

# LoRa 통신을 이용한 스마트시티의 배관 안전 모니터링 서비스 구현

김준교, 황청환, 박재현  
인하대학교 정보통신공학과

{jkkim, chhwang}@emcl.org, jhyun@inha.ac.kr

## Implementation of LoRa-based monitoring system for city lifeline of smart city

Joonkyo Kim, Cheonghwan Hwang, and Jaehyun Park  
Dept. of Information and Communication Engineering, Inha University

### 요 약

본 논문에서는 스마트센서를 통해 도시의 주요 배관을 모니터링하고, 이상 진동 발생시 모니터링 시스템에 정보를 발생하는 서비스 모델을 제시하고 시제품 구현 결과를 포함 한다. 구현된 디바이스는 MEMS 기반 가속도 센서를 이용하여 주변 진동을 감지하고, 이상 진동이 감지되면 LoRa 통신을 이용하여 백엔드 서비스로 전송한다. 백엔드 서버에서는 딥러닝 기반의 시계열 분석을 통하여 이상 상황 발생 여부를 판단한 후 가속도 모니터링 시스템과 주요 사용자에게 이상 징후 알림을 전송한다. 구현된 시스템은 재난 안전과 밀접하게 연관되어 있기 때문에 동작의 안전성이 매우 중요한 문제이며, 고도의 안정성과 신뢰성을 확보하기 위하여 국제 표준 규격인 IEC 61508 모델에 따라 개발되었으며 추후 SIL 인증을 확보할 계획이다.

### I. 서 론

IoT(Internet of Things)는 임베디드 시스템을 통하여 취득한 데이터를 가공하고 실시간으로 처리하는 기능을 가능하게 해줌으로써 광대역 통신망의 활용도를 한층 높일 수 있게 해준다. 최근 고속 광대역 통신망의 발전으로 인하여 IoT 환경에서 단말기로부터 수집된 데이터의 처리를 전적으로 서버에서 해주는 클라우드 컴퓨팅과 일부 기능을 단말에서 처리하는 엣지 컴퓨팅 기술의 접목을 통하여 유연한 IoT 구성이 가능하게 되었다. 특히 IoT 환경에 인공지능(AI) 기술을 도입하여 고수준의 사회안전망을 구현하는 모델이 제안되고 있다.

현대 도시의 사회간접자본인 도시가스, 고압 전력선, 통신 케이블과 같은 주요 배관들은 도시 아래 매설되어 곳곳에 주요 자원들을 공급해준다[1]. 해당 배관들은 파손될 경우 도시의 기능이 마비가 될 뿐 아니라 폭파 사고와 같은 인명 사고로도 이어질 수 있기 때문에 신중하게 관리되어야 하지만 도시에서 발생하는 모든 현상들을 항상 모니터링할 수 없기 때문에 현재 관리 방식에는 허점이 존재하며, 실제로 무단 굴착 공사로 인하여 주요 배관들이 손상을 입는 경우가 2020 년 기준 11%를 차지한다[2].

본 논문에서는 도심 지하에 매설된 배관을 모니터링하여 이상 진동을 상시로 모니터링하는 IoT 시스템을 제안하고자 한다.

### II. 본 론

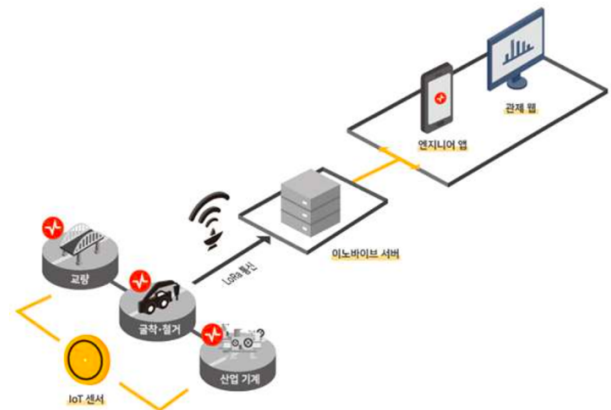


그림 1 모니터링 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 전체 시스템은 그림 1 과 같으며, 크게 진동 감지를 위한 단말 센서 하드웨어, LoRa 통신을 통해서 데이터를 수신하기 위한 백엔드 서버 그리고 관리 및 모니터링을 위한 웹과 앱으로 구성되어 있다.

제안된 모델에서 IoT 단말 장치는 가속도 센서 기반의 하드웨어로서 배관 근처에 직접 부착하고 모니터링하여 이상 진동 발생시 사용자에게 알림을 주어, 큰 사고를 미연에 방지할 수 있도록 설계되어 있으며 IoT 용 광대역 통신망인 LoRa 네트워크를 사용한다[3]. 구현된 하드웨어의 시제품은 그림 2 와 같다. Cortex-M4 기반으로 저전력 시스템을 구현하였으며, Bluetooth 와 LoRa 통신이 가능하다. Bluetooth 통신은 스마트폰을 이용하여 현장에



그림 1 하드웨어 시제품

하드웨어를 설치하기 위한 용도로 사용하며, LoRa 통신은 백엔드 서비스에 데이터를 전송하기 위해 사용한다. 설치와 관리의 용이함을 위하여 1 차 전지를 전원으로 사용하며, 통신량이 적을 경우 최대 2 년 사용 가능하다. 하드웨어에 내장된 가속도 센서는 특정 크기 이상의 가속도가 감지되면 진동 분석을 시작한다. 분석 결과 굴착 공사와 같이 위험이 예상되는 진동이라고 판단되면 LoRa 통신을 통해서 백엔드 서비스로 가속도 데이터를 전송한다.

백엔드 서비스는 Kubernetes 를 기반한 컨테이너 서비스로 구성되며, 데이터 처리 서비스, 진동 분석 서비스 그리고 REST API 서비스 3 가지로 구분된다.

데이터 처리 서비스는 단말 장치로부터 데이터가 전송되면 모든 변화를 기록하고 관리하는 역할을 한다. 단말 장치의 상태 정보는 온도, 신호세기, 설정 상태 등 다양한 정보가 담겨 있는데 이들을 분류하여 NoSQL 데이터 베이스에 저장한다. 진동 데이터는 좀 더 세밀한 분석을 위하여 진동 분석 서비스로 이벤트를 전달한다.

진동 분석 서비스는 단말 장치로부터 진동 데이터가 전송되면 이를 분석하여 이상 진동 여부를 확인하고 알람을 발생시키는 역할을 한다. 해당 기능은 현재 딥러닝(Deep Learning)에 기반한 시계열 분석 기법을 도입하여 오탐지율을 최소화하는 시험을 진행중에 있다.

REST API 서비스는 HTTP 기반의 서비스로 단말 장치와 관련된 주요 정보들을 조회하고, 설치나 관리를 수행할 수 있는 API 를 제공한다[5]. 모니터링 시스템에 해당하는 앱과 웹은 해당 API 를 이용하여 서비스를 구현하여 관리자에게 관제 기능을 제공한다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 도시의 주요 시설물에 대한 모니터링을 수행하기 때문에 높은 수준의 안전성이 요구된다. 특히 실제로 현장에 설치되는 단말장치의 경우 장애가 발생하면 현장을 방문해야 하거나 교체를 수행해야 하기 때문에 즉시 조치가 어려우며, 이는 모니터링 시스템의 신뢰성을 보장할 수 없게 만든다. 따라서 고신뢰성의 단말장치를 구현하기 위하여 산업 표준 모델인 IEC 61508 SIL 인증 모델에 따라 개발을 진행하였다. IEC 61508 에 규정된 개발 절차는 그림 3 에서 보이는 V 형 모델을 따른다[6].

본 논문에서 제안된 단말장치는 2021 년 6 월 기준 전국 1300 여 곳에 설치되어 데이터 수집에 사용 중에 있으며, 약 550 만개의 통신 내역과 약 36 만개의 진동 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터를 이용하여 딥러닝에 기반한 시계열 분석을 하고, 이를 통해 센서의 이상 동작 검출과 이상 진동 인식률을 높이기 위한 연구가 진행되고 있다.

### III. 결 론

본 논문에서는 도시의 주요 인프라 주변의 진동을 모니터링하고 이상 진동이 발생시 즉시 조치를 취할 수 있

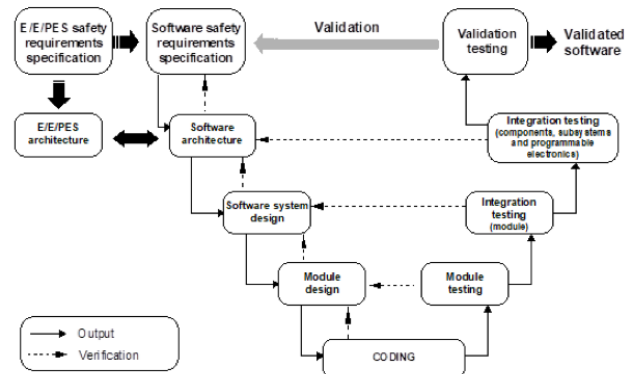


그림 2 IEC 61508 V 형 개발 모델

도록 알람을 전송하는 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 LoRa 통신과 배터리 기반의 단말장치를 구현하여 설치에 대한 부담을 최소화 하였으며, 특정 크기 이상의 가속도가 측정되면 1 차 분석을 통해 백엔드 서비스로 데이터를 전송하도록 하였다. 또한 백엔드 서비스는 수신된 데이터를 2 차 분석하여, 위험 신호라고 판단 시 모니터링 시스템에 알람을 전송하는 엣지 컴퓨팅 구조로 구성하였다. 서버에서의 2 차 분석에는 딥러닝(Deep Learning) 기법을 활용한 시계열 분석을 통하여 오탐지 가능성을 최소화 하는 모델을 구현하였다. 또한 전체 시스템의 신뢰성을 확보하기 위하여 IEC 61508 SIL 개발모델을 채택하여 개발함으로써 향후 SIL 인증을 통하여 신뢰성을 확보할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력 안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구사업의 연구결과입니다(과제번호 2104028).

### 참 고 문 헌

- [1] C. Tao, X. Ling, S. Guofeng, Y. Hongyong and H. Quanyi, "Architecture for Monitoring Urban Infrastructure and Analysis Method for a Smart-Safe City," *2014 Sixth Int. Conf. on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, pp. 151-154, 2014
- [2] 한국가스안전공사 자료실 가스사고 통계.  
[http://www.kgs.or.kr/publish/Board.do?method=view&board\\_id=main\\_42&seq=69521](http://www.kgs.or.kr/publish/Board.do?method=view&board_id=main_42&seq=69521)
- [3] M. Bor, J. Vidler, and U. Roedig, "LoRa for the Internet of Things", *Proc. of the 2016 Int. Conf. on Embedded Wireless Systems and Networks*, pp. 361-366. 2016
- [4] Bernstein, David. "Containers and cloud: From LXC to docker to Kubernetes." *IEEE Cloud Computing* vol. 1, no.3, pp. 81-84, 2014.
- [5] R. Fielding and R. N. Taylor. "Principled design of the modern web architecture." *ACM Trans. on Internet Technology*, vol. 2. no. 2, pp. 115-150, 2002.
- [6] Bell, Ron. "Introduction to IEC 61508." *ACM Int. Conf. Proceeding Series*. Vol. 162. 2006.