

GIS를 이용한 산불확산예측 프로그램의 개발4)

이병두, 정주상

서울대학교 산림자원학과

1. 서론

최근 산불이 빈번해지고 피해 규모가 대형화되면서, 산불로 인한 산림생태계의 훼손 및 인명·재산상의 피해가 증가하고 있다. 특히, 우리나라는 산림과 주거지가 인접해 있고, 산불 발생이 대부분 인위적인 원인으로 산림과 주거지의 인접부에서 산불이 발생되어, 확산됨으로써 인명과 재산피해가 많다. 이러한 산불로 인한 인명·재산상의 피해를 최소화하기 위해서는 초동진화에 대한 노력이 절실하고, 이를 효과적으로 수행하기 위해서는 산불에 대한 발화, 확산 및 진화 등에 관한 체계적 이해가 우선적으로 요구된다. 하지만 산불은 지형, 기상, 임상구조 및 지피 조건 등 많은 인자들에 의해 쉽게 영향을 받아 산불의 연소 속도와 연소 방향 등이 복잡한 양상으로 나타난다. 또한 험준하고 복잡한 지형특성 및 다양한 임상분포 특성상 산악지형에 발생하는 산불을 지형, 기상, 임상 등 제반 산불관련 인자들과 연계하여 유기적인 해석을 한다는 것은 쉽지 않은 일이다.

이러한 관점에서 미국, 캐나다, 호주 등의 나라에서는 산불 재해에 적극 대처하기 위한 노력의 일환으로 종합적인 산불관리시스템이 개발되고 있다. 그 예로 미국에서는 산림청 산하 Rocky Mountain Research Station에서 산불 확산에 영향을 미치는 8 개의 인자를 입력 자료로 하여 산불의 크기, 강도, 확산 형태를 예측할 수 있는 모델을 개발하여 산불 진화 현장에서 이용하고 있으며, 캐나다에서는 산불관리시스템(Spatial Fire Management System)의 하위 모듈로 산불확산예측시스템(Canadian Forest Fire Behavior Prediction System)을 구축하여 산불 발생시 효율적 진화 전략 수립에 이용하고 있다.

이와 같이 선진화된 산불확산예측시스템을 구축하기 위해서는 우선 산불 확산에 영향을 미치는 지형, 기상, 연료 등과 관련된 주요 인자들을 선정하여 조사하고, 이러한 인자들이 산불의 확산에 미치는 영향을 체계적으로 분석함으로써 지형·기상·임상조건 등에 따른 산불확산예측함수의 개발이 요구된다. 또한 개발된 함수들의 실무적 활용을 위한 방안으로 GIS 등 산불확산예측을 위한 자동화 전산체계의 개발이 필히 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 점점 대형화되고 있는 산불의 효과적인 진화 전략 수립 및 산불진화 자원 최적 분배, 지역주민의 대피 등의 문제 해결에 의사결정지원시스템(Decision Making Support System)으로 이용될 수 있는 산불확산예측 프로그램을 개발하고자 하였다.

※ 본 연구는 과학기술부 특정연구개발사업의 연구결과임.

2. 산불의 확산 형태 및 확산함수

2. 1 국내의 산불확산예측 알고리즘

산불확산예측 프로그램에서 산불확산 행동을 실제적으로 예측하는 부분은 산불확산예측 알고리즘이라 할 수 있는데, 현재 국내외적으로 개발되어 이용되고 있는 산불확산예측 알고리즘들은 개발 방식에 따라 크게 래스터 방식과 벡터 방식 2가지로 구분된다. 래스터 방식의 산불확산 기법은 von Neumann(1966)에 의해 처음 도입되었으며, 공간자료를 동일한 속성을 갖는 작은 셀 형식으로 표현하여 산불확산을 예측하는 기법으로, 단순성과 응용가능성이 높아 현재까지 널리 이용되고 있다(Ball & Geurtin, 1992 ; Vasconcelos & Geurtin, 1992; Feunekes, 1991; 김웅식 등, 1998). 하지만 바람과 같은 시계열을 충분히 반영하기 어렵고, 산불의 확산이 이웃하는 셀의 연속적인 재발화 과정으로 정의되어 이루어지기 때문에 지리적인 왜곡현상이 발생하는 등의 문제점이 제기되고 있다(Mark, 1998 ; Richards, 1995).

이에 반해, 벡터 방식의 산불확산예측 알고리즘은 산불이 확산되는 공간을 래스터 방식처럼 셀로 표현하는 것이 아니라, 연속적인 공간으로 정의하며, 점과 폐곡선을 사용하여 산불의 확산을 표현한다. 이러한 벡터 방식을 응용하여 산불확산을 모델링한 예로는 Huygen의 확산 원리를 이용한 방식(Anderson 등, 1982 ; Mark, 1996)과 Huygen의 확산원리에 편미분방정식을 도입한 Richards(1990, 1995, 2000)의 기법이 대표적이다. French(1992)의 연구결과에 의하면 다양한 산불 확산 환경에서 래스터 방식과 벡터 방식을 비교한 결과, 계산 속도와 지리적 정확도에 있어서 모두 벡터 방식이 우세한 것으로 드러났다.

따라서 본 연구에서는 벡터 방식의 편미분방정식 기법을 응용하여 산악지형에 발생하는 산불의 특성을 지형, 기상, 임상 등 제반 산불관련 인자들을 유기적으로 연계하여 해석할 수 있는 GIS 응용 산불확산예측 알고리즘을 개발하였다.

2. 2 산불의 확산 형태

산불이 타원형태로 확산되는 것으로 가정(Anderson, 1983 ; Alexander, 1985 ; Albin, 1992)할 경우 Figure 1에서와 같이 발화점으로부터 전면확산율(Head ROS)은 $a+c$ 가 되며, 측면확산율(Flank ROS)은 b , 후면확산율(Back ROS)은 $a-c$ 가 된다. 이 때의 a , b , c 는 지형, 연료, 기상 조건에 의해 결정되는 ROS와 타원의 형태를 결정하는 폭대길이 비율(LB: Length-to-breadth ratio)에 의해 결정된다. LB의 개념은 Anderson(1983)에 의해 처음 제시된 것으로, 본 연구에서는 1985년 Alexander가 보고한 아래 식을 사용하였다.

$$LB = 0.936 e^{0.2566U} + 0.461 e^{-0.1548U} - 0.397 \dots (1)$$

이 식에서 U 는 풍속을 의미하는 것으로 바람이 없는 평면에서 산불은 원형으로 확산되기 때문에 LB 는 1이 되며, 풍속이 강해질수록 증가하여 편심율이 큰 타원을 구성하게 된다. LB 가 결정된 다음, 발화점으로부터 a 와 c 의 비율은 아래 식에 의한 후면대전면 비율(HB, Head-to-back ratio)에 의해 결정될 수 있다.

$$HB = \frac{(LB + (LB^2 - 1)^{0.5})}{(LB - (LB^2 - 1)^{0.5})} \quad \text{----- (2)}$$

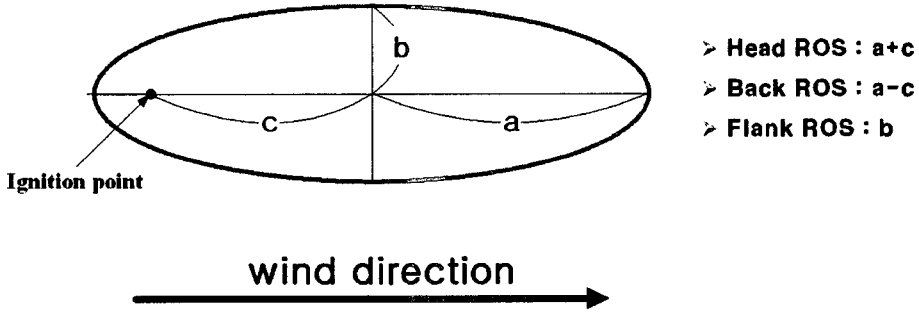


Figure 1. General shape of forest fire associated with wind direction.

ROS, LB, HB가 계산된 다음, 최종적으로 타원의 형태는 다음의 식으로 결정되는 a, b, c로 정의될 수 있다(Alexander, 1985).

$$a = 0.5 \cdot \frac{(ROS + ROS/HB)}{(LB)} \quad \text{----- (3)}$$

$$b = \frac{(ROS + ROS/HB)}{2.0} \quad \text{----- (4)}$$

$$c = b - ROS/HB \quad \text{----- (5)}$$

2.3 산불확산예측 함수

Richards(1990)에 의해 처음 제시된 편미분방정식 기법은, 지형과 연료조건이 동일할 때 산불은 바람의 영향을 받아 타원형으로 확산한다는 가정아래, 산불을 구성하고 있는 경계선상의 점의 위치를 시간과 각도 두 가지 변수에 대한 편미분을 통해 산불확산을 계산하는 방식이다. 즉, 산불이 발생한 다음, 시간 t가 경과한 후 이루어지는 산불경계는 타원을 이루는 일정한 점들의 집합으로 구성된다. 여기서 시간의 함수 t를 일정한 시간대(Δt)의 반복되는 횟수(j)로 정의할 때 $t = j \cdot \Delta t$ ($j=0,1,2, \dots$)로 표현할 수 있고, 일정한 시점의 산불경계를 이루는 타원 위의 한 점이 바람의 방향과 이루는 각(a)은 단위각(Δs)의 반복되는 횟수(i)로 정의할 때 $\alpha = i \cdot \Delta s$ ($\Delta s = 2\pi/n, i=0,1,2, \dots, n$)로 표현할 수 있다. 결국 산불경계는 바람의 영향을 받으면서 시간의 흐름에 따라 점차 확대되는 타원으로 나타나므로 타원 위의 점

(\vec{x}^{ij})은 t 와 a 의 함수관계로 표현될 수 있고 이를 통해 산불의 확산을 설명할 수 있는 것이다.

Figure 2는 이러한 함수관계를 보여주고 있다. 즉, 연료구성이 동일한 평지에서 일정한 속도의 바람이 일정한 방향으로 불고 있을 때 시간 i 의 산불경계가 시간 $i+1$ 까지 확대되어 새로운 산불경계가 형성되는 것을 보여준다. 이 그림에 의하면 바람방향 전면에 위치하고 있는 Point 1에서의 확산속도가 가장 빠르고, 타원을 따라 이 점에서 멀어질수록 확산속도가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

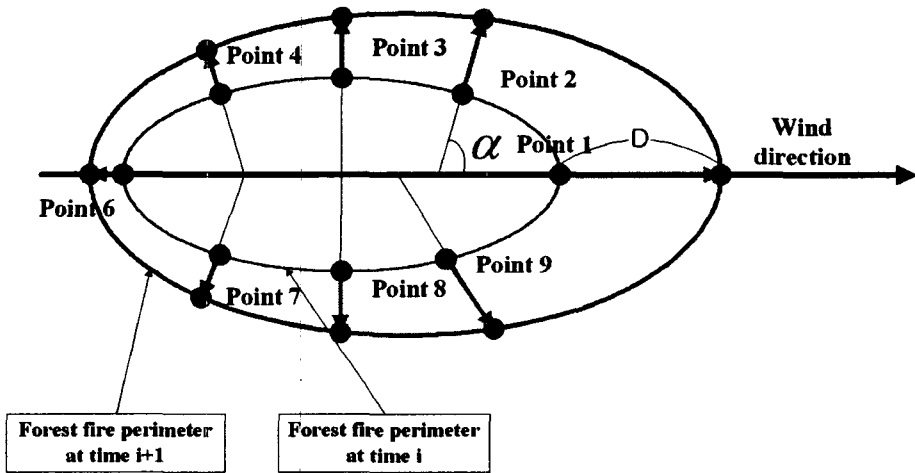


Figure 2. Pattern of fire spread rate associated with wind direction.

한편 이러한 원리는 3차원 평면상에서도 마찬가지로, 바람방향을 $\vec{\theta}$ 라 정의하고, 3차원 평면에 수직인 벡터를 \vec{N} 라 하면, 산불의 확산을 설명하는 타원에 있어서 장축의 방향은 바람방향, 즉, $\vec{\theta}$ 와 동일하며, 단축의 방향은 벡터의 곱셈 정의에 의하여 $\vec{\theta} \times \vec{N}$ 으로 결정된다. 이때 일정시간이 지난 다음 타원 위에 위치하고 있는 한 점의 확산속도는 Figure 3에서 보는 바와 같이 타원에서의 법선벡터(\vec{n})와 바람방향인 $\vec{\theta}$ 와 이루는 사이각 a 에 의해서 결정된다.

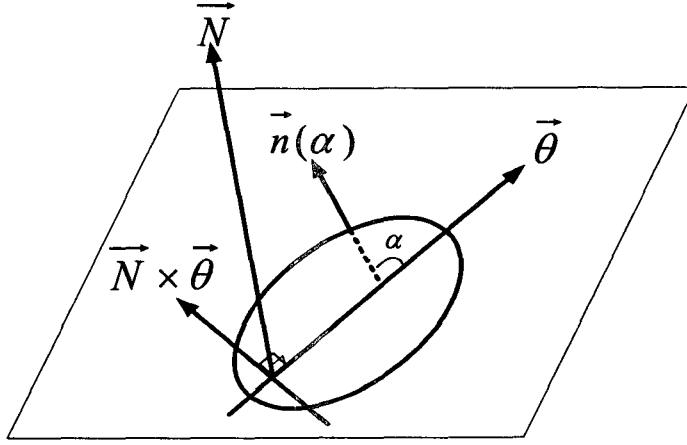


Figure 9. 3-dimensional fire growth (Richards, 2000).

이러한 원리를 GIS에 공간분석기법에 적용하기 위해서는 벡터를 3차원 좌표값으로 표현할 필요가 있다. 이를 위해 우선 타원 위의 점 \vec{x}^{ij} 의 평면좌표를 의미하는 $X_1^{ij}(\alpha^{ij})$, $X_2^{ij}(\alpha^{ij})$ 은 \vec{x}^{ij} 와 산불의 진행방향($\vec{\theta}^{ij}$)과 이루는 각 α^{ij} 에 의한 함수 관계에서 결정할 수 있다. 즉, 각각 Figure 1과 2에서 정의된 a, b, c 및 α 에 의해 평면좌표 $X_1^{ij}(\alpha^{ij})$, $X_2^{ij}(\alpha^{ij})$ 은 각각 다음의 식으로 표현된다 (Richards, 2000).

$$X_1^{ij}(\alpha^{ij}) = \frac{a^2 \cos \alpha}{(a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha)^{1/2}} + c \quad (6)$$

$$X_2^{ij}(\alpha^{ij}) = \frac{b^2 \sin \alpha}{(a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha)^{1/2}} \quad (7)$$

이처럼 결정된 점 \vec{x}^{ij} 의 평면좌표를 토대로 Δt 의 시간이 흐르면서 새로이 생성되는 점 \vec{x}^{ij+1} 는 점 \vec{x}^{ij} 가 확산되어 생성되는 것이므로 다음 식과 같이 바람을 정의하는 벡터 $\vec{\theta}^{ij}$ 와 평면의 단위수직벡터 \vec{N}^{ij} 의 함수관계에 의해 3차원 벡터로 나타낼 수 있다.

$$\vec{x}^{ij+1} = \vec{x}^{ij} + \Delta t (X_1^{ij}(\alpha^{ij}) \cdot \vec{\theta}^{ij} + X_2^{ij}(\alpha^{ij}) \cdot \vec{N}^{ij} \times \vec{\theta}^{ij}) \quad (8)$$

이 식을 활용하기 위해서는 α^{ij} , \vec{N}^{ij} 및 $\vec{\theta}^{ij}$ 를 정의할 수 있어야 한다. 이 중 $\vec{\theta}^{ij}$ 는 시간에 따라 변하는 바람의 방향과 속도에 대한 입력자료에 의해 결정될 수 있고, Figure 4에서 3차원 지형표면에 수직인 단위벡터로 표현된 \vec{N}^{ij} 은 수치지형도의 등고선 자료를 기반으로 구성된 TIN으로부터 점 \vec{x}^{ij} 가 위치하고 있는 사면의 세 점의 좌표와 경사향 및 경사를 읽어 도출할 수 있다.

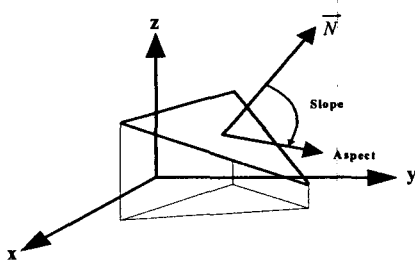


Figure 4. Normal vector (\vec{N}^{ij}) to a 3-dimensional plane.

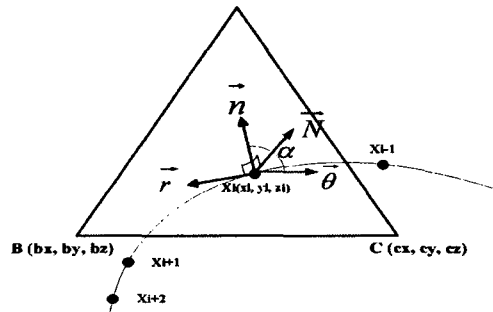


Figure 5. Direction of \vec{r} , \vec{N} , \vec{n} , $\vec{\theta}$ at point \vec{x}^{ij} .

반면 α^{ij} 는 Figure 5에 보이는 \vec{n}^{ij} , \vec{N}^{ij} 및 \vec{r}^{ij} 의 함수관계에 의해 결정할 수 있다. 이 중 접선벡터 \vec{r}^{ij} 는 점 \vec{x}^{ij} 이 점 \vec{x}^{i-1j} 과 점 \vec{x}^{i+1j} 사이의 중앙에 위치한다고 가정할 때 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\vec{r}^{ij} = \frac{\vec{x}^{i+1j} - \vec{x}^{i-1j}}{\|\vec{x}^{i+1j} - \vec{x}^{i-1j}\|} \quad \dots\dots\dots (9)$$

이처럼 3차원 표면에 수직인 법선벡터 \vec{N}^{ij} 과 접선벡터 \vec{r}^{ij} 가 결정되면 $\vec{n}^{ij} = \vec{N}^{ij} \times \vec{r}^{ij}$ 의 정의로부터 \vec{n}^{ij} 를 결정할 수 있으므로, 최종적으로 \vec{x}^{ij} 에서 바람방향 단위벡터 $\vec{\theta}^{ij}$ 와 \vec{n}^{ij} 에 의해 구성되는 사이의 각 α^{ij} 는 벡터의 내적 ($\cos \alpha^{ij} = \vec{n}^{ij} \cdot \vec{\theta}^{ij}$)과 외적($\sin \alpha^{ij} = \|\vec{N}^{ij} \times \vec{\theta}^{ij}\| \cdot \|\vec{n}^{ij}\|$)을 통해 계산할 수 있다.

3. 산불확산예측 프로그램의 개발

3. 1 개발환경

산불은 지형, 기상, 연료 인자의 상호작용에 의한 공간적 현상이므로, 공간문제를 해결하는데 있어서 강력한 도구로 이용되는 GIS를 이용하여 자동화 모델로 개발하였다. 공간해석을 위한 GIS 엔진으로는 객체 기반 컴포넌트로 구성되어 비주얼베이직이나 C++과 같은 COM 기반언어를 사용하여 손쉽게 사용자 정의 애플리케이션 개발이 가능한 ESRI사의 ArcObjects를 이용하였다. 또한 사용자 인터페이스와 프로그램은 Microsoft사의 Visual Basic 6.0을 이용하여 개발하였다. 개발된 프로그램의 운영환경으로는 프로그램의 보급성을 고려하여, Microsoft사의 Windows NT(2000, XP) 계열에서 운영될 수 있도록 하였다.

3. 2 프로그램의 구조와 운용체계

산불확산예측프로그램의 기본구조는 Figure 6과 같이 연료와 지형, 기상인자 및 발화점을 입력하는 입력부분과 입력된 자료를 이용하여 산불행동을 예측하는 산불확산예측 부분, 그리고 마지막으로 예측된 결과물을 다양한 형태로 표현하여 사용자에게 제시하는 출력부분으로 구성 되어 있다.

입력부분은 산불확산에 있어서 기초자료로 이용되는 연료 및 지형과 관련된 수치지도를 입력하는 기능과 예측하고자 하는 산불의 발화점의 좌표와 발화일시 등의 발화와 관련된 자료를 입력하는 발화환경 입력기능, AWS 기상데이터를 이용한 풍속과 풍향 입력 및 연료습도봉 자료를 이용하여 연료습도를 입력하는 기상데이터 입력기능 등 크게 3가지 기능으로 구성된다.

산불확산예측 부분에서는 입력된 인자별 데이터 변환 등을 통해 산불을 예측하는 역할을 담당한다. 산불의 예측정확도와 산불확산예측에 걸리는 시간은 사용자가 입력한 데이터의 정확도와 또한 사용자가 정의한 시간 및 공간해상력에 의해 좌우된다. 마지막으로 출력부분은 산불확산예측 부분을 통하여 생성된 예측결과를 제시하는 부분으로서 시간에 따른 산불확산에 따른 도달시간, 확산속도, 강도, 연소 면적 등을 다양한 형태로 제공하는 기능을 가진다.

GIS를 이용한 산불확산예측 프로그램의 개발

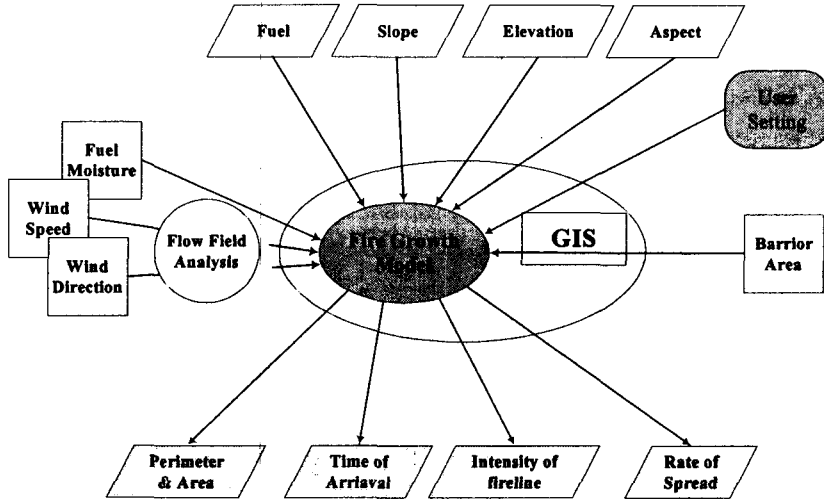


Figure 12. Framework of the forest fire behavior prediction program.

3. 3 공간자료 입력

산불확산예측프로그램에서 요구되는 공간자료는 지형도, 임상도, 경사도, 경사향도, TIN, 임도망도, 도로도, 수계도, 마을위치도, 장애지역위치도 등 총 10가지이다. 이중 지형도, 임상도, 경사도, 경사향도, TIN은 필수적으로 입력해야 하는 부분이며, 나머지 5개의 지도는 선택사항이다.

지형도, 도로도, 마을위치도, 수계도는 국립지리원에서 발행한 수치지형도를 이용하여 레이어 편집을 통해 생성이 가능하며, TIN과 경사도, 경사향도는 GIS의 표면분석을 통해 분석이 가능하다. 임상도와 임도망도는 FGIS 사업의 일환으로 구축된 수치임상도와 수치임도도를 통해 자료 획득이 이루어지며, 마지막으로 장애지역 즉, 산불이 확산되지 못하는 지역은 사용자가 입력할 수 있도록 하였다.

3. 4 연료모델 작성모델

산불의 구성요소 중 하나인 연료인자의 입력은 수치임상도를 이용하여 본 연구에서 작성한 연료모델 작성모델을 이용하여 이루어질 수 있도록 하였다. 수치임상도는 수종, 영급, 경급, 소밀도의 정보를 표현하고 있으므로 정연하 등(1989)이 산화위험을 예측에 관한 연구에서 제시한 산불연료구분도와 이시영(1990)이 연료특성을 밝히기 위하여 실시한 연구결과를 이용해 연료특성을 구분하여 작성하였다.

본 연구에서 이용한 Rothermel의 ROS 식에서 연료와 관련된 입력인자는 연료소화습도 (M_x), 건중연료량 (W_0), 열함유량(h), 총광물함유량 (S_p), 유효광물함유량 (S_e), 연료의 건중밀도 (ρ_p), 재적 대 표면면적 비율(α), 연료층의 평균깊이(δ)인데 이중 실제적으로 산불행

동을 예측하는데 있어서 몇 가지의 연료 특성은 산불 행동에 미미한 영향을 미치거나 혹은 영향을 정확히 규명하기 어려운 것이 사실이다. 따라서 이러한 연료특성에 따라 산불이 받는 영향은 일정하다고 가정(Burgan 등, 1984)하는 것이 일반적이므로, 본 연구에서도 연료의 건조 밀도, 총광물함유량, 유효광물함유량은 각각 512.4 kg/m³, 0.555, 0.010으로 모든 수종에 동일하게 적용하였다.

3. 5 기상인자 입력 모듈

기상인자는 산불확산 형태에 큰 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소이다. 온도, 상대 습도, 강수량은 연료의 습도에 영향을 미치며, 바람은 산불의 행동을 결정하는 중요한 요소이다. 따라서 산불확산예측에 대한 정확도는 기상인자의 정확한 측정과 입력에 의해 좌우될 수 있다.

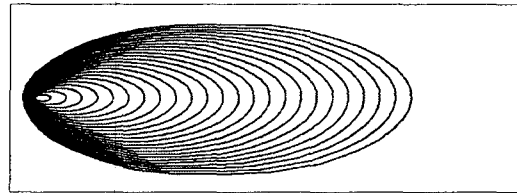
본 연구에서는 기상인자와 관련해서 실효습도, 풍속, 풍향 등 세 가지 인자를 모델링에 이용하였는데, 이러한 기상인자를 프로그램에 입력하는 방식은 상황에 따라 두 가지 방법 중에서 선택할 수 있도록 설계하였다. 첫 번째 방법은 지금까지 개발된 대부분의 산불확산예측프로그램에서 이용된 방식으로 산불확산예측 기간동안 기상인자를 동일하게 적용하는 방법이다. 이는 산불의 규모가 작을 경우와 축적된 기상데이터가 존재하지 않아 기상인자의 변화 패턴을 알 수 없는 경우에 적용이 가능하다. 두 번째 방법으로는 축적된 기상데이터가 존재하는 경우와 산불확산 지역의 기사예측이 가능한 경우에 적용할 수 있는 방법으로서 산불예측기간을 여러 단위로 나누어 기상인자를 시계열로 입력하는 방법이다.

3. 6 발화점 입력

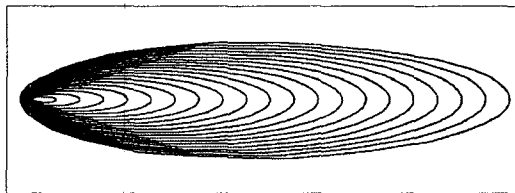
산불확산예측을 위한 제반인자들의 입력이 완료되면 마지막으로 산불의 발화점을 입력해야 한다. 발화점의 입력은 사용자가 수치지형도 위에서 점(Point)형태로 직접 입력할 수 있으며, 또한, 현재 산불관리 체계에 있어서 발화점의 위치가 경·위도 좌표체계로 통용되고 있으므로 사용자가 경위도 좌표를 이용하여 입력할 수 있도록 하였다.

4. 산불확산예측 프로그램의 응용

개발된 산불확산예측 프로그램의 적용성을 검토하기 위하여 Figure 7에서 11에서와 같이 가상의 산불환경을 입력하여 출력된 예측결과를 검토하였다. Figure 7은 경사가 거의 없고 균질한 임상특성을 지닌 산림에 서풍이 불 때 풍속의 변화에 따른 산불의 확산형태를 보여주고 있다. 이 그림에서 (b)는 (a)에 비해 풍속이 1.5배 강한 경우로 풍속이 강할수록 산불의 폭대길이(length-to-width)의 비율이 증가한 것을 알 수 있다.



(a) weak wind



(b) strong wind

Figure 7. Effects of wind velocity on forest fire spread pattern.

Figure 8은 풍속은 변하지 않은 상황에서 풍향이 서풍에서 남풍으로 변했을 때의 산불확산 결과를 보여준다. 즉, 서풍이 불면서 동쪽으로 진행하던 산불이 풍향이 남풍으로 변하면서 북쪽으로 방향을 변경하는 확산형태를 보여준다.

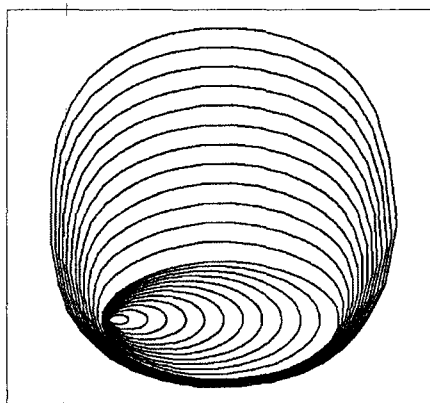


Figure 8. Effect of wind direction on forest fire spread pattern.

Figure 9는 산불의 확산형태가 연료특성에 따라 달라지는 것을 보여준다. 즉, 이 그림에서

R1 지역의 임상특성이 R2 지역에 비해 산불 확산에 유리한 경우를 가정할 때 R1 지역의 확산 속도가 상대적으로 빠른 경우를 보여준다.

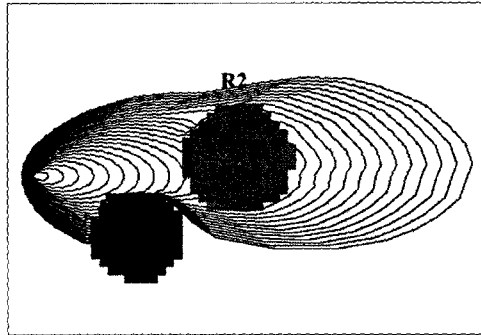


Figure 9. Forest fire spread pattern influenced by fuel types, R1 and R2.

산불확산 경로상에 바위나 농지 등과 같이 비연소지역이 존재하는 경우의 산불확산형태를 Figure 10에서 보여주고 있다. 이 그림의 왼쪽은 산불의 확산방향의 측면에 비연소지역이 존재하고 있으며, 오른쪽은 산불의 전면 확산방향에 두 개의 비연소지역이 위치하고 있을 때의 산불확산 결과를 제시하고 있다.

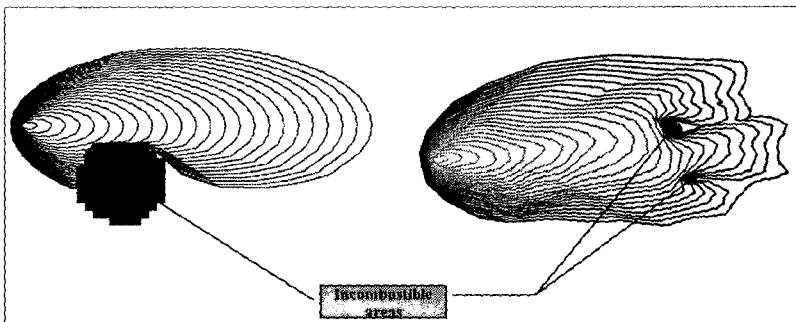


Figure 10. Forest fire spread pattern influenced by incombustible areas.

산악지형의 영향을 받아 산불확산이 변화되는 모습을 Figure 11이 보여주고 있다. 같은 사면 경사라 할지라도 산불의 진행방향의 상·하향 경사 특성에 따라 산불의 확산속도가 달라진다. 이 그림에 의하면 능선을 향하고 있는 산불이 능선을 지나 하향경사를 만나면 상대적으로 진행 속도가 느려짐을 알 수 있다.



Figure 11. Forest fire spread pattern influenced by uphill and downhill slopes.

Figure 12부터 Figure 15는 산불확산예측프로그램 상에서의 예측결과를 나타내는 창을 보여주고 있다. 특히 Figure 12는 산불확산예측결과 중 산불확산속도를 연료, 지형 데이터와 함께 보여주고 있으며, Figure 13은 산불확산속도와 풍속을 이용하여 계산된 산불경계선에서의 산불강도를 보여주고 있다. 이러한 예측결과는 Figure 14와 같이 3차원상으로 표현해 지형공간정보를 효율적으로 제공해 줄 수 있다.

산불확산예측이 이루어진 다음, 산불확산예측 결과에 대한 정보는 Figure 15와 같이 제공되는데, 발화일시, 발화장소와 같은 산불에 대한 기본정보에서 평균확산속도와 총연소면적 등 산불확산예측 결과에 대한 정보가 제공된다. 아울러 시간에 따른 연소면적과 누적연소면적이 그래프로써 제시된다.

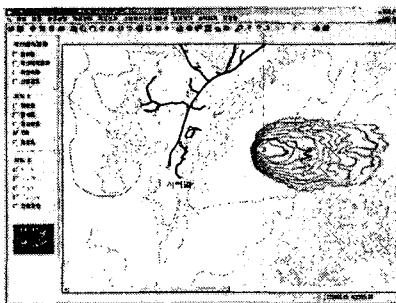


Figure 12. Output screen of predicted forest fire spread.



Figure 13. Output screen of predicted forest fire intensity.



Figure 14. Output screen of forest fire spread pattern on 3-dimensional terrain.

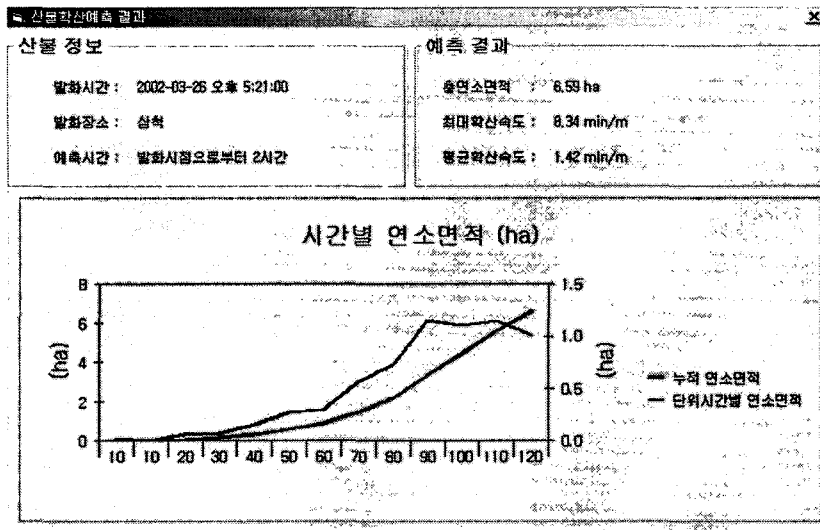


Figure 15. Statistical analysis screen of predicted forest fire behavior.

5. 결론

본 연구에서는 국내 산악지형에 발생하는 산불의 특성을 지형, 기상, 임상 등 제반 산불관련

GIS를 이용한 산불확산예측 프로그램의 개발

인자들을 유기적으로 연계하여 해석할 수 있는 산불확산예측프로그램을 GIS와 통합된 체계로 개발하였다. 본 연구에서 개발된 프로그램을 산불방재에 활용하면 산불발생시 산불의 확산 경로를 예측하여 초동진화와 산불 진화를 위한 인력과 장비 동원에 따른 시간 절약과 산불진화대원의 안전 및 산불 피해를 최소화하는데 기초자료로 이용될 수 있으리라 판단된다. 또한, 산불확산예측의 중요성에도 불구하고, 국내 연구 실정이 미비한 상태에서 산불확산예측에 대한 이해를 진작하는데 기여할 수 있다고 판단된다.

하지만, 산불확산예측에 있어서 기초자료로 활용될 수 있는 산불확산 속도 및 강도에 대한 자료와 연구가 미흡한 실정에서 본 프로그램이 개발되어 이후 많은 부분에 있어서 자료의 축적으로 인한 수정이 불가피하다. 특히 연료모델에 있어서는 국내 임상현황에 맞는 연료 분류체계를 개발하고 이에 따른 연료모델을 작성하는 것이 무엇보다도 우선시되고 있다. 따라서 보다 근본적인 산불관리 대책으로 산불에 관한 특성을 파악하기 위한 연구를 통해 기초 자료를 축적해 갈 필요가 있으며, 특히 이러한 자료들을 근간으로 산불확산예측프로그램의 끊임없는 재개발이 수행되어야 할 것이다.

인용문헌

- 김응식, 이시영, 임효재, 김홍, 송종훈, 김수영. 1998. 유동장 해석을 통한 산불확산예측 프로그램의 개발. 한국임학회지 87(4):528-534.
- 정연하·이시영·염옥철·여운홍. 1989. 산화위험을 예측에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 38:117-123.
- 이시영. 1990. 환경인자가 산불의 온도 및 진행속도에 미치는 영향. 동국대학교 석사학위논문. pp.1-44.
- Alexander, M. E. 1985. Estimating the length-to-breadth ratio of elliptical forest fire patterns. Proceeding of 8th Conference Fire and Forest Meteorology. pp.287-304.
- Anderson, D. H., E. A. Catchpole, N. J. de Mestre and T. Parks. 1982. Modelling the spread of grass fires. Journal Australian Mathematical Society 23:451-466.
- Ball, G. L and D. P. Guertin. 1992. Simulation of fire growth. International Journal of Wildland Fire 2:47-54.
- Burgan, R. E. and R. C. Rothermel. 1984. BEHAVE : Fire behavior prediction and fuel modeling system. USDA Forest Service. General Technical Report. INT-167.
- Feunekes, U. 1991. Error analysis in fire simulation models. M. Sc. thesis, University of New Brunswick, Canada.
- French, I. A. 1992. Visualization techniques for the computer simulation of bushfires in tow dimensions. M. Sc. Thesis, University of New South Wales, Australia.
- Mark, A. F. 1998. FARSITE : Fire Area Simulator - Model Development and Evaluation. Rocky Mountain Research Station. pp.1-7.

- von Neumann, J. 1996. Theory of self-reproducing Automata. University of Illinois. Urbana.
- Rothermel, R. C. 1972. A mathematical model for prediction fire spread in wildland fuels. Research Paper INT-115(Ogden, UT : USDA Forest Service, Intermountain Research Station)
- Richards, G. D. 1990. An elliptical growth model of forest fire fronts and its numerical solution. International Journal Numerical Methods Engineering 30:1130-1149.
- Richards, G. D. 1995. A general mathematical framework for modelling tow-dimensional wildland fire spread. International Journal of Wildland Fire 5(2):63-72.
- Richards, G. D. 2000. The mathematical modelling and computer simulation of wildland fire perimeter growth over a 3-dimensional surface. International Journal of Wildland Fire 9 (3): 213-221.
- Vasconcelos, M. J. and D. P. Guertin. 1992. Simulation of fire growth. International Journal of Wildland Fire 2:87-96.