

AI 와 사물인터넷을 활용한 스마트 스프링클러 시스템에 대한 연구

이지호, 이지은, 남경환, 정재형, 송재승*
세종대학교

twozio@sju.ac.kr, je.lee@sejong.ac.kr, nkh0721@sju.ac.kr, sj20jjh@sju.ac.kr,
jssong@sejong.ac.kr*

A Study on Smart Sprinkler Systems Using AI and the Internet of Things

Jiho Lee, Jieun Lee, Kyeonghwan Nam, Jaehyung Jeong, JaeSeung Song*
Sejong Univ.

요 약

관개 시스템은 토양에 수분을 제공하며 초기 발화원을 빠르게 진화할 수 있으나, 아직까지 두 기능을 통합한 시스템에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문은 AI 와 사물인터넷을 활용해 관수와 화재 대응을 동시에 수행하는 스마트 스프링클러 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 스프링클러의 주변 지역을 모니터링하여 담배꽂초, 불씨, 연기 등을 감지해 노즐 각도와 모터각을 조정하여 국소 진화를 수행한다. 화염과 연기가 임계치를 초과하면 인근 스프링클러 간 통신을 통해 수막을 형성하여 화재 확산을 차단한다. 이를 통해 관수와 화재 피해 예방을 동시에 수행할 수 있는 지능형 관개 인프라를 제공한다.

I. 서 론

4 차 산업혁명 이후, AI 와 사물인터넷 간의 결합이 제조, 물류, 스마트시티 등 다양한 분야에서 데이터 기반의 실시간 의사 결정을 가능하게 하고있다. 이와 같은 기술적 발전은 단순 자동화 수준에 머물던 기존 설비를 지능형 시스템으로 고도화 할 수 있는 기회를 제공한다.

최근 기후 변화로 건조·고온 현상이 심화되면서 산불에 대한 위험이 계속해서 증가하고 있다. 2025 년 3 월 울주-양산 산불과 1 월 미국 캘리포니아 남부 산불은 초기 진압 실패로 대규모 피해를 초래하였다. 관개 시스템은 토양에 수분을 공급함과 동시에 분사 기능을 활용해 초기 발화원을 직접 진화할 수 있는 이상적인 시스템이 될 수 있다. 그러나 아직까지 화재 초기 진압 기능을 통합한 관개 시스템에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

대형 화재를 예방하기 위해선 발화 직후 1-2 분 이내 초기 발화지점을 진압하는 것이 매우 핵심적이다. 대표적인 발화원 중 하나인 담배꽂초의 경우, 화재에 비교적 안전하다는 Fire Safe Cigarettes (FSCs) 조차도 고온 잔여물로 인해 대형 산불로 있음이 보고되었다 [1]. 따라서 초기 화재를 신속하게 감지하는 것이 매우 중요하다. 실외 환경에서는 기존 열·연기 감지기가 제약을 받으므로, 컴퓨터 비전 기반 화재 감지 연구가 활발히 이루어지고 있다. AI 모델을 활용하여 이미지에서 연기와 화염을 검출하는 다양한 방법이 제안되어 왔으며 [2, 3], 이를 관개 시스템과 결합하면 스프링클러를 통한 즉각적인 진화가 가능하다.

따라서 본 논문에서는 AI 와 사물인터넷을 활용하여 화재 피해 예방을 위한 탐지 및 진화 기능을 수행할 수 있는 스마트 스프링클러 시스템을 제안한다. 데이터를

엣지 단말에서 실시간으로 분석하여 정밀한 관수와 초기 화재 탐지 및 진화를 동시에 수행하여 토양 수분 공급과 화재 피해 예방을 하나의 시스템을 통해 달성할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 제안하는 시스템에 대한 구성 및 동작 방식과 기능을 설명하며, 마지막으로 3 장에서 결론 및 향후 연구에 대해 논한다.

II. 본론

본 장에서는 제안하는 스마트 스프링클러 시스템에 대한 전체적인 구성 및 동작 방식과 기능을 설명한다.

II.1 스마트 스프링클러 시스템 구성 및 동작 방식

그림 1 은 제안하는 시스템의 아키텍처를 나타낸다. 아키텍처는 스프링클러, 엣지 AI 노드, 클라우드로 구성된다. 다음은 각 구성요소에 대한 설명이다.

- **스프링클러:** 스프링클러에 내장된 카메라를 통해 주변 상황을 모니터링하며 이미지를 엣지 노드로

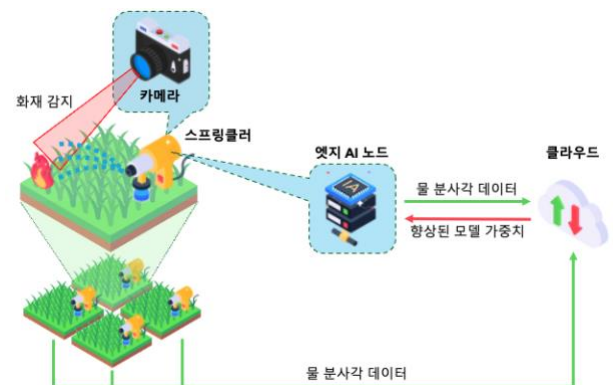


그림 1. 스마트 스프링클러 시스템 아키텍처

전달한다. 스프링클러는 두 개의 모터를 통해 수평 및 상하 360 도 회전이 가능하며, 노즐을 조절하여 분사 및 직사 주수를 수행할 수 있다.

- **엣지 AI 노드:** 스프링클러로부터 전달받은 이미지에서 화재를 감지하여 스프링클러의 노즐과 모터를 조절하여 해당 위치에 물을 분사하도록 한다. 이후 물의 진행 방향이나 도달한 위치에 대한 정보를 수집하여 클라우드로 전송한다.
- **클라우드:** 여러 구역에 위치하는 스프링클러들의 엣지 AI 노드들로부터 물 분사에 대한 데이터를 전달받아 분석한다. 이후 최적의 모델 가중치를 설정하여 엣지 AI 노드들에게 전달한다. 이를 통해 물 분사의 정확성을 지속적으로 향상시킬 수 있다.

시스템은 다음과 같이 크게 4 가지 단계를 거쳐 동작한다.

1. **화재 모니터링:** 스프링클러에 위치한 카메라가 주기적으로 회전하며 화재 및 이상 징후를 수집한다. 이미지에서 화재를 검출하여 화재 상황을 판단한다.
2. **분사각 설정 및 분사:** 화재 검출 시 해당 화재 영역에 물이 닿을 수 있도록 엣지 노드의 AI 모델이 스프링클러의 노즐과 모터를 제어하는 명령을 내리고 화재가 진압될 때까지 분사를 수행한다.
3. **피드백:** 분사되는 물의 방향과 물이 닿는 지점을 스프링클러의 카메라를 통해 수집하여 화재 영역에 물이 닿을 수 있도록 실시간으로 위치를 조절한다.
4. **모델 업데이트:** 물의 궤적과 방향에 관한 데이터를 통해 여러 AI 모델 중 가장 성능이 좋은 모델의 가중치를 다른 스프링클러의 AI 모델로 전달하여 물 분사의 정확성을 높일 수 있는 데이터셋을 확보한다.

II.1 스마트 스프링클러 시스템 핵심 기능

제안하는 스마트 스프링클러 시스템은 평상시 일반 관수 모드를 유지한다. 토양이나 기상 센서가 수집한 데이터를 엣지 AI 노드가 분석하여 구역별 수분 편차를 보정하며 물을 분사한다. 이때 스프링클러에 장착된 카메라가 지속적으로 주변을 실시간으로 모니터링 하며 담배꽂초, 불씨, 연기 등의 화재 징후를 탐지한다.

작은 화재가 탐지되면 시스템은 국소 진화 모드로 전환한다. AI 모델이 불씨를 식별한 뒤 좌표를 반환하면 제어 알고리즘이 스프링클러가 해당 좌표를 향하도록 모터 및 노즐을 제어하고 집중 분사한다. 분사를 수행하면서 동일 지점을 지속적으로 모니터링하여 잔여 열원 등이 없는지 확인하여 확실히 제거될 때까지 분사한다. 이후 일반 관수 모드로 복귀한다.

그림 2 는 제안하는 시스템의 기능 중 하나인 수막 형성 모드를 나타낸다. 화염 면적이나 연기가 임계치를 넘어서는 대형 화재 징후를 감지하면 최초로 감지한

스프링클러가 주변에 위치한 스프링클러에게 화재 상황을 전파한다. 이후 화재 방향을 향해 동시에 분사를 시작하고, 수막을 형성함으로써 복사열과 유해가스 확산을 차단한다. 이후 화재가 어느정도 진압되면 각 스프링클러는 국소 진화 모드로 전환하여 잔불을 제거한다. 이를 통해 주거 밀집 지역이나 인화 물질 보관소처럼 불길이 급격히 번질 수 있는 환경에서 화재 확산을 효과적으로 억제한다.

III. 결론

본 논문은 관개 시스템에 화재 대응을 통합하기 위해 AI 와 사물인터넷을 활용한 스마트 스프링클러를 설계하였다. 제안한 시스템은 영상 데이터를 엣지 AI 노드에서 실시간 분석해 일반 관수와 두 가지 화재 대응 모드로 자동 전환한다. 이를 통해 화재로 인한 피해를 예방할 수 있음을 개념 설계 수준에서 확인하였다.

관수와 화재 초기 진압 기능을 통합한 관개 시스템은 효과적인 해결방안이 될 수 있다. 그러나 산과 같이 스프링클러가 설치되지 않은 곳이 많다는 한계가 존재한다. 따라서 지속적인 연구를 통해 낮은 비용으로 효과를 볼 수 있는 시스템을 개발하여 설치 구역을 확대하는 등의 해결 방안이 필요하다.

향후 연구에서는 다양한 AI 모델을 비교·선정하여 검출 정확도와 추론 지연을 최적화하고, 성능 검증을 위한 프로토타입을 제작할 예정이다. 또한, 효율적인 농업 용수 활용을 위한 관개 최적화 기능을 추가할 계획이다. 이를 통해 농업·조경·스마트시티 현장에서 수자원 절감과 화재 안전성을 향상시키는 모델로 활용될 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-대학 ICT 연구센터(ITRC)의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2025-RS-2021-II211816). 교신저자 (송재승 교수)

참 고 문 헌

- [1] McAllister, Sara, Stephen Williams, and Ian Grob. "Can "Fire Safe" Cigarettes (FSCs) Start Wildfires?." Fire Technology (2025): 1-28.
- [2] Geetha, S., C. S. Abhishek, and C. S. Akshayanat. "Machine vision based fire detection techniques: A survey." Fire technology 57.2 (2021): 591-623.
- [3] Pincott, James, et al. "Indoor fire detection utilizing computer vision-based strategies." Journal of Building Engineering 61 (2022): 105154.

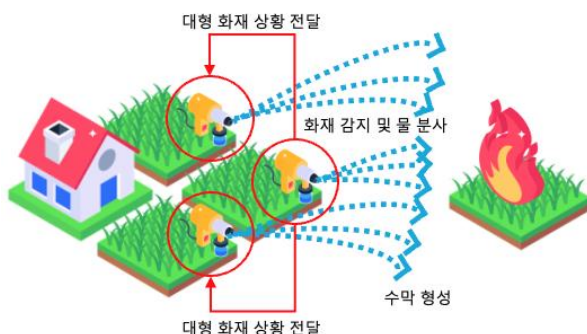


그림 2. 스마트 스프링클러 수막 형성 기능