

해상교량 통행안전을 위한 IoT 기반 재난 정보 제공 스마트 플랫폼 개발

박상기 · 김재환 · 서동우*

한국건설기술연구원 구조연구본부 수석연구원

Development of IoT-Based Disaster Information Providing Smart Platform for Traffic Safety of Sea-Crossing Bridges

Sangki Park, Jaehwan Kim, and Dong-Woo Seo*

Senior Researcher, Department of Structural Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약

전라남도는 국내에서 가장 많은 25곳의 연륙·연도교가 있으며, 다도해와 이를 잇는 해상교량을 중심으로 해양 및 관광 자원이 풍부한 지자체이다. 그러나, 해상교량의 경우 강풍, 태풍 등이 발생할 경우에는 교량의 구조적 안전성과는 별개로 교량의 과대진동 등으로 인하여 사용자와 지역주민들의 불안감이 증대되는 현안이 있다. 실제로 최근 2019년에 개통한 신안군의 천사대교의 경우, 강풍과 과대진동으로 인한 차량 통행 제한이 빈번하게 발생하였고 그로인한 지역주민 및 운전자의 불안감 증대로 민원이 속출되고 있다. 따라서, IoT계측기술을 이용하여 측정된 데이터를 기반으로 정량적이고 정확한 교량의 풍황상황과 통행과 관련된 교량의 진동수준을 실시간으로 지역주민에서 제공함으로써 해상교량의 안전관리에 대한 지역주민 불안감을 해소가 필요하다. 본 연구는 기존의 계측시스템 및 IoT센서를 이용하여 해상교량의 풍속 상황과 진동을 상시적으로 관측하고 이를 지역주민 및 관리자에게 전파함으로써 해상교량의 안전 및 통행에 대한 불안감을 해소할 수 있으며, 강풍 및 대형 재난재해에 대해서도 사전대응이 가능한 기술을 개발하고자 한다.

핵심용어: 해상교량, 재난 정보, 통행안전, IoT, 스마트 플랫폼

ABSTRACT

Jeollanam-do has 25 land-to-island and island-to-island bridges, the largest number in Korea. It is a local government rich in specialized marine and tourism resources centered on the archipelago and the sea bridges connecting them. However, in the case of sea-crossing bridges, when strong winds or typhoons occur, there is an issue that increases anxiety among users and local residents due to excessive vibration of the bridge, apart from structural safety of the bridge. In fact, in the case of Cheonsa Bridge in Shinan-gun, which was recently opened in 2019, vehicle traffic restrictions due to strong winds and excessive vibrations frequently occurred, resulting in complaints from local residents and drivers due to increased anxiety. Therefore, based on the data measured using IoT measurement technology, it is possible to relieve local residents' anxiety about the safety management of marine bridges by providing quantitative and accurate bridge vibration levels related to traffic and wind conditions of bridges in real time to local residents. This study uses the existing measurement system and IoT sensor to constantly observe the wind speed and vibration of the marine bridge, and transmits it to local residents and managers to relieve anxiety about the safety and traffic of the sea-crossing bridge, and strong winds and to develop technologies capable of preemptively responding to large-scale disasters.

Keywords: Sea-crossing bridge, Disaster information, Traffic safety, IoT, Smart platform

*Corresponding author: Dong-Woo Seo, dwseo@kict.re.kr ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0412-7389>

Received: 11 March, 2023, Revised: 18 March, 2023, Accepted: 27 March, 2023



1. 서론

전라남도는 국내에서 가장 많은 25곳의 연륙·연도교가 있으며, 다도해와 이를 잇는 해상교량을 중심으로 해양 및 관광 특화자원이 풍부한 지자체이다. 그러나, 해상교량의 경우 강풍, 태풍 등이 발생할 경우에는 교량의 구조적 안전성과는 별개로 교량의 과대진동 등으로 인하여 사용자와 지역주민들의 불안감이 증대되는 현안이 있다(Chung et al., 2014; Kim and Song, 2016; Ko et al., 2020).

실제로 최근 2019년에 개통한 신안군의 천사대교의 경우, 강풍과 과대진동으로 인한 차량 통행 제한이 빈번하게 발생하였고 그로 인한 지역주민 및 운전자의 불안감 증대로 민원이 속출되고 있다. 따라서, IoT계측기술을 이용하여 측정된 데이터를 기반으로 정량적이고 정확한 교량의 풍속 상황과 통행과 관련된 교량의 진동 수준을 실시간으로 지역주민에게 제공함으로써 해상교량의 안전관리에 대한 지역주민 불안감을 해소가 필요하다(Jo et al., 2016; Park et al., 2021).

국내의 해상교량은 관리주체에 따라 국토안전관리원과 같이 국가기관이 위탁관리 하는 경우, 지자체에서 직접 관리하는 경우와 민간사업자가 관리하는 경우로 구분할 수 있다. 구조물의 규모, 상징성 및 중요도를 고려하여 대부분 해상교량에는 유지관리를 위한 상시 계측시스템이 구축되어 운영되고 있다. 그러나, 측정된 계측정보를 지역주민에게 제공하는 기능이 구현되어 있지 않고, 구조적 관점에서 교량의 안전관리 용도로만 국한하여 활용 중이다. 특히 지방도에 속한 해상교량은 전문 기술이 부족한 지자체에서 직접 관리함으로써 계측정보의 활용 및 관리상에서도 많은 문제가 발생되고 있어 우선적이고 시급한 기능개선이 요구된다.

기존의 계측시스템 및 IoT센서를 이용하여 해상교량의 풍향과 진동을 상시적으로 관측하고 이를 지역주민 및 관리자에게 전파함으로써 해상교량의 안전 및 통행에 대한 불안감을 해소할 수 있으며, 강풍 및 대형 재난재해에 대해서도 사전대응이 가능한 기술로 연구개발 및 실용화가 시급하다. 본 연구는 기존의 계측시스템 및 IoT센서를 이용하여 해상교량의 풍향과 진동을 상시적으로 관측하고 이를 지역주민 및 관리자에게 전파함으로써 해상교량의 안전 및 통행에 대한 불안감을 해소할 수 있으며, 강풍 및 대형 재난·재해에 대해서도 사전 대응이 가능한 기술로 연구개발 및 실용화가 시급하다.

2. 해상교량 통행제한 관련 풍속관리기준 및 예경보 방안 검토

2.1 계측 시스템 운영 현황

해안 또는 해상을 가로지르는 교량의 경우 입지적인 특성 상 강풍으로 인한 안전운행 가능성의 저하 가능성이 존재한다. 일반적으로 해상에 위치한 교량의 경우 해안선과 평행하여 진행되는 경우가 많아 해상에서 불어오는 바람이 차량의 측면에 직접적으로 작용하게 되는 경우가 많다. 더 나아가 해상교량의 구조적 특성상 불어오는 바람을 막아줄 지형지물이 존재하지 않아 풍압을 감소시킬 수 없어 차량의 주행에 영향을 미치게 된다. 이러한 문제는 국내·외적으로 해상교량 또는 강풍이 빈번하게 발생하는 지역에서 자주 지적되는 문제로서 해당도로에서 발생하는 사고의 약 2%가 풍향에 따라 발생한 것이라는 통계자료가 존재한다. 이와 같이 풍향에 의해 발생하는 사고비용뿐 아니라 이로 인한 통행의 지연 등 사회적, 경제적 손실이 막대한 실정이다.

강풍이란 10분간 평균풍속이 초속 14 m 이상인 바람을 지칭하는데 기상청에서는 육상에서 풍속 14 m/s 이상 또는 순간풍속 20 m/s 이상이 예상될 때(산지는 풍속 17 m/s 이상 또는 순간풍속 25 m/s 이상이 예상될 때) 강풍주의보 발표기준으로 삼고 있다. 도로를 주행하는 차량에 작용하는 강풍은 차량의 주행경로 이탈, 차체의 수평회전 과다와 전도를 발생시키는 원인이 되며, 이로 인한 교통사고는 치명적인 대형사고로 이어질 가능성이 높다. 특히 해상교량은 연륙·연도교로 설치되는 경우가 많아 해상교량의 입지적 여건 상 강풍 발생빈도가 높은 점을 고려할 때 강풍 발생 시 대응 체계의 중요성이 더욱 크다고 할 수 있다.

풍황에 의해 차량이 받는 영향은 전도 위험성의 증가와 주행 안정성의 하락으로 구분할 수 있다. 전도 위험성의 증가는 통상치를 크게 상회하는 풍속에서 발생하므로 그 발생빈도 및 가능성은 크지 않다고 할 수 있고 그에 비해 주행 안정성의 하락은 매우 빈번하게 발생할 수 있다. 즉 횡방향 풍압에 의해 주행 중인 차량의 직진성이 상실되어 인접 차선에 주행 중인 차량 또는 인도부의 보행자와 충돌할 가능성이 높아지게 된다. 바람에 의한 차량사고 유형은 다음의 Table 1과 같이 정리할 수 있다.

Table 1. Types of car accidents caused by wind

| Accident type | Accident causes |
|----------------------|---|
| Vehicle overturning | Sudden action of high wind speed |
| | A vehicle with a wide lateral area for wind pressure |
| Loss of straightness | Instantaneous loss of straightness due to high wind speed |
| | Gust effect caused by adjacent driving vehicles |

이러한 문제를 해결하기 위해 특정 풍속을 경계치로 설정하여 차량 또는 보행자의 속도를 제한하거나 통행 자체를 통제하는 방식으로 문제발생 가능성을 현격하게 감소시키는 방식을 사용할 수 있다. 이에 본 연구에서는 해상교량의 차량 및 보행자의 안전성에 영향을 미칠 수 있는 풍속 기준에 대한 고찰과 함께 실질적인 경계치로서의 통행안전성 저하 예경보가 가능한 풍속 관리기준에 대한 분석을 진행하였다.

횡방향 난류에 의해 발생하는 차량 주행안정성의 저하는 풍황에 따라 차량 및 보행자에게 발생할 수 있는 가장 현실적이고 가능성 높은 위험요인으로서 차량의 주행경로 이탈, 보행자의 낙상, 인접 보행자 또는 차량, 인접 시설물과의 충돌 등을 야기할 수 있다. 그러므로 이와 같은 주행 안전성의 저하가 실제로 발생하기 전 교량 진입 예정인 차량 또는 보행자에게 현재 교량에 발생하고 있는 풍황에 대한 실질적인 기준을 제시할 필요가 있다. 통행금지, 주행속도 제한 등과 같은 실질적 안정성 보장방안을 권고함으로써 교량상에서 발생할 수 있는 차량 또는 보행자의 사고를 예방하고 이를 통해 시설물 안전관리에 대한 신뢰도를 제고하고 사고로 인해 야기되는 시설물의 파손 및 재산상의 피해를 저감할 것으로 예상된다.

국내 풍속 관리기준은 10분간 평균풍속으로서 관리최소치는 12 m/s(영종대교), 14 m/s(서해대교), 15 m/s(광안대교) 등으로 교량마다 차이가 있으나, 최대치는 국내 대부분의 교량이 25 m/s로 동일한 값을 취하고 있다. 국내 교량은 대부분 3단계로 풍속 등급을 구분하여 단계별로 교통 조치를 설정하고 있으며, 영종대교 관리기준의 경우 총 3단계로 풍속기준을 구분하였으나 그에 맞게 조치사항들이 상세 설정되어 있다(Table 2 참고).

Table 2. Management standards according to the wind speed level of Yeongjong Bridge

| Management standard (m/s) | Action plan | Note |
|---------------------------|---|---|
| 10~20 | - Upper deck : 3-lane bus/truck traffic restriction (low deck use) - Car driving under 80 km/h | VMS (Variable Message Signs) Light vehicle allowed on low deck Safe driving speed (30% reduction) |
| 20~25 | - Upper deck : all lanes passing prohibition - Lower deck : driving under 50 km/h | VMS, upper deck passing prohibition Safe driving speed on low deck (50% reduction) Safe driving speed (30% reduction) |
| Above 25 | - Upper deck : all lanes passing prohibition - Lower deck : all lanes passing prohibition | VMS Passing prohibition in any case Emergency inspection |

강풍에 대한 주요 교량에서 적용하는 강풍 관리기준 및 조치사항들은 대부분 10분간 평균풍속을 적용하며, 설정된 관리기준(trigger level)에 따라 이용자에게 VMS 등을 통해 실시간 정보를 제공하고 있다. 본 과제의 궁극적 목표 중 하나는 관리

기준을 통한 예경보시스템을 구축하여 이용자에게 실제 구조물의 이용 가능 여부를 실시간으로 전달하는 것이다. 이를 위해서는 적절한 예경보 방안의 수립이 필요하다. 다음의 Fig. 1은 위와 같은 관리기준을 통하여 발생한 알람신호가 이용자에게 전달되는 방식을 정리한 개념도이다. 이와 같은 방식을 통해 사용자는 대상 교량에서 발생한 위험신호를 실시간으로 전송받고 이를 통해 시설물의 이용에 주의를 기울여 안전사고의 발생 가능성을 감소시킬 수 있다. 앞에서 설명한 통행제한 풍속관련 관리기준치는 기존 계측시스템에 적용되어 운용되고 있는 관리기준치로서 실제 이용자의 안전확보를 위한 현실적인 관리기준이라고 판단된다.

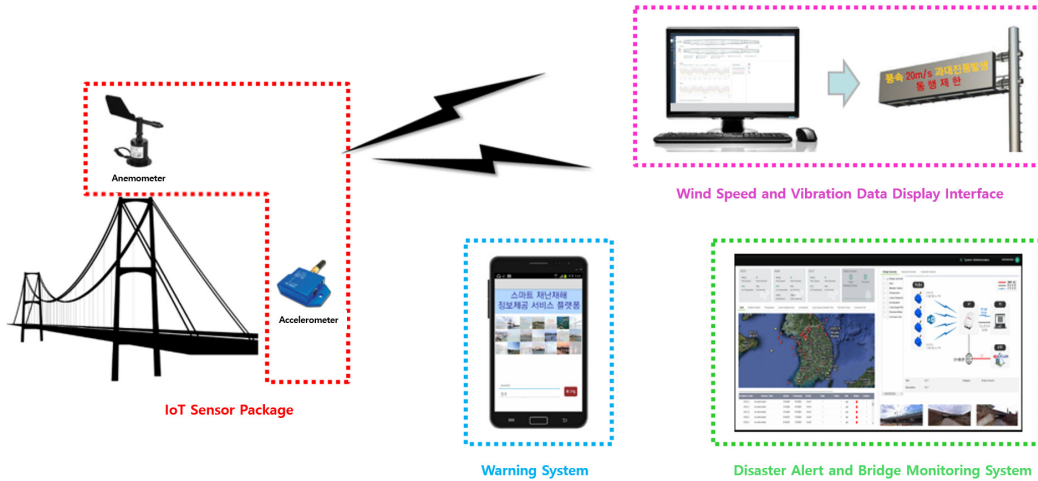


Fig. 1. Conceptual diagram of alarm information forecast system

3. 해상교량 통행안전관리를 위한 IoT 계측시스템 운영방안 검토

3.1 IoT 계측시스템 기능 설계

본 연구에서 구축되는 IoT 계측시스템은 현장에 구축되는 IoT 계측센서로부터 취득한 교량의 구조적 거동 및 관련 데이터의 수집 및 처리가 주된 기능으로서 위의 시스템 구상도에 따라 개발하는 IoT 계측시스템의 기능을 설계하였다. 각각의 시스

Table 3. IoT measurement system function details

| Function | Details | Note |
|-----------------------------------|---|--|
| Data recall | <ul style="list-style-type: none"> Calling weather information from the local meteorological office to be analyzed - Call wind speed, rainfall, earthquake information, etc. individually Recalling accelerometer and wind speed data installed on the target bridge | |
| Data process | <ul style="list-style-type: none"> Noise filtering of collected data Time point synchronization of data provided by the Korea Meteorological Administration (KMA) and measurement data | <ul style="list-style-type: none"> - Data quality improvement - Improved analysis accuracy |
| Data evaluation | <ul style="list-style-type: none"> Evaluation of current weather conditions by weather information item (wind speed, rainfall, earthquake) Field data analysis through extreme value analysis Prediction of on-site structural behavior in terms of recall Rating of vehicle operation at the expected time, pedestrian caution, control status, etc. | <ul style="list-style-type: none"> - Abnormal behavior occurrence possibility analysis |
| Real-time forecasting and warning | <ul style="list-style-type: none"> Prediction and warning of target bridge wind condition and structure behavior condition Various uses such as simple information provision and traffic restrictions | <ul style="list-style-type: none"> - SMS Utilization |

템 기능은 데이터 호출, 데이터의 가공 및 처리, 그리고 사용자에게 효과적으로 정보를 제공하는 것을 목표로 설계하였으며 이를 통해 각각의 기능 및 그 상세기능을 구상하였다. 이와 같이 계측시스템의 기능은 크게 데이터 호출, 데이터 처리, 데이터 평가, 실시간 예경보로 구성하였으며 그 세부 기능은 다음의 Table 3과 같이 설계되었다.

위의 기능설계에서 확인할 수 있듯이 해상교량 통행안전관리 IoT 계측시스템은 현장 설치된 계측장비로부터 수집된 구조물의 거동관련 정보를 이용해 데이터베이스를 구성하고 또한 관련 기상 및 추가 데이터 등을 온라인으로 연동하여 사용자에게 제공 가능한 수준으로 현장데이터를 분석하는 것을 기본 기능으로 한다. 이를 통해 대상교량의 풍향 및 구조물 거동상태에 대한 예경보가 가능하며 사용자는 원격지에서 무선통신을 통해 해당 데이터를 전송받아 대상교량 이용시의 안전성을 확보할 수 있다. 다음의 Fig. 2는 앞서 언급한 시스템 기능에 대한 데이터 흐름도를 나타낸 것이다.

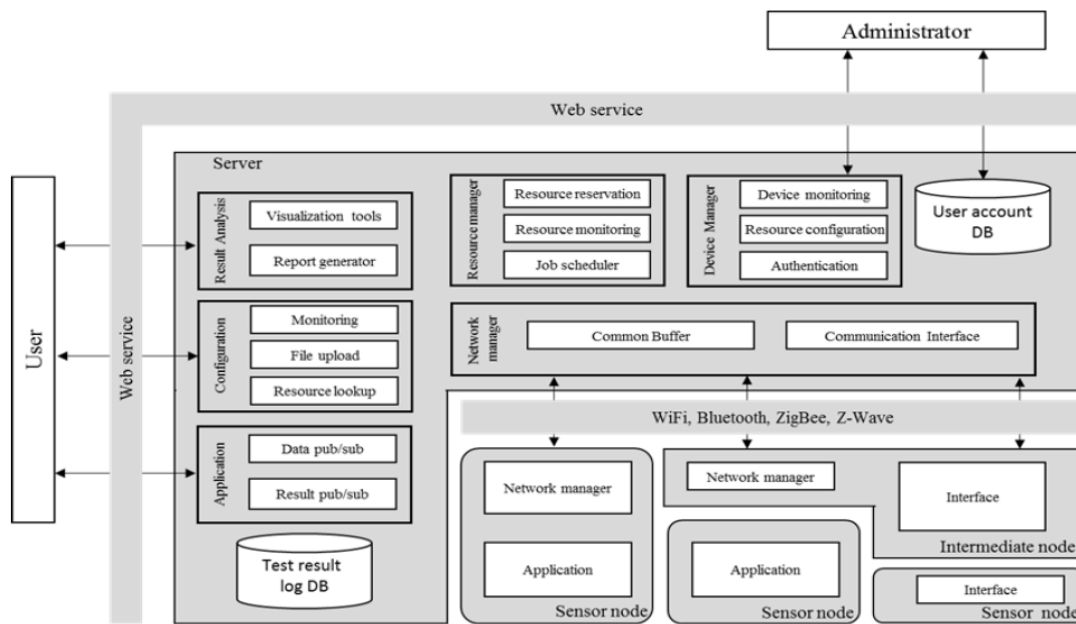


Fig. 2. Conceptual diagram of measurement system using IoT sensor

주변 환경을 감지하는 센서로부터 물리적 변화가 감지되면 전기적 신호로 변화된 데이터라 센서노드로부터 발생하게 된다. 해당 데이터는 데이터 전송모듈을 통해 개발한 계측운영 프로그램으로 전송되는데 이와 더불어 계측데이터, 센서정보, 네트워크 정보 데이터베이스 관리 등에 활용되게 된다. 수신된 데이터는 IoT 센서를 이용한 계측결과로서 데이터베이스에 저장되게 되고 이는 분석결과로서 가시화 되어 유지관리 주체에 전달 및 실제 이용자의 안전정보로 활용되게 된다.

3.2 데이터 처리 시스템 설계

본 연구를 통해 설계된 IoT 계측시스템은 연륙·연도교를 아우르는 해상교량의 풍향 및 진동을 IoT 계측센서로 상시 측정하여 그 분석결과를 기존 계측시스템과는 달리 실시간으로 이용자에게 주의, 경고상황을 전달하여 유지관리 주체 뿐 아니라 지역주민들의 안전 불안감을 해소하여 교량시설물 관리체계에 대한 신뢰도를 제고하는 것을 목표로 하여 기존시스템과의 차별성을 두었다. 이를 위해서는 전체적인 계측시스템의 네트워크 및 전반적인 플랫폼 구상 못지않게 현장 데이터 수집 및 그 연계 방안에 대한 설계가 중요하다. 구축될 계측시스템은 IoT 계측센서를 이용한 교량 상황정보 제공 시스템을 구현하는 것이 주된 목표로서 Fig. 2와 같이 무선 통신을 이용한 계측시스템을 구축 설계하였다.

또한, Fig. 2에서 확인할 수 있듯이 기상청 등 기상관련 정보를 외부기관(기상청, KMA) 등에서 온라인 연동하여 이를 실

시간 계측결과와 조합, 교량에서 발생한 계측결과의 실제 기후 반영여부를 판단하고 구조물 이용자들에게 보다 공신력 있는 예정보정정보를 제공할 수 있도록 설계하였다. 이와 같이 IoT 계측기기를 이용해 각 교량의 실시간 풍향 및 진동가속도 정보를 수집, 이를 통해 해당 네트워크상에 존재하는 모든 교량의 통행안전가능 현황을 분석하고 통합적으로 해당교량 이용자에게 SMS를 통해 계측정보를 전달할 수 있도록 설계안을 Fig. 3과 같이 수립하였다.

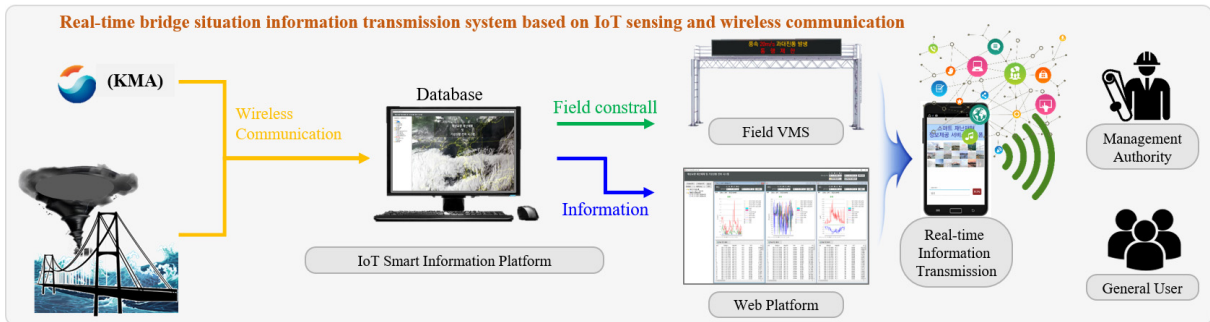


Fig. 3. System functional design based on information linkage with KMA

IoT 계측시스템의 데이터 처리 시스템은 다양한 형태의 센서노드를 시험 운용하기 위해 센서노드 연결방식에 따라 독립적으로 동작하는 노드와 중간 노드가 필요한 센서 모듈형태를 모두 지원할 수 있도록 설계되었다. 계측시스템은 계측의 중단에 따른 데이터 누락이 발생하지 않도록 장비관리자 기능을 통해 센서 노드간의 연결을 관리할 수 있도록 설계하였다. 장비관리자는 네트워크 관리자를 통해 센서 노드의 정상 연결여부, 메시지 송신 상태 등을 모니터링 할 수 있게 설계하였다. 계측기시스템은 웹 기반 사용자 인터페이스를 제공할 수 있도록 구상하였으며 이를 통해 이용자의 접근성을 제고하였다.

4. IoT 센서 패키지 및 통행안전 정보제공 스마트 플랫폼

IoT 센서의 장점 중 하나는 바로 연산장치를 통해 데이터를 직접 서버에 전송하기 전에 가공할 수 있다는 점이다. 케이블 교량에 가장 유용하게 활용될 수 있는 가공 방법은 IoT 센서를 통해 계측된 가속도를 직접 서버에 전송하기보다는 주파수 영역으로 변환한 뒤, 고유진동수를 추출하거나 혹은 추출한 진동수와 케이블 길이를 통해 장력 값으로 환산하여 전송하는 방법이다. 이러한 방법을 통해 케이블의 장력 혹은 교량의 고유진동수를 별도의 후처리 과정 없이도 센서 자체에서 처리하여 얻을 수 있다. 또한 데이터 전송량을 기하급수적으로 줄일 수 있어 IoT 센서의 데이터 전송 안정성을 높이고 전력 소모를 줄일 수 있다는 장점이 있다. IoT 센서의 가장 강력한 점은 다양한 센서를 동시에 계측할 수 있다는 점이다. 따라서 변형률, 가속도 혹은 자이로와 같은 다양한 물리량을 융합하여 새로운 물리량을 추정하는데 사용될 수 있다. 본 연구에서 적용한 IoT화된 가속도계와 풍향·풍속계는 Fig. 4와 Fig. 5와 같다.


| Accelerometer | Sensor Information | |
|---|--------------------|---|
|  | Name | LT-AA Series |
| | Measuring Range | ±2g |
| | Resolution | 0.1mg |
| | Installed bridges | Noryang, Naksaeang Overpass, Amsa, etc. |

Fig. 4. Optimal IoT accelerometer


| Anemometer | Sensor Information | |
|---|--------------------|---|
|  | Name | Model 05103 |
| | Measuring Range | 0~100m/s, 0~355° |
| | Resolution | ±0.3m/s, ±3° |
| | Installed bridges | Palyeong, Jindo, Noryang, Handuri, Etc. |

Fig. 5. Optimal IoT anemometer

본 연구에서 사용된 S-Cube(Fig. 6 참고)는 동적 데이터 획득용 다목적, 지능형 IoT 디바이스로 시설물로부터 다양한 정보를 획득하고, 자체 컴퓨팅 기능으로 가공할 수 있도록 개발한 제품이다.

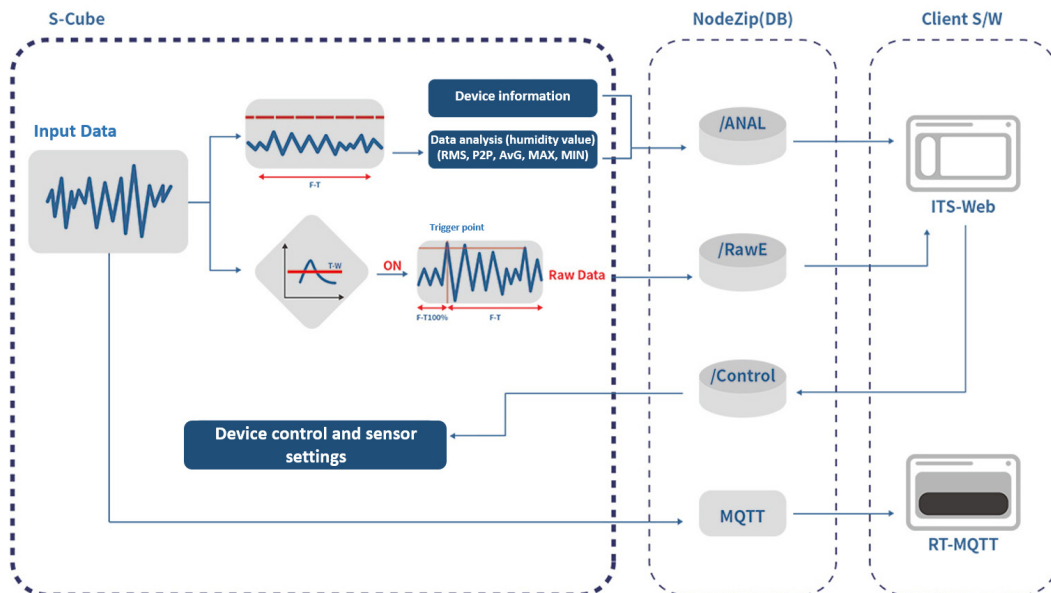


Fig. 6. Conceptual diagram of S-Cube data processing

구성은 크게 브릿지 회로 센서로부터 데이터를 획득할 수 있는 DAQ회로와 데이터 처리와 디바이스 플랫폼 기능, 컴퓨팅 기능을 수행하는 소형 SoC 보드, 기타 통신모듈과 전원모듈로 되어있다. 교량 및 터널 모니터링, 건물 및 경기장 모니터링, 철도 및 플랫폼, 건설 가시설 및 붕괴 위험을 모니터링 하는데 적용할 수 있다. 2축 가속도 센서가 기본 내장되어 있으며, 최대 200 Hz 데이터 샘플링 속도를 보여준다. max, min, avg 등의 데이터 분석이 가능하다. 또한, 다양한 센서를 사용할 수 있으며, 유/무선의 다양한 통신 네트워크 구성이 가능하고 주기적인 분석 값 저장, 트리거 설정에 의한 raw 데이터 획득 등 다양한 데이터 획득 방법을 제공한다.

연륙·연도교인 해상교량의 풍향 및 진동을 IoT계측센서를 통해 상시적으로 측정함으로써 강풍 및 태풍 발생, 교량의 이상진동 발생과 같이 교량 이용자의 안전에 우려가 되는 상황이 발생할 가능성을 분석하여 사전에 이를 지역주민과 이용자에서 정보를 제공하는 기능을 제공하는 것을 목표로 하는데, 해상교량의 풍향 및 진동을 상시적으로 계측하기 위해서는 가속도 계뿐만 아니라 풍향풍속계, 온도계 등 다양한 센서들이 필요하며, 실시간으로 획득한 데이터를 기반으로 지역주민 및 이용자에게 정보를 제공하기 위해서는 신속하고 정확한 데이터 분석과 안정적인 통신이 필요하다.

IoT 디바이스의 경우, InoOn의 InoOn Ino-Vibe IoT 디바이스는 가속도 센서를 이용해 진동 데이터만을 수집하고 분석

하기 때문에 본 사업에 적용하기에는 적절하지 않으며, 스마트제어계측의 MEMS Acceleration Recorder 또한 동적 가속도 데이터 취득을 위한 IoT 디바이스이므로 적절하지 않다. 따라서, 본 연구원은 다양한 센서 사용이 가능하고, 다양한 통신 네트워크 구성이 가능하며, 다양한 데이터 획득 방법 및 분석기능을 제공하는 스마트제어계측의 S-Cube를 해상교량 IoT 디바이스가 가장 적절하다고 판단했다.

채택된 IoT 디바이스를 통해 수집한 데이터를 계측 서버로 전송하기 위해서는 원거리 네트워크가 필요하다. LoRa 네트워크와 NB-IoT 네트워크는 저전력의 장거리 무선통신 기술이지만, 정적 계측에 특화된 네트워크로 취득 데이터가 많은 동적 계측에는 적절하지 않기 때문에 LTE 기반의 원거리 네트워크 중 데이터의 실시간성, 전송거리, 통합관리 등의 특성을 고려하여 실시간성과 이동성에 높은 장점이 있는 4G 중심의 LTE-M 원거리 전송 네트워크가 가장 적절하다고 판단했다.

5. 결론

본 연구에서는 해상교량을 통행하는 사용자가 직접 느끼고 영향을 받는 진동가속도와 풍속 데이터를 IoT 센서로 실시간 측정하여 획득한 정보를 활용하여 태풍 등 강풍에 의한 재해 발생시 통행 제한 여부를 판단하기 위한 실시간 정보제공 스마트 플랫폼을 개발하였다.

본 연구에서 수립한 IoT 계측시스템 설계방안은 실제 이용자가 직접적으로 느끼고 영향을 받는 진동가속도를 확인할 수 있도록 계측 방향을 집중화 하였다. 또한 추가적으로 풍향풍속계를 인근위치에 설치하여 발생한 진동이 재해/재난으로 인해 발생하였고 이에 이용자의 통행이 제한되어야 할 상황인지 판단할 수 있는 보조정보로서 활용될 수 있도록 시스템을 설계하였다.

개발된 해상 특수교량 IoT 시스템은 효율적으로 간소화된 IoT 계측시스템을 통해 시스템의 목적에 맞는 대상 교량의 거동 데이터를 선별적으로 수집하고 이를 이용해 이용자의 안전한 통행을 보장하여 실제 이용자의 안전 불신을 해소하고 실질적 민원발생 요인을 제거하여 보다 신뢰도 높은 시설관리가 가능할 수 있도록 시스템 설계를 완료하였다.

Acknowledgments

This work was carried out in the Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (project no. 20230021) funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

References

- Chung, Chul-Hun, Ho-Hyun An, Soo-Bong Shin, and Yu-Hee Kim. (2014). Reset of Measurement Control Criteria for Monitoring Data through the Analysis of Measured Data. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 18(6): 105-113.
- Jo, Byung-Wan, Heoun Kim, Yun-Sung Lee, and Do-Keun Kim. (2016). Development of Real Time Smart Structure Monitoring System for Bridge Safety Maintenance Using Sensor Network. *Journal of the Korea Contents Association*. 16(2): 221-330.
- Kim, Haeng-Bae, and Jae-Ho Song. (2016). Study for Determination of Management Thresholds of Bridge Structural Health Monitoring System Based on Probabilistic Method. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 20(3): 103-110.
- Ko, Byeong-Chan, Gwang-Hee Heo, Chae-Rin Park, Young-Deuk Seo, and Chung-Gil Kim. (2020). Development of Damage Evaluation Technology considering Variability for Cable Damage Detection of Cable-Stayed Bridges. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 24(6): 77-84.

Park, Sangki, Dong-Woo Seo, Ki-Tae Park, and Ho-Jin Kim. (2021), Development of Smart Platform of Information Service for Traffic Safety Condition in Sea-Crossing Bridge Using IoT Monitoring Technique. Proceedings of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. 25(2): 142.

Korean References Translated from the English

고병찬, 허광희, 발채린, 서영득, 김충길 (2020). 사장교의 케이블 손상 검출을 위한 변동성이 고려된 손상평가 기술 개발. 한국구조물진단유지관리공학회 논문집. 24(6): 77-84.

김형배, 송재호 (2016). 확률론적 방법에 의한 교량계측시스템의 관리기준치 설정에 관한 연구. 한국구조물진단유지관리공학회 논문집. 20(3): 103-110.

박상기, 서동우, 박기태, 김호진 (2021). IoT 계측기술을 활용한 해상교량의 통행안전 정보서비스 제공 스마트 플랫폼 개발. 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표회 논문집. 25(2): 142.

정철현, 안호현, 신수봉, 김유희 (2014). 계측데이터 분석을 통한 모니터링 데이터의 계측관리기준 재설정. 한국구조물진단유지관리공학회 논문집. 18(6): 105-113.

조병완, 김현, 이윤성, 김도근 (2016). 센서 네트워크 기반 실시간 교량 안전관리를 위한 지능형 구조 건전성 모니터링시스템 개발. 한국콘텐츠학회 논문지. 16(2): 221-230.