

# 산불 확산 방지를 위한 방화선 구축용 소방드론에 관한 연구

김승한\*, 한은상\*, 문지원\*, 진주완\*, 박영진\*\*, 남현우\*\*, 김강민\*\*

\*건양대학교 재난안전소방학과

\*\* (주)인퓨전

e-mail : jawai73@konyang.ac.kr

## A Study on the Fire Drone for the Construction of Fire Line to Prevent the Spread of Wildfire

Seung-Han Kim\*, Eun-Sang Han\*, Ju-An Jin\*,

Young-Jin Park\*\*, Hyun-Woo Nam\*\*, Kang-Min Kim\*\*

\*Department of Disaster Safety & Fire fighting, Konyang University

\*\* Infusion Inc.

### 요약

국내 산림분포는 산불화재에 매우 취약하기에 산불화재가 발생하면 심각한 인명과 재산피해로 직결된다. 따라서 산불화재 확산 방지 및 민가와 주요 시설물 보호를 위한 방화선 구축이 요구된다. 그러나 현재의 방식은 인력이 직접 갈퀴 등을 이용한 원시적인 방법으로 방화선 구축작업을 하기에 한계가 있어 신속한 대응 시스템이 필요하다. 이에 본 논문에서는 부족한 인력과 장비 대신 접근성이 용이하고, 신속 대응이 가능한 '소화탄 투하 드론'을 이용한 방화선 구축 방안을 제시하였다. 6개의 소화탄이 탑재 가능한 연속 소화탄 모듈을 구현하고, GCS(Ground Control System)와 RTK(Real Time Kinematic)를 이용해 정확한 지정경로(Way Point) 자동 비행을 통해 화재확산 방지를 위한 방화선 구축가능성을 실험하였다.

## 1. 서론

우리나라 산림 분포는 62.6%이며, 이 중 송진으로 화재 확산이 빨리 진행되는 침엽수림이 36.9%로 차지하고 있어 산불화재에 매우 취약하다[1]. 산림청의 2021년 산불통계연보 조사에 따르면 지난 10년간 평균 481건의 산불이 발생하였으며, 1,087ha의 산림이 소실되었다[2]. 최근 전 세계적으로 대형 산불이 자주 발생하고, 국내에도 대형 산불이 잇따라 발생하여 많은 인명과 재산 피해를 야기하고 있다.

2019년 4월 고성에서 시작된 산불은 절단된 전선과 전신주의 접촉으로 아크가 발생하여 확산하였고, 이로 인해 산림피해 면적은 1,757ha, 주택 401채, 공공시설 68곳으로 심각한 재산 피해가 발생하였다. 2022년 3월 울진에서 발생한 산불은 산림 피해 면적만 24,940ha이며, 울진군 4개 읍면과 삼척시 2개 읍면이 불에 타는 등 산림청의 체계적인 산불 피해 통계를 내기 시작한 1986년 이후 최대 규모이다.

상기와 같이 산불은 매우 큰 피해를 유발하지만, 원천적으로 산불을 예방하는 것은 많은 한계가 따른다. 따라서 화재 초기 진압, 화재 방화선 구축 등 신속한 대응체계가 마련되어야 하며, 화재 확산 방지, 문화재 보존, 그리고 원자력 발전소 안전 등 주요 시설물을 보호하기 위한 초기 방화선 구축은 중

요한 산불대응전략이다. 하지만, 현재 인력과 장비의 부족으로 인해 산불화재 확산방지를 위한 방화선 구축작업에 난항을 겪고 있다. 산불화재지역의 면적이 넓고 산악지형이라 인력으로 직접 방화선을 구축하는 것에 체력적 한계가 있다. 이에 초기 방화선 구축을 위한 드론의 활용은 인력부족과 소방관의 체력적 한계에 효율적으로 기여할 수 있다[3].

이에 본 논문에서는 산불화재 초기 화재 확산 방지를 위한 방화선 구축용 소방드론(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)을 제시하고 6개의 소화탄이 탑재 가능한 연속 소화탄 투하 모듈을 구현하였다. 또한, GCS(Ground Control System)를 이용한 다중 드론 운용과 RTK(Real Time Kinematic)을 이용한 정확한 지정경로(Way Point)를 통하여 2차 방화선 구축 실험시험 및 소화탄 투하 정확성 성능시험을 수행하여 화재 확산 방지를 위한 방화선 구축가능성을 실험 검증하였다.

## 2. 산불화재 특성 분석

### 2.1 산불화재 현황 분석

산불화재는 발생 예측이 어렵고, 기후변화 영향 등으로 인한 산불위험 요인이 증가하는 추세이다. 표 1과 같이 산불화재는 해마다 빈번히 발생하여, 인명과

재산피해를 야기한다. 2012년부터 2021년까지 총 4,809건의 산불화재가 발생했으며, 사상자 145명, 피해 금액 664,956백만원으로 심각한 실정이다. 이와 같은 산불화재의 피해를 예방하기 위해서는 신속한 대응체계가 요구되고 있다.

[표 1] 산불화재 현황 통계

년 도	2012	2013	2014	2015	2016
건 수	197	296	492	623	391
면적(ha)	72	552	137	418	378
사상자(명)	2	36	10	7	6
금액(백만원)	2,541	25,020	9,285	20,480	15,721
년 도	2017	2018	2019	2020	2021
건 수	692	496	653	620	349
면적(ha)	1,480	894	3,255	2,920	766
사상자(명)	17	30	16	7	14
금액(백만원)	80,150	48,583	268,910	158,141	36,125

## 2.2 산불화재 특성 분석

산불화재는 수많은 인명과 재산피해를 발생시키기 때문에 신속히 대응할 수 있는 체계를 강구해야 한다. 그러나 현재 산림항공본부가 보유한 헬기는 총 47대뿐이다[4].

2022년 3월 발생한 동해안 산불화재 사례를 보면, 현장에 투입된 헬기는 전체 중 41%인 21대에 불과했으며, 초대형 헬기 등을 비롯한 26대는 정비로 인해 운항이 제한됐다. 투입된 헬기 21대는 산불화재 진압에 가용하고 야간에는 헬기 운용에 차질이 있어 산불화재 확산 방지를 위한 방화선 구축은 지상 진화대원이 직접 갈퀴를 이용해 작업하는 실정이다. 국내 산림분포는 산불화재에 취약하고 산악이라는 지형 특성상 인력을 이용한 방화선 구축에 한계가 있다.

## 3. 방화선 구축을 위한 소방드론 구현

### 3.1 이론적 배경

산불화재 확산 방지를 위해서는 정확한 경로비행 및 다수의 소화탄을 이용한 방화선 구축을 위해 연속적인 소화탄 투하장치가 반드시 필요하다.

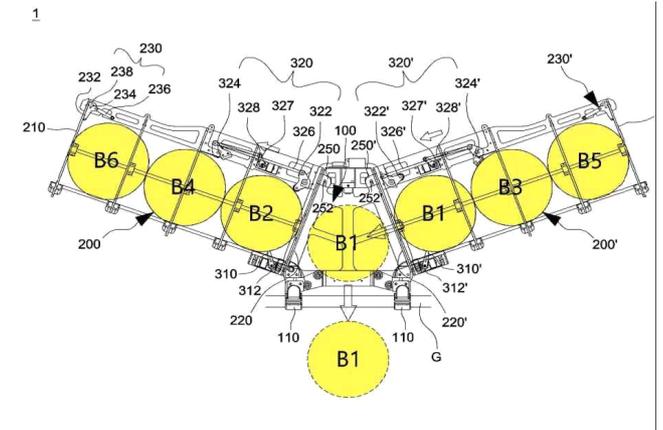
선행연구를 살펴보면, 쿼드콥터(Quad-copter) 제어에 필요한 위도, 경도 정보를 얻기 위해 사용하는 일반적인 GPS와 정밀한 위치정보 획득에 사용되는 RTK-GPS를 활용하여 성능을 비교하는 실험을 진행했으며[5], GPS보다 RTK-GPS의 사용으로 정밀한 위치정보값을 취득할 수 있었다. 또한, 소화탄 탑재 드론

으로 영상·열화상 이미지 정보 기반의 딥러닝을 활용하여 사용자가 지정한 화재원점 추적 및 소화탄 투하 평가시험을 진행했지만[6], 연속적인 소화탄 투하가 아닌 1개의 소화탄만 투하하였다. 현재 연속 소화탄 투하 드론을 이용한 방화선 구축과 관련된 신뢰성 연구는 부족한 상태이다.

### 3.2 방화선 구축용 소방드론 Prototype 구현

이에 본 논문에서는 GCS 및 RTK를 이용해 정확한 지정경로 자동 비행 및 방화선 구축을 위한 연속적인 소화탄 투하 소방드론을 제시한다.

소화탄 투하 Module은 그림 1과 같이 6개의 소화탄을 탑재할 수 있는 Y자 형태의 Frame으로 구성되어 있고, 소화탄 1개의 무게는 1.3kg, 총 7.8kg의 소화탄을 탑재할 수 있다. Frame은 카본재질의 오닉스를 이용하여 파트제작의 무게를 감량했고, FC 제어장치에 진동에너지 흡수를 위한 방진작업을 했으며, 소화탄 투하 시 드론밸런스 유지를 위한 호버링(Hovering) 기술을 사용하였다. 또한, 주·야간 예찰을 위해 수목의 종류 및 분포형태를 파악하는 Multispectral 카메라와 열화상 카메라를 장착하였다.



[그림 1] 소화탄 투하 Module 설계도면

다중 드론 운용을 위한 GCS(지상관제시스템) 장치는 윈도우10 NUC7CJYH(mini PC)를 사용했으며, 15inch 모니터 및 소화탄 투하위치 확인용 5inch 모니터를 별도 장착하였다. 또한, 실시간 위치정보 시스템(RTK-GPS utilizing LTE networks)을 구축해 지정 경로(Way Point)의 정확도를 향상시켰으며, 자동비행 경로 생성 Program인 Mission Planner를 사용하였다.

## 4. 방화선 구축을 위한 소방드론의 실증 및 결과 분석

### 4.1 실증 조건

본 논문에서는 소화탄 투하 정확성 시험 및 화재 확산 방지 실증시험(방화선 구축)을 위해 안산시 단원구 초지동 666-2 공터를 실증대상지로 선정하였다. 2021년 12월 10일 실증시험을 진행하였으며, 기상 상태는 흐림, 풍속 4m/s로 실증시험에 제약 없는 환경이었다.

실험1에서는 고도별 소화탄 투하 정확성 시험을 위해 1.2m<sup>2</sup> 나무상자를 설정하여 소화탄 투하 실증시험을 진행하였다. 실험2에서는 방화선 구축 실증시험을 위해 화재 발원지를 설정하고, 1차 방화구역(15m x 1.5m) 및 2차 방화 구역(15m x 1.5m)을 설정하여 실증시험을 진행하였다.

### 4.2 실증 방법

고도별 소화탄 투하 정확도 성능시험을 위해 1대의 소화탄 탑재 드론을 사용하였다. 풍속 5m/s 이하 조건에서 10m, 20m, 30m, 40m, 50m 고도별로 그림 2와 같이 나무상자(1.2m x 1.2m)안에 소화탄을 투하하였다.



[그림 2] 소화탄 투하 성능시험

화재 확산 방지를 위한 방화선 구축 실증시험은 2대의 소화탄 탑재 드론을 사용하였다. 그림 3과 같이 GCS(지상관제시스템)로 다중 드론의 자동경로를 생성하고 임무경로를 확인하였다.



[그림 3] GCS를 이용한 다중드론 비행경로 설정

먼저 1차 드론이 500m 선회 후 1차 방화선 구역에 1.5m 간격으로 6개의 소화탄을 투하하고, 3분 간격을 두고 2차 드론을 운행해 2차 방화선 구역에 1.5m 간격으로 6개의 소화탄을 투하시켜, 1차·2차 방화선을 구축하였다.

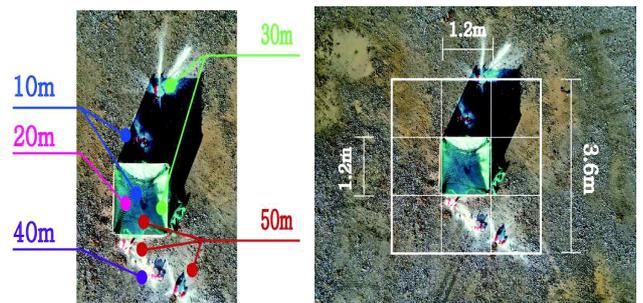


[그림 4] 1차 방화선 소화 실증

소화 실증 후 그림 4와 같이 1차 방화선에 투하한 소화탄은 화재가 소화탄 근처에 인접 폭발하였고, 화재는 진화되었다. 2차 방화선에 구축한 소화탄은 남아 있어 화재 확산 방지를 위한 방화선 구축을 확인하였다.

### 4.3 실증 결과

상기 소화탄 투하 정확도 성능시험 방법에 따라 고도별 소화탄 투하 결과는 그림 5와 같다.



[그림 5] 고도별 소화탄 투하 위치

나무상자(1.2m x 1.2m) 안과 주변 경계(3.6m x 3.6m) 안에 고도별(10m, 20m, 30m, 40m, 50m)로 투하한 소화탄이 적중한 것을 확인하였다. 고도에 따른 소화탄 투하 위치를 비교하였을 때, 차이가 거의 없었으며, 경계 범위(3.6m x 3.6m) 내 투하 적중 목표치에 100% 달성하였다.

상기 방화선 구축 실증 시험방법에 따라 소화탄 투하 드론 운행, 소화탄 투하 시 고정 호버링, 소화탄 6개 투하 성공률, RTK 경로 정확성, GCS 지상관제시

스택의 시험 결과는 표 2와 같다.

[표 2] 방화선 구축용 소화탄 투하 드론 수행 결과

항 목	목표치	수행 결과
임무장비	소화탄 투하 드론	100%
투하 시 드론 밸런스	고정 호버링	100%
투하 모듈	소화탄 6개 x 드론 2대	100%
RTK	경로 정확도	90%
GCS	지상관제 시스템	100%

실증시험 결과를 분석하면, 소화탄 투하 드론 및 GCS 지상관제시스템의 정상 작동을 확인하였고, 소화탄 투하 시 드론 밸런스 유지를 위한 고정 호버링 작동이 확인되었고, 6개의 소화탄이 연속적으로 정상 투하하였다. RTK 경로 정확도는 GPS사용 드론에 비해 정확하지만, 기상환경과 태양 상태에 따라 유동성이 있으며, 위성신호를 사용하기에 10cm 이내 오차율을 보여 90% 달성하였다.

## 5. 결 론

산불화재는 매해 빈번히 발생하고 있으며, 국내 산림분포는 산불화재에 매우 취약하기에 산불화재가 발생하면 심각한 인명과 재산피해로 직결된다. 따라서, 산불화재 확산 방지 및 민가와 주요 시설물 보호를 위한 방화선 구축이 요구된다. 그러나 현재의 방식은 인력이 직접 갈퀴 등을 이용한 원시적인 방법으로 방화선 구축작업을 하기에 한계가 있어 신속한 대응체계가 필요하다.

이에 본 논문에서는 지상진화대원의 방화선 구축작업 투입 전 산불화재 초기에 화재확산 방지 및 지연을 위한 방화선 구축용 드론을 제시하고, 6개의 소화탄이 탑재 가능한 연속적 소화탄 투하 모듈을 구현하였다. 또한, GCS(Ground Control System)를 이용한 다중 드론 운용과 RTK(Real Time Kinematic)을 이용한 정확한 지정경로(Way Point)를 통해 화재확산 방지에 유용함을 확인하였다.

상기 수행한 실증을 통해 소화탄 투하 시 정확도를 평가하였고, 목표치에 100%를 상회하는 결과를 도출하였다. 또한, 방화선 구축 실증시험을 통해 연속적인 소화탄 투하 정확성, 투하 시 호버링 성능, RTK 지정

경로의 정확도, GCS 성능 등을 평가하였으며, RTK 지정 경로를 제외한 나머지 항목에서 목표치에 100%의 결과를 도출하였다. 이와 같이, 정확한 소화탄 투하를 통해 높은 고도에서도 균등한 진화 면적을 확보할 수 있고, 오조준 및 오발 사고를 미연에 방지할 수 있다. 또한, 방화선 구축실증 결과를 통해 연속적인 소화탄 투하를 확인하고, 다중 드론 운용으로 효과적인 초기 방화선 구축을 확인하였다.

향후 본 소방드론을 이용한 초기 방화선 구축을 통해 산불화재 확산 방지 및 민가와 주요 시설물 보호 등 신속한 대응으로 피해를 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 경기도, 안산시, 경기테크노파크의 재원으로 지원을 받아 수행한 ‘드론비즈니스 모델 발굴 및 실증사업’과 ‘안산시 행정연계 드론실증사업’의 성과로 관계 기관과 부처에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] 산림청, 산림기본통계, 2020
- [2] 산림청, 산불통계연보, 2021
- [3] 하강훈, 김재훈, 최재욱, “소방드론 도입에 따른 소방공무원의 인식과 드론의 운용 및 활용에 관한 연구 - 전라남도 소방공무원을 중심으로”, 한국산학기술학회 학회지, pp.332-340, 2021
- [4] 산림청, 산림항공본부, <https://fao.forest.go.kr>
- [5] 이상웅, 곽준영, 주백선, “RTK-GPS를 사용한 무인항공기의 자율비행 성능 실험”, 한국정밀공학회 학회지, pp.54, 2019
- [6] 이민재, 신상균, 김주연, 장승수, 한상수, 최찬호, 조우성, “산불의 효과적 진압을 위한 인공지능 및 영상기반 드론 임무제어 시스템”, 한국정보기술학회 학회지, pp.75-85, 2022