

공간분석에 의한 산불발생확률모형 개발 및 위험지도 작성

안상현^{1*} · 이시영¹ · 원명수¹ · 이명보¹ · 신영철²

Developing the Forest Fire Occurrence Probability Model Using GIS and Mapping Forest Fire Risks

Sang-Hyun AN^{1*} · Si Young LEE¹ · Myoung Soo WON¹
Myung Bo LEE¹ · Young-Chul SHIN²

요 약

우리나라는 산불을 효율적으로 방지하기 위하여 기상, 지형, 임상을 중심으로 산불발생위험을 판정할 수 있는 알고리즘 및 관련인자의 DB구축을 통한 웹기반 산불위험예보시스템을 개발하여 활용 중에 있다. 그러나 우리나라의 경우, 자연적으로 산불이 발생하는 미국, 캐나다와 달리 인위적인 산불이 대부분을 차지하고 있어 우리나라에 적합한 지형 및 연료인자와 산불발생에 관한 기초연구가 지속적으로 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 현재 실용화하고 있는 산불위험예보시스템의 알고리즘 개선을 위한 기초연구로서 산불발생지역에 대한 GIS를 이용한 공간분석과 로지스틱 분석을 이용하여 산불발생위험지역을 구분할 수 있는 산불발생확률모형을 개발하였다.

주요어 : 산불, 산불발생확률모형, 지리정보시스템, 산불발생위험지역

ABSTRACT

In order to decrease the area damaged by forest fires and to prevent the occurrence of forest fires, the forest fire danger rating system was developed to estimate forest fire risk by means of weather, topography, and forest type. Forest fires occurrence prediction needs to improve continually. Logistic regression and spatial analysis was used in developing the forest fire occurrence probability model. The forest fire danger index in accordance to the probability of forest fire occurrence was used in the classification of forest fire occurrence risk regions.

KEYWORDS : *Forest Fire, GIS, Forest Fire Occurrence Probability Model*

2004년 11월 1일 접수 Recieved on November 1, 2004 / 2004년 11월 29일 심사완료 Accepted on November 29, 2004

¹ 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute

² 충북대학교 Chungbuk National University

* 연락처자 E-mail: shan508@hanmail.net

서론

산불은 일반 화재와 같이 연료, 산소, 열에 의하여 발생되지만 산불발생위험도는 임상, 연료의 종류, 연료의 배열 및 밀도와 같은 연료의 조건과 습도, 기온, 풍속과 같은 기상요인, 그리고 방위나 경사도와 같은 지형적 영향에 의하여 복합적으로 발생한다(Davis 등, 1959). 따라서 산불발생 위험도를 효과적으로 예측하기 위해서는 기상, 연료습도, 지형이 산불연소동태와 상호 어떤 관련성을 지니고 있는가에 대한 과학적 규명을 통하여 이루어 질 수 있다. 또한 산불은 지형, 기상, 임상구조 및 지표 조건 등 많은 인자들에 의해 쉽게 영향을 받아 제 인자들에 따른 산불의 연소 속도와 연소 방향 등이 복잡한 양상으로 나타나기 때문에 험준하고 복잡한 지형특성 및 다양한 임상분포 특성상 산악지형에 발생하는 산불을 지형, 기상, 임상 등 제반 산불 관련 인자들과 연계하여 유기적인 해석을 한다는 것은 쉽지 않은 일이다. 이러한 관점에서 미국, 캐나다, 호주 등의 입업선진국에서는 산불 재해에 적극 대처하기 위한 노력의 일환으로 종합적인 산불관리시스템이 개발되고 있다.

미국은 국가산불위험지수시스템(NFDRS)을 개발하고(Bradshaw 등, 1983), GIS 기술을 접목한 산불시뮬레이션 프로그램인 FARSITE(Finney, 1998) 뿐만 아니라 다양한 시스템들이 개발되어 활용되고 있으며, 캐나다는 캐나다산불 위험지수시스템(CFFDRS)을 개발하여 현재 실용화하고 있다(Hirsch, 1996). 국내에서는 GIS를 이용하여 산불을 효율적으로 관리하려는 연구가 다양하게 시도되었으며(이기철 등, 1998; 신영철 등, 2000; 조명희 등, 2001; 조명희 등, 2002; 조명희 등, 2003), 현재 과학기술부 중점연구과제로 웹기반 산불위험예보시스템(KFFDRS)을 개발(과기부, 2003)하여 실용화하고 있다. 산불위험예보시스템은 기상, 지형, 임상을 이용하여 개발되었으나, 기상이 많은 부분을 차지하고, 지형과 임상에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구는 산불위험예보시스템에 있어서 지형, 임상에 대한 알고리즘 개선을 위한 지속적인 연구로서 기존에 조건부확률모형을 이용하여 산불발생위험지역을 구분한(이시영 등, 2004) 의성군지역 대상으로 공간분석과 통계모형에 의한 산불발생확률모형을 개발하고 지수화하였다. 또한 기존에 개발된 것과 정확성을 비교 검토함으로써 산불위험예보시스템의 알고리즘 개선에 대한 기초 자료를 제시하는데 있다.

연구자료 및 방법

1. 대상지 및 GIS 관련자료 구축

본 연구에서는 기존에 조건부확률을 이용하여 산불발생위험지역을 구분한 경상북도 의성군 지역을 대상으로 하였으며, 산불발생위험지역을 구분하기 위해서 우선 산불발생과 관련 있을 것으로 판단되는 임상, 밀도, 경급, 영급, 고도, 경사, 사면향, 도로, 소로, 하천, 관청, 묘지, 주거지, 농경지, 산림지, 산불발생지점에 대한 GIS 관련 주제도를 구축하였다. 산불발생지점은 최근 10년간(1993~2002년) 아주 작은 산불일지라도 일단 불이 붙은 지역을 포함한 190건의 자료를 이용하였으며, 오차범위는 50m 이내였다. 임상자료(임상, 밀도, 경급, 영급, 산림지)는 국립산림과학원 1:25,000 임상도로부터 필요한 주제도를 추출하였다. 또한 지형자료(고도, 경사, 사면향, 도로, 소로, 하천, 관청, 묘지, 주거지, 농경지)는 국토지리정보원 1:5,000과 1:25,000 수치지형도 및 환경부 1:25,000 토지피복지도를 이용하여 구축하였다.

2. 지형 및 임상에 의한 산불발생확률모형 개발

산불발생위험지역을 구분하기 위한 알고리즘인 산불발생확률모형을 개발하기 위하여 GIS 프로그램인 ArcGIS8.3을 이용하여 공간분석과

통계 프로그램인 SAS8.12를 이용하여 로지스틱 분석을 실시하였다.

우선 공간분석은 100×100m 크기의 그리드로 하였는데 임상, 밀도, 경급, 영급, 고도, 경사, 사면향, 산불발생지점은 구축된 주제도에서 직접 100×100m 크기의 셀로 변환하였으며, 도로, 소로, 하천, 관청, 묘지, 주거지, 농경지, 산림지 등 거리에 따른 분석이 필요한 주제도는 10×10m 해상도로 변환하여 거리에 따른 재분류를 실시한 다음 100×100m 크기로 재변환하여 셀 크기를 동일하게 하였다.

산불발생위험지역을 구분하는 알고리즘을 개발하기 위한 통계모형으로 로지스틱 모형을 이용하였으며, 특정지역의 산불발생확률은 산불발생과 연관성이 있을 것으로 사료되는 지형 및 임상자료와 산불발생지점을 이용하여 산불발생 확률모형을 개발하였다. 산불발생 유무를 나타내는 산불발생지점을 더미변수로 하여 종속변수로 놓고, 산불발생과 영향이 있는 임상, 밀도, 경급, 영급, 고도, 경사, 사면향, 도로, 소로, 하천, 관청, 묘지, 주거지, 농경지, 산림지 등과 같은 요인들을 독립변수로 주었다. 이때 도로, 소로, 하천, 관청, 묘지, 주거지, 농경지, 산림지 등은 인자로부터 떨어진 거리 값을 독립변수값으로 설정하였다. 그리고 임상은 침엽수, 활엽수, 혼효림, 기타(초지, 벌채지 등), 임외로 구분하고, 사면향은 평지, 북, 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서, 북서로 구분하여 더미변수로 변환하였으며, 비교기준이 되는 독립변수로 침엽수와 평지를 지정하여 분석하였다. 로지스틱 모형(박상언, 2002)은 다음과 같다

$$P_j = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_j X_j)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_j X_j)} \quad (1)$$

P = 산불이 발생할 확률

X_j = 산불발생과 관련 있는 공간특성요인

(임상, 경급, 고도, 경사 등 15개 인자)

3. 산불발생위험지수 검정 및 산불발생위험 지역 구분

로지스틱에 의하여 개발된 산불발생확률모형을 이용하여 지점별 산불발생확률을 구한 다음 확률값을 이용하여 산불발생위험지수를 20등급으로 산출하였다. 산출된 위험지수의 적합성 검정을 위하여 과거 발생하였던 산불발생지점에 대한 위험지수를 산출하여 예측비곡선에 적용하였다. 적합성 검정이 끝난 후 산불발생위험지수를 바탕으로 산불발생위험지역을 구분하였다. 또한 로지스틱모형에 의해 개발된 산불발생위험지수를 과거 조건부확률모형(이시영 등, 2004)에 의해 개발된 산불발생위험지수와 비교 검토함으로써 보다 효율적인 산불발생위험지역 구분이 되도록 하였다.

결과 및 고찰

1. 로지스틱 모형을 이용한 산불발생확률모형 개발

산불발생에 영향을 주는 요인을 구명하기 위하여 임상, 밀도, 경급, 영급, 고도, 경사, 사면향, 도로, 소로, 하천, 관청, 묘지, 주거지, 농경지, 산림지, 산불발생지점에 대한 GIS 관련 주제도를 구축하였다. 산불발생지점은 1993~2002년에 발생한 지점으로 하였으며, 구축된 주제도를 지점별로 산불발생확률을 구하기 위하여 GIS 프로그램인 ArcGIS8.3을 이용하여 각 주제도를 1ha(100×100m) 크기의 그리드로 변환하고, 각 지점별 공간특성을 분석하였다.

분석된 자료를 통계분석하기 위하여 통계 프로그램인 SAS8.12를 이용하였다. 지점별로 각각 산불발생 유무를 종속변수로 하고, 임상, 밀도, 경급, 영급, 고도, 경사, 사면향, 도로, 소로, 하천, 관청, 묘지, 주거지, 농경지, 산림지 등과 같은 요인들을 독립변수로 하여 로지스틱 회귀모형을 적용하였다. 독립변수들 중에서 통계적

으로 유의한 변수를 선택하기 위하여 모든 변수를 모형에 포함시키고 변수를 하나씩 제거해나가는 변수감소법(backward elimination)을 사용하였으며, 유의수준은 5%로 설정하였다. 분석 결과 산불발생에 영향을 주는 인자로 농경지, 관청, 경급, 도로, 산림지, 사면향으로 나타났으며, 각 지점별 산불발생확률 추정식은 다음과 같다.

$$\text{산불발생확률} = [1 + \exp\{-(-4.8081 - (0.00702 \cdot \text{농경지}) - (0.00011 \cdot \text{관청}) - (0.2453 \cdot \text{경급}) - (0.0018 \cdot \text{도로}) - (0.0158 \cdot \text{산림지}) + (0.6608 \cdot \text{남동향}) + (0.7943 \cdot \text{남향}) + (0.507 \cdot \text{남서향})\})]^{-1} \quad (2)$$

2. 산불발생위험지수 산출 및 위험지역 구분

(1) 산불발생확률모형에 의한 산불발생확률값 산출 및 지수화

의성군지역의 지점별 공간특성자료(농경지, 관청, 경급, 도로, 산림지, 사면향)를 독립변수로 산불발생지점을 종속변수로 설정하여 로지스틱 모형에 대입하여 통계적으로 유의한 산불발생확률모형을 개발하였다. 이러한 결과를 바탕으로 지점별 산불발생확률모형에서 사후검정으로 예측된 지점별 산불발생확률을 이용하여 산불발생 위험지수를 설정하였다. 위험지수의 설정은 지점별 공간특성자료를 확률모형에 대입하여 얻어진 확률들의 총예측치를 이용하였으며, 5% 구간별 백분위수를 추정하고 해당 확률구간을 지수화하여 설정하였다. 산불발생확률값은 1이 100%를 나타내므로 구한 결과값에 100을 곱하여 표기하였으며, 지수는 산불발생확률이 높은 지역을 1로 낮은 지역을 20으로 선정하여 나타낸 결과 표 1과 같이 나타났다.

(2) 산불발생위험지수화 검정 및 위험지역 구분

산불발생위험지역을 구분하기 위한 위험지수의 적합성 검증을 위하여 과거 발생하였던 산불

TABLE 1. Danger index of forest fire occurrence

Danger Index	Probability Value(%)	Percent	Danger Index	Probability Value(%)	Percent
1	0.494046 over	5	11	0.093179-0.113900	5
2	0.393599-0.494046	5	12	0.074446-0.093179	5
3	0.330510-0.393599	5	13	0.057154-0.074446	5
4	0.284670-0.330510	5	14	0.041886-0.057154	5
5	0.248060-0.284670	5	15	0.028696-0.041886	5
6	0.215709-0.248060	5	16	0.017992-0.028696	5
7	0.187068-0.215709	5	17	0.009701-0.017992	5
8	0.160904-0.187068	5	18	0.004076-0.009701	5
9	0.136610-0.160904	5	19	0.000962-0.004076	5
10	0.113900-0.136610	5	20	Less than 0.000962	5

발생지점에 대한 위험지수를 산출하였다. 그 결과 그림 1과 같이 좌상곡선을 나타냈으며, 위험지수 4등급까지 전체 산불발생건수의 58%, 8등급까지 81%가 발생하였다. 이러한 결과로 볼 때 산불발생위험지역을 구분하기 위한 산불발생 위험지수는 적합성이 있는 것으로 판단된다.

발생위험지역을 효율적으로 관리할 수 있도록 20등급으로 되어 있는 지수를 크게 아주 높음, 높음, 보통, 낮음, 아주 낮음과 같이 5단계로 구분하여 산불발생위험지도를 작성하였다. 위험지도를 작성하기 위한 5단계 구분은 표 2와 같이 위험지수를 이용하여 분류한 결과 아주 높음이 전체 면적 중 차지하는 비율이 20%에 불과하지

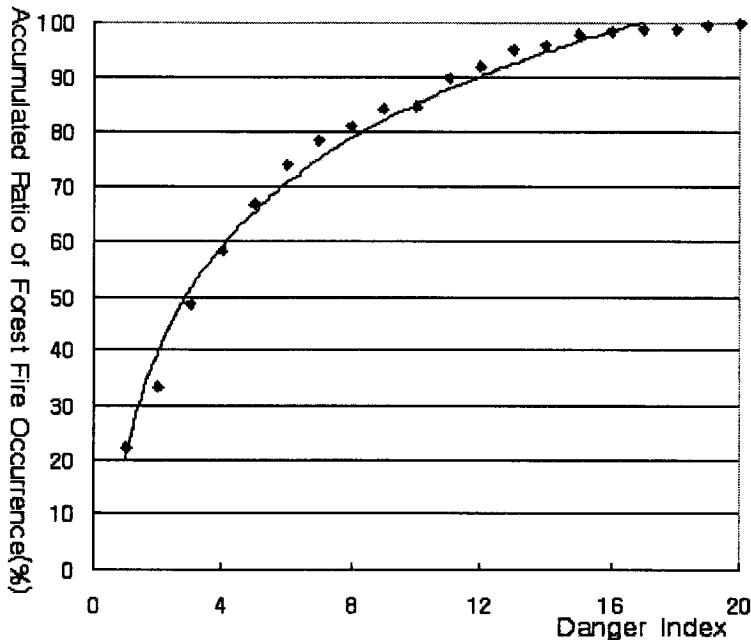


FIGURE 1. Prediction ratio curve for goodness-of-fit-test on forest fire occurrence risk regions (1993~2002yr data)

산불발생위험지수가 적합성이 있는 것으로 나타났기 때문에 이것을 이용하여 의성군지역 산불발생위험지역을 구분하였다. 사용자가 산불

만 전체 발생건수의 58% 이상 발생하므로 이 지역을 집중적으로 관리하면 산불감시측면에서 효율성이 높을 것으로 사료된다. 그림 2는 산불

TABLE 2. Classification of danger index for forest fire occurrence risk map

Classification	Extreme	High	Moderate	Low	Very Low
Danger Index	1~4	5~8	9~12	13~16	17~20
Area Percent(%)	20	20	20	20	20
Ratio occurred Forest Fire(%)	58.4	22.6	11.1	6.3	1.6

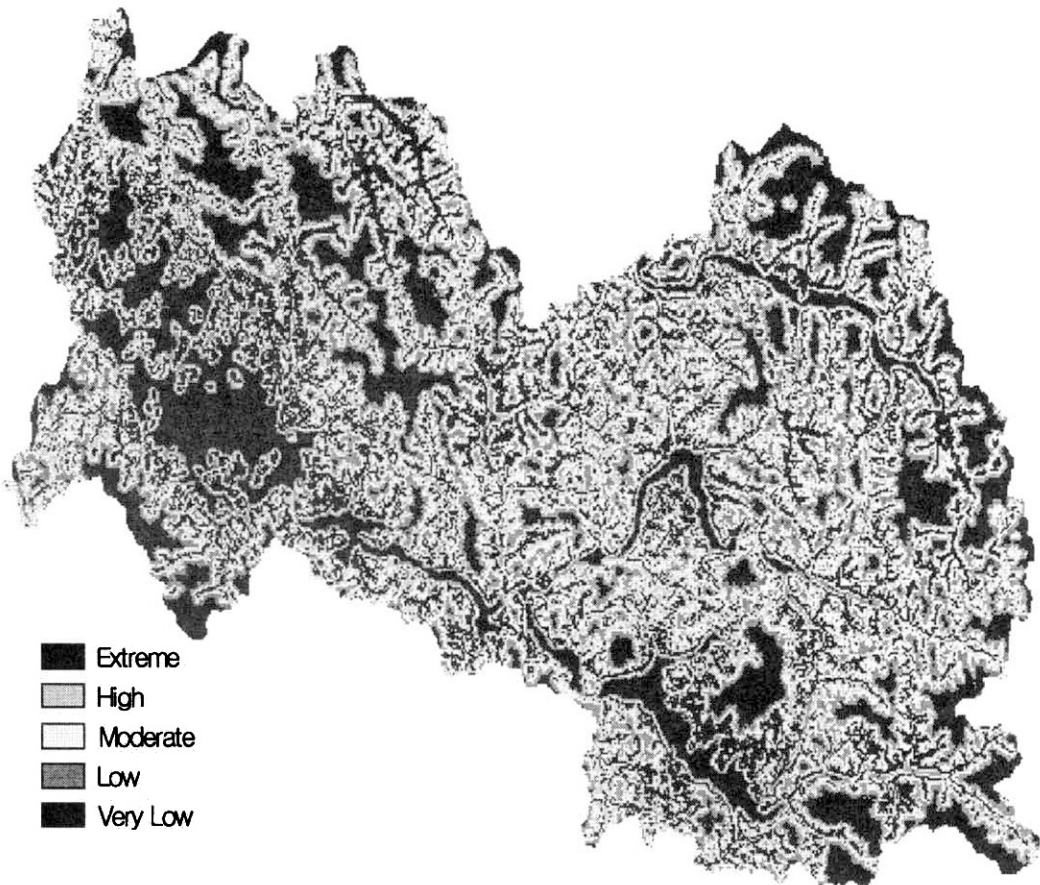


FIGURE 2. Classification of forest fire occurrence risk region using logistic model in Uiseong-gun

발생위험지역을 구분하여 위험지도를 작성한 결과이다.

3. 로지스틱모형과 조건부확률모형의 예측력 비교

지점별 공간특성자료(농경지, 관청, 경급, 도로, 산림지, 사면향)를 로지스틱 모형에 대입하여 산불발생확률모형을 개발하여, 산불발생위험지역을 구분하였다. 이러한 결과가 기존에 조건부확률모형(이시영 등, 2004)을 이용하여 산불발생위험지역을 구분한 결과와 비교하여 어느모형을 이용하는 것이 산불발생위험지역을 구분하는데 효율적인지 알아보기 위하여 예측비 곡

선을 이용하였다. 기존에 개발된 조건부확률모형은 10×10m 해상도로 분석되어 있기 때문에 지점별로 계산된 산불발생확률 값을 로지스틱 모형과 동일한 조건인 100×100m 해상도로 변환하여 위험지수를 구하였다. 두 모형간 효율성분석을 위하여 과거(1993-2002년) 산불발생지점에 대한 위험지수를 산출하여 누적된 산불발생비율로 예측비 곡선에 적용한 결과 그림 3과 같이 나타났다.

로지스틱모형에서는 4등급까지 전체 발생건수의 58%가 발생하고, 8등급까지 81%가 발생한 반면, 조건부확률모형은 4등급까지 53%, 8등급까지 79%가 발생하여 로지스틱확률모형에서 예측력이 높은 것으로 나타났다. 그러나 9등급

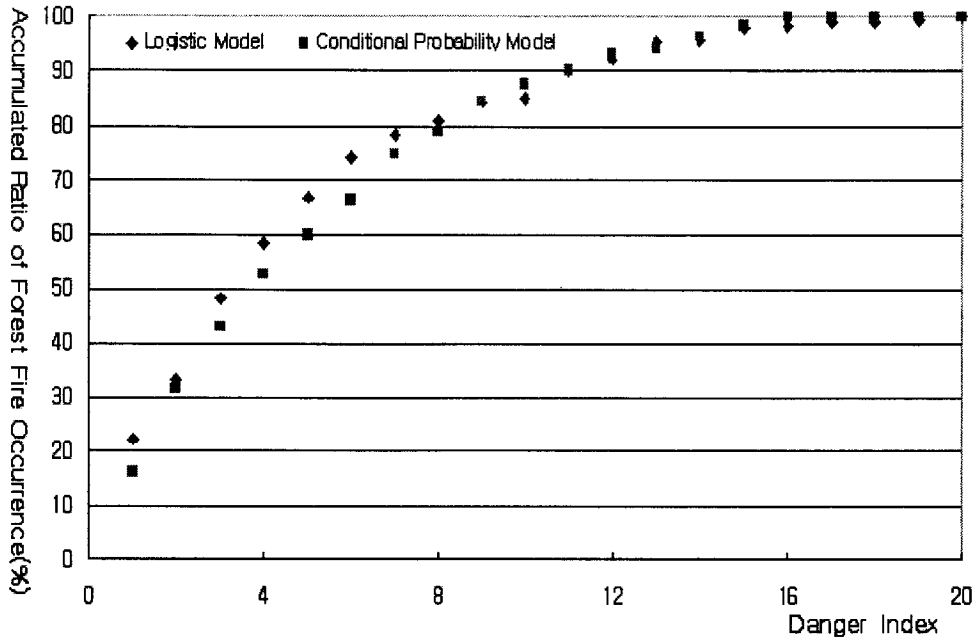


FIGURE 3. Comparison of prediction ratio curve for estimating two probability models (1993~2002yr data)

에서 두 모형이 84%로 동일한 결과 값을 나타내었으며, 10등급 이상에서도 두 모형이 비슷한 값을 나타내었다. 따라서 전반적으로 산불발생 위험이 높은 지역을 대상으로 보면 로지스틱모형이 조건부확률모형보다 예측력이 좋은 것으로 나타났다. 또한 로지스틱모형이 조건부확률모형보다 수식이 간단하기 때문에 추후 산불발생위험지역을 구분할 때 효율성이 높을 것으로 사료된다.

결 론

산불을 효율적으로 관리하기 위하여 우리나라는 GIS를 연계한 산불위험예보시스템을 개발하여 산불담당자와 일반국민에게 웹을 통하여 산불발생위험예보를 실시하고 있다. 따라서 본 연구는 산불발생위험예보의 정확성을 향상시키기 위하여 의성군지역의 1993~2002년 산불발

생자료와 공간특성자료(100×100m)를 이용하여 각 지점별 산불발생확률모형을 개발하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 산불발생에 영향을 주는 공간특성으로는 농경지, 관청, 경급, 도로, 산림지, 사면향으로 나타났으며, 이것을 이용하여 각 지점별 산불발생확률을 계산하는 산불발생확률모형을 개발하였다. 각 지점별 산불발생확률 추정식은 다음과 같다.

$$\text{산불발생확률} = [1 + \exp\{-(-4.8081 - (0.00702 \cdot \text{농경지}) - (0.00011 \cdot \text{관청}) - (0.2453 \cdot \text{경급}) - (0.0018 \cdot \text{도로}) - (0.0158 \cdot \text{산림지}) + (0.6608 \cdot \text{남동사면}) + (0.7943 \cdot \text{남사면}) + (0.507 \cdot \text{남서사면})\})]^{-1}$$

둘째, 지점별 산불발생확률모형에서 사후검정으로 예측된 지점별 산불발생확률을 이용하여 산불발생위험지수를 20등급으로 설정하였다, 또한 위험지수의 적합성 검정을 위하여 과거 발생

하였던 산불발생지점에 대한 위험지수를 산출하여 예측비곡선에 적용하였다니 좌상곡선을 나타냈으며, 위험지수 4등급까지 전체 산불발생건수의 58%, 8등급까지 81%가 발생하여 신뢰성이 있는 것으로 나타났다.

셋째, 새로 개발된 로지스틱모형이 기존에 조건부확률모형과 비교하여 산불발생위험지역을 구분하는데 효율적인지 알아보기 위하여 예측비곡선을 이용하였다니 전반적으로 산불발생위험이 높은 지역을 대상으로 보면 로지스틱모형이 조건부확률모형보다 예측력이 좋은 것으로 나타났다.

따라서, 로지스틱확률모형을 이용한 산불발생위험지역의 구분은 현재 실용화하고 있는 산불위험예보시스템의 알고리즘 개선과 산불위험지역관리방안에 대한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다. **KAGIS**

참고문헌

- 과기부. 2003. 산불위험지수예보시스템개발(산불예측 및 감시기술 개발, 29-114쪽). 과학기술부 연구보고서. 368쪽.
- 박상언. 2002. 로지스틱 회귀분석방법(판별분석, 로지스틱 회귀모형, 59-77쪽). 민영사, 서울.
- 신영철, 안상현. 2000. 지리정보시스템을 이용한 산불방재방안: 청주시 우암산 지역을 중심으로. 한국지리정보학회지 3(1):23~34.
- 이기철, 김승환, 남정철, 박승범, 강영조, 옥진아. 1998. GIS를 이용한 산불진화용 저수탱크 적지분석에 관한 연구. 한국지리정보학회지 1(2):1-13.
- 이시영. 1995. 산불발생 위험도 및 연소확대요인 분석에 관한 연구. 동국대학교 박사학위논문. 104쪽
- 이시영, 강용석, 안상현, 오정수. 2002. GIS를 이용한 산불피해지역 특성분석. 한국지리정보학회지 5(1):20~26.
- 이시영, 안상현, 원명수, 이명보, 임태규, 신영철. 2004. GIS를 이용한 산불발생위험지역 구분. 한국지리정보학회지 7(2):37-46.
- 조명희, 김준범, 김현식, 조운원. 2002. 웹 지리정보시스템 기술을 이용한 산불 현황정보 관리시스템 개발. 한국지리정보학회지 5(4):93~105.
- 조명희, 김준범, 조운원, 신동호. 2003. GPS와 GIS를 통합한 산불진화헬기 관리시스템 구축. 한국지리정보학회지 6(1):48~58.
- 조명희, 오정수, 이시영, 조운원, 백승렬. 2001. GIS를 이용한 산불정보관리시스템 개발. 한국지리정보학회지 4(3):51~50.
- Andrews, P.L. and L.P. Queen. 2001. Fire modeling and information system technology, International Journal of Wildland Fire 10:343-352.
- Bradshaw, L.S and J.E. Deeming, R.E. Burgan and J.D. Cohen. 1983. The 1978 national fire-danger rating system : Technical Documentation. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-169. 44pp.
- Davis, K.P. and A.A. Brown. 1959. Fire in the Forests. In: FOREST FIRE Control and Use Second Edition. McGraw-Hill. pp.3-259.
- Finney, M.A. 1998. FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation, Res. Pap. RMRS-RP-4, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47pp.
- Hirsch, K.G. 1996. Canadian Forest Fire Behavior Prediction(FBP) System: user's guide. Canadian Forest Service. 121pp. **KAGIS**