

산불진화 헬기의 물 살포유형 분석에 관한 연구 Analysis of the Helicopter Fire Attack Pattern on Forest Fire Behavior

이시영·배택훈*†

Si-Young Lee · Taek Hoon Bae*†

강원대학교 방재전문대학원, *산림청 산림항공본부
(2009. 2. 16. 접수/2009. 4. 16. 채택)

요 약

우리나라는 최근 숲이 우거져 있어 산불이 발생하면 대형화 위험성이 증대하고, 인력접근이 제한되어 항공기에 의한 진화율이 90% 이상이 된다. 그러므로 항공기 특히 헬기의 산불진화 활용성은 점차 증대될 전망이다. 아울러 산불진화의 전 과정에 있어서 헬기 물 살포 기술은 안전한 헬기운항과 효율적인 산불진화의 성공요인으로서 특히, 표준화된 물 살포 기술은 매우 필요하다. 그러나 아직 헬기 물 살포 기술이 표준화 되지 않으므로 인하여 산불진화의 효율성과 안전성이 떨어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 산불 현장 공중진화 경험을 바탕으로 11개의 헬기 물 살포 유형을 제안하였다.

ABSTRACT

Because of dense forests and restriction of approaching for fire fighters, forest fire is easy to be a larger fire in Korea. For this result, the air attack was about 90% of extinguishing, so the application of aircrafts, especially helicopters, will be increased gradually. In the all process of forest fire attack, the method of heli-scattering water was the chief element of success of efficient forest fire attack and safe flight. Therefore, a standardized method of heli-scattering water was required. However, as it was not already standardized, a efficiency and safety of fire fighting have been decreased. In this study, we suggest a 11 patterns of methods for scattering water based on a actual experience of air attack.

Keywords : Forest fire, Fire fighters, Air attack, Heli-scattering water

1. 서 론

우리나라는 국토의 65%가 산림이며 1973년부터 시작된 산림녹화 정책의 성공적인 달성으로 산림이 울창해 지고 낙엽이 퇴적되는 등 산림내의 구성물의 밀도가 높아져 산불이 발생하면 대형화 될 위험성이 매우 크다. 또한 우리나라는 산림분포가 유령림에서 장령림으로 전환하는 단계에 있고 불에 잘 타는 침엽수림이 산림 전체면적의 42%를 차지하고 있다.¹⁾ 또한 잡관목이 많고 급경사로 형성된 산악지역이 많아서 산불 발생시 2000년 삼척산불 경우와 같이 1.5~2km 비산화도 발생하고, 특히 급경사지형에서의 인력접근이 매우 제한되므로 항공기에 의한 산불 진화율이 90% 이상을

차지하고 있다.²⁾

항공기가 산불에 사용된 최초의 기록사례는 1919년 여름 캐나다 퀘벡시 국토산림보호국과 협의하여 운영 중인 마리스벨리 보호협의회 HS2L고정익항공기(2대)에 의한 것이다. 동년 미국에서도 미 서부해안지역에서 산불예방과 순찰비행을 실시하였다. 항공기 의한 산불공중진화는 그 후 점차 개발되었다. 미국에서의 산불공중진화 시도는 1930년과 1931년 스포켄, 워싱턴, 켈리포니아 지역에서 실시되었다. 러시아는 1934년 캐나다는 1937년, 호주는 1940년, 우리나라는 1971년부터 시작되었고 이후 산불진화에 많은 효과를 보고 있으며 최근 헬기의 활용과 안전에 관한 논문도 다수 발표되고 있다.³⁻⁶⁾

항공기는 공기 역학적인 운용 형태에 따라서 고정익과 회전익(헬기)으로 분류한다. 항공기는 공중에서 산

† E-mail: heli1217@forest.go.kr

불을 진압하는 효과를 갖는다. 그러나 고정익 항공기는 헬기에 비하여 상대적으로 융통성이 없다. 고정익 항공기는 오직 한 방향으로만 비행하고 실속속도 이상으로 기동하여야 하며 제한된 각으로 상승하고 원형으로 선회하여야 한다. 헬기는 제자리 비행을 할 수 있고 수직상승, 강하 등 다방면으로 기동할 수 있다. 이러한 이유로 헬기는 공중진화에 더욱 효과적이다. 그러나 탑재량이 제한되고 시간당 운영비가 많은 단점이 있다. 이러한 단점은 소화약제의 보급 및 급수지가 가까운 경우 극복 될 수 있다. 그리고 높은산, 깊은계곡, 초속 10m 이상의 강풍, 큰나무 또는 장애물, 전선, 전화선, 안개와 연기 등은 헬기의 기동과 물살포시 제한이 된다.^{7,8)}

1996년 고성 및 2000년 동해안 초대형 산불을 비롯한 다양한 산불현장에서 항공기 특히 헬기는 산불진화를 주도적으로 수행하였으며, 헬기에 의한 산불진화는 헬기에 탑재한 물을 살포함으로써 산불진화의 효과성을 달성할 수 있었다. 그러나 헬기는 기본적으로 기종별 고유의 제한된 성능과 탑재량이 있으며 산불현장의 지형, 풍향, 풍속 및 산불로 인한 불길과 연기 등으로 추가적인 헬기 기동에 제한을 받으므로 조종사는 안전과 진화효과를 고려하여 적절한 헬기 기동을 실시하여야 한다.

그런데, 현재 헬기에서 물 투하를 위한 기동방법은 조종사의 각자의 경험으로 인한 방법으로 수행하고 있으며 표준화된 물 투하 기술이 부족한 실정이다. 이와 유사한 연구로는 산불소화약제 항공 산포 등의 연구가 다소 있을 뿐 미흡한 실정이다.^{9,10)}

따라서 본 연구에서는 산불행태와 헬기의 성능을 고려한 산불진화에 효율적인 물 살포 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구자료 및 방법

본 연구는 1995년~2008년(14년)동안 우리나라의 각종 소중형 및 대형 산불을 공중진화 경험을 바탕으로 산불현장의 적응성, 진화의 안전성 그리고 효율성을 분석하여 제안한 것이다.

다만, 이 모델은 조종사의 조종능력에 따라 좀 더 응용하여 적용할 수 있고 앞으로 더욱 더 발전할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 이론적 배경

3.1 공중진화 전략과 전술 이론

모든 불은 작게 시작한다. 초기진화의 목적은 산불

이 커져서 인명피해를 주거나 재산손실을 초래하기 전에 통제하는 것이다. 현장에 도착하면 가장 안전하고 효율적이며 비용효과적인 방법으로 산불을 통제할 수 있는 전략과 전술을 수립해야 한다. 전략은 불을 통제하는 포괄적인 계획과 의사결정이다. 전술은 전략을 수행하는 기법이다. 즉 산불을 직접진화 하거나 방화선을 설치하는 등 행동하는 방법을 말한다.

항공기에 의한 산불진화는 불이 작을 때 지상 진화대와 협조하여 초기에 진화하는 것이 가장 효과적이다. 즉 항공기는 고유의 속도, 융통성, 물 탑재 능력으로 신속하고 적극적으로 진화하는데 가장 적합하다.

진화효과는 기지에서 산불발생지까지의 거리에 영향을 받는다. 또한 발생지에서 급수지까지의 거리와 활용 가능한 항공기 대수에 좌우된다. 산악 또는 먼 곳의 산림지대에서 산불발생은 조기 경고해야 지원하기가 유리할 것이다. 산불이 동시 다발로 발생하는 시기에는 특히 충분한 기동성이 있어야 한다. 그러나 산불진화시 안전이 가장 중요하다. 안전이 결코 산불진화에 양보하지 못한다. 공중진화 지휘자는 항공기를 안전 하에 운용하는 것이 무엇보다 중요하다.

3.2 헬기의 물 살포 전술 이론

헬기의 물 탑재 방식은 고정된 탱크와 바켓의 두 가지 방법이 있다. 고정탱크 시스템은 헬기의 동체 아래 부분에 탱크를 장착하였고 바켓은 '카고훅'에 연결하여서 사용하고 있다. 탱크의 물 탑재는 지상에서 호스로 채우며, 새로운 방식은 헬기가 제자리 비행을 하면서 연못, 하천, 호수에서 호스로 물을 흡입하는 스노클 시스템(Snorkel System)을 갖는다.

헬기는 근접지원을 하며 매우 다양한 산불진화를 수행한다. 헬기는 산불의 직접진화와 정확한 비산화(Spot Fire)진화, 잔불정리, 화선지역의 인원이동, 장비지원, 부상자 후송, 현장정찰, 지휘통제 등에 유리하게 운영된다. 고정익 항공기에 비하여 헬기의 장·단점은 Table 1과 같다.

헬기의 직접진화는 초기의 불, 작은 불은 물론 큰불의 범위 내에서 강한 불이 있는 곳, 달구어져 쉽게 불이 일어날 수 있는 곳(Hot spots)에 통상 실시한다. 또

Table 1. Merits & Weak Point of Helicopter Suppression

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ○ 좁은지역에 정밀 살포 ○ 지형조건 제한 적음 ○ 굽은지형을 따라 투하 ○ 잔불 정리 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소량탑재 ○ 살포지역 협소 ○ 소화선 일부분만 가능 ○ 이동시간 길다

한 최대한의 효과를 위해 불의 가장자리에 가까이 접근한 지상진화대의 가능한 앞쪽에 물을 투하하는 것이다. 직접진화에는 일반적으로 세 가지 전술이 있다. 즉 직렬진화(Tandem action), 우회진화(Flanking action), 포획진화(Envelopment action) 이다. 이는 현장상황에 따라 개별적, 혼합적으로 운영될 수 있다.

3.2.1 직접진화 전술

가. 직렬진화

직렬진화는 Figure 1과 같이 둘 이상의 항공기가 참여하는 진화전술이다. 선두 항공기가 화두에 먼저 물을 투하한 후 곧이어 다음 항공기는 불씨가 튀어 불이 확산되는 것을 저지하기 위해 물을 투하한다. 가장 많이 사용되는 기본적인 공중진화 전술이다.

나. 우회진화

우회작전은 Figure 2와 같이 정상적으로 화선의 화두를 진화하는 도중 민가, 문화재등 가치가 높은 자원에 불이 번질 우려가 있을 경우 화두에 우선하여 화선의 허리부분에 공격을 한다.

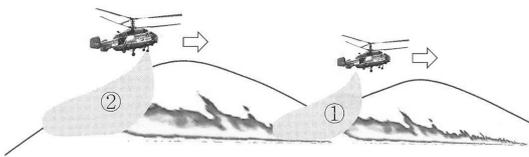


Figure 1. Suppression of tandem action.

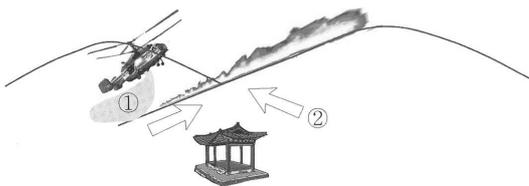


Figure 2. Suppression of flanking action.

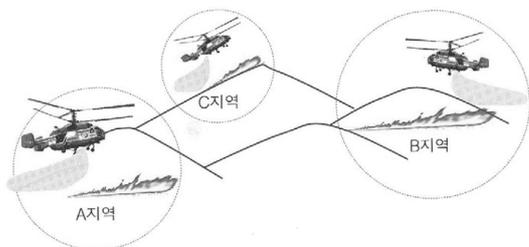


Figure 3. Suppression of envelopment action.

다. 포획작전

포획작전은 Figure 3과 같이 불을 둘러싼 지점이 광범위할 경우 지역별로 할당하여 동시에 진화하는 것이다. 이는 항공기간 공중공간을 확보한 넓은 지역 산불 진화 상태에서 경계에 특히 주의하면서 진화하여야 한다.

3.2.2 간접진화 전술

간접진화는 불에서 어느 정도 이격하여 진화하므로서 지상진화 대원들이 진화할 수 있도록 도와주는 전술이다. 즉, 지표면의 연소물 종류에 따라서 형성되는 방화선은 지상진화대가 올 때까지 산불의 확산을 방지하는 방법이다. 이때 헬기를 이용하여 지연제(Retardants)를 화재 전방에 투하하여 화재의 세기를 감소시키거나 화재전파속도를 느리게 하는 것이 간접진화 전술이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 효율적인 공중진화 계획수립과 작업 과정

지휘조종사는 산불상황을 판단하여 우선순위를 정하고 전략을 수립한다. 자신의 진화계획을 정리하여 목표를 설정한다. 이러한 목표를 달성 할 수 있도록 자원을 배분한다. 모든 조종사는 Figure 4와 같이 자신에게 부여된 계획과 임무를 잘 알고 진화를 실시하여야 한다.

4.2 산불진화 헬기의 효율적인 물 살포 방안

공중진화 시 첫째 필수사항은 신속한 초기 진화이다. 즉, 공중진화시 고려사항은 ① 불의 규모와 가용한 공중, 지상진화대를 고려하여 진화전술(직접 또는 간접진화)을 결정한다. ② 고정점(Anchor point)을 확정한다. ③ 적절한 비행고도 및 물 살포 범위(길이와 폭)를 조



Figure 4. Flowchart of helicopter suppression on forest fire.

Table 2. Pattern & Method of Heli-scattering Water on Forest Fire

살포유형	살포 조건	화 세	물 살포 방법	비 고
A형	· 보통경사 이하	· 모든 화세	· 측면 하단부 투하	· 전 모델 공통
B형	· 보통경사 이하	· 모든 화세	· 측면 하단부 투하 · 앞쪽에서 단계별 투하	· 넓은지역 분할
C형	· 보통경사 이하	· 화두가 강할시 · 시정 방해 시	· 약한 화선 우선진화 · 화두전방 방화선 설치	· 간접진화
D형	· 보통경사 이하	· 화세가 능선넘어로 진행할 때	· 화두우선진화	· 시계가 차단시 C형으로 전환
E형	· 보통경사 이하	· 비산화 발생	· 비산화 선 진화	· 비산화 확산 전 진화
F형	· 보통경사 이하	· 무풍으로 소강상태	· 연기에 닿기 전 투하	· 원심력 이용
G형	· 보통경사 이하	· 소규모 산불산재 시	· 소규모 산불은 묶어서 진화	-
H형	· 급경사, 절벽	· 모든 화세	· 90도 이상 선회 하면서 투하· 하바링상태 투하	· 급상승 투하 금지
I형	· 고압선 지역	· 모든 화세	· 저속비행, 하바링상태 투하· 화세강할 때 방화선 설치	· 간접진화
J형	· 협곡의 쪽에서 발생시	· 모든 화세	· 구분하여 진화	-
K형	· 침엽수, 활엽수 지역	· 모든 화세	· 침엽수 우선진화	-

절한다. ④ 가능한 태양을 등지고 물을 살포한다. ⑤ 효과적인 통신유지로 물살포의 정확한 평가를 한다. ⑥ 물살포 계획은 효율적으로 확장되거나 추가되도록 한다. 또한 산불현장의 지형, 화선 등은 시계방향(Clock orientation)으로 항공기에게 알려 주어야 한다. 사전계획(Lead plan)은 산불진화 시 높은 안전수준을 제공한다. 진화하는 헬기는 비행조건의 위험요소인 시정, 요란기류 등을 잘 파악하여 회피비행을 하여야 한다. 높은 온도와 낮은 습도에서 크고 빠르게 확산되는 불은 많은 양의 물을 살포함으로써 효과적으로 진화되며 헬기의 기동성이 우수하여야 한다. Table 2는 헬기의 효율적인 물 살포방안 유형분류 및 특성으로서 A형에서 K형까지 11개의 헬기 물 살포 기술 유형을 제시하였으며, Figure 5는 분류한 현장을 도식화 한 것이다. 본 내용에 의한 물 살포시 기동방법은 현장상황에 따라서 개별적 또는 혼합하여 적절히 사용하여야 한다. 산림 지역에서 산불발생시 헬기 기동 및 물 살포는 공중진화의 전 과정에서 항공기 성능을 고려하여 안전하고 효율적으로 산불을 제어 할 수 있는 가장 핵심적인 요소이다.

A형의 경우 측풍으로 진입하면서 화세가 약한 측면 및 하단부에 물을 살포하거나, 배풍으로 진입을 하면서 경사면 위쪽으로 바람의 세기를 고려하여 화선보다 앞 부분부에 불을 살포하여 진화한다. B형의 경우 진화지역이 넓을 때에는 단계별 진화방법을 사용한다. 즉

산불규모를 적절히 분할하여 전방으로 겹쳐서 살포한다. C형의 경우 화두가 강하고 연기가 시정을 방해할 시 약한 화선을 먼저 진화한다. 연기가 감소되어 시정이 확보되면 화두를 진화한다. 화두가 강하여 직접진화가 곤란할 시 화두부 전방에 방화선을 설치한 후 화세가 약해지면 화두부를 진화한다. D형의 경우 화세가 능선을 넘어 높은 곳으로 진행할 우려가 있고 능선과 능선사이로 적절한 공간이 있을 경우 화두를 먼저 진화한다. E형의 경우 비산화 지역을 확인 후 화세가 강해지기 전에 조기에 진화한다. F형의 경우 무풍 시 산불은 연소되지 않은 방향에서 접근하여 연기에 닿기 전에 물을 살포하고 이탈한다. 이때 물은 원심력으로 인하여 화선 쪽으로 낙하되어 진화가 된다. G형의 경우 소규모 산불이 발생시 먼저 진화하고 큰 불길을 진화한다. 소규모 산불이 수개가 있을 경우 한개로 통합하여 진화한다. H형의 경우 급경사, 절벽, 고압선 지역은 접근 후 90도 이상 선회하면서 물을 살포한다. 투하되는 물은 원심력으로 낙하되어 진화 할 수 있으나 고도의 조종능력이 요구되므로 가능한 절벽 위쪽에서 제자리 비행으로 살포한다. I형의 경우 고압선지역은 안전을 고려하여 저속비행하면서 제자리비행(Hovering) 상태에서 물을 투하하고, 화세가 강할시 이격하여 방화선을 설치한다. J형의 경우는 협곡의 양쪽에서 발생한 산불은 각각을 구분하여 진화한다. 협곡이 좁은 경우 불길은 서로 영향을 주고받는다. K형의 경우는 침

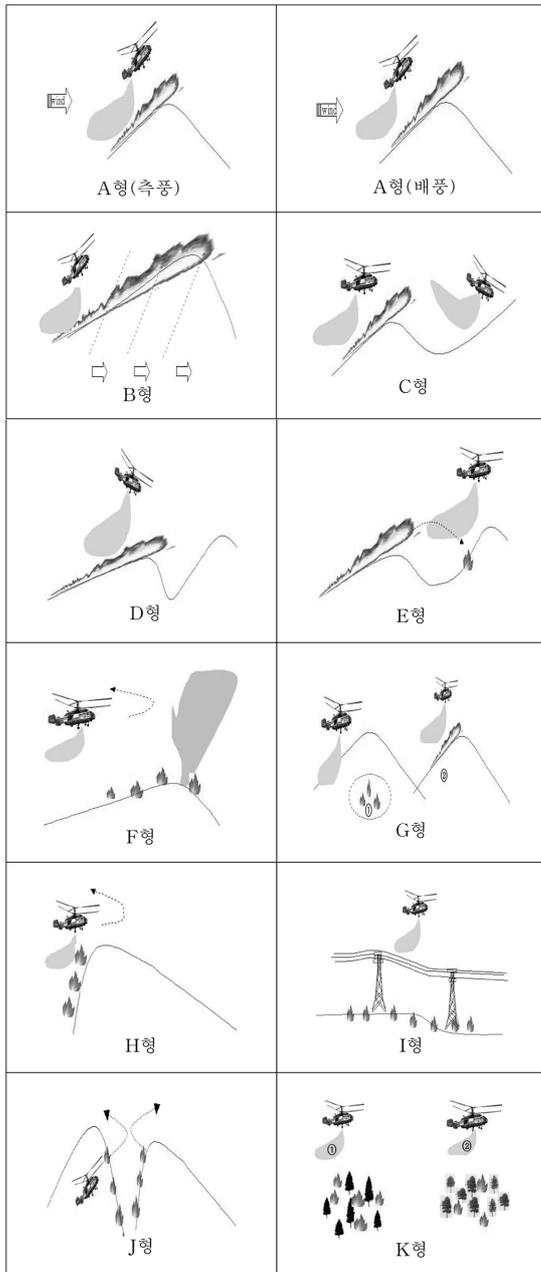


Figure 5. Diagram of heli-scattering water pattern on helicopter suppression.

엽수와 활엽수 지역 산불 발생시 침엽수 지역을 먼저 진화한 후 활엽수 지역을 진화한다.

5. 결 론

산림 및 산악지역에서 산불발생시 헬기에 의한 공중 진화는 산불진화의 전 과정에 있어서 매우 핵심적인 요소이다. 헬기 기종고유의 기본적인 성능을 고려하여 산불상황시의 기상, 지형, 장애물, 안개 및 연기 그리고 투입된 헬기 수 등을 판단하여 진화전략을 수립하여 진화를 실시한다.

그러나 헬기에 물 살포시스템을 장착하여 조종사가 안전하게 항공기를 기동하면서 효율적으로 물을 살포하여 산불을 진화하는 과정에서 헬기 기동의 물 살포 기술은 아직까지 표준화 되지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 산불진화의 안전성과 효율성을 극대화하기 위하여 헬기 물 살포 기술을 11개의 모델로 제안하였다. 이 제안 모델의 명칭은 알파벳으로 A형에서 K형까지의 모델로 구분하였다.

이 모델은 조종사의 조종능력에 따라 응용하여 다양하게 적용 할 수 있으며, 앞으로 발전된 다른 모델도 개발할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이시영, 이명옥, “숲가꾸기 실행 및 미실행지의 임 분 특성에 따른 산불위험성 비교분석”, 한국화재 소방학회 논문지, Vol.21, No.4, pp.52-58(2007).
2. 이시영, 김종국, 박승찬, 이상용, 이우신, 전문장 외 7명, “신고 산림보호학”, 향문사, pp.34-61 (2008).
3. 산림청 산림항공관리소, “산불공중진화”, p.110(2002).
4. 산림항공관리본부, “산불공중진화(II) 매뉴얼/연구서”, p.52(2008).
5. 이세형, “국내 헬리콥터 활용의 문제점과 대책”, 헬리콥터 사고예방 국제심포지엄 발표자료, pp.31-55 (2006).
6. 최연철, “헬리콥터 사고사례와 안전관리”, 헬리콥터 사고예방 국제심포지엄 발표자료, pp.73-96(2006).
7. 이시영, 이해평, 박홍석, “산불화재공학”, 동화기술, pp.220-231(2007).
8. Joseph D. Lowe, “Wildland Firefighting Practices, Delmar”, pp.189-201(2001).
9. 이시영, 염육철, 이경재, “산불소화약제 항공산포 및 동력펌프 성능”, 임업연구원 연구보고 44, pp.104-110(1992).
10. 이시영, 염육철, 이경재, “산불연소 확대요인 및 소화약제 항공산포”, 임업연구원 연구보고 48, pp.47-57(1993).