[Research Paper]

경험적 접근법을 활용한 재난현장에서의 소방드론 임무수행 효율성 분석

신열우 · 박진호^{*†}

서울소방재난본부 본부장, *서울소방재난본부 현장대응단 자원담당

Analysis of the Effectiveness of Fire Drone Missions at Disaster Sites: An Empirical Approach

Yeol-Woo Shin · Jin-Ho Park^{*†}

General Manager, Seoul Fire & Disaster Headquarters,

^{*}Resource Manager, Seoul Fire & Disaster Headquarters Field Response Team

(Received September 10, 2020; Revised September 18, 2020; Accepted September 21, 2020)

요 약

공공분야에서 드론의 활용은 다양한 분야로 확대되고 있으며, 일부에서는 효과성이 검증되고 있다. 서울소방은 2016년부터 드론을 보급하여 1,240회 활용했으며, 이 중 재난현장에 드론이 투입되어 임무를 수행한 것은 405건이다. 본 연구에서는 재난현장에서 드론의 탐색, 정보취득, 위험감시 등의 임무 수행이 전통적인 대응방식과 비교할 때 얼마나 효과가 있는지 사례를 통해 분석하였다. 탐색 임무는 수직·수평 탐색으로 구분하여 실제 출동사례에서 현장대원의 대응시간과 비교하여 측정하였으며, 정보취득 임무는 건축물 화재와 산불 현장에 투입되었을 때 정보취득을 위해 소요된 시간과 대응활동에 착수하게 된 시간을 비교분석하였다. 위험감시 임무의 경우 통상 현장에 배치하는 안전관리 인력의 업무수행 범위와 드론의 감시 범위를 비교하여 실시하였다. 실종자 탐색 등 수평검색에서는 드론 1대가 인력 100명의 역할을 수행하고, 고층건축물 수직검색 시간은 구조대원과 비교해 16배 이상 빠르며, 주택가 화재탐지는 140 s를 단축할 수 있음을 확인하였다. 또한 야간 산불탐색에서 78명의 소방인력이 1 h 이상 소요되었으나 드론은 투입 후 단 2 min 만에 발견하였다. 이러한 결과는 소방드론을 재난현장에 투입함으로써 소방인력을 더 효과적·효율적으로 운영할 수 있다는 것을 시사하며, 이를 위해서 소방드론 투입에 따른 소방인력의 임무조정 방식에 대한 후속 연구가 필요하다.

ABSTRACT

The use of drones in the public sector is expanding to various fields, and its effectiveness has been verified in some cases. Since its introduction to the Seoul Metropolitan Fire and Disaster Headquarters in 2016, drones have been used 1,240 times, including 405 times in disaster response. The purpose of this study is to analyze cases to determine the effectiveness of drones in operations such as searching, acquiring information, and monitoring, compared to traditional disaster response methods. In order to analyze the efficiency of the search missions, we divided the cases into vertical and horizontal searches and measured the response time of the drone compared to that of the firefighters. In terms of the information acquisition missions, the time spent on obtaining information and responding activities when the drone was deployed at building and forest fire sites were compared to missions in which the drone was not deployed. In the case of risk monitoring missions, the scope of the safety management personnel usually deployed at the site and the scope of the drone monitoring were compared. In horizontal searches, such as searching for missing persons, one drone can play the role of 100 people. In addition, drones are more than sixteen times faster than traditional methods in completing vertical searches in high-rise buildings, and 140 s faster in detecting fires in residential areas. Furthermore, it took more than an hour for 78 firefighters to locate a forest fire that broke out at night, but the drone located it in just two min. These results indicate that it is possible to use firefighter personnel more effectively and efficiently by using drones at disaster sites. To that end, more research on how to modulate the duties of firefighters while working with fire drones is required.

Keywords : Fire drone, Fire protection, Disaster prevention, Fire suppression, Fire science

[†] Corresponding Author, TEL: +82-2-3706-1712, FAX: +82-2-3706-1719, E-Mail: 7575@seoul.go.kr

© 2020 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서 론

공공분야에서 드론의 활용은 매우 빠르게 확산하고 있다. 대표적으로 기상관측, 환경감시, 산불감시, 시설물 점검을 비롯하여 고속도로 교통단속에까지 그 영역을 확대하고 있으며, 일부에서는 효과성이 이미 검증되었다⁽¹⁾. 이는 재난관리 분야에서도 마찬가지이다. 2017년 1월 ○○구 ○○동 아파트 신축공사장 20층에서 우레탄폼 작업 중 화재가 발생하여 공사인부 22명을 대피 유도하여 구조한 바 있다⁽²⁾. 과거에는 요구조자가 옥상으로도 대피했을 것이라는 추정에 기반을 두고 현장 활동을 하였으나, 소방드론을 투입한 결과 옥상에 2명이 대피해 있으며 연기를 피해 이리저리 뛰어다니는 모습을 지상의 지휘관은 고정된 위치에서 직접 관찰하면서 지휘할 수 있었다. 이와 같이 소방의 현장 활동에 드론을 투입하게 되면 소방대원의 임무수행 내용을 분담하거나 지원함으로써 보다 신속하고 효과적으로 임무를 수행하게 된다. 그러나 소방드론을 현장에 투입함으로써 확보하게 되는 가치를 정량적으로 분석하여 도입 및 활용의 필요성을 구체화한 사례는 극소하다. Laszlo 등⁽³⁾은 소방드론의 효율성은 경제적 효율성의 의미와 다르게 해석되어야 하며 소방의 현장활동 상황과 가정을 객관화하여 효율성을 평가하기는 어려우나 경험기반, 기술기반의 효율성을 분석하는 것은 소방조직의 운영분야에서 도움이 된다고 하였다. 본 연구에서는 소방이 현장 활동을 수행하는데 수반되는 임무별로 소방드론이 당해 임무를 수행하였을 때의 효율에 대해 소방대원과 비교분석함으로써 그 활용성에 대해 구체화하고자 한다.

2. 본 론

2.1 서울소방재난본부의 드론 도입 현황

서울소방재난본부에서 2016년 드론 9대를 도입한 이후 2020년 현재 총 31대가 운용되고 있다⁽⁴⁾. 드론은 임무용과 훈련용으로 나뉘며 Table 1은 서울소방에서 드론을 활용하고 있는 기관과 활용목적, 기종, 보유대수를 정리한 표이다. 각 기관별 운영 중인 드론은 운영목적과 관계없이 영상센서를 장착하고 있어 탐색과 정보취득 임무가 가능하다.

Table 2는 서울소방이 보유하고 있는 소방드론의 주요 제원을 정리한 것이다. 서울소방에서는 Swid119와 Blue Eye119를 임무용으로 활용하고 있으며 DJI사의 소방드론은 훈련용으로 활용하고 있다.

임무용 드론(Swid119)은 현장대원의 요구사항을 반영하여 탐색, 감시 등 소방활동 임무중심으로 특수 제작하였고, Full HD급 광학 10배줌 카메라와 8배의 디지털 줌 기능이 있는 플리어(FIIR) 사의 열화상카메라(해상도640)를 장착하였다. 훈련용 드론(Phantom4)은 UHD급 카메라가 탑재되어 있다. Blue eye119는 장시간 재난현장 관제를 위해 지상에서 전기를 공급하는 계류형 드론으로 방면별 4개 소방서에

Table 1. Status of Operation of Drone in Seoul Metropolitan Fire & Disaster Headquarters

Batch agency	Purpose	Model	Function	Ver sus
Special Rescue team	Mission	Swid119	Detection info. collection	3
	Training	Inspire1	Detection info. collection	2
	Training	Phantom4	Detection info. collection	2
Mountain Rescue Team	Mission	Swid119	Detection info. collection	1
	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Gangnam Fire Station	Mission	Swid119	Detection info. collection	2
	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Jungbu Fire Station	Mission	Blue Eye 119	Detection info. collection	1
	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Dongdaemun Fire Station	Mission	Blue Eye 119	Detection info. collection	1
	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Guro Fire Station	Mission	Blue Eye 119	Detection info. collection	1
	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Seocho Fire Station	Mission	Blue Eye 119	Detection info. collection	1
	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Gwangjin Fire Station	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Yongsan Fire Station	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Gangseo Fire Station	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Dongjak Fire Station	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Seodaemun Fire Station	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Eunpyeong Fire Station	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Seongdong Fire Station	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Songpa Fire Station	Training	Phantom4	Detection info. collection	1
Fire & Disaster Headquarters	Training	Mavik2	Detection info. collection	2

Table 2. Status of Specifications by Model

Model (Manufacturer)	Versus	Specification
Swid119 (Nes & Tec / Korea)	7	- Endurance time : 30 m - Size/Weight : 850 × 850 mm / 5.5 kg - Flight Speed : 36 km/h - Max Ascent Speed : 4 m/s - Camera: FHD Optical 10*zoom, Infrared Camera (17 mm)
Inspire1 (DJI / China)	2	- Endurance time : 18 m - Size / Weight : 440 × 300 mm / 2.93 kg - Flight Speed : 79 km/h - Max Ascent Speed : 5 m/s - Camera: UHD
Blue Eye 119 (Huins / Korea)	4	- Endurance time : 1200 m - Size/Weight : 910 × 910 mm / 6 kg - Max Ascent Speed : 4 m/s - Camera: FHD Optical 30*zoom
Phantom4 (DJI / China)	16	- Endurance time : 28 m - Size/Weight : 300 × 300 mm / 1.38 kg - Flight Speed : 20 m/s - Max Ascent Speed : 6 m/s - Camera: UHD
Mavik2 (DJI / China)	2	- Endurance time : 31 m - Size/Weight : 322 × 242 mm / 905 g - Flight Speed : 72 km/h - Max Ascent Speed : 4 m/s - Camera: UHD

보급하여 재난현장을 모니터링하는데 활용하고 있다.

서울소방 드론은 지난 4년간 1,240회 현장출동 하였다. 사고현장 출동은 총 405건으로 화재현장 292건, 건축물 붕괴 등 구조현장과 실종자 수색 등에 113건이 활용되었다. 기타 교량 등 시설물 안전점검, 행사장 안전관리 및 민관합동 소방훈련 등에 838건 투입되었다.

서울소방이 보유한 드론 31대 중 교육훈련용을 제외한 임무용 드론은 11대이며 최근 4년간 11대의 소방드론은 총 405건의 현장활동 임무에 투입되었으며 드론 1대당 연 9.2회 임무를 수행하였다. Table 3에서 알 수 있듯이 서울소방이 보유한 소방차량 중 가장 고가(高價)인 고가사다리차 활용비율이 13.3%(실제 활용 1대당 연평균 3~4회)⁽⁵⁾인 것과 비교할 때 드론의 활용빈도가 2.8배 높다는 것을 알 수 있다.

2.2 서울소방재난본부의 드론 활용 임무분야

서울소방에서 현장에 투입된 드론의 활동사례를 임무별로 살펴보면 1) 탐색, 2) 정보취득, 3) 감시로 구분할 수 있다. 소방드론은 화재·구조·구급 등 상황별로 투입되는 기존의 소방장비와는 달리 모든 현장에서 소방활동을 지원한다는 점에서 기존의 소방장비와 차별성이 있다.

2.2.1 탐색(Search)

탐색은 드론의 가장 일반적인 기능으로 드론에 광학카메라를 부착하여 원경 또는 근경을 표출함으로써 임무를

Figure 1. Case study of fire drone for missing persons and fire exploration.**Table 3.** Number of Equipment Utilization Compared to Calls

Elevated Ladder Truck			Sortation	Drone		
'19	'18	'17		'19	'18	'17
2,606	3,433	2,595	Number of dispatch cases	110	112	96
25	25	25	Number of units	11	11	11
3	3	4	Utilization per unit	10	10.9	8.7
12	12	16	Frequency of utilization (%)	90.9	99	79

수행한다. 광학카메라로 탐색할 수 있는 대상은 발화점, 실종자 등 가시범위 내에 있는 현상과 물체이다. 필요에 따라 광학카메라 외에 열적외선 카메라를 부착하여 탐색의 정밀도를 높이기도 한다. 서울소방 119특수구조단에서는 2016년부터 2020년 7월까지 실종자 수색에 드론을 총 35회 투입하였다. 실종자 수색 시 드론을 투입하지 않는 경우, 구조대원들이 실종자가 있을 것으로 추정되는 장소를 육안으로 직접 확인해야하기 때문에 많은 인력과 시간이 소요된다. 산악구조 활동에서는 요구조자의 현위치 특정 곤란, 해당지점에 도달하기 위한 경로 선정의 어려움, 체력적 한계 등의 장애요인이 복합적으로 작용한다. 대원들은 이러한 요인의 영향을 받지만, 드론은 영향을 받지 않고 임무수행이 가능하다. 특히 추운 겨울이나 실종자가 심신미약자인 경우, 발견 시간은 생존가능성과 직결되기 때문에 드론을 활용한 신속한 탐색이 요구된다.

화재 상황에서도 산불 발생위치·범위 특정 및 일반건축물 화재 시 연소 확대경로 등을 확인하는데 활용할 수 있다. 아파트 화재출동에서 선착대로부터 “육안 검측결과 보이는 것이 없다.”⁽⁶⁾라는 보고가 접수되었으나 뒤이어 도착한 본대의 드론이 고층아파트 주변을 탐색한 결과 고층부후면 창문으로 미량의 검은 연기가 나오는 상황을 발견하여 화재발생 층을 특정하고 초기에 진화한 사례가 있다. 또한, 18층 오피스텔 신축공사장 지하 2층 화재⁽⁷⁾ 사례에서는 건물 내 여러 층에 다수의 요구조자가 분산되어 있는 상황에서 선착대는 화점층, 추가 출동대는 다른 층을 검색하던 중 드론이 옥상층의 요구조자 10명을 발견하여 안전상황을 지속 감시하였고, 화재 발생 68 min 후 구조대원이 구조한 바 있다. 이처럼 투입 소방력보다 구조수요가 많은 현장에서 작전의 우선순위를 결정하는데 탐색기능이 활용되었다.

탐색기능은 수난사고, 생활구조 현장에도 활용된다. 드론에 장착된 열화상카메라는 육안 식별이 어려운 야간상황, 개활지, 산악지형 등의 현장에서 이동하는 형체를 찾아낼 수 있다.

탐색은 재난대응과정에서 임무수행의 기초 정보를 수집하기 위해 우선적으로 수행하는 임무다. 탐색 결과 대응방향과 투입장비를 결정한다. 드론을 이용한 탐색은 대원의 육안확인 방식이나 열적외선카메라를 직접 휴대하고 탐색하던 방식의 한계를 보완하여 더 넓게, 더 멀리, 더 정확하게 탐색을 할 수 있다는 장점이 있다.

2.2.2 정보취득(Information collection)

재난대응에 있어 정확한 정보는 대응전략과 전술의 성공여부를 결정한다⁽⁸⁾. 따라서 효과적인 현장지휘를 위해서는 반드시 정확한 정보수집이 선행되어야 한다. 드론을 활용한 정보취득은 사람이 접근하기 곤란한 장소의 상황을 가시정보로 전달함으로써 현장지휘관의 상황판단을 용이하게 한다. 드론이 없는 경우 현장지휘관의 상황 파악 방식은 각각의 현장대원이 수집한 정보를 무전기를 통해 청취하는 방식이다. 무전기로는 필요 최소한의 내용만 전달되고 대원이 상황을 해석하는 수준에 따라 편집·왜곡될 수도 있기 때문에 정보의 정확도가 떨어질 가능성이 있다. 그러나 드론은 시각정보도 함께 전달되기 때문에 현장지휘관의 상황 파악에서 오류현상을 최소화 할 수 있다. 사례로 보면, 금속재질 지붕의 대형 체육관 건물 화재에⁽⁹⁾ 드론을 투입하여 지붕상판의 수열흔을 확인함으로써 붕괴가능성과 연소경로를 파악하였으며, 이를 통해 현장대원의 안전을 확보하면서 화재대응시간을 단축시킬 수 있었다. 붕괴 가능성이 있는 부분으로의 현장대원 진입을 제한하고 고가굴절사다리차를 이용해 지붕부분에 방수지점을 특정하여 정확한 방수를 실시하면서 연소확대 가능성이 있는 부분에 소방대를 집중적으로 배치할 수 있었다. 이와 같은 화재진압작전은 2019년 노트르담 성당 화재 시에도 유사하게 활용되었다⁽¹⁰⁾.

화재초기 주거 밀집지역 연소 확대 경로를 파악하는 것 역시 현장대원에게는 매우 어렵다. 현장을 중심으로 4개 방향으로 현장대원을 배치하는 경우에도 대원이 육안으로 확인할 수 있는 범위는 제한적이기 때문이다. 건축물은 밀집되어 있으나 출입문은 서로 다른 골목길로 연결되어 있는 등의 공간특성은 지휘관이 인근건물로의 피해확대 가능성을 판단하는데 있어 방해요인으로 작용한다. 드론의 경우 3차원으로 공간을 조망할 수 있기 때문에 화재초기에 추가 소방자원이 필요한 위치를 특정하여 배치함으로써 연소저지 전술을 적절히 적용할 수 있다.

정확한 정보는 구조현장에서 구조방법과 수단도 결정한다. 2명이 매몰된 건물붕괴 현장⁽¹¹⁾ 구조작업 중 인근건물의 추가붕괴 우려가 제기되었고 외벽으로의 접근은 불가능한 상황이었다. 구조대원까지 위협에 처할 가능성이 존재하였으나 드론을 투입하여 근접 촬영한 정보를 획득함으로

Figure 2. Drone's dangerous situation monitoring function.

써 구조안전진단 전문가들과 함께 붕괴 가능성을 판단하여 적절한 대응이 이루어 졌다.

한편, 3D공간정보 구축 프로그램으로 다중영상 접합을 통해 대상물의 3차원 좌표로 붕괴된 잔해물량을 계산하여 대응시간 예측과 필요자원 투입량 계산에 활용하고 있으며, 산불이나 주거 밀집지역의 연소면적산출로 조기에 투입해야 하는 소방자원의 위치나 수량 결정, 또는 피해면적을 산정하기도 한다.

이전에는 연소 확대경로, 추가붕괴 우려 확인, 사고대응 지점 주변 상황, 자원배치형태나 배치 적절성 등과 관련된 정보들은 대원들이 직접 육안 확인한 내용들을 경험에 바탕을 두고 상황판단과 의사결정을 하였다. 이러한 인지적 사고를 기반으로 분석한 정보는 분석 주체가 자신의 경험이나 이해에 기반을 두기 때문에 오류가 발생할 확률이 있었다. 하지만 드론이 전달한 시각정보와 센서 등 측정 장치를 활용하여 수집된 정보는 판단 및 의사결정의 오류를 줄일 수 있다.

2.2.3 위험 상황 감시 및 정보전달

재난 현장의 위험 상황 감시는 모든 단위 지휘관들의 주요 임무다. 그러나 단위 지휘관들의 감시기능은 국소적인 장소에 한정되고 현장의 전반적인 위험요인은 안전 관리자가 전담한다. Figure 2에서 보듯이 일상적 대응에서 안전 관리자는 1인이 지정되기 때문에 광범위한 현장 상황을 혼자서 육안으로 감시하는 것은 위험요인이 누락될 가능성이 존재한다. 붕괴현장 제1통제선 내⁽¹²⁾ 구조대원들의 안전을 확보하기 위해 현장 통제범위 내 전체를 드론을 통해 감시하고, 감시정보를 현장과 상황실에서 원격으로 공유함으로써 효율적으로 현장 안전관리를 수행할 수 있었다.

또한 산불현장에서 바람의 방향과 세기를 측정하거나 한강철교 및 폭발물을 제거할 때에도 주변 시민이나 차량의 적절한 통제 여부를 감시하는데 있어서도 드론은 유용하게 활용된다.

2.3 소방드론의 현장활동 임무별 효율성 분석

소방의 현장 활동은 Figure 3에서와 같이 지휘팀장의 지휘활동을 기반으로 이루어진다. 지휘팀장은 출동 중 획득한 신고정보와 기존에 확보한 대상물 관련 정보를 취득하여 현장 활동 기준을 제시한다. 이후 현장에 도착하여 현장 상황에 맞춰 임무를 재부여 하거나 유관기관을 요청하는

Figure 3. Firefighters incident duties compared with the done.

등의 조정 및 지휘활동을 수행하게 된다. 즉, 현장지휘관의 임무수행은 ①정보취합 → ②위험분석 → ③현장기준제시 및 임무부여 → ④정보수집 → 상황분석 및 재평가 → ⑤임무조정 순으로 이루어진다. 따라서 현장지휘관의 임무수행은 현장대원이나 지휘관의 참모역할을 하는 통신, 안전담당, 화재조사요원이 수집하여 보고하는 정보를 기초로 이루어진다.

현장지휘관의 임무수행을 위해 현장대원이나 지휘참모가 현장지휘관에게 정보를 전달하는 것은 현장에 투입된 소방력의 수에 따라 그 횟수가 달라지며 현장에서의 정보는 모두 음성정보로 전달되기 때문에 지휘관 1명이 모든 정보를 통제하고 관리하기 어려운 한계를 갖고 있다. 그러나 드론을 투입하면 시각기반의 정보 전달과, 시간대별로 저장한 정보를 활용할 수 있기 때문에 무전기로 전달되는 현장대원의 음성정보에 비해 효과적이고 효율적이다. 본 연구에서는 실제 소방드론이 투입되어 현장에서 임무를 수행한 사례를 Table 4와 같이 선정하였다. 수평·수직검색 임무와 같이 현장에 출동한 대원과 직접적 비교가 가능한 경우 대원의 해당임무에 소요되는 시간을 비교하였고, 정보취득·위험감시 임무에서 출동대원이 접근할 수 없는 현장 등 직접 비교가 어려운 경우에는 드론이 투입되지 않는 상황을 가정하여 비교를 실시하였다. 효율성 분석에 활용된 드론은 국내 개발업체인 네스앤틱 사의 Swid119이며, 분석 사례는 다음 각 표에서 보는 바와 같다.

2.3.1 산악지역 수평검색 임무의 소방드론 효율성

Table 5는 산악지역에서 인명구조 활동 수행 시 요구조자의 위치정보와 요구조자에게 도달하기 위한 경로정보가 특정되었을 때와 특정되지 않았을 때에 소방력의 투입이

Table 4. Case Study of Fire Drone Field Mission

Sort	Mission	Actual Case	Input Fire Man (num.)	Input Drone Models and Specifications	Mission Time (min)	
					Fire Man	Drone
1	Horizontal search	2017.09.01. Missing persons	100	Model: Swid119 Flight time: 30 min Size: 850*850 mm Weight: 6 kg Speed: 36 km/h (IR, EO camera)	120	120
2	Vertical search	2020.3.24. Building fire	35		66	16
3	Horizontal search	2020.05.06. Building fire	86		4	1
4	Information acquisition	2017.5.21. Forest fires	78		69	2
5	Information acquisition	2020.2.9. Building fire	28		19	5
6	Risk monitoring	2017.4.22. Building collapse	35		202	202

Table 5. Changes in Fire Power Input by Situation of Mountain Rescue Requesters

Sortation	Location	Route	Search	Fire Manpower		
				M*	G**	S***
Rescue requester	×	×	○	○	○	○
	○	○	×	○	△	△
	○	×	○	○	○	△

*Mountain Rescue Team, **General RT, ***Special RT

어떻게 달라지는가를 나타낸 것이다. 일반적으로 요구조자의 위치가 특정되고 도달경로를 인지하고 있는 경우 산악 구조인력 14명이 출동하여 해당 요구조자에 대한 구조 활동을 실시하지만, 위치 특정불가 또는 위치는 특정되었으

Figure 4. Search range survey of missing persons (Pix4D).

Table 6. Fire Drone Field Mission Example

Sortation	Content	
Search Scope	1,000m × 2,000 m = 2,000,000 m ²	
Time Limit	45 min	
Search Equipment	Firefighter (ground personnel)	Drone
Search Method	Line search at 10 m intervals	Overlap 20-30% Crossing, 45 m above ground, 25 to 30 kmh
Manpower	Drone 1 Versus	100 people
Cross Search	possibility	Impossible
Characteristic	Detailed search of the difficult spot can be made on the ground blind spot	Possible response to ground blind spots

나 요구조자에게 도달하기 위한 최단경로, 최적경로를 판단하기 어려운 경우에는 소방서 구조대와 특수구조대 등 35명이 추가로 편성되어 탐색임무를 수행하게 된다. 또한, 상황에 따라서는 100여명 이상 동원되기도 한다. 결과적으로 산악구조 활동에서 탐색임무 수행을 위한 소방력 투입이 일반구조 활동에 필요한 소방력 투입보다 많다.

이처럼 산악구조 현장에서 드론이 탐색임무를 수행하게 될 경우 소방대원의 투입량을 얼마나 감소시킬 수 있을 것인가에 대하여 다음과 같이 검토를 수행하였다. Figure 4에서 확인 할 수 있듯이 실제 수색범위를 Pix4D 측량 프로그램으로 확인한바 2,000,000m² 범위를 약 45 min간 수색하였다. Table 6와 같이 수색에 동원된 인력을 비교한 결과 드론을 활용하지 않을 때 소방대원은 100명이 필요하였으나 드론을 활용할 때는 3명이 소요되었다. 본 사례의 경우 수평검색 시 드론 1대는 100명의 역할을 대신 할 수 있다는 것을 보여준다.

2.3.2 고층건축물 수직검색 임무의 소방드론 효율성

소방드론의 일반적 수직 이동속도는 4 m/s이고, 소방재난본부가 63빌딩에서 진행한 소방대원 현장 활동 한계 실측 결과⁽¹³⁾에 따르면 30층 기준 소방대원의(개인장비 미착

Table 7. Rescuer Arrival Time by Floor

Sortation	Floor Arrival Time ('min" s)					
	10F	20F	30F	40F	50F	60F
Not Wearing Equipment	1'37"	3'45"	6'08"	8'28"	10'33"	13'05"
Equipment Wear	2'33"	5'28"	8'29"	11'58"	15'45"	19'38"

Table 8. Vertical Movement Speed (60th floor)

Sortation	Vertical movement speed		Condition
Swid119	4 m/s		General flight
Rescuers	under 30 years of age	0.15 m/s	21 kg Equipment wear
	under 40 years of age	0.15 m/s	
	under 50 years of age	0.14 m/s	

용) 평균 수직 이동속도는 0.24 m/s이다. 드론이 30층에 도달하는데 약 22~25 s 정도 소요되나 Table 7과 같이 소방대원이 계단을 통해 진입할 경우에는 평균 6 min 8 s가 소요되어 드론이 16배 이상 빠르다. 60층 기준에서는 18배 이상 빨라 층수가 높아질수록 드론과 대원의 속도차이는 더 큰 것으로 나타났다. 또한 Table 8과 같이 연령대별 체력조건에 따라 21 kg 상당의 개인보호 장비(면체 제외)를 착용한 40대 대원과 비교 시 드론이 최소 28배 이상 빠른 것을 알 수 있다. 또한 정확한 사고지점이 특정되지 않아 수색을 위해 계단을 통하여 수직 이동하는 것은 소방대원에게 큰 체력소모를 발생시키는데, 드론을 활용하는 경우 이처럼 현장 활동에 직접적으로 필요하지 않은 체력소모를 최소화할 수 있다.

실제로 2020년 3월 복합건축물 화재 시⁽¹⁴⁾ 건물 전층으로 연기가 확산되어 이용객 110명이 대피한 사례를 보면, 소방력이 건물 저층부에서 상층부로 탐색하는 동안 드론은 옥상층을 확인하여 대피자가 없음을 확인하고 전파하여 탐색시간을 단축하고 대원의 체력부담도 경감하였다.

2.3.3 화재출동 현장정보 취득 임무의 효율성

Table 9는 화재출동 지령 즉시 소방드론이 출동하여 현장정보를 취득한 시간과 선착대가 도착하여 현장정보를 취득·전파하는데 소요된 시간을 사례를 통해 비교한 결과이다. 119안전센터로부터 1 km 떨어진 지점에서 발생한 화재에서 소방대원이 펌프차로 이동하여 현장정보를 취득하는데 소요된 시간은 199 s인 반면 소방드론을 활용할 경우 59 s가 소요되었다. 현장정보를 취득하여 상황파악 이후 현장대응활동에 착수할 수 있기 때문에 소방드론을 활용할 경우 현장대응활동의 착수시간을 140 s 앞당길 수 있는 것이다.

다음으로 화재현장 정보취득 시간 비교를 위해 펌프차

Table 9. Comparison of Fire Detection Time Between Fire Engine (pump) and Drone

Fire Engine		Sortation	Drone (Swid119)	
Time Required (s)	Cumulative Time (s)		Time Required (s)	Cumulative Time (s)
-	0	Dispatch order	-	0
+ 11	11	Boarding vs Preparation	+ 20	20
+ 40	51	Departure vs Take off	+ 3	23
+ 145	196	Arrival vs Move	+ 33	56
+ 3	199	Acquisition of field information	+ 3	59

Figure 5. Possible arriving percentage by hours.

의 시간대별 평균 현장도착 시간을 활용하였다. 소방차량은 출동도로, 교통량, 주행속도 및 대상물의 공간적 특성에 따라 현장정보 취득 시간에 영향을 받는다. Figure 5에서 서울시 소방관서 기준 시간대별 화재취약지역의 현장 도착 시간 비율을 보면 취약시간대(18~19 h)가 원할시간대(2~5 h)보다 5 min내 도착 지연 가능성이 약 7% 정도 높은 것으로 나타났다⁽¹⁵⁾. 그러나 드론은 직선거리로 비행가능하며 정속주행이 가능하므로 소방차와 달리 외부의 출동 저해요인에 영향을 받지 않으므로 주행거리와 관계없이 현장대응 활동 착수시간을 앞당길 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

2.3.4 야간 산불 화점 발견시간 단축

2019년 서울시 산불 35건 중 37%가 야간에 발생했다⁽¹⁶⁾. 야간에 산불이 발생한 경우 주변 지형지물에 가려 뚜렷하게 식별되지 않기 때문에 현장에서 화재지점을 특정하기 어려워 장시간 탐색하는 경우가 많다. 2017년 5월 22:10경 아차산 산불 신고 접수 후 소방대원 78명이 출동하여 1 h 9 min 동안 탐색하던 중, 드론이 도착한지 2 min 만에 열적외선 카메라로 화재지점을 찾아냈다. 이동속도는 38배, 시간상으로 최대 1/30 단축되었다.

해당 사례에 사용된 드론은 Swid119이며 플리어(FLIR)사의 열화상카메라(해상도640, 디지털 4배 줌)를 장착하였

Table 10. Night Forest Fire Detection Time Comparison

Sortation	Drone	Firefighter
Search Target	Confirmation of the site of arrival at the fire site of the forest fire	
Search Distance	Straight distance from entry 500 m	
Search Condition	IR camera	On Foot Search
Mobilization Personnel	1 Versus	78 people
Detection Time	2 min (Pre-Preparation 6 min)	69 min
Search Speed	16.6 km/h	0.43 km/h

다. 세부내용은 Table 10와 같다.

드론 활용 사례를 중심으로 재난대응 효율성 여부를 결정하는 요소인 시간과 자원(인력)중심으로 비교분석한 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 실종자 탐색 등과 같이 시각정보를 필요로 하는 노동 집약적인 활동에는 드론 1대가 인력 100명의 역할을 대체할 수 있었다.
- 2) 화점발견 및 연소상황이나 요구조사 탐색 등의 임무에는 3배에서 많게는 30배의 빠른 시간을 보였다.
- 3) 지휘관의 상황판단에 반드시 필요한 정보의 불확실성을 최소화함으로써 의사결정 시간을 앞당겼다.

3. 결 론

본 연구에서는 소방드론이 재난현장에서 소방대원의 임무를 대체·보완하여 수행함으로써 수평검색 임무, 수직검색 임무, 야간 산불화재 시 화재지점 탐색까지 기존 소방력 대비 현장 활동의 효율성이 높다는 것을 확인할 수 있었다. 이를 위해 실제 재난현장 활용 사례를 중심으로 소방장비 및 대원의 임무수행 수준과 소방드론의 임무 효율을 정량적으로 측정하고 비교 산출하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수평검색 시에는 드론 1대가 100명의 소방대원 임무를 대체할 수 있는 것으로 확인되었고, 수직검색 임무 시에는 소방대원 보다 최소 16배~18배 빠른 속도로 이동 가능함을 알 수 있었다. 또한, 야간 산불 화재에서는 소방대원이 화점을 탐색하는데 소요되는 시간대비 최대 1/30의 시간이면 가능할 것으로 확인되었다.

2) 재난현장 상황정보를 파악해야 하는 소방대원은 인간의 시각각 제한과 장애물에 의한 가시권 방해요인이 존재한다. 공중에서 360도 촬영이 가능한 소방드론은 시야범위의 제한이 없기 때문에 정보의 획득성 측면에서도 우수하다. 또한, 운용 가능한 시간 범위 내에서는 동일한 성능을 유지하기 때문에 장시간 활동에 따른 체력한계 등의 영향을 받지 않는다. 이와 같이 이동성, 획득성, 지속성 측면에서 우수한 것은 물론, 소방드론을 임무에 투입하여 취득한 정보에 따라 실제 소방대원의 임무조정방식 또한 결정

할 수 있게 된다. 따라서 소방드론의 실제 활용사례 기반 정량적 가치평가는 효율적 재난대응활동을 수행하는데 선결과제라 할 수 있다.

3) 대응시간은 피해 양상과 규모에 결정적인 영향을 주기 때문에 시간적 지표로 효율성을 판단한다. 그동안 5 min 도착률 향상을 위해 소방차 길 터주기 등 시민들의 인식개선과 도로 인프라 개선, 자동신호제어 시스템 시범도입 등 물리적 환경개선에 집중하여 5 min 도착률이 92.1%⁽¹⁷⁾에 도달하였다. 5 min 도착률을 현재 이상으로 제고하기 위해서는 서울시 내 120여 개 안전센터에 자동항법장치가 탑재된 드론 시스템 도입 등 기존 정책과는 차원이 다른 접근 방식이 필요하다. 드론은 공중을 이동경로로 하기 때문에 도로를 이용해 이동하여야 하는 소방대원과 비교해 이동성 측면에서 우수하기 때문이다. 현장대응의 신속성과 효율성 제고를 위하여 드론 등 첨단기술의 적극 활용을 통해 전통적 소방장비와 소방대원이 보유하고 있는 임무수행의 한계를 극복할 수 있는 방안을 찾는 노력이 지속되어야 할 것으로 판단된다.

References

1. KOTRA, “2020 Drone Report” (2020).
2. Seoul Fire and Disaster Headquarters, “Report on the Results of the Fire Response Activities at the New Apartment Construction Site” (2017).
3. B. Laszlo, R. Agoston and Q. Xu, “Conceptual Approach of Measuring the Professional and Economic Effectiveness of Drone Applications Supporting Forest Fire Management”, *Procedia Engineering*, Vol. 211, pp. 8-17 (2018).
4. Seoul Metropolitan Fire and Disaster Headquarters, “2020 Fire Drone Management and Operation Plan” (2020).
5. National Fire Department, “National Fire Statistics Information System” (www.firedata.go.kr) (2017-2019).
6. Nowon Fire Station, “Fire Response Data (2017.5.6.)” (2017).
7. Seodamun Fire Station, “Fire Response Report (2020.2.9.)” (2020).
8. B. Alan and S. G. Kim, “Fire Command System”, pp. 36-44, WooRiSa, Seoul (2020).
9. Seoul Metropolitan Fire & Disaster Headquarters, “Fire Response Report (2017.11.16.)” (2017).
10. J. J. Kim, “The Drone Sends Video of a Fire in the Sky... Fire Robot Sprinkle Water from Inside (2019.4.17.)”, *Kyunghyang Shinmun* (2019).
11. Seoul Metropolitan Fire & Disaster Headquarters, “Fire Response Report (2017.1.9.)” (2017).
12. Seoul Metropolitan Fire & Disaster Headquarters, “Fire Response Report(2017.4.22.)” (2017).
13. Seoul Metropolitan Fire & Disaster Headquarters, “Actual Results, Such as Limitations of Firefighters' Field Activities and Equipment Performance, Etc.” (2010).
14. “Fire Response Report (2020.3.24.)”, Seoul Metropolitan Fire & Disaster Headquarters (2020).
15. J. S. Won and S. K. Kim, “Emergency Response Capacity of the Fire Service by Fortifying it with the Necessary Resources : A Study focused on Responding to Fire-Related Accidents”, The Seoul Institute, pp. 69-71 (2016).
16. Seoul Metropolitan Fire & Disaster Headquarters, “Fire Statistics Yearbook 2019”, pp. 227-228 (2020).
17. Seoul Metropolitan Fire & Disaster Headquarters, “Fire Truck On-site Arrival Time Data” (2020).