한 국 방 재 학 회 논 문 집
제8권 4호 2008년 8월
pp. 75 ~ 79



# 경사에 따른 산불의 확산속도

## Spread Speed of Forest Fire based on Slope

안상현* · 신영철**
An, Sang-Hyun · Shin, Young-Chun

### Abstract

As Information Technology developed, Information requirement has been went higher. In the field of GIS(Geographic Information System) more information is processed more quickly and accurately. Especially, quick analysis of forest fire information (topography, ignition point, weather condition, etc.) over a wide area is essential in order to minimize victim, environmental damage, and economical damage, decide course of evacuating, estimate a fire spread course, and attack resource arrangement. We determined a fire spread distance at each unit time through an experiment with various slope degrees and distinction of flat , upslope and downslope. For the tests on the upslope, as the slope increased, the rate of spread increased. On the downslope in contrast with the upslope, as the slope increased, the rate of spread decreased. We analyzed a spread rate of forest fire on each slope as the method classified upslope(+) and downslope(*−*) using the results obtained from the experiment. Consequently, the proposed method is able to be used to effectively support the attack of forest fire by providing accurate predictions of fire spread.

***Key words :*** GIS, Forest Fire, Slope, Fire Spread Rate

### 요 지

현재는 기술적인 발전을 토대로 정보의 요구수준이 상당부분 증대되었으며 GIS (Geographic Information System)분야 또한 더 많은 정보를 보다 신속하고 정확하게 처리 되어지고 있다. 특히 산불에 있어서는 산불발생시 공간적으로 넓은 지역을 신속히 분석하여 진화의 기초자료로 활용함으로써 환경적, 경제적, 인명적 피해를 최소화하고 대피경로, 확산경로 및 진화자원의 효율적 배치를 결정하는데 필수적이다. 이러한 산불확산에 영향을 미치는 인자 중에서 경사에 따른 산불확산속도를 규명하기 위하여 경사 및 경사방향에 따른 실험을 실시하였다. 실험결과 상향경사의 경우 경사가 증가할수록 시간이 감소하고, 하향경사에서는 증가하는 경향을 나타내었다. 실험결과 값을 토대로 상향경사는 (+), 하향경사는 (−)로 구분하여 경사에 따른 산불확산속도를 계산하였으며, 이러한 결과는 정확한 산불확산예측을 하는데 기여함으로써 효과적인 산불진화에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 지리정보시스템, 산불, 경사, 산불확산속도

## 1. 서 론

산불이 발생하면 직접적으로 산불피해를 입은 국가나 지역의 토지피복, 토지이용, 생물종 다양성, 기후변화와 산림생태계를 포함한 제반 환경이 많은 영향을 받을 뿐만 아니라, 산불의 영향을 받은 인접 국가들의 사회, 경제, 인간 건강에도 지대한 영향을 미친다(산림청, 2001). 과거 자연 현상의 하나로 받아들여지던 산불이 이제는 인위적 실화로 발생하고 있으며(류장혁 등, 1996), 봄철 산불은 초기에 진화하지 못하면 강한 바람을 타고 큰 산불로 번지는 것이 특징으로서 산림녹화와 가뭄, 지역적인 기상 이변으로 대형화되고 있다(산림청, 2005). 이러한 대형산불은 과거에는 주로 건조한 지역인 동해안 지역에서만 발생하였으나 최근에는 숲이 울창해지면서 과거 큰 산불이 없었던 서해안까지 발생하여 전국화되는 경향이다. 따라서 산불로 인한 재해를 미연에 방지하고 피해를 저감하기 위해서는 산불을 효율적으로 관리할 필요가 있다.

산불을 효율적으로 방지하기 위해서는 산불발생위험을 판정할 수 있는 알고리즘 개발뿐만 아니라 관련인자의 DB 구축 및 시스템 개발이 필요한데 산불 방지에 있어서 선진국인 미국은 1914년부터 산불위험등급시스템 관련 연구를 시작하여 1972년 국가산불위험지수시스템(NFDRS)을 개발, 1978년부터 실용화하고 있으며(Bradshaw 등, 1983), Finney(1998)는 GIS기술을 접목시켜 지형자료(고도, 경사 및 향), 연료분포도, 울폐도, 토양도 등의 공간자료와 기상, 풍속, 풍향, 연

*정회원 · 충북대학교 응용생명환경학부 시간강사(E-mail : shan508@hanmail.net)
**충북대학교 응용생명환경학부 교수

료습도 등의 속성자료를 활용하여 산불의 강도, 확산예상경로, 확산속도 등을 산출해 낼 수 있는 산불 시뮬레이션 프로그램인 FARSITE를 개발하여 계속해서 발전시키고 있다. 캐나다도 1920년대부터 연구를 시작하여 1968년 캐나다산불위험지수시스템(CFFDRS)을 개발하여 현재 실용화하고 있다(Hirsch, 1996). 우리나라는 1986년에 이르러서 산불 연구를 시작하였으며, 산불발생위험예측에 대한 연구(정연하 등, 1989; 이시영, 1995)뿐만 아니라, GIS를 이용하여 산불을 효율적으로 관리하려는 연구에 이르기까지 다양하게 시도되고 있다(신영철 등, 2000; 조명희 등, 2001). 한편 화두의 연소행태에 따라 확산 형태나 피해 정도가 결정되기 때문에 산불의 효율적 진화를 위하여 산불의 확산예측에 관한 많은 연구(이병두 등, 2002)가 이루어지고 있다. 안상현(2006)은 산불의 확산예측에 중요한 경사인자에 대한 셀 기반 경사계산 알고리즘을 제안하여 산불 화두의 최대 확산속도를 예측 할 수 있는 기초연구를 수행하였다.

본 연구에서는 산불의 확산속도에 영향을 주는 인자 중에서 지형에 해당하는 경사를 기반으로 연구를 수행하였다. 동일한 경사일지라도 산불이 발생되어 진행되는 방향에 따라 상향과 하향이 결정되며, 산불확산속도는 상향과 하향에 따라 차이가 크다. 이시영(1995)도 낙엽을 이용하여 경사에 대한 산불확산실험을 하였지만, 연소물질의 밀도가 동일하지 않아 경사뿐만 아니라 연소물질의 양에 따라 확산속도가 달라지기 때문에 순수하게 경사에 따른 값을 측정하였다고 보기 어렵다. 또한 산불이 진행되는 경사방향에 따라 상향사면, 하향사면으로 용어를 정의하였는데, 하나의 단순사면에서 산불이 한 방향으로만 진행된다면 상관없지만 대부분의 산불이 하나의 사면에서 360도 모든 방향으로 진행되기 때문에 전체를 동일하게 보기는 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 연소물질의 밀도를 동일하게 하여 실험을 실시하였으며, 상향사면과 하향사면 대신 산불이 진행되는 방향에 따라 각 지점을 상향경사와 하향경사로 구분하였다. 경사에 따른 산불확산속도는 현장실험을 통하여 획득하는 것이 최상이지만 실험을 위한 동일한 임상과 지형을 조성하는데 많은 시간이 소요되고, 우리나라 대부분의 산림 인접지역에 사람이 살고 있어 실제 산불연소실험을 위한 허가와 산불에 영향을 주는 다른 인자에 대한 제한이 어렵기 때문에 모형실험을 통하여 각 경사별 확산속도를 구하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

우리나라 산림의 전체적인 경사 분포는 그림 1과 같이 면적의 약 70%정도가 30도 미만의 경사를 가지고 있으며 집약적인 산림경영이 가능한 25도미만은 약 40% 정도를 차지하고 있다(산림청 등, 2004). 본 연구에서는 실험을 위한 경사의 범위를 우리나라 산림 전체적인 경사 분포의 대부분을 차지하는 40° 까지로 선정하고 경사에 따른 영향을 좀 더 세밀하게 분석하기 위하여 10° 간격으로 실험을 실시하였다.

실험은 최대한 동일한 조건에서 경사에 따른 연소 확산속도를 측정하기 위하여 습도와 바람의 영향이 없는 밀폐된 공

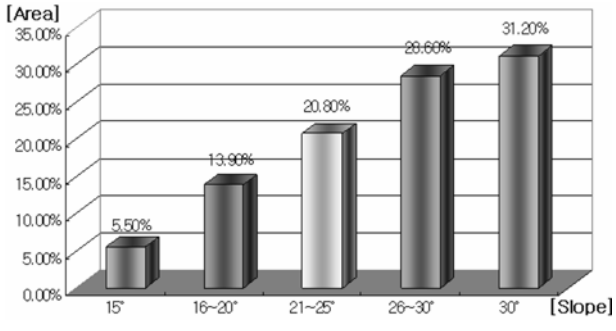


그림 1. 우리나라의 산림경사 분포 (산림청, 2004)

간에서 순차적으로 경사를 달리하여 실시하였으며, 같은 방법으로 3회 반복 수행하였다. 실험에 이용한 연소재는 목재용 아쑤시게를 60 cm × 90 cm 크기의 불연재 판넬에 1 cm간격으로 배치하였고 아쑤시게의 높이는 길이 6.5 cm중에서 고정을 위한 1 cm 정도를 제외한 5.5 cm높이로 동일하게 고정하여 연소물질의 밀도를 동일하게 유지하도록 하였다. 그림 2는 동일한 경사를 가지는 단순사면에서 실험을 실시하였을 경우 자료를 획득하는 지점을 나타내는 것으로 하나의 경사실험에서 상향과 하향, 평지에 대한 결과 값을 획득하였다. 발화지점은 산불이 상향과 하향경사에 따라 속도가 다르기 때문에 경사가 심할수록 밑부분에 위치하여 지정하였다. 경사별로 연소거리는 단위시간(10초)별로 디지털카메라로 사진을 찍은 다음 시간의 변화에 따른 확산 거리를 추출하였다.

## 3. 결과 및 고찰

경사에 따른 연소확산 실험은 10도, 20도, 30도, 40도에서 3회 반복실험을 하였으며, 그림 3은 연소확산 과정을 10초 단위로 촬영한 사진으로 경사에 따른 실험결과를 나타낸 것이다. 경사 10도에서는 연소가 확산되는 형태가 원형에 가깝지만 경사가 심할수록 상향경사 부분의 연소가 많이 이루어져 긴 타원형 형태를 이루었다.

그림 4는 경사 10도에서 연소확산 실험결과를 나타낸 것이다. 시간대별로 상향의 확산속도는 16.1 cm/min 로 하향의 확산속도 9.5 cm/min 대비 약 1.69배의 속도 차이를 보였으며, 평지의 확산속도 11.7 cm/min 대비 약 1.38배의 속도차이를 보였다.

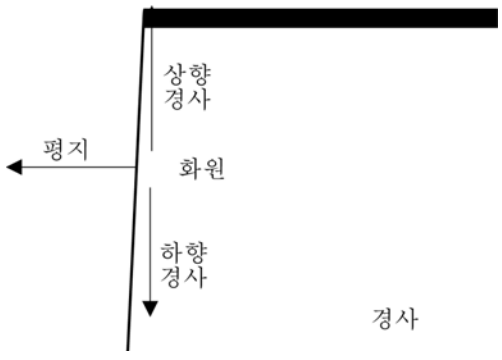


그림 2. 경사에 따른 확산속도 획득을 위한 상향, 하향, 평지경로

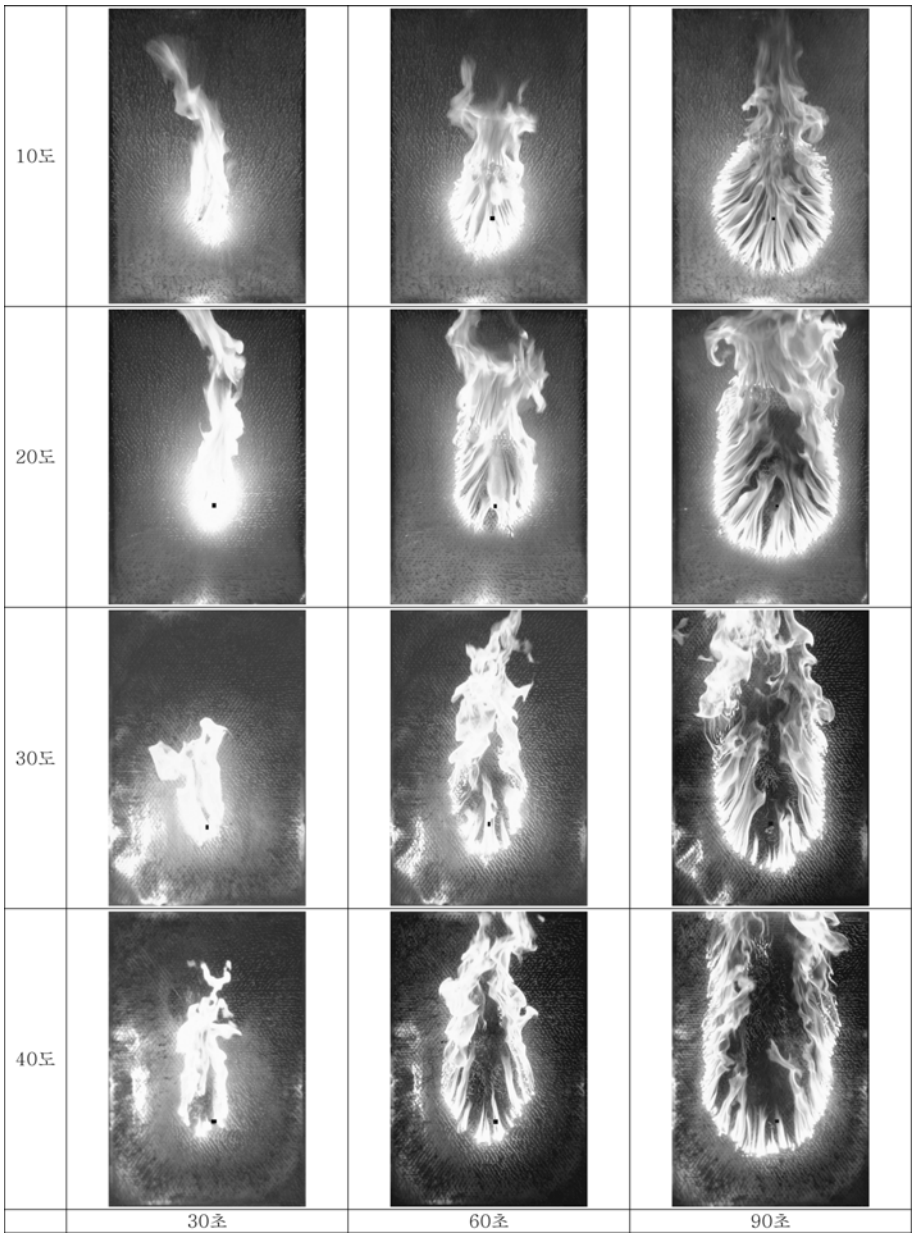


그림 3. 경사에 따른 산불확산형태

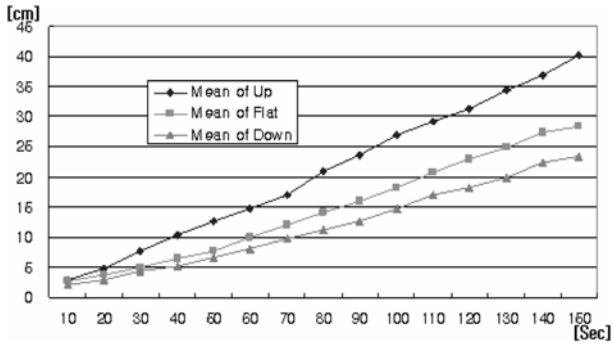


그림 4. 경사 10도에서의 산불확산속도 실험 결과.

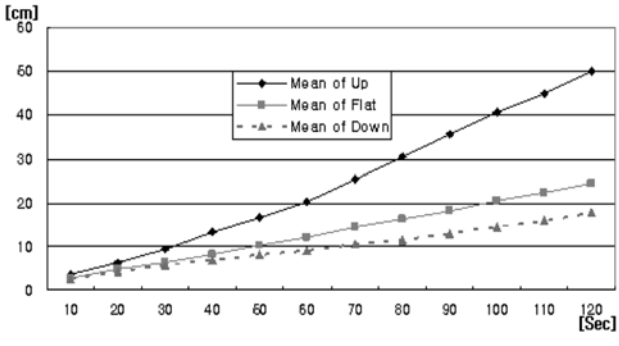


그림 5. 경사 20도에서의 산불확산속도 실험결과.

경사 20도에서 연소확산 실험결과 상향경사의 경우 25 cm/min 좌우방향의 평지는 12.1 cm/min 하향경사의 경우 8.8 cm/min 로 관측되었다(그림 5). 상향경사의 확산속도는 하향경사의 확산속도 대비 약 2.84배의 차이를 보였다. 상향과 평지는 약 2.07배의 속도차이를 보였다.

30도 경사에서 연소확산 실험결과 상향의 확산속도는 하향의 확산속도 대비 약 4.68배의 차이를 보였으며, 상향과 평지는 약 2.8배의 속도차이, 평지와 하향은 약 1.79배의 속도차이를 보였다(그림 6). 연소확산 속도는 상향의 경우 35.1 cm/min 좌우방향의 평지는 13.4 cm/min 하향의 경우

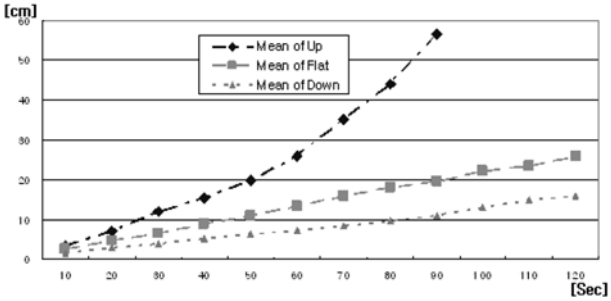


그림 6. 경사 30도에서의 산불확산속도 실험 결과

7.5 cm/min로 관측되었다.

40도 경사에서 연소확산 실험결과 평균 연소확산 속도는 상향경사의 경우 48 cm/min 좌우방향의 평지는 14.3cm/min 하향경사의 경우 5.8 cm/min 로 관측되었다(그림 7). 상향경사의 확산속도는 하향경사의 확산속도 대비 약 8.28배의 차이를 보였다. 상향과 평지는 약 3.36배의 속도차이, 평지와 하향은 약 2.47배의 속도차이를 보였다.

산불확산속도는 경사뿐만 아니라 산불이 확산되는 경로가 상향과 하향경사에 따라 많은 차이를 보인다. 따라서 단순히 경사만 가지고 산불확산속도를 구하는 것은 정확하다고 할 수 없다. 이러한 차이점을 살펴보기 위하여 표 1과 같이 각 도별 상향경사와 하향경사의 확산속도를 1 m도달 시간으로 변경하여 발화점에서 특정지점으로 이동하는데 필요한 시간으로 환산하여 비교하였다. 비교결과 상향경사의 평균도달시간은 10도의 경우 6.87분, 20도는 4.27분, 30도는 3.49분, 40도는 2.59분이 소요되며 각도가 10도에서 20도, 20도에서 40도로 2배 증가 할 경우 도달시간은 각 6.87분, 4.27분에서 4.27분, 2.59분으로 약 40%정도 감소되었다. 하향경사의 경우는 10도에서 12.48분, 20도는 12.61분, 30도는 15.46분, 40도는 21.54분으로 각도가 10도에서 40도로 증가 할 경우 도달 시간은 약 39%정도 증가되었다. 따라서 하향경사는 상향경사와 반대로 경사가 급할수록 시간이 증가하는 경향을 보였다.

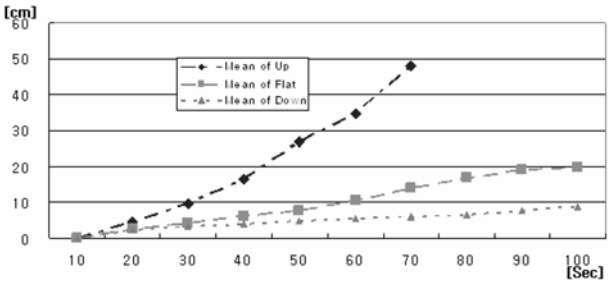


그림 7. 경사 40도에서의 산불확산속도 실험 결과.

실험결과에 대한 산불확산시간에 대한 식을 도출하기 위하여 실험을 통하여 도출된 표 1의 결과 값을 이용하였다. 경사는 상향경사는 (+)의 값을, 하향경사는 (-)의 값을 부여하여 회귀분석을 실시하였으며, 분석결과 다음과 같이 도출하였다.

$y = 7.8138e^{-0.0262x} \times d \qquad R^2 = 0.9799$

y : 특정지점까지 산불이 도달하는데 걸리는 시간(min)

x : 경사(도)

d : 거리(m)

## 4. 결 론

산불은 국가나 지역의 토지, 식생, 생물종 다양성, 기후변화 등 산림생태계의 제반 환경과 사회, 경제, 인간 건강에 지대한 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 산불을 효율적으로 진화를 하는데 도움을 줄 수 있는 산불확산예측을 위하여 산불확산에 영향을 미치는 지형인자 중 경사를 대상으로 하였다. 산불확산속도는 경사뿐만 아니라 산불이 확산되는 경로가 상향과 하향이냐에 따라 많은 차이를 보이므로 상향경사와 하향경사에 따른 산불확산속도를 구하기 위하여 모형을 통하여 실험을 실시하였다. 경사는 크게 10도, 20도, 30도, 40도로 구분하였으며, 각 경사별로 상향, 하향, 평지로 구분하여 값을 구하였다. 실험결과를 비교하기 위하여 각도별 상향경사과 하향경사의 확산속도를 1 m도달 시간으로 변경하여 발화점에서 특정지점으로 이동하는데 필요한 시간으로 환산하여 비교하였으며, 결과는 다음과 같다.

(1) 경사에 따른 산불확산시간을 분석한 결과 상향경사의 평균도달시간은 경사가 10도에서 20도, 20도에서 40도로 2배 증가 할 경우 도달시간은 각 6.87분, 4.27분에서 4.27분, 2.59분으로 약 40%정도 감소하였지만, 하향경사의 경우에는 10도에서 12.48분, 40도 21.54분으로 각도가 10도에서 40도로 증가 할 경우 도달 시간은 약 39%정도 증가하여 상향경사와 반대로 경사가 급할수록 시간이 증가하는 경향을 보였다.

(2) 같은 경사에서 상향과 하향경사에 따른 산불확산시간을 분석한 결과 10도에서 상향경사와 하향경사는 시간이 6.87분과 12.48분으로 1.8배 정도 차이가 나지만 40도에서는 2.59분, 21.54분으로 8.3배 차이가 발생하여 경사가 급할수록 산불이 진행되는 경사방향에 따라 확산

표 1. 상향경사와 하향경사에 따른 산불확산속도 비교분석 [Uint : min/m]

| Type | Slope | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10° | 20° | 30° | 40° | Mean |
| | U:D | U:D | U:D | U:D | U:D |
| First | 6.20 : 12.06 | 3.96 : 10.70 | 3.63 : 12.27 | 2.15 : 19.13 | 3.98 : 13.54 |
| Second | 7.66 : 14.08 | 4.55 : 15.27 | 3.72 : 18.28 | 3.36 : 21.52 | 4.82 : 17.28 |
| Third | 6.75 : 11.30 | 4.31 : 11.80 | 3.13 : 15.83 | 2.26 : 23.95 | 4.11 : 15.72 |
| Mean | 6.87 : 12.48 | 4.27 : 12.61 | 3.49 : 15.46 | 2.59 : 21.54 | 4.30 : 15.52 |

시간의 차이가 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

(3) 실험 결과값에서 상향경사는 (+)의 값을, 하향경사는 (-)의 값을 부여하여 경사에 따른 회귀분석을 실시하였으며, 거리에 따른 산불확산시간을 산출할 수 있는 식을 구하였다. 이러한 결과는 산불확산예측에 있어서 중요한 인자인 경사에 따른 확산속도를 분석하여, 보다 정확한 산불예측을 위한 기본 자료를 제공함으로서 효율적인 산불진화를 하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 산불확산에 영향을 주는 풍향, 풍속, 습도, 연료량, 복사열, 경사 등의 인자 중에서 경사만을 대상으로 하여 산불확산속도를 계산하여 실제적인 산불확산예측에는 미비한 점이 있다. 따라서 모든 인자를 고려한 산불확산속도에 대한 연구가 수행되어야 하며, 모형을 통한 실험보다는 실제 현장에서 실험을 통하여 많은 연구가 수행된다면 더 정확한 산불확산예측이 이루어 질 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 2007년 충북대학교 학술연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

류장혁, 이광원 (1996) **산불의 실태와 대책**. 한국농촌경제연구원.

산림청 (2001) **동해안 산불백서I**.

산림청 (2004) **한국의 산림입지**.

산림청 (2005) **2004년 산불통계자료**.

신영철, 안상현 (2000) 지리정보시스템을 이용한 산불방재방안:청주시 우암산 지역을 중심으로. **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제3권, 제1호, pp. 23-34.

안상현 (2006) **시공간 분석에 의한 산불위험예측모형 개발 및 산불위험지역 구분**, **박사학위논문**, 충북대학교.

이병두, 정주상, 이시영 (2002) GIS 응용을 위한 산불확산예측 알고리즘의 개발. **한국임학회지**, 한국임학회, 제91권, 제6호, pp. 812-819.

이시영 (1995) **산불발생 위험도 및 연소확대요인 분석에 관한 연구**, 박사학위논문, 동국대학교.

정연하, 이시영, 염육철, 여운홍 (1989) **산화위험율 예측에 관한 연구**. 임업연구원 연구보고 38: pp. 117-123.

조명희, 오정수, 이시영, 조윤원, 백승렬 (2001) GIS를 이용한 산불정보관리시스템 개발. **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제4권, 제3호, pp. 41-50.

Bradshaw, L.S., J.E. Deeming, R.E. Burgan, J.D. Cohen (1983) *The 1978 National Fire-danger Rating System : Technical Documentation*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-169.

Finney, M.A. (1998) *FARSITE : Fire Area Simulator - Model Development and Evaluation*. Rocky Mountain Research Station.

Hirsch, K.G. (1996) *Canadian Forest Fire Behavior Prediction(FBP) System*: user's guide. Canadian Forest Service.

◎ 논문접수일 : 08년 05월 29일
◎ 심사의뢰일 : 08년 06월 02일
◎ 논문완료일 : 08년 06월 17일