

# 콘크리트구조물의 탄소섬유시트에 의한 구조 보강시 광섬유 센서를 이용한 모니터링기법에 관한 연구

김기수\*

## Study on the Monitoring Method of Concrete Structure Repaired by Carbon Sheets with Optical Fiber Sensors

Ki-Soo Kim

### Abstract

In order to extend the life time of building and civil infra-structure, nowadays, patch type carbon sheets are widely used as repairing materials. Repaired concrete columns and beams with carbon sheets gain their stiffness and strength, but they lose toughness and show brittle failure behaviors. Usually, the cracks of concrete structures are visible with naked eyes and the status of the structure in the life cycle is estimated with visible inspection. After repairing of the structure, crack visibility is blocked by repaired carbon sheets. Therefore, structural monitoring after repairing is indispensable and self diagnosis method with optical fiber sensor is very useful. In this paper, peel-out effects is detected with optical fiber sensors and the strain difference between main structure and repaired carbon sheets when they separate each other.

**Key Words:** Optical Fiber Sensor, Carbon Sheets, Repairing Materials, Concrete Beams and Columns.

### 1. 서 론

여건설분야에서 복합재료의 활용이 확대되기 시작한 것은 화학분야의 고분자 신소재가 개발되면서 기존 건설재료와 혼합, 병용하여 강도, 내마모성, 내충격성, 단열성, 방수성 및 미려한 외관 등을 향상시킴으로서 구조물의 안전성과 내구성 및 사용성을 크게 개선할 수 있기 때문이다. 하지만 1940년대 유리섬유가 개발된 이후 항공, 기계분야에만 국한하여 적용해오던 복합재료가 최근 건설분야에서 관심을 갖게 된 가장 큰 이유는 과거 수 십년 전부터 건설되었던 사회간접시설들이 사용연수가 증가함에 따라 노후되어 이를 양호하게 유지하기 위해서는 적절한 보수보강이

필요하게 되었고, 이러한 특성을 만족하는 재료로써 복합재료에 눈을 돌리기 시작했기 때문이다.

현재 구조물의 보수보강에 사용되는 복합재료로는 주로 섬유형태인 탄소섬유, 유리섬유, 브론섬유의 무기질 섬유와 유기질 섬유인 아라미드 섬유가 있으며 이중 탄소섬유와 유리섬유가 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 건설분야에서 복합재료가 차지하는 시장점유율은 약 20%정도로 전체 건설재료 시장에서 볼 때 아직은 매우 적은 부분을 차지하고 있다. 이렇게 복합재료가 건설재료로 널리 사용되지 못하고 있는 이유는 우선 사용역사가 비교적 짧아 제품의 사용시방 등이 완벽하게 갖추어지지 않았을 뿐 아니라 연구자료 및 사용실적이 부족하여 철근, 콘크리트와 같이 50년 이상 내구성이 보장되는가에 대한

\* 호서대학교 정보통신공학부

의구심 등 제품에 대한 신뢰도 또한 깊이 쌓이지 않았기 때문에 보수적인 건설기술자들에 의해 외면당하고 있기 때문이다. 또한, 복합재료의 확대 보급에 또 다른 장애는 바로 경제적인 문제로써 탄소섬유나 유리섬유가 콘크리트, 철근 등에 비해서 매우 비싸기 때문에 건설현장에서 적용하기가 쉽지 않다는 것이다. 그러나 이러한 경제적인 단점은 일본에서 고베 대지진 이후 35% 정도 세제 혜택을 줌으로써 사용을 활성화하고 있는 예에서나 사용량이 증가함에 따라 단가가 크게 낮아지고 있기 때문에 그다지 큰 장애로 받아들여지지 않는다고 한다. 또한, 건설공사비 중 재료비가 차지하는 비중은 20% 이내로써 복합재료가 경량재료이므로 시공비가 적게 들 뿐 아니라 철근에 비해 강성이 크므로 적은 양을 사용하여도 동등 이상의 보강효과를 얻을 수 있어서 오히려 경제적이다. 1999년 브라질에서 시공된 고가교 보수공사의 경우, 총 공사비는 철근콘크리트에 비해 약 40% 이상 저렴하다는 보고도 있다.

본 연구개발에서는 최근 유지관리 모니터링에 사용되는 광섬유 격자 센서(Fiber Bragg Grating Sensor)를 카본시트 복합재료와 조합하여 구조물을 보강함으로써 자기진단이 가능한 보수·보강 구조물을 개발하고자 하며 이를 통해 기존 복합재료 보강재의 문제점을 개선하고 그 부가가치를 극대화 하고자 한다. 광섬유 격자 센서에서는 패브리 페로필터를 사용하여 파장분할 다중화를 실현하는 것이 가능하며, 여러 파장의 격자를 사용할 수가 있고, 중심파장 변화의 절대값을 알 수 있어 구조물의 거동을 변형률 값을 통해 얻어내는데 매우 유리하다. 따라서 이를 보강재료에 조합하면 구조물의 거동을 상시 모니터링 하여 보강효과를 수시로 점검할 수 있어 매우 유용한 보강 및 유지관리 재료로 활용할 수 있게 될 것이다.

## 2. FBG 광섬유 센서를 내장한 탄소섬유 시트 보강공법의 설계 및 실험

### 2.1 시험체 제작

휨거동 관찰을 위한 시험체인 철근콘크리트 보는 단면치수 15cm×25cm, 유효충(d=21cm), 철근량은 최대철근비( $\rho_{max} = 0.75\rho_b = 0.01466$ )을 기준으로 압축철근 2-D10, 인장철근 2-D13, 길이 2.8m, 순 지간길이 2.4m인 장방형 복근보로 제작하였다. 아울러 시험체의 전단파괴를 방지하기 위하여 전단보강은 D10 철근을 10cm 간격으로 하였다. 휨거동 관찰을 위한 시험체의 형상은 그림 1과 같다.

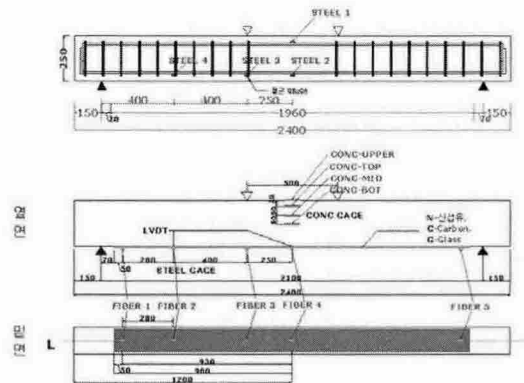


그림 1. 휨 시험체의 형상 및 게이지 부착위치

또한 광섬유 격자 센서를 콘크리트와 탄소섬유시트 내부에 삽입하였는데 그 형상은 그림 2과 같다.

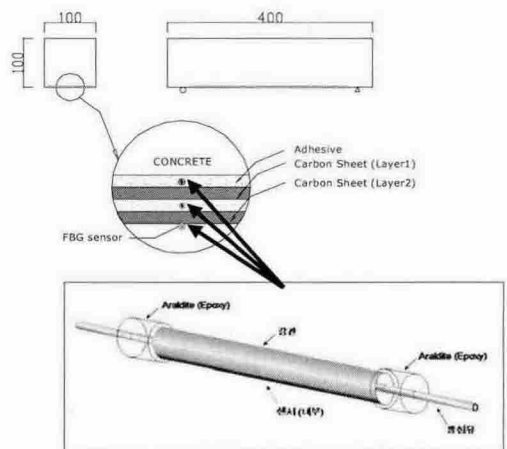


그림 2. 보 실험의 보강재 조합 및 광섬유 센서 매립 및 측정방법

## 2.2 실험방법

탄소섬유는 보강성능이 다른 섬유에 비해 뛰어난 반면 화재에 약한 반면, 유리섬유는 방화 성능이 있고 탄소섬유에 비해 갑작스런 탈락현상이 덜하다. 따라서 이 두 섬유를 조합하여 보강했을 경우 보강 성능을 분석하고 가장 효율적인 복합재료 보강재의 조합을 찾아내고자 하였다. 그림 9와 같이 현재 널리 사용되고 있는 복합재료 보강재인 유리섬유와 탄소섬유를 다시 조합하여 가장 효과적인 조합의 복합 섬유 보강재를 파악하려 하였다. 본 연구의 휨 실험은 그림 3과 같은 가력방법을 이용하여 GCO(유리섬유와 탄소섬유의 조합)와 GGO(유리섬유와 유리섬유의 조합) 두 가지 경우를 콘크리트 보의 옆면과 보강재로 보강된 밑면의 변형률을 비교함으로써 일반적인 복합재료 보강재의 단점인 조기 탈락을 경보할 수 있는 새로운 진단 기법을 개발하고자 하였다. 한편 그림 2에서와 같이 보 실험의 경우 탄소섬유와 탄소섬유의 조합으로 두 층의 복합재료 보강재 사이와 콘크리트와 보강재 사이에 극소강관을 사용하여 광섬유를 보호하여, 두 지점의 변형률을 측정함으로써 새롭게 조기 탈락을 경보할 수 있는 방법을 시도하였다.

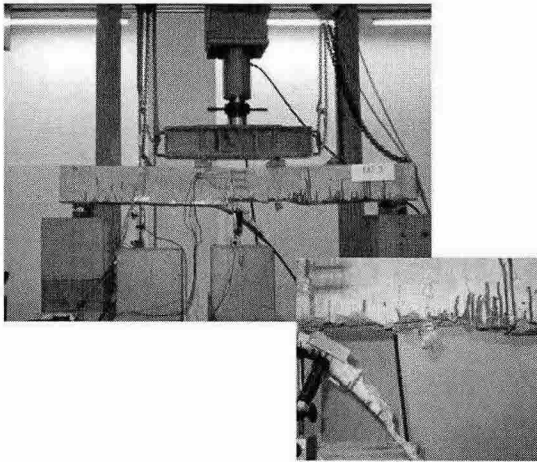


그림 3. 보실험시 가력장치와 시편의 파괴된 모습

## 3. 보강된 보의 실험 결과 및 광섬유센서의 거동

휨 거동 관찰을 위한 두 가지 실험의 경우 단

독으로 탄소섬유시트로만 보강된 것 보다 탄소섬유와 유리섬유가 섞여서 보강된 경우가 역학적으로 파괴에너지가 커서 급작스런 취성파괴의 위험성이 적은 것으로 나타나 더욱 효율적인 보강재 조합인 것으로 나타나고 있다. 또한 두가지 다른 보강재 조합으로 보강된 시편의 거동이 그림4와 그림 5.에서와 같이 모두 하중증가에 따라서 측면과 밑면의 변형률이 차이를 보여주고 있어 효과적인 탈락 경보 모니터링이라 사료된다. 그림 6. 같이 진단변형을 방지하는 철근이 없음에도 이상없이 거동하였으며, 유효적절하게 변형률의 차이를 측정할 수 있음을 확인하였고, 보강재 탈락을 조기에 경보 할 수 있는 진단기법의 한 방법으로 사료된다.

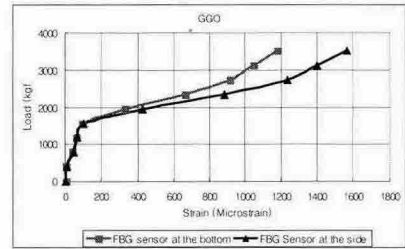


그림 4. 두장의 탄소섬유시트로 보강된 보의 센서 거동

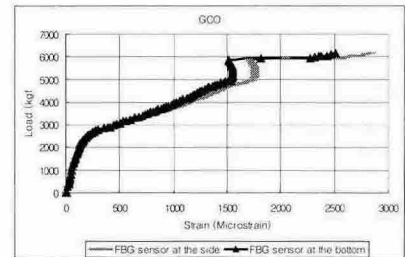


그림 5. 탄소섬유시트와 유리섬유시트가 중복되어 보강된 보의 센서거동

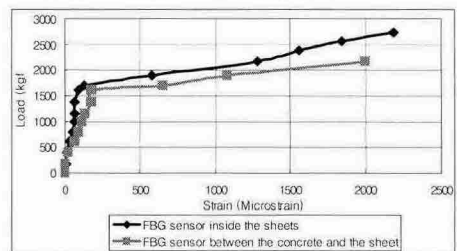


그림 6. 진단변형을 유도하기위하여 배근을 줄인 보에서의 센서의 거동

## 5. 결 론

본 논문을 통하여 효율적인 복합재료 보강재의 조합과 광섬유 계측 기술을 건축/토목 보강 구조물에 적용하여, 복합재료의 탈락을 효과적으로 예측할 수 있다. 특히 콘크리트에 부착된 광섬유 센서와 보강용 탄소섬유시트에 부착된 광섬유 센서는 초기 하중에서는 동일한 거동을 보이다가 하중이 증가하면서 거동이 달라짐을 보인다. 이는 두가지 구조시스템이 특정하중이상에서는 일체로 거동하지 않음을 보여주는 좋은 예이며 이를 이용하여 구조물의 이상을 판별해 낼 수 있을 것이며, 그 원인은 콘크리트의 균열의 발생과 콘크리트와 탄소보강재 사이의 delamination과 접착면에서의 슬립에서 찾아 볼 수 있다. 이러한 결과들을 이용하면 구조물의 효과적인 보강량과 추가적 보강 시점등을 산출해낼 수 있으며 구조물의 유지관리를 위한 정기적인 구조 진단에 따르는 비용을 절감하는데 일조 할 수 있다. 아울러 보다 체계적이고 정량적인 기준을 수립하기 위해서는 광섬유 계측 기술의 발전과 더불어 복합재료 보강재의 실험적 연구자료가 보다 축적되어야 할 것이다

## 감사의 글

본 연구는 과학재단 우수연구센터인 스마트사회기반시설연구센터의 지원으로 이루어진 것입니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

[1] Laura De Lorenzis, Brian Miller and Antonio Nanni, "Bond of Fiber-Reinforced Polymer Laminates to Concrete," ACI Materials Journal, May-June (2001)

[2] Kin-tak Lau, Libo Yuan, Li-min Zhou and Jingshen Wu, Chung-ho Woo "Strain monitoring in FRP laminates and concrete

beams using FBG sensors," Composite Structures 51, pp. 9-20, (2001)

[3] Sarah E. Mouring & Oscar Barton, Naval Academy, D. Kevin Simmons "External Retrofit of R/C Beams using Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminates" Stanford Univ, USA. Structural Faults & Repair conference, (2001)

[4] Ki-Soo Kim, Laszlo Kollar and George S. Springer, "A Model of Embedded Fiber Optic Fabry-Perot Temperature and Strain Sensors," Journal of Composite Materials, Vol. 27, pp 1618 - 1662, (1993)

[5] Ki-Soo Kim, Jae-Wook Yoo, Seung-Kwan Kim and Byung-Yoon Kim, "Embedded Intrinsic Fabry-Perot Optical Fiber Sensors in the Cement Concrete Structure," SPIE Vol. 2718, pp. 218-231, (1996)

[6] K. S. Kim, J. U. Ryu, S. J. Lee and L. Choi, "In-situ Monitoring of Sungsan Bridge in Han River with a Optical Fiber Sensor System," SPIE Vol. 3043, pp. 72-76, (1997)

[7] S. H. Baek and K. S. Kim, "Optical Fiber Monitoring System of Bridge in Korea", Proceeding of the 1st Health Monitoring Workshop, pp555-563, Stanford Univ., (1997)

[8] Ki-Soo Kim, Menachem Breslauer and George S. Springer, "The Effect of Embedded Sensors on The Strength of Composite Laminates, Journal of Reinforced Plastics and Composites," Vol. 11, pp. 949-958, (1992)

[9] Ki-Soo Kim, Aharon Segall and George S. Springer, "The use of Strain Measurement for Detecting Delamination in Composite Laminates, Composite Structures," Vol. 23, pp. 75-84, (1993)