

Hybrid FRP Rod의 개발 과 인장특성

The Development on Hybrid FRP Rod and Its Tensile Properties

곽계환* , 심종성** , 문도영*** , 장화섭****

Kwak, Kae Hwan · Sim, Jong Sung · Moon, Do Young · Jang, Hwa Sup

ABSTRACT

Utilization of new lighter materials, more tough and durable than existing materials, is getting larger in recent constructions. FRP, stronger and lighter than present materials, can be formed in various shapes and has high durability, which makes it more profitable as a new material in construction fields. However, effort to use FRP in real construction is toddling and FRP is used primarily as reinforcing material in concrete structure. We are about to develop Hybrid FRP Rod for the development of advanced construction material which is based on IT, by Hybridization of FRP, spotlighted as new construction material, and optical sensor in smart measurement. Beforehand, it is required to fully understand the properties of tension test operated in Hybrid FRP Rod. For this, a specimen was made by hybridization of FRP Rod and FBG sensor. Strain of Hybrid FRP Rod was measured comparing electric sensor and FBG sensor.

1. 서 론

최근 건설 구조물에 있어서 기존의 건설 재료보다 더욱 경량화되고, 더욱 큰 인성과 내구성을 가지는 신소재의 활용이 늘어나는 추세이다. 특히 고강도이면서 경량화 소재인 FRP(Fiber Reinforced Polymers)는 뛰어난 성형성으로 인해 다양한 형상으로 가공이 가능하며, 높은 내구성을 가지고 있으므로 건설 재료로서 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 국내외의 경우 FRP를 건설 재료로서 활용하려는 노력이 활발히 진행되고 있지만 아직은 초보적인 단계이며, 주로 콘크리트 구조물의 보강 재료로서 활용되고 있는 실정이다.

유지관리계측용으로 광섬유 브래그 격자 센서(Fiber Bragg Grating Sensor)를 사용하는 경우 전기저항식 센서 계측에 비해 장기적인 안전성이 탁월하고, 노이즈의 문제가 거의 없으며 경량이어서 설치가 쉽고 다중 측정 및 네트워크링이 가능하여 대상구조물의 전체적인 거동 파악이 용이한 것으로 평가 받고 있다.

본 연구에서는 상기한 바와 같이 새로운 건설재료로 각광받고 있는 FRP와 스마트 계측분야의 광섬유 센서와의 기능 복합화(Hybrid)를 통해 IT(Information Technology)를 기반으로 한 선진적인 건설소재 개발을 위하여 Hybrid FRP Rod를 개발하고자 한다.

* 정회원 · 원광대학교 토목환경, 도시공학부 교수

** 정회원 · 한양대학교 토목환경공학과 교수

*** 한양대학교 토목환경공학과 박사과정

**** 원광대학교 토목환경공학과 석사과정

이를 위하여 기본시험으로 Hybrid FRP Rod의 인장시험에 대한 특성을 파악토록 한다. 이 방법은 FRP Rod와 FBG(Fiber Bragg Grating)센서를 복합화하여 시편을 특수 제작하였다. Hybrid FRP Rod의 변형율의 측정은 전기저항식 센서와 광섬유 브래그 격자 센서를 비교하여 실시한다.

2. FRP와 광섬유 센서의 특징

2.1 FRP의 인장특성

FRP 재료는 인장력 작용 시 파단 전에 소성거동(항복)을 보이지 않는 것이 특징이다. FRP 재료의 인장 거동은 파단될 때까지 선형-탄성 응력-변형을 관계를 갖는다. FRP재료 중 보강섬유가 주 하중전달 모재이기 때문에, 보강섬유의 종류·배양·혼입량이 FRP재료의 인장특성을 좌우한다. FRP시스템의 특성은 섬유판 전체 단면적 또는 순섬유 단면적에 근거한다. 이 두 개의 차이는 다음과 같다.

■ 섬유판 전체 단면적 : FRP시스템의 섬유판 전체 단면적은 양생된 FRP시스템의 전체 두께를 사용하여 구한다. 이 때 전체 두께는 보강섬유와 모든 수지를 포함한다. 섬유판 전체 단면적은 사전-양생 섬유판 특성을 나타내는 데에 일반적으로 사용되며, 양생두께가 일정한 반면, 보강섬유와 수지의 상대적 비율이 조절된다.

■ 순섬유 단면적 : FRP시스템의 순섬유 단면적은 보강섬유의 면적을 사용하여 구하며, 수지를 포함하는 양생 시스템의 전체 두께는 무시한다. 순섬유 단면적은 제조된 섬유시트로부터 장에서 수지를 시공하는 함침 적층식 공법에 일반적으로 사용된다. 함침 적층식 공법과정에서는 섬유량과 수지량을 조정하여 다루기가 용이하다. 섬유판 전체 단면적을 사용할 경우, 상대적으로 두께는 커지고, 강도와 탄성계수는 작아진다. 순섬유 단면적을 사용할 경우, 상대적으로 두께는 작아지고, 강도와 탄성계수는 커진다. 그러나 이들 값들에 상관없이 내하력과 강성은 동일하다. 여기서 순섬유 단면적에 근거하여 나타난 특성은 단순히 보강섬유의 특성만이 아니라 보강섬유-수지 시스템과 섬유조직에 의해 결정된다. 모든 FRP시스템의 역학적 특성은 이들 형태에 상관없이 섬유 특성과 더불어 섬유판 실험에 근거해야 한다.

2.2 광섬유 센서

2.2.1 광섬유 기본이론 및 특성

광섬유(Optical Fiber)란 빛의 전반사 원리를 이용하여 진공상태에서 정보를 가진 빛을 광속의 약 2/3속도로 정보의 손실을 최소화하면서 유도하여 정보를 전달할 수 있는 유리로 된 가는 실이다. 이러한 광섬유의 구조는 다음과 같다.

- ① Glass Core : 빛의 전달 매개체 (9 or 50 μm)
- ② Cladding : 광섬유의 혼신을 막는 코팅 (125 μm)
- ③ Jacket : 보호를 위한 피복 (250 μm)

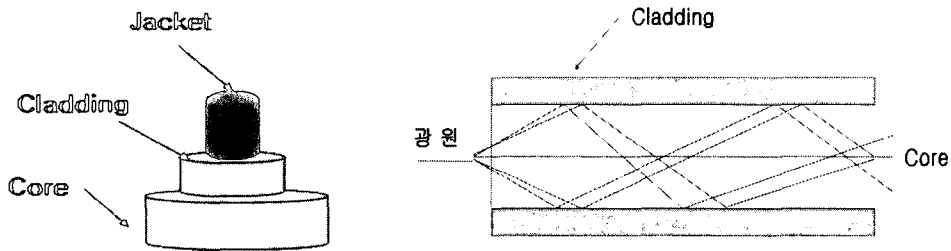


그림 1. 광섬유 센서 구조

2.2.2 광섬유 센서 시스템의 기본 구성과 특징

전형적인 광섬유 센서 시스템은 광원, 광섬유 센서, 광검출기 그리고 신호처리 부분으로 구성되어 있다. 광원은 주로 반도체로 만들어진 레이저 다이오드가 많이 사용되고 있으며 레이저 다이오드는 크기가 매우 소형의 경량화된 시스템을 구성할 수 있다. 광섬유 센서 시스템의 특징은 다음과 같다.

- ① 전자유도를 받지 않기 때문에 잡음이 적다.
- ② 불꽃을 내지 않기 때문에 방폭성이 있다.
- ③ 부식에 강하다.
- ④ 경량이다.

2.3 Hybrid FRP Rod

FRP 보강근의 철근을 대체하는 재료로써 성능뿐만 아니라 비용의 문제를 고려하여 GFRP를 기본으로 하였으며, 콘크리트와의 부착성능의 향상을 위하여 철근과 같은 이형 돌기를 설계하였다. 또한 광섬유센서의 경우 FBG 센서가 사용 및 설치의 간편성과 기준값의 소실우려가 없다는 측면에서 현재 토목구조물의 센서로써 유리하다는 평가가 되고 있다는 점과 기술지원이 쉬운 점을 감안하여 우선적인 연구대상으로 고려하였다. 다만 FBG 센서의 경우 국부계측용 센서로써 구조물의 측정범위가 작다는 문제점이 있다. 따라서 추후 본 연구를 위하여 다양한 광섬유센서의 고려가 필요한 것으로 판단된다.

3. Hybrid FRP Rod의 시험원 및 시험방법

다음의 그림 2는 개발된 Hybrid FRP Rod의 상세를 나타내고 있다. Hybrid FRP Rod는 철근에 비해 약 10배 이상의 비강도를 보유한 복합체로서 구조적 모체 역할을 하는 FRP 내에 FBG Sensor를 인발성형시 함께 부착하여 FRP와 일체거동을 이루도록 하였으며, Rib와 FRP에 의해 보호되고 있다. 또한 FRP표면의 Rib는 구조물간의 부착성능을 확보하기 위해 미세섬유인 Milled Fiber로 제작된 인공의 Rib를 사용하였다.

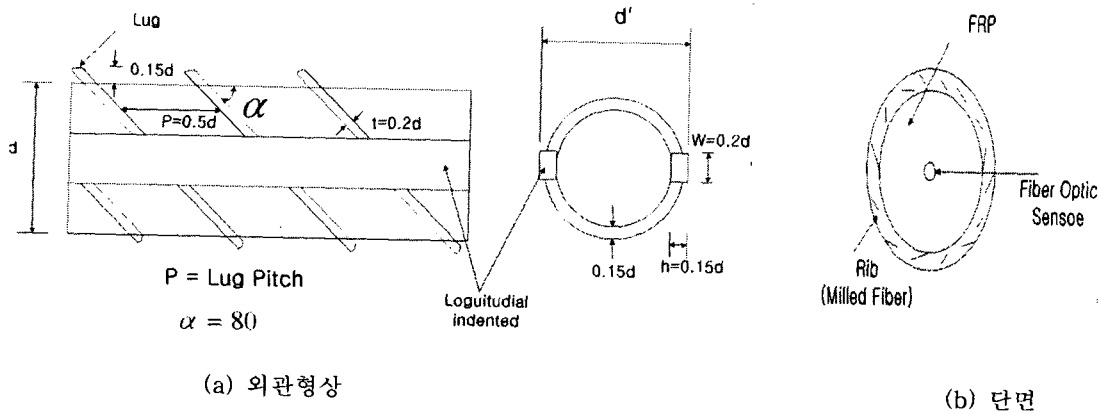


그림 2. Hybrid FRP Rod 단면

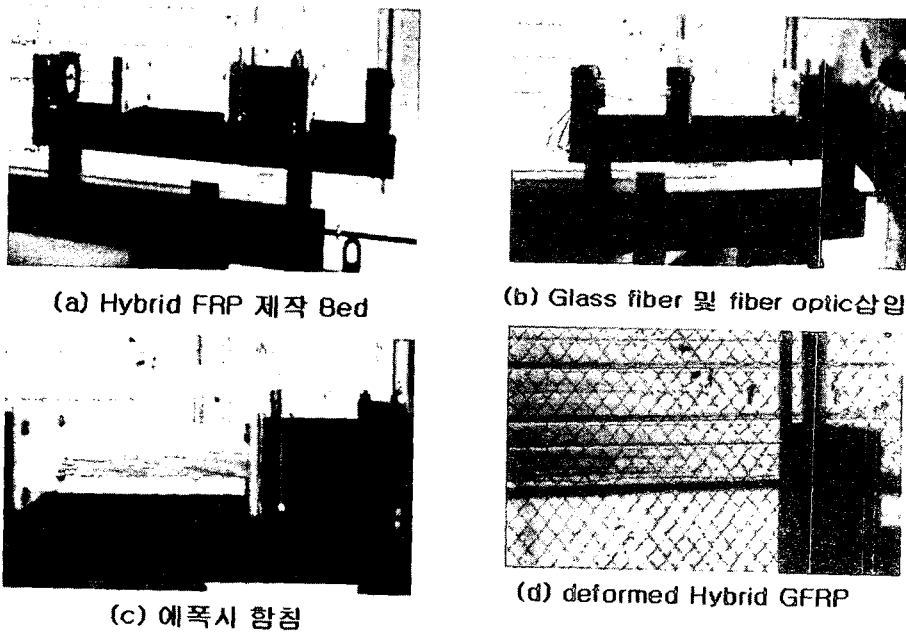


그림 3. Hybrid FRP Rod 제작 사진

상기 그림 3은 Hybrid FRP Rod의 제작과정을 나타내고 있다. 제작시 특별한 고려사항은 고온 양생으로 인한 FBG 센서의 소멸과 인발성형시 센서의 인장파괴이다. 따라서 제품의 양생시 온도제어를 통해 센서기능이 소멸되지 않는 양생온도 및 지속시간을 결정하였다. 또한 Fiber Optic의 인발력에 의한 절단 문제를 해결하기 위해 FBG센서를 FRP섬유와 동시에 삽입하여 일체화 시킨 후 인발시 FRP 섬유만을 당겨 Fiber Optic의 절단 가능성을 미연에 방지 하였다.

시험편은 데이터의 신뢰도와 오차 등을 고려하기 위하여 총 5개를 제작하였다.

표1. 재료의 물성치

제조사	표면형태	사용재료	직경	Fiber Vol. Fraction(%)
DS 사	DR (Deformed Rod)	Glass Fiber	9mm	50

FRP의 인장시험은 철근과 달리 매우 어렵다. 따라서 본 실험에서는 인장시험시 grip부에서 발생하는 응력집중을 피하기 위하여 시험편의 양단에 유리섬유를 길이 방향의 수직으로 감아서 탭(tap)을 형성한 후 선반으로 테이퍼(taper)가공을 하여 시험편의 grip부분과 형상을 같게 하였다. 인장시험은 만능재료시험기를 사용하여 변위제어 하였으며, 실험기로부터 자동으로 획득한 결과와 FBG 센서 장비로 입력된 신호를 통한 실험결과와 비교 평가하였다.

Hybrid FRP Rod의 시험편 및 실험장비·계측장비는 아래의 그림4,5와 같다.

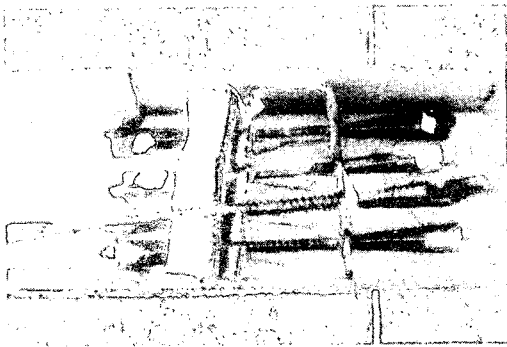


그림 4. Hybrid FRP Rod의 시험편

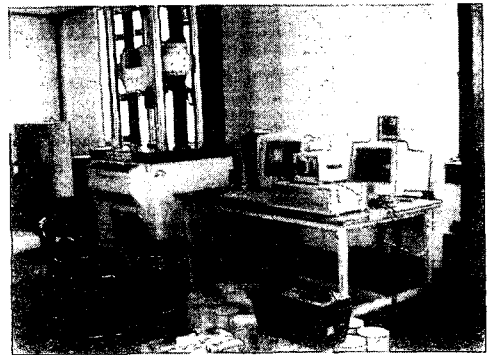


그림 5. 실험 장비 및 계측 장비

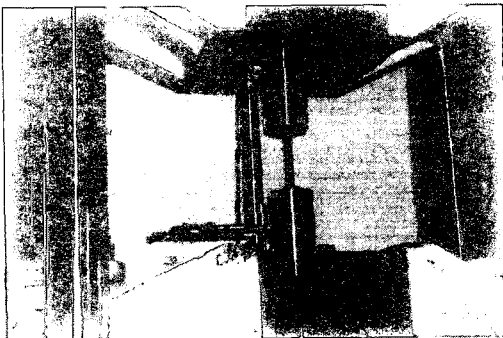


그림 5. Hybrid FRP Rod의 시험광경



그림 6. 계측 사진

4. 실험 결과

총 4개의 시험편을 제작하여 인장특성 실험을 실시한 결과, taper 부분의 sliding 현상으로 FRP Rod의 항복까지 인장실험을 실시 하지는 못하였으나, 만능재료 시험기로 측정된 데이터 값과 광섬유 센서에 의해 측정된 데이터 값을 비교하면 다음과 같다.

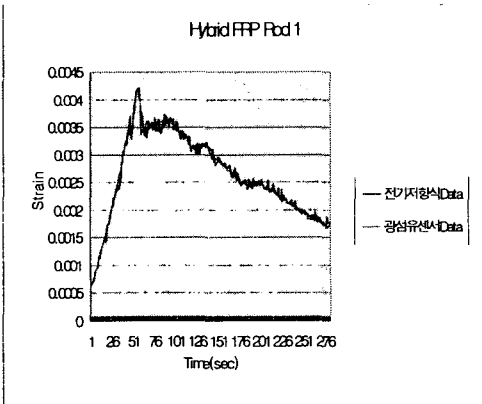


그림 7. Hybrid FRP Rod 1 인장시험결과

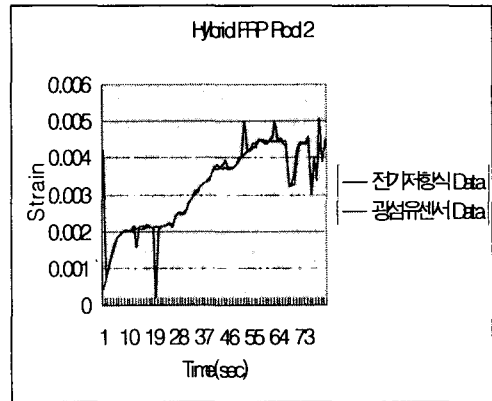


그림 8. Hybrid FRP Rod 2 인장시험결과

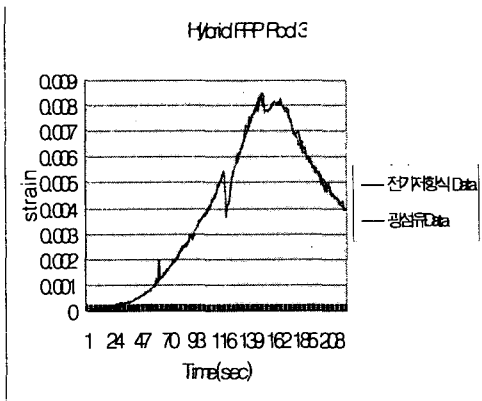


그림 9. Hybrid FRP Rod 3 인장시험결과

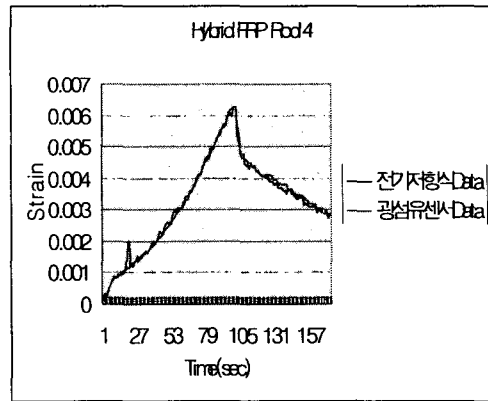


그림 10. Hybrid FRP Rod 4 인장시험결과

5. 결론

새로운 스마트모니터링 시스템인 Hybrid FRP Rod 시험체를 특수제작하여 인장시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- ① FRP의 인장시험시 taper부분의 sliding 으로 인한 항복까지의 강도를 측정할 수는 없었다. 추후

tapper부분의 sliding 방지를 위한 연구가 필요하다.

- ② 광섬유 센서와 만능시험기에서 측정된 data값을 비교한 결과 그래프 양상이 거의 일치함을 알 수 있었다.
- ③ Hybrid FRP Rod 2의 경우 시험시 오차로 인하여 변형률 값의 정확한 측정을 하지는 못하였지만, 광섬유 센서와 만능시험기 데이터 그래프 양상은 거의 일치 하였다.
- ④ 본 연구과제에서 스마트 계측시스템으로 선정된 광섬유 브래그 격자 센서의 신뢰성을 만능시험기의 데이터를 통하여 입증할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 김기수 “광섬유 센서를 이용한 첨단구조계측 시스템”, 한국전산구조공학회, Vol.15, No.2, 2002, pp445-452
2. 박계환, 조선정, 광경현, 정태영 “광섬유 브래그 격자 센서를 이용한 교량 유지관리 모니터링에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회 학술발표회, 2002.11, pp60
3. 심종성, 김규선 “건설 분야에서의 FRP 활용”, 콘크리트학회지 제12권 6호, 2000.11, pp37-43
4. 산업자원부 “광섬유 센서를 이용한 온라인 안전진단 시스템”, 2000
5. J. G. Teng, J. F. Chen, S.T. Smith and L.Lam “FRP STRENGTHENED RC STRUCTURES ”, John Wiley & Son, Ltd, 2002
6. Luc R. Taerwe & Stijin Matthys(1999) “FRP for Concrete Construction : Activities in Europe”, Concrete International, Vol 21, No 10, Oct. pp33-36