

GIS 공간분석기술을 이용한 산불취약지역 분석

한종규 · 연영광 · 지광훈

【한국지질자원연구원 국가지질자원정보센터】

요 약

이 연구에서는 강원도 삼척시를 대상으로 산불취약지역 분석모델을 개발하고, 개발된 분석모델을 기반으로 산불취약지역을 표출하였으며, 이를 위한 전산프로그램을 개발하였다. 산불취약지역 공간분석자료로는 NGIS 사업을 통해 구축된 1/25천 축척의 수치지형도, 수치임상도 그리고 과거 산불발화위치자료를 사용하였다. 산불발화위치에 대한 공간적 분포특성(지형, 임상, 접근성)을 기반으로 모델을 설정하였으며, 공간분석은 간단하면서도 일반인들이 이해하기 쉬운 Conditional probability, Likelihood ratio 방법을 사용하였다. 그리고 각각의 모델에 대한 검증(cross validation)을 실시하였다. 모델 검증방법으로는 과거 산불발화위치자료를 발생시기에 따라 두 개의 그룹으로 나누어 하나는 예측을 위한 자료로 사용하고, 다른 하나는 검증을 위한 자료로 사용하였다. 모델별 예측성능은 prediction rate curve를 비교·분석하여 판단하였다. 삼척시를 대상으로 한 예측성능에서 Likelihood ratio 모델이 Conditional probability 모델보다 더 낫은 결과를 보였다.

산불취약지역 분석기술로 작성된 상세 산불취약지역지도와 현재 산림청에서 예보하고 있는 전국단위의 산불발생위험지수와 함께 상호보완적으로 사용한다면 산불취약지역에 대한 산불감시인력 및 감시시설의 효율적인 배치를 통하여 일선 시군 또는 읍면 산불예방업무의 효율성이 한층 더 증대될 것으로 기대된다.

1. 서론

산불관리업무에 있어 무엇보다 중요한 일은 산불이 발생하지 않도록 예방하는 것이다. 이를 위해서는 산불이 발생하기 쉬운 지역을 공간적으로 미리 예측하여 적절한 위치에 산불 감시시설 설치와 인력을 배치하여 산불이 발생하지 않도록 감시체계를 강화하는 일이다. 이를 위해서는 산불과 관련된 지형도, 임상도, 위성영상, 산불발생현황 통계정보 그리고 진화장비/인력정보 등에 대한 체계적인 DB화가 필요하다[3, 4]. 그리고 이들 정보들을 이용하여 산불발생에 취약한 지역을 분석하여 일선 시군의 산불관리 실무에 적용하여 산불감시시설 및 인력배치를 효과적으로 지원할 수 있는 GIS기반의 시스템 개발이 필요하다[3, 4].

현재 산림청에서는 주로 기상정보를 이용하여 전국단위의 광역적인 산불발생위험지수를 산출하여 예보하고 있다.

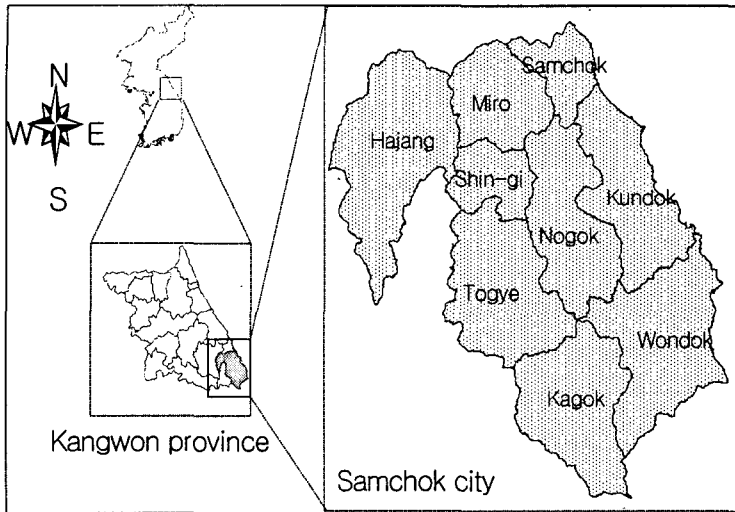


Fig. 1 The location of study area, Samchok city of Youngdong region in Kangwon province

그리고 강원도 강릉 기상청에서는 AWS (Automatic Weather Station)에서 수집되는 기상정보를 이용하여 산불발생위험지수를 홈페이지를 통해 예보하고 있다. 하지만, 현재 AWS장비는 도심지에 설치 되어있고, 그 수가 적어 지역별 상세 기상자료를 획득하는데 한계성을 지니고 있다. 따라서 시군 관할지역내의 어느 곳이 산불발생에 취약한 지역인지 알기 어렵다. 그리고 기온, 상대습도 등 기상요인이 산불발생 및 확산을 영향하도록 여건을 조성하는 역할을 할 지라도 우리나라의 산불은 자연적인 발생은 거의 없으며, 사람에 의한 인위적 발생이 대부분을 차지하고 있다[1, 2]. 즉 산불은 사람의 실수나 방화에 의해 발생하기 때문에 사람에 산불이 발생하기 쉬운 지역에 공간적 분석이 필요하다.

이 연구에서는 강원도 삼척시를 대상으로 과거 산불발화위치, 지형, 임상 그리고 사람의 접근성 등에 대한 공간분석자료를 기반으로 산불취약지역 분석모델을 개발하고, 개발된 모델에 대한 검증을 수행하여 적합 모델을 선정하고, 선정된 모델을 기반으로 산불취약지역을 표출하고, 이를 위한 전산프로그램을 개발한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구지역

강원도 영동지방에 위치하고 있는 삼척시는 산맥의 급경사면이 바다와 접해 있어 평야지역은 거의 없는 산악지역으로 이루어져 있다. 삼척시는 지형특성상 산세가 험하고, 산림이 울창하여 한번 산불이 나면 대형산불로 이어질 가능성이 가장 높은

지역이다. 2000년 4월에는 미로면, 근덕면, 원덕면에서 대형산불이 발생했던 경험이었다.

2.2 산불관련 지리정보구축

산불관련 지리정보구축은 Arc/Ino, ArcView, 그리고 PCI 소프트웨어를 이용하여 구축하였다. 이 연구에서는 공간분석 수행 시 격자형 공간자료를 입력받아 처리하기 때문에 벡터포맷의 자료를 격자형 포맷으로 변환하였다. 그리고 상세 산불취약지역을 분석하기 위해 공간분석에 사용된 모든 자료는 10m/pixel 해상도로 제작하였다. 산불발화위치의 공간적 분포 특성을 분석하기 위해 1:25000축척의 지형도와 임상도를 이용하였다. 지형도의 등고선으로부터 DEM, 경사도, 경사방향도를 제작하였다. 그리고 사람의 접근성 분석을 위하여 도로망으로부터 일반국도, 면리도로, 소로를 각각 추출하여 25m, 50m, 75m, 100m 간격으로 버퍼링을 수행하고, 격자형 포맷으로 변환하였다. Landsat 위성영상을 이용하여 농경지와 거주지를 추출하고, 경계선에 대해 25m, 50m, 75m, 100m 간격으로 버퍼링을 수행하고, 격자형 포맷으로 변환하였다. 임상도에서는 임상, 경급, 영급, 밀도로 나누어 각각을 격자형 포맷으로 만들었다. 산불발생현황자료는 삼척시에서 보관하고 있는 1990년도부터 2001년도까지의 자료를 이용하였다.

2.3 산불취약지역 공간분석모델

Fig. 2는 산불관련 공간정보를 이용하여 산불취약지역을 분석하기 위한 자료처리 흐름도이다. Fig. 3은 1990년-2001년도 사이에 삼척시에서 발생한 산불발화 위치도이다. 산불발생위치는 모두 34개이며, 공간분석을 위하여 주제도로부터 산불발화위치의 주변지역에 대한 공간정보를 추출하는데 사용한다. 첫 번째 단계에서는 공간분석을 위해 모든 주제도를 사용하는 것이 아니라 Odds ratio를 이용하여 산불과 관련성이 있는 주제도를 선정하여 사용한다. 두 번째 단계에서는 1990년-1996년도 사이의 산불발화 위치자료를 이용해 likelihood ratio와 joint conditional probability 모델을 사용하여 산불취약지역을 분석한다. 세 번째 단계에서는 두 번째 단계의 분석결과를 1997년-2001년도 사이의 산불발화 위치자료를 이용해 모델별 예측성능을 검증하는데 모델검증은 prediction rate curve를 이용하고, 마지막 단계에서는 예측력이 높은 모델에 대해 1990년-2001년도 전체 산불발생자료를 사용하여 삼척시에 대한 1:25000축척의 산불발생 취약지역 지도를 작성한다

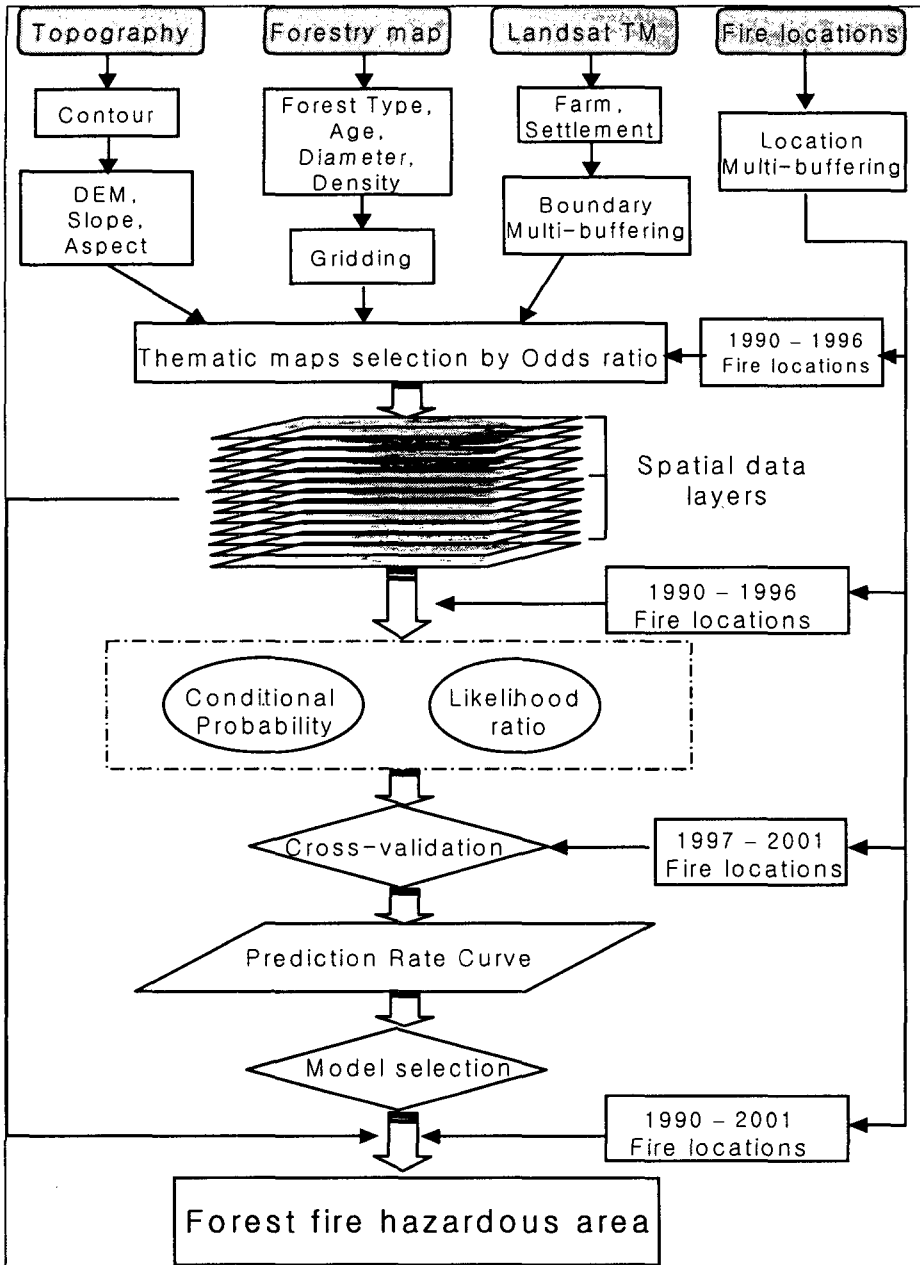


Fig. 2 Flowchart for forest fire hazardous area analysis

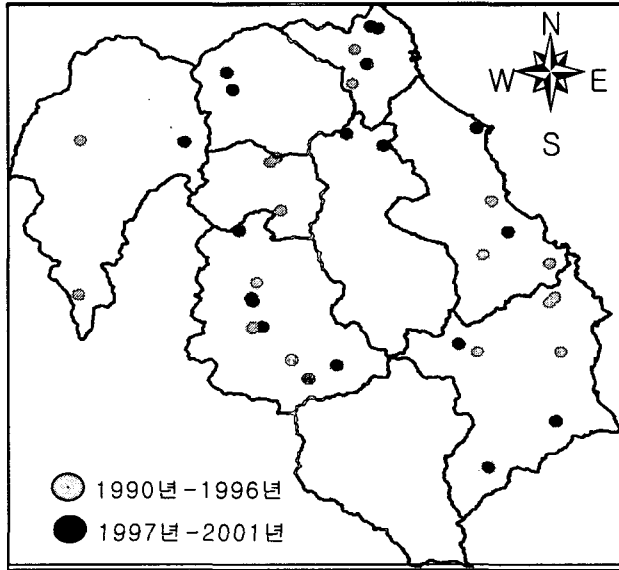


Fig. 3 Locations of forest fire ignition in Samchuk city

1) Likelihood ratio

Likelihood ratio란 어떤 사건이 한 속성에서 일어날 확률과 일어나지 않을 확률의 비를 의미다. 다음과 같은 방법으로 계산된다. Fig. 4에서 S는 여러 산불관련 주제도 중의 하나의 주제도이고, A는 주제도 S에 속한 하나의 속성, B는 산불발생 지역, E는 속성 A에서 산불이 발생한 지역으로 A와 B의 공통된 지역이다. 그러면 속성 A의 likelihood ratio, LRA는 Eq. 1과 같다.

$$\begin{aligned}
 E_n &= N(A \cap B), \\
 PA &= \frac{E_n}{A_n}, \\
 \text{notPA} &= \frac{A_n - E_n}{S_n - A_n}, \\
 \text{LRA} &= PA / \text{notPA} \quad (\text{Eq. 1})
 \end{aligned}$$

S_n : S의 pixel 개수, A_n : A의 pixel 개수,
 B_n : B의 pixel 개수, E_n : E의 pixel 개수,
 PA : 속성 A에서 산불이 일어날 확률,
 notPA : 속성 A에서 산불이 일어나지 않을 확률.

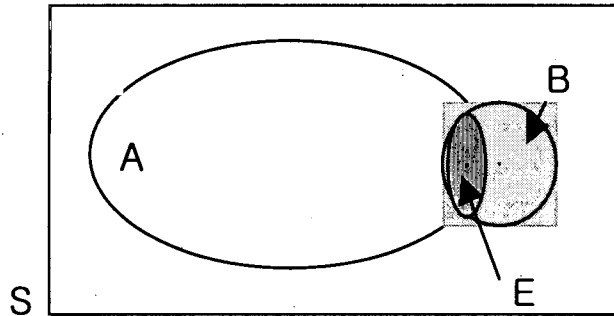


Fig.4 Diagram for likelihood ratio

2) Conditional probability

만약 미래의 산불발화는 과거에 산불이 발화했던 위치의 공간적 특성을 지니고 있는 장소에서 일어난다고 가정한다면 주제도 안에 있는 한 속성에서의 산불발생 확률은 다음과 나타낼 수 있다.

$$\text{Cond}P(B \setminus A) = \frac{P(B \setminus A) \cdot P(A)}{P(B)}$$

즉, 속성 A라는 조건에서 산불이 발생할 확률을 의미한다. Fig. 4를 인용하여 설명하면 Conditional probability, $P(b \setminus A)$ 는 Eq. 2와 같다.

$$\text{Cond}P_{(b|a)} = \frac{(E_n / B_n) \cdot (B_n / S_n)}{A_n / S_n} \quad (\text{Eq. 2})$$

S_n : S의 pixel 개수, A_n : A의 pixel 개수,
 B_n : B의 pixel 개수, E_n : E의 pixel 개수.

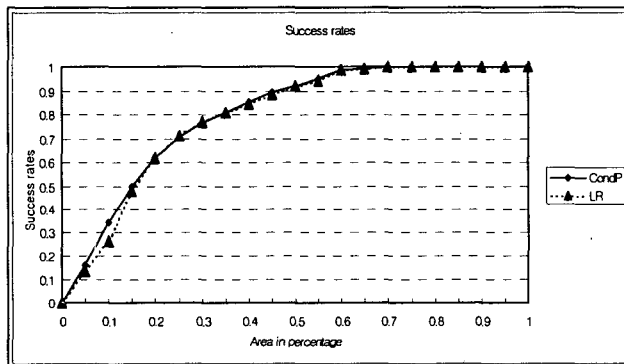
3. 결과 및 고찰

3.1 산불관련 주제도 선정

Table 1. Odds Ratio(OR) values for each thematic map.

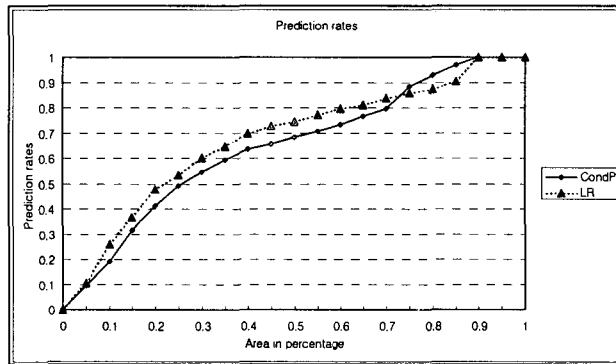
종류(임상)	Odds ratio	종류(경급)	Odds ratio	종류(영급)	Odds ratio	종류(밀도)	Odds ratio
unmapped	0.985896	unmapped	1.744057	unmapped	1.640834	unmapped	1.337989
소나무림	1.423839	치수	1.002537	1영급	1.042275	소	0.835092
소나무인공림	0.401040	소경림	0.979706	2영급	1.043362	중	1.033824
잣나무인공림	0.435784	중경림	0.527177	3영급	0.851161	대	0.67299
낙엽송인공림	0.749608	대경림	0	4영급	0.582613		
활엽수인공림	0.673126			5영급	0.298454	종류(일반도로)	Odds ratio
활엽수혼효림	0.095197			6영급	0	unmapped	0.000000
침활혼효림	0.763877					0-25	2.245884
경작지	2.313329			종류(경사도)	Odds ratio	25-50	2.24565
제지	1.303023			unmapped	0.000000	50-75	2.273946
				0-10	1.670724	75-100	2.201305
				10-20	1.357591	100이상	0.954898
종류(고도(m))	Odds ratio	종류(고도(m))	Odds ratio	20-30	1.003061	Buffering 간격(25m)	
unmapped	0.000000	260-270	0.717104	30-40	0.802808		
0-10	0.742376	270-280	0.670927	40-50	0.695951	종류(면리도로)	Odds ratio
10-20	3.024761	280-290	0.690206	50-60	0.595988	unmapped	0.000000
20-30	2.411216	290-300	0.843345	60-70	0.620476	0-25	1.633339
30-40	2.044984	300-310	0.979336	70-80	0.951402	25-50	1.542946
40-50	1.349084	310-320	0.950962	80-90	0.179165	50-75	1.47077
50-60	1.344873	320-330	0.937262			75-100	1.446353
60-70	1.569913	330-340	0.826398			100-125	0.913453
70-80	1.553857	340-350	0.643025	종류(경사방향도)	Odds ratio		
80-90	1.558222	350-360	0.494522	unmapped	0.000000	Buffering 간격(25m)	
90-100	1.65992	360-370	0.372812	N	1.045647		
100-110	1.923188	370-380	0.675798	NE	0.95713	종류(소로)	Odds ratio
110-120	1.535583	380-390	0.532327	E	1.040206	unmapped	0
120-130	1.510629	390-400	0.492759	SE	1.045178	0-25	1.235708
130-140	1.561351	400-410	0.452714	S	1.104578	25-50	1.231526
140-150	1.380397	410-420	0.427379	SW	1.102211	50-75	1.214097
150-160	1.594094	420-430	0.370757	W	0.906275	75-100	1.184651
160-170	1.553565	430-440	0.378196	NW	0.778495	100-125	0.931389
170-180	1.334343	440-450	0.373226			Buffering 간격(25m)	
180-190	1.096703	450-460	0.351112	종류(농경지)	Odds ratio	종류(주거지)	Odds ratio
190-200	0.933648	460-470	0.332569	unmapped	0	unmapped	0
200-210	0.868988	470-480	0.335	0-25	1.720118	0-25	2.132002
210-220	0.832352	480-490	0.274492	25-50	1.710619	25-50	2.004137
220-230	0.707284	490-500	0.171402	50-75	1.733234	50-75	1.876591
230-240	0.593108	500-510	0.104574	75-100	1.761715	75-100	1.786527
240-250	0.615682	510-520	0.029167	100-125	0.842874	100-125	0.936382
250-260	0.661296					Buffering 간격(25m)	

Odds ratio란 어떤 사건이 한 속성에서 일어날 확률과 일어나지 않을 확률의 비를 말한다. Odds ratio의 특성은 값이 1보다 크면 그 속성에서 사건이 일어날 가능성이 높은 것을 의미하며, 1보다 작을 경우에는 그 속성에서 사건이 일어날 가능성이 낮은 것을 의미한다(Bonham-Carter, 1994). Table 1.은 1990년-1996년도 사이의 산불발화 위치에서 추출한 각 주제도의 속성에 대한 Odds ratio 값으로 산불발화와 관련 주제도와의 관계성을 분석한 자료이다. 여기서 'unmapped'는 전체 연구지역 안에 해당자료가 없는 것을 의미한다. 먼저 산불발화위치와 임상과의 관계를 살펴보면 산불은 소나무림, 경작지 그리고 제지에서 발생할 가능성이 높은 것으로 나타났다. 경급, 영급, 밀도에서는 값이 1이거나 낮은 것으로 보아 산불과의 관계는 크지 않은 것으로 나타났다. DEM 자료에서 주로 고도 10m - 180m 사이에서 주로 산불이 발생한다는 것을 알 수 있다. 즉 고도는 사람의 접근과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 고도가 높을수록 사람의 접근이 어려워 산불이 발생할 가능성이 적다는 것을 나타낸다.



산불과 경사도와의 관계를 보면 산불은 주로 경사가 낮은 지역에서 발생한다는 것을 알 수 있었으며, 이러한 사실 역시 산불발생은 사람의 접근성과 관계가 있다는 것을 알 수 있다. 경사방향도와의 관계를 살펴보면 거의 1에 가까운 값으로 나타나 큰 관련성이 없는 것으로 보였지만, 남쪽과 남서방향에서의 값이 다른 경사방향보다 높은 것으로 나타났다. 이런 결과는 남쪽과 남서방향은 다른 경사방향보다 수광량이 많고, 고온이며 상대습도가 낮아 산불발생이 다른 방향보다는 높은 것을 알 수가 있다. 도로, 농경지, 주거지는 사람의 접근성과 아주 밀접한 관계를 가지고 있다. 도로는 일반도로(국도, 지방도), 면/리도로(마을길) 그리고 소로(산길과 같은 좁은 길)로 나누어 각각 산불과의 관계성을 분석하였다. 공간분석을 위해 버퍼링 간격은 25m씩 5단계로 하였다. Odds ratio 값을 보면 일반도로, 면/리 도로, 소로, 농경지, 주거지 모두 100m이내에서 산불발생과 관계가 있음을 알 수 있었다. 따라서, 이 연구에서는 산불취약지역 분석에 사용할 주제도를 임상, DEM, 경사도, 일반도로, 면/리도로, 소로, 농경지, 주거지로 선정하였다.

3.2. 산불취약지역 분석 및 지도작성



Graph 1. Success and prediction rate curve

$$FHR(p)_{LR} = LR(V_1(p)) \times \Lambda \times LR(V_m(P)), m = 1, \Lambda, 8$$

Odds ratio에 의해 선정된 8개의 산불관련 주제도를 이용하여 모델별 산불취약도(FHR: Forest Fire Hazardous Rate)를 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$FHR(p)_{ConP} = ConP(V_1(p)) \times \Lambda \times ConP(V_m(p)), m = 1, \Lambda, 8$$

$V_m(p)$: 주제도 m에서의 한 점(P:pixel) 위치에서의 값

LR: Likelihood ratio,

ConP: Conditional probability,

위와 같은 방법으로 각 공간분석모델에 따라 산불취약도를 계산하여 산불취약지역 지도를 작성하고, 모델검증을 위해 Chung and Fabbri(1999)와 Lu and Ping(1999)가 주로 공간분석자료의 모델검증에 사용하였던 Prediction rate curve를 이용하였다[6, 7, 8]. Prediction rate curve는 좋은 결과일수록 곡선의 기울기는 가파르고 곡선의 모양이 좌상으로 치우친 모양을 한다. Graph 1의 success rates는 1990년-1996년도 사이의 산불발화 위치자료를 이용하여 계산된 산불취약도이고, prediction rates는 1997년-2001년 자료를 사용하여 cross validation 한 결과이다. 이들 값을 그래프로 그려보면 Plate 1과 같다. Prediction rates curve에 나타난 것처럼 likelihood ratio 모델이 conditional probability 모델보다 더 나은 성능을 보이고 있는 것을 알 수 있었다. Fig. 5는 예측성능이 좋은 likelihood ratio 모델로 1990년-2001년도 사이의 전체 산불발화 위치자료를 사용하여 만든 삼척시의 산불취약지역 지도이다. 산불취약지역지도는 취약도가 높은 순으로 상위 0-5%를 red color로 지정하고, 다음 5%씩 낮은 순으로 분류하여 위험도가 가장 낮은 것은 blue color로 지정하였다

산불취약지역 분석시스템은 Visual C++6.0, MapObject 2.0을 사용하여 MS Windows 환경에서 개발되었으며, 산불위험정보관리시스템의 서브시스템으로 개발되었다(Fig. 6). 산불취약지역 분석시스템은 산불위험정보관리시스템에서 운영되는 산불통계 및 산불관련 지리정보를 함께 사용할 수 있도록 하였다. 즉, 사용자 하역금 필요한 산불관련 주제도 레이어를 분석에 포함시키거나 제외할 수 있도록 하였으며, 산불진화시설 및 감시인력의 위치 등을 표시할 수 있게 하여 산불취약지역에 대한 감시시설의 배치가 적절하게 이루어졌는지에 대한 판단이 가능하도록 하였다. 이 연구에서 개발한 산불취약지역 분석시스템의 결과로 작성되는 산불취약지역 지도는 1:25000축척으로 작성되기 때문에 시군 또는 읍면 행정관서에서도 산불감시 시설 설치를 위한 위치선정에 사용할 수 있다. 그리고 현재 예보되고 있는 산불위험 지수와 함께 사용하면 시기별(일별, 요일별, 월별) 감시인력의 수 조절과 지역별 안배를 통한 효율적이고 경제적인 산불예방업무를 수행할 수 있을 것으로 기대된다. 그리고, 앞으로 산림지역에 대한 기상자료획득 시스템이 확보된다면 기상정보를 이용하여 시간별, 일자별, 월별 시군 또는 읍면 단위의 상세 산불위험예보를 가능하게 할 수 있을 뿐 만 아니라 취약지역을 예측할 수 있는 통합시스템 개발이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 신영철, 안상현, 2000, 지리정보시스템(GIS)을 이용한 산불방재방안-청주시 우암산 지역을 중심으로-, 한국지리정보학회지, 제3권 1호, pp. 23-34.
- 이시영, 조명희 등, 2002, 산불위험지수 예보시스템 개발, 대형산불방지 및 생태계 복원기술 심포지엄, pp 3- 27.
- 지광훈, 한종규 연영광 등, GIS를 이용한 산불위험정보관리시스템 개발, 2002, 대형산불방지 및 생태계 복원기술 심포지엄, pp 54-71.
- 강원도청, 지리정보시스템(GIS)를 활용한 산불분석시스템(산불담당교육교재).
- Bonham-Carter, G.F, 1994, Geographic Information System for Geoscientists: modeliing with GIS, Pergamon.
- Chung, Chang-Jo F, Adrea G. Fabbri, 1999, Probabilistic Prediction Models for Landslide Hazard Mapping, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 65(12):pp. 1389-1399.
- Fabbri, A.G., and C.F. Chung, 1996. Predictive spatial data analysis in geosciences, Spatial Analytical Perspective on GIS in the Environmental and Socio-Economic Sciences (M. Fisher, H.J. Scholten, and D. Unwin, editors), GISDATA Series No.3, Taylor & Francis, London. pp. 147-159.
- Lu, Phillip Feng and Ping An, 1999, A Metric for Spatial Data Layers in Favorability Mapping for Geological Events, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 37(3):1194-1198.