

광섬유 GRATING SENSOR를 이용한 초기재령 콘크리트의 변형 측정

The Measurement of Concrete Deformations at Early Age using Fiber-Optic Bragg Grating Sensors

김 지 상^{*} 이 상 배^{**} 김 남 식^{***}
Kim, Jee-Sang Lee, Sang Bae Kim, Nam Sik

ABSTRACT

The deformations of concrete specimens were measured at early ages, in order to verify the applicability of FBG(Fiber Bragg Grating) sensors. The FBG sensors were directly buried at various locations in the beam-type RC specimens at the time of fabrication. In this experiment, the changes of strains in concrete at early age were successfully measured as the movement in wavelength of light signals. The FBG sensors may be a very effective tool to investigate the mechanical/thermal behavior inside of concrete structures.

1. 서 론

최근 들어 교량, 터널 등 사회 기반 시설의 유지 관리 및 보수, 보강을 위한 구조물의 상시 계측 시스템에 대한 관심이 높아짐에 따라 상시 계측 시스템을 구성하는 중요한 요소의 하나인 센서시스템에 대한 연구 - 센서(sensor hardware), 기록 장치(recording hardware), 자료수집방법(data collection methodology), 컴퓨터 인터페이스(computer interface), 신호 및 자료 처리(signal and data processing) - 가 활발히 이루어지고 있다. 다른 분야의 발전 및 변화는 급격하게 이루어지고 있는데 비하여, 센서부는 설치 및 유지 관리의 복잡성, 장기간의 신뢰성 등의 문제가 있음에도 불구하고, 아직도 대부분의 경우 실험실에서 연구용으로 널리 쓰여 온 기존의 전기 저항식 스트레인 게이지를 사용하고 있는 실정이다. 따라서 설치 및 유지 관리가 상대적으로 용이하고 전자파 유도 및 케이블링의 어려움을 해결할 수 있는 새로운 센서의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 현재 선진국에서 활발히 연구가 시작되고 있는 광섬유 센서 시스템을 이용하여 콘크리트 구조물의 변형을 측정하는 일련의 실험을 수행하여, 그 적용성을 확인하였는데, 주로 양생 중의 콘크리트 내부에서 발생하는 초기 변형을 측정하는 실험에 대하여 정리하였다.

* 서경대학교 이공대학 토목공학과 교수

** 한국과학기술연구원 광기술연구센터 센터장

*** 현대건설주식회사 기술연구소 책임연구원

2. 광섬유 격자 센서의 적용성 실험

2.1 센서시스템의 측정 원리

본 연구에 사용된 센서장치는 서로 다른 반사 파장을 갖는 광섬유 브래그 격자 4개를 직렬로 연결한 다중점 센서로서 광섬유격자 센서 시스템의 성능을 좌우하는 복조기는 안정성과 다중화의 장점을 가진 협대역 투과필터(tunable narrow bandpass filter)를 사용하였는데 그림 1은 사용된 센서시스템의 개요도이다.

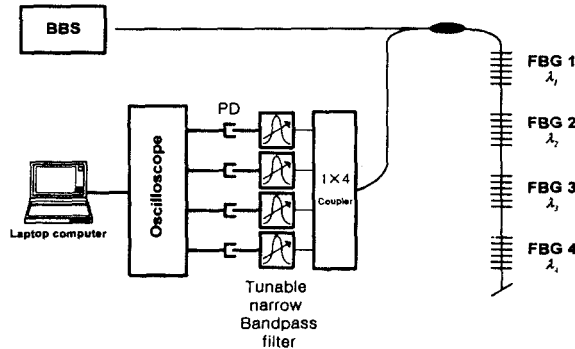


그림.1 광섬유 격자 센서 시스템의 개요도

광대역 광원(BBS)에서 나오는 빛은 콘크리트 구조물 내의 Bragg grating에서 grating에 맞는 파장의 빛만이 반사된다. 외부에서 가해진 진동이나 압력에 의해 Bragg grating의 반사파장이 변하게 되고 이는 복조 필터에 의해 광세기 변화로 나타나며, 이를 정밀하게 측정함으로써 가해진 외부의 자극량을 산출해 낼 수 있다.

2.2 시편의 설계 및 제작

본 실험에서 제작된 시편은 200mm×300mm×2200mm 의 철근콘크리트 들보로 콘크리트의 설계기 준강도는 240Kg/cm²로 하였으며, 3개의 D16(SD40) 철근을 유효깊이 250mm 위치에 사용하여 공칭 휨강도가 5.26 ton-m 되도록 제작하였다. 광섬유 격자 센서는 시편 상단으로부터 30mm 깊이의 위치에 길이방향으로 4개를 설치하고(좌측 지점으로부터 625mm, 1125mm, 1375mm 및 1875mm), 같은 위치에 70mm 및 250mm 깊이 되는 지점에 동일한 광섬유 센서를 설치하여 모두 12개를 콘크리트 보 내부에 설치하였다. 이 때 콘크리트 타설 및 다짐에 따른 광섬유 격자 센서의 파손을 방지하기 위하여 적절한 장치를 사용하여 공간을 확보하는 방안을 사용하였다. 또, 하중 재하 시험을 실시하기 전에 콘크리트의 상단 및 하단의 표면에 같은 위치에 모두 8 개의 광섬유 센서를 부착하여 상하 연단의 변형을 측정하였으며, 같은 위치에 전기저항식 스트레인 게이지를 부착하여 두 결과를 비교하고자 하였다. 그림 2는 시편의 형상과 광섬유 격자 센서 및 전기저항식 스트레인 게이지의 부착위치를 나타낸 것이다. 또한, 시편 제작시 2개의 thermocouple을 콘크리트 보 내부에 설치하여 양생 중의 콘크리트 온도 상승에 따른 광섬유 격자 신호의 오차를 보정하도록 하였으며, 10cm×20cm 의 실린더 시편 제작시 내부에 광섬유격자 센서 및 thermocouple을 매입하여 온도변화 및 변형을 측정하였다.

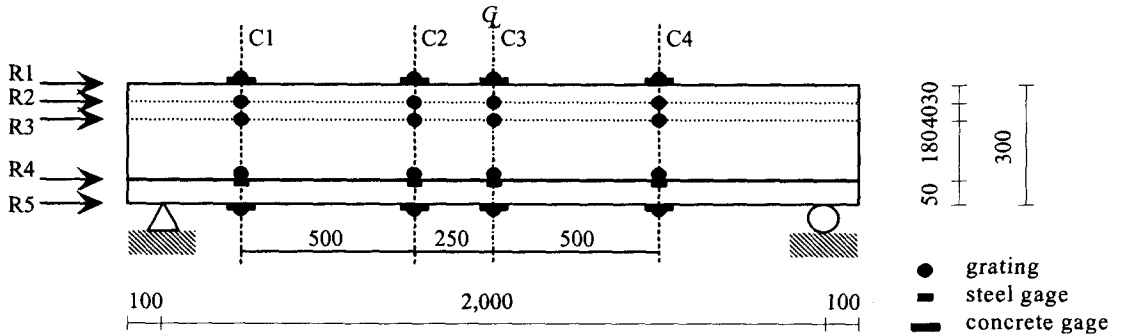


그림 2 센서 부착 위치

3. 실험결과 및 분석

3.1 광섬유 격자 센서의 신호

콘크리트 타설 직후 들보의 상, 중, 하부(그림 2참조, R2, R3 및 R4 층)에 매설되어 있는 광섬유 격자 신호의 광반사 스펙트럼과 광투과 스펙트럼 중 철근 위치에 매설되어 있는 R4-센서부에서 얻은 신호를 나타낸 것이 그림 3이다.

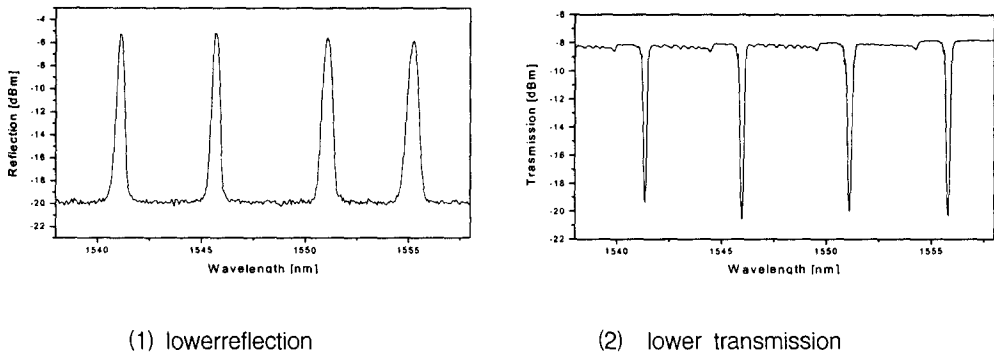
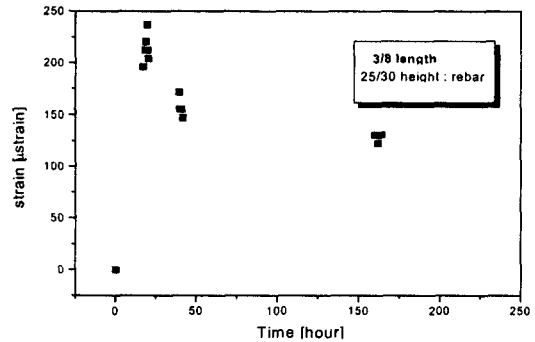
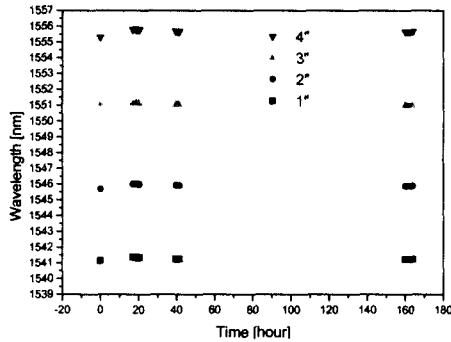


그림 3. 콘크리트 타설 직후 R4 위치에 매설된 광섬유 격자의 광반사 및 광투과 스펙트럼

각 스펙트럼에 보이는 4 개의 peak는 한 층에 길이 방향으로 설치된 4개의 격자 센서부의 grating에 따라 다르게 반사 또는 투과되는 특정한 주파수를 나타낸다. 격자가 설치된 위치의 콘크리트가 변형을 일으킴에 따라 그림 3에 보인 스펙트럼의 peak 값이 이동을 하게되며, 이에 대한 분석을 통하여 변형도, 온도, 습도 등의 물리량을 측정하는 것이 가능하다. 본 실험에서 사용된 격자 센서의 경우 주어진 파장에 따른 길이방향의 위치는 동일하게 하였으므로 4 개의 광 반사 스펙트럼 peak의 간격이 깊이에 따라 동일하다.

3.2 초기 재령 콘크리트의 변형 측정

콘크리트 타설 직후 초기 재령 콘크리트 시험체 내부의 변형을 측정하기 위하여 타설 직후부터 7일까지 광섬유 격자센서들의 신호변화를 측정하였으며, 그림 4는 그 중 하부에 설치된 4개의 센서로부터 측정된 신호를 나타낸 것이다.



(1) 광섬유 격자센서의 신호변화

(2) 초기재령 콘크리트 내부의 변형도 변화

그림 4. 초기 재령 콘크리트 시험체의 광섬유 센서 신호 변화 및 변형도

그림 4(1)에 보이는 1, 2, 3 및 4는 각각 그림 2에 보인 R4 층의 C1, C2, C3 및 C4 위치에서의 신호를 의미하는 것으로 콘크리트 타설 직후 신호가 장파장에서 단파장으로 이동하는 현상을 확인할 수 있었다. 이는 타설 후 R4 위치의 콘크리트가 상부 콘크리트의 자중에 의하여 휨을 받게 됨에 따라 인장을 일으켜서 일어난 것으로 판단되는데, 그림 4(2)에 보이는 것처럼 초기의 변형도가 0에서 200 μ strain으로 급격하게 변화하는 현상을 보인다. 타설 후 20시간 경과 후와 40시간 경과 후의 변형도를 비교하면 70 μ strain의 변화가 있으며, 그 후 120시간이 경과하면 약 20 μ strain의 변화가 있었다. 즉 타설 직후의 급격한 변형 이후 점차 변형이 둔화되는 양상을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 4에 보이는 하층의 신호와 상층 및 중앙 층의 격자 센서들의 신호를 비교하여보면 콘크리트 시험체 외부에 가까운 부분(상층 및 하층)의 변형이 내측(중앙층)의 변형도보다 작음이 관찰되었다.

4. 결 론

본 연구는 광섬유 격자 센서를 매입하여 초기 재령 콘크리트 내부에서 발생하는 변형을 측정하는 실험을 통하여 센서의 적용성을 확인하기 위하여 수행되었는데, 실험결과 광섬유 격자 센서시스템을 이용하여 콘크리트 내부의 변형도를 기존의 전기저항식 스트레인 게이지와 유사한 정도로 측정할 수 있음을 확인하였다. 또한, 향후 지속적인 연구를 통하여 광섬유 격자센서의 실용성 및 경제성을 확보하는 경우 더욱 활발한 적용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 한국과학기술연구원, 광섬유 Grating을 이용한 시설물 사전 감시 시스템, 1999.6
2. 김남식, 조남소, "광섬유 케이블을 이용한 콘크리트 구조물의 균열탐사," 한국콘크리트학회 2000년 봄학술발표회 논문집, pp.896-902
3. 김기수, 이호준, 김종우, " 광섬유 센서를 이용한 유지관리 모니터링 기술," 콘크리트학회지, 제12권 3호, 2000.5, pp16-24.
4. Farhad Ansari, "State-of-the-art in the Applications of Fiber-optic Sensors to Cementitious Composite," Cement and Concrete Composites 19(1997)3-19, 1997