

LoRa LPWAN 기반의 무선 계측센서 설치 및 유지관리 방안

김 중 훈^{1†} · 박 원 주² · 박 진 오³ · 박 상 현⁴

¹한국시설안전공단 특수교관리센터 대리, ²한국시설안전공단 특수교관리센터 차장, ³동일기술공사 기술연구소 전무, ⁴동일기술공사 기술연구소 차장

LoRa LPWAN-based Wireless Measurement Sensor Installation and Maintenance Plan

Jong-Hoon Kim^{1†}, Won-Joo Park², Jin-Oh Park³ and Sang-Hyun Park⁴

¹Deputy Manager, Long Span Bridge Management Center, KISTEC, Jin-ju, 52852, Korea

²Deputy General Manager, Long Span Bridge Management Center, KISTEC, Jin-ju, 52852, Korea

³Manager Director, Institute of Technology, Dong-Il Inc, Seoul, 05800, Korea

⁴Deputy General Manager, Institute of Technology, Dong-Il Inc, Seoul, 05800, Korea

Abstract

Social infrastructure facilities that have been under construction since the country's high-growth period are undergoing rapid aging, and, thus, safety assessments of large structures such as bridge tunnels, which can be directly linked to large-scale casualties in the event of an accident, are necessary. It is difficult to construct economical and efficient wireless smart sensor networks that improve structural health monitoring (SHM) because the existing wire sensors have a short signal reach. However, low-power wide-area networks (LPWANs) are becoming popular within the Internet of Things, and enable economical and efficient SHM. In this study, the technology trends of a wireless measuring sensor based on LoRa LPWANs were investigated, and an installation and maintenance plan for this type of sensor is proposed.

Keywords : wireless smart sensor network, LoRa LPWAN, installation and maintenance plan

1. 서론

국내 교량 유지관리에서 구조 건전성 모니터링(Structural Health Monitoring, SHM)이 차지하는 중요성을 일찍부터 인식하여 1990년 후반부터 진도, 돌산, 남해대교를 중심으로 모니터링 시스템이 설치되기 시작하였다. 이후 섬과 섬을 연결하는 연도교와 섬과 육지를 연결하는 연육교의 가설이 활발해지면서, 주 경간의 길이가 200m를 초과하는 장대교량을 중심으로 다양한 모니터링 시스템이 설치되어 운영 중에 있다.

장대교량 거동계측에는 주탑의 경사를 계측하기 위한 경사계, 진동 특성을 규명하고 케이블 장력을 계측하기 위한 가속도계, 주부재의 응력을 계측하기 위한 변형률계, 온도의 영향을 확인하기 위한 온도계, 지진계, 풍향풍속계 등 다수의 센서가 설치 목적에 따라 교량의 정적·동적거동을 계측하는데 이용되고 있다. 정적 계측은 주탑 및 바닥판의 정적인 변형과 주

부재의 응력을 계측하여 교량의 전체적인 안전성을 파악하는 것을 목적으로 주로 주기적인 안전진단 및 정보수집에 활용되고 있고, 동적 계측은 차량하중 및 풍하중에 의한 상시진동(Ambient vibration)과 지진하중 및 기타 특이 진동으로 인한 교량의 동적 거동을 파악을 목적으로 교량의 동적인 특성과 내하력 및 안전성을 검토하는데 활용되고 있다(Kim *et al.*, 2016).

통상적으로 교량 구조물은 준공 후 20여년이 지나면서 유지보수 수요가 증대되고 30~40년이 지나 개축을 고려한다면 10년 후 15%, 20년 후에는 절반 이상에 이를 것이라고 보고되고 있다(Lee *et al.*, 2012). 따라서 신규 건설뿐만 아니라 경제성을 고려한 유지관리에 보다 깊은 관심이 필요한 실정이다(Fig. 1).

유·무선 방식에 의한 교량 모니터링 시스템 설치비용을 분석한 자료에 따르면 300개의 센서를 교량에 설치하는 경우 무선 방식의 모니터링 시스템 구축에 필요한 비용이 기존의 유선 방식 대비 약 38%, 총 설치비용은 유선방식의 약 43%로 나타났다(Table 1).

[†]Corresponding author:

Tel: +82-55-771-4914; E-mail: mynacl@kistec.or.kr

Received November 1 2019; Revised ; November 7 2019

Accepted November 19 2019

© 2020 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

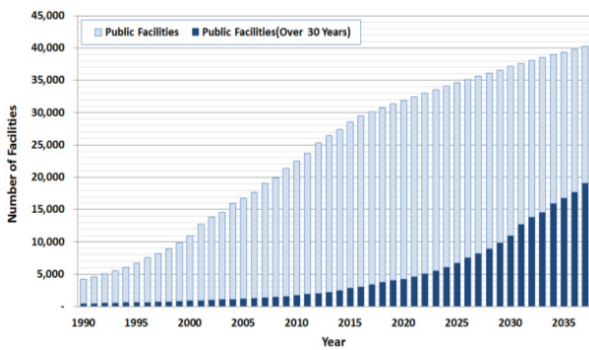


Fig. 1 Trend of increase in deteriorated bridges

Table 1 Cost comparison of monitoring system construction (Kim and Park, 2018)

	Wireless sensor networks	Wired instrumentation
System Installation duration	· 3 Technicians for 6 days · 10,800 Euros	· 3 Technicians for 16 days · 28,800 Euros
Wiring cost	· 8,000 Euros	· 29,000 Euros
System cost	· 129,600 Euros	· 290,000 Euros
Total cost	· 148,400 Euros	· 347,800 Euros

또한, 전 세계의 센서 시장은 2013년 약 37조원이고 2020년 약 41조원으로 추산되고 있으며(Seichi, 2013), 향후의 센서 및 모니터링 시장은 무선 센서 시스템이 대부분을 차지할 것으로 전망된다.

시스템 유지관리 업무의 간소함으로 인해 무선 계측시스템이 유선 시스템을 대체하는 기술로 인식되고 있으나 Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth 기반의 무선 계측시스템은 통신 도달거리가 수십 미터에 불과하며 LTE 기반의 무선 계측시스템은 과도한 통신비로 인하여 토목 구조물에 장기계측 데이터를 수집하기 위한 시스템 구축에 부적절하다. 따라서 무선 계측시스템의 실용화 방안을 도출하기 위하여 LoRa LPWAN 기반의 무선 계측센서 네트워크의 기술동향 및 진동가속도 계측 사례를 살펴보고 설치 및 유지관리 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 LoRa LPWAN 시스템 기술동향

LoRa LPWAN(Long Range Low Power Wide Area Network)는 장거리 통신과 저전력을 목표로 개발된 통신 프로토콜로서, Semtech Cooperation에서 특허를 소유한 비표준기술이다(Lim *et al.*, 2017). 시스템 구조는 단말기(End nodes), 게이트웨이, 네트워크 서버, 어플리케이션 서버의 4개의 메인 블록과 네트워크 보안을 위한 AES 128 암호화를 사용하여 네트워크 세션 키(Network session key)와 어플리케이션 세션키(App. Session key)를 제공한다(Fig. 2).

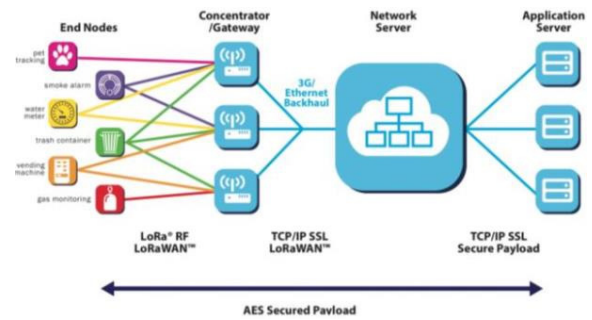


Fig. 2 LoRa network architecture(LoRa Alliance, 2018)

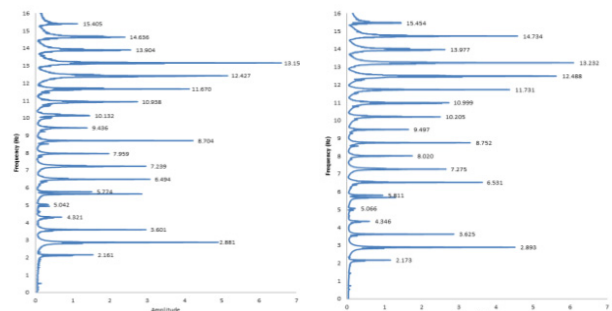
2.1.1 LoRa LPWAN 국내 기술동향

국내에서는 경보, 용벽, 낙석, 사면 붕괴 예측 등 다양한 분야에서 연구가 이루어지고 있으며, 교량 구조물에 확대 적용하고자 M2M(Micro eletro mechanical systems)에 최적화된 LoRa LPWAN 기반 무선 계측시스템을 개발 및 Test Bed에 적용하여 사용성, 적용성, 내구성 등을 검증하고 있다(Fig. 3).



Fig. 3 DAQ board and installation

개발된 LoRa LPWAN 기반 무선 계측시스템과 기존 유선 시스템에 의해 측정된 데이터를 비교한 결과 고유진동수 1차 모드에서 LoRa기반 무선 계측 시스템은 2.161, 유선 계측 시스템은 2.175로 나타났으며, 다른 차수의 모드에서도 1% 내외의 결과를 보이고 있다. 돌산, 영광대교 등 추가 현장적용 결과 유사한 값을 나타냈다. 따라서 개발된 노드와 게이트웨이를 이용한 LoRa 기반 무선 계측시스템의 적정성을 검증하였다.



(a) Conventional wireline measurement system (b) Wireless measurement system
Fig. 4 Comparison of wired and wireless system measurement results

또한, 고속철도 선로 주변에서 원활한 무선통신이 가능함을 입증한 사례도 있다. 고속철도가 170km/h의 속도로 시험대상 교량을 주행할 때 유·무선 센서에서 측정된 가속도 이력곡선을 30Hz 필터링을 적용하여 비교한 결과를 보여 준다(Fig. 4). 분석결과 통신장애는 발생하지 않으며, 두 시스템에 의해 추정된 진동수가 유사함을 확인하였다. 하지만, 이력곡선의 최대값에서 다소의 차이를 보이므로 실무적용에 앞서 심도 있는 연구를 통해 완전히 규명할 필요가 있는 것으로 확인되었다(Fig. 5).

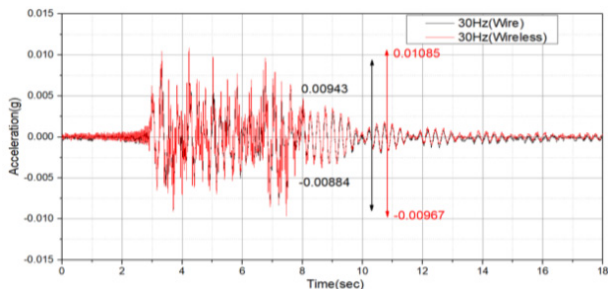


Fig. 5 Comparison of the measurement of acceleration hysteretic curves in high-speed railway bridges(Kim *et al.*, 2016)

2.1.2 LoRa LPWAN 국외 기술동향

국외에서는 오래전부터 무선센서 네트워크에 의한 교량 유지관리의 필요성을 인식하여 이 분야에 관한 연구에 많은 투자를 하고 있고, 일부 국가에서는 이미 상용화하여 시스템을 운영하고 있다. 특히 독일, 중국의 경우에는 교량, 원자력 발전소 등 다양한 구조물의 모니터링에 무선시스템을 사용하고 있다. Fig. 6은 독일의 BeanAir사에서 300개의 정·동적 무선센서를 사용하여 캐나다 Turcot 교차로에 있는 교량을 모니터링하고 있는 사례이다. 125개의 LoRa기반의 무선 가속도 센서, 45개의 전력공급용 무선센서, 130개의 무선경사센서가 사용되어 현재 운용되고 있다(Northstream, 2016).



Fig. 6 LoRa based wireless sensor application case(turcot intersection in canada)

Fig. 7은 상용화된 LoRa LPWAN 기반의 무선 계측센서로 (a)는 스페인의 Libellium사에서 개발한 LoRa IoT 장비, (b)는 영국, 미국 등의 지사를 가지고 있는 Worldsensin사에서 판매 중인 무선 경사 계측시스템으로 국내에서 개발 중인 시스템과 유사한 시스템 구성을 하고 있다(Vilajosana *et al.*, 2017).



(a) LoRa IoT equipment (b) Wireless tilt measurement system

Fig. 7 Commercialized LoRa based wireless sensors

일본에서는 도로교 모니터링을 위한 자립형 무선센서 시스템 개발 및 활용에 관한 연구를 수행하였다(Seichi, 2013). 자립형 무선센서 시스템은 경제성, 시공성을 고려하는 LoRa기반의 무선 시스템으로 연구결과 무선시스템의 활용성 및 데이터 처리 능력 등을 연구를 통해 입증하였다. 또한 일본 철도총합 연구소를 중심으로 노후 철도구조물의 안전관리를 위해 이 분야에 관한 다양한 연구를 진행해 오고 있다. Fig. 8은 津野究 등의 연구진이 개발한 노후철도 터널의 손상감시를 위한 무선 계측시스템(Tsuno, 2018) 개요도를 보여 준다. LoRa 기반의 무선 계측시스템으로 최소 5분 간격의 계측빈도로 현장 컴퓨터에 저장하고, 분석된 데이터를 휴대전화 회선을 이용하여 데이터를 전송한다. 이때 관리자가 요구하는 통신이 가능한 모든 전자기기에서 데이터 송신이 가능하여 폭넓은 효율성을 장점으로 한다.

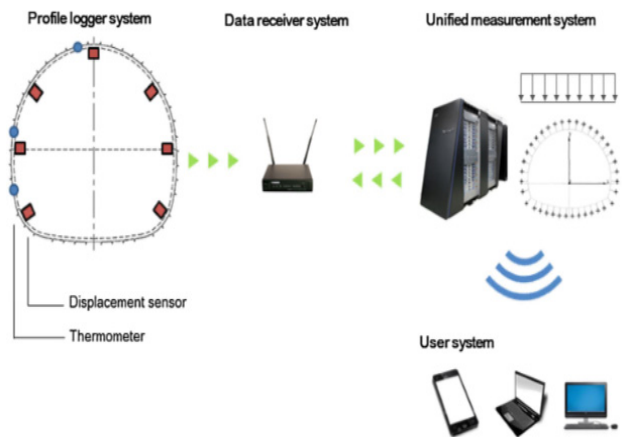


Fig. 8 Diagram of tunnel measurement system by wireless sensor

2.2 무선 계측시스템 설치 방안

2.2.1 계측시스템의 용도

계측시스템을 설치·운영하는 일반적인 목적은 크게 점검과 진단을 보조하는 계측, 보수·보강 효과 확인, 긴급 시 대응을 보조하는 수단으로 나누어 생각할 수 있다. 따라서 계측시스템을 설치·운영하고자 하는 관리주체에서는 목적 및 현장 상황 등을 충분히 고려하여 시스템 설계·설치·운영을 하여야 한다. 계측시스템은 계측자료의 전송방법에 따라 유·무선 시스템으로 분류하고, 계측시스템을 설치·운영하고자 하는 경우 현장 여건을 고려하여, 유·무선 통신에 대해 각각 상세한 검토를 한 후 실제 교량에 효율적인 시스템을 구축하도록 하고 있다. 특히 무선통신 설비가 유선통신에 비해 효율적이거나, 다음에 해당하는 경우 무선통신을 적용할 수 있도록 하고 있다.

- 1) 유선통신 설비로 네트워크 망을 구축할 수 없는 지역
- 2) 자연재해로 인한 통신케이블 손상이 빈번하게 발생 혹은 우려되는 지역
- 3) 통신 케이블 배선 작업이 불가능하거나 유지관리가 어렵다고 판단되는 지역
- 4) 유선통신에 비하여 동등하거나 그 이상의 성능을 확보할 수 있는 경우

2.2.2 노드

교량에 발생하는 응답(가속도, 변위, 변형, 온도 등)을 측정하는 기능, 데이터를 보관하고 아날로그 디지털 변환(ADC) 등을 수행하는 처리기능, 계측된 데이터를 게이트웨이로 전송하고 게이트웨이로부터 계측조건 등을 수신하는 통신기능, 전력공급 기능을 갖는 센서유닛(Sensor unit) 전체를 의미한다. 노드에는 MEMS(Micro electro mechanical systems) 센서와 같이 계측·통신·처리 기능이 모두 일체화된 것과 분리된 것이 있으며, 상황에 따라 적절히 선택하여 조립·사용할 수 있다. 노드는 구조물에 설치가 용이해야 하며 별도의 전원 공급장치가 없이 Energy Harvesting 시스템으로 구동되도록 하는 것이 바람직하나, 전원공급이 용이한 경우에는 상시전원에 의한 구동방안도 검토하도록 한다. Energy Harvesting 시스템으로 구동시킬 경우에는 전력소모량이 많지 않는 무선통신 프로토콜을 사용하도록 하고, 계측 및 통신 1회당 소요되는 전력 소모량 등을 사전에 검토하여 데이터의 끊어짐이 발생하지 않도록 한다. 노드는 현장상황에 따라 유지관리, 시공성

등을 감안하여 센서 일체형, 분리형으로 제작할지 미리 검토하여 제작하며, 현장에 설치되는 각종 센서와 통신설비는 습도 등 주변 환경의 영향에 의해 오작동이 발생하지 않도록 전용 방수케이스를 제작하여 앵커 등에 의해 견고히 설치하고, 게이트웨이와 통신이 용이하도록 가능한 시야가 트인 곳에 설치하는 것을 권장한다.

2.2.3 게이트웨이

노드와 통신하면서 노드에 저장된 데이터를 전송하고, 노드의 상태를 감시·제어하며, 관리자 사무실로 데이터를 전송하는 기능을 갖는다. 게이트웨이는 네트워크의 경계라는 의미로서 Edge라고도 한다. 대부분의 현장에서 게이트웨이는 유선에 의한 전원공급이 가능한 곳에 설치가 가능할 것으로 판단되나, 전원공급이 용이하지 않은 경우에는 부착이 용이하고 배터리, 태양열 등으로 구동되도록 설계한다. 장대교의 경우 태양열 패널을 설치하기 용이한 곳이 있을 것으로 판단되므로, 태양열을 이용하는 방법을 적용함으로써 친환경 및 에너지 절약에 기여하는 방안도 적극 검토할 것을 권장한다. 그리고 현장에 설치되는 게이트웨이는 습도 등 주변 환경의 영향이 적은 곳에 전용 방수케이스 등을 별도로 제작하여 앵커 등에 의해 견고히 설치하고, 노드와 통신이 용이하도록 가능한 시야가 트인 곳에 설치하는 것을 권장한다.

2.2.4 근거리 통신

근거리 통신망(LAN, Local Area Network 또는 PAN, Personal Area Network)은 현장에 설치된 여러 개의 노드와 게이트웨이 사이를 일괄적으로 제어하는 통신수단이다. 이를 이용하여 노드에서 계측·저장된 데이터는 게이트웨이로 전송되며, 노드의 상태를 감시하고 동작을 제어할 수 있다. 통신은 현장여건에 따라 적합한 방식을 적용해야 한다. 국내에서 가용한 무선방식에는 LoRa, Zigbee, Bluetooth, LTE 등이 있고 일부 제조사에서는 별도의 Protocol을 만들어 사용하기도 한다.

LoRa 통신망은 별도의 면허가 필요 없이 전용 네트워크를 만들 수 있는 920MHz 대역을 사용하며, 최대 통신거리가 이론적으로 10Km로 광범위하다는 장점을 가진다. 하지만 최대 통신 속도가 300bps~50Kbps로 대용량 데이터 전송에는 불리한 측면이 있어 DAQ에서 데이터를 분석한 결과만 전송하는 형태로 적용되는 것이 적절하다고 판단된다.

Table 2는 통신규격의 개략적인 사양을 정리하였으며, 현장 상황에 맞는 적절한 통신규격을 선정하여 설치하도록 한다.

Table 2 Comparison of typical communication standards by frequency band(Strasser and Kiremidjian, 2000; Park and Park, 2018)

	920MHz Frequency band	2.45GHz Frequency band
Standard name	LoRa, WiSUN, NB-IoT, etc.	Zigbee, WiFi, Bluetooth
Communication distance	Around 10km(LoRa) 1km(WiSUN) 15km(NB-IoT)	Around 100m
Communication speed	300bps~50Kbps(LoRa) Around 400Kbps(WiSUN) Around 200Kbps(NB-IoT)	Around 0.25Mbps(Zigbee) Around 22Mbps(WiFi) Around 24Mbps(Bluetooth)
Transmission power	20mW	10mW
MultiHop function	Possible	Possible
Communications Disorder	Less	Plenty

따라서 LoRa LPWAN과 같이 통신속도에 제한이 있는 통신망을 사용하여 구조물의 정·동적 거동을 모니터링 하고자 하는 경우에는 실시간 계측이 아닌 노드 또는 게이트웨이에 저장한 후 데이터를 묶어서 전송하는 방법이 적절한 대안이 될 수 있으며, 데이터를 전송하는 경우에는 1회 전송량, 전송에 소요되는 시간, 전송빈도, 주변 환경(통신 점유율), 배터리 소모량 등을 감안하여 원하는 목적에 맞는 통신방법을 설계하여야 할 것이다. 또한 데이터 전송량 계산 시에는 계측데이터, 암호화 여부, 주석의 크기 등도 함께 고려하여야 한다. 무선 계측시스템 설계 및 시공 시에는 다음 사항을 면밀히 고려하여 결정하여야 한다.

- 1) 끊어짐이 없이 데이터를 회수할 수 있는 데이터 회수율
- 2) 면허 또는 신고의 필요성
- 3) 노드간 데이터를 중계하는 MultiHop 기능
- 4) 전력공급방식 및 전력 소모량
- 5) 데이터 전송속도 및 전송거리
- 6) 통신주파수 및 통신 점유율
- 7) 동기화 정밀도 및 통신비용 등

2.2.5 광역 통신

광역 통신망 WAN은 게이트웨이에 저장된 계측 데이터를 사무실 컴퓨터로 전송하는 통신수단을 의미한다. 광역통신망은 교량구조와 주변의 통신환경을 고려할 때 통신의 신뢰성 확보차원에서 유선통신 방식을 권장하며, 설치가 곤란한 경우 LTE, 4G 등과 같은 무선 방식을 사용할 수 있다. 게이트웨이를 식별할 수 있는 정보, IP 주소정보 등의 설정 작업에 유의하여 무선 계측시스템 구축에 활용을 권장한다.

2.2.6 전력 공급 방식

모니터링 시스템 구축을 위한 전력공급방식은 무선방식을 권장하며, 현장여건에 따라 검토해야 한다. 무선방식을 선정하는 경우 전력소모량이 적은 무선통신규격을 선정하도록 하고, 시스템 운영에 필요한 소요 전력량을 면밀히 검토하여 시스템의 효율성을 도모하여야 한다.

2.2.7 모니터링 S/W

모니터링 S/W는 노드와 게이트웨이의 상태관리, 동작제어, 통신상태 확인, 데이터 분석 및 저장, 계측 결과를 도출 및 평가하는 기능이 있어야 한다.

모니터링 S/W는 광역통신망을 통해 게이트웨이를 직접적으로 통제·관리하고, 노드는 게이트웨이를 통해 간접적으로 상태와 동작을 관리하고 제어할 수 있어야 하며, 이를 통해 계측조건의 변경등도 원격에서 제어가 가능하도록 구축하여 시스템 확인을 위한 현장방문 횟수를 가능한 줄일 수 있도록 구축하도록 한다. 따라서 모니터링 화면에는 구조물의 안전성 평가를 위한 관리기준과 계측치의 시간 당 변화 패턴 뿐 아니라, 시스템의 동작상태도 확인이 가능하도록, 모든 노드의 통신상태, 전파강도, 배터리 소모량 등도 함께 디스플레이 되어야 한다.

2.3 무선 계측시스템 유지관리 방안

2.3.1 무선 계측시스템 설치완료 보고서

계측시스템은 수년 동안의 장기계측을 목적으로 설치하는 경우가 대부분이므로, 시스템 설치가 완료된 후에는 센서, 노드, 게이트웨이, 통신, 전력 공급 장치 등이 모두 원활히 작동하는지 확인하고, 그 결과를 설치완료 보고서로 작성해 두어야 한다. 설치완료 보고서에는 시스템 설계도, 전력공급 방안 및 통신방법을 포함한 설치와 관련된 세부내용 및 운영 및 유지관리 등의 시스템 전반에 관한 모든 사항을 세밀하게 작성하여 기록해 두어야 한다. 설치완료 보고서에 수록되어야 하는 주요 내용은 다음과 같다.

- 1) 유지관리 계측시스템 준공날짜가 표기된 제출문
- 2) 시스템 구성도
 - 가. 노드, 게이트웨이 및 시스템 배치도
 - 나. 전원 공급 방식에 대한 상세도
 - 다. 통신 방식
 - 라. 게이트웨이 및 사무실 컴퓨터 어드레스 정보
 - 마. 시스템 구성도

- 3) 모든 센서 및 장비들에 대한 상세한 사양
 - 가. 기기명 및 설치 위치
 - 나. 기기 제조사 카탈로그, 사양서 및 매뉴얼
 - 다. 기기별 시험성적서 및 물리량 환산 교정계수
 - 라. 로거 모듈 구성 및 채널 구성
- 4) 통신 규격
- 5) 계측데이터
 - 가. 계측 데이터 흐름도
 - 나. 계측항목 측정 빈도, 대표 값, 추출 빈도
 - 다. 데이터베이스 구성 현황
 - 라. 데이터로거 제어프로그램 현황 및 초기 설정 자료
 - 마. 데이터 획득 응용프로그램 매뉴얼
 - 바. 초기 점검 보고서(계측데이터 신뢰성 검증결과)
 - 사. 계측 데이터베이스 또는 초기치 변경 이력
 - 아. 초기 운영 보고서(계측데이터 이력)
- 6) 시스템 운영 및 유지관리 매뉴얼
- 7) 노드, 게이트웨이 등 모든 장비 사진대지

2.3.2 무선 계측시스템 관리기준치 설정 방안

계측 데이터에 의한 구조물의 안전성 평가는 일반적으로 계측 결과와 관리기준을 비교하여 판단하거나 계측데이터의 시간적 변화양상을 파악하여 판단하는 경우가 많다. 관리기준은 구조물의 안전성을 판단하는 중요한 기준이 되므로 구조물의 특성과 안전성, 사용성 등을 고려하여 결정하여야 하며, 결정 시 다음 사항 등을 참고하도록 한다.

- 1) 구조 해석을 통한 허용 부재력
- 2) 계측데이터의 통계 분석 및 기타 도로교 설계 기준 등

2.3.3 무선 계측시스템 내구성 증대 방안

모니터링을 위한 각종 센서와 장비는 전자기기로서, 온도와 습도의 영향을 많이 받는다. 따라서 현장에 설치되는 장비들에 대해서는 각각의 센서와 장비 사양에 명시되어 있는 환경상태를 유지할 수 있는지 확인하고, 필요에 따라서는 항온·항습 기능을 갖는 장비를 설치하는 것도 고려하여야 한다.

박스형 교량의 경우, 박스 내부에 시스템을 설치하는 경우 유지관리는 용이할 수 있으나 통신 문제가 발생할 수 있으므로, 충분한 검토를 하고 필요시 분리형 안테나 등을 설치하는 방안에도 검토하도록 한다.

방수, 방습 등을 위해 별도의 밀폐형 케이스를 제작하여 사용하도록 한다. 시스템에 사용되는 모든 무선 장비의 내구성, 기대수명, 고장빈도 등에 대한 사례 조사를 통해(이 부분은 시

스템 설계시 포함하는 것을 권장함) 유지관리에 소요되는 비용과 방법 등을 충분히 검토하고, 필요시 예비 장비를 구비해 두도록 한다.

2.3.4 무선 계측시스템 보안 및 계약관련 유의사항

시간동기화가 필요한 계측항목에 대해서는 시간동기화에 대한 허용 오차범위($\pm 500\text{micro second}$ 이내)를 만족하는지 계측 전 확인하도록 한다. 허용 오차범위는 통상적으로 사용되고 있으며, 한국시설안전공단에서 발간한 특수교 유지관리 매뉴얼(안)에서 허용 오차범위를 기술하고 있다.

시스템은 항상 정상적인 운영이 되는 것이 원칙이나, 천재지변 등의 정전을 대비하여 무정전전원장비(UPS)를 배치하고 비상연락 체계 등을 작성해 두어야 한다. 계측데이터의 안정적인 관리를 위하여 백업 기능을 갖도록 구성하여야 하고, 다음과 같은 해킹방지용 보안시스템도 설치되어야 한다.

- 1) 계측시스템 서버에는 바이러스 또는 스파이웨어 등을 막기 위해 백신이 설치되어야 한다.
- 2) 외부 보안의 필요성이 높은 경우에는 네트워크 상으로 가상사설망(VPN)을 설치하고, 내부적인 보안 시스템이 필요할 경우 방화벽(FireWall)을 구성하여 운영하도록 한다.

시스템 발주서류에는 하자책임기간, 시스템 설치방법 및 시스템 설치 시 유의사항, 시스템 유지관리 방법 등을 명확히 제시하도록 하고, 하자책임기간 동안 정상적인 계측이 수행되지 않는 경우 즉시 보완하도록 계약관련 서류를 명확히 해야 한다. 계측시스템의 효율적인 운영과 관리를 위해 전담인력을 배치하여 운영해야 하며, 하자담보책임 기간은 설치자와 협의하여 결정하도록 한다.

3. 결론

LoRa LPWAN 시스템은 저전력, 경제성, 확장성 등의 장점이 있으며, 이를 활용한 모니터링 시스템은 저렴한 비용으로 다수의 시설물을 관리할 수 있는 방안이 될 것으로 판단된다. 본 연구에서는 LoRa LPWAN 기반 무선 계측시스템의 국내외 활용 사례 및 연구동향을 검토하였으며, 무선 계측시스템의 설치 및 유지관리 방안에 대하여 검토한 결과 아래와 같이 도출되었다.

- 1) 무선 계측시스템 설계 및 시공 시에는 데이터 회수율, MultiHop 기능, 전력 공급 방식 및 소모량, 통신비용 등 현장여건을 검토하여 설치 방안을 선정하여야 한다.
- 2) LoRa LPWAN과 같이 통신 속도에 제한이 있는 통신망을 사용하여 구조물의 정·동적 거동을 모니터링 하고자

하는 경우에는 실시간 계측이 아닌 노드 또는 게이트웨이에 저장한 후 데이터를 묶어서 전송하는 방법이 적절한 대안이 될 수 있다.

- 3) 본 연구에서는 LoRa LPWAN기반 무선 계측시스템의 노드, 게이트웨이, 모니터링 S/W 등 설치 방안을 제안하였으며, 계측시스템의 내구성 증대방안, 관리기준치 설정방안 등 유지관리 방안을 제안하였다. 향후 시설물의 유지관리를 위한 무선 계측센서 관련기준 설정 및 설계시의 기초자료 등에 사용되길 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(18CTAP-C130248-02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Alliance, L.** (2018) *LoRaWAN 1.0.3 Regional Parameters*, pp.53~57.
- Kim, J.H., Park, W.J.** (2018) LoRa LPWAN Sensor Network for Real-Time Monitoring and It's Control Method, *Comput. Struct. Eng.*, 31(6). pp. 359~366.
- Kim, J.T., Sim, S.H., Cho, S.J., Yun, C.B., Min, J.Y.** (2016) Recent R&D Activities on Structural Health Monitoring in Korea, *Struct. Monit. & Maint.*, 3(1), pp.91~114.
- Kim, S.Y., Park, S.K., Choi, H.D.** (2016) Wide Range IoT Technology and Standardization based on LPWA, *Electron. & Telecommn. Trends.*, 31(2), pp.95~106.
- Lee, P.Y., Lee, S.Y., Kim, J.T.** (2012) Vibration-based Structural Health Monitoring of Full-Scale Cable-Stayed Bridge Using Wireless Smart Sensor, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 12(1), pp.75~81.
- Lim, J.Y., Lee, J.M., Kim, D.H., Kim, J.D.** (2017) Performance Analysis of LoRa(Long Range) according to the Distance in Indoor and Outdoor Spaces, *J. KIISE*, 44(7), pp.733~741.
- Northstream** (2016) *Connectivity Technologies for IoT*, Full Report, 2016 Oct.
- Park, S.O., Park, S.H.** (2018) A Study on the Application of Bridge Maintenance System using LoRa LPWAN Wireless Communication, *J. Korea Inst. Struct. Maint. & Insp.*, 23(1), pp.138~146.
- Seichi, T.** (2013) *Current Challenges in Sensor Technology*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport Monitoring Technology Utilization Promotion Examination Committee Material 2-1.
- Strasser, E.G., Kiremidjian, A.S.** (2000) A Modular, Wireless Network Platform for Monitoring Structures, *J. Korean Inst. Electronm. Eng. & Sci.*, pp.450~456.
- Tsuno, K.** (2018) *Tunnel Condition Monitoring Ssystem using Wireless Sensors*, The 322nd Annual Meeting of the Railway Company.
- Vilajosana, X., Pere, T.P., Martinez, B., Watteyne, T.** (2017) Understanding the Limit of LoRaWAN, *IEEE Commn. Mag.*, 55(9), pp.34~40.

요 지

국내 고도성장기 이후 본격 건설되기 시작한 사회 기반 시설물은 노후화가 빠르게 진행되고 있다. 특히 사고 발생 시 대량 인명 피해로 직결될 수 있는 교량, 터널 등의 대형 구조물에 대한 안전성 평가가 필요하다. 하지만 기존의 유선 센서 기반의 Structural Health Monitoring(SHM)을 개선한 무선 스마트 센서 네트워크는 짧은 신호 도달거리로 인해 경제적이고 효율적인 시스템 구축이 힘들다. 따라서 LoRa LPWAN 시스템은 사물인터넷의 확산과 더불어 저전력 장거리 통신이 각광을 받고 있으며, 이를 구조 건전성 모니터링에 응용함으로써 경제적이면서도 효율적인 모니터링 시스템 구축이 가능하다. 본 연구에서는 LoRa LPWAN 기반의 무선 계측센서 기술 동향을 조사하였으며, LoRa LPWAN 기반의 무선 계측센서 설치 및 유지관리 방안을 제안한다.

핵심용어 : 스마트 무선센서 네트워크, LoRa LPWAN, 설치 및 유지관리 방안