

CFGFRP 복합재료를 이용한 콘크리트 자기진단 모니터링

Self Diagnosis Monitoring System of Carbon and Glass Hybrid Fiber Materials for Concrete Structures

박 석 균* 김 대 훈**
Park, Seok Kyun Kim, Dae Hun

ABSTRACT

Self diagnosis monitoring system is defined as concrete structural carbon and glass hybrid fiber materials, in response to the change in external disturbance and environments, toward structural safety and serviceability as well as the extension of structural service life.

In this study, carbon and glass hybrid fiber materials were investigated fundamentally for the applicability of self diagnosis in smart concrete structural system as embedded functions of sensors.

1. 서 론

사회기반시설을 구축하는 다양한 토목·건축분야의 주요구조부재에 스마트구조물(smart structure)과 같은 지적구조시스템을 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 장수명에 따른 라이프사이클코스트의 저감으로도 이어질 수 있다. 토목·건축분야에서는 소위 파괴예지센서로서 건전성 모니터링(health monitoring)의 기능만이라도 실용화 될 수 있다면, 이러한 효과는 크게 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

이와 같은 목적을 위한 기초연구로서 CFGFRP(탄소섬유-유리섬유강화 플라스틱)로드를 이용하여 자기진단 소재로서의 적용성에 대하여 검토하였다. 본 연구는 일본에서 기 연구된 CFGFRP(탄소섬유-유리섬유강화 플라스틱)로드의 자기진단 센서로서의 기능을 확인하기 위한 차원에서 실시되었다.

2. CFGFRP 복합재료의 파괴예측특성 제어

스마트구조물의 궁극적 목표는 구조재료 그 자체가 센서기능을 갖는 것이다. 탄소섬유를 인텔리젼트 센서로서 이용하는 것은 이와 같은 목적에 가장 부합되고 실용적 전망이 가장 밝다.

탄소섬유강화플라스틱(CFRP)에는 도전성이 있고, 그 도전특성을 이용해 그 소재내부의 손상상태를 파악하는 것이 가능하다. 그런데, 탄소섬유는 큰 강도를 갖지만, 무른 특성을 갖기 때문에 파단개시부터 파단에 이르기까지의 여유가 작은 결점이 있다. 따라서 탄소섬유만으로 보강한 복합재인 CFRP에 센서기능을 갖게 하는 것은 매우 어려운 문제를 수반한다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 개발된 것

*정회원, 대전대학교 토목공학과 부교수

**정회원, 대전대학교 대학원 토목공학과 석사과정

이 탄소섬유유리섬유강화플라스틱(CFGFRP)이다. 즉, CFGFRP재료는 그 구성재료의 탄소섬유단은 도전성 재료이고, 또 탄소섬유의 한계신장률이 유리섬유보다 작기 때문에 이 복합재료를 서서히 인장가력하면 그 신장에 따라 탄소섬유가 조금씩 파단하기 시작해 탄소섬유단의 전기저항치를 계측하고 있으면 서서히 변형률에 따라 저항치가 증가된다. 더욱 하중을 증가시키면 CFGFRP재는 파단되지 않지만, 탄소섬유는 완전히 파단되어 전기저항치는 무한대로 큰 값이 된다. 이 단계에서 하중을 제거하면 CFGFRP재는 거의 원래대로 복원되지만, 파단된 탄소섬유는 원래상태로는 돌아가지 않아 전기저항치가 원래상태보다 큰 값을 나타낸다. 이로부터 사전에 하중-변형률-전기저항의 잔유치 관계를 조사해 두면 전기저항잔유치로부터 부재에 작용한 최대하중 혹은 구조부재의 최대변형률을 무응력상태에서 추정할 수 있게 된다.

이러한 자기진단 기능을 갖는 하이브리드 FRP로드의 형상은 그림 1과 같이 제작하며, 탄소섬유와 유리섬유의 최적 함유율은 다음 실험을 통해 정하였다.

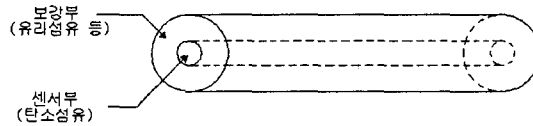


그림 1 자기진단형 CFGFRP의 제조 형상

연속섬유를 일정 이상 포함한 CFGFRP복합재료의 강도는 제1차 근사식으로서 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_c = f_{CF}V_{CF} + f_G V_G + f_m'(1 - V_{CF} - V_G) \quad (1)$$

여기서, $f_c, f_{CF}, f_G, V_{CF}, V_G$ 는 각각 복합재료, 탄소섬유, 유리섬유의 강도 및 탄소섬유, 유리섬유의 체적 함유율이고, f_m' 는 유리섬유의 파단변형률에 대한 매트릭스응력이다.

CFRP복합재료와 같은 단독섬유 사용의 경우에는 탄소섬유의 파단·전기저항 변화와 더불어 CFRP복합재료가 파단된다. CFGFRP복합재료의 경우에는 탄소섬유가 파단된 후에는 식(2)와 같이 유리섬유의 존재에 의해 하중을 받아낼 수 있다.

$$f_c = f_G V_G + f_m' V_m \quad (2)$$

여기서, V_m 은 매트릭스의 체적함유율이다.

CFGFRP복합재료는 탄소섬유의 파단·전기저항 변화가 생기더라도 유리섬유와 복합재료의 파단까지 충분히 기계적 여유가 있다. 유리섬유가 파단된 후에는 CFGFRP복합재료의 강도는 식(3)에 나타난 바와 같이 매트릭스의 내하한계가 된다.

$$f_c = f_m' V_m \quad (3)$$

이 경우에는 작은 강도의 매트릭스이기 때문에, 유리섬유의 파단과 더불어 복합재료는 급속하고 불안정한 파괴를 일으킨다. 본 연구에서 사용한 CFGFRP복합재료는 섬유다발을 축방향으로 배열해서 그 방향으로 인장하기 때문에, CFGFRP복합재료의 종탄성계수 E_c 는 병렬모델로서 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_C = E_{CF}V_{CF} + E_G V_G + E_m V_m \quad (4)$$

여기서, E_{CF} , E_G , E_m 은 각각 탄소섬유, 유리섬유, 매트릭스의 종탄성계수이다.

복합재료의 파단은 섬유와 매트릭스의 연성특성에 의존하지만, CFGFRP복합재료로서는 최초로 고탄성율의 탄소섬유로 하중을 받아내고, 탄소섬유가 파단된 후에는 낮은 비용으로 고연성을 갖는 다수의 유리섬유로 하중을 받아내고 있다. 뛰어난 하이브리드 복합재료의 파괴예측재료로서의 설계는 도전성 섬유와 비도전성 섬유의 특성을 고려한 활용이 중요하다.

3. 실험

이상의 하이브리드 FRP로드를 콘크리트 보강근으로 이용하였을 경우의 자기진단 특성을 검토하기 위해 다음과 같은 실험을 실시하고 있으며, 이미 시험체 제작이 완료된 상태이다.

콘크리트의 배합은 설계강도 28MPa의 보통 콘크리트 배합표에 의해 배합하였으며, KS F 2403과, KS F 2407에 따라 압축강도용 시편과, 휨강도용 시편을 각각 제작하였다. 콘크리트의 배합조건은 <표 1>과 같다.

참고로 <사진 1>에 시험체 제작과정을 나타내었다.

<표 1> 시험용 콘크리트 배합조건

굵은 골재 최대 치수 (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	물-시멘트 비 (%)	잔골재율 (%)	단위재료량 (kg/m ³)				혼화제 AE제 (g/m ³)
					물	시멘트	잔골재	굵은 골재	
20mm	10cm	5%	44%	42%	185	439	671	962	132

각 휨강도용 공시체에서는 섬유로드의 종류에 따라<표 2>와 같이 탄소섬유로드와 아라미드섬유로드로 보강한 것과, 보강하지 않은 일반 콘크리트를 비교 시험하였다.

<표 2> 섬유로드보강 콘크리트 시험체 형태

종 류	개 수	시편 No.	비 고
탄소 FRP 로드	3개	C1~C3	휨강도용 시편 (10*10*40)
아라미드 FRP 로드	3개	A1~A3	
무보강	3개	N1~N3	

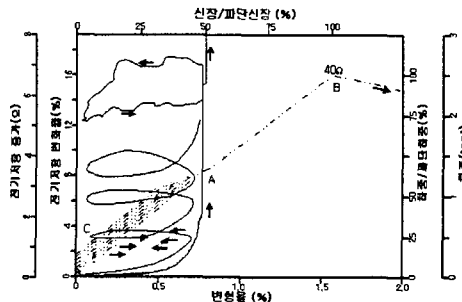


그림 2 PAN-HMCF를 사용한 CFGFRP의 변형율-전기저항-하중관계

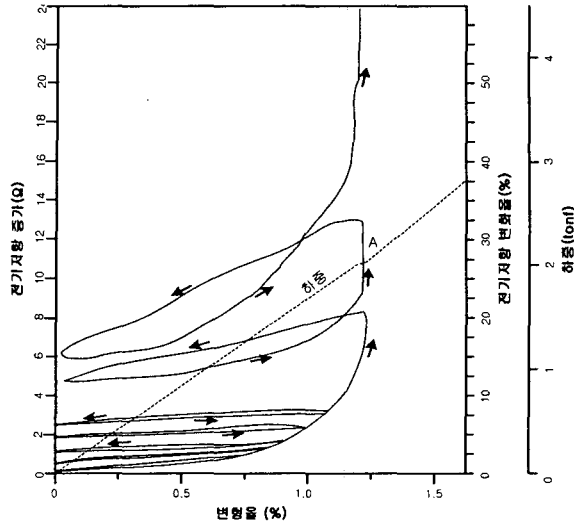


그림 3 pitch-HPCF를 사용한 CFGFRP의 변형률-전기저항-하중관계

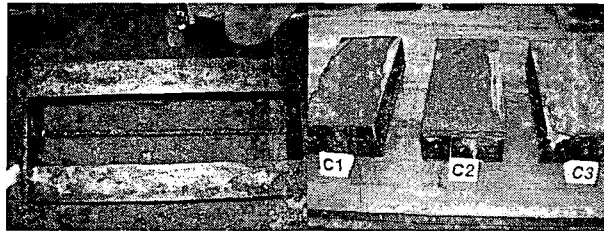


사진 1 탄소 FRP 로드 보강근 콘크리트의 시험체 제작

4. 결 론

콘크리트 시험체내에 보강근으로서 3종류의 섬유 즉, pitch HPCF(피치계 고성능), PAN-HMCF(PAN계 고탄성), PAN-HSCF(PAN계 고강도)에 대해서 실험을 통해 얻은 인장재하 시의 대표적인 변형률-전기저항증가율-하중의 관계로부터 알 수 있는 바와 같이, 탄소섬유(CF)의 평균파단 신장위치(변형률이 약 1%되는 수직선상에서 하중증가곡선과 만나는 위치)에서 CF단이 대량으로 파단되는 때에 하중변화는 미소함에 비해 전기저항은 대단히 크게 변화하고 있다. 그 후는 CF단보다 큰 극한파단신장을 갖는 GF단이 하중을 받아내고 있다. 하중곡선이 증가에서 감소로 바뀌는 꺾임 위치이후의 파괴하중까지 충분한 기계적 여유가 있다. 따라서 평균파단 신장위치의 큰 전기저항변화를 통해 본 연구에서 언급한 자기진단 모니터링 기능이 가능함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 武藤 外, 炭素・ガラス複合纖維筋補強コンクリートにおける損傷の自己診断, No.576, Feb. 1995
2. 杉田, 스마트コンジット-VI, 日本複合材料學會誌, Vol.23, No.5, 1997