

Research Paper

화재정보 확인과 대피자 위치추적을 위한 서버 독립형 시스템 개발

Development of a Server-independent System to Identify and Communicate Fire Information and Location Tracking of Evacuees

이치주¹ · 이태관^{2*}

Lee, Chijoo¹ · Lee, Taekwan^{2*}

¹Associate Research Fellow, Construction Economy & Industry Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements, Sejong-si, 30147, Korea

²Engineer, Housing Works Business Team, Building Works Division, Hyundai Engineering & Construction Corporation, Seoul, 03058, Korea

*Corresponding author

Lee, Taekwan

Tel : 82-2-134-7621

E-mail : tdk8481@gmail.com

Received : October 24, 2021

Revised : November 17, 2021

Accepted : December 1, 2021

ABSTRACT

If a fire breaks out in a building, occupants can evacuate more rapidly if they are able to identify the location of the fire, the exits, and themselves. This study derives the requirements of system development, such as distance non-limitation, a non-additional device, a non-centralized server system, and low power for an emergency, to identify information about the fire and the location of evacuees. The objective is to receive and transmit information and reduce the time and effort of the database for location tracking. Accordingly, this study develops a server-independent system that collects information related to a building fire and an evacuee's location and provides information to the evacuee on their mobile device. The system is composed of a transmitting unit to disseminate fire location information and a mobile device application to determine the locations of the fire and the evacuee. The developed system can contribute to reducing the damage to humans because evacuees can identify the location of the fire, exits, and themselves regardless of the impaired server system by fire, the interruption of power source, and the evacuee's location. Furthermore, this study proposes a theoretical basis for reducing the effort required for database construction of the k-nearest neighbor fingerprint.

Keywords : server-independent system, fire information management, indoor location tracking, service set identifier, k- nearest neighbor fingerprint algorithm

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

2020년의 화재 발생 건수는 2015년 대비 약 13% 감소하였지만, 사망자 수는 약 44.3%, 부상자 수는 약 4.4% 증가하였다 [1]. 즉, 인명사고로 연계되는 화재가 증가하고 있다. 복합 쇼핑몰과 같은 불특정 다수가 사용하는 대규모 건축물에서 화재가 발생하면, 대피자는 자신의 위치와 화재의 위치, 출구의 위치를 확인하기 어려우므로, 그 인명피해는 더욱 증가할 수 있다. 건축물에서 발생한 화재 피해를 감소시키기 위해서 bluetooth와 radio frequency identification(RFID), near field communication(NFC), wireless fidelity(WiFi)와 같은 모바일 기기에 포함된 무선통신기술을 사용하고 있으며, 이를 통해



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

대피자에게 화재 위치와 규모, 대피경로 등의 화재정보를 전송할 수 있다[2,3]. Bluetooth는 모바일 기기 간의 연결을 통해서 정보를 교환하는 근거리 무선기술이므로, 화재 대피와 같은 신속한 정보 전송에는 적합하지 않다. 대피자가 RFID 혹은 NFC를 사용하여 화재정보를 수신하기 위해서는 RFID 리더기 혹은 RFID 모듈이 포함된 모바일 기기를 가지고 있어야 한다 [4]. 또한, 대피자는 그 기기를 RFID 태그에 가까이 가져가야지 화재정보를 수신할 수 있다[5,6]. 즉, RFID를 사용하여 화재 정보를 수신하기 위해서는 거리가 제한되는 한계가 있다. WiFi는 RFID에 비해 무선통신을 위한 거리가 제한적이지 않지만 [7,8], WiFi를 사용하여 화재정보를 전송하기 위해서는 중앙 서버가 필요하다. 수집된 화재정보는 중앙 서버를 통해서 대피자의 모바일 기기로 전송할 수 있기 때문이다. 하지만, 중앙 서버가 화재에 손상되거나 전력이 차단된다면, 화재정보를 대피자에게 신속하게 전달할 수 없다[4]. WiFi를 사용하는 실내위치추적 시스템은 WiFi 신호강도를 미리 데이터베이스로 구축해야 하며, 이를 위해서 소요되는 시간과 노력이 큰 단점이 있다[9]. 본 연구에서는 이와 같은 기존의 한계를 보완하기 위하여, 아래 요구사항을 만족시키는 화재정보 송·수신 시스템과 대피자 위치추적 시스템을 개발하고자 한다.

- 대피자에게 화재정보를 전송할 때, 거리 제한이 없는가?
- 대피자는 RFID 리더기 혹은 추가적인 장비를 사용하지 않고 화재정보를 수신할 수 있는가?
- 개발된 시스템은 화재정보를 중앙서버 없이 저전력으로 대피자에게 전송할 수 있는가?
- 위치추적의 정확도를 감소시키지 않으면서, 데이터베이스 구축을 위한 시간과 노력을 감소시킬 수 있는가?

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구의 주요 내용은 크게 세단계로 분류할 수 있다. 첫째, 본 연구에서 개발하고자 하는 서버 독립형 시스템의 필요성을 선행연구를 기반으로 설명한다. 둘째, 개발된 시스템의 특징을 앞서 설명한 네 가지 요구사항을 기반으로 설명한다. 본 연구에서 화재정보를 송신하기 위해서 zigbee와 WiFi를 사용하였으며, 대피자의 위치를 추적하기 위해서 fingerprint 알고리즘을 적용한다. zigbee는 일반적으로 유효거리가 10-20m인 무선 근거리 통신망(WLAN, wireless lan)이며[10], 개발된 장치들 간의 화재정보교환을 위해서 사용된다. WiFi는 개발된 장치들 간에 공유된 화재정보를 대피자의 모바일 기기로 전송하고, 대피자의 위치를 추적하기 위해서 사용된다. Fingerprint 알고리즘은 WiFi의 무선 신호 세기(RSS, received signal strength)를 기반으로 대피자의 위치를 추적하기 위해서 사용된다. Fingerprint 알고리즘을 적용하기 위해서는 실내 공간을 작은 셀 단위로 구획하여야 하는데, 셀의 크기가 너무 작으면 위치추적을 위한 장치 구축 비용과 데이터 수집 비용은 증가하고 위치추적 정확도는 오히려 감소할 수도 있다[11]. 셋째, 개발된 시스템이 목표로 하는 요구사항을 충족시키는 지 여부를 실험을 통하여 설명한다.

2. 선행연구의 고찰

선행연구들에서 화재정보를 송·수신하고, 화재와 대피자 위치를 추적하는 방법을 제안하였다(Table 1). 먼저, 건물 내에 설치된 시설들을 사용하여 대피자에게 대피경로를 알려주는 선행연구가 있었다[12,13]. Filippoupolitis et al.[12]는 건물에 설치된 센서로부터 화재정보를 수집하고 대피경로를 대피자의 모바일 기기로 전송하는 시스템을 개발했다. Chu and Wu[13]는 건물에 설치된 RFID 태그와 모바일 기기의 NFC 기능을 사용하여 화재정보와 대피경로를 전송할 수 있는 시스템을 개발하였다. 선행연구에서 개발한 시스템은 화재정보를 신속하게 전송할 수는 있지만, 추가 장비가 필요하고 사용할 수 있는 거리가 제한적이었다. 대피자가 모바일 기기를 사용하는 경우에는 추가 장비가 필요하지 않았지만, NFC를 사용하기 위해서는 대피자가 RFID 태그에 약 10m 내외의 거리로 이동해야 하기 때문이다.

추가 장비와 거리 제한의 한계점을 보완하기 위해, 모바일 기기의 WiFi 모듈을 이용하는 시스템을 개발한 선행연구가 있

었다[14,15]. 개발된 시스템은 대피자가 RFID 태그가 설치된 위치로 이동하지 않아도 화재정보를 수신할 수 있는 장점이 있다. 이 시스템은 중앙서버에서 화재정보를 수집한 후에 대피자의 모바일 기기로 화재정보를 전송하는 절차를 가진다. 따라서, 화재로 인해 중앙 서버가 손상된다면 화재정보가 손실되거나 전송이 지연될 수 있으며, 이는 대피자의 안전을 위협할 수 있다.

WiFi 신호를 기반으로 한 fingerprint 알고리즘을 사용하여 대피자의 위치를 추적한 선행연구도 있었다[9,16-19]. Fingerprint은 건물의 각 위치(RP, reference point, 이하 ‘참조지점’)에서 무선 신호의 강도를 데이터베이스로 구축한 후(오프라인 단계), 그 데이터베이스의 신호 강도와 대피자의 모바일 기기에서 수신하는 무선 신호의 강도를 비교하여 대피자의 위치를 추적(오프라인 단계)하는 방법이다. 오프라인 단계에서 구축한 데이터베이스를 라디오 맵(radio map)이라고 하며, 각 참조지점에서의 무선 신호 세기를 모두 측정해야 해서 노력과 시간이 크게 소요된다[9]. 참조지점의 설치 간격이 줄어들수록 데이터베이스 구축에 소요되는 시간과 비용은 크게 증가하며[11], 이러한 증가는 fingerprint 기반의 화재정보 송·수신 및 대피시스템 구축을 방해하므로, 대피자의 안전도 위협한다. 이를 보완하기 위하여 무선 신호가 반사, 회절, 투과되는 현상을 가상으로 계산하여 데이터베이스를 구축하는 방법을 제안한 선행연구가 있었다[16,17]. 하지만, 건물 내에서 발생할 수 있는 변수들을 모두 반영하기 어려워서 실제 측정된 데이터베이스보다 정확도가 낮다. 사람이 건물을 사용하는 과정에서 자동으로 무선 신호 세기를 측정하는 방법을 제안한 선행연구도 있었지만[18], 사람의 이동 경로와 범위에 따라서 데이터베이스의 구축 시간이 많이 소요되는 한계가 있었다. 참조지점의 수를 줄이고, 그 참조지점 사이의 무선 신호 세기를 가상으로 측정하는 방법을 제안한 선행연구도 있었다[19]. 데이터베이스 구축에 소요되는 노동력과 시간은 감소하였지만, 건물 내의 변수를 반영하기 어렵고, 신호 세기를 예측하는데 추가적인 계산 절차가 필요하다.

본 연구에서는 건물특징에 따른 데이터베이스 구축 시간과 노동력을 감소시킬 수 있는 방안을 제시한다. 그 방안은 건물 특징 및 건물 내부 구성에 따라서 참조지점을 다르게 설치하는 것이다. 이를 위해서, 본 연구에서는 5m 간격으로 참조지점의 설치 간격을 설정하여 실험건물에 적용하였다. 선행연구에서 참조지점의 간격을 2m로 설정하여 데이터베이스 구축을 했을 때, 위치추적 정확도가 높은 것으로 설명하고 있기 때문이다[9]. 본 연구의 실험 결과와 선행연구의 위치추적 정확도 차이를 비교하여, 개발된 시스템의 신뢰성도 평가한다.

Table 1. Literature review

Classification	Authors	Main contents
Using the installed sensor and RFID, etc.	Filippoupolitis et al.[12]	A method for collecting the fire information from sensors installed in the building and transmitting it to evacuees' mobile device
	Chu and Wu[13]	A method for transmitting the fire information and evacuation route to evacuees' mobile device using the RFID tag installed in the building
Using the WiFi module of mobile device	Aedo et al.[14], Rakip et al.[15]	A method for transmitting the fire information to evacuees' mobile device using the WiFi module of their mobile device and the central server system
Using fingerprint algorithm	Zdruba et al.[16], Tayebi et al.[17]	A method for database construction based on the result of imaginary computing for reflection, diffraction, and penetration of wireless signal
	El-Kafrawy et al.[18]	A method for naturally measuring the strength of wireless signals using the building
	Narzullaev et a.[19]	A method for reducing the number of reference points and imaginary computing of the wireless signal between reference points

정리하면, 대피자에게 화재정보를 전송하기 위해 RFID 기반의 시스템을 사용하면, 거리 제한의 한계가 있다. 상대적으로 거리 제한이 없는 WiFi를 사용하기 위해서는 중앙 서버가 필요하다. 본 연구에서는 화재정보를 송·수신할 때 거리가 제한적이지 않고, 중앙 서버가 필요 없는 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다. 선행연구에서 위치추적 정확도가 높은 fingerprint

알고리즘을 적용하였지만, 데이터베이스 구축에 상당한 시간과 비용이 소요되는 한계가 있다. 본 연구에서는 건물특징에 따라 데이터베이스 구축에 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있는 방안도 제시하고자 한다.

3. 개발된 서버 독립형 시스템의 특징

본 연구에서 개발한 시스템은 대피자의 안전을 향상시키기 위한 것으로, 선행연구에서 개발한 화재정보 송·수신 시스템과 실내위치추적 시스템의 한계를 보완하는 것을 목표로 한다. 먼저, 거리 제한 문제를 해결할 수 있어야 하고(요구사항 1), 대피자는 모바일 기기를 사용하여 화재와 대피자 스스로의 위치를 확인할 수 있어야 한다(요구사항 2). 중앙 서버가 손상되거나 전력이 차단되어도 화재정보를 실시간으로 송수신할 수 있어야 한다(요구사항 3). 마지막으로, 위치추적 정확도의 저하 없이 데이터베이스 구축에 소요되는 시간과 비용을 감소시킬 수도 있어야 한다(요구사항 4).

3.1 시스템의 구성

시스템의 송신부는 화재정보를 대피자에게 전송하는 장치이며, 화재정보와 대피자 위치추적을 위한 무선신호를 전송한다. 수신부는 대피자 모바일 기기에 설치되는 어플리케이션이며, 화재정보의 수신과 수신한 무선 신호의 세기를 비교하여 대피자의 위치를 추적하는 역할을 한다(Figure 1). 수신부는 실험장비로 구입한 모바일 기기의 운영체제인 안드로이드를 기반으로 개발되었다.

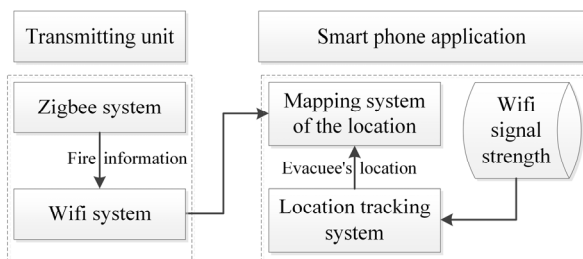
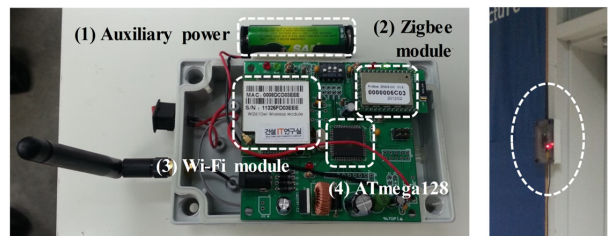


Figure 1. The system architecture



a. Composition of the fire location transmitting unit b. Installation

Figure 2. Fire location transmitting unit

화재정보 전송 장치는 zigbee와 WiFi 모듈로 구성된다. Zigbee는 10-20m 내외의 근거리 무선통신을 위하여 사용되며 [10], 다른 무선통신기술에 비해서 가격이 저렴하고 저전력으로 운영될 수 있는 장점이 있다. 개발된 시스템에서는 전송 장치들 간의 화재정보를 공유하는 데 사용된다(Figure 2(a.2)). WiFi 모듈은 전송 장치 간에 공유된 화재정보를 대피자의 모바일로 전송하고, 대피자의 위치를 추적하는데 사용된다(Figure 2(a.3), Figure 3). WiFi는 거리 제한의 문제를 해결할 수 있고(요구사항 1), 추가 장치가 필요하지 않다는 장점이 있다(요구사항 2). 대부분의 대피자는 WiFi 통신을 할 수 있는 모바일 기기를 가지고 있기 때문이다. 전송 장치는 전력이 차단될 경우를 대비해 보조 전원 장치(요구 사항 3)가 포함되어 있어, 위급 상황에서도 작동가능하다(Figure 2(a.1)). ATmega128 프로세서(Figure 2(a.4))는 화재정보 전송을 위해 미리 정의된 규칙에 따라 서비스 세트 식별자(service set identifier, SSID)를 변경하는 데 사용된다. SSID는 무선 네트워크의 고유한 문자 기반의 식별자이다. 전송 장치는 약 50m의 유효 가시선 범위와 약 20m의 비가시선 범위를 가진다.

Figure 3은 세 번째 전송 장치의 위치에서 화재가 발생한 예이며, 개발된 시스템에서 대피자의 위치를 추적하는 단계는 크게 세 가지로 분류된다(Figure 4). 먼저, 참조지점 간격을 설정하고, 각 참조지점에서 수신하는 전송 장치의 무선 신호 세기를 데이터베이스에 기록한다. 그 후, 대피자의 모바일 기기에서 수신한 무선 신호 세기와 참조지점의 무선 신호 세기를 어플

리케이션에서 비교한다. 어플리케이션은 두 점 사이의 거리를 계산할 때 사용되는 유클리드 거리(Euclidean distance)를 사용하여, 최단 거리에 있는 참조지점을 기준으로 대피자의 위치를 추적한다. 마지막으로, 어플리케이션은 전송 장치로부터 수신한 화재정보와 대피자의 위치를 도면에 매핑하여, 대피자의 모바일 기기에 나타낸다. 매핑을 위해 JPEG로 저장한 평면도와 joint photographic experts group(JPEG)의 픽셀 크기를 비율로 계산한 후, 이를 기반으로 평면도에 화재정보와 대피자 위치, 출구가 표시된다. 화재정보나 대피자의 위치가 변경되면 정보를 재분석하며, 대피가 완료될 때까지 이러한 순서를 반복한다.

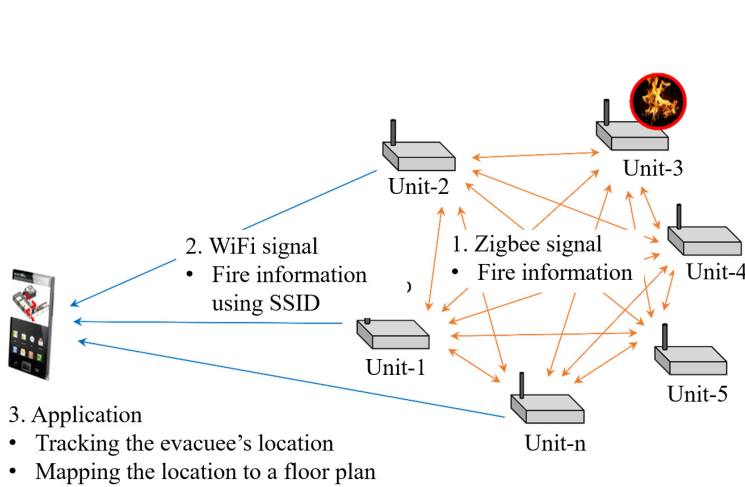


Figure 3. Concept diagram describing the operation of the system

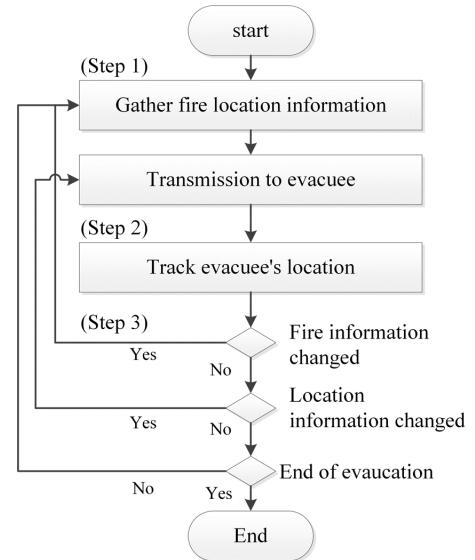


Figure 4. Operation sequence of the system

3.2 화재정보 전송 방법

개발된 화재정보 전송 장치는 중앙 서버를 사용하지 않고, SSID를 변경하여 화재정보를 전송할 수 있는 서버 독립형 시스템이다(요구사항 3). 대피자는 화재가 발생한 주변의 전송 장치를 확인하여 화재정보를 알 수 있으며, 화재정보에는 화재의 위치와 크기가 포함된다. SSID는 각 5개의 2진수로 표시되는 32개의 문자로 구성되므로, 전송 장치는 160개(=32×5)의 참조 지점을 나타낼 수 있다(Table 2). 만약, 전송 장치의 32개 문자 중에서 하나의 문자가 그룹 번호로 설정되면, 총 4,960개(=155×32)의 참조지점을 나타낼 수 있다. 본 연구에서 그룹 번호는 층수를 나타내기 위해서 사용되었으며, 건물에 따라서 문자 수를 다르게 설정할 수 있다. 32개 문자 각각에 해당하는 10진수와 2진수는 Table 2에 제시되어 있다. 이진수 “1”은 불이 있음을 나타내고 “0”은 불이 없음을 의미한다. 전송 장치가 화재에 손상되면 정상적으로 작동할 수 없으므로, 손상된 전송 장치에서는 화재정보를 전송할 수 없다. 그러면 화재에 손상된 그 전송 장치 주변의 다른 전송 장치들이 해당 위치에서 화재가 발생했음을 인식하게 된다. 인식된 화재정보는 SSID를 변경하여 전송된다.

화재정보를 전송하기 위해서 먼저 송신 장치의 SSID는 26개의 소문자(a-z)와 6개의 대문자(A-F)를 사용하여 설정한다. SSID에서 가장 오른쪽 문자가 표시되는 이진수의 가장 오른쪽 자리는 위치 ①로 정의된다(Figure 5). 오른쪽에서 두 번째, 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 숫자의 이진수는 각 위치 ②, ③, ④, ⑤로 정의된다. 예를 들어, SSID가 “aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaF”인 경우 맨 오른쪽 문자 “F”는 “31”이며 이진수 “11111”에 해당된다(Figure 5). 이는 위치 ①, ②, ③, ④, ⑤에 불이 있음을 의미한다. SSID가 “aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaacab”인 경우 맨 오른쪽 문자 “b”는 “1”이며 이진수로 “00001”이다. 마지막

두 번째 문자는 “00000”이다. 오른쪽 “c”에서 마지막 세 번째 문자는 “2” 또는 이진수로 “00010”이다(Table 2). 이것은 화재 위치 ①과 ②에서 발생했다는 것을 의미한다. 화재의 크기는 이진수가 “1”인 전송 장치의 숫자로 계산된다. 예를 들어, SSID가 “aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaah”인 이진수는 “00111”가 된다. 즉, 화재는 위치 ①, ②, ③에서 발생하였으며 15m 간격의 전송 장치 3개가 정상적으로 작동하지 않았으므로, 화재 규모는 현재 45m로 추정된다.

Table 2. Decimal and binary numbers for each character

	Decimal	Binary		Decimal	Binary		Decimal	Binary		Decimal	Binary
a	0	00000	i	8	01000	q	16	10000	y	24	11000
b	1	00001	j	9	01001	r	17	10001	z	25	11001
c	2	00010	k	10	01010	s	18	10010	A	26	11010
d	3	00011	l	11	01011	t	19	10011	B	27	11011
e	4	00100	m	12	01100	u	20	10100	C	28	11100
f	5	00101	n	13	01101	v	21	10101	D	29	11101
g	6	00110	o	14	01110	w	22	10110	E	30	11110
h	7	00111	p	15	01111	x	23	10111	F	31	11111

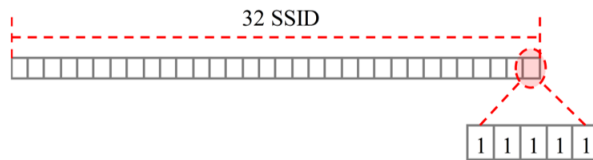


Figure 5. Example of the method for transmitting fire information

3.3 대피자 위치추적 방법

대피자의 위치를 추적하기 위해서 선행연구에서 위치추적 정확도가 높은 것으로 분석된 KNN fingerprint 알고리즘을 사용하였다[9,20-24]. KNN fingerprint 알고리즘은 K 개의 근접한 참조지점의 무선 신호 세기를 기반으로 대피자의 위치를 추정하는 방법이며, 위치추적의 계산은 두 점 사이의 거리를 계산할 때 사용되는 유클리드 거리(식 1)를 사용한다[9]. 예를 들어, ①-⑤의 참조지점에서 전송 장치 ①-⑤에서 발송되는 신호 세기(signal strength, SS)와 대피자의 위치에서 측정된 전송 장치의 신호 세기(observed signal, OS)가 (Table 3)과 같을 때, 대피자의 위치에서 가장 가까운 참조지점 ①은 전송 장치 ①과 ③사이에 있는 것으로 계산된다.

$$SD_i = \sqrt{(SS_{i1} - OS_1)^2 + (SS_{i2} - OS_2)^2 + \dots + (SS_{ij} - OS_j)^2} \tag{1}$$

where

- SD_i: Euclidean distance based on signal difference
- SS_{ij}: a stored signal of jth transmitting unit in ith RP
- OS_j: an observed signal of jth transmitting unit in evacuee’s location.

Table 3. Example of a Euclidean distance calculation

RP	Unit's SS					SD
	①	②	③	④	⑤	
Ⓐ	3	4	5	6	7	3.3
Ⓑ	5	1	3	2	1	11.6
Ⓒ	0	2	4	6	9	4.6
Ⓓ	6	7	7	6	2	8.6
Ⓔ	3	3	4	5	0	9.9
OS	2	5	6	8	9	

Note: SS is stored signal of jth transmitting unit. SD is Euclidean distance based on signal difference. OS is an observed signal of transmitting unit in evacuee's location.

4. 개발된 시스템의 적용성 분석

개발된 전송 장치의 화재정보의 전송 성공률을 실험을 통하여 분석하였다(Table 4). 전송 장치는 15m 간격으로 설치되어 있고, 대피자는 전송 장치 사이의 중간에서 있다. 이 거리는 zigbee의 유효 거리가 10-20m이기 때문에 결정되었다[24]. 대피자는 모바일 기기를 들고 화재정보를 받으며, 전송 장치는 대피자의 모바일 기기로 SSID를 1초 간격으로 100회 전송한다. SSID의 전송 속도는 관리자의 의도에 따라 더 빠를 수도 있고 느릴 수도 있다. 측정된 SSID의 수신 성공률은 평균 92%으로 분석되었으며, 평균 수신 신호의 세기(received signal strength indication, RSSI)는 -59.42로 분석되었다(Table 4). 즉, 전송 장치는 대부분의 경우에서 대피자의 모바일 기기로 화재정보를 전송할 수 있음을 의미한다.

다음으로, 위치추적을 위한 데이터베이스 구축에 소요되는 노력과 시간을 감소시키면서, 위치추적의 정확도를 유지시킬 수 있는지 실험을 하였다(Figure 6). 참조지점의 설치 간격은 KNN fingerprint의 위치추적 정확도를 변화시키는 중요한 요인이다. 참조지점의 간격이 좁고, 그 수가 증가할수록 데이터베이스 구축에 더욱 많은 노력과 시간이 소요된다. 선행연구에서 위치추적의 정확도가 가장 높은 참조지점의 간격은 2m인 것으로 분석되었다[25-28]. 본 연구에서는 참조지점을 5m 간격을 설정하여 사례건물의 복도에서 대피자 위치추적 실험을 하였다(요구사항 4). 사례건물은 연세대학교 6층 건물이며, 5층에서 실험을 하였다. 대피자의 위치(test point of Figure 6)는 5개이며, 참조지점들의 중간에 위치한다. 신호 세기는 각 대피자의 위치에서 50회 측정하였다.

실험 결과, 5개의 대피자 위치에서 평균 오차는 약 2.75m로 분석되었다. 선행연구[29-34]의 평균 오차 범위(0.89-3.6m) 보다 정확도는 약간 감소하였지만, 데이터베이스 구축에 소요되는 노동력과 시간은 크게 감소시킬 수 있었다. 즉, 복도식 건물에서는 참조지점의 간격을 2m에서 5m로 늘리면, 무선신호의 강도를 기록하는데 필요한 시간은 감소하고 위치추적의 정확도는 크게 감소하지 않은 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발한 서버 독립형 시스템은 화재정보의 송·수신뿐만 아니라, 위치추적을 위해 사용하는 KNN fingerprint의 적용성을 높일 수 있었다. 위치추적의 정확도는 약간 감소했지만, 연구의 목표는 달성하였다고 볼 수 있다.

Table 4. Transmission success rate of the unit

	Test 1	Test 2	Test 3	Average
Success rate	96%	88%	91%	92%
Average RSSI	-62.08	-56.88	-59.29	-59.42

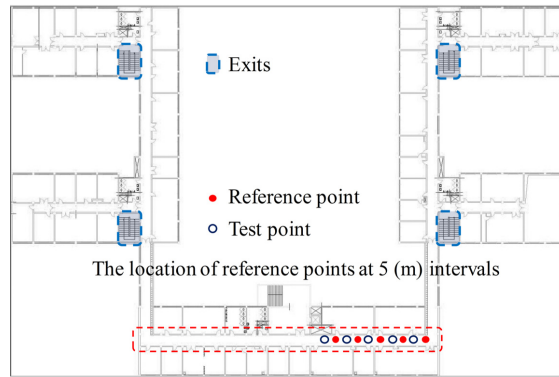


Figure 6. Experimental location for tracking analysis

5. 결론

선행연구들에서 개발한 화재정보 송·수신 시스템을 대피자가 사용하기 위해서는 설치된 시스템 가까이로 이동해야 하는 거리 제한의 한계가 있다[12,13]. 설치된 센서에서 대피자의 모바일 기기로 화재정보를 전송하기 위해서 중앙 서버를 사용한 선행연구도 있었다[14,15]. 이 선행연구들은 중앙 서버를 통해서 화재정보를 전송하므로, 중앙 서버가 화재에 손상되면 화재정보가 손실되거나 전송 속도가 감소할 수 있다. 선행연구들에서는 또한, 화재정보 전송 및 대피자 위치 추적을 위한 통합 시스템을 개발하지 않았다. 본 연구에서 개발한 시스템은 중앙 서버가 필요하지 않는 서버 독립형 시스템이다. 화재정보를 대피자의 모바일 기기로 직접 전송할 수 있고, 대피자의 위치도 추적할 수 있다.

개발된 시스템은 화재정보의 전송 장치, 그리고 화재정보를 수신하고 대피자 위치를 추적할 수 있는 수신 장치인 모바일 기기의 어플리케이션으로 구성된다. 전송 장치는 zigbee와 WiFi 모듈로 구성되며, 보조 전원을 가지고 있다. 화재정보는 고유 서비스 세트 식별자(service set identifier, SSID)를 변경하여 전송된다. 화재로 인해 손상된 전송 장치는 정상적으로 작동할 수 없으므로, 그 전송 장치 주변에 위치한 다른 전송 장치들의 SSID가 변경된다. 그 변경된 정보는 다른 전송 장치들과 공유된 후, 대피자의 모바일 기기로 전송된다. 모바일 기기의 어플리케이션은 수신한 SSID를 화재정보로 변환하여 화재 위치와 규모를 표시한다. 대피자의 위치는 KNN fingerprint 알고리즘을 사용하여 추적한다.

하지만, 개발된 시스템은 화재로 인해 전송 장치가 손상되었을 경우에만 화재가 발생했다는 것을 인지할 수 있고, 그 화재정보를 대피자의 모바일 기기로 전송할 수 있다는 한계가 있다. 화재 이외의 요인으로 제안된 시스템이 손상된다면, 잘못된 화재정보가 전달될 수도 있다. 향후 연구에서는 연기 감지기와 열 감지기를 포함하는 시스템을 개발하여, 화재가 발생한 초기에 감지하여 대피자에게 화재정보와 위치추적 정보를 전송하는 시스템을 개발하고자 한다[35]. 향후 개발될 시스템을 천장 근처 높은 곳에 설치하면 화재로 인한 뜨거운 연기가 천장까지 올라오므로 초기에 화재를 감지하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 현재 개발된 시스템을 사용하기 위해서는 WiFi 모듈을 켜야 하고, 대피자의 모바일 기기에 어플리케이션이 설치되어 있어야 하는 한계도 존재한다. 향후 연구에서 모바일 기기의 사용과 함께 실시간 화재정보를 기반으로 대피경로를 안내해주는 대피경로 안내등을 개발하고자 한다.

요약

화재가 발생했을 때, 대피자가 화재 위치와 규모 등의 화재정보, 그리고 출구 위치와 대피자 스스로의 위치를 확인할 수 있다면, 신속하게 대피할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 화재정보를 대피자에게 전송하고 대피자의 위치를 확인할 수 있는

시스템을 개발하였다. 선행연구를 통하여 시스템 개발에 필요한 요구사항을 네 가지 도출하였다. 요구사항에는 시스템이 작동하는데 필요한 전력이 크지 않아야 하며, 화재정보를 송·수신하기 위해서 필요한 거리 제한과 추가 장비, 그리고 중앙 서버가 없어도 시스템이 작동할 수 있어야 한다는 것이 포함된다. 이와 같은 요구사항을 기반으로, 본 연구에서는 건물 화재 정보를 대피자의 모바일 기기로 전송할 수 있고, 대피자의 위치를 추적할 수 있는 서버 독립형 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 화재정보를 전송하는 장치와 화재정보를 수신하고 대피자 위치를 추적할 수 있는 모바일 기기의 어플리케이션으로 구성된다. 화재에 의해서 중앙 서버가 손상되어도 대피자는 개발된 시스템을 사용하여 화재 위치와 규모, 출구의 위치와 대피자의 위치를 확인할 수 있으므로, 인명피해를 감소시키는데 기여할 수 있을 것이다. 또한, 실내위치추적에 사용되는 fingerprint 알고리즘의 사용성 향상을 위한 이론적 기초로도 활용될 수 있을 것이다. Fingerprint 사용을 위한 데이터베이스를 구축할 때에 소요되는 노력과 비용을 감소시키는 방법을 제안했기 때문이다.

키워드 : 서버 독립형 시스템, 화재정보관리, 실내 위치 추적, 서비스 세트 식별자, K-최근접 이웃 핑거프린트 알고리즘

Funding


Not applicable

Acknowledgement

The authors express their thanks to Professor Ghang Lee (Department of Architectural Engineering, Yonsei University, South Korea) for his advice and generosity about information offering.

ORCID

Chijoo Lee,  <http://orcid.org/0000-0003-1376-9380>

Taekwan Lee,  <http://orcid.org/0000-0003-2976-4816>

References

1. Status of fire occurrence by city and province [Internet]. Daejeon (Korea): Korean Statistical Information Service(KOSIS). 1997- [cited 2021 Oct 27]. Available from: https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=156&tblId=TX_15601_A004&conn_path=I3 2021
2. Park HJ, Meacham BJ, Dembsey NA, Goulthorpe M. Enhancing building fire safety performance by reducing miscommunication and misconceptions. *Fire Technology*. 2014 Nov;50:183-203. <https://doi.org/10.1007/s10694-013-0365-2>
3. Park HH, Ju DH, Kim YS. A system of safety management by using bluetooth and NFC: By protecting construction workers in safety accidents. *Proceedings of Korean Journal of Construction Engineering and Management*; 2016 Nov. 12; Incheon, South Korea. Seoul (Korea): Korea Institute of Construction Engineering and Management; 2016. p. 19-22.
4. Lee JK, Lee YH, Park JH, Son MJ. Experimental study on wall transmission loss of electric wave for the RTLS application of building construction project. *Journal of Korea Institute of Building Construction*. 2009 Feb;9(1): 95-101. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2009.9.1.095>
5. Arias S, Mendola SL, Wahlqvist J, Rios O, Nilsson D, Ronchi E. Virtual reality evacuation experiments on way-finding systems

- for the future circular collider. *Fire Technology*. 2019 May;55:2319-40. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00868-y>
6. Imanishi M, Sano T. Route choice and flow rate in theatre evacuation drills: Analysis of walking trajectory data-set. *Fire Technology*. 2019 Oct;55:569-93. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0783-2>
 7. Abid F. A survey of machine learning algorithms based forest fires prediction and detection systems. *Fire Technology*. 2020 Nov;57:559-90. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01056-z>
 8. Silvani X, Morandini F, Innocenti E, Peres S. Evaluation of a wireless sensor network with low cost and low energy consumption for fire detection and monitoring. *Fire Technology*. 2014 Oct;51:971-93. <https://doi.org/10.1007/s10694-014-0439-9>
 9. Lee TK. Development of a mobile-based fire evacuation system using a wireless network [master thesis]. [Seoul (Korea)]: Yonsei University. 2013. 36 p.
 10. Dibley M, Li H, Rezguy Y, Miles J. An integrated framework utilising software agent reasoning and ontology models for sensor based building monitoring. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2015 Feb;21:356-75. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.890645>
 11. Jin BR, Yu DH. Analysis for the application of Fingerprinting method with Wi-Fi RSSI provided in the public DB. Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences; 2021 Feb 3~5; Gangwon-do, South Korea. Seoul (Korea): the Korean Institute of communications and Information Sciences; 2021. p. 933-4.
 12. Filippopolitis A, Gorbil G, Gelenbe E. Autonomous navigation systems for emergency management in buildings. *IEEE Globecom Workshops*; 2011 Dec 5-9; Houston, TX, USA. New Jersey (US): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2011. p. 1056-61. <https://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2011.6162338>
 13. Chu L, Wu SJ. A real-time fire evacuation system with cloud computing. *Journal of Convergence Information Technology*. 2012 Apr;7(7):208-15.
 14. Aedo I, Yu S, Díaz P, Acuña P, Onorati T. Personalized Alert Notifications and Evacuation Routes in Indoor Environments. *Journal of Sensors*. MDPI. 2012 Jun;12(6):7804-27. <https://doi.org/10.3390/s120607804>
 15. Rakip KI, Fatmagul B, Alias AR. An evacuation system for extraordinary indoor air pollution disaster circumstances. *Disaster Advances*. 2012 Apr;5(2):33-40.
 16. Zdruba GV, Huber M, Karnangar FA, Chlarntac I. Monte carlo sampling based in-home location tracking with minimal RF infrastructure requirements. *IEEE Global Telecommunications Conference*; 2004 Nov 29-Dec 3; Dallas, TX. New Jersey (US): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2004. p. 3624-29. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2004.1379045>
 17. Tayebi A, Gomez J, Saez de Adana F, Gutierrez O. The application of ray tracing to mobile localization using the direction of arrival and received signal strength in multipath indoor environments. *Progress In Electromagnetics Research*. 2009 Jan;91:1-15. <https://doi.org/10.2528/PIER09020301>
 18. El-Kafrawy K, Youssef M, El-Keyi A, Naguib A. Propagation modeling for accurate indoor WLAN RSS-based localization. *2010 IEEE 72nd Vehicular Technology Conference*; 2010 Sep 6-9; Ottawa, Canada. New Jersey (US): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2010. p. 1-5. <https://doi.org/10.1109/VETEFCF.2010.5594108>
 19. Narzullaev A, Park Y, Yoo K, Yu J. A fast and accurate calibration algorithm for real-time locating systems based on the received signal strength indication. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*. 2011 Apr;65(4):305-11. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2010.03.012>
 20. Campos RS, Lovisolio L, de Campos MLR. Wi-Fi multi-floor indoor positioning considering architectural aspects and controlled computational complexity. *Expert Systems with Applications*. 2014 Oct;41(14):6211-23. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.04.011>
 21. Zhou M, Tian Z, Xu K, Yu X, Hong X, Wu H. SCaNME: Location tracking system in large-scale campus Wi-Fi environment using unlabeled mobility map. *Expert Systems with Applications*. 2014 Jun;41:3429-43. <https://doi.org/10.1016/j.eswa>

2013.10.047

22. Yim JG, Park CS, Joo JH, Jeong SH. Extended kalman filter for wireless LAN based indoor positioning. *Decision Support Systems*. 2008 Nov;45(4):960-71. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2008.03.004>
23. Noh HY, Lee JH, Oh SW, Hwang KS, Cho SB. Exploiting indoor location and mobile information for context-awareness service. *Information Processing & Management*. 2012 Jan;48(1):1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2011.02.005>
24. Woo SK, Jeong SS, Mok E, Xia L, Choi CS, Pyeon MW, Heo J. Application of WiFi-based indoor positioning system for labor tracking at construction sites: A case study in Guangzhou MTR. *Automation in Construction*. 2011 Jan;20(1):3-13. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.07.009>
25. Youssef M, Agrawala A. The horus location determination system. *Wireless Networks*. 2008 Jan;14:357-74. <https://doi.org/10.1007/s11276-006-0725-7>
26. Jun M, Xuansong L, Xianping T, Jian L. Cluster filtered KNN: A WLAN-based indoor positioning scheme. 2008 International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks; 2008 Jun 23-26; Newport Beach, CA. New Jersey (US): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2008. p. 1-8. <https://doi.org/10.1109/WOWMOM.2008.4594840>
27. Li B, Salter J, Dempster AG, Rizos C. Indoor positioning techniques based on wireless LAN. 1st IEEE International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications; 2006 Mar 16; Sydney (Australia). New Jersey (US): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2006. p. 1-7.
28. Bahl P, Padmanabhan VN. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies; 2000 Mar 26-30; Tel Aviv, Israel. New Jersey (US): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2000. p. 775-84. <https://doi.org/10.1109/INFCOM.2000.832252>
29. Li D, Zhang B, Li C. A feature-scaling-based k-nearest neighbor algorithm for indoor positioning systems. *IEEE Internet of Things Journal*. 2016 Aug;3(4):590-7. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2495229>
30. Abdullah O, Abdel-Qader I. A PNN-Jensen-Bregman divergence symmetrization for a WLAN indoor positioning system. 2016 IEEE International Conference on Electro Information Technology; 2016 May 19-21; Grand Forks, ND. New Jersey (US): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2016. p. 362-7. <https://doi.org/10.1109/EIT.2016.7535266>
31. Zhao H, Huang B, Jia B. Applying kriging interpolation for WiFi Fingerprinting based indoor positioning systems. 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference; 2016 Apr 3-6; Doha, Qatar. New Jersey (US): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2016. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/WCNC.2016.7565018>
32. Lemic F, Behboodi A, Handziski V, Wolisz A. Experimental decomposition of the performance of Fingerprinting-based localization algorithms. 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation; 2014 Oct 27-30; Busan, Korea. New Jersey (US): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2014. p. 355-64. <https://doi.org/10.1109/IPIN.2014.7275503>
33. Mingzhe X, Jiabin C, Chunlei S, Nan L, Kong C. The indoor positioning algorithm research based on improved location Fingerprinting. The 27th Chinese Control and Decision Conference; 2015 May 23-25; Qingdao, China. New Jersey (US): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2015. p. 5736-9. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2015.7161827>
34. Li N, Becerik-Gerber B, Krishnamachari B, Soibelman L. A BIM centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations. *Automation in Construction*. 2014 Jun;42:78-89. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.019>
35. Lee CJ, Yang HK. A system to detect potential fires using a thermographic camera. *Natural Hazards*. 2018 Feb;92:511-23. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3224-0>