무선 센서 네트워크의 효용성 검증을 위한 올림픽대교 USN 시스템 구축에 관한 연구

The Study on Ubiquitous Sensor Network of the Grand Olympic bridge for Utility Validation of Wireless Sensor Network

장 정 희* • 안 승 주** • 한 상 주*** • 조 용 준****
Chang, Jeong-Hee • Han, Sang-Ju • An, Seung-Ju • Jo, Yong-Jun

요 약

본 연구에서는 한강 상 교량인 올림픽대교를 대상으로 첨단 무선센서를 구조물 주요 부재에 설치하고 본 센서를 통해 취득되는 데이터를 활용하여 실시간 구조 건전도 모니터링 시스템을 구축하는 것을 목적으로 하였다. 본 시스템은 유비쿼터스 센서 네트워크(USN, Ubiquitous Sensor Network)기술을 적용하여 림픽대교 주요 구조 부재 모니터링을 위한 센서 및 데이터 로깅 시스템으로 구성되어 운영된다. 본 연구에서는 1축 가속도계, 3축가속도계, 온도계, 경사계, 풍향풍속계 5종의 무선 센서를 총 10개 설치하였으며, 센서의 전원은 태양광 자가 전원공급 시스템으로 하였다. 데이터는 시스템 구축완료 후 9월1일부터 9월 7일까지의 일주일간의 데이터를 활용하여, 기존에 설치되어 있던 유선시스템으로부터 취득된 데이터와 비교 분석하였으며, 이를 통행 USN 기반의 교량 계측시스템에 대한 실용성을 검증하였다.

keywords : 유비쿼터스, 센서, 무선네트워크, USN, 무선통신, 계측, 모니터링

1. USN 올림픽대교 모니터링 시스템의 개요

1.1 시스템 개념

USN 기반 올림픽 대교 모니터링 시스템은 교량의 실시간 거동을 파악하여, 교량의 안전성과 사용성을 확보하고 유지관리 비용을 최적화하는데 그 목적이 있다. 계측된 주요 자료들은 초기 설계 및 계측치와 비교하여 교량의 현 상태를 파악하여 교량의 잔존 수명을 예측하고 보수 보강시기를 판단하는데 이용된다. 상태 모니터링 시스템은 인터넷 기반 원격 모니터링을 통해 원격지에서 효율적으로 관리자가 시스템을 관리할 수 있고, 현장에서 문제가 발생할 경우 프로그램 내에서 2단계 경보를 발행하도록 하여, 신속하게 대응 할 수 있는 연계방안 체계를 구축하였으며, 효율적인 계측관리시스템이 운영되도록 하였다.

* 정회원 • (주)동일기술공사 부설 기술연구소 연구원 jh_civil@naver.com
** (주)동일기술공사 부설 기술연구소 책임연구원 badasajada@yahoo.co.kr
*** (주)동일기술공사 부설 기술연구소 연구소장 hsj1117@empal.com
*** 정회원 • (주)동일기술공사 부설 기술연구소 연구원 yjcho@dongileng.co.kr

1.2 시스템 구성

본 시스템은 총 5단계로 나누어져 있다. 1단계에 센서에서 교량의 상태를 감지 인식하여, 센서와 일체화 되어 있는 통신모듈을 통해 데이터를 수신 할 수 있는 게이트웨이로 전송하고, 게이트웨이를 통해 수집된 데이터를 현장에 구축된 메인서버가 분석 및 저장한다. 최종적으로 메인서버에서 인터넷 통신망을 통해, 관리 사용자에게 교량의 상사태정보를 수신하도록 한다.

2. USN 올림픽대교 모니터링 시스템 설치

2.1 USN 무선통신 모듈

현장에 설치된 센서에서 모니터링 스테이션까지는 무선통신 방식으로 데이터를 획득하는 것을 기본으로 하고, 관리자가 원거리에서 접속하여 모니터링을 할 수 있도록 원거리 데이터 통신 방식(초고속 통신)을 이용한 원격 모니터링 서비스 구축을 하였다. 통신 모듈은 Buffer Memory를 사용하여 통신 장애시 데이터를 보관할 수 있으며, 통신 장애가 해결되면 서버에 전송하여 모든 데이터를 획득할 수 있다. 또한, 2.4GHz 대역의 통신 주파수를 사용하는 IEEE 802.15.4 프로토콜 기반의 USN 무선데이터로거로 내부에 ADC 24bit 센서구동회로, 신호증폭기, LowPass Filter를 내장하였다.

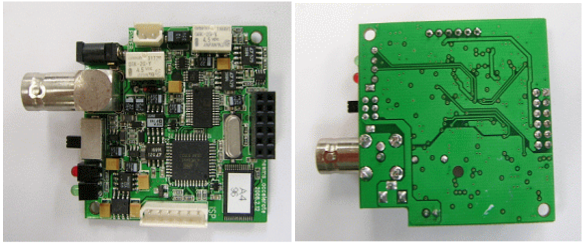
그림 1 센서 보드

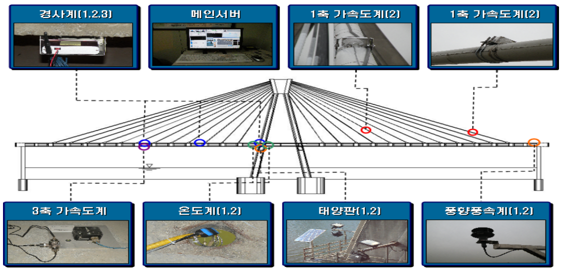

그림 2 센서의 설치 현황

2.2 센서의 설치

본 연구에서는 1축가속도, 3축가속도, 온도, 경사, 풍향풍속계 총 5종류의 센서를 10개 설치하였으며, 1축가속도계는 사장교 케이블 장력계측을 위해 남단 5번, 12번에 각각 설치하였다. 올림픽대교 주탑 케이블의 앵커에서 약 2m 지점에 가속도계 고정 치구와 U형 볼트를 이용하여 케이블에 장착하여 1축가속도계를 설치하고, USN 통신모듈은 전원박스에 탑재하였다. 그리고, 사장교 구간 메인거더의 동적 거동을 모니터링 하기위해 3축 가속도계를 설치하였고, 박스 거더 내부온도를 모니터링 하기 위해 거더 안쪽 벽면에 지그를 부착하고 USN 모듈과 온도계를 설치하였다. 지그는 거더 벽면에 에폭시 및 실리콘 처리를 통해 교량 구조물에 손상이 없도록 부착하였다. 또한, 외부 온도를 모니터링 하기 위한 온도계는 거더 바닥면에 지그를 부착하고 USN 모듈을 설치하였다. 기존의 센서가 설치된 바닥면 구멍(Hole)을 통해 외부로 노출시켜 케이블 타이 등으로 고정하여 설치하였다. 경사계는 박스 거더의 처짐을 모니터링 하기 위해 설치하였으며, 기존의 유선 계측 시스템에서는 레이져 변위계가 설치되었으나, 본 연구에서는 상판의 처짐을 모니터링 할 수 있도록 계측 위치 2곳을 추가하여 모두 3곳에 경사계를 설치하였다.

2.3 태양판의 설치

모든센서 및 USN 모듈을 운용하기 위한 전원은 태양판이 사용되었다. 박스외부의 센서 및 통신모듈 운용을 위한 전원과 박스 내부의 센서 및 통신모듈을 운용하기 위한 전원으로 구성되며 외부에 부착된 태양판의 전원케이블이 교량내부의 덕트를 타고 들어와 전원을 공급하게 된다. 사장교 남단부 중앙분리대와 사장교 구간 주탑부 가운데 난간에 각각 1개씩 설치하였다.

2.4 운영 프로그램 및 운영서버

일반적으로 구조물을 모니터링 하는 이유는 구조물에 중대한 결함이나 이상 징후가 발생하였을 경우 관리주체가 이를 파악할 수 있도록 경보를 하고 원인을 찾을 수 있는 데이터를 제공하는데 있다. 본 운영 프로그램에서는 이를 위해 각 센서별로 주의 값과 경고 값을 주어 2단계 경보를 내리도록 설정 하였으며, 데이터를 쉽게 제공 할 수 있도록 1일 단위로 저장 DB를 생성하도록 하였다. 올림픽대교 전경 및 설치된 센서 위치를 제공하고 센서 위치를 클릭하였을 경우 해당 센서 운영 현황을 제공하여, 센서 종류, 수량(개소)별 데이터 모니터링(그래프) 및 저장 기능 을 탑재하였다. 또한, 가속도 계측의 경우 실시가 FFT 기능을 탑재하고, 1축의 경우는 케이블의 장력까지 실시간으로 볼 수 있도록 기능을 추가하였다.

3. 계측 결과 및 분석

3.1 1축 가속도계 계측결과

본 연구에서 1축가속도계는 남단 5번, 12번 케이블의 1축 가속도 값을 측정하였으며, 데이터는 초당 100개를 수집하고, 실시간 FFT분석을 통해 고유진동수를 추출하였다.
그 후에 진동방정식을 이용해 장력을 산출하였다. 올림픽대교 12번 케이블의 장력 초기 값(최종도입장력)은 657.6ton이고 주의 값은 697.06ton 이며 경고 값은 736.51ton 이다. 9월 1일부터 7일까지의 평균 장력은 652.4ton으로 올림픽대교 12번 케이블 장력 관리기준 값과 비교해 보았을 때 관리기준치 이내의 분포를 나타내었다.

표 1 12번 케이블 장력 값(유.무선-12시)

날 짜	12번 케이블 장력(무선)	12번 케이블 장력(유선)
1일	663.90	624.00
2일	658.03	614.07
3일	640.48	611.11
4일	656.49	621.66
5일	641.86	619.72
6일	640.68	610.74
7일	662.93	632.31

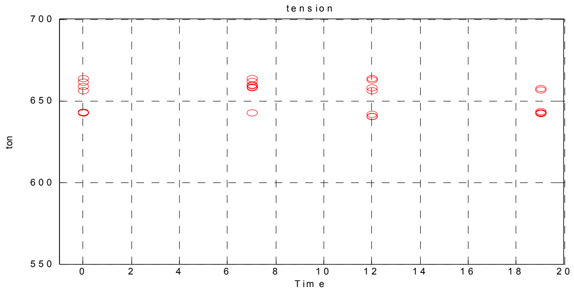

그림 3 USN 계측 시스템의 장력 분포

3.2 3축 가속도계 계측결과

본 연구에서는 무선계측시스템으로부터 취득된 3축 가속도 응답을 활용하여 교축 직각방향, 교축방향, 교량 연직 방향 별 1차 모드를 산출하였다. 교축 직각방향은 1.26hz, 교축 방향은 0.68hz, 교량 연직 방향은 0.65hz에서 1차 모드가 나타났다. 유선계측 시스템 데이터의 고유진동수는 교축 직각방향은 1.3hz, 교축 방향은 0.67hz, 교량 연직 방향은 0.7hz로 무선계측 시스템에서 추출된 고유진동수와 거의 비슷하거나 약간 높게 나타났다. 이는 각 시스템의 계측 시간이 명확하게 동일하지 않

아 작용하중이 다름으로 인해 발생되는 현상으로 판단된다.

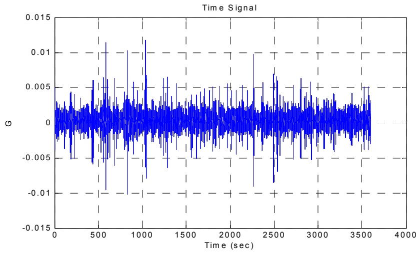

그림 4교축 직각방향 진동 가속도 응답

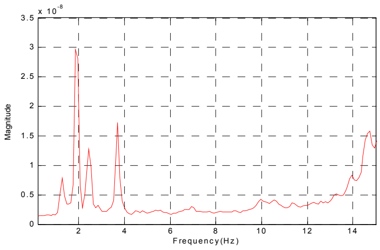

그림5 교축 직각방향 진동 응답 해석

표 2 주형의 연직처짐 평균 (유.무선-19시)

날 짜	주형 연직처짐	
	무선	유선
1일	0.487	0.4903
2일	0.4019	0.4901
3일	0.219	0.4902
4일	0.0949	0.4906
5일	0.174	0.4908
6일	0.4035	0.4908
7일	0.1363	0.4908

3.3 경사계

본 연구에서 구축된 변위 계측 시스템은 교량 사하중에 의해 약 2.5mm만큼 처져 있는 상태의 교량에 경사 센서를 부착하여 0점 조절을 수행하였다. 따라서 신규로 설치된 무선 계측시스템에서 취득되는 처짐 값은 활하중에 의해 발생하는 값을 주로 나타내며, 활하중에 의한 처짐은 최대 약 0.9mm로 나타났다.

3.4 풍향풍속계

본 연구에서 풍향풍속계 초당 1개의 데이터를 획득하였다. 주탑 및 남단측 교면분리대의 풍속 데이터를 획득하였으며, 주탑에서는 0.8m/sec에서 최대 3.4m/sec로 분포를 나타내었고 주로 1~2m/sec에서 가장 많은 분포를 나타내었다. 교면분리대에서는 최대 4.06m/sec의 풍속을 나타내었고 주로 2~3m/sec에서 가장 많은 분포를 나타내었다. 이는 교량에 영향을 미치는 풍하중뿐만이 아니라 차량 이동에 의해 발생되는 와류까지 계측되는 현상으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 한강 상 교량 중 올림픽대교를 선정하여, USN 모니터링 시스템을 구축하고, 실시간 교량의 거동을 분석하였다. 총 10개의 센서를 설치하여 Test하였으며, 그 결과 모든 계측 값이 올림픽대교 관리기준치에 비교하였을 때 안정적인 값을 나타내었다. 이번 연구를 통하여, 사회기반시설물 USN 모니터링 시스템 적용 가능성을 긍정적으로 보았으며, 향후, 시설물관리 분야에 USN 모니터링 시스템이 도입됨으로써 건설분야에 특화된 기술개발을 도모할 수 있을 것으로 사료되어진다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06건설핵심 B05)에 의해 수행된 것으로 본 연구를 가능케 한 국토해양부와 실험 장소를 제공해준 서울시 도시기반시설본부에 감사드립니다.

참고문헌

이승재 (2005) 유비쿼터스 컴퓨팅 기술을 활용한 대형교량의 계측, 모니터링 통제시스템

노무라종합연구소 (2002) 유비쿼터스 네트워크와 시장창조, 전자신문사, pp27