

Statistical Estimation of Forest Fire Precaution Periods

Sun Kyung Ryu^{1,2#}, Hee Young Ahn², Sung Yong Kim², Byung Doo Lee^{2*}

¹Department of Statistics, University of Seoul, 163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

²Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

Abstract

In order to maximize the efficiency of the limited resources for fire-fighting and prevention, it is important to set a forest fire precaution period by considering the temporal characteristics of forest fire occurrence and spread. In this study, the forest fire precaution periods were suggested based on statistical analysis of the national fire statistics data from 1991 to 2018. Multiple, ridge, and Lasso regression analyses were applied to identify the monthly (or 10 days) linear trend of fire occurrences, while k-means cluster analysis was used to select the precaution period. The fire occurrences in January, June, August and November have increased significantly over time, whilst those in March, April and May remained high without fluctuation over this period. The results suggest the extension of the fire precaution period in South Korea from 5 months (Spring: February 1 to May 15, Autumn: November 1 to December 15) to 8 months from mid-October to mid-June. This results from this study are expected to serve as statistical evidence for readjustment of forest fire precaution period in South Korea.

Key words: forest fire, fire precautionary period, fire statistics, regression analysis, cluster analysis

1. 서론

산불관리는 정확한 산불특성 예측에 기반을 두어야 하며(Hardy, *et al.*, 2001), 산불 발생 패턴의 시간적 특성은 성공적인 산불관리를 위한 주요 요소이다(Dwyer, *et al.*, 2000; Ji & Stocker, 2002). Kalabokidis, *et al.*(2002)은 산불관리 계획을 수립하는 데 있어서 산불의 발생 및 확산특성을 반드시 고려해야 한다고 하였다. 이러한 필요성에 의해 지역별 산불 발생과 확

산의 계절적 특성을 구명하기 위해 많은 연구가 이루어졌다. 대표적으로 Diaz-Delgado, *et al.*(2004)은 스페인 카탈로니아 지역을 대상으로 산불 발생의 시간적 특성을 통계 분석하였으며, Mouillot, *et al.*(2003)은 지중해 경관을 대상으로 통계 분석을 통해 산불의 발생 패턴을 규명하고자 하였다. Palumbo, *et al.*(2003)은 건수, 연소면적 등을 고려하여 시기적 특성을 구명하였다. Spessa, *et al.*(2003)은 건조기간을 초기, 중기, 말기 3단계로 구분하고, 각 단계별 건수와 연소면적 특성을

The 1st author: Sun Kyung Ryu, Tel. +82-961-2693, Fax. +82-961-2699, e-mail. rusunkyung@korea.kr

* Corresponding author: Byung Doo Lee, Tel. +82-961-2681, e-mail. byungdoo@korea.kr

분석하였다.

산불 관리자의 입장에서 산불 발생의 시기적 특성을 분석하는 이유는 예방과 진화자원을 어느 특정 기간에 집중해야 하는지 의사결정하기 위해서이다. 이러한 특정 기간을 일반적으로 산불조심기간이라 한다. 산불조심기간은 일 년 중 산불 발생과 확산이 쉽고, 이로 인한 영향이 큰 기간을 의미한다(USDA Forest Service, 2018). 이러한 조심기간은 산불 환경에 따라 달라지는데, 미국에서 대형산불이 자주 발생하는 캘리포니아주는 5월 14일부터 12월 10일까지이다 (<http://cal.fire.ca.gov>, 2019). 캐나다의 경우 이보다 약간 짧은데 5월 1일부터 9월 30일까지 5개월이다 (<http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/home>, 2019). 독일의 경우에는 전해 11월 1일부터 다음해 4월 15일까지이다.

우리나라는 산림보호법 제31조 제2항에 따라 산림청장 혹은 지방자치단체의 장이 계절별로 산불위험지수가 높아 산불이 발생할 위험이 높은 기간을 산불조심기간으로 정하고 있다. 연도별로 약간의 차이는 있지만 봄철은 2월 1일부터 5월 15일까지 가을철은 11월 1일부터 12월 15일까지 총 5개월이다.

하지만 겨울철 이상고온, 여름철 가뭄 등으로 산불 발생 패턴이 과거와 달라지면서 조심기간에 집중된 방지정책에 어려움이 발생하고 있다(Ryu, *et. al.*, 2015). 예를 들어 2018년의 경우 가을철 조심기간 종료 후 봄철 조심기간 시작 전, 즉, 12월 16일부터 1월 31일까지 전국적으로 130건이 발생하여 10년 평균 40건에 비해 3.3배 많았다(Korea Forest Service, 2019). 연간 산불 발생 일수도 지속적으로 증가하고 있다(Ahn, *et. al.*, 2017). 1990년대 산불이 한건이라도 발생한 날은 112일이었지만 최근 3년에는 169일로 57일 증가하였다. 즉 51%가 증가하였다.

조심기간 외의 발생한 산불은 예방과 대응 양쪽에서 문제점을 야기한다. 예방을 담당하는 산불감시원과 진화를 담당하는 산불예방진화대가 고용되기 전이기 때문에 조기 탐지와 초동 진화가 어렵다. 이에 따라 산불조심기간 연장의 필요성이 대두되고 있다. 하지

만 조심기간의 연장은 국민생활 불편과 기본권 침해 소지가 있다. 조심기간 동안 주요 산의 출입이 금지되고 등산로가 폐쇄되기 때문이다. 예산도 수반된다. 산불감시원, 산불예방진화대원 등의 인건비와 헬기 추가 운영으로 국비, 지방비 등이 더 요구된다. 마지막으로 지방자치단체 및 산림청 일선 산림부서의 업무가 중이 예상된다. 이는 산불재난 전담조직이 부재하기 때문이다. 조심기간 연장에 따른 부작용을 최소화하고, 합의를 도출하기 위해서는 객관적인 근거 마련이 필요하다. 즉 장기간의 산불통계를 활용하여 과학적인 방법으로 산불조심기간의 추정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 1991년부터 2018년까지 산림청이 구축한 산불통계자료를 통해 발생 패턴을 분석하고 이를 기반으로 산불조심기간을 추정하였다.

II. 통계자료 및 분석 방법

산림청은 모든 산불에 대해 발생지 주소, 발생시간, 진화시간, 연소면적, 원인을 기록한다. 본 연구에서는 1991년부터 2018년까지 28년간 총 10,248건의 산불 통계 자료를 이용하였다. 통계 분석을 위해 목적별로 데이터 세트를 추출하였다. 본 연구의 최종 목적은 조심기간을 재산정하는 것이므로 월(月) 또는 순(旬) 단위로 분석하였다. 모든 통계 분석을 공개 소프트웨어인 R 3.4.3 버전을 이용하였다.

1. 월, 순별 산불 건수의 변화

1991년부터 2018년까지 월·순별로 산불발생건수가 선형 증가 또는 감소했는지 확인하기 위해 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)을 실시했다. 종속변수를 1991년부터 2018년까지 연도로 하고, 독립변수를 1월부터 12월까지 월별 산불발생건수로 하였다. 분석하기에 앞서 독립변수들 사이에 높은 상관관계로 다중공선성(Multicollinearity)이 존재하는지 확인하였다. 모든 독립변수가 포함된 포화모형에서 변수선택을 위해 AIC(Akaike Information Criterion)를 기준으로

한 단계적 변수선택 방법(Stepwise selection)을 이용하였다. 모든 변수를 포함한 포화모형에서 변수를 삭제하거나 포함하는 작업을 반복하여 AIC를 최소화하는 모형을 찾아가는 방법이다. AIC를 최소화하는 의미는 우도(Likelihood)를 최대화 하는 동시에 변수 개수는 가장 적은 최적의 모형을 찾는 것이다. 이를 통해 가장 적합한 다중회귀모형을 구축하고 독립변수들의 계수 값을 통해 시간흐름에 따른 산불 건수의 선형관계를 확인하였다.

현 산불조심기간은 봄철 2월 1일부터 5월 15일까지이며 가을철 11월 1일부터 12월 15일이다. 산불조심기간 이전, 이후로 좀 더 정밀하게 분석하기 위해 1월, 5월, 6월, 10월, 12월을 대상으로 순별로 발생건수를 나누어 동일한 다중회귀분석을 실시하였다. 독립변수는 5개월 × 3순이므로 총 15개이다.

변수의 수가 늘어나고 데이터의 크기가 제한되어 발생할 수 있는 문제를 예방하기 위해 최대가능도 방법을 이용한 회귀분석을 더불어 능형회귀(Ridge Regression)분석과 변수선택을 포함하고 있는 Lasso (Least Absolute and Selection Operator)회귀분석을 함께 이용하였다. 이 세 가지의 회귀분석 방법을 이용해 산불발생건수 추세의 변화를 더욱 세밀하게 확인하였다.

2. 산불조심기간 추정

산불조심기간을 산정하기 위해 순별 건수와 연소면적 변수를 이용하여 군집분석을 수행하였다. 군집의 중심점을 평균으로 한 K-평균 군집방법(K-means Clustering)을 사용하였다. 두 변수의 분산을 줄이기 위해 로그변환을 하였고, 변수 값이 0인 경우 오류가 발생하기 때문에 1을 더한 후 변환하였다. 연도효과를 제거하기 위해 1991년부터 2018년까지의 발생건수와 연소면적을 순별로 더한 총 36개의 데이터를 이용하였다.

기간별로 산불조심기간의 변화를 살펴보기 위해 7 개년씩 통계 자료를 분할하였다. 이는 본 분석에서 사

용된 산불통계 구축 기간이 28년이기 때문이다. 향후 30년이 넘게 누적될 경우 10년 단위를 활용할 수 있다. 첫 번째 그룹은 1991년부터 1997년까지, 두 번째 그룹은 1998년부터 2004년까지, 세 번째 그룹은 2005년부터 2011년까지, 네 번째 그룹은 2012년부터 2018년까지의 발생건수와 연소면적의 합으로 총 144개의 데이터로 구성되었다. 분산을 줄이기 위해 분할 후 로그변환 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기초통계

1991년부터 2018년까지 연간 평균 건수는 438회이며, 건당 평균 연소면적은 3.76ha이다. <Figure 1>은 연도별 건수와 건당 연소면적을 나타낸 그래프이다. 분석기간 중 2001년의 건수가 785회로 가장 많았고, 건당 연소면적은 2000년의 경우 35.6ha로 가장 넓었다. 1990년대의 경우 1995년부터 1997년까지를 제외하고 연평균 건수보다 적은 산불이 발생하였다. 2000년대의 경우 2003년, 2006년, 2007년, 2008년을 제외하고 연평균 건수보다 많이 발생하였다. 2010년대의 경우 2014년, 2015년, 2017년, 2018년에 더 많이 발생하였다.

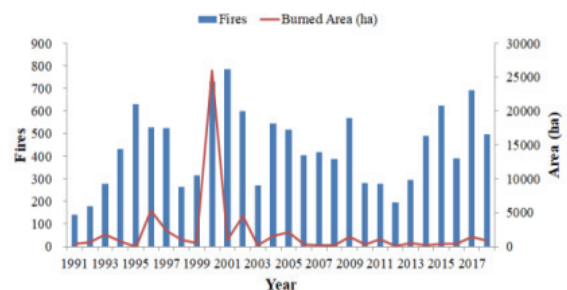


Figure 1. Annual fire occurrences and burned areas (ha) between 1991 and 2018

월별로 살펴보면, 4월의 경우 일 년에 평균적으로 약 128건이며, 3월은 112건으로 3, 4월에 전체 건수의 55%가 집중되었다. 다음으로 2월, 5월, 1월에는 각각 61건, 32건, 26건이었다. 1월부터 5월까지의 산불이 일

년 전체 건수의 82%를 차지했다. 건당 연소면적은 4월이 평균 약 7.97ha로 가장 넓었다.

2. 월, 순별 산불 건수의 변화

1991년부터 2018년까지 월·순별로 산불발생건수가 선형 증가 또는 감소했는지 확인하기 위해 다중회귀분석을 실시했다. 먼저 독립변수들 사이의 다중공선성을 확인하기 위해 분산팽창계수(Variance Inflation Factor, VIF)를 살펴본 결과 모든 독립변수의 VIF값이 1과 3사이에 존재하여 독립적이었다. 참고로 VIF 값이 0.1이하이거나 10이상이면 다중공선성이 존재한다고 볼 수 있다. 포화모형의 AIC값은 104.77이고 결과적으로 AIC가 최소인 100.96일 때 최적 모형이 선택되었다. 1월, 2월, 6월, 7월, 8월, 9월, 11월, 12월의 총 8개의 독립변수가 선택되었고 <Table 1>의 결과에서 유의수준을 5%로 볼 때 1월, 2월, 6월, 8월, 11월 변수가 유의하였다.

최종적으로 적합된 모형의 F통계량 값은 <Table 2>에서 보는 바와 같이 5.633이고, 통계량 P 값이 0.05보다 낮아 5% 유의수준에서 모형의 의미가 있었다. 잔차의 표준오차(Residual Standard Error, RSE)는 5.34로 포화모형보다 0.23이 더 낮았다.

1월, 6월, 8월, 11월의 경우 추정된 계수 값이 모두 양수이므로 이 달에는 지속적으로 산불건수가 증가함을 알 수 있다. 8월의 경우 계수 값이 가장 컸는데, 이는 매해 건수가 가장 크게 증가하는 것을 의미한다. 2월의 계수 값은 음수로 매년 건수가 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만 계수 값이 -0.07로 상대적으로 적어 크게 감소하지는 않았다. 유의하지 않은 변수 중 3월, 4월, 5월은 발생 건수가 상대적으로 높은 달로, 선형 변화가 없이 매해 높은 비율을 차지하고 있다.

1월, 5월, 6월, 10월, 12월을 대상으로 순별 발생건수를 회귀분석(다중회귀, 능형회귀, LASSO)한 결과는 <Table 3>과 같다. AIC를 기준으로 단계적 변수선택 방법을 이용한 다중회귀분석에서는 1월 중순, 6월 상순, 6월 하순이 선택되었다. 선택된 모든 변수의 계수는 양수로 이는 시간이 지남에 따라 발생 건수가 증가함을 의미한다.

능형회귀의 경우, 계수의 절댓값 0.1을 기준으로 봤을 때 1월 중순, 1월 하순, 5월 중순, 6월 상순, 6월 중순, 6월 하순, 10월 중순이 선택되었고, 모두 양의 값을 가지고 있다. 1월, 5월, 6월, 10월 위주로 건수가 증가한 것을 알 수 있다. 음의 계수 값을 갖는 변수들은 0에 가까워 크게 감소하지 않았다.

Table 1. Estimation of parameters with multiple regression analysis for summed monthly forest fire occurrences

Month	Estimate	Standard error	t-value	pr(>t)
intercept	1,999.88	2.68	746.48	<0.0001
January	0.15	0.06	2.49	0.022
February	-0.07	0.03	-2.39	0.027
June	0.20	0.05	3.69	0.002
July	-0.45	0.35	-1.30	0.211
August	0.54	0.16	3.30	0.004
September	-0.19	0.13	-1.48	0.156
November	0.26	0.12	2.21	0.040
December	-0.16	0.09	-1.72	0.102

Table 2. Results of multiple regression analysis for summed monthly forest fire occurrences

Residual Standard Error(d.f.)	R-squared	Adj R-squared	F-statistic(d.f.)	P-value
5.34(19)	70.34%	57.85%	5.633(8,19)	0.0009563

Table 3. Estimation of parameters with ridge regression, LASSO regression and multiple regression analysis

Ridge regression analysis		LASSO regression analysis.		Multiple regression analysis	
Intercept	1997.336	Intercept	2000.958	Intercept	1999
Early January	-0.009	Middle January	0.110	Middle January	0.285
Middle January	0.256	Late January	0.006	Early June	0.217
Late January	0.107	Middle May	0.004	Late June	0.578
Early May	-0.048	Late May	0.027		
Middle May	0.157	Early June	0.115		
Late May	0.008	Late June	0.425		
Early June	0.166				
Middle June	0.104				
Late June	0.535				
Early October	-0.063				
Middle October	0.260				
Late October	-0.086				
Early December	-0.081				
Middle December	-0.014				
Late December	0.006				

LASSO 회귀분석에 의해 선택된 변수는 1월 중순, 1월 하순, 5월 중순, 5월 하순, 6월 상순, 6월 하순으로 능형회귀분석보다는 더 엄격한 변수 선택의 결과를 보여준다. 세 개의 분석 결과 현 봄철의 산불조심기간을 1월과 6월까지 더 확장할 필요성이 보인다. 더욱이 가을철 10월의 경우에도 눈여겨 볼 필요가 있다.

28년 동안 산불 건수의 선형 증감을 살펴본 결과, 현재 산불조심기간 전후 인접한 달에서 건수가 지속적으로 증가하였다. 즉 1월, 6월의 건수가 늘고 있고, 산불조심기간에 포함될 수 있는 후보로 선정되었다. 8월의 경우도 크게 증가한 것으로 분석되었으나, 후보군에서는 제외하였다. 왜냐하면 2018년 8월의 46건이 다른 해 들의 건수 범위(0~14건)보다 극단적으로 컸기 때문이다. 이 영향으로 계수 값이 상승한 것을 알 수 있다. 산불이 집중 발생하는 3~5월은 선형적인 증감 없이 지속적으로 높은 발생 수준을 유지하여 산불조

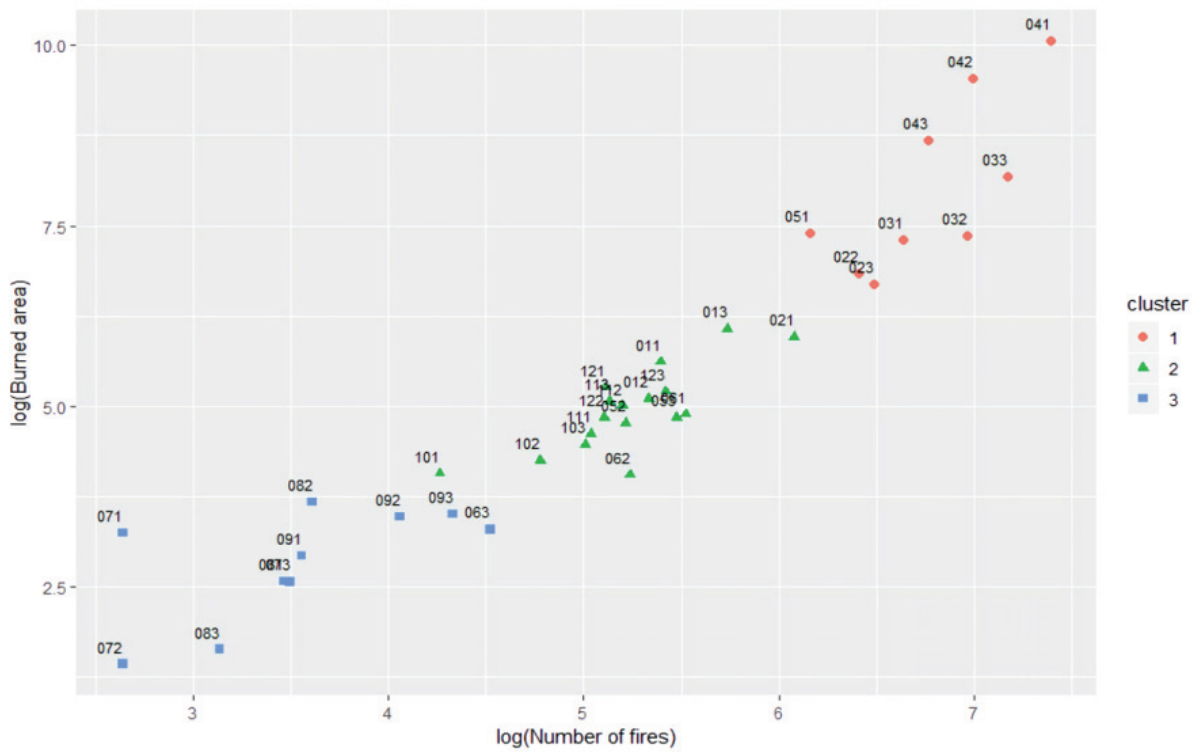
심기간으로 유지함이 타당하였다.

3. 산불조심기간 추정 결과

순별 발생건수와 연소면적을 독립변수로 군집분석한 결과, <Table 4>와 같이 3개로 분류되었다. 군집 1, 군집 2, 군집 3에 각각 9개, 17개, 10개의 순이 분류되었다. 군집 1은 로그 변환한 건수의 평균이 6.776이고, 로그변환 연소면적은 8.007로 가장 높은 평균을 가진 군집이다. 즉 산불이 많이 나고 넓게 타는 군집이다. 군집 2는 평균 건수가 5.238이고, 평균 연소면적이 4.944로 두 번째로 높은 군집이다. 이때 현 산불조심기간은 군집 1, 군집 2에 대부분 포함되므로 군집 1과 군집 2를 산불조심기간으로 지정할 수 있다. 군집 3은 로그 변환한 평균 건수가 3.546이고, 로그변환 평균 연소면적은 2.827로 상대적으로 산불 위험 확률이 가장 낮은 집단이다.

Table 4. Cluster analysis results using fire occurrences and burned area

Cluster	size	Mean of forest fire occurrence transformed with log equation	Mean of burned area transformed with log equation	sum of square
Cluster 1	9	6.776	8.007	12.692
Cluster 2	17	5.238	4.944	7.870
Cluster 3	10	3.546	2.827	9.182



(The number in X-axis means months(the first 2 characters) and ten days interval of a month(the last character, 1: early, 2: middle, 3: last), ex. 112 means the middle part of November)

Figure 2. Scatter plot of k-means clustering analysis for fire occurrences and burned area



(The digits on the X-axis(Time of year) means the month(the first two digits) and the ten days interval of a month(the third digit, 1: early, 2: middle, 3: late), e.g. 112 means the mid-November)

Figure 3. Time series graph of k-means clustering analysis for fire occurrences and burned area

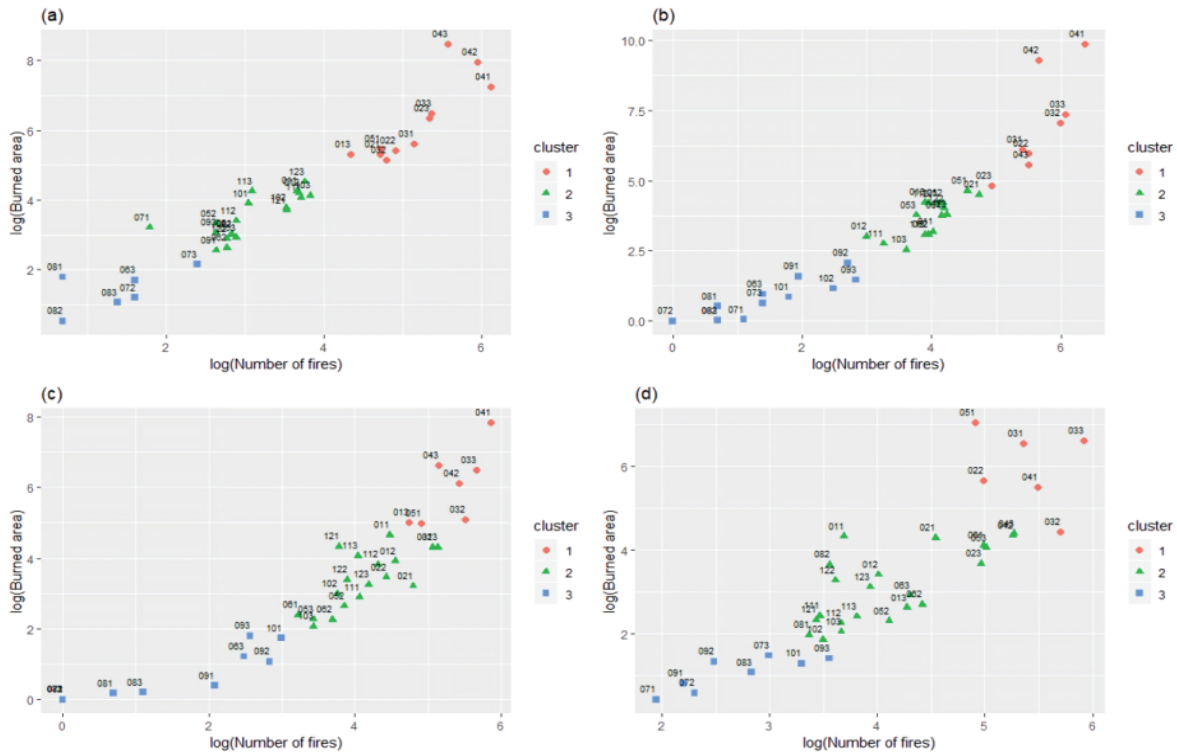


Figure 4. Scatter plot of k-means clustering analysis by group (division by 7 years). (a) 1991~1997, (b) 1998~2004, (C) 2005~2011, (d) 2012~2018

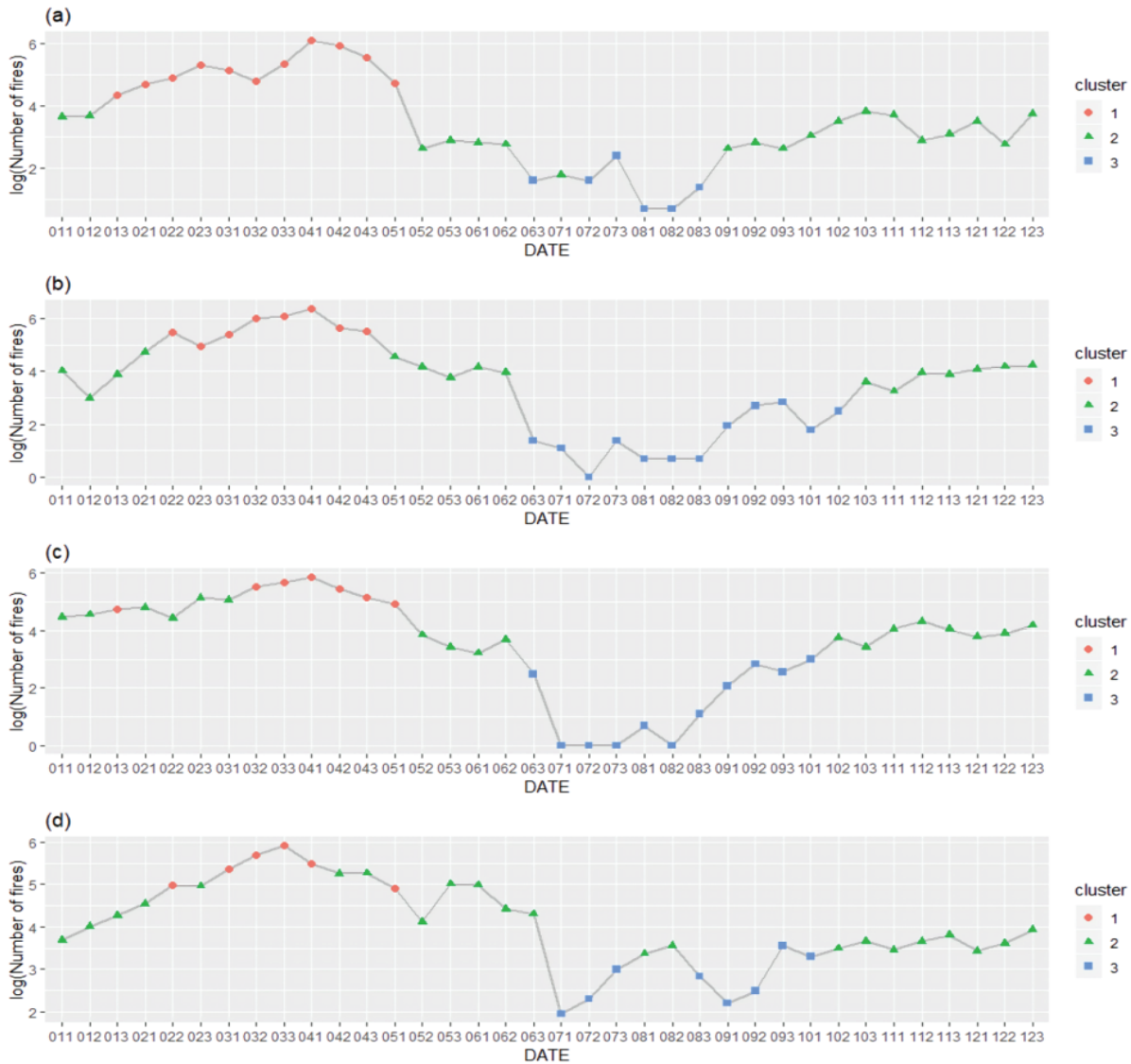
군집분석의 결과를 시계열 그래프로 표현하여 산불조심기간이 될 수 있는 구간을 확인할 수 있다. <Figure 3>에서 가장 산불위험이 높은 군집 1에 해당하는 구간은 2월 중순부터 5월 상순까지 연속된다. 두 번째로 산불위험이 높은 군집 2는 10월 상순부터 2월 상순까지 연속되고 5월 중순부터 6월 중순까지 연속된다. 산불 위험이 가장 낮은 군집 3의 경우 6월 하순부터 9월 하순까지 이어진다. 결과적으로 군집 1, 군집 2에 해당하는 구간을 산불조심기간으로 지정한다면, 10월부터 다음 해 6월 중순까지이다.

7개년씩 4개의 시기별로 구분하여 군집을 분석한 결과는 <Figure 4>, <Figure 5>, <Table 5>, <Table 6>과 같다. 최적 군집의 수는 3개였다. 가장 산불위험이 높은 군집 1의 경우 그룹 1(1991~1997)에서 그룹 4(2012~2018)까지 각각 11개, 8개, 7개, 6개로 점점 줄어든다. 그러나 군집 2의 경우에는 그룹1 에서 그룹 4까지 각각 19개, 16개, 18개, 22개로 그룹 4에서 크게 늘어났다. 이는 시간의 흐름에 따라 좁은 기간에 집중된 산불

위험의 확률이 점차 넓은 기간으로 연중 확대된다는 것을 말해준다. 군집 1, 군집 2를 산불위험기간으로 보고 두 군집의 데이터 수를 합했을 때 그룹 1을 제외하고는 산불위험기간이 점점 증가했다. 4개의 그룹 모두 군집 1에는 3월과 4월이 대부분 포함되어 있다. 군집 2에는 1월, 5월, 6월의 일부가 포함되어 있고, 11월과 12월이 들어있다. 군집 3에는 7월, 8월이 대부분 포함되어 있는데 2018년 8월의 극단적인 값에 영향을 받아 그룹 4는 8월의 상순, 중순이 군집 2에 분류되었다. 그리고 그룹 1을 제외하고는 9월도 모두 군집 3에 분류되어, 산불조심기간의 후보로 어울리지 않았다.

Table 5. Cluster sizes by group (division by 7 years)

Period	Group	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
1991 ~ 1997	1	11	19	6
1998 ~ 2004	2	8	16	12
2005 ~ 2011	3	7	18	11
2012 ~ 2018	4	6	22	8



(The number in X-axis means months(the first 2 characters) and ten days interval of a month(the last character, 1: early, 2: middle, 3: last, ex. 112 means the middle part of November)

Figure 5. Time series graph of k-means clustering analysis by group (division by 7 years). (a) 1991~1997, (b) 1998~2004, (C) 2005~2011, (d) 2012~2018

각 그룹별 군집분석의 결과를 <Figure 5>와 같이 시계열 그래프로 표현하여 산불조심기간을 확인하였다. <Table 6>를 통해 각 시기의 산불조심기간의 변화를

살펴볼 수 있다. 산불조심기간을 군집 1, 군집 2로 가정하면, 4개 그룹 공통으로 10월 하순부터 후년 6월 중순까지 지속된다. 2012년부터 2018년에 해당하는 그룹

Table 6. Clustering vector by group (division by 7 years). (a) 1991~1997, (b) 1998~2004, (C) 2005~2011, (d) 2012~2018 (The number(1, 2, 3) in the cell means cluster)

Period	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
1991~1997	2	2	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1998~2004	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
2005~2011	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1
2012~2018	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2

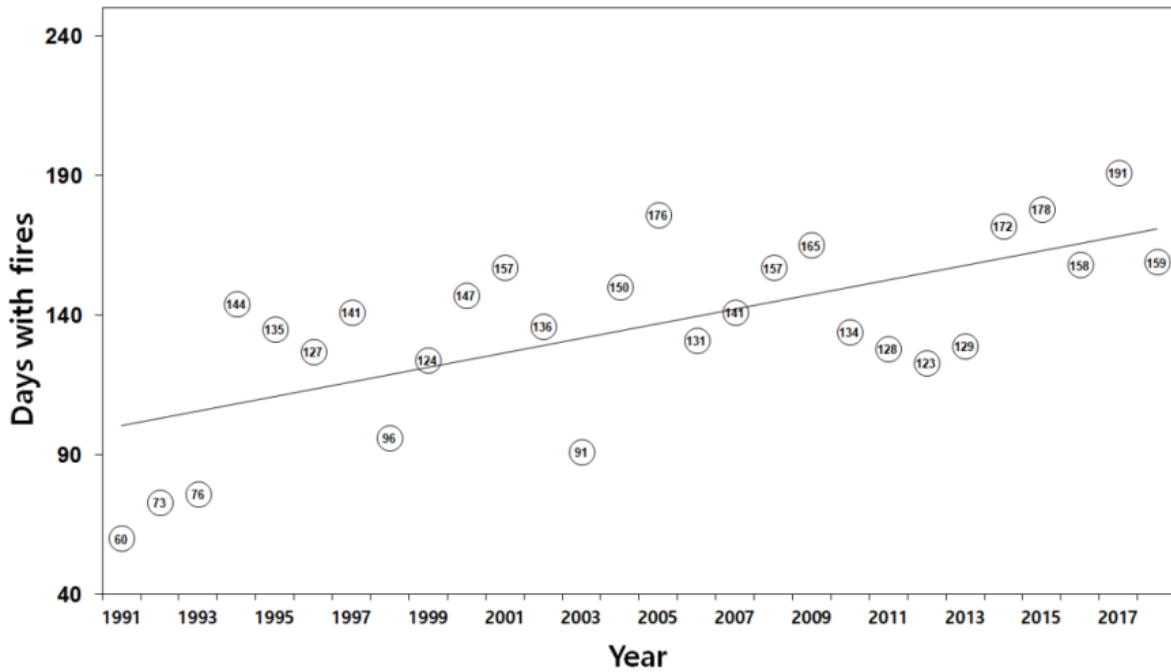


Figure 6. The annual number of days with forest fire occurrences (1991~2018).

4의 경우에 6월 하순까지 확장되었다. 최근 14년의 데이터를 담고 있는 그룹 3과 그룹 4의 경우 10월 중순부터 산불위험구간이 시작된다. 결과적으로 10월 하순부터 6월 중순까지 산불조심기간으로 추정할 수 있다.

본 연구에서는 10월 하순부터 다음해 6월 중순까지 약 8개월을 산불조심기간으로 제시하였다. 일년 365일 중 243일에 해당되며, 현재보다 3개월 더 길다. 기존의 연구(Lee, et. al., 2006; Seol, et. al., 2012)보다도 더 늘어났다. Lee, et. al.(2006)은 1991년부터 2003년까지 13년간의 산불통계를 분석하여 현재 산불조심기간보다 61일 늘어난 210일은 제시하였다. 전해 11월 14일부터 다음해 6월 12일까지이다. Seol, et. al.(2012)은 1991년부터 2005년까지 16년간의 산불통계를 분석하여 10월 21일부터 5월 17일까지 현재보다 57일 늘어난 기간을 제시하였다. 기존 연구와 본 연구의 공통점은 현재보다 산불조심기간이 더 늘어나고, 현재 조심기간이 아닌 12월 중순 이후와 1월이 포함된다는 점이다. 이는 <Figure 6>에서와 같이 일년 365일 중 산불이 발생하는 날수가 해마다 증가하는 기존 통계와도 유사하다(Korea Forest Service, 2019).

V. 결론

본 연구에서는 28년간의 산불통계를 분석하여 산불조심기간을 추정하였다. 시간 분석 단위는 월 또는 순이었으며, 변수는 발생건수와 연소면적이었다.

시간의 흐름에 따른 월별 발생건수의 증감을 살펴보기 위한 다중회귀분석 결과 1991년부터 2018년까지 1월, 6월, 8월, 11월의 건수는 증가 추세였다. 3, 4, 5월은 선형적인 증감 없이 지속적으로 많이 발생하였다. 순별로 쪼개보면 1월 중순, 6월 상순, 6월 하순이 유일한 증가추세를 보였다. 특히 6월 하순의 경우 크게 증가하였다. 능형회귀와 LASSO 회귀분석 결과도 유사하였다. 능형회귀에서는 6월 하순과 10월 중순, 1월 중순의 계수가 0.2 이상으로 가장 크게 증가하는 기간이었다. LASSO 회귀분석의 결과는 총 6개의 변수가 선택되었고, 1월의 중순, 하순과 5월의 중순, 하순, 6월 상순, 하순이 유의하게 증가하였다.

산불조심기간을 산정하기 위해 순별 건수와 연소면적 변수를 이용하여 군집분석을 수행하였다. 적합도가 가장 높은 군집의 수는 3개로 선택되었고, 군집1

과 군집2를 산불조심기간으로 가정하면, 10월부터 후년 6월 중순까지 산불조심기간으로 설정할 수 있었다. 7개 년도씩 시기를 구분하여 분석했을 때는 1991년부터 2011년까지 포함된 그룹1, 2, 3은 6월 중순까지 조심기간으로 구분되었지만 2012년부터 2018년이 포함된 그룹4부터 6월 하순까지 산불조심기간이 늘어난 것으로 분석되었다. 그리고 2005년부터 2018년까지 포함된 그룹3, 4의 경우 산불조심기간이 10월 중순부터 시작되었다. 결과적으로 산불위험구간은 10월부터 다음해 6월까지로 볼 수 있고, 현 산불조심기간 5개월보다 3개월 더 확장된 결과를 얻을 수 있었다.

산불조심기간 10월부터 다음해 6월까지 연장되면 봄과 가을 두 구간으로 나누어진 현재에 비해 지역별 산불방지 정책을 수립하고, 산불감시원 및 산불진화대원을 모집하는 행정력을 줄일 수 있다. 또한 기존 산불조심기간 외에 발생하는 산불에 대해 초동대처가 가능해 피해를 초기에 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 반면 늘어난 기간 동안 고용되는 감시대원과 진화대원의 인건비, 진화헬기 임차료 등의 예산 증가가 필요하다.

이러한 분석결과는 산불조심기간 재설정 및 산불방지 정책을 수립하는 데 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

References

- Hee Young Ahn, Byung Doo Lee, Chun Geun Kwon, and Sung Yong Kim. 2017. Identification of Fire-prone Areas Using Spatial Analysis of the Forest Fire Location Data. *Crisisonomy*. 13(4): 95-104.
- Díaz-Delgado, R., F. Lloret, and X. Pons. 2004. Statistical Analysis of Fire Frequency Models for Catalonia (NE Spain, 1975-1998) Based on Fire Scar Maps from Landsat MSS Data. *International Journal of Wildland Fire*. 13(1): 89-99.
- Dwyer, E. J., J. M. Pereira, J. M. Gregoire, and C. C. DaCamera. 2000. Characterization of the Spatio-temporal Patterns of Global Fire Activity using Satellite Imagery for The Period April 1992 to March 1993. *Journal of Biogeography*. 27(1): 57-69.
- Hardy, C. C., K. M. Schmidt, J. P. Menakis, and N. R. Sampson. 2001. Spatial Data for National Fire Planning and Fuel Management. *International Journal of Wildland Fire*. 10(4): 353-372.
- Ji, Y., Stocker E. 2002. Seasonal, Intraseasonal, and Interannual Variability of Global Land Fires and Their Effects on Atmospheric Aerosol Distribution. *Journal of Geophysical Research*. 107(23): ACH 10-1-ACH 10-5.
- Kalabokidis, K. D., S. Gatzojannis, and S. Galatsidas. 2002. Introducing Wildfire into Forest Management Planning: Towards a Conceptual Approach. *Forest Ecology and Management*. 158(1-3): 41-50.
- Korea Forest Service. 2019. Statistical Analysis of Forest Fire in Korea. Korea Forest Service: Daejeon, Korea.
- Lee, Byung Doo, Pil Sun Park, and Joo Sang Chung. 2006. Temporal and Spatial Characteristics of Forest Fires in South Korea Between 1970 and 2003. *International Journal of Wildland Fire*. 15(3): 389-396.
- Matt, W. J., A. C. Mark, H. F. Patrick, A. H. Zachary, J. B. Timothy, J. W. Grant, and M. J. David. 2015. Climate-induced Variations in Global Wildfire Danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*. 6(7537): 1-11.
- Mouillot, F., J. Ratte, R. Joffre, J. M. Moreno, and S. Rambal. 2003. Some Determinants of the Spatio-temporal Fire Cycle in a Mediterranean Landscape (Corsica, France). *Landscape Ecology*. 18(7): 665-674.
- Palumbo, I., J. M. Gregoire, L. Boschetti, and H. Eva. 2003. Fire Regimes in Protected Areas of Sub-saharan Africa, Derived from the GBA2000 Dataset. *The 4th Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management*. Ghent: EARSEL. 139-149.
- Ryu, Gye Sun, Byung Doo Lee, and Sung Yong Kim. 2015. Developing Techniques of Mapping and Indicator Selection for Forest Fire Vulnerability. *Crisisonomy*. 11(11): 323-337.
- Seol, A Ra, Byung Doo Lee, and Joo Sang Chung. 2006. Estimation of Fire Precaution Periods using Forest Fire Statistics in South Korea. *Journal of Forest Research*. 17(1): 45-50.
- Song, Moon Seop and Sin Seop Cho. 2004. *Statistical Analysis using SAS Program*. Seoul: Freedom Academy Press.
- Spessa, A., S. P. Harrison, I. C. Prentice, W. Cramer, and N.

Mahowald. 2003. Confronting a Burning Question: the Role of Fire on Earth. *Eos Transactions American Geophysical Union*. 84(3): 23-25.

USDA Forest Service. 2019. <https://www.fs.fed.us/nwacfire/home/terminology.html#F>

Korean References Translated from the English

류계선, 이병두, 김성용. 2015. 산불취약성지도 작성을 위한 지표 선정 및 지도화 기법 개발. *Crisisonomy*. 11(11): 323-337.

송문섭, 조신섭. 2004. SAS를 이용한 통계자료분석. 자유아카데미. 442.

안희영, 이병두, 권춘근, 김성용. 2017. 산불발생 위치와 공간분석을 이용한 산불다발지역 선정. *Crisisonomy*. 13(4): 95-104.

Received: Sep. 4, 2019 / Revised: Sep. 30, 2019 / Accepted: Oct. 7, 2019

통계 분석을 통한 산불조심기간 추정

국문초록 한정된 예방, 진화자원을 효과적으로 활용한다는 측면에서 올바른 산불조심기간 설정이 중요하다. 본 연구에서는 1991년부터 2018년까지 28년간의 산불통계자료를 활용하여 통계적 기법을 이용하여 산불조심기간을 추정하였다. 분석을 위한 시간단위는 월 또는 순이다. 산불 건수의 선형 변화를 살펴 보기 위해 다중회귀분석, 능형회귀분석, LASSO를 이용하였고, 산불조심기간을 선정하기 위해 K-means 군집분석을 수행하였다. 분석 결과, 1월, 6월, 8월, 11월의 산불건수는 시간의 흐름에 따라 유의하게 증가하였다. 산불이 집중 발생하는 3~5월은 선형적인 증감 없이 지속적으로 높은 발생 수준을 유지하였다. 현재 5개월(봄철 2월 1일 ~ 5월 15일, 가을철 11월 1일 ~ 12월 15일)인 산불조심 기간을 약 8개월(전해 10월 중순 ~ 다음해 6월 중순)까지 연장하는 것이 더 적합한 것으로 보인다. 이러한 결과는 산불조심기간을 재설정하는 데 통계적 근거로 활용될 수 있다.

주제어 : 산불, 조심기간, 통계, 회귀분석, 군집분석

Profiles **Sung Kyung Ryu** : She received her M. Sc. from University of Seoul, Korea in 2019. Her interesting areas of research are mixed model, Statistics, She is working at division of forest disaster management, national institute of forest science (rusunkyung@naver.com).

Hee Young Ahn : She received her master's degree in Arts from Korea University in February 2016 with her master's paper titled "Location of Royal Tombs of the Joseon Dynasty and its Ecological Interpretation". She is currently working for Forest Disaster Management Division of the National Institute of Forest Science as a researcher. Her current research interest includes development of forest fire suppression techniques. In particular, she is now focusing on upgrading fire occurrence location map, fire danger map, and fire vulnerability map through GIS analysis on fire data(ahnhy@korea.kr).

Sung Yong Kim : He received his Ph.D in Agriculture from Kongju National University in August 2015 with his Ph.D. paper titled "A Study on the Analysis of Fuel Characteristics for Forest Fire Hazard Assessment". He is currently working for Forest Disaster Management Division of the National Institute of Forest Science as a researcher. His current research interest includes forest fire prediction, forest fire fuel model and fire danger assessment(kitaco1@korea.kr).

Byung Doo Lee : He received his Ph.D. in Agriculture from Seoul National University in August 2005 with his Ph.D. paper titled "Analysis of Behavior Characteristics of the 2000 Samcheok Forest Fire Using GIS/RS and Development of a Forest Fire Growth Prediction Model". He is currently working for Forest Disaster Management Division of the National Institute of Forest Science as a senior researcher. He has conducted various research projects on forest fire and building on it, published many academic papers. His current research interest includes forest fire prediction and suppression techniques and forest danger assessment(byungdoo@korea.kr).