

Implementation of Digital Twin based Building Control System using Wireless Sensor Box

Sang-Hoon Shin*, Myeong-Chul Park**

*Professor, Dept. of Aero Mechanical Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

**Professor, Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

[Abstract]

In this paper, based on the building's 3D modeling, a digital twin-based building control system using the collection information of wireless sensor box is proposed. The proposed system applies wireless sensors, making sensor modules more expandable and usable, and more intuitive building control possible through three-dimensional modeling. In addition, effective control and visual representation are possible through BIM data. Sensor boxes have been designed for general purpose so that a variety of sensor modules can be added and have been implemented for actual university buildings to demonstrate high availability. The results of this paper could be used to implement a digital twin control platform in the future.

▶ **Key words:** Digital Twin, Building Control System, IoT, Sensor Network, 3D Modeling

[요 약]

본 논문에서는 건물의 3D 모델링을 바탕으로 무선 센서 박스의 수집 정보를 이용한 디지털 트윈 기반의 건물 관제 시스템을 제안한다. 기존 유선 방식의 센서 대신 무선 방식의 센서를 통해 설치 및 적용성이 높은 장점을 가지며 3차원 모델링을 통한 직관적인 건물 관제를 가능하게 한다. 또한 BIM 데이터를 통하여 효과적인 관제와 시각적 표현이 가능한 정점을 가진다. 센서 박스는 다양한 센서 모듈이 추가될 수 있게 범용적으로 설계하였고 실제 대학 건물을 대상으로 구현하여 이용 가능도가 높음을 증명하였다. 본 연구의 결과는 향후 디지털 트윈 관제 플랫폼 구현에 활용될 수 있을 것이다.

▶ **주제어:** 디지털 트윈, 건물관제시스템, 사물 인터넷, 센서 네트워크, 3차원 모델링

-
- First Author: Sang-Hoon Shin, Corresponding Author: Myeong-Chul Park
 - *Sang-Hoon Shin (shshin@ikw.ac.kr), Dept. of Aero Mechanical Engineering, Kyungwoon University
 - **Myeong-Chul Park (africa@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University
 - Received: 2020. 04. 10, Revised: 2020. 05. 04, Accepted: 2020. 05. 05.

I. Introduction

최근 디지털 트윈이 각광받고 있으나 국내에는 전문 인력의 부재와 고비용의 개발비용으로 아직 걸음마 단계에 있다. 국내 디지털 트윈 구현 기업은 대기업, 통신사, 모델링 시뮬레이션 전문 기업 중심으로 성장 중이며 국내 수요 기업도 구축이 용이하고 호환성이 높은 해외 디지털 트윈 플랫폼을 선호하는 실정이다. Infoholic Research(2017) 보고서에 따르면 2023년까지 디지털 트윈 세계 시장은 연평균 24.7%의 성장률이 전망되며 국내 시장은 16.3% 성장으로 세계 시장 대비 60% 수준으로 전망한다[1]. Gartner(2018)에 따르면 디지털 트윈은 2019년 10대 전략기술로 선정되었으며 2020년 세계 2,000대 기업의 30%가 디지털 트윈 모델을 도입하고 조직의 수평화와 생산성 제고를 가져 올 것으로 예상했으며 2021년 대기업의 절반이상이 디지털 트윈을 사용할 것으로 분석하였다[2]. 하지만, 국내의 경우 일체와 되지 않는 데이터 수집체계와 요소기술 기업 간 협업 부족, 디지털 트윈 전문가 부재의 성장 방해 요소를 가지고 있다. 4차 산업혁명 시대에 경쟁력 확보를 위한 디지털 트윈의 관심이 세계적으로 급증하고 있으며 국내에서도 지능화 기술에 대한 역량 확보가 필요할 것으로 사료된다. 디지털 트윈은 사물인터넷(IoT), CPS 등의 핵심기술을 기반으로 발전 및 보편화되는 경향을 보이고 있으며 다양한 영역에서 생산성, 경제성, 안전성 등의 요구사항을 충족하는 기술로 사용된다. 본연적으로 디지털 트윈은 물리적인 시스템을 디지털로 복제하여 동작이나 속성을 표시하는 가상 모델을 의미한다. 이를 통하여 운영 조건을 최적화하고 고장 진단 및 예측으로 실존하는 시스템을 관리하기 위한 시스템으로 산업의 경쟁력 강화의 주요 수단으로 활용되고 있다. 또한 최근 소방시설법 개정에 따라 무선 화재 감지 설비 설치가 법적으로 허가됨에 따라 화재 감지 시스템의 패러다임이 유선방식에서 무선방식으로 넘어감에 그에 맞는 화재 관제 시스템 구축 필요성이 대두되고 있다.

본 논문에서는 디지털 트윈을 활용한 건물 내 실시간 소방 통합 관제 시스템을 개발하고자 한다. 관제할 건물에 다양한 센서를 부착하고 BIM(Building Information Modeling) 기술을 통한 건물 3D 모델에 센서 데이터를 시각적으로 표현함으로써 디지털 트윈 관제 플랫폼을 구현한다. 논문의 구성은 2장에서 디지털 트윈과 화재 감지 시스템에 대한 배경 지식을 살펴보고 3장에서 구현을 위한 무선 기반의 센서 박스의 설계에 대해 기술한다. 4장에서 실제 구현된 건물 관제 시스템에 대해 상세히 설명하고 5장에서 결과에 대해 기술한다.

II. Background

1. Related works

디지털 트윈이라는 용어는 2000년대 초반부터 사용되었으며 NASA(2012)는 디지털 트윈은 물리적 모델과 센서 정보, 다양한 이력정보를 이용한 미러링 환경의 물리학적, 확률론적 시뮬레이션이라고 정의하였으며[3] Chen(2017)은 기능적 특징과 요소를 연계성을 나타내는 물리적 장치나 시스템의 전산학적 모델이라고 하였다[4]. 그리고 Liu(2018)는 실세계에서 수집된 데이터와 정보를 기반으로 변화에 적응하여 미래를 예측할 수 있는 물리적 시스템의 또 다른 모델이라고 하였으며[5], Zheng(2018)는 마이크로 원자 수준에서 기하학적 수준에 이르는 잠재적이거나 물리적 시스템을 설명할 수 있는 가상 정보의 집합이라고 하였다[6]. Vrabic(2018)은 통합 시뮬레이션과 서비스 데이터를 사용한 물리적 요소를 디지털로 표현한 것으로 정의하였다[7]. Mandi(2019)는 물리적 시스템의 수명 주기에 걸친 성능, 유지보수, 운영 상태 등의 데이터를 지속적으로 업데이트하는 물리적 시스템의 가상 요소라고 정의하였다[8]. 이 처럼 10년간 디지털 트윈에 대한 용어는 특이한 변화 없이 일반적인 컴퓨팅 모델이나 시뮬레이션과 유사한 의미로 사용되었다.

디지털 트윈은 물리적 세계에게 발생하는 다양한 정보를 센서를 통해 수집하고 분석하여 가상의 디지털 세계에서 상태를 이해하고 제어하는 시스템을 의미한다. 다만 데이터를 전송과 수집이라는 정적인 디지털 모델과 다르게 디지털 트윈은 수집된 데이터를 정형화하고 분석하여 정보와 지식기반의 최적화된 솔루션을 완성한다는 것이다.

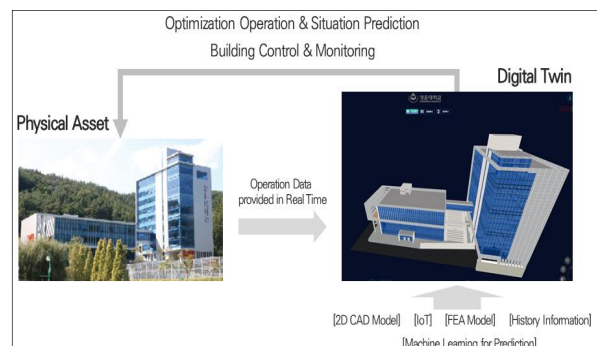


Fig. 1. Digital Twin

Fig.1 과 같이 디지털 트윈은 데이터 처리 기술과 지능형 기술의 융합 기술로 볼 수 있다. 이는 데이터를 수집하고 정제하는 기술과 요소 모델링 및 분석기술, 지능형 학

습 기술이 요구됨을 의미한다. 디지털 트윈을 구현하기 위한 소프트웨어 측면의 주요 구성요소는 데이터를 수집, 전송, 저장, 처리하는 기능과 물리적 객체를 디지털 모델로 변화시키는 기능, 디지털 모델을 동작시키는 시뮬레이션 기능, 목적에 따른 진단, 분석, 예측하는 응용 기능, 결과를 실세계에 반영하는 결정 및 제어 기능이 요구된다. 디지털 트윈 설계 및 구현시 가장 기초가 되면서 중요한 기술이 물리적 시스템에서 측정되는 센서 데이터에 대한 데이터 정제 기술이다. 이를 위하여 본 연구에서는 데이터 정제 기술 기반의 데이터 수집 데이터를 개발한다. 또한 빌딩 관리를 위한 감지 센서는 기존의 유선 방식에서 무선 방식을 적용하기 위한 모듈로 개발 및 적용하였다.

2. Fire control system of building

최근까지 무선방식 화재감지시설의 소방법상 허용 근거가 없어 법에 따라 자동화재탐지 설비를 반드시 갖춰야 하는 시설은 부가 시설로 밖에 활용할 수밖에 없었으나 소방청은 2019년 1월 25일 소방시설법 시행령 일부개정 입법 예고(소방청공고제2019-5호)를 통하여 기존 유선방식만 허용한 화재알림설비를 사물인터넷 등의 신기술의 활용과 화재 감지 시스템의 패러다임을 적용하여 무선 방식의 감지 설비가 가능하도록 법적 근거를 마련하였다.

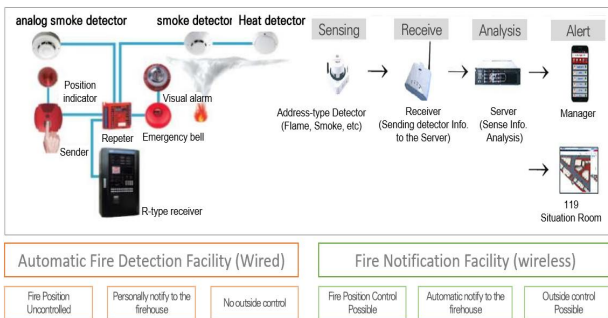


Fig. 2. Fire Notification Facility

Fig. 2의 왼쪽과 같이 기존 자동 화재 탐지 설비는 유선 방식만 허용하였으며 각종 감지기가 유선으로 중계기에 연결되어 R형 수신기에 의해 화재 발생사실을 관계인에게 통보하는데 반해, 오른쪽의 무선방식의 화재 알림 설비는 IoT 기술이 반영되어 감지기의 감지 정보가 무선망을 통하여 수신 및 분석, 경보까지 이루어지는 자동화 시스템으로 구성된다. 본 연구에서는 무선방식의 각종 감지기를 제어하는 센서 박스와 기존의 유선방식의 감지기를 통합할 수 있는 설비를 제안한다. 본 연구를 이용하면 화재리스트 상황에 연계한 보험요율 제도에 적용할 수 있다. Table 1과 같이 현재 국내

보험요율은 건물의 형태, 건축재, 건축 연수에 따라 건물 등급을 정하고 소방시설 설치 여부에 가감점을 적용한다. 선진국의 연구 화재 리스크 관리 상황을 평가하여 할인 할증 제도를 운영하도록 제도 또는 손배사 자체 기준을 도입하고 있다. 향후 국내 손해보험회사에서도 선진국 형태의 화재 리스크 평가 요율제를 도입할 것으로 예상된다[9].

Table 1. Risk assessment rate system[9]

Country	Risk assessment rate system status
JAPAN	Although it is not stipulated in the regulations, the risk assessment rate system of each insurance company is applied.
USA	In most states, corporate insurance should run a discount premium system by assessing risk management conditions.
KOREA	Operation of the planned and experienced rate system in conjunction with the risk situation, limited to fire insurance factories.

또한 기존의 유선방식의 탐지시설은 화재 위치 관제가 어렵고 소방서에 직접 신고하거나 외부 관제가 불가하다는 문제점이 있다. Fig. 3과 같이 본 연구에서 제안하는 탐지 시설은 무선방식으로 화재 위치 관제와 외부 관제가 가능한 장점을 가진다. 구현한 탐지 및 관제 모듈은 구현된 3D 모델링에 센서 데이터를 실시간으로 표현하려 화재 탐지, 공간별 인원, 온도, 미세먼지 등을 모니터링 할 수 있다.

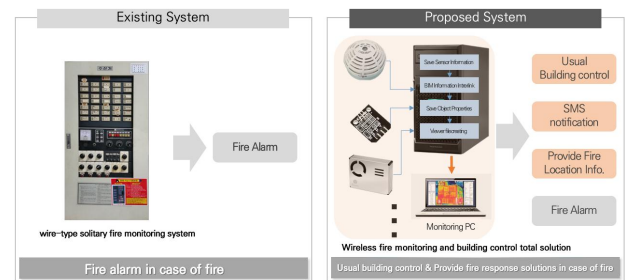


Fig. 3. Proposed Fire Notification System

III. Design

1. Design of sensor box

Fig. 4는 전체 시스템의 구성요소간 기능과 데이터 흐름을 보인 것이다. 건물의 환경 데이터를 수집하는 센서박스는 모듈형으로 개발하여 여러 센서를 손쉽게 추가 및 제거할 수 있도록 설계한다. 프로세싱을 위한 메인 모듈은 Raspberry Pi 3 기반으로 구현되며 센싱을 위한 부가적인 센싱 모듈은 Arduino MCU를 이용하여 추가하였다.

메인 모듈에는 HTTP POST 방식의 센서 데이터를 전송하고 센서 커맨드를 수신하기 위한 통신 모듈(WIFI)과 실시간 출입 인원을 측정하기 위한 APC(Auto People Counter)모듈과 화재 감지를 위한 무선 센서가 연결되고 추가적인 Arduino MCU 모듈에는 공간내 온습도를 측정하는 센서와 미세먼지 농도를 측정하는 센서, 이산화탄소 농도를 측정하는 센서를 연결하였다. 기존 화재 감지 센서(수신기)와 센서 박스 간의 프로토콜 정의는 Table 2와 같다. 통신을 위한 패킷은 11 바이트로 구성되며 데이터는 기본적으로 Hex 값으로 전송된다.

Table 2. Protocol of Sensor Box

No.	Size	Function
1	1 byte	STX
2	3 byte	Sensor ID
3	2 byte	Receiver ID
4	1 byte	Fire Info.
5	1 byte	Communication Status
6	1 byte	Sensor Info.
7	1 byte	Battery Status
8	1 byte	ETX

센서 박스와 3D 서버간의 프로토콜은 HTTP POST 방식으로 전송되며 데이터 포맷은 JSON 형식으로 전달된다. 3D 서버는 이벤트를 수신하고 응답을 보내는 형식으로 이루어진다. Fig. 5는 센서 박스에서 3D 서버로 보내는 이벤트 메시지의 구조이다.

```
{
  "kind":"alarm",
  "level":"critical",
  "dvc_cd":"fire0001",
  "status_value":"1",
  "evt_nm":"화재발생",
  "evt_time":"2020-01-22 11:13:53",
  "usr_id":"KW",
  "usr_pw":"KW123"
}
```

Fig. 5. EVENT Message

Table 3은 이벤트 메시지의 단위 요소의 의미를 보인 것이다.

Table 3. Definition of EVENT Message

Message	Description
"kind":"alarm"	
"level":"critical"	Alarm Level (critical / major / minor)
"dvc_cd":"fire0001"	Equipment Code
"status_value":"1"	Status value
"evt_nm":"화재발생"	Event Name (화재발생 / 배터리불량)
"evt_time":"2020-01-22 11:13:53"	Event Time
"usr_id":"KW"	Authentication ID
"usr_pw":"KW123"	Authentication Password

Fig. 6은 3D 서버에서 센서 박스로 보내는 응답 메시지의 구조를 보인 것이다.

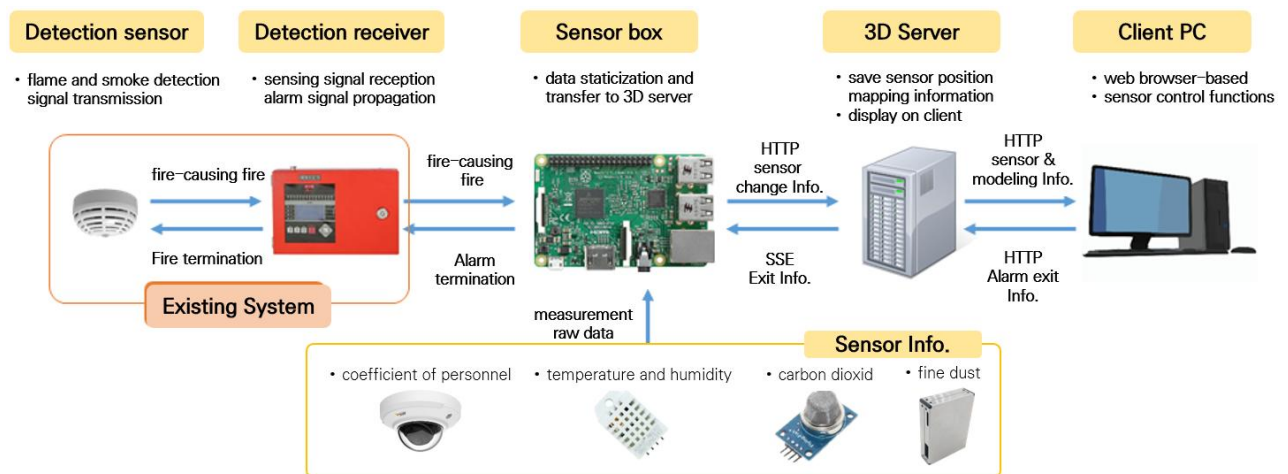


Fig. 4. Features of Components and Data Flow Diagram

```
{ "kind":"RESPONSE","result":"OK"}
{ "kind":"RESPONSE","result":"FAIL"}
```

Fig. 6. RESPONSE Message

센서 박스 동작을 위한 코드는 JAVA 기반으로 구현되었으며 화재 데이터 관리부의 UML 구조는 Fig. 7과 같다.

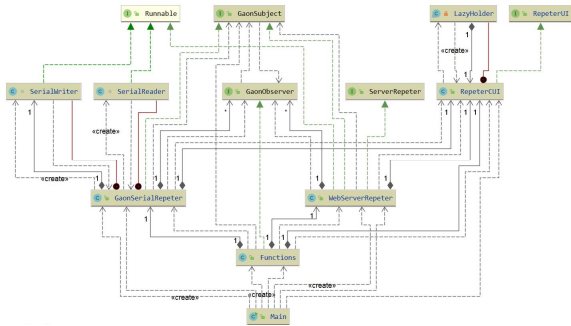


Fig. 7. UML Structure of Fire Data Management Division

프로그램이 실행되는 Main 부와 수신기와의 통신을 위한 GaonSerialRepeter 부, 3D 서버와 통신을 담당하는 WebServerRepeter부로 구성된다. 그리고 로그와 에러 로그를 표출하고 관리하는 RepeterCUI 부와 데이터를 해석하고 명령을 실행하는 컨트롤러에 해당하는 Functions 부로 구분된다.

IV. Implementation

1. Implementation of building control system

3D 모델링을 위한 맵 저작은 웹 기반의 3D 오브젝트를 관리할 수 있는 Gong Builder 소프트웨어를 사용하였다. Gong Builder는 건축물의 2차원 도면이나 매핑 이미지를 이용하여 2차원 객체를 모델링할 수 있는 도구로서 인터페이스가 손쉽고 컴포넌트 기반의 3차원 공간 및 건물을 저작할 수 있는 도구이다. 또한 Gong Builder로 저작된 3차원 모델링은 HTML5 표준 언어 기반 WebGL엔진을 이용할 수 있으며 모바일 웹을 포함한 모든 웹브라우저에 호환 가능하고 ActiveX 등의 Plug-in 없이 사용하는 장점이 있다. 실제 구현된 Fig. 8은 구미시 소재 K대학의 항공관을 3차원으로 모델링한 결과이다. 최종 적용 시스템은 다양한 환경 데이터를 통합·연계하여 공간 관리를 직관적이고 즉각 대응 가능하도록 구현하였다. 가상의 3차원 공간에서 통합 관제 환경을 제공하며 공간을 보다 직관적으로 관리하고 각종 정보 및 이벤트 발생 시 즉각 대응할 수 있도록 설계하였다. 추후 3차원 지도 기반의 화재시 대피 경로 안내 기능 등을 추가할 예정이다. Fig. 8의 좌측은 건물 전체를 3차원 모델링의 결과이고 우측은 전체 층 중 지하1층을 구조를 상세 보기 한 예시를 보이고 있으며 설치된 각 센서의 위치와 상태를 확인할 수 있다. Fig. 9와 같이 화면의 우측 하단에는 전체 뷰를 조정하기 위한 단축 메뉴를 두어 확대 및 축소, 1인칭 시점 보기, 투명 및 2차원 전환 등의 기능을 추가하였다.



Fig. 8. Implemented digital twin system

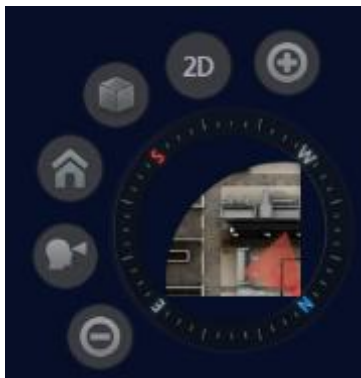


Fig. 9. Menu of View Operation

관리자 메뉴에서는 도면관리 기능, POI 관리 기능, 사용자 관리 기능을 구현하였다. 도면관리 기능은 관제를 위한 빌딩 공간의 도면을 관리할 수 있는 화면이다. 크게 도면 관리와 공간관리로 구성되며 Fig. 10의 도면관리는 하단과 같이 각 층의 3D 모델링 정보를 등록하고 관리할 수 있다.

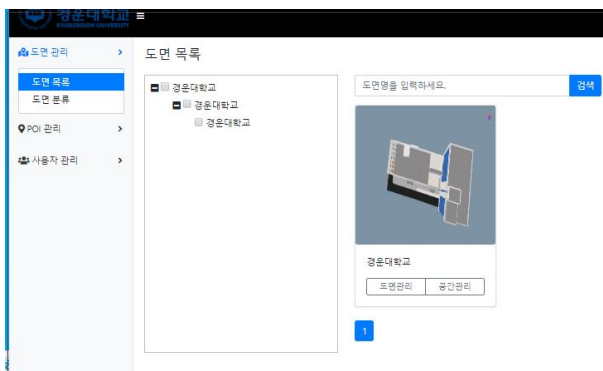


Fig. 10. Management Screen for Floor plan

공간관리에서는 Fig. 11과 같이 각 층의 POI 영역을 관리할 수 있다. POI를 등록, 수정, 삭제할 수 있으며 각 POI 별 설치된 센서와 장비 식별코드를 확인 및 관리할 수 있다.



Fig. 11. Management Screen for Space

POI(Point Of Interest) 기능에서는 센서가 위치한 관심 지점을 관리할 수 있으며 클릭 시 POI 메뉴 팝업을 통하여 제어한다. 또한 화재시 POI 색상이 빨간색으로 변경된다.

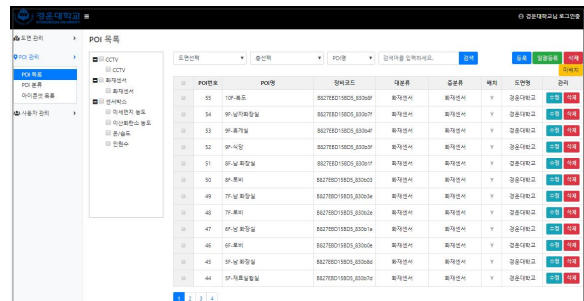


Fig. 12. Administrator's menu in the Viewer



Fig. 13. Status and change of POI sensor

POI 관리에서는 POI의 센서별 목록을 관리할 수 있으며 CCTV의 위치와 장치코드, 센서박스에 연결된 환경 센서를 확인 및 관리할 수 있다. 일반 센서 POI 메뉴는 센서 POI 선택 시 팝업메뉴로 표시된다. 센싱한 환경 데이터를 파악하고 변화 값 발생 시 마다 Fig. 14와 같이 업데이트된다.

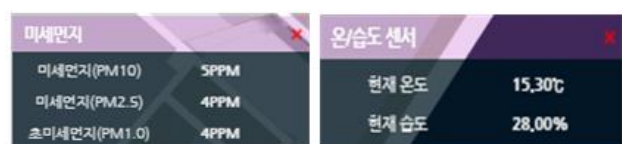


Fig. 14. Displaying the status of a sensor in real time

Fig. 15와 같이 화재 센서 POI 메뉴는 화재 센서 선택 시 표시되며 화재 감지 여부 및 센서의 상태를 파악한다. 화재 센서로 명령 전송이 가능하다.

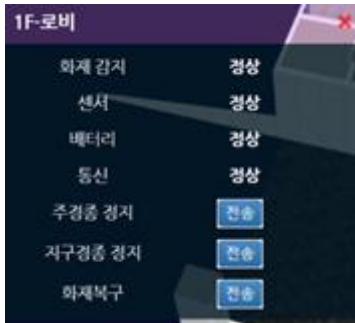


Fig. 15. POI Menu for Fire Sensors

마지막으로 Fig. 16은 각 센서별 경보 상황에 대한 알람 목록을 보이는 화면이다. 목록에는 센서의 종류와 이벤트, 발생시간을 표시하며 해당 센서의 상태를 확인 할 수 있는 POI 메뉴가 표시된다.



Fig. 16. Screen of Alarm Status

V. Conclusions

본 논문은 기존 유선 방식의 화재 감지 센서를 대신하여 무선 방식의 센서 박스를 통한 건물 관제 시스템을 제안하였다. 또한 2차원 도면을 이용하여 3차원 건물 모델링하여 디지털 트윈 시스템을 구현하였다. 효과적인 관제를 위하여 사용자 친화적인 인터페이스를 설계하였으며 다양한 센서의 확장이 가능하게 센서 박스를 설계하였다. 실제 대학 건물에 적용하여 실효성을 확인하였으며 연구의 결과는 디지털 트윈 관제 플랫폼 구현에 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 향후, 제한된 건물이 아닌 다중 건물의 관제 시스템 적용을 통하여 제안 시스템의 적용도를 높이고자 한다. 또한 근래의 코로나19 사태와 같이 바이러스로 인한 위험 요소가 증가할 것으로 예상되어 향후에는 센서 박스에 발열 감시 카메라

모듈을 추가하여 건물 내 고열 환자 확인과 고온 이동체를 검출할 수 있는 부가기능을 통해 즉각적인 경보에 의한 조기 검역 체계 시스템으로 확장시키고자 한다.

REFERENCES

- [1] Infoholic Research Report, "Global Digital Twin Market - Drivers, Opportunities, Restraints, Trends, and Forecasts to 2023," 2017.
- [2] Gartner, "Top 10 Strategic Technology Trend for 2018: Digital Twins," 2018.
- [3] Glaessgen, E., Stargel, D., "The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles," in: 53rd Structural Dynamics and Materials Conference, pp. 23-26, 2012. DOI: 10.2514/6.29012-1818
- [4] Chen, Y., "Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers," Engineering, pp. 588-595, 2017. DOI: 10.1016/J.ENG.2017.04.009
- [5] Liu, Z., Meyendorf, N., Mrad, N., "The role of data fusion in predictive maintenance using digital twin," in: 44th Annual Review Of Progress In Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 37, p. 020023(1-6), 2018. DOI: 10.1063/1.5031520
- [6] Zheng, Y., Yang, S., Cheng, H., "An application framework of digital twin and its case study," Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Vol. 10, pp. 1141-1153, 2018. DOI: 10.1007/s12652-018-0911-3
- [7] Vrabic, R., Erkoyuncu, J.A., Butala, P., Roy, R., "Digital twins: Understanding the added value of integrated models for through-life engineering services," Procedia Manufacturing Vol. 16, pp. 139-146, 2018. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.10.167
- [8] Madni, A., Madni, C., Lucero, S., "Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering," Systems, Vol. 7(7), pp. 1-13, 2019. DOI: 10.3390/systems7010007
- [9] Ki Hyung Lee, "A Study on ERM Standardization and Insurance Linkage Scheme to promote Corporate Risk Management," The Journal of Risk Management, Vol. 28, No. 3, pp. 43-79, 2017. DOI: 10.21480/tjrm.28.3.2017.09.002

Authors



Sang-Hoon Shin received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Naval Architecture and Ocean Engineering from Seoul National University, Korea, in 1990, 1993 and 2000. From 1999 to 2017, he had been a senior

researcher at Hyundai Heavy Industries. He is currently a Professor in the Department of Aero Mechanical Engineering, Kyungwoon University. He is interested in Design and Strength Evaluation of Structures, Optimization Technique and Optimal Shape Design.



Myeong-Chul Park received a B.S. degree in Computer Science from Korea National Open University in 1999, a M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from GyeongSang National University in 2002, 2007. He is

currently a Professor in the Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. He is interested in Visualization, Simulation, Education of Software, Virtual Reality, and Parallel Programming.