

무선 전력 및 데이터 전송 기법을 이용한 교량 구조 건전성 진단 시스템

장유진, 문건우
한국과학기술원

Structural Health Monitoring System of a Bridge with Wireless Power and Data Transfer

Yujin Jang, Gun-Woo Moon
KAIST

ABSTRACT

본 논문은 무선 전력 및 데이터를 동시에 전송하는 교량 구조 건전성 진단 시스템에 관한 것이다. 무선 전력 전송을 이용하여, 교량 내부에 위치한 구조 건전성 진단을 위한 센서에 전원을 공급한다. 그리고 센서에서 검출된 데이터를 부가적인 통신 회로 없이, 교량 외부로 전송한다. 이러한 교량 구조 건전성 진단 시스템은 기존 방식에 비하여 교량 유지 보수 비용을 줄일 수 있는 장점을 가진다. 제안한 교량 구조 건전성 진단 시스템은 높은 효율로 전력을 전송하며, 동시에 8단계의 교량 손상도 데이터를 전송한다. 결과적으로, 제안한 시스템은 교량의 내부의 센서에 무선전력전송을 이용하여 안정적인 전원을 공급하며, 교량의 손상 정도에 관한 물리적 데이터를 부가회로없이 무선전력전송용 공진기를 통해서 전달할 수 있다.

1. 서론

최근 구조 건전성 진단 시스템은 물리적 구조물의 안전성 측정을 위한 중요한 연구 분야이다. [1] 구조 건전성 진단이란 구조물의 손상 및 유지보수 전략을 수행을 과정을 의미한다. 이를 이용하여 산업용 구조물의 물리적 상태를 진단 할 수 있다. 이러한 구조 건전성 진단 시스템은 몇가지 장점을 가진다. 정기적인 점검이 필요하지 않으며, 지속적인 자료를 얻을 수 있다. 또한 전체적인 비용을 줄일 수 있는 장점을 가진다. 이러한 이유로 교량에서 구조 건전성 진단 시스템이 널리 이용된다.

교량을 위한 구조 건전성 진단 시스템은 진동 진단, 붕괴 감지, 긴장력 진단을 위한 센서를 포함한다. 이러한 센서들은 교량의 콘크리트 내부에 설치 되어 있다. 또한 전원 공급을 위해서 배터리를 이용한다. 따라서 배터리의 유지 보수 비용을 줄이기 위해서 최근에는 무선전력 전송 기술을 이용한다. 그리고 고가의 데이터 전송용 모듈을 사용하지 않기 위한 새로운 데이터 전송 기술 개발도 시급한 상황이다. 본 논문에서는 별도의 부가 회로 없이 무선 전력 및 데이터를 동시 전송 가능한 새로운 교량 구조 진단 시스템을 제안한다.

2. 본론

2.1 제안하는 교량 구조 건전성 진단 방법

교량 구조 건전성 진단을 위한 긴장력 측정 방법은 그림 1과 같다. 교량 내부에 위치한 긴장력 진단용 센서에 전원을 공급하기 위하여, 검사용 차량이 접근을 한다. 검사용 차량에 부착된 공진기를 통하여, 긴장력 측정용 센서에 전원이 공급된다. 충전이 완료되면, 교량 구조 건전성 진단용 센서는 교량의 긴장력 측정을 진행한다. 측정된 데이터는 별도의 통신용 모듈이 없이 무선전력 전송용 공진기를 이용하여, 데이터를 전송한다. 데이터 전송이 완료되면, 검사용 차량은 센서가 위치한 교량의 다른 지점으로 이동하며, 이러한 데이터 저장을 반복한다.

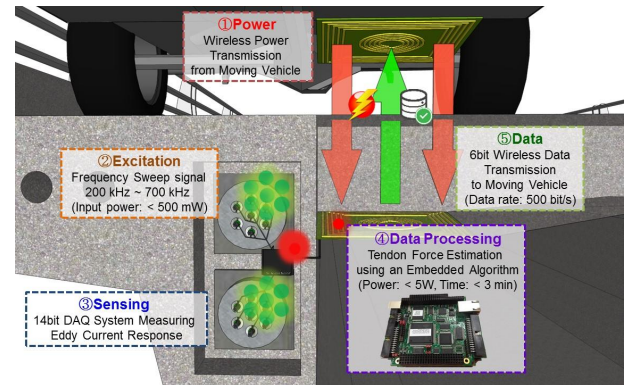


그림 1. 무선 전력 전송 및 데이터 전송 기법을 이용한 교량 구조 건전성 진단

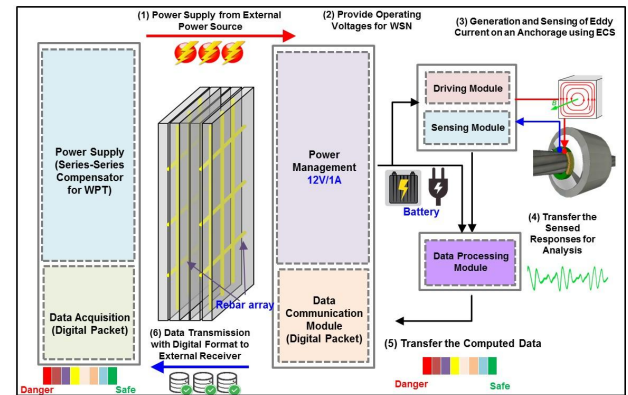


그림 2. 교량 구조 건전성 진단을 위한 블록 다이어그램

그림2는 전술한 시나리오 구현을 위한 블록 다이어그램이다. 제안한 구조 건전성 진단 시스템은 세 부분으로 나누어 진다. 다시 말하면, 검사용 차량에 포함된 송신부, 콘크리트를 포함한 교량 구조물, 긴장력 측정을 위한 수신부로 구성되어 있다. 송신부는 전원 공급용 무선 전송 회로 및 공진기 와 수신부에 전송되는 디지털 데이터를 수신하기 위한 블록으로 구성되어 있다. 교량용 콘크리트는 철근을 포함하며, 두께는 300mm이다. 수신부는 무선 전력을 수신하는 전원 관리 회로와 전송된 에너지를 저장하는 배터리를 포함한다. 또한 긴장력 측정용 센서와 측정된 물리적 데이터를 디지털 데이터 처리 블록을 포함한다. 센서가 활성화되어 측정된 교량의 물리적 데이터는 안전도를 위험도에 따른 8단계의 디지털 데이터로 변환하여, 송신부로 전송한다.

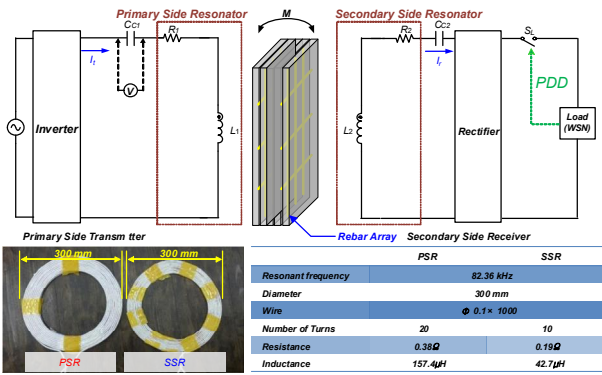


그림 3. 제안하는 구조 건전성 진단 시스템을 위한 콘크리트 투과 무선 전력 및 데이터 전송용 회로 및 공진기 설계

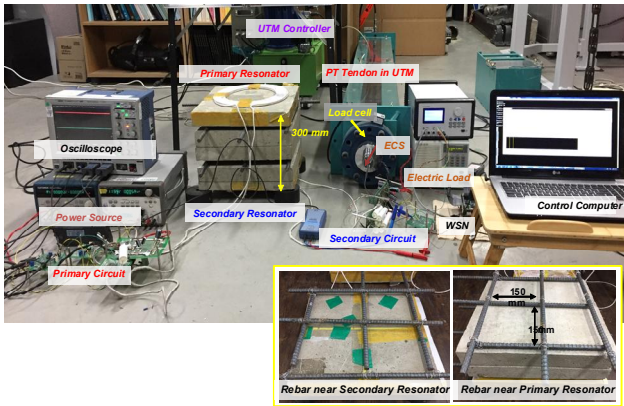


그림 4. 콘크리트 투과 무선 전력 및 데이터 전송 기법을 이용한 프로토타입 교량 긴장력 진단 시스템

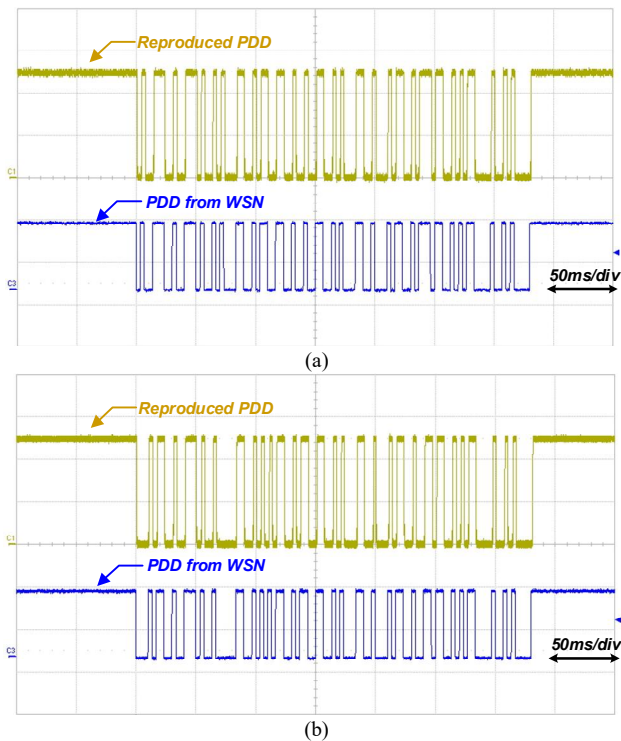


그림 4. 디지털 데이터 전송 실험 결과 (a) 교량 안전 상태 (b) 교량 손상 상태

2.2 실험 결과

무선 전력 및 데이터 전송을 위한 회로 설계는 그림3과 같다.

송신부는 교류를 직류로 변환하기 위한 인버터 회로가 있으며, 고효율 무선 전송을 위한 직렬 보상 캐패시터를 포함한다. 수신부는 콘크리트를 투과하여 전송된 전력을 정류하는 회로와 부하를 포함한다. 부하에서 측정된 긴장력 데이터는 부하가변 스위치를 이용하여 수신부 회로의 온 오프 제어를 한다. 온 오프 제어에 따른 송신부의 순환 전류 차이는 송신부의 직렬 보상 캐패시터의 전압을 측정하여, 전압 차이를 모니터링한다. 전압 차이는 송신부에 위치한 아날로그 디지털 컨버터를 이용하여 디지털 데이터로 복조 된다. 복조된 디지털 데이터는 교량 상태 감지용 아날로그 데이터로 해석되어, 최종적으로 교량의 건전성을 진단한다. 그림4는 제안한 콘크리트 투과 무선 전력 및 데이터 전송기법을 이용한 프로토타입의 교량 진단 시스템이다. 콘크리트 구조물의 길이는 300mm 이다. 또한 150mm x 150mm 넓이를 가지는 철근을 콘크리트 구조물의 상측과 하측에 포함한다. 이는 실제 교량 제작을 위한 사양과 부합된다. 무선 전력 전송을 위한 공진기의 지름은 300mm이다. 송신용 공진기와 수신기 공진기의 턴수는 각각 20턴과 10턴이다. 이는 콘크리트와 철근에 의한 효율 감소를 개선하기 설계를다. 송신부의 턴수를 증가시켜서, 송신부의 흐리는 순환전류를 감소시키는 효과를 얻을 수 있다. 이를 통해서 전체적인 효율을 증가시킬 수 있다. 수신부에는 긴장력을 측정하는 모듈과 측정된 긴장력을 디지털 데이터로 변화하는 무선 센서 노드가 위치한다. 무선 센서 노드에 처리된 디지털 패킷 데이터는 송신부에 위치한 오실로스코프를 이용하여 측정한다. 그림4는 디지털 데이터 전송 실험 결과이다. 파란색 파형은 수신부에 수집된 교량의 긴장력 데이터를 디지털로 변환한 정보이다. 노란색 데이터는 제안한 프로토타입의 구조 건전성 진단 시스템 통해서 얻어진 송신부 디지털 데이터이다. 그림 4(a)는 교량 안전 상태, 그림4(b) 교량 손상 상태의 파형이다. 그림에 보는 것과 같이 수신부에 생성된 디지털 데이터는 송신부에 어떠한 왜곡없이 데이터가 전송됨을 확인할 수 있다. 또한 부가적인 통신 모듈을 포함 하지 않는다.

3. 결론

본 논문에서는 무선 전력 및 데이터 동시 전송 포함한 프로토타입의 교량 긴장력 진단 시스템을 제안하였다. 실험을 통해 300mm두께의 철근이 포함된 콘크리트를 투과하여 무선 센서 노드가 포함된 수신부에 전력을 공급하였다. 동시에 수신부에 측정된 교량의 정상 또는 손상 상태에 해당하는 데이터는 무선 센서 노드에서 디지털 신호로 변환된다. 그리고 부가적인 통신 회로 없이 공진기를 통해서, 1차측 송신부로 어떠한 왜곡 없이 전달됨을 확인하였다. 따라서 무선 전력 및 데이터 동시 전송 시스템을 이용하여 부가적인 통신 모듈을 포함하지 않는 저비용 교량용 구조 건전성 시스템을 구현 할 수 있다.

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2016R1A2B2010328).

참고 문헌

- [1] Farrar C.R, Worden K "An introduction to structural health monitoring" Phil. Trans. R. Soc. A. 365,2007, 303-315.
- [2] Setijadi, E.; Suwadi; Slamet, B.P.; Muntaqo, A.A.; In'am; Nur, A.E.; Suprobo, P.; Faimun; Febry, F.A. "Design of large scale structural health monitoring system for long-span bridges based on wireless sensor network" in IEEE 2013 Awareness Science and Technology and Ubi-Media Computing (iCAST-UMEDIA), 2013, pp. 169-174