한국화재소방학회 논문지, 제24권 제5호, 2010년
[논 문]

J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 24, No. 5, 2010

산불 공중진화 방화선 구축형태 및 진화방법에 관한 연구
Study of Aerial Fire Line Construction and Suppression Method on Forest Fire

배택훈 · 이시영†

Taek Hoon Bae · Si-Young Lee†

강원대학교 방재전문대학원
(2010. 1. 12. 접수/2010. 10. 8. 채택)

요 약

본 연구는 우리나라의 각종 소 · 중형 및 대형 산불의 공중진화 경험을 바탕으로 산불행태와 헬기의 현장운영을 고려한 산불 공중진화 방화선 구축형태 및 진화방법에 대하여 제안하였다. 산불확산은 현장의 지세, 경사, 바람, 수종 등에 영향을 받으므로 공중진화 방화선을 구축할 때에는 연소방향 및 형태, 강도 등을 분석한 후 진화작업을 실시하여야 하며, 특히 연기로 인하여 시계가 방해 받으므로 안전을 고려해 진화작업을 하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 산불현장 공중진화 경험을 바탕으로 A형에서 M형까지 13개의 산불 공중진화 방화선 구축형태 및 진화방법을 제안하였다.

ABSTRACT

In this study, attack process and aerial control line construction type which were considered forest fire type and a case of operations were suggested using the experience of aerial fire attack of all type of forest fires. As the spread rate of forest fire is effected by terrain, slope, wind speed, forest species and etc., we needed to analyze spreading direction, behavior type and intensity before heli-team constructed a aerial control line. Especially, It is important to consider safety of attack team as a their views were obstructed. In this study, we suggested a 13 methods from type A to type M about attack and construction of aerial indirect control line.

Key words : Forest fire, Fire attack, Aerial control fire line, Attack type

1. 서 론

우리나라는 산림분포가 유령림에서 장령임으로 전환하는 단계에 있고 불에 잘 타는 침엽수림이 산림 전체 면적의 42%를 차지하고 있으며, 2000년 동해안 산불과 같이 산불의 위험성이 매우 높아지고 있다.[1,2)]

산불은 성능 좋은 진화자원과 수준 높은 진화인력의 다양성을 요구하는 역동적인 재난사고이다. 진화자원은 지상 및 공중진화자원으로 구분되며, 지상진화 자원은 지상진화대원, 수작업 도구, 차량 등으로, 공중진화 자원은 항공기(고정익, 헬기)로 구분할 수 있고, 자원을 분류하는 것은 사고 담당자가 진화 목적에 알맞은 적합한 자원을 운용하도록 명령을 내릴 수 있도록 하기 위해서다.

또한, 효율적인 산불진화를 위해서는 여러 종류 진화자원의 가용성과 유용성에 대해 즉, 어떠한 차량이 비포장도로에서 사용가능하고, 어떤 종류는 그렇지 않은지를 분석해야만 한다. 예를들어 산불이 진행하는 방향에 산불 연료를 제거하기 위하여 불도저가 갈 수 없는 지역에서는 지상진화대원의 수작업에 의한 진화가 수행될 수 있다. 항공기는 가장 기본적이고, 효과적인 진화수단이며, 지상공격력을 보완하는 진화자원이다. 하지만, 항공기는 수반되는 비용 때문에 대형 산불지역에 효과적으로 운용되어야만 한다.[3)]

우리나라는 잡관목이 많고 급경사로 형성된 산악지역이 많아서 비산화도 많이 발생하고, 특히 급경사 지

† E-mail: lsy925@kangwon.ac.kr

형에서의 인력접근이 매우 제한되므로 항공기에 의한 산불 진화율이 90% 이상을 차지하고 있다.[4)]

1996년 고성 및 2000년 동해안 초대형 산불을 비롯한 다양한 산불현장에서 항공기 특히 헬기는 산불진화를 주도적으로 수행하였으며, 헬기에 의한 산불진화는 헬기에 탑재한 물을 살포함으로서 산불진화의 효과성을 달성 할 수 있었다. 그러나 헬기는 기본적으로 기종별 고유의 제한된 성능과 탑재량이 있으며 산불현장의 지형, 풍향, 풍속 및 산불로 인한 불길과 연기 등으로 추가적인 헬기기동에 제한을 받으므로 조종사는 안전과 진화효과를 고려하여 적절한 헬기 기동을 실시하여야 하며, 항공기는 고유의 속도, 융통성, 물 탑재 능력으로 신속하고 적극적으로 진화하는데 가장 적합하다.[5-9)]

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. 헬기에 의한 산불진화는 산불의 화두에 직접 물을 살포하는 직접진화기술과 확산되는 화두의 전방에 물을 살포함으로서 불길이 약해지도록 하여 산불 확산을 저지하거나 주요시설, 민가 밀집지역 등을 사전에 방호 할 수 있도록 하는 간접진화기술 있다. 우리나라는 2005년 4월 양양 낙산사 산불이후 미국 등 선진국에서 많이 사용하는 간접진화기술의 필요성이 대두되어 간접진화에 필요한 지연제(Retardant)를 혼합하는 시설을 산림항공관리본부 강릉산림항공관리소에 설치를 하였으나, 이를 운용하는 기술이 개발되지 않고 있는 실정이다. 그러므로 산불현장에서 문화재 등의 보호를 위하여서라도 간접진화기술 등의 개발이 필요하나 매우 미흡한 실정이다.[10,11)]

따라서 본 연구에서는 산불 항공진화기술의 체계화된 모델 정립의 하나로 산불행태와 헬기의 현장운영을 고려한 산불 공중진화 방화선 구축형태 및 진화방법에 대하여 제안코자 한다.

2. 연구방법

본 연구는 산불공중진화에 대한 이론적 고찰과 1995년~2008년(14년)동안 우리나라의 각종 소·중형 및 대형 산불의 공중진화 경험을 바탕으로 터득한 산불행태에 따른 헬기진화 방화선 구축형태 및 진화방법을 분석한 것이다. 다만, 이 모델은 조종사의 조종능력에 따라 좀 더 응용하여 적용 할 수 있고 앞으로 더욱 더 발전할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 이론적 고찰 및 분석결과

3.1 산불 공중진화 이론적 고찰

항공기는 지상공격력을 보완하는 진화자원이다. 따라서 산불을 효율적으로 진화하기 위해서는 올바른 항공진화 방법을 사용해야 한다. 현재 미국에서 사용하고 있는 항공기 산불진화방법은 산불의 확산속도와 지형여건를 고려하여 적용하는 일제투하(Salvo), 일렬투하(Trail), 분할투하(Split) 방법이 있다.[3)]

이것은 결국 직접진화와 간접진화 기술로 성공적인 진화제, 물 등을 살포를 함으로서 산불진화 효과를 달성 할 수 있다. 특히, 간접진화는 직접진화시의 약점을 보강하기 위하여 사용되어 진다고 할 수 있다. 간접진화의 개념은 방화선 구축으로 불이 번지지 않도록 하는 것이며 아직 타지 않은 지역과 이미 타버린 지역을 분리하는 것이고, 불이 계속 번질 수 있는 가연성 물질에 연소가 불가능하게 틈을 만드는 것이다. 즉, 확산되는 가연성 물질 전방에 안전띠(Safe Stripe)를 형성하는 것이다. 이는 열, 연기, 불꽃 등으로 화세가 강하고 뜨거워서 직접진화가 매우 곤란하거나 실용적이지 못할 때 물이나 지연제 등으로 화두부에 방화선을 구축, 불길이 약해지도록 하여 산불확산을 저지하는 방법이다.

방화선은 기본적으로 지형의 특성 즉 천연 또는 기존의 장벽을 이용하여 구축한다. 공중에서 살포하는 지연제는 붉은색을 띠므로 다음 항공기의 조종사가 앞선 투하의 끝나는 지점을 알 수 있으므로 연이어 투하하는 것이 필요하며, 다음은 공중진화 방화선 구축방법 및 폭 결정 그리고 방화선 구축 위치선정을 기술한 것이다.

3.1.1 공중진화 방화선 구축

방화선구축은 불을 봉쇄하고 통제하는데 매우 중요하다. 항공기의 방화선 구축은 선정된 지점에 물 등을 투하 하는 것이다. 즉, 방화선 구축 방법은 ① 지연제 투하 시 지상진화요원을 덮치지 않게 방화선의 위치를 고정한다. ② 지연제 살포시 천연 또는 기존의 장애물을 이용한다. ③ 비산화를 통제선 내에 포함한다. 즉, 지역에 비산화가 많으면 그 주위에 방화선을 구축한다. ④ 방화선은 가능한 직선이 되도록 한다. 즉, 방화선 구축시 굴절점이 없도록 하는 것이 좋다. ⑤ 방화선은 화선과 가까이 설치한다. 이러한 작업은 불을 더 작게 만들 것이다. 주요시설물 보호 시에는 비산화를 고려해 시설물에 근접하여 별도의 방화선을 구축할 수도 있다. ⑥ 산봉우리 뒤편에 방화선을 구축한다. 이 방법은 불이 산을 넘어가는 것을 억제하는 것이다.

⑦ 불의 확산에 대해 미리 공중진화 계획을 수립하여야 한다.[6)]

미국의 경우 항공진화 방화선 구축 시 점검항목으로는 산불의 규모와 진화자원을 고려하여 진화전술을 결정하고, 항상 주요지점을 정해서 그곳부터 작업을 하며 지상지원이 가능할 때 직접공격을 실시해야한다고 언급하고 있다.[4)]

3.1.2 공중진화 방화선 폭 결정

방화선의 폭은 연료, 지형, 불의 행태를 고려하여 판단하여야 하는데, 일반적으로 수고의 2배 이상 혹은 10m 이상을 원칙 한다고 문헌에서는 기술하였다.[12,13)]

또한, 산불의 강도가 강하고 빠를수록 방화선은 더 넓어야만 하는데 방화선 폭을 결정하는데 이용되는 7가지 요인들은, 경사도, 연료, 기상과 풍향 즉, 바람이

Table 1. Pattern & Method of Indirect Fire Line Construction on Helicopter Suppression

구축명	구축 형태	진화 방법	진화 전술
A형	측면진화	· 직접 및 간접진화	· 고정점에서 진화시작 · 연기 회피를 위해 풍상 또는 풍측에서 접근 진화
B형	후방직렬진화	· 직접 및 간접진화	· 위급한 지상진화대 지원 · 가치있는자원우선보호 · 연기 회피를 위해 풍상 또는 풍측에서 접근 진화
C형	확산각 외측진화	· 간접진화	· 능선을 이용하여 방화선 설치 · 확산되는 전방에서 진화 · 풍하에서 연기영향이 없는 거리만큼 이격하여 진화
D형	화선 전방진화	· 간접진화	· 바람불어 가는 쪽에 방화선 설치 · 천연장벽 이용 맞불진화 · 잠재된 비산화 확산방지 · 풍하에서 연기영향이 없는 거리만큼 이격하여 진화
E형	박스형 진화	· 직접 및 간접진화	· 풍향과 확산방향 변화시 불을 가두는 방법으로 진화 · 연기 회피를 위해 풍상 또는 풍측에서 접근진화 · 풍하에서 연기영향이 없는 거리만큼 이격하여 진화
F형	전방직렬진화	· 직접진화	· 고정점 시작은 지상진화대가 실시 · 지상진화대 지원진화 · 연기를 피하면서 풍상에서 진화
G형	갈고리형진화	· 직접진화	· 강한 화두부분 진화 · 지상진화대는 측면진화 · 연기를 피하면서 풍상에서 진화
H형	좁은“V”자형진화	· 직접진화	· 좁은 V자형 화두 직접진화 · 지상진화대는 측면진화 · 연기를 피하면서 풍상에서 진화
I형	넓은“V”자형진화	· 직접진화	· 단계적으로 점차적인 진화 · 장시간 소요예상, 추가적인 투입 · 연기를 피하면서 풍상에서 진화
J형	확산각 내측진화	· 직접진화	· 고정점에 방어벽(도로)을 이용진화 · 확산되는 전방에서 진화 · 연기를 피하면서 풍상에서 진화
K형	비산화진화	직접진화	· 고정점이 없어, “X"자형 두 방향으로 진화 · 연기를 피하면서 풍상 또는 풍측에서 진화
L형	비산화 지역진화	직접진화	· 불의 빠른 확산은 많은 비산화가 발생하므로 진화 지역 분담 진화 · 연기를 피하면서 풍상 또는 풍하에서 진화
M형	상승기류 저지진화	직접진화	· 비산화 추적진화 · 화두를 제압하여 상승기류 저지 · 연기를 피하면서 풍상 또는 풍측에서 진화

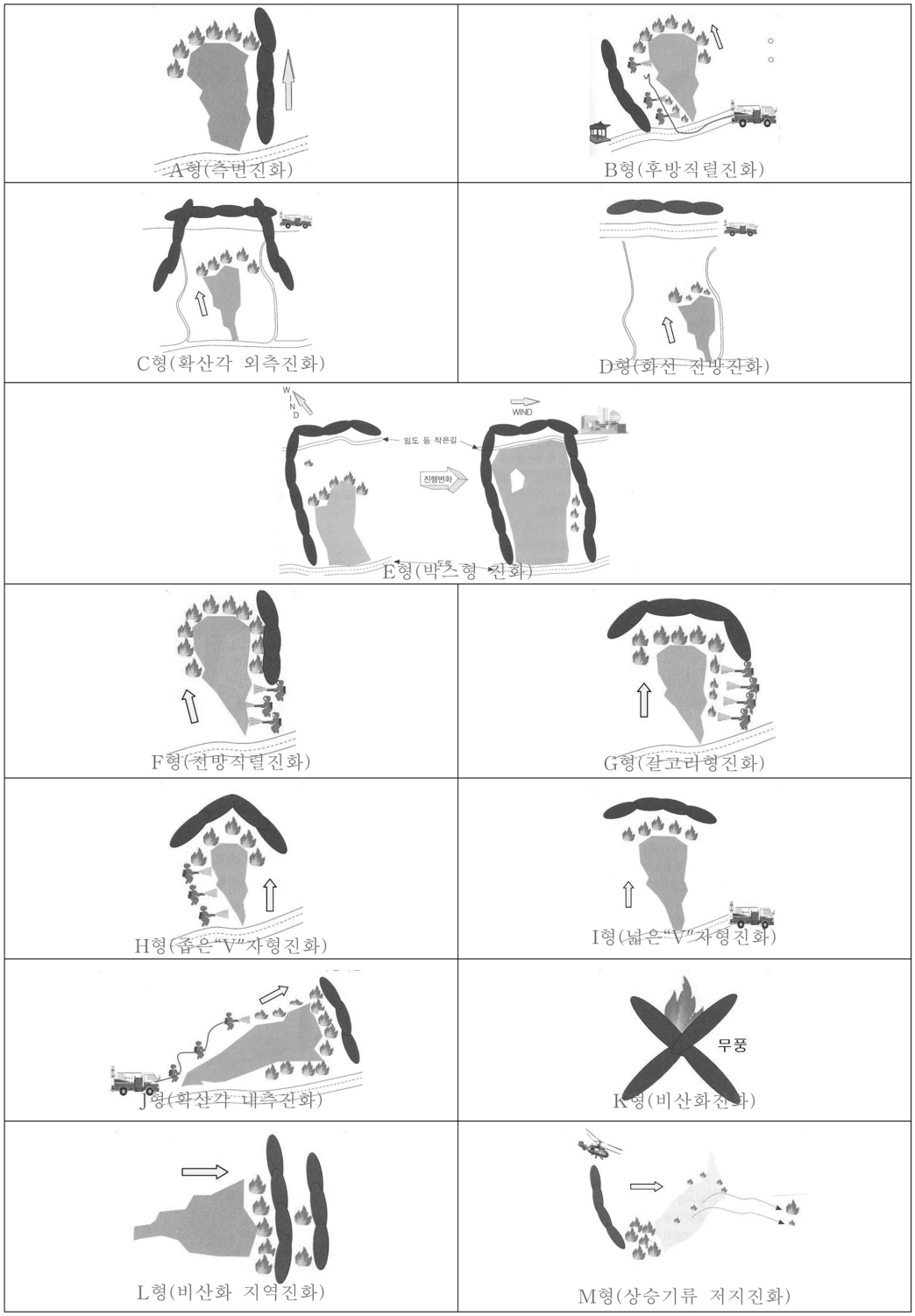

Figure 1. Diagram of indirect fire line construction pattern on helicopter suppression.

규칙적인지, 방화선을 향해 불어 오는지, 멀어지는지를 고려해야 하고, 방화선이 구축되어질 장소가 화재의 머리쪽인지 옆쪽인지를 판단하여야 하며, 연소물의 냉각 가능성, 화재의 규모, 화재의 조건과 강도 수준의 요인들이 고려되어야 한다. 특히, 방화선은 필요 이상으로 넓어서는 안되며, 더 많은 방화선을 구축하고 화재를 포위하는데 시간을 투자하는 것이 더 효과적이다.[3)]

3.2 분석결과

3.1.1 산불 공중진화 방화선 구축형태 및 진화방법

우리나라에서의 산불진화 작업은 화두에 직접 물을 살포하는 직접진화 위주로 하고 있으며, 고압선지역, 화두가 강한 지역 등에 부분적으로 소극적인 간접진화(수성방화선)를 실시한다. 미국 등에서는 직접진화와 간접진화를 혼용해서 사용하고 있으며 대형산불시 간접진화(화학방화선)를 대부분 사용하고 있다.

특히 고정익 항공기에 의한 지연제 살포로 방화선을 구축하여 산불확산속도를 감속 및 지연 시킨 후 헬기로 후속 지원하여 직접진화를 하므로서 최종적으로 진압의 효율성을 극대화 시키는 방법을 많이 사용하고 있다. 그러나 우리나라는 산불진화시 아직 고정익 항공기를 운용하지 않으므로, 헬기로서 간접진화의 효과를 달성하여야 한다. 간접 진화제 사용의 주요관점은 지연제를 항공기에 탑재 후 산불현장에 신속하게 이동하여 원하는 장소에 정확히 방화선을 구축함으로써 연소지역의 피해를 최소화 할 수 있다.

Table 1은 항공기(헬기)에 의한 간접 방화선 구축형태 및 진화전술을 나타낸 것으로 저자가 산불현장 경험을 바탕으로 제안한 것이다. 즉, A형의 경우 헬기에 의한 측면진화방법으로 고정점에서 진화를 시작하며, 간접 및 직접진화를 혼용하는 진화방법이고, 연기 회피를 위해 풍상 또는 풍측에서 접근 진화한다. B형의 경우 후방직렬 진화방법으로서 위급한 지상진화대 지원 및 가치 있는 자원을 우선 보호할 목적으로 직접 및 간접진화 모두를 적용하며 지상진화대원 및 진화차량과 협동하여 진화하고 연기 회피를 위해 풍상 또는 풍측에서 접근 진화한다. C형의 경우는 확산각 외측진화 방법으로서 능선을 이용하여 방화선을 설치하고, 확산되는 전방에서 간접진화를 실시한다. 이때 풍하에서 연기영향이 없는 거리만큼 이격하여 진화하는 것이 안전하다. D형의 경우는 화선전방 간접진화방법으로서 바람불어 가는 쪽에 방화선을 설치, 천연장벽을 이용한 맞불진화 그리고 잠재된 비산화 확산방지를 실시하며, 풍하 측에서 연기영향이 없는 거리만큼 이격하여 진화한다. E형의 경우는 박스형 진화방법으로서 풍향과 확산방향 변화 시 불을 가두는 방법으로 직접과 간접진화를 실시하고, 연기 회피를 위해 풍상 또는 풍측에서 접근진화 및 풍하에서 연기영향이 없는 거리만큼 이격하여 진화하는 것이 안전하다.

또한, F형의 경우 전방직렬 진화방법으로서 고정점 시작은 지상진화대가 실시하고, 헬기는 지상진화대를 지원 진화하며, 직접진화방법을 적용하고 연기를 피하면서 풍상에서 진화한다. G형의 경우 갈고리형 진화방법으로서 강한 화두부분을 직접진화하고, 이때 지상진화대는 측면진화를 지원 하고 헬기는 연기를 피하면서 풍상에서 진화한다. H형의 경우는 좁은“V”자형 진화방법으로서 좁은 V자형 화두를 직접진화하며, 지상진화대는 측면진화를 실시하고 헬기는 연기를 피하면서 풍상에서 진화한다. I형의 경우는 넓은“V”자형 진화방법으로서 산불확산을 예측하여 단계적인 진화를 실시하되 장시간 진화소요 시간을 예상하여 추가적인 항공기 투입을 계획한다. 헬기진화 시에는 연기를 피하면서 풍상에서 진화한다. J형의 경우는 확산각 내측진화방법으로서 고정점에 방어벽(도로)을 이용하여 진화하며, 확산되는 전방에서 직접진화 작업을 실시하고, 연기를 피하면서 풍상에서 진화한다. K형과 L형의 경우는 비산화 및 비산화 지역 진화방법으로서 고정점이 없기 때문에 “X”자형 두 방향으로 진화하며, 불의 빠른 확산은 많은 비산화가 발생할 수 있으므로 진화지역을 분담하여 직접진화를 실시한다. 또한, 헬기의 안전을 위하여 K형의 경우는 연기를 피하면서 풍상 또는 풍측에서 진화하고, L형의 경우는 연기를 피하면서 풍상 또는 풍하에서 진화한다. M형의 경우는 상승기류 저지진화방법으로서 비산화 추적진화 및 화두를 제압하여 상승기류를 저지하는 직접진화 방법을 적용하되, 연기를 피하면서 풍상 또는 풍측에서 진화한다. Figure 1은 이러한 공중진화 형태를 도식화한 것이다.

미국의 경우 항공진화는 풍속이 감소할 때, 경사가 덜 가파를 때, 연료가 그늘지거나 차가울 때, 연료들이 초본이거나 키 작은 관목일 때, 가벼운 연료들이 연료표면을 덥고 있을 때 그리고 산불현장이 공중진화기지로부터 가까울 때 진화의 효율성을 향상된다고 언급하였다.[3)]

4. 결 론

우리나라는 65%가 산림인 나라로서 산불발생시 헬기에 의한 공중진화는 산불진화의 전 과정에 있어서 매우 핵심적인 진화방법이다.

그러나 헬기에 의한 공중진화는 현장의 지세, 경사,

바람, 수종 등에 영향을 받으므로 공중진화 방화선을 구축할 때에는 연소방향, 형태 및 강도 등을 분석한 후 진화작업을 실시하여야 하며, 특히 연기로 인하여 시계가 방해 받으므로 풍상 및 풍하 등 바람방향을 고려하여 진화작업을 하는 것이 안전에 유리하다.

따라서 본 연구에서 산불진화의 안전성과 효율성을 극대화하기 위하여 우리나라의 각종 소중형 및 대형 산불의 공중진화 경험을 바탕으로 산불 공중진화 방화선 구축형태 및 진화방법을 A형에서 M형까지 13개 모델로의 구분과 진화방법을 제안하였다.

참고문헌

1. 이시영, 이명욱, “숲가꾸기 실행 및 미실행지의 임분 특성에 따른 산불위험성 비교분석”, 한국화재소방학회논문지, Vol.21, No.4, pp.52-58(2007).
2. 이시영외, “신고 산림보호학”, 향문사, pp.34-61(2008).
3. 이시영, 이해평, 박흥석, “산불화재공학”, 동화기 술, pp.220-231(2007).
4. 배택훈, 이시영, “산불행태에 다른 물 살포기술에 관한 연구”, 한국방재학회 2009년도 학술발표대회 논문집, p.101(2009).
5. 산림청 산림항공관리소, “공중진화대 교육·훈련 교범”, pp.117-141(2001).
6. 배택훈, “산불공중진화”, 산림항공관리소, p.110(2002).
7. 배택훈, “산불공중진화(ii) 매뉴얼/연구서”, 산림 항공관리본부, p.52(2008).
8. 이세형, “국내 헬리곱터 활용의 문제점과 대책”, 헬리곱터 사고예방 국제심포지엄 발표자료, pp.31-55(2006).
9. 최연철, “헬리곱터 사고사례와 안전관리”, 헬리곱터 사고예방 국제심포지엄 발표자료, pp.73-96(2006).
10. 이시영, 염육철, 이경재, “산불소화약제 항공산포 및 동력펌프 성능”, 임업연구원 연구보고 44, pp.104-110(1992).
11. 이시영, 염육철, 이경재, “산불연소 확대요인 및 소화약제 항공산포”, 임업연구원 연구보고 48, pp.47-57(1993).
12. 김관수, “산불의 예방과 방지전략”, 호서문화사, pp71-80(1997).
13. 현신규 외, “삼림보호학”, 향문사, pp.33-36(2005).