

무선 IoT 센서 네트워크 기반 소규모 교량의 내하성능 평가 모델

박경훈*, 선종완*, 이용준*, 노화성**

*한국건설기술연구원 인프라안전연구본부, **전북대학교 토목공학과
e-mail:paul@kict.re.kr

Load carrying capacity evaluation model of small bridges based on wireless IoT sensor network

Kyung-Hoon Park*, Jong-Wan Sun*, Yongjun Lee*, Hwasung Roh**

*Dept. of Infrastructure Safety Research, KICT, **Dept. of Civil Eng., Chonbuk National Uni.

요 약

중소 노후 교량의 안전관리를 위하여 내하성능의 변화를 실시간 모니터링하기 위한 시스템 모델을 제안하였다. 실제 교량의 계측을 통해 내하성능의 변화를 추정하였다. 산재된 다수의 노후 교량에 대한 지속적이고 장기적인 내하성능 모니터링을 통해 적정한 개축 시기를 판단하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서론

도로 시설물 중 교량은 차량의 하중을 직접적으로 지지하고 외부 환경의 영향으로 인해 지속적으로 노후화된다. 또한 과거에 건설된 중소규모 교량은 하중의 지지뿐만 아니라 하천 구간의 통수단면 확보 등 2차적인 요구기능을 만족시키기 위하여 상부부터 하부까지 전면적인 개축이 이루어지는 것이 일반적이다. 이러한 노후 교량의 개축 여부를 판단하는 것은 다양한 고려 인자들로 인해 어려운 의사결정 문제이다. 하지만 공용 중 붕괴와 같은 최악의 사태를 방지하기 위하여 가장 중요하게 고려되는 인자는 구조적 안전성, 즉 하중에 대한 지지능력이다. 노후 중소교량은 건설정보나 구조안전성, 내하력의 검토 등이 수행된 이력이 존재하지 않는 경우가 대부분이다. 또한 다수의 교량 중 예산의 제약으로 인해 일부 교량을 우선 개축해야하므로 개축이 이루어지지 않는 동안 구조적 안전성의 확보 여부를 지속적으로 모니터링 하는 것이 필요하다. 하지만 개축을 앞둔 중요도가 낮은 중소규모 교량에 많은 비용을 투입하여 다수의 센서를 설치하여 모니터링을 하는 것은 비경제적이다.

본 논문에서는 개축 대상 노후 교량의 구조적 안전성 변화를 지속적으로 평가하기 위하여 무선 IoT 가속도 센서 기반 내하성능 평가 시스템을 구축하였다. 실제 교량에 적용하여 계측데이터를 수신하고 분석하여 교량의 구조적 안전성을 평가하고자 한다.

2. 교량 무선 IoT 센서 네트워크 구성

산재되어있는 다수의 교량에 설치되는 상시 계측용 센서는 안정성, 내구성 등이 확보되어야하며, 이와 함께 전원문제가 해결되어야 한다. 도심지에 위치하지 않은 교량에 전원을 공급하는 것이 곤란하므로 태양광을 활용한 전원공급을 계획하였다. [그림 1]은 본 과업에서 적용한 가속도 센서와 태양광 전원공급장치를 나타내고 있다. 해당 가속도 센서 IoT 모듈은 84W/일의 상시전원을 필요로 하며, 필요용량의 약 3.8배 정도의 전원 공급이 가능한 태양전지판을 설치하였다.



(a) IoT 센서 디바이스(1Ch)
(Max 200Hz, 교량용 DAQ내장(gain 100), 3축 MEMS 가속도 센서 내장, LTE-M 모듈 내장)

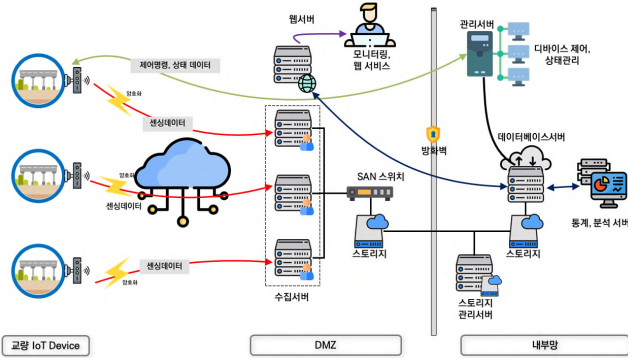


(b) 태양전지모듈, 충전컨트롤러, 배터리, 배전함

[그림 1] 무선 IoT 센서 및 전원공급장치 사양

차량하중에 의해 발생된 계측데이터의 획득을 위하여, 센서 디바이스에서 발생된 이벤트에 대한 트리거링(triggering)을 거쳐 암호화된 정보는 상용통신망을 통해 수집서버로 전송된다. 센서 디바이스에서의 트리거 레벨, 전송시간 간격, 원시(raw)데이터의 전송 등에 대한 제어는 관리서버를 통해 이루어진다. 다수의 센서로 부터 전송되어 수집서버에 저장된

데이터들은 SAN(Storage Area Network) 스위치를 통해 보안영역의 데이터베이스 스토리지에 저장된다. [그림 2]는 산재된 다수의 교량에 설치된 다수의 센서로부터 계속된 데이터를 수집, 관리하기 위한 시스템의 개념을 나타내고 있다.



[그림 2] 교량 계측데이터 관리시스템 개념도

3. 실 노후 교량 계측

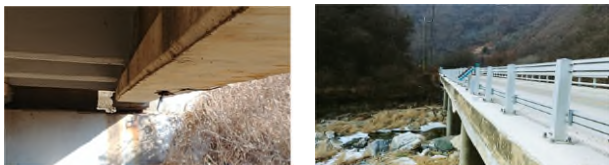
제안된 내하성능평가방법(노화성 외, 2015)의 적용을 위하여 일반국도 상 노후교량 3개소에 무선 계측 가속도계 모듈을 설치하였다. 3개소 교량의 일반적인 현황정보는 [표 1]과 같다. 설치된 모듈은 A교 2개소, B교 4개소, C교 2개소이며, 각각의 모듈별로 LTE-M모듈을 장착하고 있으며, 개별 전원공급장치(태양전지판)를 연결하였다. [그림 3]은 실제 교량에 설치된 센서 모듈과 전원공급장치를 보여주고 있다.

[표 1] 계측 대상 교량 현황정보

교량명	상부구조 형식	설계 하중	길이 (m)	폭 (m)	경간 수	최대 경간장 (m)	준공 년도
A교	RC슬래브교	DB-24	66	7.5	6	11	1971
B교	PSC I형교	DB-24	20	16	1	20	1982

[표 2] 계측 대상 교량 동특성 정보

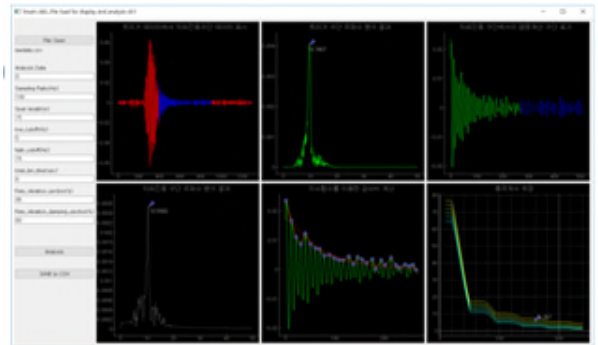
교량명	1차 고유진동수 (Hz)	점성비 (%)	충격 계수	정적 성능 계수	동적 성능 계수	내하성능 변화(%)
A교	12.500	1.5	0.057	0.940	0.989	-7.0
C교	7.813	2.3	0.073	0.907	0.984	-10.7



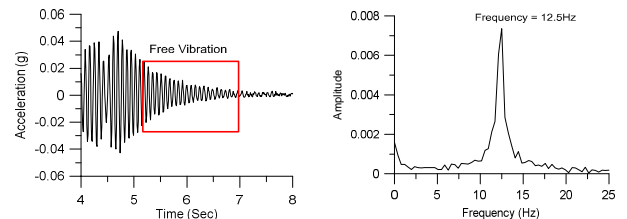
[그림 3] 가속도 모듈 및 태양전지판 실 교량 설치 전경

[그림 4]는 특정 이벤트(차량 진입) 발생에 따라 트리거링되어 데이터베이스 서버에 저장된 실시간 가속도 데이터와 자유진동 구간의 데이터를 이용한 FFT(Fast Fourier Transform) 분석 및 감쇄비 등을 분석하는 화면을 보여준다. [그림 5]는 실제 교량B의 자유진동 구간 가속도응답과 1차 고유진동수를 나타내고 있다. [표 2]는 각 교량의 계측된 가속도

로부터 분석을 통해 도출된 주요 지표를 나타내고 있다. 최종적으로 약 2년 전의 내하성능은 교량별로 7.0에서 10.7%까지 변화를 보이는 것으로 나타났다. 실제 상시계측 시스템을 통해 계측된 기간이 짧아 상시계측 데이터에서는 유의미한 내하성능의 변화가 나타나지 않았다. 장기적인 계측과 주기적인 점검을 통해 내하성능 및 상태의 변화를 지속적으로 모니터링하고자 한다.



[그림 4] 교량 가속도 데이터 및 분석 결과



(a) 자유진동구간 (b) 1차 고유진동수

[그림 5] 교량A의 가속도 응답 및 고유진동수

4. 결론

개축이 요구되는 중소 노후 교량의 안전관리를 위하여 내하성능의 변화를 실시간 모니터링하기 위한 시스템 모델을 제안하고, 실교량에 적용하여 내하성능 변화를 추정하였다. 산재된 다수의 개축 대상 교량의 안전관리를 위한 합리적이고 경제적인 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

* 본 논문은 2020년 교량통합관리시스템 운영업무의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 노화성, 유민관, 박경훈, “주파수 응답에 기초한 교량 내하력 평가 모델 개발”, 한국방재학회논문집, 2015.