

# GIS를 이용한 산불방제통합시스템 개발에 관한 연구

## - 계룡산 지역을 중심으로 -

송금석 · 이동운 · 박태욱

【한국정보통신대학원대학교 부설 정보통신교육원】

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경

인간은 태고적부터 자연에 의존하여 살아왔으며 특히 산림은 우리 인간의 삶에 있어 맑은 공기, 깨끗한 물 그리고 쾌적한 환경을 제공하고 홍수방지, 동·식물 생태계의 보호 등 다양한 혜택을 주고 있다. 그러나 사회·경제적 발전이 이루어지면서 자연과 함께 행복한 삶을 추구하기 위해 산을 찾는 입산인구가 증가하고 상대적으로 산불의 위험성이 커지고 있으며 예측할 수 없는 재난으로 확대되고 있다.

이것은 단지 우리나라에만 국한된 문제가 아니라 지구온난화를 한층 가속시켜 전세계 인간의 생존을 위협하는 등 커다란 지구환경오염 문제로 대두되고 있다. 또한 산림이 전 국토면적의 65%이상을 차지하고 있는 우리나라의 경우로 볼 때 산불은 분명 국가적 재난으로 산림자원의 훼손과 자연환경 생태계에 치명적일 수밖에 없는 것이다.

최근 주요 대형산불 사례로 작년 4월 강원 영동지방에서 발생한 산불을 예로 들 수 있다. 정부에서 산불발생 지역을 특별재난지역으로 선포할 만큼 그 심각성이 커 우리 사회에 큰 충격과 파장을 던져 주었으나, 그 이후 이렇다 할 산불진화에 대한 체계적인 시스템 개발이 이루어지지 않고 있다.

#### 1.2 연구목적

본 연구는 지리정보시스템을 이용하여 최근 5년간의 산불현황 통계자료와 지형자료, 기후자료, 임상자료 등으로 통합 데이터베이스를 구축하여 산불 다발지역을 분석하고, 산불의 예방을 위한 추가적인 정보를 제공하고 산불발생시 진화를 위한 주변의 산불확산에 대한 다양한 변수를 참조하여 산불진화에 효율적인 정보를 가지적으로 신속하게 제공해주기 위함이며, 더불어 종합적인 산불현황 정보를 관리함으로써 산불예방 계획 및 감시에 대한 의사결정 지원과 산불 발생지역의 환경과 영향요소 등을 종합 분석할 수 있는 응용시스템을 개발하는데 그 목적이 있다.

### 1.3 연구내용

본 연구에서는 우선적으로 기존 문헌 및 연구사례를 조사분석하였고, 관련기관의 업무과약을 통하여 사용자의 요구분석을 하였으며, 이러한 요구분석을 토대로 각종 공간 및 속성정보에 관한 데이터베이스를 설계 및 구축하였다. 이를 바탕으로 산불예방차원에서 벗어나 산불이 실제로 발화하였을 때 체계적인 비상연락망의 연결을 시작해서 관련기관의 유기적인 협조와 효율적이고 체계적인 진화를 할 수 있도록 의사결정에 도움을 주고, 산불의 확산을 예측하여 진화를 보다 안전하고 신속하게 할 수 있도록 도움을 줄 수 있는 산불방재통합시스템을 개발하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 시스템 구축범위

본 시스템의 공간적 범위는 대전광역시 유성구, 충청남도 공주시, 논산시 일대를 포함하는 계룡산지역이며, 시스템 기능상의 내용적 범위는 대상지역의 화재다발지역 관리예측기능과 기상정보를 이용한 산불 확산예측 모니터링, 기존 소방시설 운용과 최적이동경로 제시 및 대책수립, 사후 사고보고 및 산불정보관리 업무로 구분된다.

### 2.2 데이터베이스 설계

지리정보시스템을 구현함에 있어서 데이터가 차지하는 비중은 시스템의 70~80% 정도이며, 그만큼 지리정보시스템 상에서 데이터의 설계 및 구축관리는 중요하다. 또한 지리정보시스템에서는 데이터가 공간데이터와 속성데이터가 함께 저장되어야 하는데, ArcGIS에서 공간데이터는 벡터 구조로 저장되며, 이에 해당되는 지리적 요소에 대한 속성데이터는 도표내(INFO/VAT)에 저장된다.

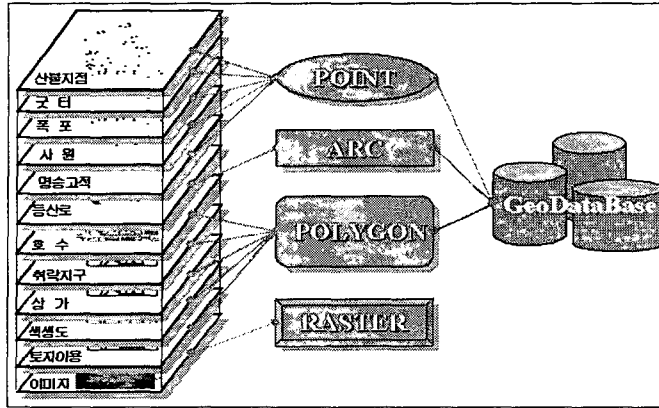
본 시스템은 필요한 데이터를 데이터베이스관리시스템(DBMS)을 통하여 구축함으로써 여러명의 사용자가 시간과 공간적인 제약 없이 안정적으로 데이터를 활용할 수 있도록 구현하였다.

#### 가. 공간데이터 설계

GIS를 이용한 산불예방 및 진화 시스템 구현에 필요한 공간데이터를 구축하기 위해 1:25000 수치지도를 이용하여 계룡산지역의 필요한 Layer를 추출하였다. 구체적으로 계룡산지역의 식생과 토지이용, 취락지구, 상가, 등산로, 명승고적, 산불발생지점, 산불발생유력지점 등을 Layer로 추출하였다.

---

6 데이터베이스관리시스템(Database Management System) : 사용자로부터 데이터를 효율적으로 구축, 운용, 관리할 수 있도록 해주는 소프트웨어



<그림 2> 공간데이터의 Layer 추출 및 설계

#### 나. 속성데이터 설계

산불사고현황을 참조할 수 있도록 필요한 요인 즉, 산불발생 지점, 날짜, 피해면적, 피해금액, 인명피해인원, 사고당시 기후현황 등을 속성으로 추출하였다.

### 2.3 시스템 주요기능 설계

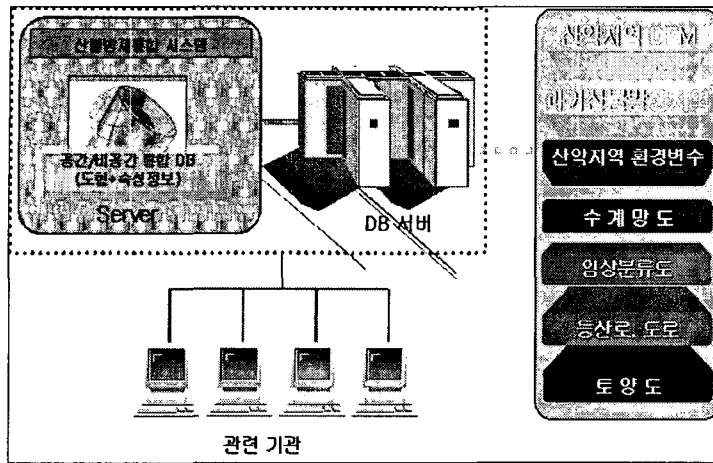
본 시스템은 산불방재를 위한 통합시스템으로써 산불예방, 산불확산예측, 진화대책, 사후관리와 같이 총 4가지 기능으로 분류해서 생각할 수 있다.

산불예방기능은 기상자료와 계룡산 주변의 생계자료 등을 바탕으로 실시간 별로 산불 발생위험 지수로 나타내주며, 산불예방차원으로 무속지역 및 기존의 산불발생 지역을 데이터베이스화하여 관리함으로써 산불발생에 대해 사전에 대비할 수 있도록 하였다.

산불확산예측기능은 ROS 모델 즉, 풍향, 풍속, 경사 등을 고려한 산불 확산률을 통하여 시간대별 산불의 확산범위를 산출하고, 그 형태를 지도상에 나타냄으로써 효과적인 산불진화를 유도할 수 있게 하였다.

진화대책기능으로는 산불 확산구역까지 최단시간 내에 도착 가능하도록 최적 경로를 제시하고, 산불발생시 관련기관으로의 발생지점, 발생시간, 풍향, 풍속, 현황 등의 정보를 통보하도록 하였다.

사후관리기능으로는 산불사고에 대한 보고서 작성, 현황 도면 관리기능과 해당 산불사고에 대한 전반적인 내용을 데이터베이스에 즉시 반영하여 관리함으로써 차후 구축된 데이터를 여러 기관이나 담당자들이 실시간으로 참조할 수 있도록 하였다.



<그림 3> 산불방제통합시스템 구성

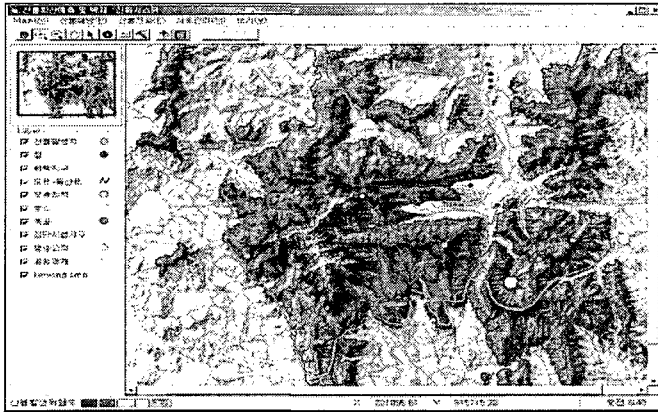
## 2.4 시스템 구현

GIS를 이용한 산불방제통합시스템 구현에 필요한 공간데이터와 속성데이터에 대한 주제도 작성을 위하여 ArcGIS 8.1과 ArcView 3.2 등의 소프트웨어를 이용하였고 위에서 제시한 공간데이터 설계내용대로 1:25000 수치지도를 이용하여 계룡산지역의 식생 및 토지이용현황, 등산로, 기후환경 등에 관한 Layer를 추출하였다. 결국 공간데이터는 ESRI사의 ArcSDE 8.0.2를 이용하여 Oracle8i 데이터베이스관리시스템에 구축하였고 속성데이터 역시 Oracle8i 데이터베이스관리시스템에 구축하여 통합 관리할 수 있도록 하였다.

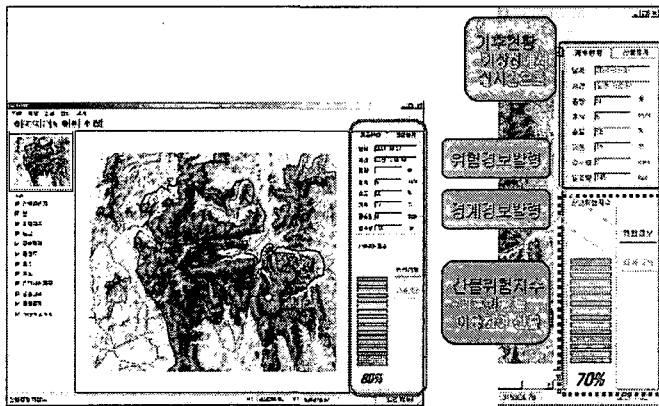
### 가. 산불예방 시스템

산불예방은 기상자료 주변의 생계자료 등을 통하여 실시간 별로 산불 발생위험 지수로 나타내주며, 또한 산불예방을 위해 무속지역과 기존의 산불발생지역을 집중 단속하여 산불발생에 대해 사전에 대비할 수 있는 준비를 함으로써 초동진화에 결정적인 역할을 할 수 있다.

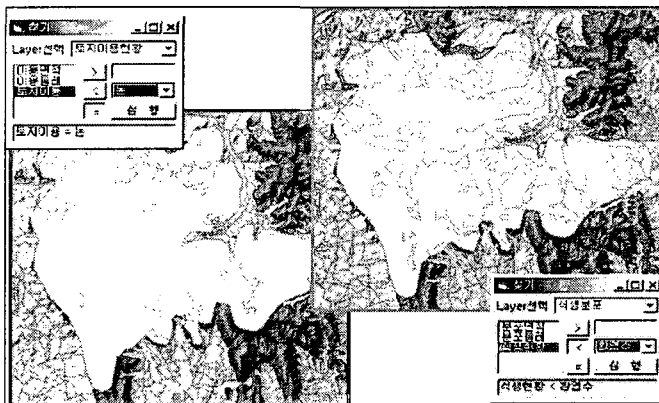
세부기능으로는 산불발생지점의 위치표시(좌표입력, 도면상의 위치입력), 특정지점 선택시 해당지역의 속성정보 표시, 임상, 지형, 기상정보등을 종합한 화재 발생가능지역을 표시하고, 기상정보를 이용하여 산불위험지수 산정을 통한 산불위험경보와 산불경계경보 상태확인이 가능하다.



<그림 4> 산불방재통합시스템의 주화면



<그림 5> 기후현황을 통한 산불위험경보, 경계경보 상태표시 기능



<그림 6> 토지이용현황 및 식생분포현황 검색 기능

## 나. 확산예측 시스템

국지적인 연료, 기상, 지형 등 다양한 변수에 의한 산불확산모델링이 필요하며, 단위 시간대별 확산범위 분석을 통하여 진화대책수립을 위한 사전정보로서 요구되어진다. 세부기능으로는 실시간 기상현황 출력기능(풍향, 풍속, 습도, 기온, 강수량, 일조량 등), 지형(경사도, 향)에 따른 화재확산률 분석 및 진행상황 화면출력기능 등이 있다.

이 기능을 통하여 산불 확산경로 및 확산범위의 정확한 예측으로 효과적인 화재진화를 유도하고 종전의 풍향, 풍속에 의한 다양한 기상자료와 지형 및 연료상태를 고려한 지리정보시스템 개념의 확산률(ROS)에 의해 확산 범위를 산출해 낼 수 있다.

### ※ ROS 모델

ROS(Rate of Spread)는 Canadian Forest Service에 의하면 '바람이 평형상태나 정상상태에 도달한 후에 기복이 있는 지형상에서 바람 따라 앞으로 확산되는 비율, 또는 바람 없는 방사상으로 확산하는 비율'이라고 정의되어지고 있다.

ROS를 계산하는 식은 Rothermel(1972)과 Albini(1976)에 의해 발달되었는데, 산불모델을 통해 연료습도, 경사, 풍속, 연료유형의 관계식에서 ROS값을 도출해 내었다. 관계식은 다음과 같다.

$$ROS(4cm, R2=0.91^{**}) = -0.21H+0.2S+1.07W-0.59F-1.56$$

$$ROS(6cm, R2=0.85^{**}) = -0.43H+0.24+1.16W-0.02F-1.08$$

H:연료습도(%), S:경사도(°), W:풍속(m/sec), F:연료유형

ROS에 영향을 주는 요인은 경사도, 풍속, 연료습도인데, 경사가 급할수록 풍속이 강할수록, 연료습도가 낮을수록 ROS는 증가하며, 경사도가 급할 경우 연료습도간의 ROS 차는 작아진다.

ROS를 계산하는데 있어 위 사항 이외에 고려되어야 할 것은 상향사면과 하향사면에 대한 ROS의 차이이다. 같은 경사도를 가진 지역이라 할지라도 상향사면을 따라 불이 확산되는 경우와 하향사면을 따라 확산되는 경우 각기 다른 불의 확산률을 보인다. 상향사면의 경우 경사가 급하면 급할수록, 풍속이 강하면 강할수록 연소 진행속도는 증가하는 반면, 하향사면은 15~30도까지의 연소진행 속도는 감소하나, 30도 이후부터는 증가함을 보였다.

일반적인 산불의 성장패턴이나 유형은 지표면상에서 부는 바람의 속도에 크게 영향을 받는다. 풍향이 계속 일정하다면, 불은 바람을 따라 성장하면서 전체적으로 타원의 형태를 갖춘다. 바람과 경사를 고려하지 않을 경우, 산불은 발화점을 중심으로 원형으로 확산된다. 타원형태인 산불의 면적과 변수길이를 계산하는 방법은 다음

과 같다. 전면확산거리(Forward spread distance)과 후면확산거리(Backfire spread distance)를 계산하고 화재면적과 주계길이를 계산한다.

$$A(\text{ha}) = [KA \times \text{ROS}(\text{m}/\text{min}) \times T(\text{min})]^2 \div 10,000 \text{ or } [KA \times \text{ROS}(\text{km}/\text{h}) \times T(\text{h})]^2 \times 100$$

$$P(\text{m}) = KP \times \text{ROS}(\text{m}/\text{min}) \times T(\text{min}) \text{ or } P(\text{km}) = KP \times \text{ROS}(\text{km}/\text{h}) \times T(\text{h})$$

전면확산거리 = ROS × 발화후 경과 시간

후면확산거리 = 전면확산거리 ÷ H/B

전체확산거리 = (전면확산거리 + 후면확산거리) ÷ L/B



<그림 7> 시간별 산불확산예측에 따른 진행상황 확인 기능

산불현황		X좌표	
연료유형	활엽	발화지점 X좌표	217060.2715039
연료수분함유량 (%)	20	Y좌표	317414.2658553
경사(도)	40	산불확산면적 (ha)	
풍속(m/sec)	5	전면확산거리 (m)	
경과시간(min)	입력하세요	후면확산거리 (m)	
경사방향	0	산불진행방향	
풍향	8	산불진화방향	진화준비중.
진화방향	입력하세요		
		보기	다시입력

<그림 8> 조건부여에 따른 산불확산예측 기능

면적증가율은 시간에 따라 일정하지 않다. 그것은 점화된 후 시간이 경과됨에 따라 상대적인 차이가 점차 증가한다. 즉, 연소지역은 처음의 ROS가 변하지 않는다면 시간간격의 제공에 상응하여 증가할 것이다. 예로, 불이 난 후 60분이 경과했을 때는 30분이 했을 때 보다 4배의 지역이 불에 타고 있을 것이다.

불 행태 모델을 하기 위해서는 경사와 사면, 연료분포와 기상자료 특히, 바람과 같은 입력자료들이 필요하다. 불이 확산될 때 물리적인 특성이 각기 다르기 때문에, 경사와 사면, 연료자료가 구축된 상태에서 바람에 대한 옵션을 설정할 수 있다. 바람은 기상청에서 측정되는 자료 이외에 국지적인 상황에 따라 변화될 수 있다.

우리나라의 산불연소 형태는 대부분 단순사면형으로서 산불이 일단 발생되면 빠른 속도로 능선 부위까지 발달하는 것이 일반적인 특징이다.

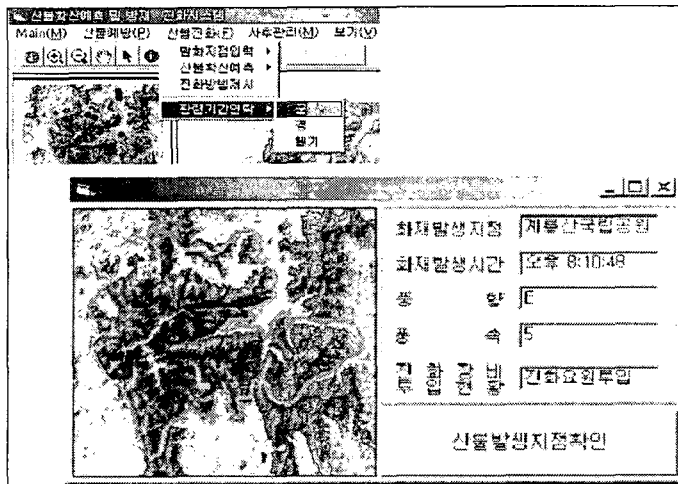
#### 다. 진화대책 시스템

산불확산구역까지 최단시간 내에 도착 가능한 산불진압시설의 판단을 위한 의사결정지원체계가 필요하다. 세부기능으로는 화재구역까지의 거리, 도로, 임도 상황을 고려한 최적의 이동경로확인, 관련기관으로의 신속한 연락 기능 등이 있다.



<그림 9> 산불발화지점까지의 최적 접근로 검색 기능

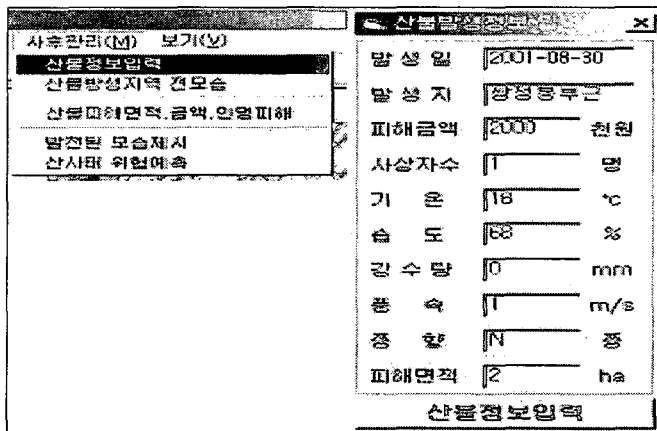




<그림 10> 관련기관으로의 통보 기능

#### 라. 사후관리시스템

산불발생 및 피해에 관한 공간정보가 부재한 상황에서 산불신고처리에 관한 사후 검토자료가 미비하여 산불관련 통계자료를 전산화할 필요가 있다. 이를 위해서 사고보고서 자동생성 및 편집기능과 관련문서 및 현황도면 관리기능을 통해 사고보고서를 자동 생성함으로써 행정업무의 절감효과와 더불어 산불관련 통계 데이터베이스를 자동으로 구축할 수 있고, 관련자료를 신속히 대내에 홍보하여 산불에 대한 경계심을 고취시킬 수 있다.



<그림 11> 산불발생에 관련된 정보입력

The screenshot shows a software window titled 'Attribute Table' with a search panel on the left. The search panel includes a date range filter (From: 1996, To: 1999), a list of search criteria with checkboxes (Cause, Location, etc.), and a '검색' (Search) button. The main window displays a table with the following data:

OBJECTID	ID	DATE	FAREA	FMONEY	PEOPLE	TEMPERE	HUMID
1	0	1995-04-23	2	175000	2	13.9	
2	1	1996-10-17	1	123000	0	10.6	
3	2	1997-05-10	1	1001000	0	13.9	
4	3	1998-11-17	2	167000	1	4.9	
5	4	1999-03-28	3	190000	1	4.6	
6	5	1999-09-21	2	999000	1	19.1	

<그림 12> 산불발생관련 통계자료 검색기능

### 3. 결론 및 향후 연구방향

현재 국내의 산불과 관련된 시스템은 산림청 뿐만 아니라 자치단체 어느 곳에서도 산불 진화와 관련된 시스템이 구축된 곳은 없다. 다만 산불 예방이라든가 산에 대한 데이터를 구축하여 산불 예방을 위한 시스템 정도가 전부라고 볼 수 있다.

이에 본 시스템은 산불과 관련된 모든 부분에 있어 체계적이고 유기적인 산불 화재의 예방과 진화체계 사후관리에 이르는 전반적인 시스템을 구축하였다. 계룡산이라는 특정지역의 산불과 관련된 종합적인 시스템 구축은 기존의 산불 관련 시스템보다 많은 부분을 통제할 수 있다.

본 시스템은 기존의 체계적이지 못한 산불 방재업무를 지리정보시스템을 이용하여 구축한 산불방재통합시스템으로 효율적으로 운영할 수 있다는 가능성을 제시하였으나 향후에는 전국을 대상으로 한 시스템 구축이 필요할 것이며, 제대로 된 시스템 구현을 위해서는 산림청과 각 지방자치 단체의 실무자의 적극적인 협조와 더불어 정확한 산불 발생시의 정보 및 산림정보, 기상정보 그리고 지도데이터의 실시간 갱신 및 구축이 필요할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 한국정보통신대학원대학교 부설 정보통신교육원 GIS프로그래밍과정 제10기 프로젝트의 일환으로 수행된 연구로서, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 박은경, 1996, GIS를 이용한 산불확산 모델링, 서울대학교 대학원 석사학위논문
2. 안상현, 2000, GIS를 이용한 산불방재방안, 충북대학교 대학원 석사학위논문
3. 이동윤 외 8인, 2001, GIS를 이용한 산불확산예측 및 방재 진화시스템, 한국정보통신대학원대학교 부설 정보통신교육원 GIS교육원 10기 프로젝트
4. Jong-Bong Byun, Cheon-Ku Kyung, 2001, The Study of the Forest Fire Management System in the Local Autonomous Entity using RS and GIS, Proceeding of International Symposium on Remote Sensing 2001, p.56-61
5. Myung-Hee Jo, 2001, Development of Forest Fire Information System using GIS, Proceeding of International Symposium on Remote Sensing 2001, p.49-55