

# 하이브리드FRP 탄소계 리브 및 탄소섬유시트 보강 콘크리트의 자가진단 기능 검토

## Self-diagnosis property of strengthened concrete by rib of hybrid FRP and carbon fiber sheet

박석균\*      김대훈\*\*  
Park, Seok-Kyun    Kim, Dae-Hoon

### ABSTRACT

For giving self-diagnosing capability, a method based on monitoring the changes in the electrical resistance of carbon materials in strengthened concrete has been tested. Then after examining change in the value of electrical resistance of carbon materials used as a rib of CFGFRP or a sheet of carbon fiber before and after the occurrence of cracks and fracture in hybrid FRP or carbon fiber sheet strengthened concrete at each flexural weight-stage, the correlations of each factors were analyzed.

#### 1. 서론

사회기반시설을 구축하는 다양한 토목분야의 주요구조부재에 스마트구조물과 같은 자가진단 시스템을 도입하려는 연구가 최근 크게 각광받고 있다. 이러한 시스템이 실현될 수 있다면, 각종 재해에 대해 생명과 재산을 보전할 수 있어 안전성 향상에 기여함은 물론, 내구성이나 노후화 점검에도 유효하여 구조물의 장수명화에 따른 라이프사이클코스트의 저감으로도 이어질 수 있다.

이와 같은 목적을 위한 연구로서 저자 등이 앞서 발표한 논문<sup>1)</sup>에서는 CFGFRP(Carbon Fiber Glass Fiber Reinforced Plastic), CFAFRP(Carbon Fiber Aramid Fiber Reinforced Plastic) 등의 하이브리드형 로드를 이용해 내부 CF의 전기적 특성과 역학적 특성 변화로부터 콘크리트의 파괴 자가진단 기능에 대하여 검토한 바 있다. 그러나 이번에는 역시 전기적 전도성이 있는 카본과 코크 분말재료를 섬유보강 로드의 리브재로 활용한 경우와 콘크리트 보강재로 많이 활용되고 있는 탄소섬유(CF)시트를 사용한 경우, 이들 재료의 파괴 자가진단 센서로서의 이용가능성에 대해서도 검토하였다.

#### 2. 실험조건

콘크리트의 배합은 설계기준강도 28N/mm<sup>2</sup>의 보통 콘크리트 배합표에 의해 배합하였으며, KS F 2403과 KS F 2407에 따라 휨강도용 시험체(보강로드삽입형, 보강시트부착형)를 각각 제작하였다. 콘크리트의 배합조건은 표 1과 같다.

\*정회원, 대전대학교 공과대학 토목공학과 부교수

\*\*정회원, 대전대학교 대학원 토목공학과 석사과정  
표 1. 콘크리트 배합조건

Gmax. (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	s/a (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )				AE제 (g/m <sup>3</sup> )
					W	C	S	G	
20mm	10cm	5%	44%	42%	185	439	671	962	132

상기 콘크리트 시험체에 대하여 보강근으로 이용한 CFGFRP 로드와 탄소섬유시트(CFS)의 특성을 표 2에 나타내었다. 사용된 섬유는 장섬유 다발류음상이다. 전체 실험은 보강로드삽입형, 보강시트부착형으로 나누어, 각각 사용 보강재료로서는 환형 CFGFRP(CF 3.3 Vol.%)+코크스&탄소분말 리브, CF시트로 대별하여 실시하였다. CFGFRP(CF 3.3 Vol.%) + 코크스&탄소분말 리브는 리브가 부착되지 않은 원형 로드와 코크스&탄소분말을 에폭시본드로 접착하여 리브로 사용하였다(그림 1). 또한 탄소섬유시트(CFS)는 무보강근의 휨강도 시험체의 하부면에 에폭시본드로 부착하였다(사진 2).

표 2. 본 실험에 이용한 각종 FRP 로드 보강근의 특성

섬유 종류		특성치	로드직경 (mm)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	전기저항 (Ω)	시험체 No.
로드	CFGFRP (CF 3.3 Vol.%)	GFRP	11	2500	0.437×10 <sup>5</sup>	6.0	CG1~CG2
시트	CFS	-	-	3500	2.35×10 <sup>5</sup>	30k	CFS1~CFS2

그림 2에는 이들 재료를 콘크리트 보강근으로 제작한 시험체의 휨 파괴 실험과 측정개요도를 나타내었다. CFS로 제작한 시험체도 동일 방식으로 측정하였다. 측정은 콘크리트의 처짐과 휨 인장변형률-CF의 전기저항-하중의 관계를 얻기 위해 LVDT, 스트레인게이지와 전기저항 측정기, 로드셀을 이용하였다. 또한, 실험에 사용된 환형CFGFRP(CF 3.3 Vol.%) + 코크스&탄소분말 리브 실험에서는 접착성과 부착성에 주안점을 두어 그림 3과 같은 형태의 리브형으로 제작하였다.

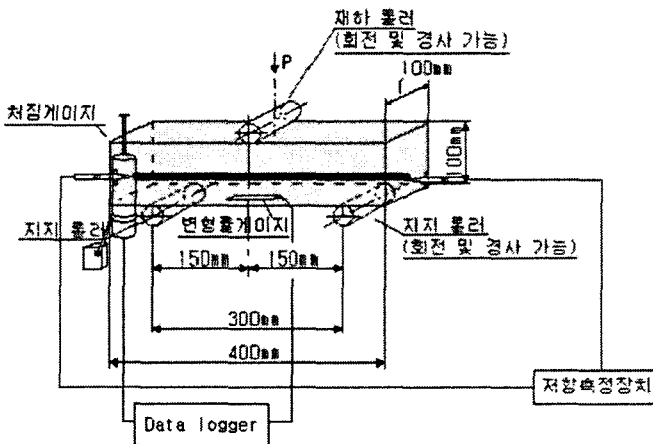


그림 2. 시험체의 치수와 실험방법 개요 (단위:mm)



그림 1. CFGFRP (3.3 Vol.%) + 코크스&탄소분말 리브 형태

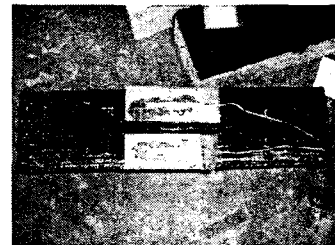


사진 1 CF시트 보강 시험체

### 3. 결과 및 고찰

그림 3, 4는 CFGFRP(CF 3.3 Vol.%) + 코크스&탄소분말 리브와 CF시트 시험체의 인장재하 시의 처짐 단계별 전기저항-하중의 관계를 나타내었다.

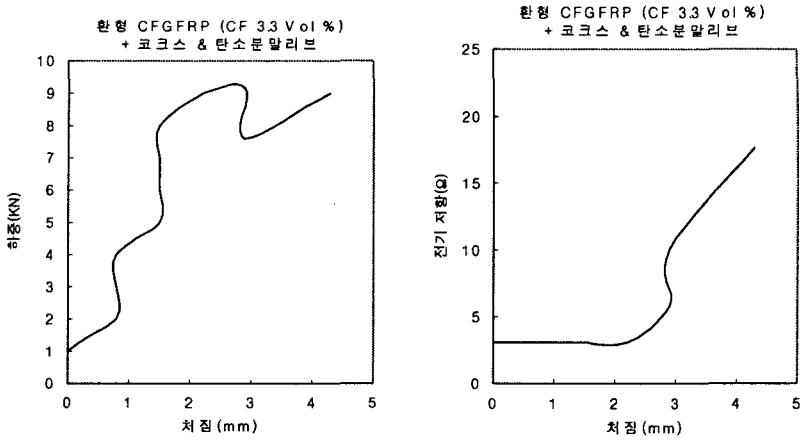


그림 3. 환형 CFGFRP(CF 3.3 Vol.%) + 코크스 & 탄소분말 리브 콘크리트

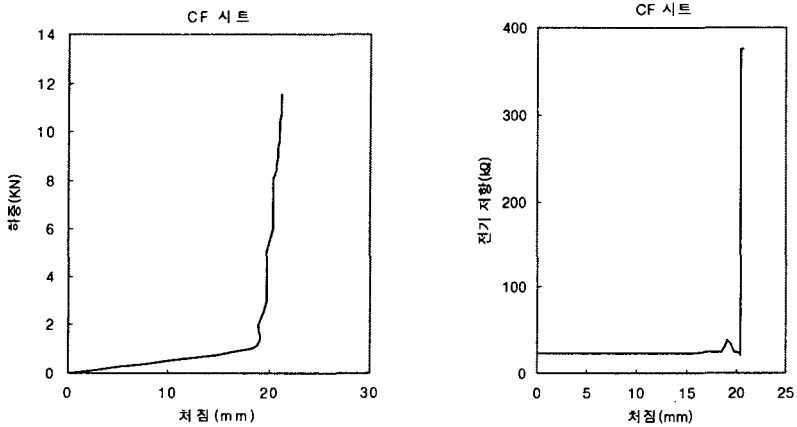


그림 4. CF시트 콘크리트

한편, 그림 5, 6은 상기 2조건에 대해 재하하중단계별 콘크리트 시험체의 처짐, 휨인장변형률, 콘크리트 내부에 삽입된 또는 외부에 부착된 CF의 전기저항변화를 나타낸 것이다.

이상의 결과에서 알 수 있는 바와 같이, 카본과 코크분말로 제작한 리브의 조기 미끄러짐 현상 발생으로 인해 정확한 결과를 얻을 수는 없었지만, CF시트의 경우는 파괴되기 전 단계부터 파괴에 이르기까지 전기저항이 수직에 가깝게 급격히 변하는 위치에서는 이미 CF시트의 상당부분이 파괴된 것을 의미하지만, 콘크리트를 포함한 전체 시험체가 파괴되기까지는 하중증가곡선이 계속 유지되고 있어, 파괴예측센서로서의 역할을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

이 실험을 통해 카본과 코크분말로 제작한 리브의 정착성을 조금더 향상시킨다면 이형리브를 부착한 CFGFRP(CF 3.3 Vol.%)의 결과<sup>1)</sup>와 흡사한 결과값을 얻을 수 있을 것으로 사료되며, 이렇게 되면 CF로드의 센싱기능과 입체적인 성능을 발휘할 수 있어 더욱 안정적이고 정확한 파괴예지기능을 부여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, CF시트를 사용하는 경우에서도 시트의 배치상태나 형태에 따라 다소

파괴모드에 차이를 나타낼 수 있는 문제가 노출되었으나, 이들 문제점을 개선할 경우, 로드를 사용한 경우와 같은 유사한 결과가 얻어져, 이 역시 구조체의 파괴정보 예측 센서로서의 가능성이 있음을 알 수 있었다.

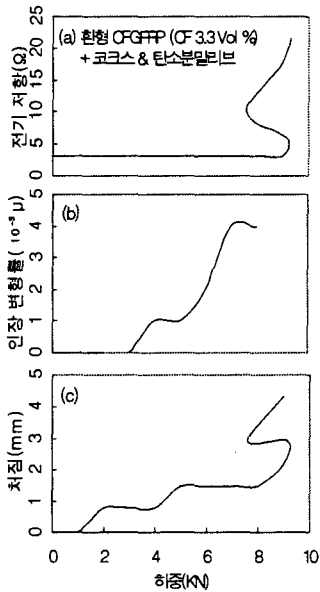


그림 5. 환형CFGRP(CF3.3Vol.%) + 코크스 & 탄소분말 리브 콘크리트

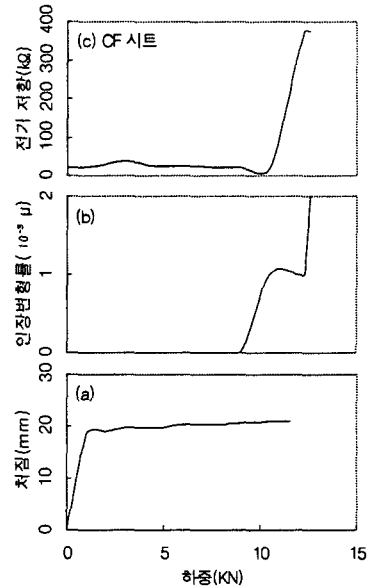


그림 6. CF시트 콘크리트

#### 4. 결론

본 연구에서 제안된 환형 CFGRP(CF 3.3 Vol.%) + 코크스 & 탄소분말 리브는 부착성 보안을 통해 미끄러짐 현상을 개선할 경우, 콘크리트의 파괴하중까지 충분한 기계적 여유를 부여할 수 있기 때문에 파괴 정보예측을 위한 자가진단 센서로서의 역할을 기대할 수 있다. 또한, CF보강시트에 대해서도 보다 개선된 사용방법을 강구할 경우, 이 역시 보강과 센서재료로서의 양자 역할이 가능할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 산학연 공동연구개발사업에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다. 또한, FRP로드 제작에 협조하여 주신 (주)동원건설에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 박석균, 김대훈, “하이브리드 FRP보강근 콘크리트의 손상 자가진단” 2005 KCI가을학술발표회논문, Vol.17 No.2 p.233-237, 2005