



LPWA 기반 트램 노면의 무선통신망 안전관리 시스템

정지성*¹, 이재기*², 박종권**

Wireless Network Safety Management System on LPWA-based Tram Roads

Ji-Sung Jung*¹, Jae-Ki Lee*², and Jong-Kweon Park**

본 연구는 대전시-연구기관 협력사업에 의해 수행되었습니다.

요 약

도시철도 중 하나인 트램 건설시 노면의 상태를 지속적으로 모니터링 하여 도로의 노면 침하, 싱크 홀, 교량 붕괴 위험, 트램역 주변 온·습도 등 환경정보를 수집과 분석을 통해 재난을 예방하는 시스템이 구축되어야 한다. 본 논문에서는 무가선 트램의 노면, 교량 및 트램역의 위험요인을 사전에 인지하고 위험을 예방할 수 있는 저전력 장거리 통신망(LPWA) 기반 트램 노면의 무선통신망 안전관리 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 트램 노면의 상태를 감지하는 센서 노드와 센서의 정보를 수집하는 게이트웨이 그리고 트램 노면의 안전 및 환경상황을 모니터링 하는 안전관리 시스템으로 구성되며, 저전력 장거리 통신 기술(LoRa)을 적용하였다. 현장 시험에 제안한 시스템과 LTE를 적용한 시스템을 비교 분석한 결과 모니터링 시스템에서 센서 정보 값과 위험신호 임계값 이상 시 위험 알람 상태에 큰 차이가 없음을 확인하였다.

Abstract

A system to prevent disasters by collecting and analyzing environmental information such as road surface sedimentation, sinkholes, collapse risk of bridges, temperature and humidity around tram station is continuously monitored by monitoring the condition of road surface when constructing tram which is one of the urban railways. In this paper, we propose a wireless network security management system for tram roads based on LPWA that can recognize risk factors of road surface, bridge and tram station of tram in advance and prevent risk. The proposed system consists of a sensor node that detects the state of the tram road surface, a gateway that collects sensor information, and a safety management system that monitors the safety and environmental conditions of the tram road surface, and applies the low power long distance communication technology. As a result of comparing the proposed system with the LTE system in the field test, it was confirmed that there is no significant difference between the sensor information value and the critical alarm level in the monitoring system.

Keywords

LPWA, LoRa, LTE, tram

* 한국전자통신연구원

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-2684-3095>

- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-8336-1260>

** 한밭대학교 모바일융합공학과 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5670-489X>

· Received: Oct. 31, 2018, Revised: Dec. 06, 2018, Accepted: Dec. 09, 2018

· Corresponding Author: Jong-Kwon Park

Dept. of Multimedia Engineering, Hanbat University, Daejeon 654-321, Korea,

Tel.: +82-42-821-122, Email: ingpark@hanbat.ac.kr

1. 서 론

국내 각 지자체별로 도시철도 중 하나인 트랩 건설을 추진 중에 있다. 트랩 건설에 앞서 노면의 안전관리 및 관리시스템, 각종 데이터 전송방식과 무선 네트워크 구성 등 트랩 운행에 대한 전반적인 안전관리가 요구되는 상황이다[1]. 또한 IoT 기술 융합 기반의 노면 안전관리 체계 정립 및 모니터링 시스템 연구개발에 지자체의 강력한 요구가 있는 상태이다[2].

운영적 측면에서 안전관리는 관리자의 정기 점검, 사후 조치, 응급대응, 시행착오, 경험위주의 등으로 안전관리에 문제가 있는 상태로 사전예측, 신속대응, IoT 기반의 과학적 안전관리 등 체계적이고 전방위적 대응이 필요하다[3]. 또한 위험 사항에 대한 모니터링을 근무자에 의한 화면 모니터링이 아닌 센서에 의한 위험 요인 감지, 센서 정보 기반 실시간 모니터링 및 빅 데이터 기반의 데이터 처리 등 예방적 안전관리 연구가 필요한 상태이다[4].

무가선 트랩의 안전을 위한 기존 센서 네트워크는 통신 거리 제한, 센서 노드의 배터리 수명 제한, 통신사업자 망을 이용한 비용 증가가 발생하고, 관제 운영에 통신사업자 망을 의존할 수밖에 없는 문제점이 있다[5]. 이에 대해 저전력 장거리 통신 기술(LPWA, Low Power Wide Area), 비면허 무선 대역망(LoRa, Long Range)을 이용한 트랩 안전관리 시스템 연구개발이 필요하다.

무가선 트랩 건설시 노면의 상태를 지속적으로 모니터링 할 수 있는 센서 노드와 무선망을 통해 데이터를 신속하게 전달할 수 있는 게이트웨이 그리고 각종 센서로 부터 수집되는 데이터를 기반으로 이를 정밀 분석하여 위험을 사전에 예방할 수 있는 통합 관리시스템이 필요하다. 이를 통해서 도로의 노면 침하, 싱크 홀, 교량·육교의 붕괴 위험, 트랩역 주변의 온습도, 오존 경보 등 환경정보를 육안으로 파악하기 어려운 위험 상태 정보 등을 센서를 통해서 수집·분석하여 재난을 예방할 수 있는 시스템이 구축되어야 한다[6][7].

본 논문의 2장에서는 노면관리 및 무선통신망 구축 체계를 설명하고, 3장에서는 안전 관리에 필요한 센서 조사 분석과 환경 정보 수집을 위한 센서 노

드와 센서로 부터 안전 및 환경 정보를 수집하여 모니터링 시스템으로 전달하는 게이트웨이 그리고 센서 정보를 수집하고 분석하여 트랩 노면의 안전 및 환경상황을 모니터링하고, 위험요인 발생 시에 경보 및 재난·안전 대응을 지원하는 트랩 노면 안전관리 모니터링 시스템 등 구현 내용을 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 구현한 시스템을 현장 시험을 통해 실증 결과를 도출하였으며, 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 트랩 노면 관리 및 무선 통신망 구축 체계

선로 궤도의 변형을 감지하고, 시설물의 침하 상태나 부식 등 침하를 쉽게 확인하기 위해 변형 감지 시스템을 이용한다. 이는 변형 감지 장치를 선로 하부에 설치하고 변형률을 계측한다. 광섬유 격자센서가 부착되어 있는 스마트 파이프 및 광섬유 격자센서로 부터 감지되는 변형률을 이용해 계측 결과 데이터를 생성한다. 생성된 계측 결과 데이터는 원격지로 무선 송신하는 데이터 처리 모듈을 통해 전송된다[8].

그림 1은 트랩 노면의 궤도 변형 감지 장치로 스마트 파이프의 내부에 부착된 광섬유 격자 센서를 통해 변형률을 계측하고, 계측결과 데이터를 생성하여 결과 데이터를 무선 전송한다. 변형 감지 장치로 부터 수신되는 계측 결과 데이터를 분석하여 선로의 이상 유무를 판단하는 모니터링 시스템을 구성한다. 이를 기반으로 한 선로 변형을 감지하고 트랩 노면의 안전성을 향상시키기 위한 기술개발 연구가 진행되고 있다[9].

무가선 트랩 노선의 안전관리 항목 및 안전관리가 필요한 시설물 조사 분석으로 안전관리가 필요한 트랩 노선의 구조물의 조사 및 안전도 검사항목, 환경에 따른 시설물 안전 관리 내용, 해외 트랩 노선의 안전관리 사례 조사 분석이 중요하다[10]. 무가선 트랩 안전관리에 필요한 다양한 고신뢰 센서의 조사와 적용 방안 분석으로는 트랩 노면의 지반 침하, 싱크홀, 등 트랩 노면 위험 감지 센서 조사와 트랩 노선의 교량·육교 등 시설물의 붕괴 위험 인지 센서 조사가 기반이 되어야 한다[11].

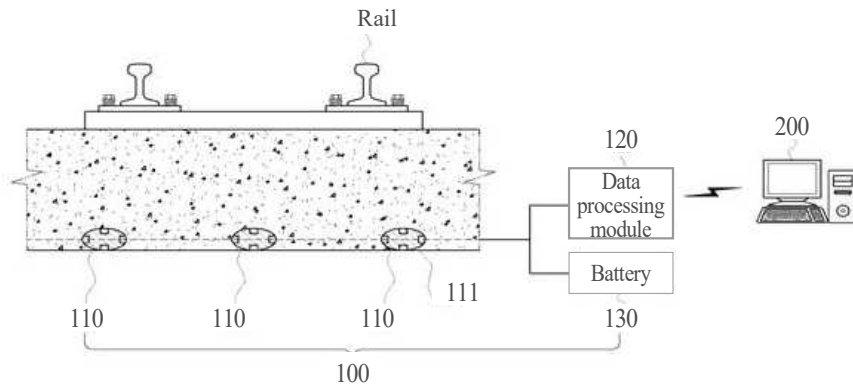


그림 1. 트램 노면의 궤도 변형 감지 장치

Fig. 1. Trajectory deformation sensor system of tram road surface

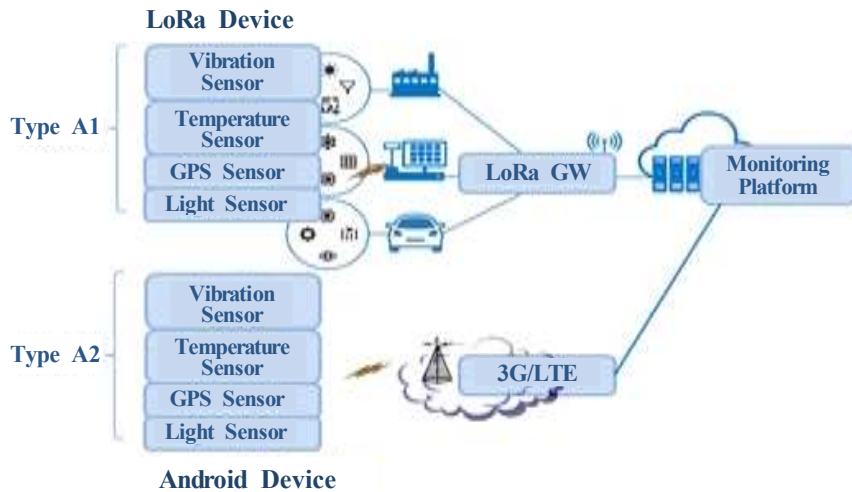


그림 2. 무가선 트램 노선의 안전관리 테스트베드 망 구성도

Fig. 2. Safety management testbed network configuration of wireless low floor tram

트램 노면 및 트램역의 안전관리를 위한 저전력 광역 통신 네트워크 구축 방안으로 각종 센서 정보 수집을 위한 센서 네트워크 구축 체계, 트램 노면 위험 및 환경 정보 상황 등 정보 전파 체계, 트램 노면 및 트램역 안전관리 모니터링 체계, 트램 노선의 안전관리 테스트베드 망 구축 체계가 매우 중요하다[12].

기본 구성은 저전력 장거리 통신 기술을 이용하는 것으로 LoRa 기반의 센서 노드의 노면 환경 정보를 LoRa 게이트웨이를 통해 수집하고, 수집된 정보는 다시 모니터링 플랫폼으로 전달하여 정보를 처리하는 구성이다[13].

그림 2는 무가선 트램 노선의 안전관리 테스트베

드 망 구성도를 나타낸 것으로 LoRa/LTE 2개 통신 모듈로의 개발은 향후 고속철도 및 도시철도에서 추진하고 있는 통신망(LTE-R)과 상호 호환이 되도록 처리하고자 한다. 그림 3은 무가선 트램 노선의 안전관리 구성 체계를 나타낸다.

III. LPWA 기반 트램 모니터링 시스템

3.1 트램 노면 위험 감지 무선 센서 노드

트램 노면 및 트램역의 안전 관리에 필요한 센서의 조사 분석과 안전관리 및 환경 정보 수집을 위한 무선 센서 노드가 필요하다.

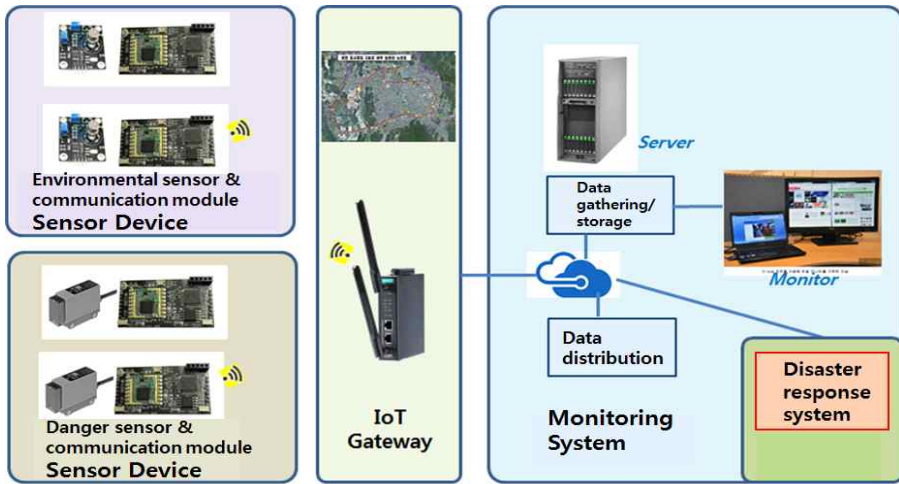


그림 3. 무가선 트램 노선의 안전관리 구성 체계
Fig. 3. Safety management configuration system for wireless low floor tram

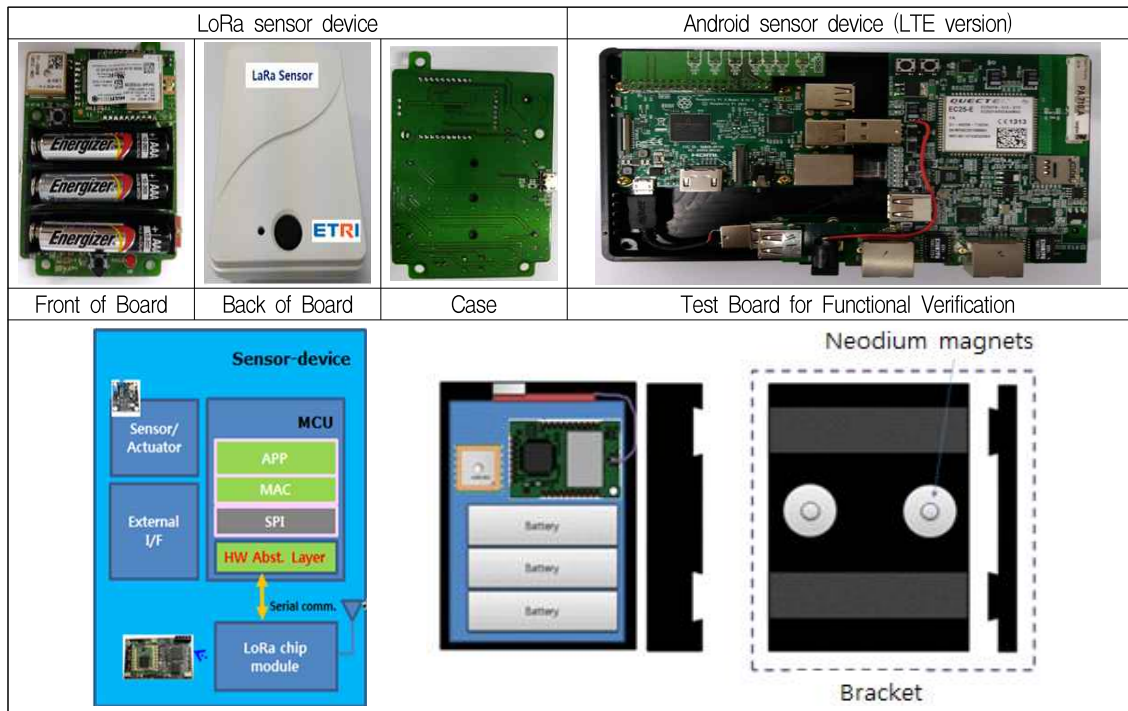


그림 4. 센서 노드 세부 기능 및 구조
Fig. 4. Sensor node detailed function and structure

무선 센서 노드를 통해 트램 노면의 지반 침하, 싱크홀 등 트램 노면의 위험을 감지하고, 트램 노선의 교량·육교 등 시설물의 붕괴 위험을 인지하기 위함이다. 이에 필요한 모듈로 시설물 위험 감지(위치·변위) 센서 모듈, 시설물에 가해지는 충격을 감

지하기 센서 모듈 그리고 센서 노드용 저전력 장거리 통신 모듈이다. 기본적으로 센서 노드는 LPWA 기술을 적용하고, 센서 노드의 기능 검증을 위해 LTE 기반 센서 노드를 구성한다. 세부기능 및 구조는 그림 4와 같다.

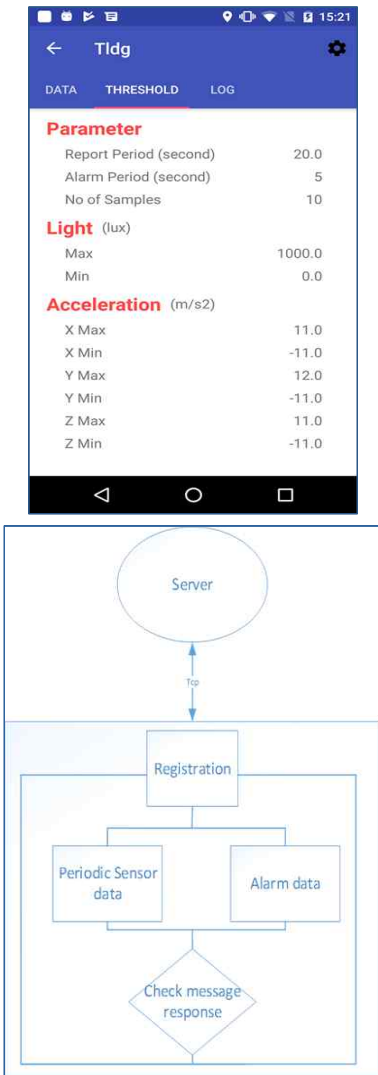


그림 5. 센서 노드 제어 프로그램 및 데이터 흐름도
Fig. 5. Sensor node control program and data flow diagram

센서 노드는 제어 및 기능 검증을 위해 안드로이드 앱을 구성하여 사용한다. 앱을 통해 센서 노드의 GPS(위치 경도, 위도) 정보, 센서 라이트 데이터 값, 가속도 정보(센서 가속도계 x축, y축, z축)를 확인할 수 있다. 센서 노드의 위치정보는 Google 위치 서비스를 이용한다.

그림 5는 센서 노드 제어 프로그램(App) 구조 및 데이터 흐름도로 데이터 흐름도에서 'Registration'은 서버 및 수신자 응답에 메시지 등록을 보내고, 응답을 구문 분석하여 매개 변수 구성 (T1, T2, T3), 센서 임계 값을 가져 오는 기능을 한다. 주기적인 센

서 데이터 스프레드를 통해 센서 데이터를 T1 시간까지 서버에 업데이트 한다. 또한 알람 데이터 스프레드 통해 센서 값과 임계 값을 사용하여 알람을 확인하고 알람 데이터를 만든다. 그리고 서버로 알람 데이터 업데이트 한다. 데이터 탭 기능을 통해서 GPS 데이터, 센서 라이트 데이터, 센서 가속도계 데이터 x, y, z 정보를 표시하고, 서버 IP와 포트 설정을 변경 할 수 있다. 센서 정보에 대한 파라미터(보고 주기, 알람 주기) 및 임계 값(조도 임계값, 가속도 임계값)을 확인하고 설정한다.

트랩 노선의 위험 감지에 필요한 센서 노드는 시설물 위험 감지(위치·변위) 센서 모듈로 근접 (proximity) 센서(특정 지점에 물체가 근접하는 것을 감지하는 센서)를 사용한다.

시설물에 가해지는 충격을 감지하는 센서 모듈은 시설물의 진동을 측정하기 위한 3D 가속도, 자이로 (각속도) 및 압력(위치측정), 조도 및 온·습도 등을 감지하기 위한 센서 모듈을 사용한다. 3D 가속도 센서로 수집되는 데이터는 수집되는 데이터의 양이 많은 상태로 아래와 같은 표준편차공식을 이용하여 X, Y, Z축의 진동세기를 측정한다.

센서 노드용 저전력 장거리 통신 모듈은 LPWA 기술을 기반으로 하는 LoRa/L TE 모듈을 적용한다. 그림 6은 무선 센서 노드 블록도를 나타낸 것으로 주변 장치로 위성신호 송·수신을 위한 GPS모듈, 통신을 위한 무선 안테나 및 스위치, 전원공급 배터리 등으로 구성된다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (1)$$

$$N = 3(x1 = acc_x, x2 = acc_y, x3 = acc_z)$$

$$\mu = (acc_x0, acc_y0, acc_z0)$$

3.2 정보 수집용 게이트웨이

정보 수집용 게이트웨이는 센서로부터 안전 및 환경 정보를 수집하여 모니터링 시스템으로 전달하기 위한 LPWA 게이트웨이 이다. 센서 노드의 정보를 수집하여 모니터링 시스템에 전달하는데 이용된다.

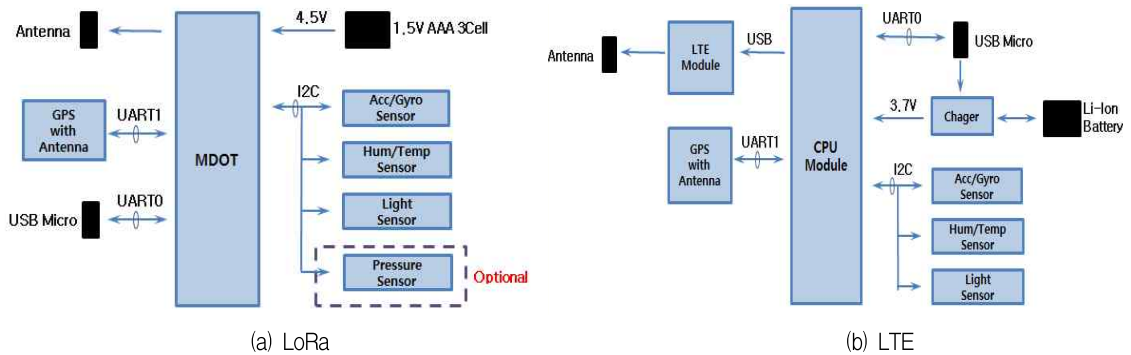


그림 6. 무선 센서 노드 블록도
 Fig. 6. Wireless sensor node block diagram

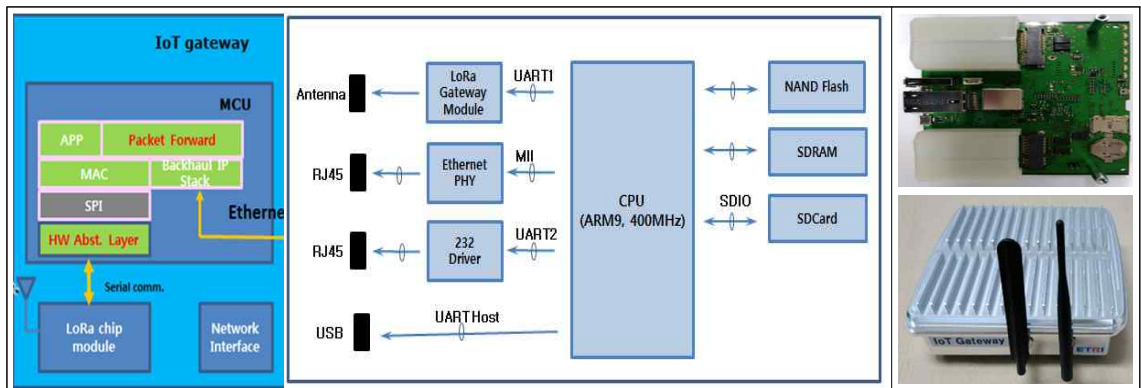


그림 7. 게이트웨이 구조 및 블록도
 Fig. 7. Gateway structure and block diagram

또한 센서 디바이스와 게이트웨이 간 무선 통신 구조와 센서 노드와 모니터링 서버 간 End-to-End 통신 구조로 구성된다. 모니터링 시스템과 유무선 통신을 위해 게이트웨이용 소프트웨어인 APE (Application SW Platform)을 적용한다. APE는 모니터링 시스템과 유관기관 간의 인터넷 및 이동통신을 통해 통신이 가능하게 하며, 특히 지정된 통신 단말(스마트폰, 관제센터 데스크)과 통신이 가능하게 한다. 센서 노드의 센서 데이터는 LoRa 네트워크를 통해 게이트웨이로 전송이 된다. 게이트웨이는 데이터를 필터링 하고 IP 네트워크를 통해 모니터링 서버로 전달이 된다.

그림 7은 센서로부터 안전 및 환경정보를 수집하여 모니터링 시스템으로 전달하는 게이트웨이 구조 및 블록도를 나타낸 것이다.

3.3 트랩 노면 안전관리 모니터링 시스템

트랩 노면 안전관리 모니터링 시스템은 트랩 노선 및 트랩역의 안전관리를 위한 무선 센서 디바이스로부터 안전 및 환경 정보를 수집하여 이를 모니터링 시스템으로 전달하기 위해 LPWA 게이트웨이를 이용한다. 무선 센서 네트워크를 통해서 각종 정보를 전달, 수집, 분석, 저장함으로써 트랩 노선의 안전관리를 통합 관리하는 안전관리 모니터링시스템이다.

메시징 프로토콜 기반 데이터 수집 및 저장이 가능하고, 센서 데이터를 기반으로 지능형 위험 분석 알고리즘을 적용하였으며, 위험신호 시에 사전조치와 긴급 상황 시에 재난대응 연동 기능을 적용하였다. 웹서버 기반 안전관리 모니터링시스템 주요 기능은 아래와 같으며, 전체 시스템 구성도는 그림 8과 같다.

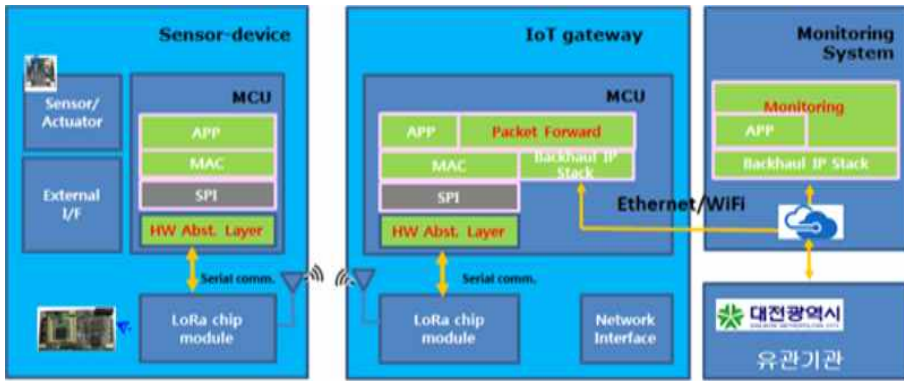


그림 8. 게이트웨이 구조 및 블록도
Fig. 8. Gateway structure and block diagram

IV. 시험 및 결과

시험은 저전력 장거리 통신을 기반으로 하는 센서 노드와 게이트웨이의 통신상태 확인과 모니터링 시스템에서 센서 데이터 출력 상태를 확인한다. 또한 이상 신호 발생 시 알람 상태 확인하고, 센서 노드의 센서 데이터 검증에 위해 LTE 센서 노드와 비교 시험을 한다. 시험지역은 대전시(대중교통 추진혁신단)가 지정하는 지역에 시범 테스트베드를 구축하고 2개월간(60일) 시험을 진행하였다. 그리고 시험은 2개의 장소에서 진행하였고, 차량이 많이 다니는 다리와 일반 기차가 다니는 철교 등 교각에 센서 모듈, 게이트웨이 및 안전관리 모니터링 시스템을 설치하고 지속적으로 데이터를 측정하고 수집하였다. 노면의 진동, 변위, 압력 등에 대한 정확한 판단을 위해 평상시 누적데이터와 신규데이터를 토대로 노면의 안전 상태를 체크한다.

현장시험 이전에 1차적으로 센서 디바이스와 게이트웨이 간 통신 문제 점검 및 유효거리 확보 등 제반 점검 사항을 확인 후 문제점을 보완하고 그림 9와 그림 10과 같이 교량에 센서 노드와 게이트웨이를 설치하고 시험을 진행하였다.

시험 진행시 가속도 센서 임계 값 X, Y, Z 축은 9.6으로 셋팅하고 조도값을 20000으로 하고, 데이터 중복 증상이 발생 시 Firmware를 수정 하면서 시험을 진행하였다. 또한 게이트웨이와 모니터링 시스템 간 주기적인 데이터 송수신 처리 상태를 확인하며 시험을 진행하였다.



그림 9. 센서노드 및 게이트웨이 현장 시험 장소(1차)
Fig. 9. Sensor node and gateway field test site (1st)



그림 10. 센서노드 및 게이트웨이 현장 시험 장소(2차)
Fig. 10. Sensor node and gateway field test site (2st)

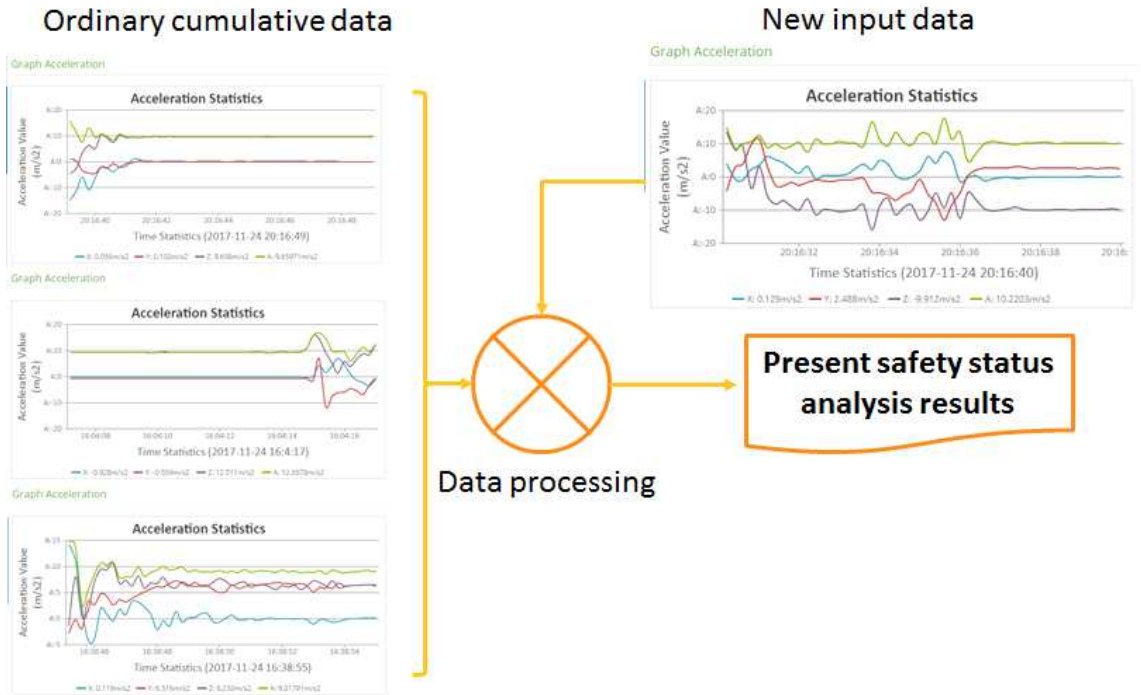


그림 11. 누적 데이터와 신규 데이터를 비교 및 분석
 Fig. 11. Compare and analyze cumulative and new data

가속도 센서 정보를 수집하고, 수집된 데이터의 특정 파라미터를 분석하여 정상적인 값과 측정값을 비교하여 안전상의 이상이라고 판단이 되는 데이터가 발견되면 알람을 발생시킨다. 정상적인 상태에서의 수집된 데이터의 특징점을 추출하여 그 값을 지속적으로 저장하고 특징점의 변화 추이를 분석한다.

그림 11은 평상시 누적된 데이터와 신규 입력 데이터를 비교하여 안전 상태를 분석하는 방법을 나타낸다.

특징점의 값이 기존에 추출된 특징점의 값에 비해 과도하게 다르게 나타나는 경우 알람상태로 판단하며, 지속적인 데이터 분석을 통해 안정성의 문제를 진단한다. 측정된 데이터의 최대값이 기존에 측정된 최대값들의 평균값에 비해 30% 이상 높은 경우 알람으로 판단한다.

최근에 측정된 평균값들이 과거의 평균값들에 비해 증가되는 추세인 경우, 즉 최근 20회 측정 데이터의 평균값들이 과거 측정값에 비해 10% 이상 높은 경우 알람으로 판단한다. 측정된 데이터의 진동 스펙트럼이 과거 추세에 비해 과도하게 다른 값으

로 나타나는 경우 알람으로 인식(진동 주파수가 과거의 패턴과 전혀 다르게 측정되는 경우)한다. 최근 측정된 데이터의 진동 스펙트럼이 값들이 과거 추세에 비해 다른 값으로 나타나는 경우 알람으로 인식(진동 주파수 패턴이 과거의 패턴과 다르게 서서히 변화되는 경우)한다. 그림 12는 수집 데이터에 대한 특징점 추출 및 분석 방법을 나타낸다.

그림 13은 지정된 시험 장소에 설치된 센서로부터 가속도, 온도, 습도, 조도 등 수집된 시험 결과 데이터를 모니터링 웹서버를 통해 보여준다. 시험 기간 동안 노면 환경에 대한 각각의 센서 정보가 실시간으로 들어오는 것을 확인 할 수 있다.

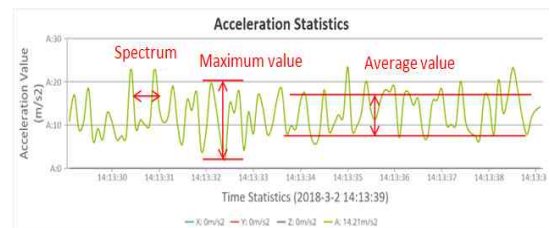


그림 12. 데이터 특징점 추출 및 분석
 Fig. 12. Data feature point extraction and analysis

Netvision IoT Platform

Home > Management > Device Lists

Device Lists

Device Type: --Select-- Code: Name:

Device Type	Device Code	Device Name	Status	Temperature(°C)	Humidity(%)	Illuminance(lux)	Acc X	Acc Y	Acc Z	Acc	Latitude	Longitude	Date Update	Function
Lora	00:80:00:00:00:00:e6:1b	KR-LORA-6	<input checked="" type="checkbox"/>	7.00	64.30	1.2				9.70494			2018-03-25 23:30:53	Detail Graph
Lora	00:80:00:00:00:00:e6:1e	KR-LORA-5	<input checked="" type="checkbox"/>	8.00	58.40	1.0				9.64235			2018-03-25 23:30:08	Detail Graph
Android	e4:fa:ed:22:45:c5	KR-GALAXYA3-01	<input checked="" type="checkbox"/>			52.0	-0.013	9.221	-0.2	9.22318	36.423519	127.407547	2018-03-12 15:40:42	Detail Graph
Lora	00:80:00:00:00:00:e6:1f	KR-LORA-4	<input checked="" type="checkbox"/>	4.60	60.90	886.6				9.46383			2018-03-08 11:43:39	Detail Graph
Lora	00:80:00:00:00:00:e4:23	KR-LORA-8	<input checked="" type="checkbox"/>	25.10	28.80	379.9				9.7244			2018-03-08 11:40:13	Detail Graph
Android	84:fa:ed:37:51:f	KR-AND-GALAXYA3	<input checked="" type="checkbox"/>			128.0	-0.617	6.439	6.535	9.19498	36.423508	127.407532	2018-03-08 10:14:30	Detail Graph
Lora	00:80:00:00:00:00:e6:1c	KR-LORA-3	<input checked="" type="checkbox"/>	26.00	21.80	269.0				9.31895			2018-03-26 14:45:12	Detail Graph
Lora	00:80:00:00:00:00:c8:66	lora newboard 2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00	0.00	0.0				0	20.986006	105.821342	2018-03-23 16:20:26	Detail Graph
Android	94:76:b7:ac:29:4b	KR-GALAXYA3-02	<input checked="" type="checkbox"/>			491.0	1.871	0.583	8.115	8.34828	36.435795	127.392052	2018-02-23 15:37:25	Detail Graph
Lora	00:80:00:00:00:00:e6:23	KR-LORA-7	<input checked="" type="checkbox"/>	13.20	51.20	1,434.0				9.751			2018-02-23 12:16:45	Detail Graph
Android	F8:E6:1A:CD:6F:7E	KR-GALAXY5+	<input checked="" type="checkbox"/>			360.0	0.292	0.28	9.585	9.57355	36.4235	127.407509	2018-02-23 11:42:54	Detail Graph
Android	CC:9F:7A:4B:9E:AA	N5 android	<input checked="" type="checkbox"/>			151.0	-0.268	-0.115	9.596	8.60043	21.002539	105.805191	2018-03-22 18:18:00	Detail Graph
Android	84:fa:ed:0e:ca:9	s7 test	<input checked="" type="checkbox"/>			220.0	-0.089	0.041	9.591	21.002485	105.805283	105.805283	2018-02-22 17:55:29	Detail Graph
Lora	00:80:00:00:00:00:e6:20	NET new board	<input checked="" type="checkbox"/>	25.00	91.30	45.4				9.78328	20.986006	105.821342	2018-03-19 09:49:47	Detail Graph
Android	80:4e:81:23:21:ff	KR-GALAXY56-EDGE+	<input checked="" type="checkbox"/>			0.0	-0.043	-0.225	9.923	9.92564	36.423626	127.407539	2018-02-05 13:33:46	Detail Graph
Lora	00:80:00:00:00:00:e6:22	KR-LORA-9	<input checked="" type="checkbox"/>										2018-01-26 12:41:56	Detail Graph
Lora	00:80:00:00:00:00:e6:21	KR-LORA-10	<input checked="" type="checkbox"/>	27.27	29.95	127.7				9.845			2017-12-18 15:08:47	Detail Graph
			<input checked="" type="checkbox"/>	21.17	15.69	7.2				9.702	36.423717	127.406653	2017-12-15 13:47:28	Detail Graph

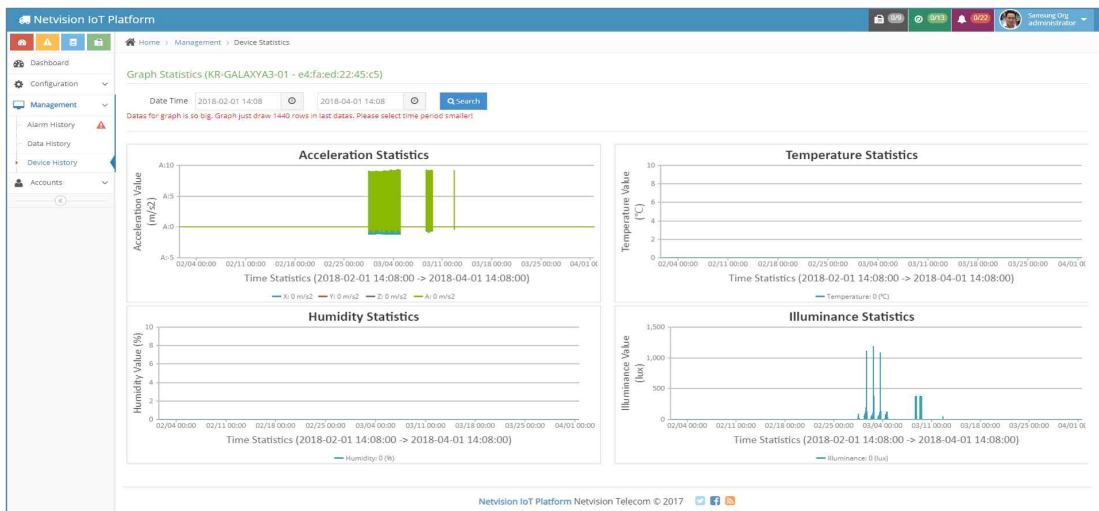
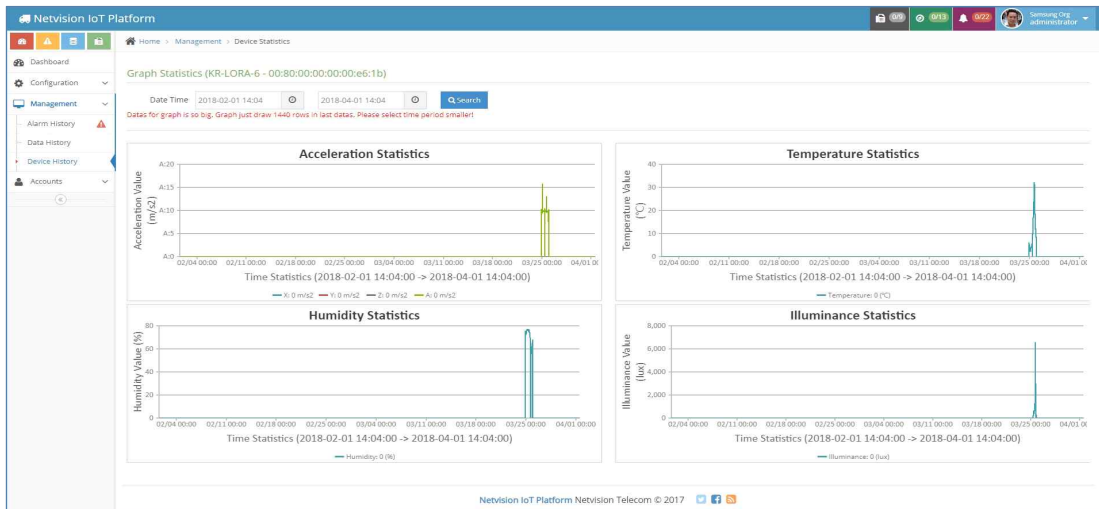


그림 13. 시험 결과 데이터(60일)
Fig. 13. Test result data (60 days)

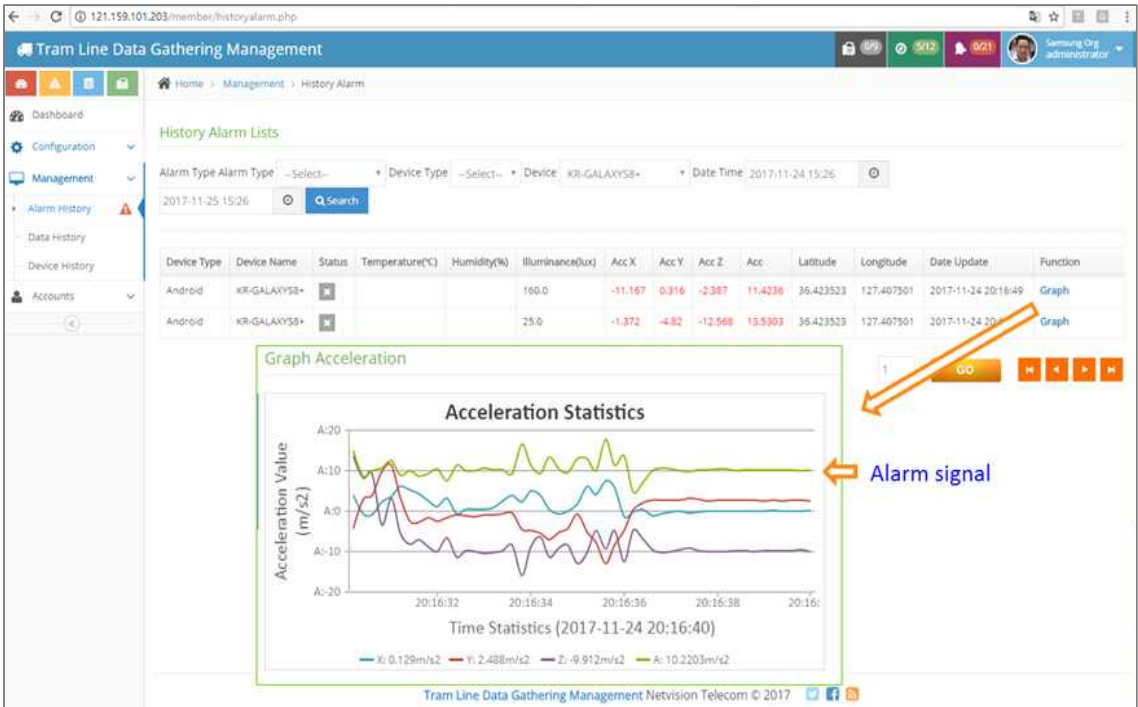


그림 14. 가속도 알람 감지 시험 결과
Fig. 14. Acceleration alarm detection test result

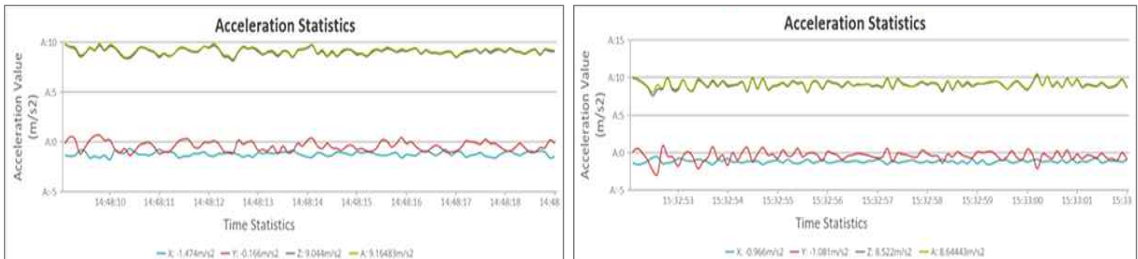


그림 15. 가속도 시험 결과
Fig. 15. Acceleration test result

가속도 센서 시험은 LoRa 센서 노드와 LTE 센서 노드를 동일 방향으로 전환하면서 좌표 값을 비교 및 검증을 하였고, 두 센서에 대한 좌표값이 동일한 것과, 진동 임계값 이상 시 알람이 감지되는 것을 확인하였다. 그림 14는 노면의 진동에 대한 알람 감지 시험 결과를 나타낸다.

그림 15와 같이 노면에 진동이 발생 시 두 센서 노드(LoRa 기반 센서 노드, LTE 기반 센서 노드) 간 진동 시험 결과 가속도 신호 발생에 큰 차이가 없이 발생됨을 확인 하였다. 이를 통해 트램 노면의

안전관리 무선 통신망에 저전력 장거리 통신을 적용하는 것이 더 효과적이라는 것을 확인하였다.

표 1은 트램 노면의 시간 때별로 가속도 측정 비교 시험 결과이다. 표의 좌측 Acc Value는 LoRa 기반 센서 노드로부터 받은 가속도 측정값이고, 우측 Acc Value는 LTE 기반 센서 노드로부터 받은 가속도 측정값으로 LTE 기반 센서 노드 대비 LoRa 기반 센서 노드의 가속도 측정값이 더 정확히 나타남을 확인할 수 있다.

표 1. 가속도 측정 비교 시험 결과
Table 1. Acceleration measurement comparison test result

ALARM DATA			
No	Date Time	Acc Value	Acc Value
1	'2018-03-02 10:04:58.100000'	10.011	9.79417
2	'2018-03-02 10:04:58.200000'	13.535	9.97016
3	'2018-03-02 10:04:58.300000'	11.933	10.4129
4	'2018-03-02 10:04:58.400000'	4.269	8.58944
5	'2018-03-02 10:04:58.500000'	14.317	8.38167
6	'2018-03-02 10:04:58.600000'	23.006	9.0432
7	'2018-03-02 10:04:58.700000'	4.395	9.09828
8	'2018-03-02 10:04:58.800000'	17.405	7.68268
9	'2018-03-02 10:04:58.900000'	28.953	9.09409
10	'2018-03-02 10:04:59.000000'	9.869	10.4817
11	'2018-03-02 10:04:59.100000'	11.656	7.75262
12	'2018-03-02 10:04:59.200000'	8.329	9.17638
13	'2018-03-02 10:04:59.300000'	17.659	9.05053
14	'2018-03-02 10:04:59.400000'	10.655	9.38614
15	'2018-03-02 10:04:59.500000'	3.316	8.2487
16	'2018-03-02 10:04:59.600000'	11.956	8.9249
17	'2018-03-02 10:04:59.700000'	15.263	9.96012
18	'2018-03-02 10:04:59.800000'	9.5	9.18284
19	'2018-03-02 10:04:59.900000'	8.152	9.34405
20	'2018-03-02 10:05:00.000000'	10.255	8.86023
21	'2018-03-02 10:05:00.100000'	20.77	9.1343
22	'2018-03-02 10:05:00.200000'	21.023	8.66665
23	'2018-03-02 10:05:00.300000'	26.235	8.54108
24	'2018-03-02 10:05:00.400000'	4.31	9.29683
25	'2018-03-02 10:05:00.500000'	7.968	8.95646
26	'2018-03-02 10:05:00.600000'	16.122	9.85866
27	'2018-03-02 10:05:00.700000'	13.755	8.61794
28	'2018-03-02 10:05:00.800000'	13.159	8.85582
29	'2018-03-02 10:05:00.900000'	10.674	9.39571
30	'2018-03-02 10:05:01.000000'	5.29	8.79718
31	'2018-03-02 10:05:01.100000'	15.547	8.82716
32	'2018-03-02 10:05:01.200000'	11.669	8.79652
33	'2018-03-02 10:05:01.300000'	7.989	9.02449
34	'2018-03-02 10:05:01.400000'	11.858	8.98429
35	'2018-03-02 10:05:01.500000'	10.026	8.45456
36	'2018-03-02 10:05:01.600000'	9.336	9.43751
37	'2018-03-02 10:05:01.700000'	8.397	9.21185

V. 결 론

트램의 구축, 운영 시 트램 노면의 안전관리 및 관리시스템, 각종 데이터 전송 방식과 무선 네트워크 구성 등 트램 운행에 대한 전반적인 안전관리가 고려되진 않은 상태이다.

저전력 장거리 통신 기술 및 이동통신 등 다양한 통신 네트워크의 발달과 보급에 따라 과거에는 불가능 했던 다양한 현장 정보를 센서로 부터 획득하여 실시간으로 모니터링 할 수 있는 수단이 확보되어야 한다. 본 논문에서는 저전력 장거리 통신 기술, 장거리 무선 통신 및 비면허 무선 대역망을 이용하여 트램 노면의 안전관리 시스템을 구축하고

시험을 통해 센서 노드의 통신 전달거리 및 데이터 전달 상태를 다양한 환경에서 검증을 하였고, 이상 상태에 대한 충격센서 데이터를 지속적으로 수집하고 패턴을 분석하여 이상 감지 신호 발생 상태를 검증하였다.

도시철도 트램 노면의 위험상황에 대해 예측이 부재인 상태로 노면의 상태를 실시간 모니터링을 통해 이상 징후를 감지(안전도 지수 도출)하여 사전 조치하여 위험 발생요인을 최소화 하는 전략이 필요하다. 향후 저전력 장거리 통신망을 활용한 트램 노선의 위험요인 상시 모니터링으로 예방적 안전관리 플랫폼 구축의 기반이 마련될 것이다. 또한 트램이 다니는 노면 상태에 대한 데이터가 장기간 수집이 되어야 하고, 이를 기반으로 빅 데이터 처리를 통해 노면의 안전 상태 분석하고 판단하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

- [1] Nam-hyung Lee, Jin-chul Kim, Soo-joo Lee, Kang-hoon Park, Cho-Myung Young, and Ye-ji Kim, "Operating scenario study by tram accident type", The Korean society for railway conference, pp. 1268-1273, May 2015.
- [2] Yoon-ho Han, Hyun-geun Ahn, Hyun-sung Jung, Jin-hwan Choi, and Jung-soo Park, "International and domestic Examples of new street car's applicability and examination of stability", The Korean society for railway conference, pp. 808-817, Oct. 2016.
- [3] Hyun-ki Kim, Min-ho Shin, and Joon-seo Lee, "Device for Sensing transform", Patent application pp. 10-2009-01322 73, Dec. 2009.
- [4] Woo-Tae Jung, "Apparatus for Measuring Surface Roughness of Rail Using Acceleration Sensor and Displacement Sensor", The Korean society for railway, 2016 Excellent technology collection pp. 78, Dec. 2016.
- [5] Yoon-ho Han, Hyun-geun, Hyun-sung Jung, Jin-hwan Choi, and Jung-soo Park, "International and domestic Exam places of new street car's

applicability and examination of stability", 2016 the Korean society for railway conference, Oct. 2016.

[6] Shuja Ansari, Tuleen Boutaleb, Carlos Gamio, Sinan Sinanovic, Ioannis Krikidis, and Marvin S'anchez, "Vehicular Safety Application Identifier Algorithm for LTE VANET Server", 2016 8th International Congress on Ultra Modem Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), IEEE, Aug. 2016.

[7] Bong-Kyu Shim, Yong-Soo Song, Woo-Suk Jung, and A-ram Jo, "A study on Efficient Introducing Method of railway policy and legislation for LTE-R", Korean institute of electrical engineers conference, pp. 125-127, Feb. 2014.

[8] Hyo-sun Yang, Joo-yeop Kim, Sang-won Choi, and Young-joo Kim, "Performance Analysis of Testbed Coverage using LTE-R Module", Korea institute of communication sciences conference, pp. 668-669, Jan. 2016.

[9] Yong-kyu Kim, Yong-soo Song, Joo-yeop Kim, and Sang-won Choi, "Comparison of LTE-R railway communication standards by train speed", Korea institute of communication sciences conference, pp. 17-18, Jan. 2017.

[10] Woo-hyun Kwak, Kwang-hee Lee, Yong-kyu Kim, and Joon-young Choi, "Analysis on Applicability of LTE-R in Urban Railway Tunnel Environment", Korean institute of electrical engineers Journal, Vol. 64, No. 12, pp. 1796-1803, Dec. 2015.

[11] Yong-kyu Kim, Yong-ki Yoon, Joo-yeop Kim, Yong-soo Song, and Sang-won Choi, "Functional Analysis between LTE-Railway and Public Safety-LTE", The Korean society for railway conference, Vol. 20, No. 1, pp. 20-30, Feb. 2017.

[12] Yong-kyu Kim, Yong-soo Song, and Yong-ki Yoon, "A Study on applicability of LTE-R tunnels performance results to the urban railway", Korea institute of communication sciences

conference, pp. 671-672, Jan. 2015.

[13] Hee-Joon Yang, Deok-won Kang, and Sung-ho Park, "Research on control method of convergence system between signaling system for tram and traffic signal", 2016 the Korean society for railway conference(KSR2016 A057), Nov. 2016.

저자소개

정 지 성 (Ji-Sung Jung)



2004년 2월 : 우송대학교
전자정보통신공학과(공학사)
2011년 2월 : 공주대학교
정보통신공학과(공학석사)
1999년 3월 ~ 현재 :
한국전자통신연구원 선임연구원
관심분야 : 센서네트워크, RFID

이 재 기 (Jae-Ki Lee)



1985년 2월 : 서울과학기술대학교
전자공학과(공학사)
1987년 2월 : 청주대학교
전자공학과(공학석사)
2005년 2월 : 공주대학교
정보통신공학과(공학박사)
1983년 3월 ~ 현재 :

한국전자통신연구원 책임연구원
관심분야 : 미래인터넷, 개방형 SW플랫폼, 네트워크

박 종 권 (Jong-Kweon Park)



1994년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1997년 2월 : 한국과학기술원
전기전자공학과(공학석사)
2001년 2월 : 한국과학기술원
전기전자공학과(공학박사)
2001년 3월 ~ 2002년 2월 :

한국전자통신연구원 선임연구원
2002년 ~ 현재 : 국립한밭대학교 모바일융합공학과 교수
관심분야 : 초광대역(UWB), RFID 테크설계, 무선전력 전송기술