

Article

헬기에 의한 산불공중간접진화 방법에 관한 연구

배택훈*, 최연철**

Study of Indirect Attack Method of Aerial Fire
Firefighting by Helicopter on Forest Fire

Taek-Hoon Bae*, Youn-Chul Choi**

ABSTRACT

Among the method of aerial fire firefighting, the indirect attack is efficiency way to protect main facilities and it is the aerial fire line construction. According to this study is suggested the fire line construction strategy of indirect attack by helicopter suitable Korea forest fire on theory consideration of indirect attack and experience in practical scene. This study defined that main key points of the fire line construction are accuracy, large quantity, and quickness. Main protection facilities are devided as caution area, warning area, danger area and concern area. Also, it suggested stage-by-stsge from 1 step to 3 step for the aerial fire firefighting correspondence strategy and the fire line construction model. I regard that this study's indirect attack method of the aerial fire firefighting of the fire line construction may be understand about indirect attack tactics and application of indirect attack which is assistance to raise of capability of the aerial fire firefighting with effectiveness and efficiency.

Key Words : Forest fire(산불), Aerial fire firefighting(공중진화), Indirect attack(간접진화), Fire line construction(방화선 구축), Spot fire(비산화)

1. 서 론

우리나라에서 2000년 동해안 초대형 산불은 산불통계기록 이후 가장 많은 23,794ha의 산림이

소실되었고 2002년에는 청양·예산에서 3,095ha의 산림이 소실되는 등 재난성 대형산불이 발생하였으며 최근 10년간(2001~2010) 평균 산불발생 건수는 478건에 평균피해 면적은 1,161ha로 빈도와 규모가 크게 증가하고 있다.[1] 진화자원은 지상 및 공중진화 자원으로 구분되며 지상진화자원은 지상진화대원, 수작업도구, 차량, 불도저 등이고 공중진화자원은 항공기로서 고정익 항공기와 회전익(헬기)으로 분류한다. 고정익 항공기는 오직 한 방향으로만 비행하고 실속 속도 이

Received : 21. April. 2016. Revised : 28. July. 2016.

Accepted : 15. Sep. 2016

*산림항공본부 강릉산림항공관리소 운항관리팀장

**한서대학교 항공산업대학원

연락처, E-mail : heli1217@korea.kr

강원도 강릉시 공항길 142-10 강릉산림항공관리소

상으로 기동하며 제한된 각으로 상승하고 원형으로 선회하여야한다. 헬기는 제자리 비행을 할 수 있고 수직상승, 강하 등 다방면으로 기동 할 수 있다. 이러한 이유로 헬기는 정밀한 공중진화에 더욱 효과적이다.[2] 항공기는 지상진화력을 보완하는 자원이지만 지상진화자원보다 고가의 운용비가 소요되므로 이를 효과적으로 운용하기 위한 방안의 강구가 매우 중요하다

항공기를 이용한 산불진화는 공중진화라는 용어를 사용하는데 산불진화를 위한 항공기의 사용은 1960년 이래로 미국, 호주, 그리스, 프랑스 등 산불이 빈번한 국가를 중심으로 지속적으로 증가 추세이다.[3] 우리나라는 1981년 3월 19일 양재동 부근에서 발생한 산불에 H-369헬기가 투입되어 공중진화 한 것을 시작[4]으로 고정익의 경우 경상남도에서 임차한 캐나다의 CL-215 (에어탱크)가 2012년 4월 6일 삼랑진에서 물을 담수하여 밀양산불에 투입된 것이 최초이나 현재는 전체적으로 헬기가 운영되며 산림이 풍성해지면서 산불진화의 방법은 지상진화보다 헬기를 활용한 진화가 주류를 이루게 되었다. 진화활동에서 헬기투입과 지상진화의 비율을 비교하는 것을 공중진화율이라고 하는데 1985년~2012년까지 28년 간 공중진화율은 68%이고 최근 10년간은 79%로 점차 상승 추세로 산불발생의 빈도 증가와 산불대형화로 인하여 공중진화의 역할은 더 증가 할 것으로 전망되고 있다.

이러한 추세에 맞추어 효율적인 산불진화를 위해서는 공중진화의 대응체계 및 기술향상이 절실하며 항공기 운용의 안전성, 경제성, 적절한 장비의 운용과 효율적인 공중진화 기술의 개발이 필요하다.[5]

산불진화의 방법에는 직접진화와 간접진화의 2가지 방법이 주로 운용되는데[6] 미국 등 선진국에서는 이미 산림/도시 인접지 산불(Wildland Urban interface fire)에 간접진화방법을 운영하고 있다.[7] 대형산불과 관련된 산림청의 연구에 의하면 2005년 4월 양양 낙산사 산불발생시 문화재 등 많은 피해를 본 것은 간접진화 방식을 도입하지 못한 것으로 판단하였으며 이에 따라 낙산사 산불이후 산림 내의 문화재와 중요시설을

보호하기 위하여 2006년 9월 산림청 강릉산림항공관리소에 간접진화를 위해 필요한 지연제 혼합시설을 설치하였다. 그러나 시설을 포함한 장비 측면은 상당수준이 보강되었지만 실질적으로 헬기운영이나 진화에 필요한 공중간접진화 전술은 명확히 정립되지 않았다. 본 연구에서는 우리나라 실정에 부합되는 공중진화를 위하여 헬기에 의한 공중간접진화 방법 및 전술을 제안하였다.

2. 간접진화 이론적 고찰

2.1 간접진화 개념

산불의 효율적인 진화를 위하여 산불지역의 산의 형태, 화선, 바람, 연기 등에 의한 현장의 상황변수를 고려하여 최적의 방법을 사용해야한다. 지상진화와 마찬가지로 헬기에 의한 공중진화방법은 직접진화(Direct Attack), 평행진화(parallel attack), 간접진화(Indirect Attack)의 3가지 방법으로 이루어진다.[8] 직접진화는 화선의 화두에 직접 물이나 폼(Foam)¹⁾을 투하하는 방법이고 평행진화는 화선의 바로 앞쪽에 평행하게 투하하는 방법이다. 간접진화는 화선의 전방에 지연제(retardant)²⁾ 투하하여 불이 확산되지 않도록 저지하는 것이며 불이 계속 번질 수 있는 가연성 물질의 연소가 불가능하게 하는 것이다. 즉 확산되는 가연성 물질 즉 화선의 전방에 지연제로 안전띠(safety stripe)를 형성하는 것이다.



Fig. 1 Retardant Drop In Front of Fire Lines

즉, 열기, 연기, 불꽃 등으로 화세가 강하여 직접진화가 매우 곤란하거나 실용적이지 못할 때 물이나 지연제 등을 화두부 전방에 투하함으로써 불길이 약해지도록 하여 산불확산을 저지하는 방

1) Foam : 황화염 젤을 사용하며 희색으로 물보다 3~5배의 진화효과가 있는 진화제이다

2)지연제(Retardant) : 간접진화(방화선구축)에 사용하며 붉은색을 띄고 화염의 길이가 4피트 이하 시 단기지연제를 사용하고 그이상이 장기지연제를 사용한다.

법이다. 예컨대 산림 내에 주택, 문화재, 주요기반 시설 등이 있을 때 지역전방에 지연제를 투하하는 방법으로 방화선 구축이라고도 한다. [9] 현재 우리나라의 경우 산림지역에는 사찰 등 문화재는 물론 국가·사회적 시설 및 전원주택이 개발되어 산불 발생 시 인명 및 재산의 큰 손실이 우려되는데 이 경우 간접진화방법을 통하여 진화의 효율성을 극대화 할 수 있다.[10]

2.2 공중간접진화 방화선 구축

기본적으로 방화선은 기존의 장벽, 임도 등 지형특성을 이용하여 구축한다.

우리나라에서는 헬기를 이용한 공중진화를 통하여 화두에 직접 물이나 폼을 투하하는 직접진화를 위주로 하고 고압선지역, 화두가 강한 지역 등에는 부분적으로 평행진화를 실시하고 있다. 한편, 미국 등은 대형산불에 평행진화 및 간접진화(방화선 구축) 방식으로 지연제를 주로 사용하고 있다. 특히 고정익 항공기(에어탱크)로 먼저 방화선을 구축하여 확산속도를 지연시킨 후 헬기가 후속으로 직접진화를 하여 공중진화의 효율성을 극대화 하고 있다. 고정익항공기는 산불을 통제하고 지상요원을 위한 화염을 냉각시키고 방화선을 구축 및 강화하는데 사용한다. 또한 담수용량이 많은 엘릭슨사의 S-64E 헬기를 이용하여 간접진화를 하고 있다. 그러나 우리나라는 현재 고정익항공기를 운용하지 않으므로 헬기로서 공중간접진화의 효과를 달성하는 실정이다.



Fig. 2 Fire helicopter makes a water drop, AP Photo/Mike Meadows, 2010

방화선의 구축은 ①지연제 투하 시 지상요원을 덮치지 않게 방화선의 위치를 고정한다. ②지연제 투하시 천연 또는 기존의 장애물을 이용한

다.③방화선을 가능한 직선이 되도록 한다. ④ 방화선은 화선과 가까이 설치한다. 이러한 작업을 통하여 화선의 불을 약화 시키며 ⑤비산화(화선에서 날아가는 불)를 통제선 내에 포함한다. 즉 주요시설물 보호시에는 비산화를 고려하여 시설물에 근접하여 별도의 방화선과 산불우리 뒤편에 방화선을 구축하는데 이 방법은 불이 산을 넘어가는 것을 억제하기 위한 것이다. 방화선의 폭은 산림연료의 종류, 높이, 밀도, 크기, 지형의 경사, 기상과 풍향, 불의 행태를 고려하여 판단하여야 하는데 일반적으로 우세불길 높이의 1.5배 이상이고 불의 행태가 강할 경우 우세 불길 높이의 2배 이상으로 한다.[10]

2.3 지연제(Retardant)의 사용

초기의 산불진화에서는 물만 사용하였으나 건조하고 강한 바람과 증발로 진화효과가 저감되는 점을 보완하여 미국산림청은 1950년 대에 화학물질을 개발하였으며 현재 화학물질은 지연제, 젤(물 강화제), 클라스A폼 3가지로 분류한다.

실험결과에 의하면 4가지의 진화물질 즉 지연제, 젤, 폼, 물 가운데 직접 및 간접진화에 가장 효과가 있는 것이 지연제이며 다음으로 젤, 폼, 물 순이다. 그러나 지연제가 가장 고가의 비용이 소요되므로 포괄적인 판단을 하여 전략적으로 간접진화에 주로 사용하고 있다.[9] 지연제는 분말형태의 소화약제로 산불지연 및 방염효과가 있고 공중살포하면 식별이 용이하게 적갈색으로 식별이 용이하므로 후속하여 진화작업을 하는 항공기가 연이은 투하가 가능하게 한다. 미국, 캐나다 등과 같이 광활한 지역이나 수원이자 장거리인 지역 등과 고정익항공기를 이용하는 경우 주로 사용한다.

지연제는 단기지연제와 장기지연제가 있는데 단기지연제는 수분이 증발하면 지연효과가 없어지나 후지는 수분이 증발된 뒤에도 연소를 억제하거나 감소시킬 수 있으므로 가장 효과가 크다. [10] 주로 암모니아, 황화합물, 암모니움, 인산염, 폴리인산염이 포함된 화학염료 지연제에 물을 희석할 수 있는 장비(물탱크, 고압펌프, 혼합기계 등)를 구비하여 운영된다. 미국에서는 지연제 혼합시설은 이동식과 고정식이 있으며 고정식은 주로 공항이나 항공기지에 설치하여 운용하며 이동식은 진화제 차량이 산불현장에 이동하면서 하천변 등 개활지를 사용하여 운영한다. 미국, 그리스, 포르투갈, 이탈리아 등은 C-130 수송기를 개조한 MAFFS(Modular Airborne Fire Fighting System)에 지연제 3,000gallon을 탑재하여 운용한다.



Fig. 3 MAFFS C-130 chemical fire retardant

3. 공중간접진화 방화선구축 연구방향

3.1 기존의 방화선구축 문제점

기존의 공중방화선 구축은 지상진화대의 전술을 그대로 공중 방화선 구축에 적용하는 것으로 방화선 구축의 개념, 방법, 방화선의 폭 정도, 지연제 사용 등이 유사하다. 그러나 이와 같은 방법은 특히 간접진화에서 문제가 되는 부분이 발생된다. 즉 방화선 구축방법에서 방화선 구축위치는 화선과 비산화를 고려하여 시설물 근접 구축, 산봉우리 뒤편에 구축한다는 것으로[10] 이를 그대로 적용할 경우 첫째, 방화선 구축의 거리(Fig4, 5)가 계수로 명시되지 않았으며 둘째, 구축 방법의 구체성이 미흡하다. 이러한 문제점은 헬기의 공중진화가 활성화된 미국에서도 산불진화 매뉴얼, 논문 및 보고서에도 명시되지 않았으며 이에 대한 분석과 연구가 요구되고 있다. 본 연구에서는 우리나라의 공중방화선 구축을 위하여 기존의 방법에서 연구되지 않은 최적의 방화선구축 위치선정 근거기준을 설정하고 단계별 대응전략 및 방화선 구축절차를 개발하였다.

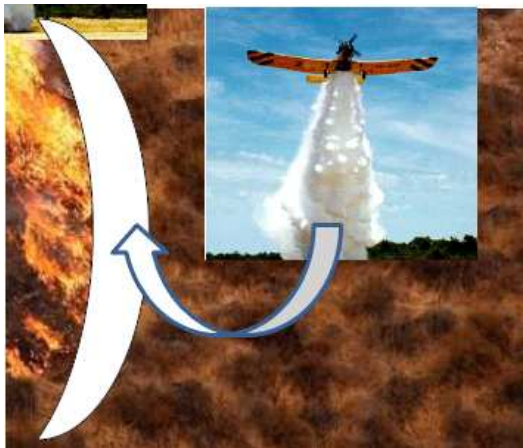


Fig. 4 Benefit of Retardant(Wet Line with Gel) [11]

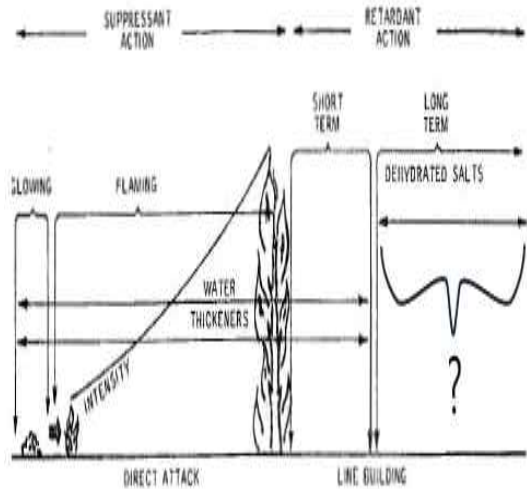


Fig. 5 The Fire Spectrums[13]

4. 공중간접진화 방화선구축 방안

우리나라에서 공중간접진화의 방화선 구축이 절실하였던 산불은 2005년 낙산사 산불과 2013년 포항산불이었으며 산림/도시(민가, 사찰, 문화재 등)인접지 산불은 산불을 담당하는 산림청과 주택화재를 담당하는 소방본부 관련기관의 유기적인 지휘 및 협업체계가 매우 중요하다. 따라서 우리나라 실정에 적합하고 상호의 역할을 극대화 할 수 있는 효과적이고 효율성 있는 방화선 구축방법을 제안 한다.

4.1 단계별 대응전략 개념

문화재 또는 민가가 산불진행 및 풍향과 같은 방향에 위치하고 산불확산속도가 급속히 진행할 때에는 이의 보호를 위하여 단계별로 대응전략을 구상한다. 먼저 적합한 방화선 구축을 위한 최초 위치선정의 근거 기준은 2000년 동해안 산불 최대 비산화거리가 1.5km이고 2002년 청양 산불 최대 비산화거리가 2km이므로[8] 먼 거리를 기준으로 채택하여 2km로 설정하였다. 즉, 최초 주요보호시설로부터 2km 전방에서부터 산불대응을 실시하는데 주요 보호시설을 중심으로 1~2km를 주의지역, 0.5~1km를 경고지역, 500m 이내를 위험지역, 그 외를 관심지역으로 설정하였다.(Fig6)

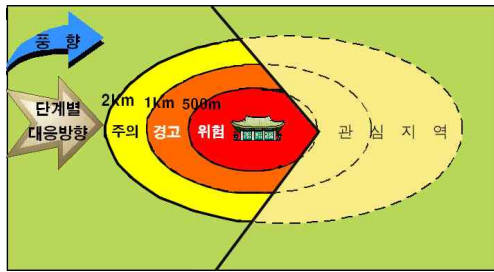


Fig. 6 General Idea of Correspondence Strategy Diagram

단계별 대응전략면에서는 초기에는 직접진화에 중점을 두며 산불의 접근상황에 따라서 시설물 보호를 위한 간접진화방화선 구축 결정을 위한 검토 및 판단을 하여야 한다. 이때는 화두전방에 방화선을 구축할 것인가? 보호시설 주변에 방화선을 구축할 것인가? 비산화 예측거리에 방화선을 구축할 것인가를 포함하는 구축위치, 구축규모(길이, 폭) 및 구축시기 결정을 현장대책본부, 시설관계자, 지자체 등과 협의하여 방화선의 구축방법 유무를 결정한다. 단계별 대응절차는 Table1과 같다.

Table 1. Stage by stage Correspondence Plan for Aerial Attack

단계	1단계 (주의)	2단계 (경고)	3단계 (위험/고위험)	
	대응 계획	<ul style="list-style-type: none"> · 직접진화(100%) · 방화선 구축준비 	<ul style="list-style-type: none"> · 직접진화(90%) · 간접진화(10%) -방화선 구축 	<ul style="list-style-type: none"> · 직접진화(50%) · 간접진화(50%) -방화선 구축

① 1단계 : 산불이 '주의지역'에서 발생시 (보호시설에서 1~2km 이격지역)

현장 진화본부에 문화재 및 주요시설 관계자, 풍향, 풍속 등을 판단하는 산불전문가와 협의하여 산불의 이동경로를 추정하고 풍향이 보호시설 방향으로 향하고 풍속이 강하여 시설의 위험이 예상될 시 문화재 이동계획을 검토하며 지자체 진화대와 소방본부는 간접진화(방화선구축)를 준비한다. 공중진화반은 공중직접진화에 전체 헬기를 투입하고 보호시설 주변에 방화선 구축(지연제 투하) 결정을 지상 지휘본부와 최종 협조한다.

② 2단계 : 산불이 '경고지역'에서 발생시(보호시설에서 0.5~1km 이격지역)

풍향(산불)이 보호시설 방향으로 지속적으로 향하고 풍속이 강하여 보호시설에 위험이 예상될 시 문화재 이동준비를 하고 지자체 진화대와 소방본부는 방화선구축 준비를 강화한다. 공중진화반은 공중 직접진화에 헬기를 90% 투입하고 방화선 구축에 10%를 투입한다.

③ 3단계 : 산불이 '위험 및 고위험 지역'에서 발생시(보호시설에서 500m이내)

풍향(산불)이 문화재 혹은 사찰 방향으로 지속적으로 향하여 시설에 직접위험이 예상될 시 문화재를 이동하고 지자체 진화대와 소방본부는 보호시설에 방화선구축을 하고 공중진화반은 공중 직접진화에 헬기를 50% 투입하고 간접진화에 50%를 투입하여 방화선을 구축한다.

3단계에서 산불이 급격히 확산되어 위험도가 상당히 높을시 진화에 참가하는 모든 진화대, 소방본부, 공중진화반 등 통합진화자원이 전 역량을 집중하여 보호시설 소실을 최소화하기 위하여 직접진화를 한다.

4.2 방화선 구축 절차 모델

단계별 대응계획에 의한 방화선 구축의 실제적인 적용방법에 따라서 헬기에 의한 방화선구축 절차 모델은 다음과 같다. 먼저 방화선 구축을 하기 위해서는 ①공중방화선 구축을 하기 위한 보호지역을 선정한다. ②공중방화선 구축지역은 산불확산속도 상황에 따라하며 도상에 방화선 길이, 폭, 위치를 결정하여 직선으로 표시한다. 도상에 표시한 화두전방 또는 보호할 문화재, 민가지역 전방에 투하하며 화두지역은 더 넓게 한다. 방화선 폭 결정은 Table2와 같다.

Table 2. Determine a Factor of Fire Lines [8]

구분	우세불길(1.5배)		강한불길(2배)		
	5m	10m	5m	10m	15m
방화선폭	7m	15m	10m	20m	30m

③방화선 구축 위치 결정은 지형, 연료, 풍속, 대기열 등에 의한 산불확산속도 및 비산화 거리를 예측하여 결정한다. 위치결정은 3가지 방법이 가능한데 첫째, 화두전방에 투하하며 화두지

역보다 더 넓게 한다. 둘째, 보호시설, 밀집가옥 전방에 투하. 셋째, 비산화 예측거리 지역(최대 2km)에 투하한다.

④지형, 기상, 연료에 따라 지연제 투하횟수를 증감 조절한다. 예를 들면 S-64E 헬기 물 투하 유효면적은 15×160m이다.[12] 이를 기준으로 방화선의 길이, 폭, 위치에 따라 조절한다. 지연제 투하 횟수에 따라서 투입헬기 대수를 판단한다.

방화선 구축절차 모델을 적용사례를 제시하면 다음과 같다.

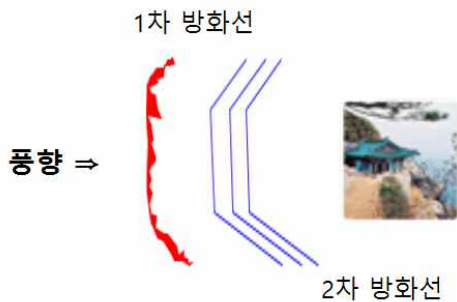


Fig. 7 Model of Aerial Fire Line Construction

- 산불현장 상황
 - 지역 : 사찰 문화재
 - 기상 : 강풍 초속 15m이상, 화두높이 10m
 - 사찰 문화재를 보호하기 위하여 방화선 구축 결정
 - ①보호지역 선정 : 사찰문화재
 - ②방화선 도상 표시(직선)
 - 방화선 총길이 : 1,100m
 - 방화선 폭 : 화두높이×2=20m
 - ③방화선 구축 위치결정 : 화두전방 설치
 - ④지연제 투하횟수 결정
 - S-64E 물살포 면적(15m×160m)이므로 지연제 7회 투하로 1차방화선 구축 (1,100m÷160m=7회)
- (방화선 폭 20m는= S-64E 물살포 폭 15m)

현장상황에 따라 필요시 2차방화선 구축은 1차 방화선과 평행하게 같은 방법으로 구축한다. 임도 등이 있는 지역은 지연제를 투하하지 않는다.



Fig. 8 Retardant Drop of S-64E helicopter

5. 결론

산불발생 빈도의 증가 및 대형화로 인하여 공중진화의 역할은 더 증가 할 것이며 이에 따른 공중진화의 대응체계 및 기술향상이 절실하다고 할 수 있다. 본 연구는 우리나라의 공중간접진화 방화선 구축의 필요성과 간접진화의 이론적 고찰을 통하여 최초로 헬기에 의한 공중간접진화 방화선 구축을 제안하였다. 간접진화 방화선 구축에서 간접진화제의 사용의 주요관점은 지연제를 대형항공기에 탑재 후 산불현장에 신속하게 이동하여 원하는 장소에 정확히 방화선을 구축함으로써 연소지역의 피해를 최소화 할 수 있다. 즉 신속성, 대량성, 정확성을 간접진화제 사용의 3요소로 정의할 수 있다. 우리나라에 최적의 방화선 구축의 위치 선정을 청양 산불의 산불최대 비산거리 2km를 기준으로 채택하여 주의지역, 경고지역, 위험지역, 관심지역으로 구분하여 대응전략 개념을 정립하였다. 또한 최적의 3단계별 대응계획을 구체화 하여 실제적으로 현장에서 적용할 방화선 구축절차 모델을 예시를 통하여 구성하였다. 본 논문에서 제시한 전략 및 기술을 적용한 간접진화 방화선 구축은 차후 우리나라 산불현장의 공중진화 간접진화의 효율성과 효과성의 재고에 기여할 것이다.

그러나 본 연구는 제안한 방화선 구축의 위치 선정과 구체적인 방화선 구축 전략이 연구자의 산불진화 헬기의 운영 경험과 문헌고찰을 통한 연구로서는 매우 유용하다고 판단되지만 실질적인 운영과 실험을 거치지 못한 한계점이 있으므로 향후 공중진화에서 이를 적용한 산불진화를 통하여 문제점을 보완하여 우리나라의 실정은 물론 국제적으로 통용되는 추가적인 연구가 요구된다.

Reference

1. 산림청, “산불통계연보” 2001~2010.
2. 배택훈, 이시영, “산불진화헬기의 물살포 유형 분석에 관한 연구”, 한국화재소방학회지 제23권 제2호, 2009, p.14.
3. J. H. Amorim, "Numerical Modeling of the Aerial Drop of Fire fighting Agent by Fixed-wing Aircraft Part I Model Development", **International of Wildland Fire**, Vol 20, 2011. p.384.
4. 이시영 외, “산불통계 분석을 통한 산불정책 변천 및 대응방안”, 산림청, 2010, p.5
5. USDA Forest Service "Fire Management Notes" Vol 58, No 4, Fall
6. M. Plucinski, J. Gould, G. McCarthy, J. Hollis, The effectiveness and efficiency of aerial fire fighting in Australia part 1, Australian Government's Cooperative Research Centre programme, 2007. pp.12-13.
7. 이시영, “산불현장대응론”, 동화기술, 2011, pp.184-202
8. Wildland Fire Suppression Tactics Reference Guide, National Interagency Fire Center, 1995, pp.15-18.
9. 배택훈, “산불공중진화”, 산림항공본부, 2002, pp.27-29.
10. 배택훈, “산불공중진화II”, 산림항공본부, 2008, pp.14-24.
11. Edward Goldberg, "Use of Chemicals in Aerial Fire Fighting" ICL Performance Produce LP, 2010, pp.5-27.
12. Forest Service, "Aviation Hand book", 2000, pp.1-10.
13. D.H. Swanson and T.N. Helving "Effectiveness of Direct Indirect Attack on Wildfire with Air-Delivered Retardants, WSCI 73-14, 1996.
14. 배택훈, 이시영, 손정훈, “헬기에 의한 지상 물투하 형태 및 범위 실험”, 한국화재소방학회지 제27권 제2호, 2013, pp.58-60.