

A Study on the Improvement of Fire Alarm System in Special Buildings Using Beacons in Edge Computing Environment

Lee Tae Gyu[†] · Choi Kyeong Seo^{††} · Shin Youn Soon^{†††}

ABSTRACT

Today, with the development of technology and industry, fire accidents in special buildings are increasing as special buildings increase. However, despite the rapid development of information and communication technology, human casualties are steadily occurring due to the underdeveloped and ineffective indoor fire alarm system. In this study, we confirmed that the existing indoor fire alarm system using acoustic alarm could not deliver a sufficiently large alarm to the in-room personnel. To improve this, we designed and implemented a fire alarm system using edge computing and beacons. The proposed improved fire alarm system consists of terminal sensor nodes, edge nodes, a user application, and a server. The terminal sensor nodes collect indoor environment data and send it to the edge node, and the edge node monitors whether a fire occurs through the transmitted sensor value. In addition, the edge node continuously generate beacon signals to collect information of smart devices with user applications installed within the signal range, store them in a server database, and send application push-type fire alarms to all in-room personnel based on the collected user information. As a result of conducting a signal valid range measurement experiment in a university building with dense lecture rooms, it was confirmed that device information was normally collected within the beacon signal range of the edge node and a fire alarm was quickly sent to specific users. Through this, it was confirmed that the "blind spot problem of the alarm" was solved by flexibly collecting information of visitors that changes time to time and sending the alarm to a smart device very adjacent to the people. In addition, through the analysis of the experimental results, a plan to effectively apply the proposed fire alarm system according to the characteristics of the indoor space was proposed.

Keywords : IoT, Edge Computing, Beacon, Indoor Fire, Fire Alarm System

에지 컴퓨팅 환경에서 비콘을 활용한 특수건물 화재 경보 시스템 개선 방안 연구

이 태 규[†] · 최 경 서^{††} · 신 연 순^{†††}

요 약

오늘날 기술과 산업의 발전으로 특수건물이 늘어남에 따라 특수건물 내 화재 사고가 증가하고 있다. 그러나 정보통신기술의 빠른 발전에도 불구하고 낙후되고 실효성을 갖추지 못한 실내 화재 경보 시스템을 사용함으로써 인명 피해가 꾸준히 발생하고 있다. 본 연구에서는 음향경보를 이용하는 기존 실내 화재 경보 시스템이 건물 내 인원들에게 충분한 경보를 전달하지 못하는 '경보의 사각지대 문제'를 개선하고자 에지 컴퓨팅과 비콘을 활용한 화재 경보 시스템을 설계하고 구현하였다. 제안하는 개선된 화재 경보 시스템은 말단 센서 노드와 에지 노드, 사용자 애플리케이션, 서버로 구성된다. 말단 센서 노드는 실내 환경 데이터를 수집하여 에지 노드로 전송하고, 에지 노드는 전송받은 정보를 기반으로 화재 발생 여부를 모니터링 한다. 또한 에지 노드는 비콘 신호를 지속적으로 발생시켜 신호 범위 내의 사용자 애플리케이션이 설치된 스마트기기의 정보를 수집하여 서버 데이터베이스에 저장하고, 화재 발생 시 수집한 기기들의 정보를 바탕으로 모든 재실 인원에게 애플리케이션 푸시 형태로 화재 경보를 전송한다. 구현한 화재 경보 시스템의 적용 가능성을 검증하기 위해 강의실이 밀집한 대학교의 한 건물에서 신호 유효 범위 측정 실험을 진행한 결과, 에지 노드의 비콘 신호 범위 내에서 정상적으로 기기 정보를 수집하고, 수집한 정보를 바탕으로 특정 사용자들에게 신속하게 화재 경보를 전송함을 확인하였다. 이를 통해 수시로 변하는 출입자들의 정보를 유동적으로 수집하고, 이를 바탕으로 사용자와 매우 인접한 스마트기기로 경보를 전송함으로써 '경보의 사각지대 문제'를 해결하는데 적용할 수 있음을 확인하였다. 또한 실험 결과 분석을 통해 제안하는 화재 경보 시스템을 실내 공간의 특징에 따라 효과적으로 적용하는 방안을 제시하였다.

키워드 : 사물인터넷, 에지 컴퓨팅, 비콘, 실내 화재, 화재 경보 시스템

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업 (IITP-2022-2020-0-01789) (50%)과 글로벌핵심인재양성지원사업 (RS-2022-00155054) (50%)의 연구결과로 수행되었음.

※ 이 논문은 2021년 한국정보처리학회 ACK 2021의 우수논문으로 "에지 컴퓨팅과 비콘을 활용한 기존 실내 화재 알람 시스템 개선 방안 연구"의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.

† 준 회 원 : 동국대학교 컴퓨터공학과 학사과정

†† 비 회 원 : 동국대학교 컴퓨터공학과 학사과정

††† 정 회 원 : 동국대학교 컴퓨터공학과 조교수

Manuscript Received : December 24, 2021

First Revision : February 25, 2022

Accepted : March 21, 2022

* Corresponding Author : Shin Youn Soon(ysshin@dongguk.edu)

1. 서 론

최근까지도 꾸준히 발생하고 있는 특수건물 화재 사고는 대형 화재로 이어져 대규모의 피해를 발생시키고 있다. 특수건물이란, 「화재로 인한 재해보상과 보험가입에 관한 법률」 제2조 제3항 및 같은 법 시행령 제2조 제1항 각호에 따른 "여러 사람이 출입 또는 근무하거나 거주하는 건물로서 화재 발생 시 인명과 재산의 피해가 클 것으로 예상되어 화재 위험이나 건물 면적 등을 고려하여 법률로 규정하는 건물"을 말하며, 다중이

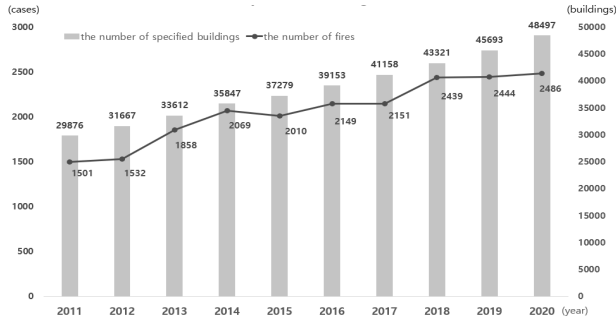


Fig. 1. Trends of the Number of Specified Buildings and Fires for 10 Years from 2011

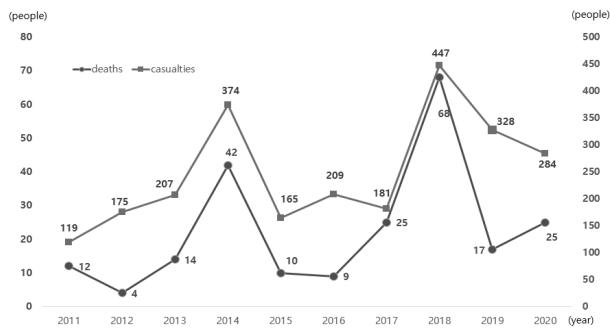


Fig. 2. Trends of Casualties and Deaths in Fires in Specified Buildings

용시설, 아파트, 공장 등이 있다[1]. 이처럼 특수건물의 특성상, 고층이거나 다수의 인원이 상주하는 경우가 많아 화재 발생 시 건물 내 인원이 화재를 신속하게 인지한 후 대피가 이루어지지 않는다면 대규모 인명 피해로 이어질 위험이 있다.

Fig. 1은 2011년부터 2020년까지 지난 10년간 특수건물 대상 및 화재 발생 건수에 대한 통계를 나타낸 도표[1]이다. 기술과 산업의 발전에 따라 건축물의 규모가 대형화되며 특수건물에 해당하는 건축물이 꾸준히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 특수건물이 증가함에 따라 자연스레 특수건물에서 발생하는 대형 화재 발생 건수가 함께 증가하고 있다.

Fig. 2는 2011년부터 2020년까지 지난 10년간 특수건물 화재로 인한 사상자 및 사망자 수 통계[1]이다. 2020년 기준 전년도 대비 사상자는 감소했지만, 사망자는 오히려 소폭 증가하는 등 10년간 특수건물 화재로 인한 인명 피해가 감소하지 않고 꾸준히 발생하고 있다.

이에 따라 화재로 인한 인명 피해를 줄이기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. [2]에서는 화재로 인한 공기 중의 연기 존재를 감지하고 화재 발생 시 실내에 설치된 카메라를 통해 영상을 포착하고 소방관에게 알림을 주는 실시간 모니터링 시스템을 제안하였다. [3]에서는 고층 건물에 사용되는 무선 센서 네트워크 기반의 자동 화재 경보 시스템을 제안하였다. 화재재해를 초기에 진압하기 위해 연기 농도 또는 온도를 주기적으로 측정하는 다수의 감지기를 설치하고 화재를 감시하고 보고하는 방법이 적용되었다. [4]는 화재 감지 및 경보를 위한 전용

무선 통신 프로토콜을 설계하고 무선 화재 경보 시스템을 이용하여 신속한 화재 감지 및 경보 방안을 제시하였다.

현재 국내 대부분의 다중 이용시설에서는 자동 화재탐지설비와 비상벨, 사이렌설비 등의 화재 경보설비를 통해 화재 발생을 통보하도록 되어 있다[5]. 본 연구에서는 특수건물 내부에서 발생하는 화재 사고에 대해 기존의 ‘음향경보를 이용하는 실내 화재 경보 시스템’의 단점을 분석하고 이를 보완할 수 있는 개선된 화재 경보 시스템을 제안 및 구현하고 그 적용 가능성을 실험을 통해 검증하였다.

2. 관련 연구

2.1 음향경보를 이용하는 화재 경보 시스템의 문제점

화재 발생 시 큰 소리를 통해 건물 내 인원에게 화재를 알리는 음향경보 방식의 경보 시스템은 우리 주변에서 가장 흔하게 접할 수 있는 화재 경보 시스템이다. 또한 음향경보 방식은 가장 적절한 경보 방식으로 평가된다. 호주에서 화재 발생 시간과 인명 피해의 유형을 분석한 결과, 화재의 81%가 야간에 발생하였고 이 중 86%의 피해자가 수면 중이었다고 밝히고 있다[6]. 수면 중인 사람을 깨우기 위한 청각, 시각, 후각 자극에 대한 민감도 실험 결과, 청각 자극인 음향 신호에 대해 83%~91%로 가장 많은 피험자가 반응하는 결과를 보였다[7]. 따라서 수면 중인 사람을 가장 효과적으로 깨울 수 있는 음향 화재경보장치는 가장 효과적이라고 평가되고 있다. 그러나 이는 경보음 레벨이 적절하다는 조건을 충족해야 한다. NFPA(National Fire Protection Association) 72에서 규정하고 있는 경보음 관련 규정[8]에 따르면, 수면 중인 사람이 있는 공간은 평균 배경소음보다 15dB(A) 더 높거나, 침대 머리 방향에서 75dB(A) 이상 레벨을 유지해야 한다고 규정한다. BS(British Standard) 5839-1[9]에서는 사람이 깨어있는 공간에서는 65dB(A), 수면 중인 공간에서는 마찬가지로 75dB(A) 이상의 경보음을 발생시켜야 한다고 규정한다. 국내 규정 ‘비상경보설비의 화재안전기준 (NFSC 201)’에서는 음원으로부터 1m 거리에서 90dB(A) 이상을 규정으로 하며, 미국과 영국의 규정과 달리 음향의 전달 거리와 장애물로 인한 감쇠 현상은 고려하지 않는다.

실제로 국내 공동주택 내에서의 경보음 전달 환경을 조사한 결과, 음향경보의 경보음 레벨이 위 규정을 대부분 만족하지 못하고 있다. 2012년 국내 연구[10]를 통해 국내 공동주택 화재경보음 전달실태를 측정된 결과, 주거공간 내 거실에서는 70dB(A), 침실에서는 대부분 45dB(A) 이하로 기준치를 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 2018년 진행된 국내 공동주택에서 진행된 연구[11]에서는 거실의 경우, 배경소음보다 15dB(A) 이상 큰 경보가 전달되었으나 방 및 안방에서는 일부 고주파 대역의 경보음만이 전달되어, 수면 중이거나 노인의 경우 화재를 인지하고 대피하는 것이 어려울 것이라 예측하였다. 그리고 이에 대한 대안으로 각 공간별로 80dB(A) ~ 85dB(A)의 경보음을 출력하는 스피커를 설치하는 것이 가장 적절하다고 제시하였다.

2.2 개선된 화재 경보 시스템을 위한 적용 기술

기존의 음향경보를 통한 화재 경보 시스템의 문제점을 개선하기 위하여 본 연구에서는 화재 경보를 기존 시스템이 사용하는 건물 외벽에 설치된 경보기에서 출력하는 것이 아닌, 사용자가 소지하고 있는 스마트폰 등의 스마트기기에서 출력하는 방식을 선택하였다. 또한 유동적으로 건물 출입자의 정보를 수집하여 화재 발생 시 모든 재실 인원에게 빠짐없이 경보를 전송하여 화재 발생을 인지시켜 화재 경보의 사각지대를 최소화할 수 있도록 설계하였다. 이를 구현하기 위해 아래와 같은 정보통신 기술을 활용하였다.

1) 에지 컴퓨팅(Edge Computing)

에지 컴퓨팅은 클라우드 컴퓨팅과 대조적인 컴퓨팅 방식으로, 클라우드나 중앙이 아닌, 네트워크 종단(edge)에서 컴퓨팅이 이루어지는 것을 의미한다. 에지 컴퓨팅은 중앙 서버에 의존하지 않고 IoT 기기 자체 또는 물리적으로 근거리에서 위치한 에지 서버를 주 매개로 하여 데이터 분석과 기기 동작이 이루어지는 방식이다. 이는 구름(cloud)보다 더 가까이 위치한 안개와 비슷하다 하여 포그(fog) 컴퓨팅 기술로도 불린다[12].

에지 컴퓨팅은 데이터를 중앙 서버가 아닌 종단에 각 IoT 디바이스가 컴퓨팅을 수행하므로 분산된 처리 성능을 제공한다. 이를 통해 전송 지연의 감소, 서버로의 데이터 전송을 줄여 비용 절감, 일정한 범위 내의 위치가 가변적인 사용자들에 대해 빠르게 대응하여 유동적으로 정보 제공 가능 등의 장점이 있다. 이러한 장점은 수시로 변하는 건물 출입자들의 정보를 파악해야 하며, 신속하게 화재를 감지하고 많은 인원에게 동시에 경보를 전송해야 하는 화재 상황에 활용하기에 적절하다. 현재도 에지 컴퓨팅을 활용한 스마트 시티를 위한 화재 경보 시스템 연구가 진행되고 있다[13]. 하지만 기존 시스템을 구성하는 디바이스를 IoT 기능이 지원 가능한 디바이스로 대체하여야 하기 때문에 상대적으로 높은 비용이 필요하다는 단점이 존재한다.

2) 비콘(Beacon)

비콘은 BLE(bluetooth low energy) 기술을 이용한 블루투스 4.0 기반의 근거리 무선 통신 장치이다. 비콘은 주기적으로 소량의 패킷(21bytes)을 페어링 없이 전송이 가능하기 때문에 상대적으로 기존의 블루투스 방식보다 저전력, 저비용이 소요된다는 장점이 있다. 비콘 신호의 최대 전송 거리는 50m이나, 안정적인 전송 거리는 약 20~30m이다[14]. 최근 블루투스 무선이어폰의 대중화로 스마트폰의 블루투스 기능을 활성화한 채로 사용하는 사용자가 점점 늘어나고 있어 더욱 활용하기에 적합하다고 판단하였다.

3) 파이어베이스(Firebase)

파이어베이스는 구글이 소유하고 있는 모바일 애플리케이션 개발 플랫폼이다. 애플리케이션 개발에 필요한 분석, 인증, 데이터베이스, 파일 저장, 푸시 메시지 등의 서비스를 제공하여 애플리케이션의 백엔드 역할을 한다. 파이어베이스에서 제공하는 리얼타임 데이터베이스 기능은 클라이언트의 데이터를 실시간으로 동기화하고 저장할 수 있도록 하며[15],

파이어베이스 클라우드 메시징 기능은 원하는 클라이언트에 게 메시지 및 알림을 전송할 수 있도록 한다. 매주 1조 개 이상의 메시지를 전달할 수 있는 인프라를 지원하며, 98%의 메시지가 500ms 내에 클라이언트로 전송된다[16].

3. 개선된 화재 경보 시스템 제안

3.1 화재 경보 시스템 개선을 위한 방안

본 논문에서 제안하는 화재 경보 시스템은 에지 노드, 사용자 애플리케이션, 말단 센서 노드, 서버로 구성된다.

화재 발생 시 건물 내 모든 인원에게 화재 경보를 전달하기 위해선 실시간으로 건물 출입자의 정보를 수집하고 최신화해야 한다. 따라서 본 논문에서 제안하는 시스템은 건물 최근 출입자들의 정보를 실시간으로 수집하고, 경보를 전송할 수 있도록 건물 내부 곳곳에 컴퓨팅, 통신, 비콘 신호 방송 기능을 갖춘 에지 노드를 설치하는 방식으로 설계하였다. 건물 내에 설치된 에지 노드들은 지정된 위치에서 비콘 신호를 발생시켜 주변 사용자의 정보를 수집하도록 한다. 수집 방식은 아래와 같다.

에지 노드에서 방송되는 비콘 신호는 신호 범위 내에 접근한 기기의 사용자 애플리케이션이 수신 및 식별하여, 해당 기기 토큰을 포함한 정보를 서버에 실시간으로 추가하도록 설계하였다.

실내의 각 구역의 화재 모니터링을 위하여 에지 노드를 여러 대 설치하기보다는, 효율성을 위해 상대적으로 구조가 단순하고 저렴한 센서를 부착한 말단 센서 노드들이 실내의 각 위치에서 환경 데이터를 수집하여 에지 노드로 전송하도록 설계하였다. 에지 노드는 여러 대의 말단 센서 노드로부터 수신한 센서 값을 통해 화재 발생 여부를 판단한다. 이때 통신 방식은 n개의 말단센서 노드가 신호 범위 내 1개의 에지 노드와 통신하는 1:n 통신 방식을 위해 무선 RF 방식을 사용한다.

마지막으로 서버는 실시간으로 경보 대상자인 출입자의 정보를 저장하며, 에지 노드에서 화재 발생 상황을 인지할 시, 건물 내 모든 재실 인원들에게 화재 경보를 애플리케이션 푸시 알림의 형태로 전송하여 화재 발생을 인지시키고 신속하게 대피할 수 있게 한다.

Fig. 3은 본 논문에서 제안하는 개선된 시스템의 각 구성 요소들과 시스템의 동작 과정을 보여준다. Fig. 3에서 파란색으로 표시된 과정은 화재 경보 전송을 위해 경보 대상의 정보를 수집하는 과정이다. 빨간색으로 표시된 과정은 화재 감지와 화재 발생 시 경보가 사용자에게 전송되는 과정이다. 그림 내의 각 구성 요소는 아래 3.2절에, 구성 요소 간의 상호작용을 통한 자세한 동작 과정은 아래 3.3절에서 설명한다.

3.2 개선된 화재 경보 시스템 구성

1) 에지 노드

에지 노드는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이, 라즈베리파이 보드에, RF 통신을 위한 모듈이 부착된 아두이노 보드가 USB 케이블로 연결되어있는 형태이다. Table 1은 사용된 라즈베리파이 보드와 아두이노 보드, RF 무선 통신 모듈의 구체적인

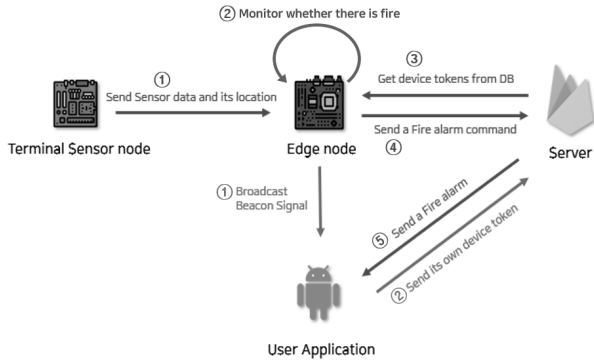


Fig. 3. Configuration and Operation Flow of the Proposed System

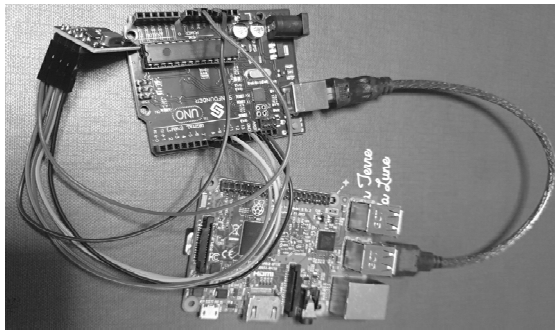


Fig. 4. Picture of the Edge Node

Table 1. Specifications of Raspberrypi 3 Model B

Raspberry Pi board	Raspberry Pi model B
Arduino board	Arduino Uno Rev3
RF module	nRF24L01 + 2.4GHz wireless transceiver module (SZH-RFBB-001)

모델명을 표시한 것이다. 라즈베리파이에서 비콘 기능을 구현하여 부팅 시부터 전원이 꺼질 때까지 지속적으로 비콘 신호를 브로드캐스팅한다. nRF24L01 모듈이 부착된 아두이노는 허브 아두이노로써 작동한다. n개의 말단 센서 노드들로부터 RF 통신으로 센서 데이터들을 수신한 뒤, 이를 시리얼 통신으로 라즈베리파이로 전송한다. 전송된 데이터를 통해 라즈베리파이에서 지속적으로 화재 발생 여부를 판단하고 화재가 발생하면 서버로 푸시 알림 메시지 발송 명령을 전송한다. 이때 전송된 데이터에는 어떤 센서에 의해 수집된 데이터인지에 대한 정보가 포함되어 있어, 화재 위치를 특정할 수 있도록 설계하였다. 즉, 현장에 설치된 ‘에지 노드’는 주변의 센서로부터 수집된 정보를 바탕으로 독립적으로 화재 발생 여부를 감시하며 화재 발생을 인지하면 서버에게 건물 내 인원에게 ‘화재 경보를 전송하도록 요청’하는 역할을 수행한다.

2) 말단 센서 노드

말단 센서 노드는 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 아두이노 우노 R3 보드에 RF 무선 통신을 위한 nRF24L01 모듈과 불꽃 감

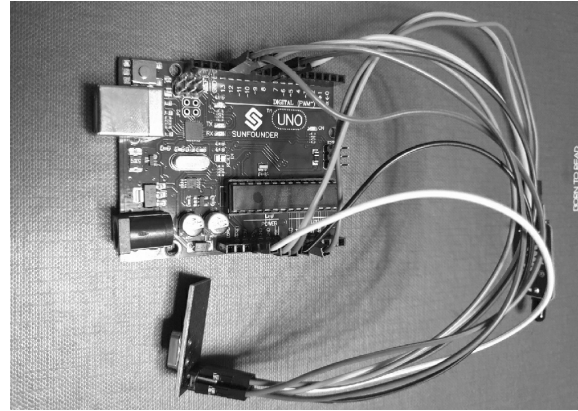


Fig. 5. Picture of the Terminal Sensor Node

Table 2. Development Environment of User Application

OS	Window 10
Language	Java
IDE	Android Studio
Required Specifications	Support Bluetooth 4.0 version or higher, Support Wifi

지 센서가 부착되어있는 형태이다. 불꽃 감지 센서를 통해 측정된 센서값은 자신의 센서 id와 함께, 사전에 지정된 포트 번호를 바탕으로 연결된 에지 노드의 허브 아두이노로 지속적으로 전송된다.

3) 사용자 애플리케이션

사용자 애플리케이션은 안드로이드 스튜디오를 통해 안드로이드 애플리케이션 형태로 구현되었다. Table 2는 애플리케이션 개발 환경 사양을 나타낸 것이다. 애플리케이션이 설치된 사용자 스마트기기에서 에지 노드에서 브로드캐스팅되는 비콘 신호를 수신하여 식별하고, 서버 데이터베이스에 기기 토큰을 추가한다.

4) 서버

파이어베이스에 사용자 애플리케이션을 등록하여 애플리케이션에서 서버와 연결되어 기기 토큰을 포함한 정보를 서버의 리얼타임 데이터베이스에 추가할 수 있다. 또한 파이어베이스 클라우드 메시징 서비스를 제공하므로 데이터베이스에 저장된 기기 토큰을 이용하여 다수의 사용자 스마트기기에 동시에 푸시 알림을 전송할 수 있다.

3.3 제안하는 화재 경보 시스템의 작동 프로세스

제안하는 시스템의 각 요소 간 상호작용과 작동 단계는 크게 출입자 정보 수집 과정과 화재 감지 및 경보 전송 과정으로 나뉜다. 출입자 정보 수집 과정은 Fig. 3의 파란색으로 표시된 과정이며, 화재 감지 및 경보 전송 과정은 빨간색으로 표시된 과정이다.

```

"message":{
  "title": "Fire alarm",
  "data":{
    "terminal_node_id": fire_location,
    "time": current_time
  }
}
    
```

Fig. 6. Format of the Fire Alarm Push Notification

- 1) 출입자 정보 수집 과정
 - ① 에지 노드는 일정한 위치에서 비콘 신호를 지속적으로 브로드캐스팅한다.
 - ② 사용자 애플리케이션이 설치된 기기가 블루투스 기능이 활성화된 상태로 에지 노드의 비콘 신호 범위 내에 진입하면, 사용자 애플리케이션에서 신호를 수신하여 해당 기기의 기기 토큰을 서버 데이터베이스에 추가한다.
- 2) 화재 감지 및 경보 전송 과정
 - ① n개의 말단 센서 노드는 일정한 위치에서 지속적으로 환경 데이터를 통신 범위 내 지정된 에지 노드로 전송한다.
 - ② 에지 노드는 일정한 위치에서 상시 말단 센서 노드들로부터 수신한 데이터를 통해 화재 발생 여부를 모니터링한다.
 - ③ 에지 노드가 센서값을 모니터링하던 중 화재 발생을 인지하면 서버 데이터베이스로부터 일정 시간 범위 내에 추가된 기기 토큰들을 조회한다.
 - ④ 에지 노드는 기기 토큰들을 바탕으로 해당 기기로의 화재 경보 전송 명령을 서버로 전송한다.
 - ⑤ 서버에서 화재 발생 여부, 발생 위치, 발생 시각을 담은 애플리케이션 푸시 알림 형태의 경보를 대상 기기들로 전송한다. Fig. 6은 애플리케이션 화재 경보 푸시 알림의 형태이다.

3.4 제안하는 시스템의 성능 평가

1) 실험 환경

실험은 다음과 같이 두 가지로 나누어 진행하였다. 첫 번째는 ‘말단 센서 노드 - 에지 노드’ 간 RF 통신 범위, 두 번째 실험은 ‘에지 노드 - 사용자(스마트폰)’ 간 비콘 통신 범위로, 각각에 있어 통신 유효 거리와, 통신에 장애물이 미치는 영향을 알아보았다. 말단 센서 노드의 RF 통신 신호 세기는 최대로 설정하였으며, 비콘의 txpower는 0xC8로 설정하여 진행하였다.

두 가지 실험의 경우 모두 측정하고자 하는 요건을 제외한 요건은 실험 결과에 영향을 미치지 않도록 매우 근접한 거리를 유지한 채로 실험을 진행하였다. 즉, 말단 센서 노드와 에지 노드 간의 RF 통신 범위 측정을 위한 첫 번째 실험에서는 에지 노드와 스마트폰을 함께 가지고 다니며 실험을 진행하였고, ‘에지 노드 - 스마트폰’ 간 비콘 통신 범위 측정을 위한 두 번째 실험에서는 에지 노드와 말단 센서 노드를 함께 가지고 다니며 실험을 진행하였다. 첫 번째 실험은 말단 센서 노

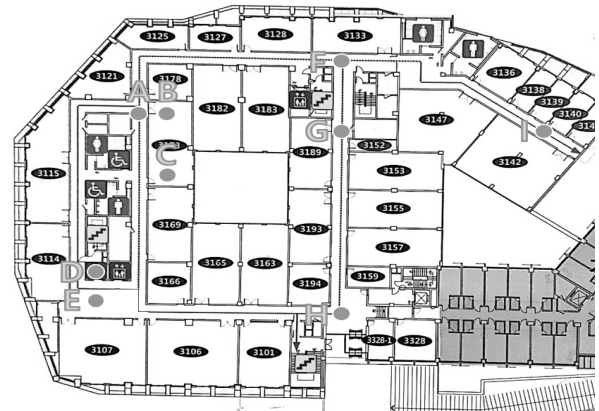


Fig. 7. The Floor Plan of the Experimental Building and Each Experimental Point

드가 불꽃을 감지한 후 애플리케이션 푸시 알림 수신 여부를 확인하였으며, 두 번째는 사용자가 스마트폰 애플리케이션을 실행한 뒤 서버 데이터베이스에 해당 기기 토큰이 추가되는 지를 확인하였다.

실험 장소는 특수건물로 분류될 수 있는 대학교의 강의실이 있는 한 건물로 선정하였다. Fig. 7는 실험을 진행한 건물의 평면도이다. 건물 3층의 9개의 지점을 선정, 건물 내 수평 위치에서 실험하였다. 각 지점은 장애물(벽) 여부에 따라 거리별 측정 결과를 알 수 있도록 선정하였다. 그림의 D 지점은 엘리베이터 내부로, 특수한 장애물에 대한 실험을 진행하기 위해 선정하였으며, 그 외에는 모두 콘크리트 구조물이다. E 지점에서는 수직 범위를 측정하기 위해 수직으로 위로 층을 이동하여 실험하였다.

2) 실험 결과

Table 3은 실험 결과를 정리한 표이다. a, b 열은 각각의 측정에서 선정한 두 지점을 의미한다. 각 지점의 위치는 Fig. 5에서 확인할 수 있다. distance 열은 지점 간의 수평 혹은 수직 직선거리, obstacle 열은 지점 사이의 장애물의 유무를 나타낸다. horizontal 행은 동일층에서 수평 거리를 변화시키며 진행한 측정 결과이며, vertical 행은 E 지점에서 층을 이동하며 수직 거리를 변화시키며 진행한 측정 결과이다.

첫 번째 실험인 ‘말단 센서 노드 - 에지 노드’ 간 RF 통신 범위 측정 실험은 노란색으로 강조된 열에서 확인할 수 있다. 수평 거리(horizontal로 묶인 행)에 해당하는 부분 중 말단 센서 노드와 에지 노드 사이에 장애물이 없는 B-C, H-F의 경우, 거리가 40m 이상 멀어져도 정상적으로 알림을 수신할 수 있었다. 또한 센서가 화재를 감지한 후 1~2초 이내에 사용자가 성공적으로 알림을 수신하였다. 그러나 장애물이 있는 그 외의 경우, 3~4m 내에 있을 때는 정상적으로 알림을 수신했으나, 더 멀어진 경우엔 수신이 되지 않는 결과를 보였다. 추가로 장애물이 엘리베이터인 E-D 지점에서 3~4m보다 더 가까운 거리에서도 수신이 되지 않았다.

Table 3. The Results of the Experiment

	a	b	distance	obstacle	a : TN b : EN	a : EN b : UA
horizontal	B	C	14m	X	O	O
	B	A	3m	O	O	O
	E	D	3m	O	X	O
	D	B	29m	O	X	O
	H	F	43m	X	O	O
	G	B	20m	O	X	O
	I	G	40m	O	X	X
vertical	3F	4F	4m	O	O	O
	3F	5F	8m	O	X	X
	3F	6F	12m	O	X	X

※ TN: terminal sensor node, EN: edge node,
UA: user application

두 번째 실험인 ‘에지 노드 - 사용자(스마트폰)’ 간 비콘 통신 범위 측정 실험은 파란색으로 강조된 열을 통해 확인할 수 있다. 수평 거리(horizontal로 묶인 행)에 해당하는 부분 중 에지 노드와 사용자 사이에 장애물이 없는 B-C, H-F의 경우, 첫 번째 실험과 동일하게 40m 이상 떨어져도 정상적으로 통신이 이루어져, 서버에 사용자 기기 토큰이 추가되는 것을 확인하였다. 두 번째 실험에서는 장애물이 있는 경우에도 최대 유효 거리가 첫 번째 실험보다 더 큰 것을 확인하였다. 장애물이 있는 D-B 지점 사이의 29m 거리에서와 G-B 지점 사이의 20m 거리에서 첫 번째 실험에서와 달리 통신이 성공적으로 이루어졌다. 또한 장애물이 엘리베이터인 E-D 지점 사이의 실험에서도 성공적으로 통신함을 확인하였다.

두 실험에서 모두 수직 거리에서는(vertical로 묶인 행) 동일한 지점에서 수직으로 2층 높이 이상 멀어지면 통신이 불가능한 것을 확인하였다. 또한 1층 높이에서는 수직 지점에서 수평으로 조금만 벗어나도 유효 범위를 벗어나 통신이 불가능한 것을 확인하였다.

3) 제안하는 화재 경보 시스템 평가

실험을 통하여, 제안하는 개선된 시스템을 적용한 특수건물 내에서 사용자 애플리케이션이 설치된 스마트기기를 지닌 사용자가 에지 노드의 신호 범위 내에 접근했을 때 즉시 해당 기기의 기기 토큰을 수집하여 서버의 데이터베이스에 성공적으로 추가하는 것을 확인하였다. 또한 말단 센서 노드에 불꽃을 인식시킨 직후, 서버 데이터베이스에 추가된 기기 토큰을 통해 해당 스마트기기로 약 1~2초 내에 애플리케이션 푸시 알림 형태로 화재 경보를 전송하는 것을 확인하였다.

이 점을 미루어 보아, 시스템 설계 단계에서 의도한 대로 유동적으로 출입자의 정보를 수집하고, 이를 이용해 재실 인원과 매우 인접한 스마트기기로 화재 경보를 전송함으로써 기존 음향경보 시스템이 가지고 있던 ‘경보의 사각지대 문제’ 개선에 적용할 수 있음을 확인하였다.

또한 2016년 국내에서 연구가 진행되었던 유사한 목적의 시스템[17]과 비교하였을 때, 유사한 시스템에서는 화재 감지 시점으로부터 사용자에게 화재 경보가 도착하기까지 2~3초가 소요되었고, 본 연구에서 제안하는 시스템이 화재 경보까지 1~2초로 보다 짧은 시간이 소요되는 것을 확인할 수 있다. 비교하고자 하는 유사한 시스템이 본 논문에서 제안하는 개선된 시스템과 달리, 화재 감지의 정확성까지 종합적으로 만족시키기 위해 화재 발생을 판단하기까지의 더 많은 시간이 소요된다는 차이는 존재하지만, 본 연구에서 증점적으로 다루는 ‘화재 감지 이후의 정확하고 신속한 화재 경보 전달’ 측면에서는 더 나은 성능을 보인다고 할 수 있다. 또한 화재 경보 전송을 위한 출입자 정보 수집 과정의 경우, 비교하고자 하는 유사한 시스템은 직접 기기 정보를 입력하여 등록한 사용자에게 한해 화재 경보가 전송되는 것에 비해, 본 연구에서 제안하는 개선된 시스템은 에지 노드의 비콘 신호와 사용자 애플리케이션을 통해 상황에 따라 자동적으로 유연하게 경보 대상의 정보를 수집, 업데이트할 수 있기 때문에 사용자 편의성과 대상자 특성의 유연성 측면에서 더 나은 성능을 보인다고 할 수 있다.

4) 실험 결과 분석 및 적용 방안

a) 일반 콘크리트 장애물

실험을 통해 말단 ‘말단 센서 노드 - 에지 노드’ 간 통신 유효거리가 장애물로 인해 매우 짧아지는 문제점을 확인하였다. 벽과 같은 장애물이 없는 탁 트인 실내 공간에서는, 하나의 에지 노드에 최대한 많은 말단 센서 노드들이 무선 RF 통신으로 연결될 수 있기 때문에, 본 논문의 개선된 시스템이 가장 효과적으로 작동할 수 있을 것이라 기대된다. 그러나 벽으로 구분된 구역이 많은 실내 공간에서는 최악의 경우 ‘에지 노드-말단센서’ 같은 공간 내에 설치되어 서로 1대1로 연결되어야 하는 비효율적인 상황이 발생할 수 있기 때문에, 효율적인 구조를 위해 고안하였던 에지 노드와 말단 센서 노드의 기능 구분과 1:n 통신 구조가 무의미해진다. 이에 대한 대안으로, 에지 노드와 말단 센서 노드들 간의 연결 방식을 무선 RF 통신이 아닌, 유선 통신으로 대체하는 방법이 있다. 구분된 구역이 많은 건물일수록 각 구역들 간의 거리가 짧아 말단 센서 노드들이 가까운 범위에 밀집되어 설치된다. 이러한 공간에서는, 상대적으로 탁 트인 복도형 공간 등에 에지 노드를 설치한 후, 주변 일정 반경 내의 다수의 말단센서 노드들을 에지 노드와 유선으로 연결하여 시리얼 통신을 통해 센서값을 보낸다면, 각 에지 노드의 활용도를 높일 수 있다.

b) 엘리베이터 장애물

D-E 지점 간의 실험에서 나타난 결과처럼, 엘리베이터 같은 신호가 차단되는 특수한 재질의 장애물이 존재할 경우, 통신이 거의 완전히 차단되는 문제점이 있다. 만일 엘리베이터 내부에서 화재가 발생할 경우, 화재가 엘리베이터 외부로 확산되어 통신이 가능한 장소에 설치된 말단 센서 노드에 의해

감지되어서야 화재 발생을 확인할 수 있어, 화재 인지가 너무 늦어지는 문제가 발생 가능하다. 위와 같이 엘리베이터에서 화재가 발생하는 상황을 가정했을 때, 엘리베이터는 지속적으로 층과 층 사이를 수직으로 이동하기 때문에 '에지 노드 - 말단 센서 노드'를 유선으로 연결하는 대안이 적합하지 않다. 따라서 이를 위해서는 엘리베이터 외벽에 의해 통신의 장애를 받지 않는 무선 통신 방식을 사용하거나, 엘리베이터 내부에 각각 말단 센서 노드 1개와 에지 노드 1개를 설치, 또는 에지 노드 연결된 허브 아두이노에 화재 감지 기능을 추가한, 엘리베이터 설치용 특수 에지 노드를 설치하는 방식으로 해결이 가능하다.

c) 공통적인 1층 이내의 수직 통신 거리

말단 센서 노드 - 에지 노드 간 실험, 에지 노드 - 사용자 간 실험 두 가지 모두 공통적으로 1층 이상의 거리에서 통신이 원활하게 이루어지지 못하는 것을 확인하였다. 이것을 통해, 개선된 시스템을 실내 공간에 적용하기 위해서는 건물의 각 층 단위로 동일한 층 내에서의 출입자 정보 수집과 화재 감지 및 경보 전송을 수행하는 것을 목표로 하여 말단 센서 노드들과 에지 노드를 설치해야 한다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 다중 인원이 이용하는 특수건물 내부에서 화재가 발생하였을 때 건물에 재실 중인 인원 정보를 기반으로 신속히 화재 상황을 알릴 수 있는 화재 경보 시스템 개선 방안을 제시하고 구현하였다. 에지 컴퓨팅 환경에서 비콘과 스마트폰 애플리케이션을 활용하여 건물 내 재실 인원을 파악하고 푸시 알림을 통해 화재 경보 메시지를 전송하는 방법을 적용하였고 다양한 실험을 통해 통신에 영향을 주는 요인을 분석하였다. 다만, 시간과 자원의 한계로 설계 및 구현에 있어서 최적의 통신 방식에 대한 고려, 최적 성능의 하드웨어 모듈, 최선의 기능 구현 완성도를 만족하지 못했다는 한계를 가진다. 이에 향후 연구로 실험에 있어서 실제 상황에서 발생 가능한 급격한 트래픽의 증가, 다양한 실내 구조 및 장애물 등 본 논문에서 제안하는 방안을 일반화하기 위한 다양한 변수를 고려한 확장된 연구를 진행하고자 한다. 또한 경보의 전달 형태를 다르게 한 것에서 그치지 않고, 최근 발전하고 있는 컴퓨터 비전 기술과 다양한 IoT 센서를 말단 센서 노드에 적용함으로써 정확한 화재 감지를 가능하게 하는 방안을 위한 연구를 진행하고자 한다.

출입자의 정보를 수집 및 저장하는 부분에 있어서, 수집한 출입자의 정보를 얼마나 오래 보관하고 있다가 갱신 혹은 삭제할지에 대한 고찰을 진행할 예정이다. 출입자 정보에 대해 최적의 유지 및 갱신 시간을 적용할 수 없다면, 이미 상당한 시간 전에 해당 건물을 떠나 화재와 상관없는 이전 출입자에게 불필요한 화재 경보를 전송하여 정보에 대한 신뢰와 경각

심의 저하가 발생할 수 있으므로, 이에 대한 보완이 반드시 필요하다.

검증 실험을 통해 확인한 결과, 본 논문에서 제안하는 개선된 화재 경보 시스템은 성공적으로 건물 출입자의 정보를 수집하여 서버에 저장하였으며, 에지 노드에서 화재 발생 판단 시 서버 데이터베이스의 출입자 기기 정보를 통해 건물의 재실 인원에게 약 1~2초 내로 신속하게 화재 경보를 전송하였다. 이를 통해 앞서 제시했던 기존 음향경보를 통한 화재 경보 시스템의 문제점인 '경보의 사각지대 문제'를 해결하여, 결과적으로 기존 시스템보다 건물 내 재실 인원에게 정확하게 화재 발생을 인지시키고 신속한 대피를 유도할 수 있다는 점에서 의의를 가진다.

통신 성능에 있어서 장애물의 영향을 상대적으로 덜 받는 고성능의 무선 통신 방식을 사용하는 등 통신 장애 문제를 해결하거나, 기존 시스템과 상호보완적으로 적용하여 더 발전된 성능의 시스템으로 작동할 수 있을 것이다.

또한 비콘이 실내 측위 기술로 활용된다는 점을 미루어 보았을 때, 비콘을 이용한 실내 측위 기술, 또는 지자기장을 이용한 정밀한 실내 측위 기술[18]을 본 논문에서 제안하는 시스템과 함께 적용한다면, 컴퓨터 비전을 이용한 화재의 감지부터, 제안된 시스템을 통한 효과적인 화재 경보, 실내 측위 기술을 통한 효과적인 대피 경로 안내까지 일련의 대처 과정을 기술적으로 지원함으로써, 실내 화재로 인한 인명 피해를 크게 줄일 수 있는 하나의 완전한 특수건물 화재 대피 시스템으로써 작동할 수 있을 것이라 기대되는 바이다[19].

References

- [1] Korean Fire Protection Association, Analysis of the result of the 2020 specified buildings fire statistics safety inspection, Korean Fire Protection Association [Internet], <https://www.kfpa.or.kr/?menucode=20500&tmenu=material&idx=59866fefa26985b5fee7be81e31ca6f0&mode=view>.
- [2] M. S. Bin Bahrudin, R. A. Kassim, and N. Buniyamin, "Development of fire alarm system using raspberry pi and arduino uno," *2013 International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering (ICEESE)*, pp.43-48, 2013.
- [3] Z. Lei and W. Gaofeng, "Design and implementation of automatic fire alarm system based on wireless sensor networks," *The 2009 International Symposium on Information Processing (ISIP 2009)*, pp.410-413, 2009.
- [4] W. Dong, L. Wang, G. Yu, and Z. Mei, "Design of wireless automatic fire alarm system," *Procedia Engineering*, Vol.135, pp.413-417, 2016
- [5] Ministry of Government Legislation, Enforcement Decree of the Fire Protection Act, Korean law information center, [Internet], <https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?lsiSeq=53033#0000>.

[6] D. Bruck, S. Reid, J. Kouzma, and M. Ball, "The effectiveness of different alarms in waking sleeping children," In *Proceedings of the 3rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, Interscience Communications*, Sept 2004, Belfast, Northern Ireland, London, pp.279-290, 2004.

[7] D. Bruck and P. Brennan, "Recognition of fire cues during sleep," *Proceeding of the 2nd International Symposium on Human Behavior in Fire*, London, Interscience Communications, pp.241-252, 2001.

[8] NFPA 72, National Fire Alarm Code. Quincy, MA, USA, National Fire Protection Association, 2002.

[9] BS 5839 : Part 1 2002 : Fire Detection and Fire Alarm System for Buildings. London, UK, British Standard Institution, 2002.

[10] M. J. Lee, "An improved design for audibility of fire alarm sound in residential buildings" Ph.D. dissertation, University of Seoul Architecture, 2012.

[11] J. H. Jeong, "Fire alarm sound transmission in apartment units," *Fire Science and Engineering*, Vol.32, No.3, pp.67-75, 2018.

[12] S. S. Shin, D. H. Hong, J. Y. Ahn, and S. M. Kim, "Edge computing market trends and application scenarios," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.34, Iss.2, pp.51-59, 2019.

[13] A. Mahgoub, N. Tarrad, R. Elsherif, L. Ismail, and A. Al-Ali, "Fire alarm system for smart cities using edge computing," *2020 IEEE International Conference on Informatics, IoT, and Enabling Technologies (ICIoT)*, pp.597-602, 2020.

[14] S. I. Kim, S. H. Ji, and J. W. Lee, "A study on the vulnerability of Low Power Bluetooth (BLE) beacon security," *Review of KIISC*, Vol.26, Iss.3, pp.50-57, 2016.

[15] Moroney L The Firebase Realtime Database. In: *The Definitive Guide to Firebase*. CA: Apress, pp.51-71, 2017.

[16] Moroney L. Firebase Cloud Messaging. In: *The Definitive Guide to Firebase*. CA: Apress, pp.163-188, 2017.

[17] B. C. Chung and W. S. Na, "A study on the smart fire detection system using the wireless communication," *Journal of Convergence Society for Information Technology*, Vol.6, Iss.3, pp.37-41, 2016.

[18] L. Choi, "Deep learning-based indoor geo-magnetic field ultra-precision indoor positioning technology," *Information and Communications Magazine*, Vol.37, Iss.12, pp.51-58, 2020.

[19] T. G. Lee, K. S. Choi, and Y. S. Shin, "A study on the improvement of existing indoor fire notification system using edge computing and beacon," *Proceedings of the Annual Conference of Korea Information Processing Society Conference (KIPS) 2021*, Vol.28, pp.185-188, 2021.



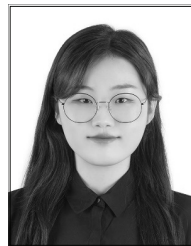
이 태 규

<https://orcid.org/0000-0003-1616-2875>

e-mail : 2019112073@dgu.ac.kr

2019년~현 재 동국대학교 컴퓨터공학과
학사과정

관심분야 : Web Back-end, Embedded
System, IoT



최 경 서

<https://orcid.org/0000-0001-8174-9467>

e-mail : rudtj9099@dgu.ac.kr

2019년~현 재 동국대학교 컴퓨터공학과
학사과정

관심분야 : Back-end, IoT, Machine
Learning



신 연 순

<https://orcid.org/0000-0001-8589-9403>

e-mail : ysshin@dongguk.edu

1999년 동국대학교 전산통계학과(학사)

2002년 동국대학교 정보통신공학과(석사)

2011년 동국대학교 정보통신공학과(박사)

2019년~현 재 동국대학교 컴퓨터공학과
조교수

관심분야 : Wireless Sensor Networks, Embedded System,
Deep Learning, IoT