

산불진화자원의 진화능력단위 산정에 관한 연구

김동현*, 김응식**, 김장환**

* 국립산림과학원 산림방재연구과, **호서대학교 안전보건학과

S서요 on Estimating the Unit of Suppression Ability of Forest Fire Suppression Resources

Kim, Dong Hyun*, Kim, Eung Sik, Kim, Jang Whan

*Korea Forest Research Institute, ** Hoseo University

요 약

동시다발적인 산불발생시 한정된 진화자원을 효과적으로 운영하여 산불피해를 최소화하기 위해서는 산불상황에 맞는 진화자원 투입과 배치가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 진화자원 투입 및 운영 의사결정을 할 수 있도록 각 진화자원별 진화능력단위에 대한 평가가 이루어져야 한다. 하지만 아직 국내·외적으로 산불진화자원에 대한 진화능력단위 산정에 관한 연구가 이루어져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 진화자원을 중심으로 진화능력단위 기준 설정과 함께 각 진화자원별 진화능력단위를 산정하였다. 우리나라 진화자원은 크게 지상진화자원과 공중진화자원으로 구분됨으로 지상진화에 투입되는 주요 진화자원인 등짐펌프 및 불갈퀴 등 손도구를 이용하는 진화인력과 산불진화차량, 이동식 동력살수장치와 산불진화헬기로 구성되는 공중진화자원에 대해 진화효과를 분석, 능력단위를 산정하는 방법을 제시하였다.

1. 서 론

우리나라에 전국적으로 산불진화에 주력으로 사용되고 있는 산불진화용 지상진화장비는 불갈퀴, 등짐펌프, 동력펌프, 에어소화기이며 항공진화장비는 우리나라 주력 산불진화헬기는 KA-32T(담수능력 3,000ℓ)으로 이에 대해 산불진화효과분석을 실시하였다. 산불진화대원에 대하여 이동속도조사와 함께 산불초기진화 및 지표화 확산시 가장 효과적인 방화선 구축 작업량 조사는 불갈퀴와 에어소화기에 대하여 공중진화대원 및 산불전문예방진화대원으로 구분하여 1인 1조, 2인 1조, 3인 1조로 하여 활엽수 임내 및 침엽수 임내에서의 방화선 구축에 드는 작업시간과 함께 작업 피로도를 조사하였다. 방화선 구축을 위한 폭은 1m이상으로 지표층 연료를 모두 제거를 조건으로 하여 실시하였으며 진화대원의 조원별 방화선 구축 작업 피로도 조사는 설문을 통해 작업가중치를 산정하였다. 등짐펌프에

대한 산불진화 능력조사는 등짐펌프의 특성상 수간화 및 수관화에서는 산불진화가 곤란함으로 지표화 진화에 한정하여 재발화되지 않는 시점의 소요물량을 실험평가 하였으며 이때 산불진화용 포소화약제 첨가에 따른 진화효과를 함께 분석하였다. 동력펌프 살수 능력 평가실험에서는 임내 경사지를 고려한 국내 일반적으로 사용하고 있는 Wajax 9HP에 대해서 수관화 진화가 가능한 살수 높이가 확보되는 방수압 조건에서 동력펌프의 살수반경을 산정하여 이때 소요되는 방수량을 산정하였다. 산불진화헬기는 지형이 험난하거나 수관화(Crown Fire)로 지상에서 진화하기 힘든 산불의 경우에는 기동성, 접근성, 진화약제의 대용량 살수 등의 장점을 가진 진화헬기가 탁월한 효과를 가진다. 하지만 산불현장에 투입되는 산불진화헬기는 조정사의 경험과 지형, 기상 에 따라 진화효과에 많은 차이를 나타낼 수 있다. 따라서 산불진화헬기 살수패턴분석을 통해 보다 효과적으로 진화하기 위하여 헬기운항조건 및 풍향, 풍속에 따른 투하 조건에 따라 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)을 이용하여 지표화지역의 소연진화가 가능한 물량의 산포면적 및 거리를 분석하였고 현장실험을 통해 전산유체역학 해석 결과에 대한 적용성을 검토하였다.

2. 연구방법

2.1 지상진화자원 능력단위 산정 방법

불갈퀴와 에어소화기에 대하여 공중진화대원 및 산불전문예방진화대원으로 구분하여 1인 1조, 2인 1조, 3인 1조로 하여 활엽수 임내 및 침엽수 임내에서의 방화선 구축에 드는 작업시간과 함께 작업 피로도를 조사 하였다. 방화선 구축을 위한 폭은 1m이상으로 지표층 연료를 모두 제거를 조건으로 하여 실시하였으며 진화대원의 조원별 방화선 구축 작업 피로도 조사는 설문을 통해 작업가중치를 산정하였다. 또한 등짐펌프를 이용한 진화방법에서 지표화를 진화하는데 소요되는 물량과 지표화 진화길이 등에 대해 등짐펌프 용량 18ℓ, 1회 분무시 방출량 92ml로 실험하였다.



①1인 1조 방화선 구축작업 ②2인 1조 방화선 구축작업 ③3인 1조 방화선 구축작업

그림 1. 방화선 구축작업량 조사

동력펌프의 살수 능력을 평가하기 위하여 전동기 용량에 따른 방수량 및 방수압력 분석을 통해 산불진화 가능 방수압력을 찾고 이에 따른 살수 유효반경을 산정하였다. 동력 펌프의 전동기 용량 및 내연기관의 용량 산출식은 식 1, 식 2와 같다.

$$P(kw) \geq \frac{0.164 \times Q \times H}{E} K \quad 1)$$

$$P'(HP) \geq \frac{0.164 \times Q \times H}{E \times 0.745} K \quad 2)$$

여기서 Q는 토출량(m³/min), E는 펌프의 효율, K는 전달계수이고 H는 전양정(m)으로 식 3과 같고 h1, h2, h3은 각각 호스 마찰손실수두(m), 배관 및 관부속품의 마찰손실수두(m), 실양정(흡입+토출양정, m)이며 17m는 노즐전단 방수압력 환산수두이다.

$$H = h1 + h2 + h3 + 17m \quad 3)$$

2.2 헬기살수 능력 단위

산불진화헬기의 CFD 시뮬레이션 적용을 위한 조건은 다음과 같이 헬기운행방향-풍향별 2조건(바람순방향, 바람횡방향) 2조건과 풍속 5m/s, 10m/s, 15m/s의 조건과 실제산불진화헬기 살수실험에 대한 결과 검토를 위해 그림 2와 같이 살수 실험조건을 적용하여 분석하였으며 단위면적(m²)당 0.1ℓ가 살수되는 면적을 표시하였다. 헬기운행 실험조건 및 시뮬레이션과의 비교를 위한 실험조건은 표 1과 같다.

표 1. 헬기운행 실험조건 및 시뮬레이션 적용 조건

운항고도	운항속도	탑재물량	평균풍속	풍향
40m	74km/h	2kl	5m/s	헬기운행방향의 15°

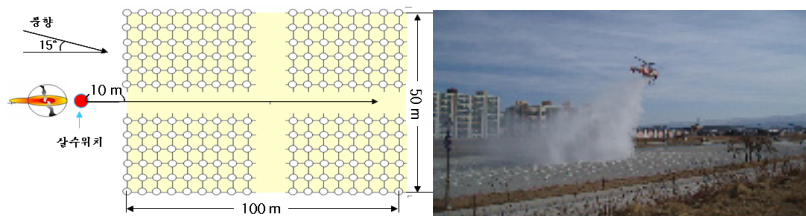


그림 2. 헬기살수실험 기본 개념도(좌), 헬기살수실험 장면(우)

3. 결 과

3.1 지상진화 능력

산불전문진화대 방화선 구축작업량 조사(100m)에서는 활엽수림(경사20°) 1인 작업 1266초, 2인 작업 874초, 3인 작업 682초, 침엽수림(경사25°) 1인 작업 1119초, 2인 작업 874초, 3인 작업 982초 소요되었고 공중진화대원의 방화선 구축작업량조사(100m)에서는 활엽수림(경사23°) 1인 작업 665초, 2인 작업 413초, 3인 작업 363초, 침엽수림(경사25°) 1인 작업 920초, 2인 작업 486초, 3인 작업 438초 소요되었다. 따라서 방화선 구축작업량의 경우, 공중진화대원(평균연령 32세)이 산불전문예방진화대원(평균연령 39세) 보다 2배 빠른 작업 속도를 보였으며 침엽수림에 비해 활엽수림에서의 방화선 구축작업속도가 약 1.3~1.5배

작업속도가 빠른 것으로 조사되었다. 조별 작업인원별 피로도 설문조사에서 1인 작업 (100%) > 2인 작업 (75%) > 3인 작업(30%) 로 방화선 구축작업능력지수[1/(방화선구축 작업량 × 피로도)]를 산정할 경우, 3인 1조 (1) > 2인 1조(0.6) > 1인 1조(0.4)로 작업피로도 및 작업속도 측면에서 전문진화대는 3인 1조, 공중진화대는 2인 1조가 효과적인 것으로 분석되었으나 통신 및 작업피로, 산불경계 등 안전 활동을 고려하여 3인 1조가 가장 효율적인 것으로 볼 수 있다. 등짐펌프에 대한 산불진화효과분석 결과, 소나무 침엽수림의 지표화시 불꽃을 제거할 수 있는 소염(消炎)효과의 물량은 $0.1 \ell/m^2$ 으로 화염제거 후 약 5분경과 후 재발화가 일어났으며 화염제거 후 재발화 발생이 없는 소화효과 물량은 $2 \ell/m^2$ 로 조사되었다. 이때 등짐펌프 1대당 지표화 최대 진화가능 면적은 $36m^2$ 로 분석되었다. 산불진화용 동력펌프인 WAJAX 9HP를 대상으로 하여 토출측 구경 60mm, 최대 토출량 $341 \ell/min$, 13mm 직사형 관창, 40mm 소방호스 25°경사지에서 방수압에 따른 살수거리 등을 분석한 결과, 수관화를 진화할 수 있는 방수압은 $1.4kg/cm^2$ 으로 12m거리까지 살수가 가능하며 이때 방수량은 $130 \ell/min$ 으로 살수 유효반경이 100m로 조사되었고 지표화 진화 가능한 살수반경은 방수량 $65 \ell/min$, $43 \ell/min$ 별로 각각 200m, 300m로 나타났다.

3.2 헬기살수 능력

수치해석을 이용한 풍향과 풍속에 따른 6가지 조건별 헬기의 물 산포량 및 분포특성 시뮬레이션 적용 결과, 헬기에 의한 물 살포시 바람 순방향 산포는 횡방향 산포보다 유효산포거리가 평균 1.3배 길고, 최대 집중 산포량도 평균 8.1배 많게 나타났으며 횡방향 산포는 순방향 산포보다 유효산포폭과 넓이가 평균 2.5배, 2.3배 넓은 경향으로 나타났다. 따라서, 헬기의 바람 순방향 산포는 화재강도가 큰 국소지역에 횡방향 산포는 화재강도가 약하고 화선이 넓은 경우에 적합한 것으로 나타났다. 산불진화헬기 산포실험과 시뮬레이션 적용결과, 헬기투하시점으로부터 살포위치는 각각 34m, 32m, 최대유효거리는 64m, 47m, 최대유효폭은 20m, 17m를 각각 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서 수행 결과 우리나라 진화자원에 따라 진화효과는 많은 차이를 나타내는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서 지상진화자원과 공중진화자원인 헬기를 중심으로 수행한 진화효과 분석, 능력단위를 산정하는 방법의 제시는 향후 보다 효과적인 진화자원 운영과 산불진화자원 표준화를 위한 진화능력 단위 산정 평가 방법에 있어 유용할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 국립산림과학원. (2004). “산불피해저감을 위한 진화기술 개발” 자연재해저감개발사업단 산불분야 연구보고서.
2. 김동현, 이명보(2004). “한국의 산불 특성 및 진화기술”. 동북아 산불진화기술 국제심포지엄. pp.3-30.
3. Kim Donghyun and Lee Myungbo (2006). The Analysis of Helicopter-Watering Pattern Using Computational Fluid Dynamics and Watering Test. V International Conference on Forest Fire Research.