

자기진단 재료로서의 콘크리트 보강용 탄소유리복합섬유로드의 적용성 검토

Self Diagnosing Property of Carbon and Glass Hybrid Fiber Materials for Concrete Strengthening

박 석 균* 이 병 재**
Park, Seok Kyun Lee, Byung Jae

ABSTRACT

Smart structural system is defined as structural system with a certain-level of autonomy relying on the embedded functions of sensors, actuators and processors, that can automatically adjust structural characteristics, 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. 자기진단 재료로서의 작용 원리

스마트구조물의 궁극적 목표는 구조재료 그 자체가 센서기능을 갖는 것이다. 탄소섬유를 인텔리젠트

* 정회원, 대전대학교 토목공학과 조교수

** 정회원, 대전대학교 대학원 토목공학과 석사과정

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 것이 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 무용력상태에서 추정할 수 있게 된다.

또한, 무엇보다도 전기저항치가 무한대로 될 때를 신호보고하도록 하면 CFGFRP가 파괴되기 전에 파괴를 예지할 수 있다. 탄소섬유의 한계신장률을 여러 가지 다르게 함으로써 파괴예지의 감도를 조정할 수 있다. 이들 재료는 이미 실용화가 도모되고 있고, 제일 많이 이용되고 있는 것은 은행의 현금창구 등의 경비방법용 인텔리젠티기능으로서 금고실 벽과 천장, 바닥에 사용되고 있다.

3. 사용재료 특성

CFGFRP(탄소섬유-유리섬유강화 플라스틱)의 재료특성을 표 1에 나타내었다. 파괴정보센서역할을 담당하는 CF(탄소섬유)는 다른 신장단계에서 발신이 가능하도록 파단신장이 다른 3종류의 시판섬유 즉, pitch HPCF(피치계 고성능), PAN-HMCF(PAN계 고탄성), PAN-HSCF(PAN계 고강도)를 사용하였다. CF는 범용 저저항률 섬유이면서 저항측정 중에 주위 온도의 영향이 없는 섬유이다. 보호역할의 GF(유리섬유)는 복합섬유로드가 CF의 파단에도 최종파괴 되지 않도록 CF보다 훨씬 큰 파단신장과 작은 중탄성률 특성을 갖는 섬유이다. 사진 1에는 이들 탄소섬유의 일부와 철근을 비교해 나타내었다.

표 1 CFGFRP의 재료특성

섬유종류	특성치	인장강도 (kgf/mm ²)	탄성계수 (tonf/mm ²)	섬유직경 (μ m)	전기저항률 Ω (cm)
탄소섬유	pitch-HPCF	260	24.5	10.0	150
	PAN-HMCF	300	35.0	6.8	260
	PAN-HSCF	400	24.0	7.0	245
유리섬유		250	7.4	16.0	-

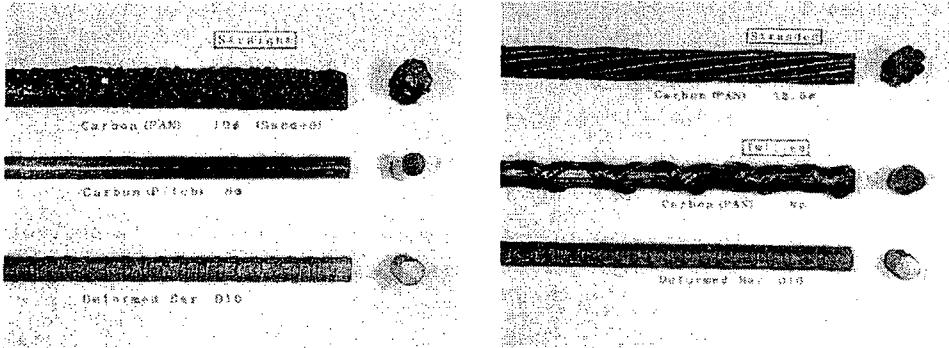


사진 1 각종 탄소섬유로드와 철근의 예

4. 실험

CFGFRP 시험체의 치수와 실험방법을 그림 1에 나타내었다. 변형률-전기저항-하중의 관계를 얻기 위해 변형률게이지와 전기저항 측정기, 로드셀을 이용하였다.

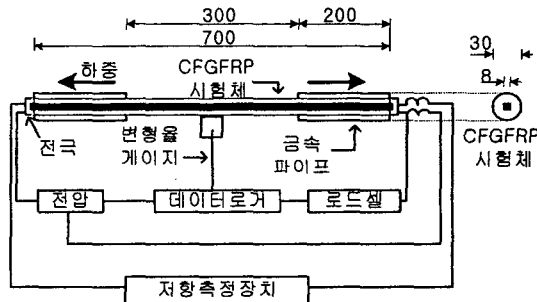


그림 1 실험 개요 (단위:mm)

5. 결과 및 고찰

상기에서 언급한 3종류의 시판섬유 즉, pitch HPCF(피치계 고성능), PAN-HMCF(PAN계 고탄성), PAN-HSCF(PAN계 고강도)에 대해서 실험을 통해 얻은 인장재하 시의 대표적인 변형률-전기저항증가율-하중의 관계를 그림 2~그림 4에 나타내었다.

본 그림들에서 알 수 있는 바와 같이 탄소섬유(CF)의 평균과단 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 극한과단신장을 갖는 GF단이 하중을 받아내고 있다. 하중곡선이 증가에서 감소로 바뀌는 꺾임 위치이후의 파괴하중까지 충분한 기계적 여유가 있다. 따라서 평균과단 신장위치(변형률이 약 1%되는 수직선상에서 하중증가곡선과 만나는 위치)의 큰 전기저항변화는 CFGFRP의 치명적 파괴를 방지하는 정보로서 이용할 수 있다.

즉, 평균과단 신장위치(변형률이 약 1%되는 수직선상에서 하중증가곡선과 만나는 위치)는 큰 과단신장의 CF단을 이용한 경우에 고 왜곡측으로 이행되고 있어, 평균과단 신장위치는 CF단의 극한과단

신장의 크기에 의존한다. 이는 치명적 파괴로의 경고위치(평균파단 신장위치(변형률이 약 1%되는 수직선상에서 하중증가곡선과 만나는 위치))를 CF단의 파단신장특성에 따라 쉽게 제어할 수 있음을 나타내고 있다. 따라서 보다 저 파괴신장의 도전섬유가 개발되면 더욱 초기 변형률단계로부터 치명적 파괴방지의 정보를 얻을 수 있음을 알 수 있어 본 CFGFRP 하이브리드 로드의 자기진단 센서로서의 역할은 충분히 가능할 것으로 전망된다.

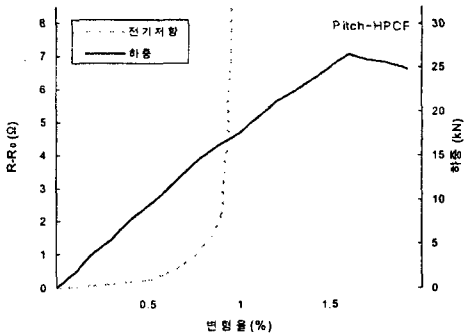


그림 2 Pitch-HPCF를 사용한 CFGFRP의 변형률-전기저항-하중관계

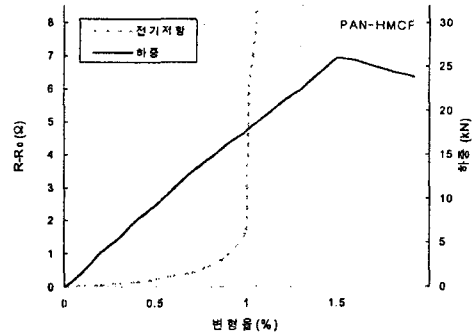


그림 3 PAN-HMCF를 사용한 CFGFRP의 변형률-전기저항-하중관계

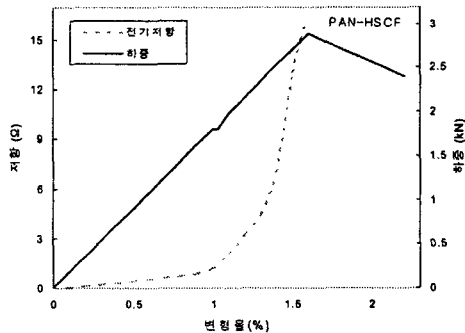


그림 4 PAN-HSCF를 사용한 CFGFRP의 변형률-전기저항-하중관계

6. 결 론

CFGFRP재료는 그 구성재료의 탄소섬유단을 센서로 이용하여 하중변화에 따른 전기저항치를 계속 하고 있으면 서서히 변형률에 따라 저항치가 증가되고, 더욱 하중을 증가시키면 탄소섬유는 완전히 파단되어 전기저항치는 무한대로 큰 값이 된다. 이 단계에서 부재의 위험성을 예지할 수 있게 되고 GF 단이 나머지 하중에 저항하게 되어 CFGFRP재는 파단 되지 않는다. 따라서 이와 같은 특성을 이용하면 충분히 자기진단재료로서 적용 가능함을 알 수 있다.

참고문헌

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, 스마트콘크리트-VI, 日本複合材料學會誌, Vol.23, No.5, 1997