

교량 이상 거동 감지를 위한 IoT 기반 계측 및 모니터링 시스템

IoT-based Measuring and Monitoring System for Detecting Abnormal Bridge Behaviors

남상혁* 김도형** 조기완*** 장승환****
 Nam, Sang-Hyeok Kim, Do-Hyeong Jo, Gi-Wan Jang, Sung-Hwan

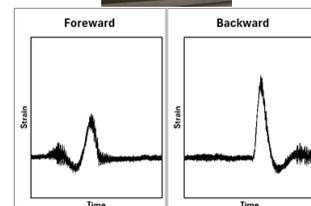
요약

본 연구에서는 탄소나노튜브의 전기적 특성을 이용하여 균열 발생 등과 같은 구조적 이상 거동을 감지할 수 있도록 하는 센서를 IoT 기반의 계측 시스템과 연계하여 구조물의 이상 거동을 실시간으로 모니터링하도록 하는 시스템과, 이를 실제 교량에 적용하여 차량 재하시험을 실시한 결과를 소개하였다. 교량 시험을 통해 탄소나노튜브 센서가 차량 주행에 따른 교량의 거동 변화를 적절하게 감지할 수 있다는 것을 확인하였고, IoT 계측 및 모니터링 시스템을 통해 구조물에서 발생될 수 있는 미세 균열이나 응력 집중 등과 같은 이상 징후를 감지할 수 있음을 확인하였다.

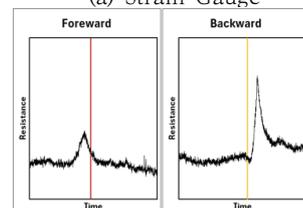
키워드 : 탄소나노튜브 센서, 이상거동, IoT 시스템 / Keywords : Carbon Nanotube Sensor, Abnormal Behavior, IoT System

최근 교량과 같은 대형 인프라 구조물은 장기적인 안전성을 확보하기 위해 구조물 건전성 모니터링 기법에 새로운 기술을 적용하여 유지관리하도록 하는 사례가 늘어나고 있고, 그 필요성 역시 증가하고 있다. 스트레인 게이지 등을 이용하는 기존의 계측 기술은 측정 범위가 제한적이거나 내구성의 한계가 있어 장기 거동 모니터링 등에 사용되기 어려운 경우가 많다. 이에 본 연구에서는 필요에 따라 크기를 달리 할 수 있는 탄소나노튜브(Carbon Nanotube; CNT) 패치 센서의 전기 저항 변화를 이용하여 구조물의 거동 변화를 감지하고, 여기에 IoT 기반 무선 데이터 전송 기술을 적용하여 감지된 데이터를 실시간으로 클라우드 서버에 전송하고 분석함으로써 미세 균열이나 응력 집중 등과 같은 이상 거동 징후를 조기에 식별할 수 있도록 한다. 이를 위해 실제 교량에 CNT 패치 센서와 IoT 계측 및 모니터링 시스템을 적용하여 차량 재하시험을 실시하였고, 이를 통해 CNT 패치 센서의 활용 가능성 및 IoT 모니터링 시스템의 효율성 등에 대해 분석하였다.

대상 교량은 7경간 PSC I형 거더교(252.3m)로서, 그 중 3경간 연속 구간에 센서를 부착하여 중차량을 이용하여 정적 재하시험과 동적 주행시험을 실시하였고, 시험 결과 CNT 패치 센서를 이용한 IoT 기반 계측 시스템은 외력에 의한 구조물의 거동 변화를 민감하게 감지할 수 있음을 확인하였고, 센서의 민감도나 계측 주기 등의 조절을 통해 일반적인 정적 재하에 의한 거동뿐만 아니라 장기적인 거동 모니터링에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 기술은 향후 장기적인 인프라 모니터링 솔루션으로 활용될 수 있으며, 인공지능(AI) 기반 분석 기술과의 결합을 통해 더욱 정교한 이상 감지 시스템으로 발전할 가능성을 가진다.



(a) Strain Gauge



(b) CNT Sensor

Fig.1 교량 재하시험 결과 비교

참고문헌

1. S-H. Nam., D. Kim, G. Jo, and S-H Jang "Structural Behavior Monitoring System Using Scalable Carbon Nanotube Patch Sensors" ALLSENSORS, pp. 43-47, 2024
2. Y. Jung and S-H. Jang "Crack Detection of Reinforced Concrete Structure Using Smart Skin" nanomaterials 14, 632, 2024

* (주)이엔지소프트 대표, 교신저자
 ** (주)이엔지소프트 기술연구소 부장
 *** (주)이엔지소프트 기술연구소 대리
 **** 한양대학교 ERICA 건설환경공학과 부교수

본 연구는 국토교통부 성과확산형 국토교통 국제협력 연구개발사업 (과제번호: RS-2023-00268377)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.