

고층 화재 진압을 위한 소방 드론의 시험 평가 방법 연구

최희도*, 정호전*, 장홍석*, 강지성*, 유정훈*, 박성호*, 김상환*

*한국산업기술시험원

e-mail:chd0408@ktl.re.kr

A Study on the Test Evaluation Method of Fire Drones for Extinguishing High-rise Fires

Hee-Do Choi*, Ho-Jeon Jeong*, Hong-Seok Jang*, Ji-Sung Kang*

Jeong-Hoon Yu*, Seong-Ho Park*, Sang-Hwal Kim*

*Korea Testing Laboratory

요약

최근 위험성이 높은 고층 건축물 화재에 대한 진압 대책이 요구됨에 따라 국내외에서는 드론을 활용한 고층 건축물 화재 진압 연구가 진행되고 있다. 다만 현재까지 드론 분야에 대한 검증 및 시험 평가 사례가 부족하며 소방 드론 시스템의 경우 일반적인 드론보다 특화된 임무를 요구함에 따라 구체화된 성능 입증의 필요성이 있다.

본 논문에서는 국내 소방법 및 드론 환경을 고려하고 국내외 무인이동체 관련 표준 규격 및 시험 평가 방법을 분석하여 고층 화재 진압을 위한 소방 드론 시스템에 적용할 수 있는 시험 평가 방법에 대해 연구하였다.

1. 서론

최근 우리나라는 도시 집중화로 인해 건축물들이 더욱 고층화되는 경향을 보이고 있다. 2023년 기준 31층 이상 고층 건축물은 전국에 4300동 이상 존재하고 있고, 지속적으로 증가 추세 또한 빨라지고 있어 고층 화재 발생 건수도 늘어나고 있다. 그에 따라 규모가 크고 진압 난이도가 상대적으로 높은 고층 건축물 화재 발생에 따른 문제가 대두되고 있다.

이러한 문제로 인해 고층 건축물 화재에 대한 진압 대책이 시급하다는 목소리가 나오고 있지만, 현재까지 국내 고층 건축물에서 발생한 화재를 진압할 수 있는 장비의 경우 23층 높이까지 화재 진압이 가능한 굴절사다리차 등이 있으나, 그 이상의 높이에서 발생한 화재의 경우 외부에서 진압할 수 있는 화재 진압 관련 장비는 구축되어 있지 않으며, 오로지 소방관이 직접 고층 높이까지 올라가서 진압하는 방법에 의존하고 있어 신속한 화재 진압이 어려운 실정이다.

이런 한계를 극복하기 위해 최근 드론을 활용한 고층 건축물 화재 진압 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있다. 소방 드론의 경우 현장에 적용 가능한 수준으로 개발되어 적용될 경우 매우 빠른 화재 작전이 가능하며 기존의 사다리차 운용 높이 한계를 뛰어넘을 수 있는 큰

장점이 있다.

이처럼 드론 분야는 활용될 수 있는 분야가 점차 늘어나고 활용 빈도가 높아지면서 제품 차원에서 개발품의 성능 검증 방안들이 제시되어야 할 필요가 있지만, 일반적인 범용 드론의 경우 특화된 임무 탑재 장비에 따라 다양한 임무 수행을 갖기 때문에 모든 드론에 적용할 수 있는 시험 검증 및 평가 절차를 개발하는 것은 매우 까다로운 일이며, 국내 관련 법 및 연구 개발 실정을 고려하면 초기 개발 단계에서는 맞지 않을 수 있기 때문에 드론의 특화된 임무에 맞는 적합한 시험 항목 및 절차를 선정할 필요가 있다.

다만 현재까지 드론 분야에 대한 검증 및 시험 평가 사례가 부족한 상황이며, 특히 소방 드론 시스템은 일반적인 드론보다 더욱 특화된 임무를 갖고 있어 더욱 구체화된 성능 입증의 필요성이 예상되기에 다양한 분야의 전문가, 관계자들로부터 관련 시스템이 안전하게 설계, 제작되어 비행할 수 있다는 것을 입증할 필요가 있다.

본 연구에서는 이를 고려하여 사용 목적이 충분하고 개발 목표 및 요구도가 도출되어 있는 상태이며, 현재 국내 드론 관련 항공법에 맞는 항공법에서 정한 무인항공기 중 150kg 미만의 초경량비행장치 안정성인증에 해당하는 수직이착륙 방식의 멀티콥터 형태로 개발 중인 소방 드론을 대상으로 적용할 수 있는 시험 평가 방법에 대해 연구하였다.

2. 국내외 관련 규격 및 기술 분석을 통한 시험 평가 방법 분석

현재까지 개발된 무인이동체 및 소방 장비 관련 표준 등을 바탕으로 현재 개발 진행중인 고층 건축물 화재 진압용 드론에 적합한 규격의 시험 평가 항목 및 절차, 기준 등이 마련될 필요가 있다. 이를 위해서는 멀티콥터형 드론 및 각종 소방 장비 관련 표준 규격들에 대한 검토가 필요하다.

최근 급격하게 성장하고 있는 드론 산업의 표준화 수요에 따라 많은 표준들이 개발되고 제정 중에 있으며 최신 규격들을 수집하여 다음과 같은 표준들을 참고할 수 있었다.

표 1 관련 규격 및 기술 자료 (요약)

규격명	제목
KS W 9001	무인항공기 시스템 - 무인동력비행장치의 설계
S-KORAS-KI MM-259	산업용 소형 멀티콥터 무인기 시험
ISO 4358	민간 멀티콥터 무인항공기 시스템 시험
ISO 5110	풍우 조건에서 멀티콥터형 무인항공기 시스템의 비행 안전성 시험
ISO 5305	무인항공기 시스템에 대한 소음 시험
ISO 5309	민간 소형 경량 무인항공기 시스템 진동 시험
ISO 21384	무인항공기 시스템 시리즈
ISO 24356	유선 무인항공기 시스템 일반 요구사항
IEC 60068	환경시험 시리즈
IEC 60529	위험의 밀폐 보호등급 구분
ASTM F3298	경량 무인항공기 시스템(UAS)의 설계, 제작 및 검증을 위한 표준 사양
ASTM F3389	소형 무인항공기 충격의 안전성 평가에 대한 표준 시험
MIL-STD-810F	환경공학 고려사항과 실험실 시험에 대한 표준 시험
NFPA 2400	공공 안전 운영을 위한 소형 무인항공기 시스템
RTCA DO-160F	항공 장비에 대한 환경 조건 및 시험 절차
소방청고시 제2022-27호	관창의 형식승인 및 제품검사의 기술기준
KFS-2-0025-2020-01	소방용 관창 표준 규격
KFI 규칙 제803호	소방 장비 등의 검사 등에 관한 운영규칙

기존 국제 표준 기구의 규격 및 기술자료의 경우 멀티콥터 형태의 무인항공기에 대한 시험 방법 보다는 고정익/군용 무인기에 적합했던 내용들이며 다소 범용적이고 일반적인 사항에 관한 내용들로 구성되어 있었으나, 드론 부문에서 활발하게 활동하고 있는 표준화 단체인 ISO에서 최근 2023년 5월 민간 멀티콥터 분야로 개발 완료되어 배포중인 ISO 4358은 기존에 국내외 여러 단체에서 개발되었던 시험

방법보다 더욱 구체적이고 세부적인 시험 방법을 안내하고 있다.

또한 ISO에서는 ISO 21895에 따라 드론의 최대 이륙 중량(MTOM)을 레벨 I레벨 VI로 구분하여 무게에 맞는 표준 규격을 적용하도록 안내하고 있으며, ISO 4358에는 Level I ~ Level V를 갖춘 민간 전동 멀티콥터형 드론에 적용이 가능하다.

표 2 ISO 21895의 단계별 중량 구분

구분	최대 이륙 중량 (단위 : kg)
Level I	0 < 중량 ≤ 0.25
Level II	0.25 < 중량 ≤ 0.9
Level III	0.9 < 중량 ≤ 4.0
Level IV	4.0 < 중량 ≤ 25
Level V	25 < 중량 ≤ 150
Level VI	150 < 중량

소방 드론의 경우 임무 특성상 고하중 탑재가 요구되므로 기본적으로 초경량비행장치 안정성인증에 해당하는 25kg 이상 150kg 미만의 드론에 해당하며, 비행제어 시스템 및 전기에너지 시스템(ISO 24352, 24355) 등의 일부 규격은 25kg 미만에만 적용할 수 있도록 명시되어 있기에 관련 규격 적용 보다는 기술 자료로서 참고할 수 있었다.

일반적으로 안내된 드론 표준 규격들의 경우 드론이 운용되는 환경 특성상 상세하고 구체적인 시험 방법을 모든 드론들에 적용할 수 없기 때문에 지침서로서 활용될 수 있으며 세부 요구조건은 요구도에 맞추어 시험할 수 있도록 안내하고 있다.

또한 ISO 21384-2에는 무인항공기 시스템의 구성품을 설명하고 있으며 세부 내용에 구성품이 갖추어야 하는 요구사항들을 명시하고 있다. 이러한 요구사항들의 만족 여부를 확인할 수 있는 항목들을 시험 항목으로 검토하여 적용할 수 있다.

그 외에 ISO 24356의 경우 유선 무인항공기 시스템의 요구사항에 관한 내용이며 기본적으로 소방 드론 시스템의 경우 고중량의 탑재물(소방 호스 및 소방수)를 극복하고 높은 고도까지 비행해야 하기 때문에, 이러한 고중량의 한계를 극복하기 위해서는 유선 드론을 통한 개발이 적합하며 해당 표준 규격을 적용할 수 있다. 또한 ASTM F3389/F3389M-21은 소형 UAS의 안전성을 평가할 수 있도록 충돌 안전성 평가 표준 시험 방법을 제시하고 있다.

3. 고층 화재 진압용 소방 드론 시스템의 시험 항목 및 적용 방법 분석

개발품의 기능, 성능, 안정성 등을 입증하기 위해서는 설계 및 제작에 대한 기술적 근거를 객관적이고 합리적인 방법으로 입증하여야 한다. 다만 국내 일반적인 드론 시스템의 개발은 요구도에 따른 필수 기능, 성능을 정의한 이후 구체적인 시스템 설계가 진행되며, 개발품에 필요한 구성 및 부품의 경우 개발 기관의 여건 및 효율에 따라 직접 생산보다는 대부분 상용 부품을 활용하는 경우가 많다.

이 때문에 구입된 상용 부품들의 성능, 안정성에 대한 검증은 구매 단계에서 관련 인증(KC 인증 등)을 확인하는 방법이 있고 실질적으로 개발품에 대한 평가는 통합된 시스템 레벨에서의 기능, 성능 및 안전성을 확인하는 것으로 정리되는 것이 보편적인 방법이며, 추가적인 검증이 필요할 경우 비행 시험 전 기초 검사 및 기능 검사 단계를 통해 개발품의 설계 및 제작에 대한 적절성을 검증할 수 있다.

개발된 고층 화재 진압용 소방 드론 시스템의 통합된 시험 평가 항목을 도출하기 위하여 앞에서 언급된 다양한 국내외 무인이동체 및 소방 관련 표준 및 기술 자료를 고려하여 다음과 같은 통합된 시험 항목을 도출하였다.

그림 1 소방 드론 시스템 시험 항목(안)



소방 드론 시스템은 운용 특성 및 사양, 크기 등에 따라 구성이 세분화되기 때문에 시험 평가 방법에 대한 공통적인 기준을 세우고 이를 표준화하는 것은 적합하지 않을 수 있다. 이를 고려하여 위에서 도출된 다양한 시험 항목 가운데 우선 순위가 높은 소방 드론 임무 핵심 기술 일부를 선정하여 적용할 수 있는 시험 방법에 대해 분석하였다.

표 3 소방 드론의 핵심 구성 시험 방법 분석 (요약)

시험 항목	시험 적용 방법 분석 요약
기초 검사	시험 전 드론 시스템의 제원에 따른 외관 및 완성도 등에 대한 설계적합성, 제작합치성을 확인
기능 검사	드론 시스템 중 지상제어장치 및 통신 장치에 대한 기능, 비행로그 데이터 수집 및 각종 경고, 알람 등 기능이 정상적으로 작동하는지 확인
항법장치 위치정확도	고정밀 GNSS 장비를 통해 사전에 특정 좌표(위도, 경도, 고도)를 취득한 데이터와 실제 무인이동체의 데이터와의 오차를 비교하여 항법장치의 고정밀성을 평가
장애물 감지 및 회피	소방 드론의 비행 경로 상의 충돌 위험이 높은 주변 건축물, 나무, 전봇대 등의 장애물을 식별하고 정지, 회피 등의 동작이 가능한지 확인
최대 이륙 중량	요구도에 적합한 목표 이륙 중량을 구성하여 비행안정성을 확인하며, 육안확인 뿐만 아니라 비행로그 데이터를 통해 수집한 드론의 좌표(위도, 경도, 고도)를 확인하여 비행안정성을 확인
최대 유효 고도	소방 드론을 목표하는 고도에 배치시킨 후 실제 요구도에서 방수압, 방수량 및 방수 거리 조건을 만족하는지 확인
최대 임무 시간	유선 드론 운용을 통해 운용되는 전기 에너지 시스템 및 추진체의 발달 내구성을 고려하여 가용할 수 있는 최대 임무 시간을 확인
최대 방수 거리, 방수 압력, 방수량	소방용 관창의 유효 방수 거리 성능 기준에 따라 요구도에서 지정된 소방 호스 및 관창, 방수압, 방수량, 방수 각도 조건을 충족한 상태에서 최대 방수 거리가 적합한지 확인하며, 고정된 측정기를 통해 관련 소방 규격에 적용 가능한 방법으로 방수압 및 방수량을 병행하여 측정
제자리 비행 안정성	실제 소방수 발포 시 발생할 수 있는 상황 및 후방 반동력을 비행 제어 능력을 통해 안정적으로 제자리비행(호버링)할 수 있는 능력을 비행로그 데이터를 통해 확인할 수 있으며, 위의 소방수 방사 시험들과 연계되어 통합된 시험으로 진행할 필요가 있음
화재 작전 개시 시간	실제 임무에서 운용될 수 있는 조건의 시험으로서 출동 후 이륙, 화재 진압 개시까지 소요되는 시간(드론의 상승률을 포함)을 측정하여 확인
내풍 성능	ISO 5110 규격을 참고하여 강풍, 돌풍 조건에서 정상적인 비행이 가능한지 확인
소음	도심 환경에서 적합하게 운용될 수 있는 소음 레벨을 ISO 5305 등 요구도에 적합한 표준 규격을 적용하며, 드론에서 발생하는 소음 시험의 경우 에너지소비가 큰 제자리비행에서의 발생 소음도를 반무향실에서 측정할 수 있음
낙하산 기능	지정된 고고도 높이에서 비상 상황 발생 시 낙하산 기능이 정상적으로 작동할 수 있는지 기능 확인
케이블 공급	유선 드론 운용 시 케이블의 공급 기능(코일링 성능) 및 내구성을 확인하며, 관련 ISO 24356 표준 규격을 참고할 수 있음
전기 공급 시스템	유선 드론 운용 시 발생할 수 있는 과도한 전압, 전류 등에 대한 절연 내력, 절연 저항 및 내구성을 확인
환경 시험	소방 드론이 운용될 다양한 화재 환경을 고려한 내성 평가가 필요하며, 대표적으로 화재 발생 지역의 고온 환경, 화재 먼지로 인한 연기 및 분진, 강우 환경 또는 방수 시 수분 침투, 운송 및 보관 상태에서 긴급 출동 시 발생하는 진동에 대한 내성 등을 확인
전자파 적합성	소방 드론이 임무를 수행함에 있어 고려해야 할 전자파 간섭에 관해 가해(주위에 미치는 영향도) 및 피해(주위로부터 미치는 영향)에 대한 내성을 평가하며, 무선 설비의 전파 혼신 및 간섭 상태 및 전파법 규격 기준 만족 등을 확인

후기

본 논문은 한국연구재단의 지원으로 수행되었음.
(과제번호 : 2021M3E8A210121914)

참고문헌

- [1] ISO, “ISO 4358:2023 - Test methods for civil multi-copter unmanned aircraft system”, 2023
- [2] ISO, “ISO 24356:2022 - General requirements for tethered unmanned aircraft systems”, 2022
- [3] ASTM, “ASTM F3389/F3389M-21 - Standard Test Method for Assessing the Safety of Small Unmanned Aircraft Impacts”, 2021
- [4] 소방청, “KFS-2-0025-2020-01 - 소방용 관창 표준 규격”, 2020
- [5] 한국소방산업기술원, “KFI 규칙 제803호 - 소방장비의 검사 등에 관한 운영규칙”, 2023

드론 시스템의 비행 시험에서는 정확한 드론의 위치 측정을 위해 별도의 고정된 정밀 측정 시험 장비 적용을 검토할 수 있다. 하지만 많은 센서들을 드론에 장착하여 시험할 경우 크기, 무게 문제로 인해 비행 성능에 영향을 크게 미칠 수 있으므로 이러한 드론의 특수한 비행 환경을 고려한다면 오히려 적합하지 않을 수 있다.

이 때문에 비행 시험의 경우에 한하여 사전에 드론이 갖고 있는 항법장치의 정밀성을 시험을 통해 먼저 확인한 이후, 항법장치를 통해 기록되는 비행로그 데이터를 기반으로 시험 결과를 평가하는 방법을 적용할 수 있다.

기본적으로 소방 드론 시스템의 경우 전천후의 긴급 상황에도 운용 가능한 성능이 요구되며, 고층 건축물의 경우 전국의 95% 이상은 대도심 가운데 위치해있으므로 고층 건축물 화재 진압 임무 환경을 고려하여 관련된 시험 항목 및 방법을 연구할 필요가 있다. 대표적으로 장애물 감지 및 회피, 소음 시험 등이 있다.

또한 소방 드론에 장착되는 소방 장비와 소방용 관창의 성능에 대한 시험이 요구된다. 해당 시험은 국내 소방청과 소방산업기술시험원의 관련 법령 및 표준 규격 적용을 고려할수 있으며, 관련 표준 규격에 따르면 소방용 관창의 각 성능 기준 및 수력 작동 시험, 방수압 관련 시험 조건과 유효 방수 거리의 성능 기준에 대한 시험 방법이 안내되어 있다.

소방 드론의 핵심 성능인 최대 방수 거리 및 방수량, 방수 압력, 방수에 따른 체자리 비행 유지 능력 평가의 경우 시험 특성상 각 시험들이 연계되어 진행되어야 할 필요가 있으며, 시험 장소는 높은 타워, 고지대 등의 테스트베드가 요구되기 때문에, 해당 시험 항목들은 임무 운용성 시험이라는 통합된 시험으로 구성하고 실제 화재 현장을 가정한 실증을 통해 임무 운용 능력이 충분한지 검증할 필요가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 고층 화재에 적용할 수 있는 소방 드론의 시험 평가 방법 연구를 위해 국내외 드론 관련 표준 및 시험 평가 방법, 검증 및 인증체계, 기술자료 검토 등을 분석하여 시험 항목 및 평가 방법을 도출하였다.

소방 드론 시스템의 시험 항목 및 방법, 절차 개발은 위에서 언급된 여러 가지 환경들로 인해 정해진 요구도에 따른 적절한 기술적 근거를 바탕으로 개발되는 것이기 때문에, 표준 시험 개발 및 기술의 발전을 고려하여 주기적으로 개정 및 보완이 필요하며, 향후 선행 시험 연구를 바탕으로 지속적으로 관련 소방 드론의 성능 검증을 위한 시험절차서 개발 및 임무 운용성 시험을 거치면서 소방 드론 시스템 시험 평가 체계를 구축할 필요가 있다.