

# 공군 수송기(C-130)를 활용한 대형산불 재난 대응 시 사후관리(CM) 발전방안

## Development Plan for the Consequence Management in Response to Large-Scale Wildfire Disasters Using Air Force Transport Aircraft (C-130)

김상덕<sup>1\*</sup> · 김민기<sup>2</sup>Sangduk Kim<sup>1\*</sup>, Minki Kim<sup>2</sup><sup>1</sup>PhD Senior Researcher, Protective Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Republic of Korea<sup>2</sup>Researcher, Computer Convergence Software, Korea University, Sejong, Republic of Korea

\*Corresponding author: SangDuk Kim, ksdw5817@seoultech.ac.kr

### ABSTRACT

**Purpose:** Recently, large-scale forest fires caused by climate change, natural disasters, and human factors have been increasing every year in the East Coast and Taebaek Mountains region. Although forest fire extinguishing using helicopters is currently increasing, the need to introduce air force transport aircraft has continued to be raised due to the importance of early fire extinguishment to respond to large forest fires and the difficulty of extinguishing forest fires between sheep. This study seeks to present a plan for developing a post-fire management system for several aspects - achieving operational objectives, overcoming the operating environment, selecting a staging area, and efficient operation measures - to efficiently perform forest fire extinguishing missions using Air Force transport aircraft. **Method:** Based on literature research on forest fire extinguishing, forest fire extinguishing experiments using fixed-wing aircraft, and the operation status and operation method of forest fire extinguishing helicopters, the pros and cons of helicopter operation and the effects of large forest fire extinguishing using a large transport aircraft (C-130) were analyzed. **Results:** When extinguishing a large forest fire, an effective CM (Consequence Management) application plan was derived, including effective operation, control, command system, dispatch request, and forest fire extinguishment when integrating helicopter and fixed-wing aircraft (C-130). **Conclusion:** The application of the concept of CM (Consequence Management) is partially applied to some areas of chemical, biological, and radiological (CBRNE) protection in Korea, but efficient operation, control, and command systems are established when integrated operation of helicopters and large aircraft (C-130) in forest fire extinguishment. The concept of CM (Consequence Management), which is operated in advanced countries, was applied for safety management, dispatch requests, and forest fire extinguishing, thereby contributing to the establishment of a more advanced disaster and post-disaster management system.

**Keywords:** Climate Change, Large-scale Wildfires, Natural Disasters, Wildfire Control, Air Force Transport Aircraft, Consequence Management

### 요약

**연구목적:** 최근 기후변화, 자연재해, 그리고 인적 요인에 의한 대형 산불이 동해안 및 태백산맥 지역에서 매년 증가하는 추세를 보인다. 현재 헬리콥터를 활용한 산불 진화가 증가하고 있음에도 불구하고, 대형 산불에 대응하기 위한 초기 진화의 중요성과 양산 산불 진화의 어려움으로 인해 공군 수송기의 도입 필요성이 지속해서 제기되어 왔다. 본 연구는 공군 수송기를 활용한 산불 진화 임무를 효율적으로 수행하기 위한 여러 측면 - 작전 목적의 달성, 운용 환경 극복, 대기 장소 선정 및 효율적 운용 방안 - 에 대한 사후 관리체계 발전 방안을 제시하고자 한다. **연구방법:** 산불진화 관련 문헌연구와 고정익항공기를 활용한 산불진화 실험 및 산불진화 헬기의 운용실태 및 운용방법을 기초로 헬기운용 시 장단점 및 대형수송기(C-130)를 활용한 대형산불진화시 효과분석을 통해 운용의 효과성을 분석한다. **연구결과:** 대형산불 진화 시 헬기와 고정익항공기(C-130)를 통합 운용시 효과적인 운용, 통제, 지휘체계, 출동요청 및 산불진화 등 효과적인 CM(Consequence Management) 적용방안을 도출하였다. **결론:** CM(Consequence Management)의 개념 적용은 우리나라에서 일부 화생방(CBRNE) 방호 분야에 일부 적용되고 있으나 산불진화에 있어서 헬기와 대형항공기(C-130)의 통합운용 시 효율적인 운용, 통제, 지휘체계 정립, 안전관리, 출동요청 및 산불진화 등을 위해 선진국에서 운용되고 있는 CM(Consequence Management)의 개념을 적용하여 진일보 발전된 재해, 재난 사후관리체계를 정립하는 데 기여하도록 하였다.

**핵심용어:** 기후변화, 자연재해, 위기관리, 대형산불, 산불진화, 공군수송기

Received | 11 March, 2024

Revised | 21 March, 2024

Accepted | 25 March, 2024

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

## 서론

본 논문의 주제인 ‘Consequence Management’(CM)는 한국에서는 아직 민간과 정부 부문에서 널리 사용되지 않는 용어이며, 국내 사전에도 등재되어 있지 않다. 그러나 군사 분야에서는 ‘사후관리’라는 용어로 일부 개념화되어 있는 상태이다(김정필. 엡센스 실용군사영어사전. 2018. 민중서림). 이러한 배경을 감안할 때, CM의 중요성과 적용 범위를 이해하는 것이 중요하다. 특히, 대형산불과 같은 재난 상황에서 군의 역할과 수송기 운용의 필요성을 명확히 하기 위해서는 CM의 개념과 그 적용성을 심도 있게 검토할 필요가 있다.

선진국에서는 재난관리를 체계적이고 효율적으로 수행하기 위해 CM을 통합 재난관리 및 포괄적인 안보 개념의 두 가지 측면으로 운영하고 있다. 이러한 배경을 고려하여, 한국에서도 이 개념의 도입이 필요하다고 본다. 특히 대형 산불 재난 상황에서 군의 대형 수송기 운용의 필요성, 효과성 및 역할을 명확히 하는 데 CM의 적용이 중요하다. 현재 CM은 주로 CBRNE(화학, 생물, 방사능, 핵 및 전자기) 상황에 대한 화생방 및 전자파 사후관리에 한정되어 적용되고 있다. 그러나 대형산불과 같은 재난 상황에서는 군의 주도적 역할과 민·관·군 통합 운영 체계 내에서의 사후 관리체계(CM)의 적용이 필요하다. 본 연구는 현재의 산불 발생 현황과 진화 체계를 분석하고, 대형산불 진화 시 군 수송기 운용의 효과를 사례 중심으로 분석한다. 이를 통해 국가 안보 차원의 통합 사후 관리체계의 운영 및 군의 역할을 분석하고, 대형 수송기를 활용한 산불 진화 체계의 사후 관리체계 발전 방안을 제시하고자 한다.

## 본론

### 우리나라 산불의 특성

#### 지형적 특성과 산불발생

계절풍(Seasonal wind, Monsoon)은 여름과 겨울에 대륙과 해양의 온도 차이에 의해 풍향이 매년 변하는 바람을 말한다. 대한민국은 몬순 기후 특성상, 11월부터 시베리아 기단의 남하로 대기가 매우 건조해져 산불 위험이 증가한다. 산불이 가장 많이 발생하는 시기는 양쯔강 기단의 영향으로 건조하고 더운 봄(3~4월)이다. 반면, 5월부터 강수량과 습도가 증가하여 위험도가 감소하며, 우기인 여름(6~8월)에는 산불 발생 확률이 가장 낮다. 건조한 봄과 가을을 제외한 시기에는 자연적인 발화 가능성이 작다.

봄철에는 전국의 산들이 산불에 취약하지만, 특히 강원도 동해안 지역은 산불이 자주 발생하는 취약 지역이다. 이는 편서풍이 산불확산에 결정적인 영향을 미치기 때문인데, 이 바람이 태백산맥을 넘어올 때 건조하고 더운 공기를 몰고 와 강원도 동해안 지역의 산림을 매우 건조하게 만든다. 이에 따라 작은 불씨로도 산불이 쉽게 발생하고 급속히 확산할 수 있는 환경이 조성된다. 이런 이유로 대부분의 큰 피해를 준 산불은 강원도 동해안 지역에서 발생했다.

#### 산불 발생 현황

우리나라의 연평균 산불 발생 건수는 약 537건이며, 피해 총면적은 약 3,560ha에 달한다(<http://www.forest.go.kr>). 이 수치는 그동안 국가에서 시행해 온 산림녹화 정책으로 숲의 무성함과 기후변화, 산을 찾는 등산객 증가 등으로 점차 상승하고 있다. 산불 발생 원인은 등산객과 입산자 등 인적 요인에 의한 것이 약 33%, 산림 인근 소각 행위가 약 25%, 담뱃불 실화 등 기타 요인이 약 43%로 나타났다(Korea Forest Service, statistical analysis table 2014 - 2023). 우리나라의 산불은 계절풍의

영향으로 주로 3~5월에 발생하며, 이 시기는 연간 산불 발생 총건수의 78%가 발생하고 있다(Lee, 2019).

### 산불의 특성

우리나라는 전 국토의 약 70%가 산악지형이며, 이중 약 96%가 임목지이며 낙엽과 같은 가연성 물질이 쌓여 있다. 또한 불에 잘 타는 침엽수가 수목의 절반가량을 차지하고 있어 산불 발생이 높고, 산불 발생 시 확산이 쉽게 될 수 있는 환경이 조성되어 있다. 그리고 산악지형의 상승기류는 산불을 평지보다 빠르게 확산시키며, 대형 산불로 전개될 가능성을 높인다. 특히 산악 지역은 사람이 접근하기 어려워 초동 진화가 안 될 경우 대형 화재로 이어질 수 있다. 산불은 경사가 급해짐에 따라 평지의 산불보다 신속히 진행되며, 일반적으로 0.30% 경사에서는 확산속도가 두 배가 되며, 30-60% 경사에서는 다시 두 배가 되고 70% 경사에서는 평지보다 확산속도가 10배까지 된다. 화염의 온도는 중심부를 기준으로 약 1,200°C이고 주변의 연기 등의 온도가 약 600°C로 나타났다. 또한 불기둥은 약 20~30m로 확산 속도도 매우 빠르게 나타났다(Lee, 2010).

### 산불진화 시 항공기 운용실태 분석

#### 국내 산불진화 시 항공기(헬기) 운용실태

우리나라는 불에 잘 타는 침엽수림이 산림 전체 면적의 약 42%를 차지하며, 급경사로 형성된 산악지역이 많아 비산화 발생률이 높다. 특히 이러한 지형에서는 인력접근이 매우 제한되므로 항공기 고유의 기동성, 운용의 융통성, 진화제의 대량 탑재 능력 등으로 산불 발생 시 신속하고 적극적으로 진화하는 데 매우 유용하게 운용될 수 있다. 이에 따라 항공기에 의한 산불 진화율은 90% 이상에 이른다(Bae et al., 2015).

헬기에 의한 산불 진화는 탑재한 진화제(물 등)를 살포함으로써 산불을 효과적으로 진화한다. 우리나라에서 항공기에 의한 산불 진화 작업은 화두에 직접 물을 살포하는 직접 진화 방식 위주로 운용하고 있으며, 고압선 지역, 화두가 강한 지역 등에는 부분적으로 간접 진화(수성 방화선) 방식을 채택하여 운용하고 있다. 그러나 헬기는 기본적으로 기종별 제한된 성능과 탑재량이 있으며, 산불 현장의 지형, 기상(풍향, 풍속) 및 산불로 인한 불길과 연기, 야간 등으로 기동에 제한이 있다.

산불 진화에 항공기를 운용한 역사는 오래되지 않았다. 1981년 3월 19일 양재동 부근에서 발생한 산불에 H-369 헬기가 투입되어 공중 진화한 것을 시작으로 항공기에 의한 공중 진화가 발전되었다. 산불 발생 시 운용되는 헬기 종류 및 대수는 2024년 3월 기준 산림청 헬기 48대, 소방헬기 30대, 국립공원 헬기 1대, 민간 헬기 50여대, 군 헬기 25대, 임차헬기 7대 등 총 약 161대가 운영되고 있다. 군을 제외한 우리나라 국가 및 민간 헬기 중 운용 대상 총 185대 중 123대(약 66.5%)가 산불 진화에 지원되고 있다.

산불이 빈번히 발생하고 대형 산불의 발생 건수가 증가하면서 헬기의 운용은 소요증대 및 대형화로 변화되고 있다. 우리나라에서 산불 발생이 증가함에 따라 헬기에 의한 공중 진화율도 증가하고 있다. 1985년부터 2013년까지 헬기에 의한 산불 진화율은 약 68%이었으나 점차 증가하여 최근에는 약 90% 이상으로 나타나고 있으며 산불 건당 헬기 출동 대수는 약 2.47대로 분석되고 있다(Bae et al., 2015). 산불 발생 시 헬기 운용 결과를 보면 산림청 헬기 약 58.4%, 민간 헬기 약 20.2%, 군 헬기 약 9.4%, 소방헬기 약 8.6%, 경찰 헬기 약 3.4%로 나타나고 있다. 동해안의 대형 산불 당시 산불 진화를 위해 투입된 헬기 대수는 2000년 4. 7~4. 15(9일) 기간 동안 산림청 헬기 176대, 군 헬기 141대, 민간 헬기 16대, 소방헬기 11대, 경찰 헬기 5대, 국립공원 소속 헬기 4대 등 총 353대의 산불 진화용 헬기가 투입되었다.

헬기에 의한 산불 진화 방법은 Fig. 1과 같이 최대한의 효과 달성을 위해 불의 가장자리에 가까이 접근한 지상진화대의 앞

쪽 부분에 물을 투하하는 것이다. 직접 진화에는 일반적으로 세 가지 진화 방법을 운용하고 있으며 산불 진화 방법에는 직렬 진화(Tandem action), 우회 진화(Flanking action), 포획진화(Envelopment action)가 있다. 이 세 가지 운용 방법은 각각 개별적으로 운용되기도 하고 현장 상황에 따라 개별적, 혼합적으로 운영되고 있다.



Fig. 1. Helicopter-based wildfire extinguishing methods

### 대형 수송기(고정익)에 의한 산불진화

현재 우리나라는 대형 수송기(고정익)에 의한 산불 진화는 수행되지 않고 있으나, 해외의 경우는 다양한 기종의 대형 수송기(고정익)에 의해 산불 진화를 수행하고 있다.

대형 수송기의 물 탑재 방식은 고정된 탱크와 이동형 탈·부착 탱크, 캐비닛형 낙하 투하물 형태의 세 가지 방법이 있다. 고정 탱크 시스템은 수송기 동체 내부에 탱크를 설치, 장착하는 방식이고 탈·부착형은 수송기의 내부에 화물 탑재 시와 동일한 방법으로 저유탱크를 탈·부착하는 형태이다. 낙하물 낙하 방법은 수송기 화물칸에 캐비닛 형태의 진화제 박스를 임무 지역 상공에서 투하할 수 있도록 제작한 것으로 화물 투하 시 진화제가 확산하면서 산불을 진화하는 방식이다.

### 헬기와 대형 수송기(고정익)에 의한 산불진화 효용성

산불 진화 시에 대형 수송기(고정익)는 헬기에 비해 진화제를 대량 탑재할 수 있고, 야간비행이 가능하며 강풍 시 운용이 가능하다. 이러한 장점으로 인해 헬기의 운용이 제한되는 상황에서 고정익 항공기를 운용할 수 있으나 비행장 이착륙, 연료 재충전 등으로 재출격 시간이 다소 길 수 있다.

헬기의 경우는 진화제 탑재량은 적으나 담수시간 단축, 재출격 시간 단축 등으로 직접 진화 방식과 정밀 진화에 운용할 수 있다. 대형 헬기의 경우는 탑재량이 많아 대형산불 및 간접 진화에 운용이 가능하다. 단 현재 국내에서 운용 중인 헬기는 야간 운용이 제한되고 있다.

### 대형산불 진화 시 군 수송기 운용 필요성 및 효과분석

#### 군 수송기를 활용한 산불진화 필요성

항공기를 이용한 약천후(강풍 등) 및 야간화재 진화는 주간 운용 시보다 위험도가 훨씬 높다. 이는 항공기 운용고도, 시계의 제한 등에서 오는 위험도가 높기 때문이다. 미군의 야간비행 시 사고사례를 기준으로 위험도 및 사고사례를 분석한 결과에 따르면, 주간보다 야간비행이 더 위험한 것으로 나타났다. 즉, 산악지형 야간작전 임무는 일반임무에 비해 약 3.3배의 위험도와 어려움이 있는 것으로 분석되었다(<http://history.amedd.army.mil/booksdocs/vietnam/dustoff/chapter4.htm>. 검색 2020.8.10.).

1983년부터 2015년까지 33년간 야간 산불 진화 시 발생한 헬기 사고는 헬기가 관여된 사고는 총 11,969건으로 이 가운데 산불 진화 중에 발생한 사고가 21건(야간 33%), 외부화물 운반 관련 52건(야간 6%), 응급구조 출동 관련 사고가 40건(야간 56%)으로 분석되었다. 이를 종합하면 기간 중 발생한 전체 헬기 사고 가운데 야간비행 관련 사고는 평균 29%로 나타났다(National Transportation Safety Board, 2018). 이와 같은 이유로 헬기는 야간산불 진화가 현재 금지되고 있다. 이러한 상황에서 대용량의 진화제를 탑재하고 야간산불 진화가 가능한 대형 수송기(군의 C-130 항공기)를 활용하는 방안이 적극 검토되고 있다.

미국에서는 보잉 747-400을 개조하여 대형 탱크 시스템을 수용하여 항공기에 20,000갤런의 물, 진화제를 탑재하여 대형 화재진압에 운용되고 있고, McDonnell Douglas DC10, C-130 수송기를 개조하여 공중 화재진압에 사용하고 있다. 캐나다에서는 초대형 화재진화용 수륙양용 항공기인 ‘CL-415’기로 대형산불 때 캐나다 퀘벡에서 1,620갤런(약 6,130리터)의 물을 적재하여 화재를 진압하였다. 기타 콜롬비아, 호주 등 다양한 국가에서도 대형 수송기를 활용한 산불 진화 임무를 수행하고 있다.

산불 진화는 일반화재와는 달리 험준한 산악지형에서 발생한 화재를 진화하는 것으로 지상진화대의 인원이 접근하는 데에는 많은 제한이 있다. 그래서 산불 발생 시 초기진화 단계에서부터 항공기를 사용한 산불 진화 체계가 구축되어 운용되고 있다. 그러나 최근의 산불은 헬기 등의 진화 체계를 활용하여 진화하고 있으나 대형 산불 및 야간, 강풍 시에는 헬기 운용에 대한 제한으로 산불 진화에 많은 어려움을 겪고 있다.

현재 산림청, 소방청, 민간, 군 및 경찰 헬기 등 산불 진화에 동원되는 산불 진화용 헬기는 규모별, 종류별로 분류되어 소형 헬기부터 대형 헬기까지 다양하게 구축되어 운용되고 있다. 그러나 대형산불 및 야간, 강풍 시에는 헬기 운용이 제한되므로 이에 대한 대비 방안이 필요한 실정이다. 이러한 상황에서 대안으로 제기된 것이 군 수송기 운용 방안이다.

## 군 대형수송기(C-130) 운용 현황

### 군 조직체계

- (1) 군의 지휘부는 국방부, 각군 본부로 구성되어 있으며 군사전략 및 정책을 수립하고 군사적 운영을 지휘하며 군의 예산 및 인력을 운영한다
- (2) 공군은 항공기 기종별로 비행단 및 비행대대를 운영하며 전투능력과 임무에 따라 구성 운영되며 수송기는 C-130H와 C-130J로 2개대대 40여대로 운영되고 있다.
- (3) 공군은 전투기 운영부대, 수송기 운영부대, 헬기운영부대로 각각 구성 운영되며 임무별 특성과 임무수행에 따라 공군 기지별로 각각 운영된다.

### 공군 수송기 운영부대의 비상대기체계

- (1) 긴급한 병력 및 물자 수송: 비상 상황에서는 긴급한 상황에 대처하기 위해 병력, 장비, 의료 자원 등을 신속하게 이송해야 할 때가 있습니다. 공군 수송기 부대는 이러한 요구를 충족시키기 위해 고속 및 장거리 이동 능력을 가지고 있으며, 긴급한 상황에서 신속하고 효율적으로 운용하도록 하고 있다.
- (2) 재난 구호 및 인도적인 임무: 자연재해, 인도적 위기 또는 대규모 이동 등의 상황에서 공군 수송기 부대는 구호 및 인도적인 지원을 제공하는 데 중요한 역할을 합니다. 의료팀, 긴급 구호품, 식량 및 급여물자, 자연재해 구호 등을 위해 운

용된다.

- (3) 국내 및 국제적인 비상 대응: 공군 수송기 부대는 2개대대 40여대가 운용되고 있으며 대형산불 진화를 위해서 강릉, 횡성 등 비행장장에 각각 2대씩(장비포함) 대기가 피료하다. 현재 공군 수송기는 국내 및 국제적인 비상 상황에 대응하기 위해 비상 대응 및 지원 임무를 수행합니다. 이는 예를 들어 국제 평화유지 작전, 대규모 이동 및 대피 작전, 국경 보호 및 감시 등을 포함하고 있다.
- (4) 특수 작전 및 구난 임무: 공군 수송기 부대는 특수 작전 및 구난 임무를 수행하기 위한 특수 부대 및 구난 임무 수행 기관과의 협력을 위해 필요한 지원을 제공합니다. 이는 특수 부대의 이동과 지원을 보장하여 극적인 상황에서의 작전 성공을 돕는 것을 포함한다.

### 사례분석을 통한 대형수송기(고정의 항공기)를 활용한 산불진화 효과분석

#### 실험운용 환경조건

고정의 항공기를 이용한 산불 진화에 대한 효과분석은 장비 제작사에서 수행한 효과도 분석을 기초로 군 수송기를 활용한 산불 진화 운용 시를 가정하여 효과를 분석하여 향후 운용 방안을 도출하였다. 본 연구에서는 별도의 실험을 수행할 수 없는 관계로 실험에 인용된 시험설계는 고정의 항공기를 대상으로 산불 진화 시 효과도 측정을 위한 상황을 상정하여 향후 군 수송기를 활용한 산불 진화 임무 수행 시 유사한 환경과 결과를 도출하기 위하여 활용하였다.

#### 효과도 측정 방법

효과도 측정 방법으로 고정의 항공기에 의한 산불 진화 효과측정에는 운용모델(M&S), 진화제 사용, 항공기 운용형태(고도, 속도 등)에 따른 효과도, 환경조건 등을 기반으로 측정 방법을 선정하였다.

바람 측정은 Teledyne Geotech Model 1657 풍력시스템을 사용하여 수행하였다. 바람 전송장치는 지상 분배 그리드에서 200피트 이내의 20피트 지점에 배치되었다. 풍향은 진화제의 낙하 영역 및 항공기의 예상 비행경로와 관련하여 방향이 지정되어 정풍 바람은 0°, 역풍은 180°, 직각은 90° 및 270°의 비행경로를 설정하였다. 분석을 위해 풍향을 좌우로 0°~180°로 줄였다. 왜냐하면 측풍의 영향은 같은 각도에서 양쪽에서 동일했기 때문이다. 풍속과 풍향은 모두 차트 속도가 0인 스트립 차트 레코더에 기록되었다.

항공기 운용을 위한 고도, 속도 측정을 위해서는 항공기에 장착된 기압고도계(ALT)와 대기 속도계(IAS)를 활용하여 조종사는 가능한 최대 정확도를 유지하였고 진화제(낙하물) 투하 시는 낙하 높이와 속도에 도달하도록 하였다. Fig. 2에서와 같이 고정의 항공기를 활용하여 효과도 측정 시 항공기에서 진화제(낙하물)의 낙하 높이와 항공기 속도의 변화는 지형조건, 항공기 운용환경, 비행자세 등의 요인으로 인하여 약간씩 변화될 수 있어 카메라를 정면과 직각에서 동시에 촬영하여 정확한 높이가 측정되도록 하였다.

측정 결과 분석을 위한 지면 속도 측정은 항공기가 비행 시 촬영한 결과를 비행경로, 낙하물 투하 그리드, 릴리스 포인트 등을 확인하여 항공기 길이를 기본척도로 하여 지면까지의 수직거리를 계산하였다.

항공기를 활용하여 효과를 측정하는데 진화제(투하물)의 낙하 높이, 항공기 지면 속도, 진화제(투하물)의 출구 이탈시간, 지면까지의 도달 시간, 지면에 정착하는 데 걸리는 시간 등을 측정하였다. 측정을 위한 비행경로에 따른 수직 및 수평분포는 다음 그림과 같다.

고정익 항공기를 활용하여 진화제를 낙하시 지면에 분포되는 패턴을 측정하기 위해서 이전 낙하연구(George et al., 1973)의 결과를 기반으로 예상되는 낙하 분산 패턴에 가장 적합한 그리드가 배치되도록 하였다.

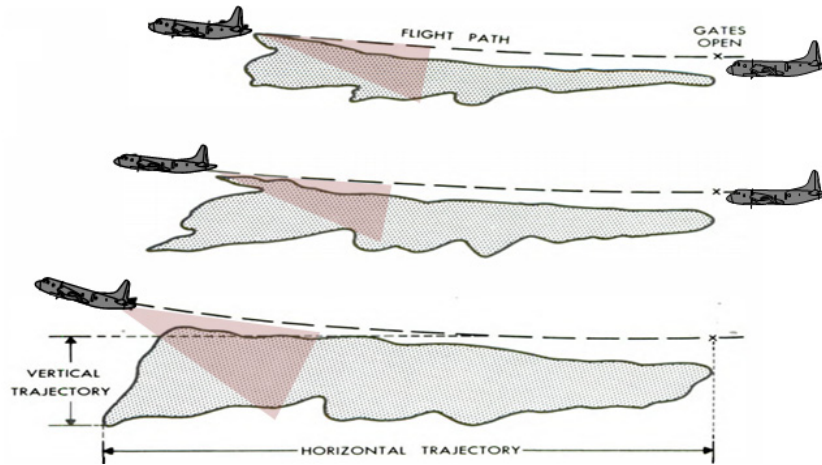


Fig. 2. Large air tanker-based wildfire extinguishing methods

#### 효과도 측정 사용 진화제

효과도 측정에 사용된 진화제는 Phos-Chek XA, Fire-Trol 100, Gelgard, 그리고 물이다. 본 연구에 적용된 진화제의 성능은 동일하나 제품이 다양하고 국가별로 사용하는 제품이 상이하여 연구에 적용된 제품은 미국 및 캐나다에서 사용했던 진화제를 중심으로 분석되었다. 따라서 효과측정에 사용된 진화제와 국내 운용 진화제의 성분은 유사하다.

#### 실험설계

본 연구에서는 별도의 실험을 수행할 수 없는 관계로 실험에 인용된 시험설계는 고정익 항공기를 대상으로 산불 진화 시 효과도 측정을 위한 상황으로 가정하여 향후 군 수송기를 활용한 산불 진화 임무 수행 시 유사한 환경과 결과를 도출하기 위하여 활용하였다

항공기 운용 속도는 일반적으로 산불 진화를 위한 고정익 항공기의 운용 방법인 최적의 낙하높이인 150 및 300피트 조건이 테스트를 위해 선택되었다. 풍속과 풍향, 온도 및 상대습도가 낙하 패턴에 미치는 영향은 다양하겠지만 실험을 위한 가정과 조건으로 최소한의 효과(<math><10\text{m/s}</math>)를 제공하는 바람 조건에서 낙하가 이루어지도록 하였고, 온도는 약  $10^{\circ}\text{C}$ 와 최대 상대습도 50%를 설정하였다.

실험설계는 산불의 유사한 환경과 실험 결과의 유의적 결과 도출을 위해 테스트 매트릭스를 설계하였다. 진화제(투하물)의 투하횟수는 75회로 설정하였고 항공기 운항 속도는 125노트, 수평비행 조건에서 운용하는 것으로 설계되었다. 실험의 설계는 표준 설정과 운용 변수에 대한 설정 두 가지로 설정하여 매트릭스를 작성하였다. 매트릭스의 기본구조는 항공기에 탑재할 진화제의 종류, 낙하물의 양, 항공기 운용고도, 항공기 운용 속도, 풍속(정풍으로 가정), 항공기 운용 형태 등을 추가하여 실험 결과를 도출하였다. 실험에 적용할 매트릭스와 이에 따른 독립 변수는 Fig. 3와 같다.

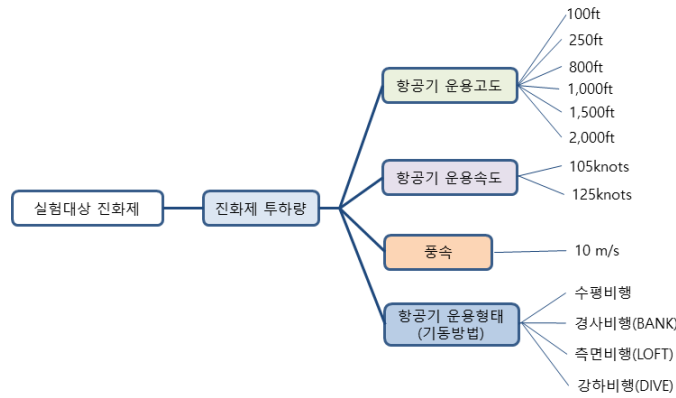


Fig. 3. Experimental application matrix

### 실험수행

본 연구에 인용된 실험 수행은 진화제 특성을 샘플링 및 결정하여 낙하 중 환경조건을 모니터링하고, 항공기 고도와 속도 및 진화제 낙하상태를 측정하였다.

지면 분포패턴을 결정하는 데 사용된 절차는 Porterville 진화제 낙하 연구(George et al., 1973)에 사용된 절차와 유사하게 적용하였다.

### 실험결과

실험 결과 항공기 운용고도 800ft (AGL) 이하에서 운용 시 유의한 결과(낙하 성공률 50% 이상)를 가져오는 것으로 나타났으며, 진화제의 특성에 따라 지상 착지 효과는 Fig. 4와 같이 나타났다.

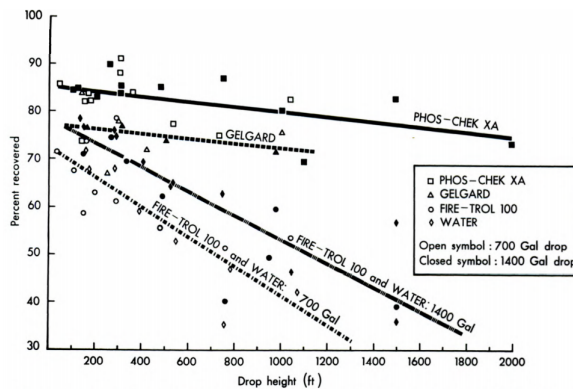


Fig. 4. Results of drop tests by fire retardant type

### 대형 재난(산불) 시 군 수송기(C-130)의 효율적 운용 방안

군 수송기(C-130)를 활용하여 대형 산불을 진화할 때는 간접 진화를 위한 방화선 구축이 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 먼저 군 수송기로 방화선을 구축하여 확산 속도를 지연시킨 후 헬기가 후속으로 직접 진화하여 공중 진화의 효과를 향상



하는 것이 효과적이다.

## 대형 재난(산불진화) 시 CM(Consequence Management) 발전 방안

### 효과적인 군 조직 활용

군 조직은 전 지역에 비행작을 운용하고 있으며 24시간 작전운용태세로 비상대기 임무를 수행하고 있다. 따라서 체계적으로 운영되고 있는 군조직체계를 효과적으로 활용하고 작전임무를 위해 대기하고 있는 군 수송기(C-130)를 활용하여 대형산불 발생 시 운용한다면 초기대응은 물론 대형산불로의 확산 방지에 효과적으로 운용할 수 있다. 군 수송기는 전국을 20~30분 이내 도달하여 임무를 수행할 수 있고 산불이 자주 발생하는 시기에는 인근 비행장에 비상대기함으로써 더욱더 효과적으로 운용할 수 있다.

### 장비구성 및 운영체계

탈·부착형 운용 장비는 수송기 내부 화물 적재 칸에 필요시 설치하여 운용하다가 타 임무 수행 시 제거하는 방식으로 항공기 운용의 융통성, 군 작전 임무의 적시성 등을 고려하여 운용 방안을 설정하도록 되어있다.

운영 지역은 대형 산불이 빈번히 발생하는 지역을 기준으로 인근 비행장에서 군 작전 임무와 함께 임무 대기 후 산불 발생 시 즉각 투입하는 방안이 제기되어 왔다.

### 산불진화 시 지휘통제체계

산불 진화의 지휘체계는 산불 규모에 따라 산불 진화 체계 구성, 통합지휘체계구성 및 운영, 지상진화대 등 지원 소요 판단, 항공기 지원 소요 및 운영 방법, 참여 규모 등을 판단하는 근거가 되며 운영 주체가 명문화되어 지휘 책임을 명확하게 할 수 있다.

산불 진화 시 효율적인 산불 진화를 위해 산불 규모별 지휘체계를 정립, 규정화하고 피해 면적의 규모에 따라 구분하며 산불 규모와 형태에 따라 지휘체계도 변화되도록 하였다. 여기에는 지상진화대 운영 및 지휘 책임, 항공기 운영 및 통제를 위해 운영 특성에 따라 규정화하도록 하였다. 산불 규모에 따른 지휘체계를 보면 Table 1과 같이 구분된다.

**Table 1.** Command and control system for wildfire suppression

구분	피해면적	진화 지휘책임	진화지휘 부책임
소/중형 산불	30ha 미만	시장/군수	-
	국유림 피해면적 50% 이하		국유림관리소장
대형 산불	30ha 이상	시/도지사	-
	국유림 피해면적 50% 이상 민유림 피해면적 50% 이상		지방산림관리청장 시장/군수
비고	항공기(헬기, 대형수송기) 운용 및 통제: 산림청장		

### 효과적인 임무수행방안

산불 진화에 투입되는 항공기는 임무의 특수성, 운용 방법, 탑재 장비 및 물자, 기체 하중, 기동 방법 등을 공군의 전술 임무 (Low-altitude penetration airdrops, special air operations, etc. Mobile Reconnaissance Manual 13-201-1)에 준하여 실시하

며 항공기 안전관리, 임무 수행 절차(MP) 등은 군의 항공기 임무 수행 절차를 준용한다.

군 수송기를 산불 진화 임무에 운용할 경우 대용량의 진화제 탑재, 약천후 및 야간운용 등 산불 진화 헬기 운용이 제한되는 지역 및 시간에 대형산불로 확산 우려 시, 대형산불 진화 또는 초동단계에 운용 시 실험결과 등을 보았을 때 효과적인 것으로 분석되었다.

### 대형 산불 진화 시 CM (Consequence Management) 발전방안

대형 산불 진화 시 군 항공기 활용을 위한 CM 발전 방안은 기관별 조직체계(지휘체계), 군의 역할 및 임무 수행, 효율적인 임무 수행 방법, 항공기 안전대책 등을 포함한다.

첫째, 지휘체계, 군의 역할 및 임무 수행은 통합지휘체계로 주관기관인 산림청 주관하에 국방부의 임무 및 역할을 설정하여 운영하고 통합지휘 본부에 연락관을 파견하여 효율적인 임무 수행이 되도록 한다.

둘째, 효율적인 항공기 운용 및 안전체계 확보를 위해서는 전용 운용주파수를 설정하여 운용하도록 한다.

셋째, 효과적 산불 방화선 구축방법으로 평행선진화 방안, 방화선 구축 통제선 설정운용 등을 포함하여야 한다.

넷째, 산불 진화 헬기와의 공조 강화 방안으로 직접 진화는 소방헬기가 현재와 같이 수행하고, 주요 시설 위협 시 피해 예방을 위한 간접 진화는 고정익 항공기 위주로 수행한다. 우리나라 산림보호법 제36조 제3장 산림보호법 시행규칙 제31조에 명시된 바로는 산불 진화의 우선순위로 민가, 사람이 있는 곳, 문화재 및 산림보호구역, 기간산업시설 등을 진화 우선순위로 하고 있다. 이러한 지역은 주간 진화뿐만 아니라 야간 진화에도 특별히 중요하며, 이에 따라 야간 진화 요구가 대두되고 있다. 따라서 이들 지역에 대한 간접 진화방식의 방호선을 주간에 고정익항공기를 이용하여 구축함으로써 야간 공중 진화 요구는 감소할 수 있다.

다섯째, 군 수송기를 활용하여 진화제를 산불 지역에 투하하는 방법은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 일괄 투하 방식으로 1회에 탑재량을 전량 집중 투하하는 것으로 화재의 핵심지역(정밀 진화 방식)을 진화하는 데 효율적으로 운용될 수 있다. 두 번째는 순차 또는 흔적 낙하 방식으로 진화제의 투하 폭은 다소 좁으나 길이를 증대할 경우 순차 또는 흔적 낙하 방식을 채택하게 되며 이는 방화벽 구축 등으로 산불확산을 막는데 유효하다. 이러한 투하 방법의 운용은 현장에 출동한 조종사가 현장 상황과 풍향 및 풍속, 산불 형태, 진화 형태 등을 판단하여 수행하게 된다. 진화제 투하 방법에 따라 지상에 착상되는 진화제의 형태를 도식화하면 Fig. 5와 같다.

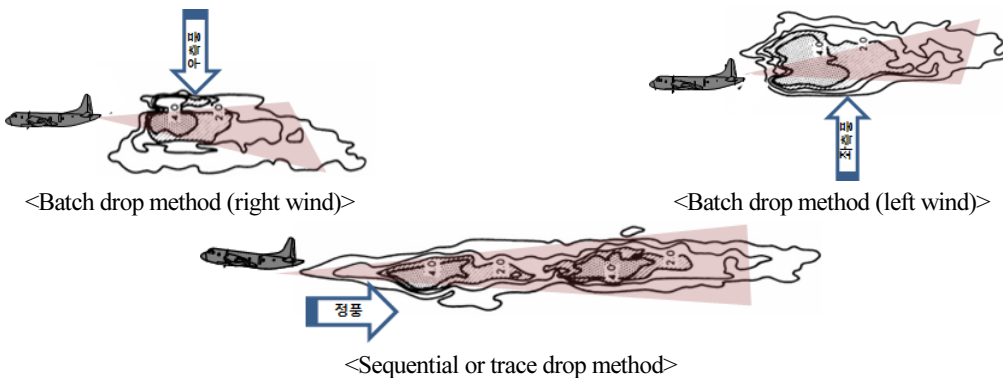


Fig. 5. Methods of dropping fire retardant from large air tankers

여섯째, 항공 안전대책은 Fig. 6 과 같이 산불 지역의 운영지역 분리, 고도 분리, 운영시간 분리, 선도기운영 등으로 안전대책을 강구하도록 규정 및 방침, 지침을 제정 운용하도록 한다.

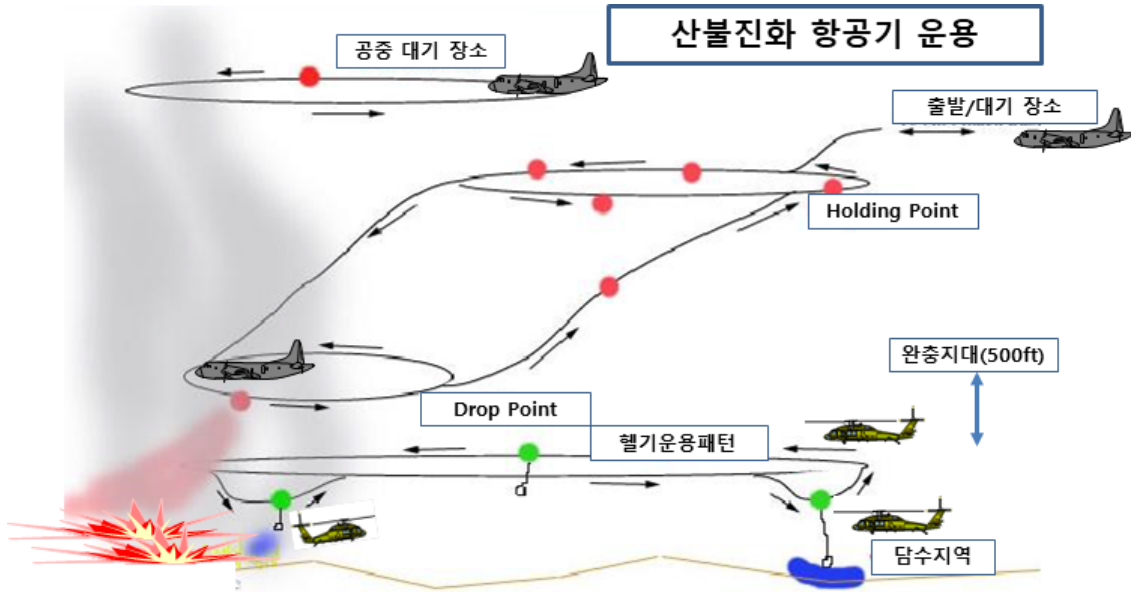


Fig. 6. Consequence Management System(CM) and aerial control measure during wildfire suppression

## 결론

본 연구에서는 군 수송기를 활용한 대형산불 진화 시 CM (Consequence Management)의 발전 방안을 제시한다. 구체적인 CM의 발전 방안은 추가 세부 연구가 필요하나 초기 단계에서의 CM 발전방안을 설정하였고 관련분야에 적용 사례가 없는 개념의 도입이라는 점에서 충분한 의미를 가질 수 있다고 생각한다. 본 연구를 통해서 제한적이나마 군의 CM 개념 적용에 대한 시도적 발상에 역점을 두고 군의 다양한 분야에서 CM (Consequence Management)에 대한 개념이 정립되도록 공감대 형성의 계기가 되었으면 한다.

## 후기

본 논문은 매년 반복되고 있는 동해안의 대형산불과 기후변화에 따른 산불확산 등 자연재난이 급속히 증가되고 있는 상황에서 기존에 운용되고 있는 헬기에 의한 산불진화 방식으로는 대형산불진화에 한계가 있고 야간 및 악천후 시는 운용의 제한사항이 많아 대형산불을 조기에 진화 및 확산을 방지할 수 있는 공군의 대형수송기를 활용한 산불진화 방안을 제시하고자 한다. 이는 현재 공군이 24시간 긴급상황에 대비하여 기지별로 항공기를 비상대기하며 운용하고 있고 대형항공기에 의한 산불진화 및 확산방지에 대한 필요성이 증가되고 있는 시점에 헬기와 대형수송기를 혼합운용 시 사후관리방안(CM)에 대해 제시하여 산불진화 시 안전관리 및 효율적인 운용통제를 위한 대안을 제시하고자 하였다. 이는 군, 관, 민의 합동운용체계에 대한 최초의 통합운용방안에 대한 제시이며 사후관리(CM)에 대한 개념정립 및 향후 발전방안, 적용성 확산에 기여하고자 하였다.

## References

- [1] Bae, T.-H., Lee, S.-Y. (2015). "Efficient operation plan for forest fire extinguishing." *Journal of the Korean Fire Protection Association*, Vol. 29, No. 1, pp. 46-47.
- [2] Bae, T.-H., Lee, S.-Y. (2010). "Study on the construction type and method of extinguishing fire lines for aerial fire extinguishing forest fires." *Journal of the Korea Fire Protection Society*, Vol. 24, No. 5, pp. 22-25.
- [3] FM. Air Force (2018). *Mobile Reconnaissance Manual (C-130 Operational Procedures) 13-201-1 (C-130)*.
- [4] George, C.W. (1973). *A Review of Data Available Regarding Aerial Firefighting Operation Tank and Gating System*. U.S Lockheed Martin Co. Research Report, MAFFS, L.A.
- [5] <http://history.amedd.army.mil/booksdocs/vietnam/dustoff/chapter4.htm>.
- [6] Lee, S.-Y. (2018). "Development of a nationwide forest fire occurrence model." *Korean Journal of Agriculture, Forestry and Forestry*, Vol. 6, No. 4, pp. 242- 248.
- [7] Lee, S.-Y. (2019). *Problems and Improvement Measures in Forest Fire Extinguishment*. Master's Thesis. Kyungil University Graduate School of Industry. pp. 4.-5. 11.
- [8] National Transportation Safety Board (NTSB) (2018). *U.S. Forest Service Aviation Safety Report (SAFECOM)*, U.S AirForce, NY.
- [9] US AirForce Forest Service (2018). *Forest Statistics Yearbook*.