

초고층 화재 초기 대응을 위한 분사용 드론 프로토타입 개발에 대한 연구

이종훈*, 서지영*, 진주원*, 이광성*, 박영진**, 남현우**, 김강민**

*건양대학교 재난안전소방학과

** (주)인퓨전

e-mail : jawai73@konyang.ac.kr

A Study on the Development of Spray Drone Prototype for Initial Response to High-Rise Fire

Ji-Young Seo*, Jong-Hun Lee*, Ju-An Jin*, Kwang-Seung Lee*, Young-Jin Park**,
Hyun-Woo Nam**, Kang-Min Kim**

*Department of Disaster Safety & Fire fighting, Konyang University

** Infusion Inc.

요약

소방차 및 소방대원의 접근이 제한되는 초고층 건축물의 초기 소방 대응 활동의 문제점을 확인하고 이에 대한 대책으로 분사형 드론을 활용하여 신속한 초기 대응 성능을 시험하고자 했다. 초고층 건물의 경우 지표면에 인접한 저층 건물보다 기압, 바람 등의 영향을 크게 받으며 이러한 요소들로 인해 생성되는 기류에 의해 드론 컨트롤의 어려움이 있다. 이에 대응하기 위하여 기체 무게 감량 및 노즐의 상하좌우 각도 변환을 가능하게 하여 비행 능력의 한계를 보완하고 소화기 분사 시 생성되는 반동에 대한 감가 장치를 장착하였다. 화재 발생 지점에서의 자동 경로를 설정하여 화재 실증 시나리오를 수행함으로써 소방차와 드론의 화재지점 도달 속도를 비교하여, 직접 분사를 통해 유효분사 거리 및 최대분사 거리를 도출해내었다. 본 연구에서 실험을 통해 도출한 드론의 신속성 및 분사 능력 결과가 고층 건축물 등 화재 시 접근이 제한되는 지역의 직접 소화 활동에 대하여 선작용 할 수 있기를 기대한다.

1. 서론

오늘날 국내 초고층 건물이 갈수록 증가하고 있으며, 2017년을 시작으로 국내에도 400m 이상의 건축물이 완공되기 시작했다. 초고층 건물은 제한적인 수직 통로로 인한 피난 문제, 소방대원의 화재 현장 접근성, 사다리차를 이용한 소방 활동 높이의 한계 등으로 인하여 소화 활동에 어려움이 발생하게 된다. 2022년 1월 춘천 49층 신축공사 아파트 화재를 보면, 고층에서 발생한 화재로 인해 소방차의 물줄기가 닿지 않아 소방대원들은 직접 소화기와 펌프차에 연결한 호스를 들고 49층까지 뛰어올라야만 했다.

화재지점 접근성에 대한 문제는 건축물의 고층화에만 국한되는 것은 아니다. 고밀도로 지어진 주택가들의 과도한 개인차량 및 불법 주차 등 소방차 진입을 직접적으로 막는 요소들이 존재하며 적은 진입 통로의 수로 인하여 원활한 진입이 제한되는 경우가 있다. 2015년 의정부 도시형생활주택 화재는 불법 주차로 인해 혼잡해진 도로에 의해 소방차의 진입이 지연됐고 화재 확산으로 인해 사상자 130명이 발생하였으며 2009년 부산 실탄사격장 화재에서는 해당 건물이 좁은 길목에 위치 해있어 소방차가 진입할 수 없었다.

2017년 서울시 화재 대응력 향상방안 연구 결과에 따르면 소방 골든타임 이후 화재 현장 도착 시 재산 및 인명 피해가 3배 증가한다는 결과가 있으며[4], 화재 발생 후 5-8분 사이 플래시오버(Flashover) 이후 연소가 가장 활발히 일어나는 최성기에 접어들는데 이는 초기 소화를 성공시켜야 하는 주된 이유이다.

본 연구에서는 대형 화재 확산을 방지하기 위하여 드론을 이용하여 접근이 어려운 고층 건축물과 화재 발생 지점에 신속한 출동을 통한 초기 소화 활동을 직접 수행하기 위한 초고층 소화 드론 Prototype과 그 저지 효과에 대한 실증을 실험하고 유효사거리와 지속 가능 시간을 확보하는 것에 있다.

2. 초고층 화재의 특성과 드론 문제점

2.1 초고층 화재 특성

초고층 건물은 주변 지상층 공원과 거리조형물, 불법주차 차량이 많고, 화재 시 유리 파편과 낙하물의 위험성에 노출되어 접근에 많은 어려움이 있다[6]. 인근 피해자와 사다리차의 접근과 전개, 특히 15층 이상 접근은 사전 작업에 많은 시간 소요가 발생하며 초고층 특유의 바람의 영향에 따른

Draft 효과가 나타나 화재진압이 더욱 어렵다. 특히 상승기류와 함께 화재 속도가 외부 외장재를 통해 상승으로 빠르게 확산하며, 많은 인명과 재산피해를 만든다. 외부 화재 확산의 사례는 [표 1]과 같다.

[표 1] 초고층 건물 화재 사례

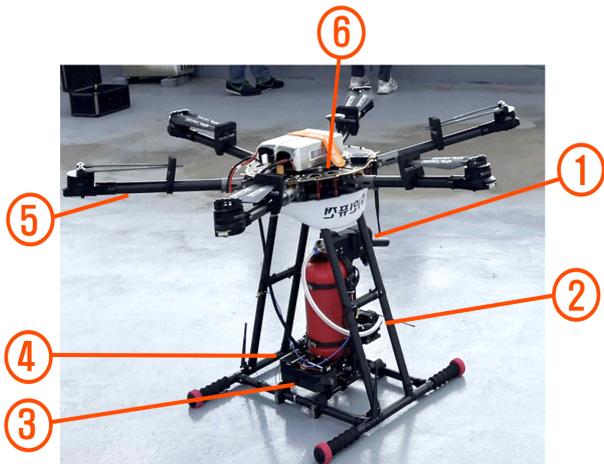
년 도	이름	주요 화재 유형
1988	First Interstate Bank 화재	외주 창을 통한 연소 확대
1993	World Trade Center 화재	샤프트를 통한 연돌효과
2010	우신골든스위트 화재	외벽 외장재의 급격한 연소
2013	하소동 아파트 화재	외주 창을 통한 연소 확대

2.2 드론의 문제점

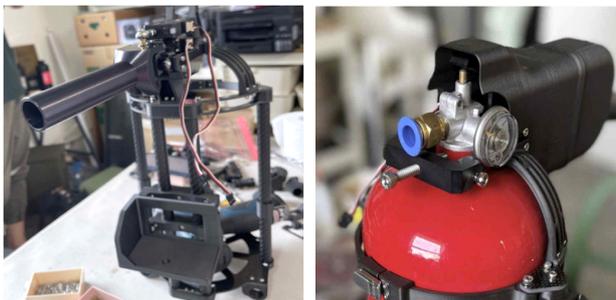
초고층 건물은 기압, 바람, 온도 기후 등에 비교적 큰 영향을 받으며 화재 시 급격한 부력현상으로 화재가 수직상승하고, 건물 내 엘리베이터 및 개구부 등으로 연돌효과가 발생하여 화재가 급격히 확산 될 수 있다. 이러한 환경에서 드론의 접근은 기류들 때문에 컨트롤의 어려움이 있다. 따라서 화재 접근성을 위해서 충분한 유효사거리를 확보해야 하며 상승기류의 흔들림에 대응하기 위해 분사 노즐의 방향과 각도 등을 조절해야 한다.

3. 분사형 소화 드론 구현

3.1 기체 모듈 제작



소화기 분사형 드론



①오닉스와 카본을 이용한 경량화



③높이 및 틸트 가능한 열화상 카메라 마운트



⑤LED 라이트(야간비행)

②분사트리거, 노즐 구동부 일체형 구조로 제작



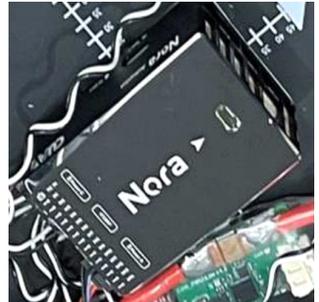
④열화상 카메라 장착



⑤LED 라이트(야간비행)



⑥하네스 작업



⑥FC(NORA) 방진작업

[그림 1] 소화기 분사형 소방 드론

기체 제작 과정에서는 소화기 장착형 소방 모듈을 제작하였으며 카본재질의 오닉스를 이용하여 파트제작 무게감량, 소화기 분사 밸브를 트리거 방식으로 구조단순화를 하였다. 화재 현장 접근은 Way point 자동 비행을 하였으며 지상 통제장비를 이용한 기체 제어 및 기체 상태를 확인하였다.

야간 소방 임무 수행을 위해 열화상 카메라를 장착하였으며 카메라의 높이를 조절하기 위해 높이 및 좌우 경사각 변경이 가능한 카메라 마운트를 설치하였다. 소화기 분사 시 발생하는 반동을 해소하기 위하여 소화기 분사 노즐에 반동 감가장치를 장착하였다.

3.2 화재 실증 시나리오

실험은 21년 10월 14일 오후 2시, 바람은 10-12m/s에서 화재진화 실증 시나리오를 진행하였으며 시나리오는 [표2]와 같다

[표 2] 화재 실증 시나리오

화재 실증 시나리오	
1	남사 시민야구장 인근 화재 발생
2	남사구 소방차 출동 (1.9km / 도착시간 약 7분)
3	소방드론 출동하며 항공관제 시작, 현장 상황 전송
4	119센터 내 관제소 판단하에 소방차 도착 전 드론으로 선제 조치 시행명령 전달
5	초기진화 및 확산 방지를 위해 발화지점 직접 분사 실시
6	상황 종료까지 관제 실시, 주변 온도 및 잔불 여부 모니터링



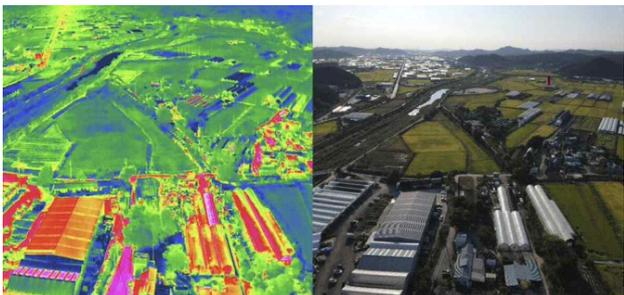
소방차 출동 경로 (1.9km) 드론 출동 경로 (1.2km)

[그림 2] 화재 실증 경로

소화기 분사형 드론 실증



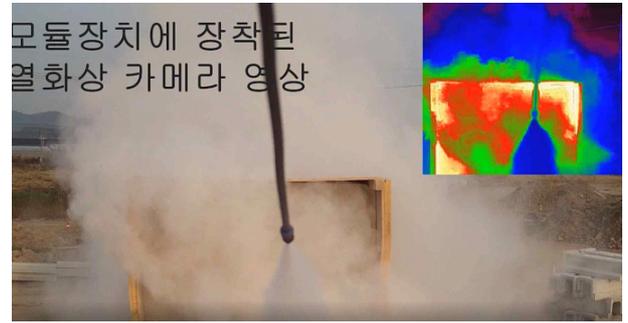
소방차와 분사 드론 동시 화재지역 출발
드론: 약 4분(Wind shear 안전상 속도제어)
소방차: 약 7분(긴급 출동 시 6분)



드론에 장착된 열화상 카메라로 화재목표지역 영상 확보



비행 중 소화기 분사 장치 실증



전방 카메라를 통해 발화점 확인 후 분사
[그림 3] 소화기 분사형 드론 비행 및 소화 능력 실증

4. 시험 결과 분석

화재가 확산하여 건물의 외부와 외벽으로 화염이 분출되면, 최대한 거리를 두고 분사하여 화재가 위층으로 확산하는 것을 지지하여야 한다. 또한 분사 시간을 최대한 확보하여 소화기 교체시간을 줄여 화재의 확산을 초기에 진압해야 한다.

기존 가정용 소화기를 드론에 장착하여 기존성능(약 7-10초)을 소화기 압력증가와 노즐의 크기조정을 통하여 분사 거리를 상향 조정하였으며 최대 기존소화기 성능의 2배인 20초간의 유효분사를 목표로 하였다.

화재 발생 시 인근 지역의 상승기류 형성으로 드론 비행에 어려움이 따르기 때문에 분사각도 조절을 통한 열원과의 거리와 방향 조절을 가능하게 하였다. 성능지표와 결과는 [표 3]과 같다.

[표 3] 화재 실증 결과

성과 목표	성과지표	구분	목표치	결과
분사 거리	직접분사 2m(유효분사거리)	1차	50%	100%
	직접분사 4m(유효분사거리)	2차	70%	100%
	직접분사 5m(유효분사거리)	최종	100%	100%
분사 시간	직접 분사시간 10초(유효분사시간)	1차	50%	100%
	직접 분사시간 15초(유효분사시간)	2차	70%	100%
	직접 분사시간 20초(유효분사시간)	최종	100%	100%
분사 각도	분사방향 하방 (TILT)	결과	45°	100%
	분사방향 좌/우 (PAN)	결과	60°	100%



[그림 4] 비행 중 소화기 분사 거리 실증

5. 결론

최근 초고층 건축물의 증가와 함께 초고층 화재 발생 시 초기 대응과 진화에 대한 관심이 증가하고 있다. 접근이 어려운 초고층 건물 화재 발생 시 드론 기체를 활용한 신속한 접근 및 초기 대응이 필요하며 분사식 소화 모듈을 통해서 실증을 시도하였다.

화재 발생 실험을 통해서 드론은 소방차보다 신속하게 현장을 접근하였으며 시간을 절반으로 단축하였다. 그리고 소방차가 도착하기 전 화재 진화를 시도하였다. 화재 인근 지역의 상승기류와 접근의 어려움을 분사 드론의 유효 분사거리를 확보를 통해서 드론의 안정성을 확보하였고 유효 분사시간을 늘려서 소방차가 도착하기 전 신속한 초기 대응으로 초기 진압의 지속성을 유지하였다.

감사의 글

본 연구는 2021년 충북과학혁신원의 지원을 받아 수행한 '도시안전 SOS랩 구축 및 SW서비스 개발' 사업 성과로 관계 기관과 부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 국토교통부, 건축물통계, 2021
- [2] 우성천, 채진, “초고층 건물의 효과적인 화재진압 전술에 관한 연구”, 한국위기관리논집 제9권 제1호, 2013
- [3] 하강훈, 김재호, 최재욱, “소방 분야의 드론 활용방안 연구 경향 분석”, 한국산학기술학회논문지 제22권 제4호, 2021
- [4] 원종석, “서울시 화재 대응력 향상방안”, 2017
- [5] 유동훈, “가상 화재 상황의 초고층 건물 진입에 따른 소방 공무원의 생리학적 반응”, 2014
- [6] 한종우, “초고층 건축물의 피난설비와 소방 안전 대응 관리에 관한 연구”, 2013
- [7] 변상호, “초고층 건물의 화재와 소방 전술”, 1996