소화로봇을 활용한 화재진압에 관한 연구

전진성, 곽동걸, 길민식*, 박동주**, 구본현***
강원대학교, *㈜투비시스템, **동해지방해양경찰청, ***㈜비스타라이팅

A Study on the Fire Suppression Using Fire Extinguishing Robot

Jin-Seong Jeon, Dong-Kurl Kwak, Min-Sik Ghil*, Dong-Ju Park**, Bon-Hyun Koo***
Kangwon National Univ., *TOBESYSTEM co., **Korea Coast Guard Region-East, ***Vistalighting co.

ABSTRACT

In modern buildings, fire is a major hazard causing both loss of life and property damage, with fires in high-rise buildings and underground facilities presenting an even greater risk. This research proposes an early fire suppression system utilizing autonomous robots, aiming to prevent major disasters in situations where existing fire extinguishing equipment is inadequate. The developed system autonomously navigates firefighting robots to the fire location by integrating with fire alarm systems and using RFID tags and distance sensors. Additionally, it employs non-contact temperature sensors and operational algorithms to detect and target the source of the fire for the effective application of extinguishing agents. Furthermore, the system provides real-time monitoring and a user interface, enabling fire safety managers to supervise robot operations and manually control them when necessary.

1. 서 론

국내의 건축물은 급격한 경제의 성장과 건축기술의 발전으로 인해 고층화와 지하화 등 건축물의 대형화가 지속적으로 증가하는 추세에 있다. 하지만 이러한 건축물의 대형화는 화재가 발생하는 경우 재실자의 피난능력이 저하되는 결과를 초래하는 등 피해의 규모가 커지는 것으로 분석된다. 국내에서는 부주의, 전기 및 기계적 요인 등 다양한 원인으로 인해 지속적으로 화재가 발생하고 있는 실정이다.

지난 10년간 국내에서 발생한 화재피해 현황을 살펴보면 연평균 약 41,257건의 화재가 발생하였으며, 이로 인해 2,286명의 인명 피해가 발생한 것으로 분석된다. 또한 대전 목상동 공장, 부산 부전동 주차타워 화재 등과 같은 대형 화재의 발생으로 막대한 경제적 피해를 가져 왔으며, 이러한 화재 사건들은 통상적으로 화재의 발생 초기에 적절한 조치가 이루어지지 않아 대형 화재의 확산으로 발전된다[1].

지난 2004년 대형건축물의 대형 화재를 방지하기 위한 대책으로 스프링클러의 설치가 의무화되었으나[2], 소화설비의 설치가 미비하거나, 화재 발생 초기에 즉시 대응할 수 있는 인력이 부족한 경우 화재의 초기진압이 어려운 문제를 가진다. 따라서 본 논문에서는 화재의 발생을 검출하고 화재를 진압하는 소화로봇의 시스템 개발을 제안한다.

2. 소화로봇 화재진압 시스템의 개요

2.1 시스템 구성도

본 논문에서 제안한 시스템의 구성은 그림 1과 같이 화재경보설비와 연동된 마스터 제어장치와 모니터링 시스템 및 UI를 포함한다. 또한 복수의 자율주행 소화로봇으로 구성된 형태이며 각 요소 간의 관계는 다음과 같다.

① 마스터 제어장치는 화재경보설비로부터 화재 감지 정보를 획득하며 경보를 중단할 수 있는 복구 신호를 송신 가능하다.

② 방재 관리자에게 시스템의 동작 현황 및 시스템을 수동조작할 수 있는 환경을 제공하기 위하여 마스터 제어장치는 건축물 도면이 프로그래밍 된 모니터링 시스템과 UI를 제공한다.

③ 복수의 자율주행 소화로봇은 마스터 제어장치 Master : Slave의 형태로 1대 N 양방향 무선 통신을 유지한다.

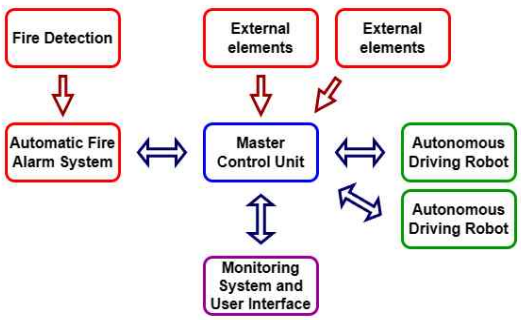


그림 1 전체 시스템 구성도
Fig. 1 Total system configuration diagram

본 시스템의 화재 인식률을 보완하기 위해 제안한 마스터 제어장치는 자체 화재경보설비 이외에도 건축물의 화재가 감지된 상황을 무인경비시스템과 별도로 설치된 단독형 화재감지기 및 CCTV 등과 같은 외부 요소로부터 수신할 수 있는 기능을 포함한다.

그림 2는 제안한 자율주행 소화로봇 시스템의 구성요소를 나타내는 시작품의 외형도이다. 그림 2와 같이 자율주행 소화로봇은 복수로 존재하며, 화재경보설비 혹은 외부 요소로부터

화재 상황을 인식한 마스터 제어장치가 해당 화재구역까지 소화로봇을 원격으로 제어하도록 구현하였다. 또한 제공되는 제어 시스템의 UI를 통해 로봇의 수동조작도 가능하도록 구현하였다.

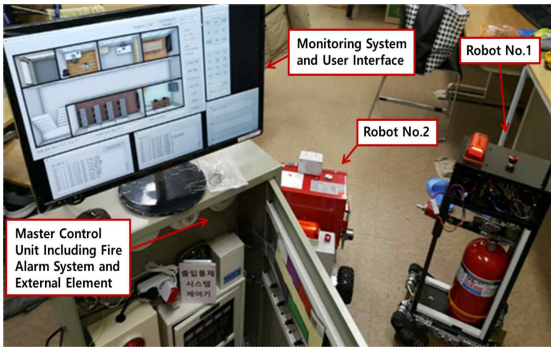


그림 2 시스템 구성요소의 프로토타입
Fig. 2 Prototypes of system components

2.2 화재 구역의 추론 및 경보 인식 원리

건축물 내 화재의 발생 시 기존 화재 발생구역에 대한 정보는 각종 화재경보설비로부터 알 수 있으며, 방재관리자가 육안으로 확인하거나, 실제 목격자로부터 보고받기 전까지 화재경보설비에 표시되는 구역 전체를 화재 구역으로 구분한다. 따라서 본 연구에서는 건축물을 축소해 놓은 필드와 P형 수신기 및 화재감지기로 구성된 자동화재탐지설비를 구현하여 시스템을 연동하였으며, 화재경보와 구역 정보를 실시간으로 추출하는 방법을 이용하였다[3,4].

본 연구의 실험 필드는 화재경보 발생 시 무인경비시스템과의 연동으로 모든 방의 문이 개방되고, 각 호실이 세분화되어 감지되는 조건으로 시작품의 시뮬레이터를 진행하였다.

2.3 소화로봇의 구역 경로 유도 기법

본 연구에서는 소화로봇을 목표구역까지 자율주행 시키기 위하여 제안한 마스터 제어장치에 실험 환경의 건물 구조와 경로 정보 데이터를 프로그래밍하여 화재가 감지된 구역까지 소화로봇을 유도한다. 동시에 소화로봇의 위치정보 및 작동상태를 실시간으로 보고받아 소화로봇의 동작 현황을 인식하고, 관리자가 이를 확인할 수 있도록 설계하였다. 실험 필드에 소화로봇의 절대적인 위치를 시스템이 인지하는 것에 대한 원리는 2.3.1항에서 다룬다.

2.3.1 RFID 태그를 이용한 위치인식 방법

본 연구에서는 소화로봇 자율주행의 필수 요소인 로봇의 건물 내 절대적인 위치를 시스템이 인지하고, 조건에 맞는 동작을 수행하기 위하여 그림 3과 같이 필드의 바닥면에 RFID 태그를 30cm 간격으로 부착하였다. 또한 RFID 판독 장치를 소화로봇의 하부 앞, 뒤에 배치하여 정확한 위치와 진행 방향을 시스템이 인지할 수 있도록 구성하였다.

필드의 특정 위치마다 부착한 RFID 태그는 자연적으로 없어지거나 위치가 변동될 우려가 없으므로 사전 정의된 특정 좌표의 태그를 로봇이 인식하도록 설계하여 로봇의 정확한 위치를 시스템이 인지하도록 하였다.

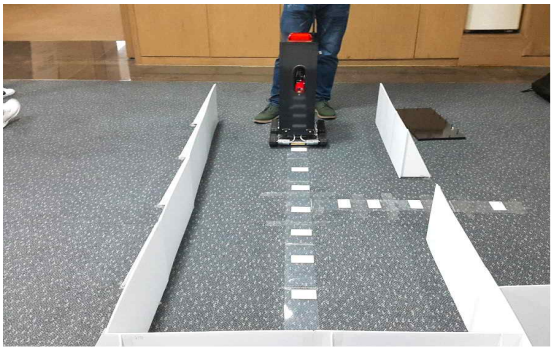


그림 3 RFID 태그를 이용한 위치 인식 방법의 예시
Fig. 3 An example of location recognition method using RFID tags

2.3.2 자율주행 보정기술 개발

본 연구에서는 소화로봇의 안정적인 자율주행을 구현하기 위해 필드의 주변 환경을 인식하고 상황에 따라 로봇의 주행을 실시간으로 보정하기 위한 기술이 요구된다. 따라서 그림 4와 같이 시작품의 측면에 초음파센서, 전면에 적외선 거리센서를 배치하여 주변 상황을 로봇이 인지하고 주행 경로의 유지와 충돌을 방지하도록 하였다.

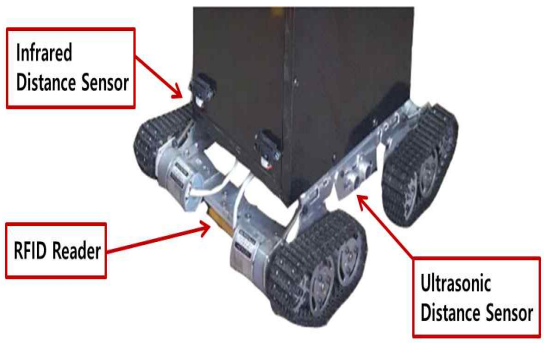


그림 4 프로토타입 로봇에 적용된 센서
Fig. 4 Sensors applied to prototype robot

2.4 비접촉 온도 센서를 이용한 발화원 탐지 기법

본 연구는 소화로봇을 능동적으로 화재가 감지된 구역까지 이동시키고, 소화약제를 분사하여 초기 화재를 진압하는 것이 목적이다. 그러므로 화재발생 구역에 도착한 소화로봇은 발화원을 찾아냄과 동시에 분사 노즐을 정확하게 조준하여 소화약제를 분사할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 발화원에 정확히 분사노즐을 조준할 수 있도록, 분사구와 적외선 비접촉 온도센서가 일체화된 형태로 구현하였다. 그리고 화재 구역에 도착한 소화로봇은 발화원을 탐지 및 조준하기 위하여 그림 5와 같은 두 가지 모드의 동작을 수행한다.

소화로봇의 탐지 동작은 2차원적으로 수행하며, 각 모드는 아래와 같은 순서로 동작한다.

<Mode 1>

① 좌, 우 탐지 동작을 수행하기 위해 로봇의 구동계를 이용하여 왼쪽으로 90° 회전시킨다.

② 오른쪽으로 180°를 회전하며, 5°의 회전을 수행할 때마다 온도 측정 결과를 기록한다.

③ x축의 기록 결과에서 가장 온도가 높은 지점을 판단하여 다시 왼쪽으로 회전을 수행하고 목표 각에 위치했을 때 제

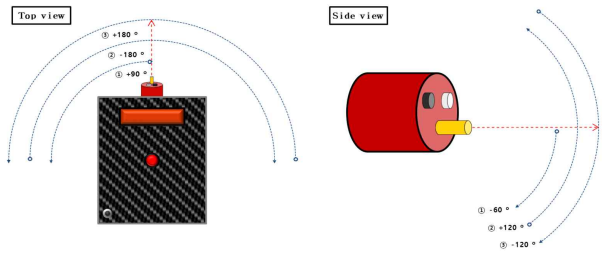
동하고, 구동 계통을 고정시킨다.

<Mode 2>

① 상, 하 탐지 동작 및 분사노즐을 발화원에 조준하기 위하여, 온도센서를 일체화시킨 노즐을 직각에서 60° 만큼 하향시킨다.

② 위쪽으로 120° 만큼 상향 조준하며, 각 5°마다 온도 측정 결과를 기록한다.

③ y축의 기록 결과에서 가장 온도가 높은 지점을 판단하여 다시 노즐을 하향시키고 목표 각에 위치했을 때 노즐을 고정하는 방법으로 발화원을 조준한다.



(a) Mode 1 (b) Mode 2

그림 5 (a) 좌, 우 탐지 모드
(b) 상, 하 탐지 모드
Fig. 5 (a) Left and right detection mode
(b) Up and down detection mode

상기의 탐지 동작 결과 허용 온도 범위를 초과하는 경우 발화원으로 판단하며, 그림 6과 같이 소화약제를 분사하여 화재에 대응한다. 그리고 유효한 발화원을 탐지하지 못했을 경우 탐지 동작을 반복 수행하며, 소화약제는 분사하지 않는다.

(a) (b)

그림 6 화재 발생원 감지 및 소화밸브 개방
Fig. 6 Fire source detection and fire valve open

3. 결 론

본 연구에서는 건축물의 미비한 소화설비를 보완하고 화재 초기 진압에 실패하는 것을 방지하기 위하여 자율주행 로봇을 활용한 초기 화재 진압 시스템의 연구개발을 진행하였다. 또한 제안한 소화로봇의 화재 원점 탐지 및 소화능력에 대한 신뢰성과 실용성을 검증하기 위해 테스트베드를 구축하여 실증 실험을 진행하였다. 본 시스템은 화재 경보설비와의 효율적인 연동, RFID 태그를 이용한 정확한 위치 인식, 그리고 비접촉 온도센서를 활용한 발화원 탐지와 같은 다양한 기술적 혁신을 통해 화재의 초기 대응에서 효과성을 입증하였다. 이는 건축물 화재의 초기 대응 및 관리에 크게 기여할 것으로 기대된다.

그리고 본 연구는 건축물 화재의 효과적인 초기 대응을 위한 새로운 방법론을 제시하였으며, 이는 인명 및 재산의 보호, 그리고 사회적, 경제적 손실을 최소화하는 데 기여할 것으로 기대된다. 향후 본 연구를 기초하여 복잡한 건축 환경에서의 적용성에 대한 추가적인 연구와 다양한 유형의 화재 상황과 환경에서의 로봇 성능에 대한 평가와 대응 능력에 대한 연구들이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] National Fire Agency, National Fire Data System "Fire Statistics".

[2] Korea Ministry of Government Legislation, National Legal Information Center. "Building Management Act".

[3] B. S. Lee, et al., "A Study on Design and Operation Performance of Automatic Fire Detection Equipment (P-type One-class Receiver) by Bidirectional Communication", The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 61, No. 2, pp. 347-353, 2012.

[4] Dong-Kurl Kwak, "A Study on Development of a Portable Automation Fire Detection System based on Ubiquitous," 2016 Summer Annual Conference of IEIE, pp. 1280-1282, 2016.