

전역적-국부적 구조건전성 모니터링을 위한 다기능 무선센서노드

Multi-Scale Wireless Sensor Node for Global and Local Structural Health Monitoring

이 소 영* · 호 득 유 이** · 박 재 형*** · 김 정 태**** · 나 원 배*****

Lee, So-Young · Ho, Duc-Duy · Park, Jae-Hyung · Kim, Jeong-Tae · Na, Won-Bae

요 약

본 연구에서는 전역적-국부적 구조건전성 모니터링을 위한 무선센서노드로서 가속도 및 임피던스 응답 신호의 측정이 가능한 다기능 무선센서노드를 개발하였다. 이를 위해 첫째, 가속도 및 임피던스 응답의 측정이 가능한 다기능 무선센서노드를 설계 및 제작하였다. 둘째, 다기능 무선센서노드의 성능검증을 위하여 트러스교 모형을 대상으로 진동실험을 수행하였다. 셋째, 다기능 무선센서노드로부터 취득된 가속도 및 임피던스 응답을 이용하여 트러스 구조물의 구조 건전성 모니터링을 통해 다기능 무선센서노드의 적용성을 검증하였다.

keywords : 다기능 무선 센서노드, 구조건전성 모니터링, 가속도, 임피던스

1. 서 론

최근 비경제적이고 설치 비효율적인 기존 구조건전성모니터링 시스템의 단점을 극복하기 위하여 무선센서노드 기술과 내장소프트웨어 기술을 이용한 스마트센서의 개발이 활발히 진행되고 있다(Spencer 등, 2004; Lynch 등, 2006; Mascrenas 등, 2007). 현재까지 무선 가속도, 변형률 및 임피던스 센서노드들이 개발되고 있으며, 구조물로부터 가속도 또는 임피던스 신호와 같은 특정한 모니터링을 위해 사용되고 있다. 이러한 무선센서노드들은 측정하고자하는 항목 및 위치에 따라 쉽게 설치할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 서로 다른 측정 항목이 동일한 위치에서 측정되는 경우 개별 센서노드를 각각 이용하는 것은 오히려 비효율적인 것이다. 하지만, 구조형식과 손상유형이 복잡한 구조물의 경우, 여러 모니터링을 통합하는 다기능 센싱(multi-scale sensing)을 통해 스마트센서의 효율성과 정확도를 높이고 구조건전성모니터링의 신뢰성을 높일 수 있다(Studer 등, 2004; Kim 등, 2010). 예를 들어, 트러스 교량의 경우 일반적으로 각 절점에서 가속도를 측정하며, 절점에 있는 거셋 플레이트 및 볼트연결부 역시 중요한 부재로 모니터링이 필요한 부재이다.

이에 본 연구에서는 구조물의 전역적 모니터링을 위한 가속도 측정과 국부 모니터링을 위한 임피던스의 측정을 통합한 다기능 무선센서노드를 개발하였다. 개발된 다기능 무선센서노드는 트러스교 모형의 거셋 플레이트에 설치하여 그 성능을 검증하였다.

* 학생회원 · 부경대학교 해양공학과 박사과정 lsy84@pknu.ac.kr

** 학생회원 · 부경대학교 해양공학과 박사과정 hoducduy81@yahoo.com

*** 정회원 · 부경대학교 해양공학과 박사후연구원 cross96@pknu.ac.kr

**** 정회원 · 부경대학교 해양공학과 교수 idis@pknu.ac.kr

***** 정회원 · 부경대학교 해양공학과 부교수 wna@pknu.ac.kr

2. 가속도-임피던스 기반 다기능 무선센서노드

본 연구에서는 그림 1과 같이 본 연구진에 의해 기존 개발된 무선 가속도 및 임피던스 센서노드(Park 등, 2010)를 통합한 다기능 무선센서노드를 설계하였다. 다기능 무선센서노드는 그림 2(a)와 같이 무선 가속도 센서노드에서 사용되는 ATmega128 마이크로컨트롤러, 2.4GHz XBee 무선 칩, ADS8342 4채널 16bit Analog-to-Digital(A/D) 컨버터, signal conditioner와 무선 임피던스 센서노드에 사용되지만 공유 가능한 모듈(그림 2(a)에서 중첩되는 부분으로 마이크로컨트롤러와 무선 칩)을 제외한 AD5933 임피던스 칩으로 구성되며, 이들은 각각 MEMS 센서와 PZT 패치에 연결된다. 이 외에도 배터리 및 정전압 회로 배터리 공유하게 되는데, 이와 같은 통합화를 통해 기존 개별 센서노드를 제작하여 사용할 때에 비해 약 35% 정도의 비용을 절감할 수 있다.

다기능 무선센서노드에는 자체 신호처리분석 및 손상 검색이 가능한 소프트웨어가 내장되어 있다. 가속도 신호를 이용한 손상검색을 위해서는 고속푸리에변환(FFT), 상호상관함수(CC)가 내장되어 있으며, 임피던스를 이용한 손상검색을 위해서는 root-mean-square-deviation(RMSD)을 계산하기 위한 소프트웨어가 내장되어 있다.

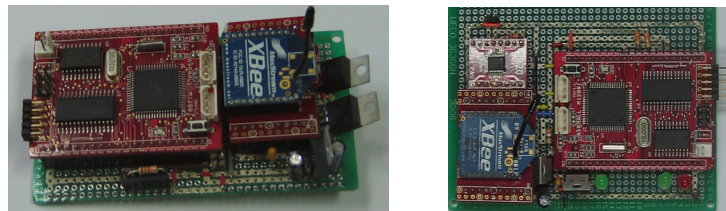
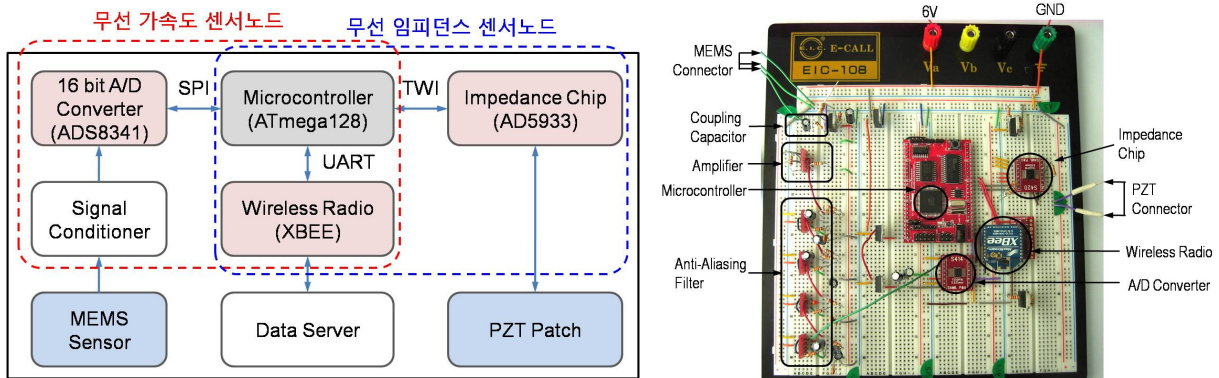


그림 1. 기존 개발된 무선 가속도 및 임피던스 센서노드(Park 등, 2010)



(a) 다기능 무선센서노드의 구성

(b) 다기능 무선센서노드의 Prototype

그림 2. 가속도-임피던스 통합형 다기능 무선센서노드의 구성 및 Prototype의 설계

3. 다기능 무선센서노드를 이용한 트러스 구조물의 구조건전성 모니터링

다기능 무선센서노드의 성능검증을 위하여 그림 3과 같은 트러스 모형을 대상을 가속도 및 임피던스 계측 실험을 수행하였다. 가속도 및 임피던스 응답 계측을 위하여 MEMS형 가속도계와 PZT 패치를 부착하였다. 이때, PZT 패치는 트러스 구조물의 국부 손상 중 볼트 풀림의 여부를 모니터링하기 위하여 거셋 플레이트의

중양에 부착하였다. 가속도 응답의 샘플링주파수는 500Hz이며 5초 동안 계측하였다. 임피던스의 측정범위는 15kHz~40kHz이다. 다기능 무선센서노드를 이용하여 볼트 풀림 손상에 대한 가속도 및 임피던스 응답을 모니터링 하였으며 손상 시나리오는 표 1과 같다. 손상 1의 경우, PZT 패치의 인접부 부재인 사재 3의 볼트 연결을 느슨하게 하였다. 손상 2의 경우, PZT 패치와 상대적으로 먼 위치의 사재 5의 볼트 연결을 느슨하게 하였다.

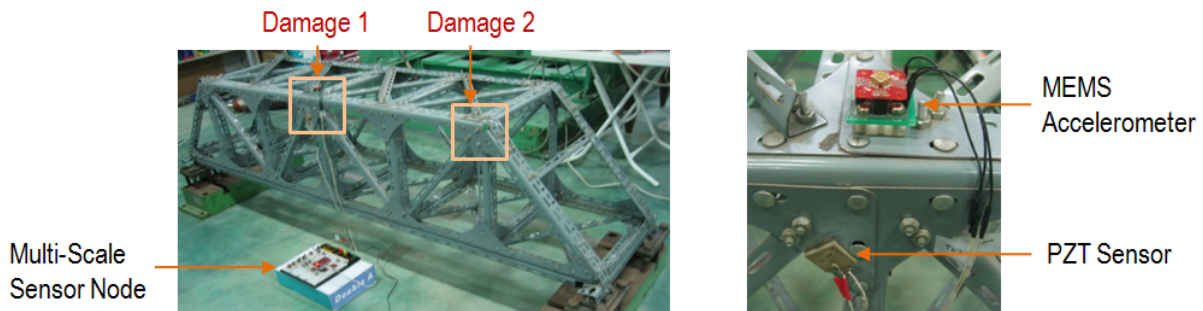


그림 3 대상 트러스 모형, 손상위치 및 센서의 설치

다기능 무선센서노드를 통해 가속도 응답 및 임피던스 응답 계측을 수행하였다. 그림 4(a)는 다기능 무선센서로부터 취득된 가속도 응답으로부터 추출한 주파수응답함수이며 볼트풀림 손상에 대한 변화가 나타난다. 손상의 발생에 대한 주파수응답함수의 변화를 정량적으로 나타내기 위하여 주파수응답의 상관계수 결과를 추출하여 그림 4(b)에 나타내었다. 상관계수 값이 1 일 경우 비손상을 의미하여 그림 4(b)의 경우 손상 1 및 손상 2의 경우에 대하여 각각 약 0.94, 0.75의 값을 나타내고 있다.

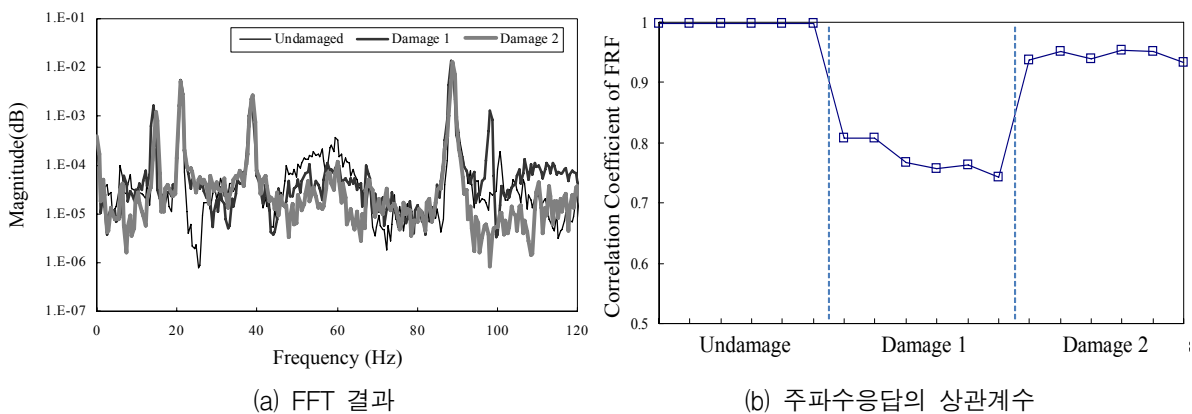
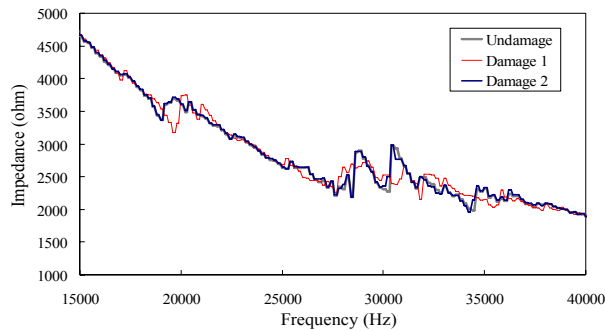
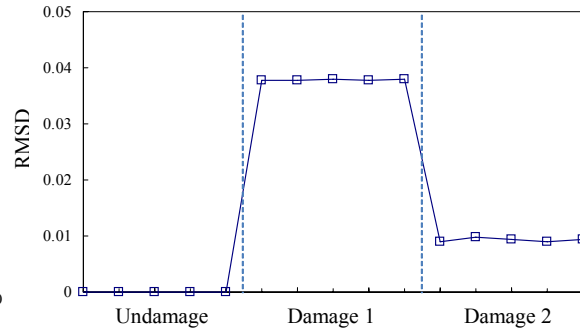


그림 4 다기능 무선센서로부터 취득된 가속도응답의 변화

임피던스 응답은 그림 5(a)와 같으며 PZT 패치의 인접부 부재에 손상이 발생한 경우(손상 1)는 임피던스 응답의 변화가 나타나지만 손상 2의 경우는 임피던스 응답의 큰 변화가 나타나지 않음을 알 수 있다. 이러한 손상에 의한 임피던스 응답의 변화를 정량적으로 나타내기 위하여 RMSD 결과를 추출하여 그림 5(b)에 나타내었다. RMSD 결과는 0 일 때 비손상 상태를 의미한다. 그림 5(a)의 임피던스 응답으로부터 예상한 바와 같이 PZT 패치의 인접부 부재에 손상이 발생한 경우(손상1)은 RMSD 값이 크게 나타나며 상대적으로 먼 거리에서 발생한 손상의 경우(손상 2)에 대해서는 비교적 작게 나타났다.



(a) 연결부 손상에 대한 임피던스 응답 변화



(b) 손상시나리오별 임피던스 응답의 RMSD

그림 5 다기능 무선센서로부터 취득된 임피던스 응답 변화

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 전역적-국부적 구조건전성 모니터링을 위한 다기능 무선센서노드를 개발하였다. 다기능 무선센서노드는 가속도 및 임피던스 응답의 계측이 가능한 센서노드로써 한 노드에서 두 종류의 신호 계측이 가능하도록 설계하였다. 또한 제안된 다기능 무선센서노드의 성능검증을 위하여 트러스교 모형의 거셋 플레이트에 설치하여 진동응답 모니터링을 수행하였다. 그 결과, 센서노드에 내장된 신호분석 함수를 통해 손상의 유무를 판별할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단지정 우수연구센터인 스마트사회기반시설 연구센터의 연구비 지원(R11-2002-101-03002-0)으로 이루어졌으며, 저자는 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Kim, J.T., Park, J.H., Hong, D.S. and Park, W.S. (2010) Hybrid Health Monitoring of Prestressed Concrete Girder Bridges by Sequential Vibration-Impedance Approaches, *Engineering Structures*, 32, pp.115~128.
- Lynch, J.P. and Loh, K.J. (2006) A Summary Review of Wireless Sensors and Sensor Networks for Structural Health Monitoring, *The Shock and Vibration Digest*, 38(3), pp.91~128.
- Mascarenas, D.L., Todd, M.D., Park, G. and Farrar, C.R. (2007) Development of an Impedance-based Wireless Sensor Node for Structural Health Monitoring, *Smart Material and Structures*, 16(6), pp.2137~2145.
- Park, J.H., Kim, J.T., Hong, D.S., Mascarenas, D. and Lynch, J.P. (2010) Autonomous Smart Sensor Nodes for Global and Local Damage Detection of Prestressed Concrete Bridges based on Accelerations and Impedance Measurements, *Smart Structures and Systems*, In press.
- Spencer, B.F., Ruiz-Sandoval, M.E. and Kurata, N. (2004) Smart Sensing Technology: Opportunities and Challenges, *Structural Control and Health Monitoring*, 11, pp.349~368
- Studer, M. and Peters, K. (2004) Multi-scale Sensing for Damage Identification, *Smart Materials and Structures*, 13, pp.283~294.