

지리정보시스템(GIS)을 이용한 산불방재방안*

- 청주시 우암산 지역을 중심으로 -

신영철¹ · 안상현²

A Forest Fire Prevention Mechanism using Geographic Information System*

- The case of Mt. Uam in Cheongju -

Young-Chul Shin¹ · Sang-Hyun An²

요 약

전국토의 70%가 산림지역인 우리 나라의 경우 1990년대 들어와서 산불발생건수가 지속적으로 증가하고 있으며, 규모가 대형화되고 있다. 이에 산불의 문제를 심각하게 인식하여 산림청과 지방자치단체를 중심으로 많은 인력과 경비를 들여 산불의 예방과 진화 및 산불지역의 복구에 노력하고 있다. 본 연구에서는 산불발생시 자연진화에 의존하거나 과거의 경험적 방식보다 과학적이고 체계적인 산불방재에 관해 기술한다. 기상과 지형요인을 통한 산불발생과 관련된 예측모델을 만들었고, 산불관리를 효율적으로 하기 위한 시설물 적지선정 및 산불과 관련있는 자료를 시스템으로 구축하여 보다 효율적인 산불관리가 되도록 하였다.

주요어: 산불, 예측모델, 우암산, 지리정보

ABSTRACT

The forest fire covered with forest gets increasing year after year in Korea. Furthermore the scale becomes larger. A forest fire problem is extremely serious. In this situation this study discussed a forest fire prevention with scientific and systematic method. Various information was created using GIS for Mt. Uam, which is located in Uam, Cheongju city. The predictive model to enhance effective forest fire management was developed.

KEYWORDS: Forest Fire, Predictive Model, Mt. Uam, GIS

2000년 3월 31일 접수 Received on March 31, 2000

* 본 연구는 1997년도 충북대학교 첨단원예연구개발센터의 지원으로 수행되었음.

1 충북대학교 원예학과 (ycshin@trut.chungbuk.ac.kr) Dept. of Horticulture, Chungbuk National University

2 충북대학교 대학원 원예학과 (shan508@hanmail.net) Dept. of Horticulture, Chungbuk National University

서 론

산림은 임산물의 공급원이자 안식처로서 자손만대에 물려주는 소중한 민족자산이며, 산업사회의 공해문제와 삶의 질을 추구하고려는 경향이 커질수록 산림환경 편익에 대한 요구도 증가하고 있다. 특히 도심에 산재되어 있는 다수의 휴양림은 생태계의 보전적 측면, 도시민을 위한 레크레이션 기능과 자연학습과 같은 교육적 측면, 그리고 등산 및 보건 위생적 측면에서 매우 큰 효용을 가지는 귀중한 자원으로 인식되고 있다(이현신, 1995; 정삼현, 1999).

산불은 한번 발생하면 경제적, 인명적, 환경적으로 엄청난 피해를 가져온다. 전국도의 70%가 산림지역인 우리나라의 경우 1990년대 들어와서 산불발생건수가 지속적으로 증가하고 있으며, 규모가 대형화되고 있다(류장혁과 이광원, 1996). 그 대표적인 사례로 1996년 4월 23일 강원도 고성에서 발생한 것이 가장 큰 산불로 3,762ha를 연소시켰다. 이에 산불의 문제를 심각하게 인식하여 산림청과 지방자치단체를 중심으로 많은 인력과 경비를 들여 산불의 예방과 진화 및 산불지역의 복구에 노력하고 있다. 산불은 초기에 발견하여 진화를 하지 못할 경우 대형화된 산불진화를 위한 많은 인력과 시간 및 경비가 필요할 뿐만 아니라 진화도중 인명피해 위험과 함께 자연 생태계에도 막대한 피해를 가져온다. 따라서 산불을 초기에 발견하여 단시간 내에 진화하는 것은 매우 중요한 문제이다. 우리나라에서는 소규모 산불이 수시로 발생하고 있지만 이에 대한 기록을 하지 않는 것이 관행처럼 여겨지고 있어 실제 산불은 보고되는 것보다 훨씬 많이 발생하고 있다.

산불 발생 시 자연진화에 의존하거나 과거의 경험적인 방법으로 진화하는 방식은 한계에 봉착하였으며, 과학적이고 체계적인 산불방재 연구가 요구되는 시점이다. 정보 시스템을 이용한 과학적인 방재 방식에는 지리정보 시스템(GIS)이 유용한 도구로 인정되고 있으

며, 실제로 이에 관한 연구가 선진국에서 활발히 진행되고 있다(Wybo, 1998; Kustanta, 1999)

본 연구에서는 충북에서 발생하였던 산불 발생현황을 파악하고, 일일기상자료와 일일 산불발생자료를 기반으로 통계분석을 통하여 산불발생예측을 하였으며(홍성길, 1987; 최관과 한상열, 1996), 산불과 관련이 있는 지형인자에 대한 자료를 GIS 데이터베이스로 구축하여 산불발생예측을 하였다(이시영, 1995; 김윤정, 1996). 또한 기존에 존재하는 산불감시초소 및 방재시설에 대한 조사 및 자료 구축을 통하여 현지 위치하고 있는 시설들의 적합성 여부를 분석하고, 시설이 필요하다고 생각되어지는 위치에 대한 적지분석을 하였다(이기철 등, 1998). 마지막으로 보다 효율적인 산불관리를 위해 기존에 산불과 관련된 자료와 연구를 통해 얻은 결과를 하나의 시스템으로 관리할 수 있게 하였다.

기상자료를 이용한 산불예측모델

본 연구는 충청북도 청주시·청원군에서 산불이 발생했던 6년(1993~1998년)간의 자료를 이용하여 기상요인이 산불발생에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하여 산불발생에 대한 예측을 실시하였다. 청주시와 청원군을 같은 연구범위에 넣은 것은 청주기상대에서 관측된 기상에 의해 영향을 같이 받고, 기상요소가 유사하다면 산불발생도 동일할 것이라는 가정에 실시하게 된 것이다.

표 1은 조사기간 중 청주시·청원군에서 발생한 산불발생건수와 피해면적, 월별발생현황을 나타낸 것이다. 전체 산불발생건수에서 2월에서 4월에 발생한 것이 전체 발생건수의 90%를 차지하고 있다. 산불발생예측에 이용한 기상자료는 2월에서 4월까지의 기상자료만을 가지고 이용하였는데 이는 다른 기간에 발생한 산불이 매우 적고, 모델의 유효성을 높이기 위해 조사에서 제외하였다.

기상요인에 의한 산불발생예측에 이용한 기상요인으로는 산불과 관련이 있다고 생각되어지는 습도, 강우량, 강우후 경과일, 풍속, 기온, 일조시간 등이 이용되었다.

TABLE 1. The fire occurrence in Cheongwongun per month(1993~1998)

	합계	1월	2월	3월	4월	5월	6월	11월
발생건수	38	1	8	8	18	1	1	1
비율(%)	100	2.6	21.1	21.1	47.4	2.6	2.6	2.6

우리가 건조 상태를 느끼는 것은 상대습도에 의해서 느끼게 되는데, 상대습도는 현재 공기 중에 섞여 있는 수증기압의 분압인 수증기압과 현재 기온에 대한 포화수증기압과의 백분율을 말한다. 물질의 함수량과 연소의 관계는 공기에 포함되어 있는 수분의 정도를 나타내는 상대습도를 통하여 파악될 수 있는데, 여기에서는 그림 1과 같이 산불이 14시를 전후하여 많이 발생하였으므로 일일최소상대습도를 통하여 검토하였다.

가연성물질의 함수량은 직접적으로 산불과 관련이 있는데, 강우는 직접적으로 산불을 소화하는 효과와 가연성물질의 함수량을 증가시켜 산불방재 효과를 증가시킨다. 그래서 건조기에

는 강우가 적고 계속적으로 맑은 날이 많아 연료가 건조하여 산불발생 위험도가 증가한다. 여기에서 사용한 강우후 경과일은 0.5mm이상의 강우를 기준으로 하여 산출하였다.

바람은 임내 가연성물질을 건조시켜 산불발생에 영향을 주고, 산불이 발생하면 가연성물질에 산소를 공급하고 산불의 연소속도 및 확대에 영향을 준다. 또한 돌풍을 일으키면서 연소물질을 상승시켜 타 지역으로 비화시키기도 한다.

기온은 습도의 변화와 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 낮에는 기온이 올라가는 오전 10시부터 해질 때까지 상대습도가 내려가 연료가 점차 건조해지면서 산불발생의 위험성을 증가시킨다.

일조시간은 기온을 상승시키면서 상대습도를 낮아지게 하여 가연성물질을 건조하게 만든다. 또한 일조시간은 그 날의 기상이 맑고 흐림을 나타내는 것으로 산불 발생에 있어서 인위적인 요인을 증가시켜 산불발생의 위험성을 증가시킨다.

본 연구에서는 상대습도, 강우량, 강우후 경과일, 풍속, 기온, 일조시간 등을 가지고 산불발생과 기상과의 관계를 규명하기 위하여 로지스틱(logistic) 회귀분석을 사용하였다. 산불이 발생했던 6년(1993~1998년)간의 자료 중 2~4월까지의 일일기상자료를 통하여 분석하였는데 전체 날수는 535일이고 산불이 발생했

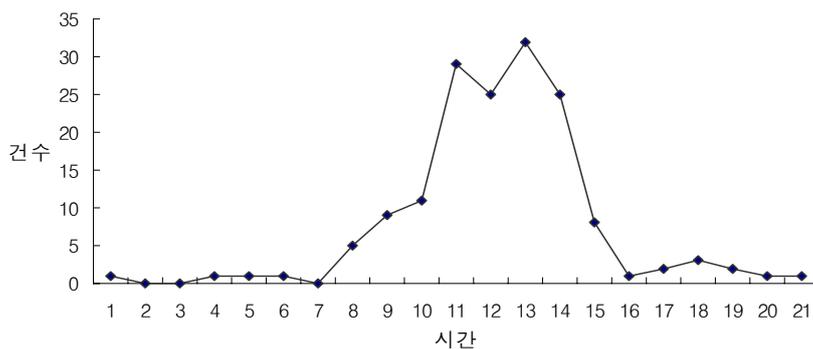


FIGURE 1. The fire occurrence per time

던 날수는 33일이었다. 산불이 발생한 날은 1의 값을, 산불이 발생하지 않은 날은 0 값을 부여하여 분석하였다. 이러한 분석을 통해 개발된 산불발생확률모형을 가지고 산불발생 위험지수를 산출하였다. 또한 제천시에서 발생했던 산불에 대하여 적용하여 다른 지역에서도 실효성이 있는지 확인하였다.

산불발생의 유무를 종속변수로 놓고 기상인자를 독립변수로 놓고 분석을 실시하였다. 분석은 통계프로그램인 SAS를 통하여 분석하였는데, 규명된 기상자료들의 다양한 조합을 시도하여 유의성이 없는 변수를 제거하는 방법으로 최종확률모형을 개발하였다. 표 2는 SAS를 통해 분석한 결과를 나타낸 것이다.

TABLE 2. Statistical analysis of the fire occurrence and weather data

변수명	Estimate	Standard error	Prob
상수효과계수	4.7070	1.7090	0.0059
최소상대습도	0.0502*	0.0282	0.0755
일 조 시 간	-0.3303**	0.1279	0.0096
강우후경과일	-0.0889**	0.0380	0.0192

* 유의수준 10%에서 유의성 있음

** 유의수준 5%에서 유의성 있음

분석결과 기상 요인 중에서 최소상대습도, 일조시간, 강우후 경과일이 산불발생확률에 유의성이 있는 것으로 나타났는데, 최소상대습도는 10%에서 유의성을 보였고, 일조시간과 강우후 경과일은 5%에서 유의성을 보였다.

SAS를 통한 logistic 분석 모형은

$$\ln\left[\frac{1-P}{P}\right] = Z_i$$

P : 산불이 발생할 확률

1-P : 산불이 발생하지 않을 확률

Z_i : 4.707+0.0502×최소상대습도
- 0.3303×일조시간

$$- 0.0889 \times \text{강우후경과일}$$

여기에서 양변에 자연지수(exponential)를 취하여 산불이 발생할 확률에 대하여 풀면 다음과 같다.

$$P = \frac{1}{1+\exp(Z_i)}$$

여기에서 구해지는 산불발생확률을 가지고 산불발생 확률값의 순위를 구하여 산불발생위험이 매우높음, 높음, 보통, 낮음, 없음 등과 같이 산불발생위험지수를 크게 5단계로 구분하여 나타내었다.

TABLE 3. Danger index of fire occurrence

산불발생 확률 (%)	산불발생 확률 순위(%)	산불발생 위험지수
11 이상	0 ~ 20	매우높음
11 ~ 6	20 ~ 40	높 음
6 ~ 3	40 ~ 60	보 통
3 ~ 0.4	60 ~ 80	낮 음
0.4 이하	80 ~ 100	없 음

이것을 적용하여 보았더니, 지난 6년(1993~1998년)간 2~4월에서 산불이 발생한 33건 가운데 산불발생위험지수가 매우 높음에서 17건이 발생하였으며, 높음에서 8건, 보통에서 8건이 발생하였다.

TABLE 4. Danger index of fire occurrence in Cheongju city

산불발생 확률 (%)	산불발생 위험지수	산불발생건수
11 이상	매우높음	17
11 ~ 6	높 음	8
6 ~ 3	보 통	8
3 ~ 0.4	낮 음	-
0.4 이하	없 음	-

타 지역에서도 개발된 산불발생확률모형의 적합성과 실효성을 확인하기 위하여 충청북도 제천시에서 6년(1993~1998년)간 2~4월에 산불이 발생되었던 날의 기상자료를 확률모형에 적용시켜 보았더니, 전체 발생한 15건 중 산불 발생 위험지수가 매우 높음에서 9건이 발생하였고, 높음에서 5건이 발생, 보통에서 1건이 발생하였다.

TABLE 5. Danger index of fire occurrence in Jecheon

산불발생확률 (%)	산불발생 위험지수	산불발생건수
11 이상	매우높음	9
11 ~ 6	높 음	5
6 ~ 3	보 통	1
3 ~ 0.4	낮 음	-
0.4 이하	없 음	-

도형자료를 이용한 산불예측모델

본 연구에서는 청주시 우암산 지역을 사례 대상지로 하여 실시하였다. 산불발생에 고려할 도형자료를 이용한 환경요인은 자연환경으로 표고, 경사, 사면의 향, 수계, 식생이며, 인문환경요인으로 도로, 경작지, 건물, 체육시설 등의 9가지 요소를 선정하여 총 9개의 레이어를 만들어 저장하였다.

산불발생과 관련된 요소 중 해발고도는 사람의 접근과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 고도가 높을수록 사람의 접근이 어렵다. 또한 공기의 온도는 지면에서 상승함에 따라 점점 온도가 낮아지게 되는데 300m 상승마다 1.5℃의 온도 변화가 생기게 된다(류장혁과 이광원, 1996). 이와 같은 온도 변화는 고도에 따라 눈 녹는 시기, 고산지역의 식생 변화와 연료의 습도함유량에 영향을 준다.

경사는 산불발생과 연소확대 및 소방활동과 크게 관련되어 있는 것으로 산불발생에 있

어서는 경사가 급할수록 사람의 접근이 어렵기 때문에 산불발생이 감소하지만, 일단 산불이 발생하면 경사가 급할수록 연소진행속도는 증가하고 소방활동에 있어서는 큰 장애요인으로 작용한다.

사면의 향에 따라 수광량과 연료의 건조, 풍양, 풍속이 다르게 되는데, 남향과 남서향은 북향보다 수광량이 많고 고온이며 상대습도가 낮은 관계로 연료가 건조하여 산불 발생건수가 많다.

수계는 산불발생을 억제할 뿐만 아니라 산불이 발생하였을 때 방화선의 역할을 수행한다. 우암산 지역의 수계는 매우 적은 물이 흐르기 때문에 산불발생억제요인으로는 합당하지만 방화수로서의 역할은 부족할 것으로 보인다.

산불은 연료, 지형, 기상의 3대 자연인자에 영향을 받게 되는데, 그 중 연료에 속하는 식생은 산불의 발생과 확산에 큰 영향을 주는 요인이다. 침엽수는 활엽수보다 나뭇잎이나 수간에 수분을 많이 포함하고 있어 산불을 일어나게 하는 발열량이 크기 때문에 생나무와 같은 것도 연소된다. 침엽수림은 수관화를 일으키기 쉬워 산불확대가 용이하고, 낙엽수림은 낙엽이 축적되기 때문에 지표화가 용이하여 산불면적의 확대가 쉬운 반면 활엽수림은 지표에 죽은 것이나 잡초가 없을 때에는 산불발생을 억제하는 역할을 하며 연소확대속도도 느리다.

우리 나라의 산불 발생원인은 자연발화에 의한 경우보다는 인위적 요인인 입산자들의 부주의에 의해 생기는 것이 대부분이다. 그러므로 사람이 많이 이용하는 도로는 산불발생에 있어서 밀접한 관계가 있을 것으로 보인다.

충북에서 지난 9년(1991~1998)간 산불이 발생되었던 원인을 보면 논, 밭두렁 소각이 전체 산불발생건수의 31%를 차지하고 있다. 그러므로 산림과 연결된 논, 밭 등은 산불발생과 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다.

TABLE 6. The fire occurrence per cause

년 도	건 수	면적 (ha)	산불발생 원인별 건수				
			입산자실화	논, 밭두렁소각	성묘객실화	쓰레기소각	기 타
90	3	1.6	1	2			
91	11	19.7	2	5			4
92	6	3.7	2	2			2
93	11	15.9	2	7			2
94	23	26.1	6	6	3	3	5
95	32	37.5	7	14		2	9
96	18	25.7	10	3		1	4
97	37	88.7	12	7	4	6	8
98	17	18.5	3	4	4	1	5
합 계	158	237.4	45	50	11	13	39
비율(%)			28.5	31.6	7.0	8.2	24.7

표 7은 우암산을 이용하는 사람들의 이용 목적을 나타낸 것이다. 이용자들의 30.6%(158명)가 체력단련을 하기 위하여 우암산을 찾는 것으로 조사되어있다. 그러므로 사람들이 많이 찾는 체육시설은 산불과 관련이 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 사용한 도면자료는 국립지리원에서 발행한 1:5,000 지형도와 정삼현이 작성한 우암산 식생도를 사용하였다(정삼현,

1999). 등산로에 대한 자료입력은 대부분 국립지리원 발행 지형도를 따랐으며 지형도에 누락된 등산로는 GPS를 이용하여 보완하였으며, 체육시설에 대한 위치측정도 GPS를 이용하여 수치데이터로 입력하였다. 이러한 자료의 위치정보의 정확도를 위해 수치데이터로 입력하고 출력하여 현장 답사시 출력도면과 비교하여 확인하였다. 표 8은 이러한 지도로부터 구축한 레이어를 나타낸 것이다.

TABLE 7. Purpose using Mt. Uam per age

단위: 명(%)

	20이하	20~29	30~39	40~49	50~59	60이상	합 계
체 력 단 련	20(33.3)	30(19.7)	48(31.2)	32(37.6)	15(38.5)	13(48.2)	158(30.6)
정 신 수 양	16(26.7)	40(26.3)	41(26.6)	22(25.9)	17(43.6)	4(14.8)	140(27.1)
약 수 이 용	6(10.0)	11(7.2)	12(7.8)	7(8.2)	2(5.1)	6(22.2)	44(8.5)
스트레스해소	10(16.6)	41(27.0)	32(24.0)	21(24.7)	4(10.3)	2(7.4)	115(22.2)
기 타	8(13.3)	30(19.7)	16(10.4)	3(3.5)	1(2.6)	2(7.4)	60(11.6)
합 계	60(100)	152(100)	154(100)	39(100)	27(100)	27	517(100)

자료: 이현신, 1995. 우암산 도시자연공원의 경관조성을 위한 조립적 방안. p.15.

TABLE 8. Digital map data for Mt. Uam

요 인	자 료 원	1차커버리지	2차 그리드	
자연환경 요 인	표 고	지형도	등고선도	고도
	경 사	지형도	등고선도	경사
	사면의 향	지형도	등고선도	사면의 향
	수 계 망	지형도	수계망도	수계로부터의 거리
	식 생	식생도	식생도	내화성에 따라 구분
인문환경 요 인	도 로	지형도 및 현지조사	도로망도	도로로부터의 거리
	경 작 지	지형도	토지이용도	경작지로부터의 거리
	건 물	지형도	건물위치도	건물로부터의 거리
	체육시설	현지조사	시설위치도	체육시설로부터의거리

본 연구에서 분석에 사용되어지는 우암산 지역은 도형자료를 이용한 환경요인이 산불발생에 미치는 영향을 각 요인의 접근도에 따라 등급을 부여하는 식으로 분류하였는데 산불발생

에 보다 큰 영향을 준다고 생각되어지는 요소에는 보다 큰 가중치를 부여하는 방법으로 분석을 실시하였다. 표 9는 분석기준을 설정한 것이다.

TABLE 9. Danger index of fire occurrence of Mt. Uam area

구 분	요소별 등급					가중치부여					
	100m미만	100-200	200-300	300m이상							
해발고도	4	3	2	1		1					
경 사	5도미만	5-15	15-25	25-35	35도이상		3				
	5	4	3	2	1						
사면의향	북향	북동향	동향	남동향	남향	남서향	서향	북서향	평지		3
	1	2	3	4	5	5	3	2	4		
수 계 망	50m미만	50-100	100-150	150-200	200m이상						5
	1	2	3	4	5						
식 생	침엽수			활엽수							2
	1			2							
도 로	50m미만	50-100	100-150	150-200	200m이상						7
	5	4	3	2	1						
경 작 지	50m미만	50-100	100-150	150-200	200m이상						8
	5	4	3	2	1						
건 물	50m미만	50-100	100-150	150-200	200m이상						4
	5	4	3	2	1						
체육시설	100m미만	100-200	200-300	300-400	400m이상						2
	5	4	3	2	1						

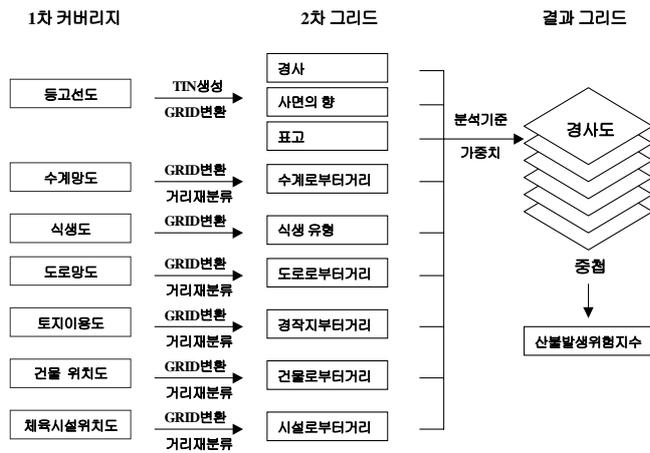


FIGURE 2. A diagram of forest fire prediction model

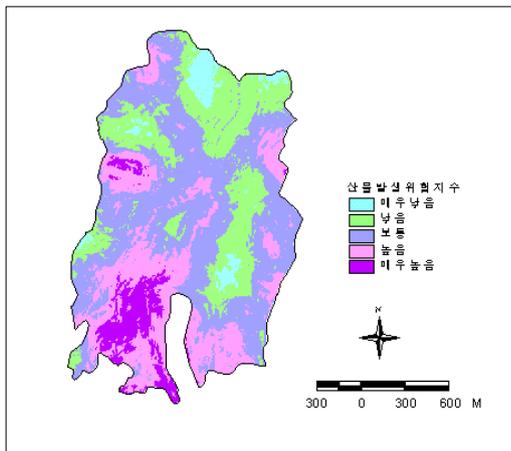


FIGURE 3. Danger index of Mt. Uam area

도형자료를 사용하여 산불발생위험지수를 분석하는데 ArcView를 이용하였다. 본 연구의 대상지역인 우암산 지역은 주위로 순환도로가 나있어 산불 발생 시 순환도로 자체가 방화선의 역할을 수행하여 도로 밖에서 발생한 불이 안쪽 까지 번지기 힘들다고 판단하여 순환도로를 경계로 하여 도로 안쪽을 중심으로 분석하였다. 5m 해상도로 격자를 작성하여 각각의 요소를 중첩함으로써 분석을 하였다. 그림 2는 각각의 요소에 가중치를 부여하여 분석한 과정을 나타

낸 것이고, 그림 3은 도형자료를 이용하여 청주시 우암산지역을 산불발생 위험지수를 구하여 5단계로 구분한 결과를 나타낸 것으로 매우 높음에서 0.1km²(3.9%), 높음에서 0.58km²(23.1%), 보통에서 1.09km²(43%), 낮음에서 0.59km²(23.2%), 매우 낮음에서 0.17km² (6.8%) 이었다.

산불방재시설의 적지분석

산불을 초기에 발견하여 진화를 하지 못할 경우 대형화된 산불진화를 위한 많은 인력과 시간 및 경비가 필요할 뿐만 아니라 진화도중 인명피해 위험과 함께 자연 생태계에도 막대한 피해를 가져올 수 있기 때문에 산불을 조기에 발견하여 단시간 내에 진화하는 것은 매우 중요한 문제이다. 이에 산불을 초기에 감시할 수 있는 감시초소를 설치하여 운영하는 것이 효과적인데, 현재 설치 이용되고 있는 시설이 효율적으로 되어있는지를 GIS를 이용하여 가시권 분석을 실시하여 보았다.

그림 4는 감시초소에서 가시권역을 나타낸 것이고, 그림 5는 우암산 순환도로를 중심으로 가시권 분석을 실시한 것으로 분석 결과는 표 10과 같다.

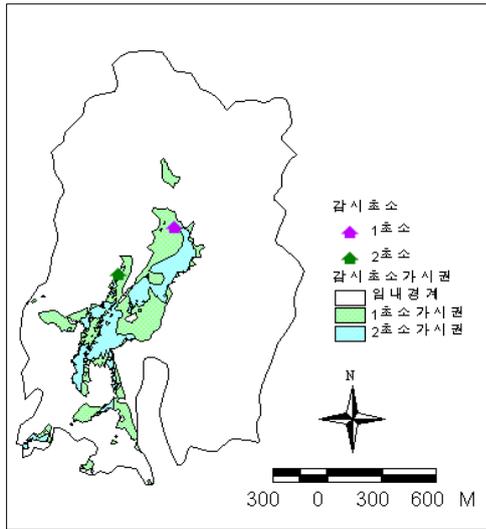


FIGURE 4. Visibility range of watchhouses

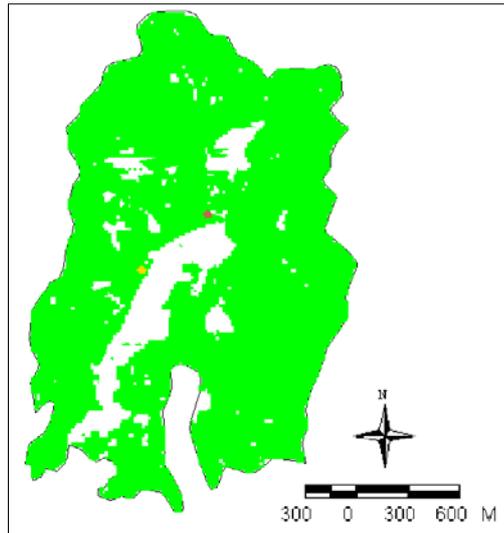


FIGURE 5. Visibility range of roads

TABLE 10. Visibility range of watchhouses and roads

단위: km²(%)

구 분	합 계	산불발생 위험지수				
		매우낮음	낮 음	보 통	높 음	매우높음
전 체 면 적	2,540(100)	0.1(3.94)	0.586(23.06)	1.093(43.04)	0.588(23.16)	0.173(6.8)
도로가시권면적	2.21(86.9)	0.097(3.82)	0.524(20.61)	0.972(38.24)	0.500(19.7)	0.115(4.53)
초소가시권면적	0.03(12.28)	0.0003(0.01)	0.015(0.6)	0.121(4.78)	0.126(4.97)	0.048(1.91)
전체가시권면적	2.379(93.63)	0.098(3.86)	0.537(21.15)	1.038(40.87)	0.563(22.14)	0.142(5.6)

우암산 순회도로를 통하여 산불을 감시할 때 가시권역이 산불발생위험 높음 이상 지역의 81%를 차지하는데, 기존의 감시초소에서 가시권을 합하면 산불발생위험 높음 이상 지역의 93%를 감시할 수 있게 나타났다. 이를 볼 때 기존의 감시초소는 적정위치에 설치되어 있는 것으로 사료된다.

산불을 초기에 발견하였을 경우 초기진화를 하는 것이 중요한데, 현재 우암산 지역에는 방화시설이 설치되어 있지 않다. 하지만 차량

진입이 가능하면 신속하게 산불을 진화할 수 있으리라 생각되므로 차량이 들어올 수 있는 차로를 중심으로 거리에 따라 진화효과를 구분하였더니 그림 6과 같이 나타났다. 모두 500m이하로 산불진화에 용이하지만 보다 효과적인 초기진화를 위해 사람이 많이 다니는 제 1 감시초소 부근의 체육시설 근처에 산불 초기진화를 위한 방화시설을 설치하여 보았더니 그림 7과 같이 나타났다. 표 11은 소방거리에 따른 면적을 나타낸 것이다.

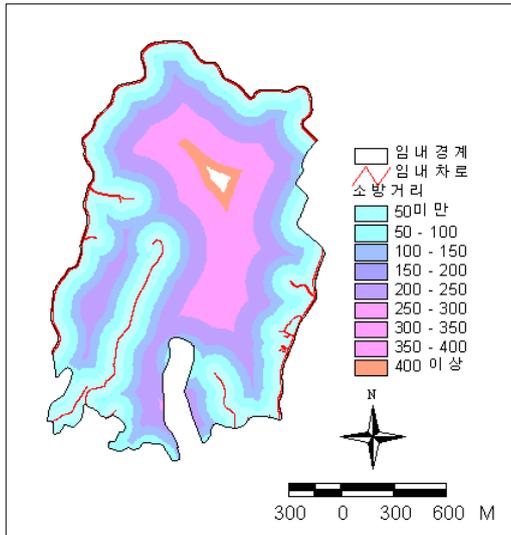


FIGURE 6. Extinction distance to road

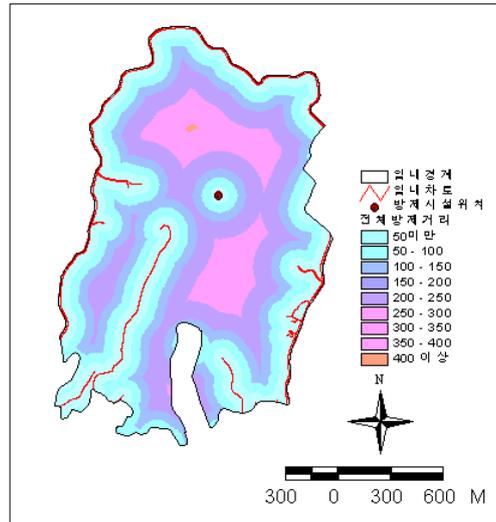


FIGURE 7. Extinction distance to road and prevention facilities

TABLE 11. Range of extinction distance to road and prevention facilities

단위: km2(%)

구 분	합 계	소 방 거 리				
		100미만	100-200	200-300	300-400	400이상
차로소방거리	2.540(100)	1.064(41.9)	0.787(30.96)	0.386(15.18)	0.251(9.89)	0.053(2.07)
전체소방거리	2.540(100)	1.096(43.15)	0.872(34.34)	0.433(16.63)	0.149(5.88)	-

차로에 의한 소방거리가 300m 이내인 것이 전체 면적의 88%를 차지하고 방화시설까지 합치면 94%를 차지하므로 효과적으로 초기진화가 가능하리라 사료된다.

일별로 산불이 발생되었는지 검색을 할 수 있도록 하였다. 또한 우암산 지역의 도형자료를 보여줄 수 있도록 하여 누구나 쉽게 도형정보를 얻을 수 있도록 하였다.

산불방재를 위한 시스템 구축

산불에 관련된 자료를 ArcView와 자체 언어인 Avenue를 이용하여 D/B화 하고(ESRI, 1997), 시각화함으로써 의사결정을 보다 손쉽게 할 수 있도록 지원해 주고, 전반적인 산불방재에 대한 관리를 보다 효율적으로 도와 줄 수 있도록 산불방재시스템을 구축하였다.

여기에서 산불발생지점들의 위치와 발생된 현황자료, 산불방재시설 및 감시요원들의 자료를 보여줄 수 있도록 메뉴를 구성하였으며, 요

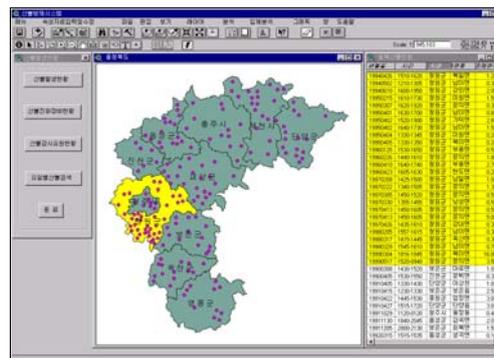


FIGURE 8. A fire occurrence location

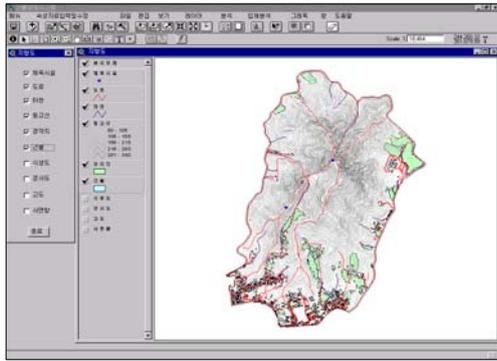


FIGURE 9. Geographic data of Uamsan

그림 10에서는 도형자료를 이용한 산불발생 위험지수를 각각의 요소별로 볼 수 있도록 하였으며, 각각의 레이어를 분석할 수 있도록 메뉴를 구성하였다.

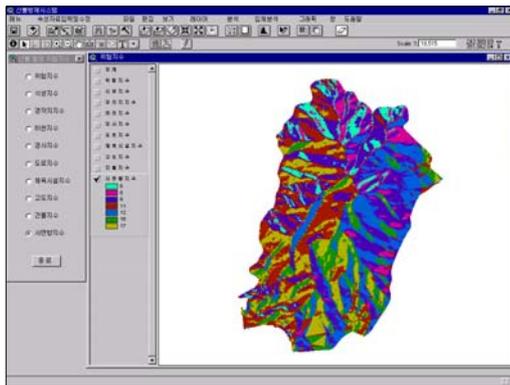


FIGURE 10. Danger index against aspect

결론

이 연구는 산불방재에 있어서 보다 효율적인 관리와 의사결정을 할 수 있도록 하였으며 다음과 같다.

1. 청주시·청원군에서 6년(1993~1998년) 간 2~4월 기상자료를 로지스틱(logistic) 회귀분석을 사용하여 다음과 같은 산불 발생확률모형을 개발하였다.

$$P = \frac{1}{1+\exp(Z_i)}$$

P : 산불이 발생할 확률

exp : 자연지수(exponential)

$Z_i : 4.707+0.0502 \times \text{최소상대습도} - 0.3303$
 $\times \text{일조시간} - 0.889 \times \text{강우후경과일}$

2. 기상자료를 이용한 산불발생확률모형의 실효성 검정을 위하여 청주시·청원군에서 6년(1993~1998년)간 2~4월 기상자료를 확률모형에 대입하여 산불발생 확률을 구하였다. 이렇게 구해진 산불발생 확률을 기본으로 산불발생위험지수를 작성하였는데, 산불발생 확률값의 순위를 구하여 산불발생위험이 매우높음, 높음, 보통, 낮음, 없음 등과 같이 크게 5 단계로 구분하여 나타내었다. 여기에 6년간 산불이 발생된 33건에 대해 산불 발생확률을 적용해 보았더니 매우 높음에서 17건이 발생하여 전체 발생건수의 52%를 차지하였고, 높음에서는 8건, 보통에서 8건이 발생하여 각각 24%를 차지하여, 산불이 위험지수가 보통 이상일 때 모두 발생하는 것을 알 수 있다.
3. 기상자료를 이용하여 개발된 확률모형이 타 지역에서도 적합성과 실효성이 있는지 충청북도 제천시에서 6년(1993~1998년) 간 2~4월에 산불이 발생되었던 날의 기상자료를 확률모형에 적용시켜 보았더니, 전체 발생한 15건의 산불 중 산불발생 위험지수가 매우 높음에서 60%(9건)가 발생하였고, 높음에서 33%(5건)가 발생, 보통에서 6%(1건)가 발생하였다. 제천에서 발생되었던 산불 모두 위험지수가 보통 이상에서 발생하는 것을 알 수 있다.
4. 도형자료를 이용하여 청주시 우암산지역을 산불발생 위험지수를 구하여 5단계로 구분한 결과 매우 높음에서 0.1km²(3.9%), 높음에서 0.58km²(23.1%), 보통에서 1.09km²(43%),

낮음에서 0.59km²(23.2%), 매우 낮음에서 0.17km²(6.8%) 이었다. 매우 높음은 대부분이 우암산 남쪽에 분포되고 있다.

5. 우암산 순회도로를 통하여 산불을 감시할 때 가시권역이 산불발생위험 높음이상 지역의 81%를 차지하는데, 기존의 감시초소에서 가시권을 합하면 산불발생위험 높음 이상 지역의 93%를 감시할 수 있게 나타났다. 이를 볼 때 기존의 감시초소는 적정위치에 설치되어 있는 것으로 사료된다. 대부분 산불 발생위험이 높은 지역을 감시할 수 있으며, 감시초소에서 감시할 수 없는 지역은 대부분 우암산 순회도로를 중심으로 분포하고 있어 감시요원을 배치함으로써 효과적으로 감시할 수 있다.
6. 차량이 들어올 수 있는 차로를 중심으로 거리에 따라 진화효과를 구분하였더니 모두 500m 이하로 산불진화에 용이하지만 보다 효과적인 초기진화를 위해 사람이 많이 다니는 제 1 감시초소 부근의 체육시설 근처에 산불초기진화를 위한 방화시설을 설치하니 모두 400m 이하가 되었다. 차로에 의한 소방거리가 300m 이내인 것이 전체 면적의 88%를 차지하고 방화시설까지 합치면 94%를 차지하므로 효과적으로 초기진화가 가능하리라 사료된다.
7. 산불방제를 위한 시스템 구축으로 산불에 관련된 자료를 D/B구축하여 의사결정을 보다 손쉽게 할 수 있도록 지원해주고 전반적인 산불방제에 대한 관리를 보다 효율적으로 도와 줄 수 있을 것으로 사료된다. **KAGIS**

참고문헌

- 김윤정. 1996. 산불예측 모델에 관한 연구. 이화여자대학교 석사학위논문. 64쪽.
- 김응식 외 5명. 1998. 유동장 분석을 통한 산불확산예측 프로그램의 개발. 한국임학회지 87(4):528-534.
- 류장혁, 이광원. 1996. 산불의 실태와 대책. 한국농촌경제연구원. 192쪽.
- 이기철, 김승환, 남정철, 박승범, 강영조, 옥진아. 1998. GIS를 이용한 산불 진화용 저수탱크 적지분석에 관한 연구. 한국지리정보학회지 1(2):1-13.
- 이시영. 1995. 산불발생 위험도 및 연소확대요인 분석에 관한 연구. 동국대학교 박사학위논문.
- 이현신. 1995. 우암산 도시자연공원의 경관조성을 위한 조림적 방안. 충북대학교 석사학위논문. 52쪽.
- 정삼헌. 1999. 우암산 식물군락의 구조에 관한 연구. 충북대학교 석사학위논문. 40쪽.
- 최관, 한상열. 1996. 기상자료를 이용한 산불발생 확률모형의 개발. 한국임학회지 85(1):15-23.
- 홍성길. 1987. 기상과 화재. 교학연구사. 205쪽.
- ESRI. 1997. Introduction to ArcView GIS. 551pp.
- Kustanta, B.P. 1999. The use of geographic information systems for forest fire management in Indonesia. 지방자치단체의 GIS활용에 관한 국제세미나. 국토연구원. 21-38쪽.
- Wybo, J.L. 1998. FMIS: A decision support system for forest fire prevention and fighting. IEEE Transactions on Engineering Management.45(2): 127-131. **KAGIS**