, 계면파괴 및 취성파괴로 인해 연성이 저하되는 등의 문제점이 있는 것으로 분석되었다.
- (2) 고인성 시멘트 복합체는 기존의 단면복구재에 비해 내하력 증진효과가 크게 나타날 뿐만 아니라 계면파괴 및 취성파괴가 없이 연성이 향상되는 등 내하력 증진효과가 향상되어 기존의 보강공법과 거의 동일한 수준(탄소섬유쉬트 1겹 보강의 95% 수준)으로 보강효과가 나타나 준보강 효과가 있을 것으로 분석된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, “콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발, 2005. 12.
2. Victor C. Li(2002), Large Volume, High-Performance Applications of Fibers in Civil Engineering, Journal of Applied Polymer Science, Vol.83.