

전산유체역학을 활용한 산불의 피해경로 예측과 스프링클러를 활용한 산불 지연시간 분석[†]

김재경*, 강준석**

*서울대학교 대학원 협동과정 조경학 박사과정, **서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부 부교수

1. 서론

산불은 산림 내 발생하는 모든 발화현상을 총칭하며, 자연재해에 해당한다. 최근 산불로 인한 사회경제적 피해는 한국뿐만 아니라 호주 등 세계 각지에서 겪고 있는 재난재해이다. 산불은 탈산림화, 생물 다양성 감소, 야생동물 서식지 파괴 등의 생태학적 측면뿐 아니라, 산림 환경기능 손실 등 경제적 측면, 사회적 측면에서도 부정적인 영향을 미친다(Moritz et al., 2014).

2022년에도 대규모 산불피해가 이어졌는데, 그 대표적 사례로 3월달에 발생한 울진-삼척 산불이 있다. 울진-삼척 산불은 경제적 피해가 1,689억 원 이상으로 추정되며, 소실 면적이 20,923ha 이상으로 피해 규모가 매우 컸다. 2019년부터 2020년까지 발생한 호주의 산불 사례는 2,400만ha의 산불이 발생하였으며, 약 100만 톤 이상의 연기가 발생되어 대기질에도 큰 피해를 일으켰다.

산불의 종류는 지표화(surface fire), 수간화(stem fire), 수관화(crown fire), 자중화(ground fire) 총 네 가지로 구분할 수 있다(Park and Lee, 2011). 네 가지 유형 중에서 가장 위험하게 평가받는 산불은 수관화로, 산불이 수관에서 수관으로 옮겨가기 때문에 그 피해가 매우 크다.

이러한 산불의 가장 큰 원인은 입산 자실화로, 인간의 방화 또는 담뱃불 등으로 인해 발생한다. COVID-19 이후로 입산 자실화의 가능성은 더욱 높아지고 있는데, 이는 산림 내 위치한 자연휴양림 등의 이용객이 많아지고 있기 때문이다. 입산 자실화는 산불의 발화지점을 예측하기 어렵기 때문에, 이를 소화할 수 있는 시설의 마련 및 효과 분석이 매우 중요하다. 국내 산불의 소화시설은 주로 목조문화재, 전통사찰, 자연휴양림 등 시설을 보호하기 위해 설치되는데, 대표적 사례로 함양 산불소화시설과 화원 자연휴양림의 산불소화시설이 있다.

Lee et al.(2005)은 2005년에 발생한 산불의 행동특성을 분석하여 산불의 확산 형태를 분석하였다. 또한, 산불의 피해도를 심, 중, 경 세 단계로 구분하였다. 하지만 선행연구는 산불이 발생한 후 산불의 피해도를 중심으로 산불의 거동 특성을 분석한 것으로 사후 관리적인 측면이 뚜렷하다. 본 연구에서는 산불에 선제적으로 대응할 수 있는 산불의 거동특성을 분석하고 이에 대응할 수 있는 스프링클러의 산불 지연시간을 분석하였다.

2. 본론

2.1 연구방법

본 연구는 유한체적법(finite volume methods, FVM) 기반의 전산유체역학(computational fluid dynamics, CFD) 프로그램인 Simcenter STAR CCM+ 프로그램을 활용하여 강원도 원주 치악산에 위치한 자연휴양림을 모델링하였다. 전체 도메인의 크기는 4km²로 설정하고, 전체 대상지에서 포함하고 있는



Figure 1. 검증용 기상수집장치

[†]본 연구는 환경부 지식기반 환경서비스 전문인력 양성사업으로 지원과 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업 ‘(2022420B10-2223 -AA02)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

건물, 교통, 시설, 식생, 수계자료 등을 모델링하였다. 모델링을 위해서 3D 그래픽 프로그램인 Rhino 7.0을 사용하였다.

격자의 크기는 기본 1m로 설정하고, 빌딩 등 정교한 격자해석이 필요한 공간에는 최소 0.1 m까지 격자를 구성하였다. 소화시설로 사용된 스프링클러는 0.01m로 작은 격자를 생성하였는데, 이는 입자가 작은 물 형태의 방화시설을 시뮬레이션으로 모사하기 위함이다. 위에서 언급한 기준에 따라 격자를 생성하였고, 총 1,200만 개의 격자로 모델을 구성하였다.

발화가 시작되는 지점은 자연휴양림 내 조정시설로 분류되는 제 1 캠핑장으로 가정하였다. 제 1 캠핑장은 대상지 내에서 교통시설과 가장 근접한 공간으로, 이용객의 수가 가장 많으며 화재가 발생할 경우 대규모 피해가 예상되는 지역이다. 낙엽의 발화온도는 섭씨 285도로 설정하였으며, 화재시 발생하는 열 방출량을 뜻하는 heat release rate(HRR)은 13,000W/m²로 설정하였다(Yeom et al., 2013). 물의 온도는 섭씨 20도로 설정하였으며, 증발하는 물을 수치적으로 구현하기 위해서 Ambient Temperature 기능을 활용하였다.

모델의 검증을 위해서 Figure 1과 같은 자동기상관측장비(automatic weather station, AWS) 2대를 설치하였다. 해당지역의 온도, 습도, 풍향, 풍속, 강수량 등을 모니터링하였으며, 발화지점의 기상조건과 확산되는 기상 데이터가 통계적 신뢰도를 가지고 있는지를 분석하였다.

산불 및 연기가 확산되는 경로를 확인하기 위해서 발화지점으로부터 500m 떨어진 지점에 총 16개의 모니터링 포인트를 설치하였다. 풍향의 조건은 북위 90도 방향에서 불어오는 것을 가정하였으며, 풍속은 AWS 평균 풍속인 2m/s를 고정하여 모델을 시뮬레이션하였다.

2.2 연구결과

스프링클러를 사용하지 않았을 때, 산불 및 연기의 전파는 동북쪽 사면을 타고 확산되는 모습을 볼 수 있었다. 이는 산불의 확산이 풍향의 영향뿐만 아니라, 사면을 통해 생성되는 연돌현상(stack effect)에 영향을 받음을 뜻한다. 산불이 발화지점으로부터 500m 떨어진 지점까지 확산되는데 소요한 시간은 약 22분 20초였으며, 산불 내부의 온도는 약 섭씨 2,000도까지 빠르게 상승하는 모습을 볼 수 있었다.

반면 소화방재시설인 스프링클러를 주 확산경로에 설치하였을 때, 산불의 주요 확산경로의 피해를 현저하게 줄일 수 있었다. 산불의 확산시간은 약 12분 지연시킬 수 있는 것으로 나타났다.

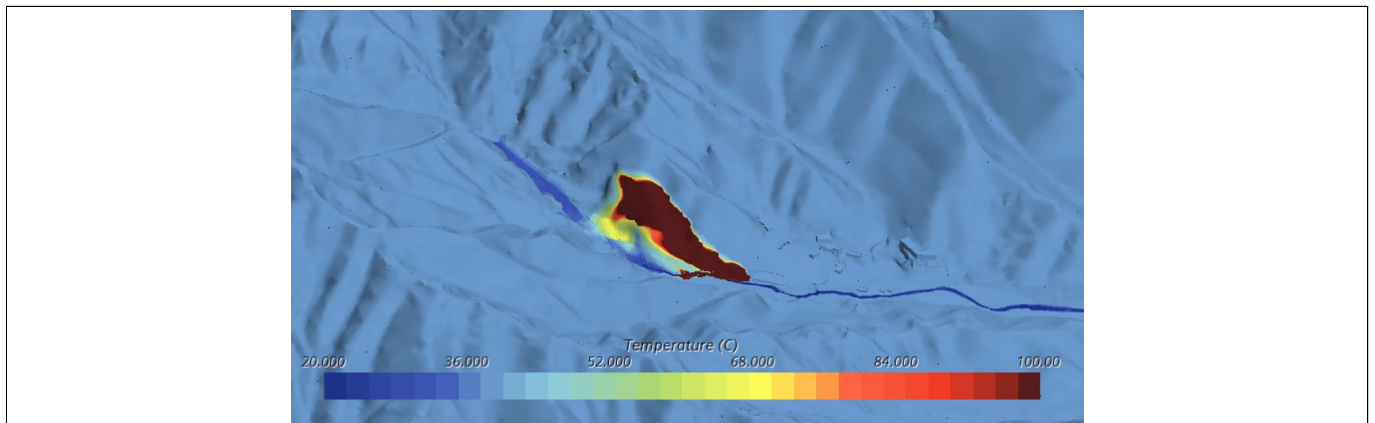


Figure 2. 소화방재시설을 활용한 산불의 확산 방지

3. 결론

본 연구는 전산유체역학 프로그램인 STAR-CCM+를 활용하여 자연휴양림 내 소화방재시설을 설치하였을 때 지연시킬 수 있는 산불의 확산시간에 대해 정량적으로 분석하였다. 향후 경제성 및 설치 가능 조건을 고려하여 실제 대상지에 적용 가능한 시공 매뉴얼 제작 등에 활용될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Moritz, M. A., E. Batllori, R. A. Bradstock, A. M. Gill, J. Handmer, P. F. Hessburg and A. D. Syphard(2014) Learning to coexist with wildfire. Nature 515(7525): 58-66.
2. Park, Y. J. and H. P. Lee(2011) A study on application of combustion products for forest fire investigation, Journal of the Korean Society of Safety 26(4): 111-119.
3. Lee, B. D., S. Y. Lee and J. S. Chung(2005) The behavior characteristics of the 2005 Yangyang forest fire. Fire Science and Engineering 19(4): 1-6.
4. Yeom, C., S. Lee and C. Gwon(2013) Combustion Characteristics Experiment of Fallen Leaves around Major Facilities in the Forest.