

# GIS에 의한 산불 피해 지점의 공간 분포 분석

## Analysis of the Spatial Distribution for Forest Fire Areas using GIS

양 인 태*	유 영 겔**	최 승 필***	김 응 남****
Yang, In-Tae	Yeu, Young-Geol	Choi, Seung-Pil	Kim, Eung-Nam

### 要 旨

산불은 천연자원, 멸종위기에 처한 동·식물, 사람의 재산 및 생명까지도 항상 위협하는 존재이다. 산불의 효과적인 관리 는 복잡한 공간 관련성뿐만 아니라 환경과 사람의 활동에 대한 철저한 이해를 필요로 한다. GIS(Geo-Spatial Information System)는 산불에 대한 공간 특성을 분석하고 지도화 할 수 있는 능력을 가지고 있다.

이 연구에서는 지형, 식생, 생활환경, 토양, 지질 인자 등을 선정·분류하고, GIS와 원격탐사 기술을 통합·적용하여 산 불 발생 지점의 공간 분포를 분석하였다. 또한 1990년대 들어서 증가하고 있는 산불 발생 원인을 식생지수의 비교를 통하 여 규명하고자 하였다.

### ABSTRACT

Forest fires have been threats to natural resources, endangered species, properties and even to human lives. Efficient management of forest fires requires a complete understanding of the environmental and human related activities, as well as complicate spatial relationships among them. A geo-spatial information system(GIS) is an appropriate method of being able to mapping and to analyze the spatial data for forest fires.

Therefore, this study is to provide and classify the terrain, vegetation, life environment, soil and geology factors, and to analyze spatial distribution for forest fire areas by applying the GIS and the Remote Sensing technology. On the other hands, causes of increasing numbers of forest fires being occurred after 1990 were assessed by comparing the normalized difference vegetation index(NDVI).

### 1. 서 론

산림은 지구환경을 구성하는 대표적 육상생태계로 서 다양한 경제적, 환경적 가치를 창출하고 있으며 인 류의 지속 가능한 발전을 위해 필수 불가결한 자원이 다. 그러나 세계의 산림은 무절제한 개발과 비합리적 인 산림 경영으로 인해 황폐화 현상이 심화되고 있다.

이러한 추세는 현재도 계속 진행되고 있어 특별대책 이 마련되지 않는 한 산림 황폐는 인류와 모든 생명 체의 생존마저 위태롭게 할 것이다.

우리 나라의 경우에 산림에 대한 지속적인 보호정 책으로 황폐한 산림은 복구되었으나 유령림이 대부분 을 차지하고 있으며 산림에 가연성 물질인 낙엽과 지 피물이 증가함에 따라, 산림의 피해 중에서 가장 큰

---

\* 강원대학교 토목공학과 교수  
 \*\* 강원대학교 토목공학과 박사과정  
 \*\*\* 관동대학교 토목공학과 교수  
 \*\*\*\* 인하공업전문대학 지리정보과 전임강사

비중을 차지하고 있는 산불이 증가하고 있는 추세이다.1)

특히, 강원도 지역은 총면적의 약 82%인 138만ha가 산림으로 이루어져 있고, 1990년대 이후 산불은 계속적인 증가 추세에 있으며 대형화하는 경향을 보이고 있다(그림 1). 이 연구에서는 강원도내의 일부 지역을 대상으로 선정하여 과거로부터 현재까지의 산불 발생 현황 자료를 이용하여 산불 발생 지역의 공간 분포 특성을 분석하고자 하였다.

이러한 분석을 위해 이 연구에서는 GIS (Geospatial Information System)와 원격 탐사(Remote Sensing) 기술을 통합·적용함으로써 산불에 관계하는 인자들을 추출·분류하였고, 1990년대 이후의 산불 증가 원인을 지역내의 광범위 소나무림을 대상으로 한 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index : NDVI)로부터 규명하고자 하였다.

## 2. 산불의 일반적 특성

### 2.1 산불의 특징

우리 나라는 대륙성 기후의 영향으로 봄과 가을철에 건조하고 바람도 자주 불기 때문에 전국적으로 산불이 많이 발생하는데, 산불통계가 시작된 1957년 이후 1996년까지의 30년간 우리 나라에서는 총 11,292건의 산불이 발생하였고, 147,734ha의 산림이 소실되었다. 이러한 통계를 볼 때, 한해 평균 352건의 산불이 발생하였고 건당 5,385ha의 산림이 피해를 입었다. 총 피해 면적은 전 국토 면적의 2.3%에 해당된다.2,3)

우리 나라의 건당 피해면적은 11ha정도이지만, 일본의 경우 우리 나라보다 20배가 많은 4,257건이 매년 발생하여 건당 피해면적은 0.98ha로서 우리 나라에 비해 매우 적다. 이러한 이유는 산불 발생시의 신속한 대처에 의한 것으로 보인다. 북미의 경우는 매년 평균 160,000건이 발생하고 있고, 건당 피해면적은 17ha이다. 북미의 경우도 식생의 면적이나 특성에 비해 피해 규모는 상당히 작다는 것을 알 수 있다. 우리 나라의 경우, 좀더 신속하고 체계적인 대책이 필요하다.

강원도 지역의 경우, 건당 피해 면적이 우리 나라의 통계에 두 배인 21ha로서 피해 규모가 큰 것을 알 수 있다. 또한 임상이 단순한 종들이 밀집되어 있고, 지형 조건이 험준하여 소화에 어려움이 많으며 가연성이 높은 소나무림이 광범위하게 차지하고 있기 때문에 산불이 발생하면 대형화하는 경향을 보이는 것이 특징이다.

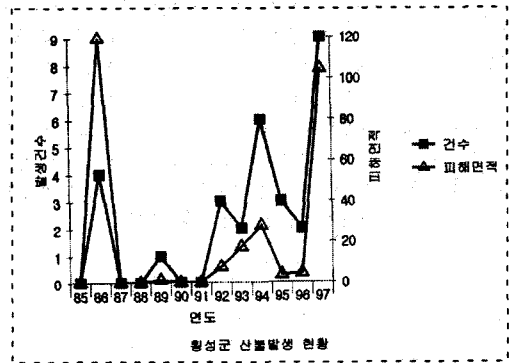
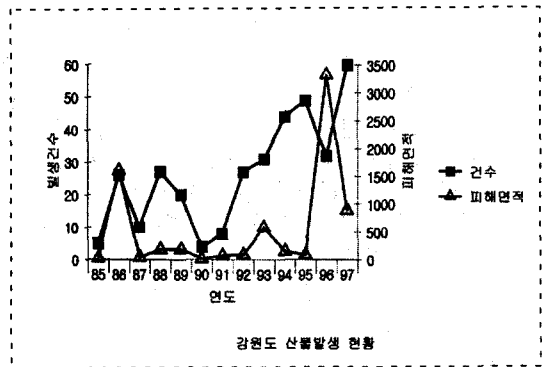


그림 1. 강원도와 횡성군의 산불 현황

### 2.2 산불의 원인

산불이 발생하기 위해서는 가연물의 존재, 산소의 공급, 착화에 필요한 에너지의 공급, 즉 연소의 3요소가 만족하지 않으면 안 된다.

산불을 발전시키는 위험성은 가연물의 양, 풍향, 풍속, 습도, 지형의 경사와 주향, 식생 인자 등에 의해 좌우된다.

산불 발생에 직접적인 원인은 사람의 활동이 100%를 차지하고 있으며, 그 중에서도 입산자 실화가 38%, 논·밭두렁 소각이 26%를 차지하고 있다.

계절별로는 전체 산불의 절대다수인 77%가 건조하고 바람이 많은 봄철에 발생하고 있으며, 다음이 겨울로 10%이다. 요일별 산불발생 현황은 일요일이 21%, 월요일이 16%를 차지하고 있다. 시간대별로는 1일중 14시부터 18시까지 오후 시간대에 전체 산불 발생 건수의 가장 많은 49%가 발생하고 있다.2)

### 3. 분석 및 결과

#### 3.1 연구 대상지역

연구 대상지로 강원도 횡성군(그림 2)을 선정하여 과거의 산불 피해 지점을 1:5000 지번도에서 디지털로 입력하였다. 이 과정에서 산불의 발화 지점이 명확하지 않고 피해 면적에 대한 정확한 자료가 없어 지번의 중심점을 기준으로 설정하였다.

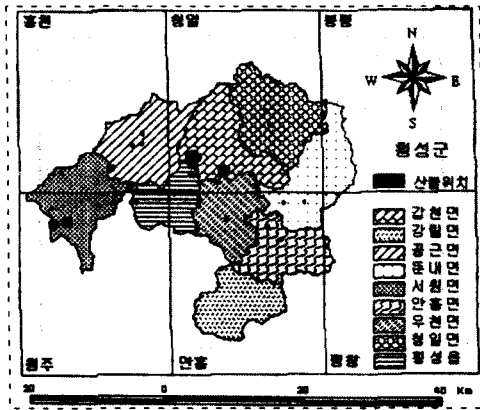


그림 2. 대상지역 및 산불발생지점

#### 3.2 자료 구축

연구지역에 대한 자료의 구축은 그림 3의 처리 과정을 거쳐 GIS 자료를 생성하였고, 원격탐사 영상을 이용한 자료를 구축하였다. 이러한 처리 과정을 통하

여 구성된 자료들은 표 1에 나타내었다.

이 연구에서 자료의 구축에 이용된 소프트웨어는 ARC/INFO, Arcview, Microstation 등을 사용하였다.

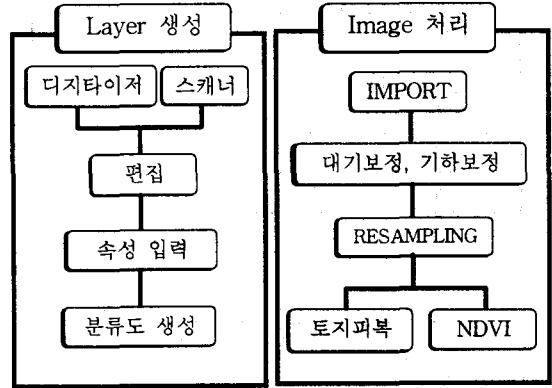


그림 3. 자료 구축 흐름5)

표 1. 자료 구성

자료명	자료원
산불위치	1:5000 지번도
표고, 경사, 주향 도로, 수계 주거지, 행정경계	1:50000 지형도
토양	1:25000 토양도
지질	1:25000 지질도
식생	1:25000 식생도
토지피복	Landsat TM 영상
식생지수	Landsat TM 영상

#### 3.3 공간 분포 분석

수치표고모형은 1:50000 지형도를 벡터라이징하여 ARC/INFO 커머리지를 생성한 후 선과 점 자료에 표고를 입력하고 불규칙 삼각망 (Triangulated Irregular Network: TIN)을 구성하였고, 30m LATTICE로 변환하여 생성하였다. 생성된 수치표고모형으로부터 경사(6등급), 주향(8방향), 표고(100m간격)에 대한 주제도를 추출하였다.6,7,8)

분석 결과는 표 2, 3, 4에서와 같이 경사는 5~15° 사이에서, 주향은 남사면에서, 표고는 200~300m사이에서 대다수의 산불이 발생하고 있음을 알 수 있다.

표 2. 경사 분포

경사	분포면적(%)	산불발생(건)
5° 이하	14.2	6
5-15°	47.3	19 (63%)
15-25°	31.2	5
25-35°	6.7	-
35-45°	0.5	-
45° 이상	0.1	-
합계	100	30

표 3. 주향 분포

주향	분포면적(%)	산불발생(건)
N	12.5	2
NE	11.8	1
E	12.0	-
SE	11.9	4
S	13.0	14 (47%)
SW	13.2	4
W	13.0	2
NW	12.6	3
합계	100	30

표 4. 표고 분포

표고(m)	분포면적(%)	산불발생(건)
200 이하	12.1	4
200~300	18.5	14 (47%)
300~400	16.0	5
400~500	15.7	3
500~600	16.9	3
600~700	9.5	1
700~800	5.7	-
800~900	3.2	-
900~1000	1.6	-
1000~1100	0.7	-
1100 이상	0.1	-
합계	100	30

이 지역의 경우, 낮은 경사 지역과 낮은 표고에서 산불이 많이 발생되고 있는 점으로 미루어 볼 때 농촌지역의 특성상 등산객들에 의한 입산자 실화에 의한 원인과 함께 논, 밭두렁 소각 등 토지이용 패턴과의 관련성이 큰 것으로 판단된다.

주향의 경우 태양의 일사량에 따른 지표면의 건조상태가 크게 변화하므로 일사량이 많은 남동사면, 남사면, 남서사면에서 대다수의 산불이 발생하고 있다.

수계, 도로 및 주거지의 경우 사람의 활동이 주로 이루어지고 있는 생활환경인자로서 산불과의 직접적인 연관성보다는 거리에 따른 관계를 파악하여 일정한 지점의 분포 특성을 알아보고자 하였다.

이들 세 가지 인자에서의 산불 발생과 거리에 따른 분석 결과는 표 5, 6, 7에서와 같이 수계의 경우는 100~200m사이에서, 도로의 경우는 50~150m사이에서, 주거지의 경우 200~300m사이에서 다수의 산불이 발생하고 있다.

도로의 영향권 설정의 경우 세 가지 인자들의 경향을 유사하게 하기 위해 거리를 재분배하였다.

표 5. 수계 분포

거리(m)	산불발생(건)
0-100	2
100-200	15 (50%)
200-300	7
300-400	4
400-500	2
계	30

표 6. 도로 분포

거리(m)	산불발생(건)
0-50	1
50-150	14 (47%)
150-250	10
250-350	5
계	30

표 7. 주거지 분포

거리(m)	산불발생(건)
0-100	1
100-200	9
200-300	14 (47%)
300-400	6
계	30

연구지역이 농촌지역이므로 토지피복에 따른 산불 발생 상황을 알아보기 위하여 1993년 10월 20일 인공위성 영상(Landsat TM)을 8개의 지상참조점을 선정하여 Affine 변환을 한 후 공일차내삽법으로 재분류하여 산림, 도시/촌락, 물, 나지, 논/밭 등으로 토지피복 분류를 수행하여 그림 4에 나타내었다.

논·밭 지역과 산불 발생 지점과의 거리를 분석해 본 결과는 표 8에서 보이는 것처럼 논·밭에서 200m 이내 지점에서 70%가 발생하였다. 논·밭에 근접한 지점에 산불이 많이 발생하고 있는 것은 전통적인 농사 방식인 논·밭두렁 소각이 한 요인으로서 작용한 것을 알 수 있다.

표 8. 논/밭 분포

거리(m)	산불발생(건)
0-100	10
100-200	11 (37%)
200-300	6
300-400	3
계	30

토양 및 지질에 따른 산불 발생 지점의 분포를 분석한 결과 표 9와 같이 토양에서는 배수 상태가 매우 좋은 암쇄토 및 적황색토와 배수 상태가 비교적 양호한 산성갈색 산림토 지대에서 거의 모든 산불이 발생하고 있다.

이러한 결과는 토양의 배수가 잘 되어 토양내의 함수비가 낮아져 산림내의 수분이 감소하고, 내화력이 매우 약한 소나무림 지역이 이 토양의 분포 지역과

일치하는 부분에 위치하고 있어 산불이 집중되고 있는 것으로 판단된다.

표 10과 같이 지질에서는 화강암지대가 93%의 산불이 발생하고 있었는데, 지질의 경우 산불에 크게 관계하는 인자는 아니지만 이 지역의 지질 특성상 화강암이 차지하고 있는 면적이 매우 크기 때문에 이 같은 현상이 발생된 것으로 사료된다. 그러나 지질의 특성과 산불의 관계성에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

표 9. 토양 분포

토양명	토양기호	분포면적(%)	산불발생(건)
범람지 및 충적토	Af	3.3	-
회색토 및 충적토	An	10.3	-
백색사구	Fb	1.9	-
암쇄토 및 적황색토	Ma	52.9	22 (73%)
암쇄토	Ms	1.2	1
산성갈색 산림토 및 암쇄토	Mu	18.0	7
적황색토	Ra	5.6	-
암쇄토(노출지)	Ri	6.8	-
계		100	30

표 10. 지질 분포

지질명	지질기호	분포면적(%)	산불발생(건)
하성층	A	1.5	-
석영반암	Kg	3.2	-
화산암	Kir	3.1	-
화강암	JGr	66.0	28 (93%)
호상편마암	PcKbGn	25.5	2
퇴적암	K	0.4	-
편암	PcKSch	0.3	-
계		100	30

식생의 유형에 따른 내화력의 차이와 낙엽의 양에 의해서 산불 발생이 영향을 많이 받는다. 식생 자료는 6등급으로 분류하여 입력하였다. 그 결과 표 11에서

표 11. 식생 분포

식생	면적(%)	산불발생(건)
활엽수림	14.1	2
침활혼효림	15.9	7
소나무림	30.1	20 (67%)
잣나무림	0.4	-
리기다소나무림	0.2	-
낙엽송림	11.5	1
기타	27.8	-
계	100	30

알 수 있듯이 소나무림과 침활혼효림이 전체 면적의 46%를 차지하고 있으며, 소나무림과 침활혼효림에서 대부분의 산불이 발생하였다.

소나무림의 경우, 분포 지역이 사람들의 활동이 빈번한 지역인 주거지 밀집지역과 도로 주변, 낮은 표고 지역 등에 밀집되어 있어 산불이 많이 발생한 것으로 판단되며, 앞으로도 소나무림 지역에 대한 산불 피해가 우려된다.

산림의 식생을 다양화하고 내화력이 약한 종들이 밀집되지 않도록 하는 것이 산불에 의한 피해를 예방하는 지름길일 것이다.

이상과 같이 분류된 경사, 주향, 표고, 도로, 수계, 주거지, 토양, 지질, 토지피복, 식생 등 10가지 인자를 통하여 산불 발생이 공통적으로 발생하는 지역을 선정하기 위하여 인자별로 산불 발생 건수에 대한 비율

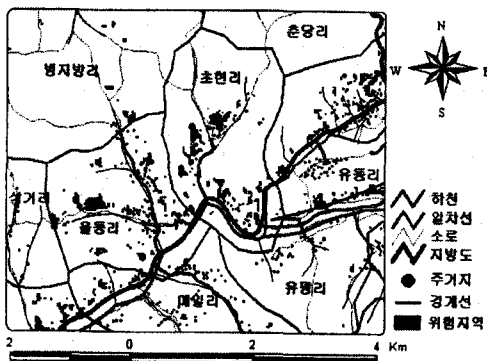


그림 3. 산불 위험지구도

을 수치로 지정하여 그리드로 변환하였다.9,10)

위의 10가지 인자를 그리드 분석을 통하여 공통적으로 중첩되는 지역을 선정하였다. 그림 3은 10가지 인자를 통하여 산불이 발생할 가능성이 높은 지역을 지도화 한 것이다.

### 3.4 식생지수 비교

식물의 상태는 클로로필의 양, 잎의 수, 성장활력 등의 차이에 의해 나타나어지며, 인공위성 영상을 이용하여 식물의 분광반사 특성에 의해 생육 상태를 평가하는 것이 가능하다.

일반적으로는 클로로필의 함유량이 많은 잎을 보유하는 식물일수록 가시광선역 붉은 파장대의 반사가 낮으며, 잎의 수가 많고 성장활력이 강한 식물일수록 근적외 파장대의 반사가 강한 것으로 알려져 있다.

이러한 식물의 분광반사 특성에 근거를 두어 식물의 가시역, 붉은 파장대의 반사강도와 근적외 파장대의 반사강도와의 비율을 식물의 생육상태를 나타내는 지표(식생지수)로서 이용하며, 수식은 다음과 같다.4,11)

$$\text{식생지수(NDVI)} = \left( \frac{\text{TM4} - \text{TM3}}{\text{TM4} + \text{TM3}} + 1 \right) \times 128$$

식물의 활력 상태가 나쁠 때는 식생지수의 값이 낮은 값을 나타내므로, 식생지수가 낮은 값을 나타내는 지역은 해충에 의해 피해를 입은 지역이거나, 산불에 의해 피해를 입은 지역이다. 그러므로 식생지수를 이용하여 산불에 대한 저항력의 변화를 알아보려고 하였다.

식생지수의 비교는 산불발생 현황기록 이전인 1984년 11월 12일에 관측된 인공위성 영상과 1993년 10월 20일에 관측된 인공위성 영상을 이용하였다. 서로 다른 시기의 영상을 비교하기 위해서 1984년의 인공위성 영상을 기준으로 1993년 인공위성 영상을 대기 보정하여 사용하였다.

가을의 영상을 이용하는 관계로 낙엽이 진 활엽수림의 경우는 식생지수가 낮은 값을 나타내기 때문에

4계절 외의 활력상태가 양호하고 산불이 많이 발생한 소나무림 만을 대상으로 인공위성 영상의 4밴드와 3밴드를 이용하여 각각의 식생지수를 계산하였다. 표 12는 연구지역의 전체에 대한 식생지수를 비교한 것으로 약간의 변화를 알 수 있었다.

표 12. 연구지역의 식생지수 비교

연도 식생지수	84년 영상(%)	93년 영상(%)
0-85	12.4	11.6
86-170	70.8	77.8
171-255	16.8	10.6
계	100	100

표 13의 경우는 소나무림 만을 추출하여 식생지수를 비교한 것이다. 이 표에서 알 수 있듯이 84년에는 높은 식생지수(171-255)를 보이던 지역이 93년에는 15.6%정도 감소하였고 낮은 식생지수(86-170)를 보이는 지역이 20.1%가량 늘어난 것을 알 수 있다. 영상의 관측 날짜도 93년 영상이 20일 가량 더 빠른데도 불구하고 높은 식생지수의 값을 갖는 지역이 크게 감소한 것을 알 수 있다.

표 13. 소나무림의 식생지수 비교

연도 식생지수	84년 영상(%)	93년 영상(%)	비고
0-85	8.8	4.3	소나무림 면적: 34,134ha
86-170	62.7	82.8	
171-255	28.5	12.9	
계	100	100	

이러한 이유는 90년대초에 소나무림 지역이 솔잎혹파리 등에 의해 피해를 입어 활력이 급격하게 저하된 것으로 사료되며, 식생의 활력도 저하가 90년대 들어서면서 산불발생의 증가와도 깊이 관계하고 있으리라 판단된다.

향후에도, 산불 전후의 인공위성 영상을 이용하여 식생지수의 변화를 분석하여 식생지수와 산불과의 연

관성을 밝혀내는 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

#### 4. 결 론

산불의 현황자료를 이용한 산불의 발생지점의 공간 분포를 분석하여 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 산불발생 지점의 공간 분포는 표고 200~300m에서 47%, 남사면이 47%, 5~15° 경사에서 69%, 소나무림과 침활혼효림에서 90%, 암쇄토 및 적황색토(Ma)에서 73%, 화강암이 93% 발생하였고, 수계는 100~200m에서 50%, 도로는 50~150m에서 47%, 주거지에서는 200~300m 지역에서 47%, 논·밭 200m이 내에서 70%가 발생하였음을 알 수 있었다.

둘째, 1990년대 이후 대상지역에서의 산불은 소나무림에서 집중적으로 발생하고 있다. 인공위성 영상으로부터 소나무림의 식생지수를 분석해 본 결과, 식생지수의 급격한 저하가 산불발생의 한 요인으로서 크게 작용하고 있음을 알았다.

셋째, 공간분포 분석을 통하여 얻어진 자료들로부터 대상지역내의 산불발생 위험지역을 선정할 수 있었다. 이러한 자료는 산불관리나 초기진화과정에서 매우 유용한 정보로서 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1. 정연하, 이시영, 염육철, 여운홍. 1989, "산화 위험률 예측에 관한 연구" 임업연구원 연구보고 제 38호, pp. 117-123.
2. 이광원, 류장혁. 1996, 한국농촌경제연구원 보고서, pp. 15.
3. 이시영, 정연하, 이봉수. 1996, "수치지형자료를 이용한 산불의 연소유형 분석" 산림과학논문집 53 : pp. 186-193.
4. 김용남, 1998, 인공위성 데이터를 이용한 솔잎혹파리와 산성우의 상관관계 분석, 대한토목학회 제 18

- 권 제 3-1호, pp. 93-102.
5. 양인태, 1993, "지구공간정보공학 제 1 권".
  6. CHOU, Y. H., LIU, P. S., 1996, A Grid automation of wildfire growth simulation. Proceeding of ESRI 97, pp. 157.
  7. Clarke, K. C., Brass, J. A., Riggan, P. J., 1994, A cellular automaton model of wildfire propagation and extinction. PE & RS Vol. 60, No. 11, pp. 1355-1367.
  8. Gronlund, A. G., Xiang, W. H., 1993, A knowledge based GIS approach to priority area identification for forest fire management. URISA Proceedings, pp. 102-110.
  9. SHARMA, N., HUSSIN, Y. A., 1995. Spatial modeling for forest fire hazard prediction, management and control in Corbett national park. GIS/LIS Vol. 2, pp. 895-902.
  10. Burgan, R. E., Jacqueline M. Klaver, Robert W. Klaver, 1997, Using GIS to assess forest fire hazard in the Mediterranean Region of the United States., ESRI proceedings, pp. 286.
  11. Zhangshi Yin, T.H. Lee Williams., 1997. Obtaining Spatial and Temporal Vegetation Data from Landsat MSS and AVHRR/NOAA Satellite Images for a Hydrologic Model. PE & RS, Vol. 63, No. 1, pp. 69-77.