

2005년 강원도 양양산불 행동 특성 The Behavior Characteristics of the 2005 Yangyang Forest Fire

이병두[†] · 이시영* · 정주삼

Byung-Doo Lee[†] · Si-Young Lee* · Joo-Sang Chung

서울대학교 산림과학부, *국립삼척대학교 소방방재학부
(2005. 8. 31. 접수/2005. 12. 15. 채택)

요 약

산불에 효율적으로 대처하기 위해서는 산불환경인자와 산불행동에 대한 올바른 이해가 요구된다. 이 논문에서는 2005년 4월 강원도 양양에서 발생한 산불을 대상으로 문헌 및 탐문조사, 현장조사를 통해 산불 행동 특성을 산불확산과 산불피해도로 구분하여 분석하였다. 양양산불의 확산은 두 단계로 구분되었는데 1차 확산단계에서는 강한 편서풍의 영향으로 동쪽으로 확산되었으며 재 발화 이후인 2차 확산단계에서는 풍향이 일정치 않아 서, 남, 북쪽으로 확산되는 불규칙적인 형태를 보였다. 확산속도는 최대 1.21 km/hr, 평균 0.65 km/hr로 분석되었다. 산불피해도를 심, 중, 경 세 단계로 구분하여 분석한 결과 전체 면적의 약 80%에 해당되는 1,110 ha 지역이 산불피해가 심한 지역으로 분류되었으며 경과 중 지역은 각각 15%(211 ha), 5%(65 ha)이었다.

ABSTRACT

To control forest fire effectively, it is necessary to understand forest fire behavior and relevance to forest fire environmental factors. In this paper, the behavior characteristics of the 2005 Yangyang forest fire were analyzed into the spread patterns and severity grades. The spread processes of the forest fire could be divided into two steps. At the first step, the fire ran fast to the east due to the strong west wind and then spreaded out in irregular direction. The maximum spread rate of the fire was 1.21km/hr and the mean was 0.65 km/hr. The result of the fire severity classification indicated that about 80% (1,110ha) of the whole study site was extremely burned and the remaining 15% (211 ha) and 5% (65 ha) were damaged slightly and moderately respectively.

Keywords : Forest fire behavior, Spread, Severity, Yangyang forest fire

1. 서 론

최근 대형산불이 빈번하게 발생하고¹⁾ 이로 인한 인적, 물적 피해가 증가함에 따라 산불에 효과적으로 대응하고자 하는 노력이 증가하고 있다. 이 중 산불이 발생했을 때 효율적으로 진화하고 지역 주민의 안전을 위해서는 산불의 확산방향과 속도를 예측하는 것이 중요하다. 하지만, 산불은 지형, 연료, 기상인자와 산불 자체의 상호 작용으로 인하여 복잡하게 전개^{2,4)}되므로 이를 해석하는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 산불행동을 예측할 수 있는 다양한 모델들이 개발되고 있으며 산불 정책에 적극적으로 이용되고 있다. 대표적인

예로써 미국의 FARSITE와 캐나다의 Prometheus를 들 수 있는데, 이러한 모델은 진화대원의 교육과 진화전략 수립에 이용되고 있다.

하지만 국가별, 지역별로 지형, 연료, 기상 등 산불 환경인자가 상이하여 산불행동은 다르게 나타나므로 정확한 예측을 위해서는 산불환경인자와 산불행동에 대한 자료의 수집과 분석이 기초적으로 요구된다. 이러한 중요성에도 불구하고 우리나라에서는 1996년 강원도 고성산불⁵⁾, 2000년 삼척산불⁶⁾과 2002년 청양산불⁴⁾, 그리고 최근 동해안에서 발생한 몇 건의 산불⁷⁾에 대한 자료만이 수집된 상황이다.

따라서 본 연구에서는 2005년 4월 4일 강원도 양양에서 발생한 산불을 대상으로 산불행동 특성을 확산과 피해도로 구분하여 분석하였다. 양양산불은 2005년에

[†]E-mail: rubus@chol.com

발생한 산불 중 가장 많은 피해면적을 기록하였고, 1996년 강원도 고성산불이래 빈번하게 발생하고 있는 동해안 대형산불의 대표적 사례라는 점에서 분석 대상지로 설정하였다.

2. 양양산불 행동 특성 분석

2.1 연구대상지

산불의 행동특성을 분석하기 위해 Fig. 1에서와 같이 2005년 4월 4일 23시 53분에 강원도 양양군 양양읍 화일리 야산에서 발생한 산불을 대상으로 하였다. 이 산불로 인해 1,000ha가 넘는 산림과, 주택 163동(전소 135, 반소 28), 문화재인 낙산사 경내 건물 22건(석탑 2, 동종 1, 전각 17, 시설물 2)이 피해를 입었다.

산불이 발생한 강원도 양양군은 북위 37도 51분 34초로부터 38도 10분 41초에 걸치고, 동경 128도 22분 26초에서 128도 55분 47초 사이에 위치하고 있다. 대부분 산악 지형으로서 전체면적의 약 74%가 표고 100~1,360m에 위치하고 있으며, 시가지는 대부분 100m 이하의 낮은 고도에 형성되어 있다. 기후는 동해안에 접해있어 해양성 기후에 가까운 특징을 보이고 있으며, 연평균 기온이 12°C 내외로 겨울에는 따뜻하고 여름에는 시원한 편이다. 연평균 강수량은 1,300mm 내외로 다우지역에 속하며, 가을철 강수량이 350mm, 겨울철 강수량은 150mm 이상이다. 또한 연평균 풍속은 2.9m/s, 폭풍일수는 10일 이상으로 겨울과 봄에 서풍계열의 바람이 강하게 부는데, 1980년 4월 19일에는 순간최대 풍속이 46.0m/s를 기록한 바 있다. 한편으로 봄철에는

눈새바람과 지역풍인 양간지풍(襄杆之風)이 부는 지역이다.

2.2 산불환경인자 추출 및 데이터베이스 구축

양양산불의 행동특성에 영향을 미친 산불환경인자의 특성을 파악하기 위해 지형, 연료, 기상으로 구분하여 산불환경인자 데이터베이스를 구축하였다. 산불환경인자 중 지형인자는 국립지리원에서 발행하는 1:5,000 수치지형도를 이용하여 분석하였다. 수치지형도에서 등고선과 표고점을 추출하여 TIN(Triangular Irregular Network)을 작성한 다음, 표면분석을 통해 경사와 경사향, 고도를 25×25M 크기로 추출하였다. 연료인자는 국립산림과학원에서 발행한 1:25,000 수치임상도를 이용하여 임상, 영급, 경급, 소밀도를 분석하였다. 이 수치임상도는 1:15,000 축척으로 촬영된 항공사진을 기반으로 주요 수종의 점유면적과 본수에 따라 임상을 15개로 구분하고 있으며, 흉고직경은 6, 18, 30cm를 기준으로 4단계로 구분하고 있다. 영급은 10년 단위로 기록되어 있으며, 마지막으로 소밀도는 교목의 수관점유 면적에 따라 40% 이하, 40~70%, 70% 이상으로 구분하고 있다. 산불의 확산과 밀접한 영향을 갖는 기상인자는 양양산불 연소지로부터 가장 가까운 곳에 위치하고 있는 속초기상대의 AWS(Automatic Weather Station) 자료를 이용하여 풍속, 풍향, 습도, 온도를 추출하여 이용하였다.

2.3 양양산불 행동특성 분석

양양산불의 행동특성은 미국 NIFC(National Interagency Fire Center)의 정의에 따라 확산과 강도로 구분하여 분석하였다. 이 중 산불확산은 방향과 속도로 세분하여 접근하였다. 양양산불의 확산에 대한 기초자료를 수집하기 위해 산림청의 산불 진화 일지, 양양시청의 산불진화대책본부 일지 등을 분석하여 개략적인 진행방향과 확산속도를 분석하였다. 이후 산불현장에서 진화에 참여했던 대원과 지역 주민에 대한 탐문 조사를 통해 자료를 보완하였으며, 마지막으로 피해지에 대한 현장 조사를 통해 연소된 나무의 그늘림 방향을 확인하여 확산방향을 추정하는 근거자료로 활용하였다. 산불의 확산속도는 면적 개념⁹⁾과 거리 개념^{10-13.5)} 중 분석의 편의성과 실제 진화전략 수립 과정에는 화두 방향의 확산속도가 중요한 점을 감안하여 거리 개념의 확산속도를 이용하였다.

산불강도는 화선(fire front line)에서 단위 길이 당^{14,15)} 혹은 단위 면적 당¹⁶⁾ 발생하는 에너지의 양을 의미하는 것으로 현실적으로 산불이 연소된 후에 추정하는 것이 어렵다. 또한 지형과 식생조건이 동일한 상황이



Fig. 1. The location map and boundary of the 2005 Yangyang forest fire.

라면 산불강도와 산불피해도도는 비례하기 때문에 본 연구에서는 산불강도 대신 산불피해도도의 개념을 이용하였다. 산불피해는 산불로 인한 산림의 물리적, 화학적, 생물적 변화를 총칭하기 때문에^{17,18)}, 바라보는 관점에 따라 다양한 측정 지표와 측정 방법이 존재하므로, 본 연구에서는 산불피해도도를 산불로 인한 임목의 피해 정도로 한정하였다¹⁹⁾.

산불피해도에 대한 조사는 2000년 동해안 산불피해지 공동조사단이 제시한 기준¹⁾인 심, 중, 경 세 단계 분류 기준을 응용해 GPS(Global Positioning System)를 이용하여 이루어졌다. 즉, 수간 및 수관 부위까지 가깝게 탄 임목이 30×30 m 크기 이상인 임지를 「심」, 수간부위 일부와 수관이 노랗게 변색된 임목의 임지를 「중」, 생립목 및 수간 부위만 일부 그을린 피해목이 혼효된 임지를 「경」으로 구분하였다²⁰⁾. 현장 조사를 통해 수집된 자료와 측정된 GPS 좌표는 GIS(Geographic Information System)를 이용해 도면화하여 산불피해도도를 작성한 다음 면적을 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 양양산불 확산특성 분석

3.1.1 산불확산 방향

양양산불의 확산 과정은 크게 두 단계로 구분할 수 있었다. 1차 산불은 4월 4일 23시 53분에 산불이 최초 발생하여 4월 5일 07시 52분에 동해안까지 확산된 다

음, 10시 20분에 양양산불진화대책본부에서 진화완료를 발표한 시점까지이다. 2차 산불은 4월 5일 13시에 재발화하여 용호리, 낙산사 등을 전소시킨 후 4월 6일 08시경 완전 진화될 때까지이다.

확산방향은 이 두 단계에 따라 확연히 달랐는데, 첫 번째 단계에서는 강한 편서풍의 영향으로 발화 지점으로부터 동해안까지 빠른 속도로 거의 직선에 가까운 좁고 긴 타원 형태로 확산된 모습을 보였다. 이것은 이 시기의 최저습도가 20% 미만으로 매우 건조한 상태였으며, 평균풍속 12~13 m/s에 순간최대풍속이 27.5 m/s로 소방헬기가 진화작업을 못 할 정도의 강풍이 분(Fig. 3) 조건에서 서풍, 서남서풍이 불었기 때문이다(Fig. 4-a). 그러나 2차 시기에는 서풍, 남서풍 등이 불규칙하게 불어(Fig. 4-b), Fig. 2에서와 같이 더 이상 확산될 공간이 없는 동쪽을 제외하고 남쪽, 서쪽, 북쪽 세 방향으로 확산된 모습을 보여주었다.

이러한 확산형태는 2000년 강원도 삼척산불과 비슷하는데⁶⁾ 영동지방에 부는 강한 편서풍의 영향으로 발생 초기에 빠르게 동해안까지 진행된 다음, 더 이상 달 것이 없는 동쪽을 제외하고 다른 세 방향으로 확산되는 것이다.

3.1.1 산불확산 속도

양양산불의 확산속도를 Fig. 2에 표시되어 있는 것처럼 발화지점과 A, B, C, D 지점까지의 도달시간과 각 구간사이의 거리를 이용하여 km/hr 단위로 산출하였다. 그 결과 평균 확산속도는 Table 1에서 보는 바

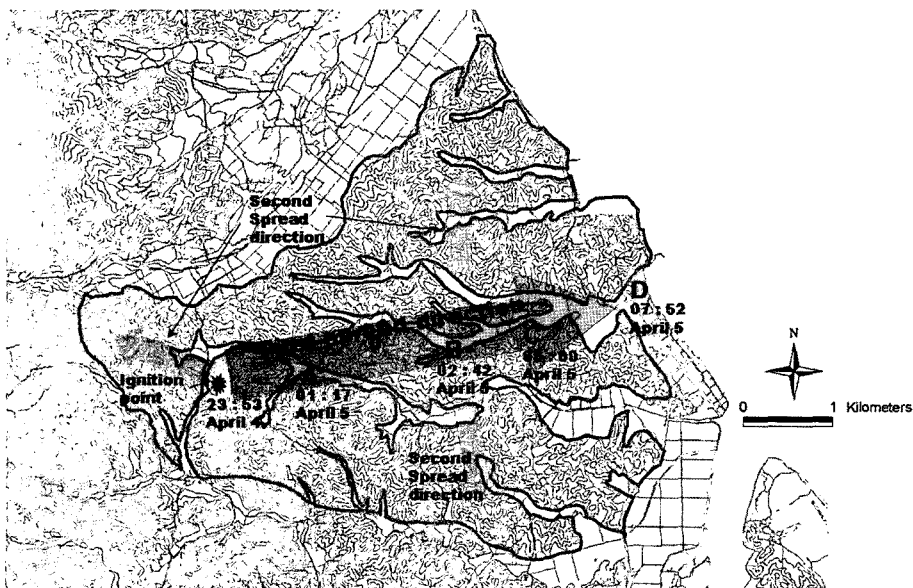


Fig. 2. The spread direction and the fire spread time of the 2005 Yangyang forest fire.

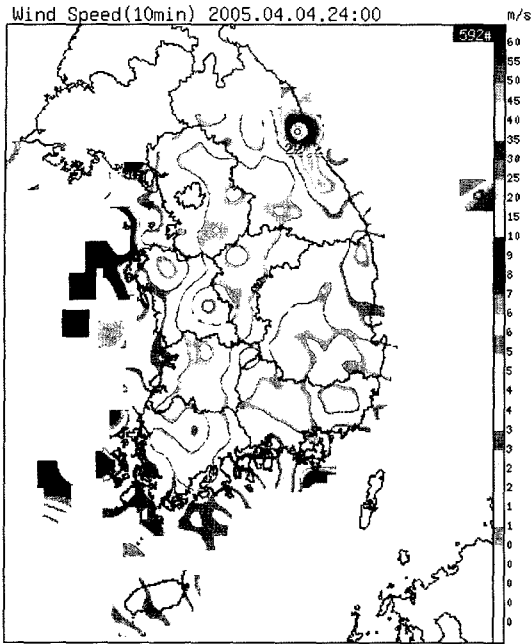


Fig. 3. The wind velocity on April 4, 24:00.

와 같이 발화점에서부터 동해안에 근접해 있는 7번 국도까지 5.2 km 거리를 7시간 59분 만에 진행했기 때문에 0.65 km/hr로 분석되었다. 최대 확산속도는 A지점에서 B지점까지 진행했을 때 관측된 것으로 약 1.7 km를 1시간 25분 만에 확산되었기 때문에 약 1.21 km/hr

로 분석되었다. 이러한 최대 확산속도는 1996년 강원도 고성산불의 1.0 km/hr보다는 빠른 속도이며 2000년 삼척산불(1.6 km/hr)과 2004년 속초산불(2.0 km/hr)보다는 낮은 수치였다.

3.2 양양산불 피해도 분석

양양산불에 대해 GPS를 이용하여 산불피해도별 경계를 확정하고 GIS의 공간분석기능을 이용하여 면적을 산출한 결과는 Fig. 5와 Table 2와 같다. 피해면적은 Fig. 5에서와 같이 총 1,387 ha로 분석되었는데, 이를 피해도별로 살펴보면 경지역은 65 ha로써 전체 면적 중 약 15.2%를 차지하였으며, 중지역은 약 4.7%인 211 ha로 분류되었다. 마지막으로 수관까지 완전히 연소되어 피해가 큰 심지역은 1,110 ha로써 약 80%를 차지하였다. 이렇게 많은 지역이 산불피해도가 심한 지역으로 분석된 이유는 산불 당시에 강한 바람이 불어 지표화가 수관화로 쉽게 전이되었고, Fig. 6에서와 같이 전체 면적 중 약 80%에 해당되는 면적이 산불에 취약한 소나무림으로 구성되어 있었기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

산불 발생시 산불에 효과적으로 대응하기 위해서는 산불행동에 대한 정확한 예측이 필요하고, 올바른 예측을 위해서는 많은 산불 사례를 수집하여 산불환경인자와 산불행동과의 관계를 파악하는 것이 중요하다. 이

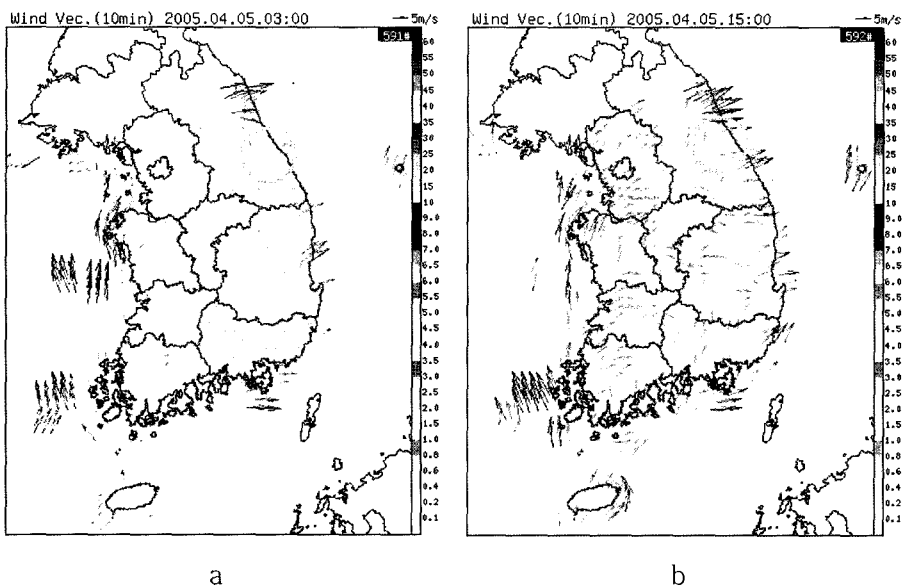


Fig. 4. The wind direction during the 2005 Yangyang forest fire (a : April 5 03:00, b : April 5 15:00).

Table 1. The rate of spread of the 2005 Yangyang forest fire

Points	Ignition point	A	B	C	D	Remarks
Hours	23:53 April 4	01:17 April 5	02:42 April 5	06:00 April 5	07:52 April 5	
Distance (km)		0.9	1.7	1.1	1.5	5.2
ROS (km/hr)		0.64	1.21	0.33	0.80	0.65

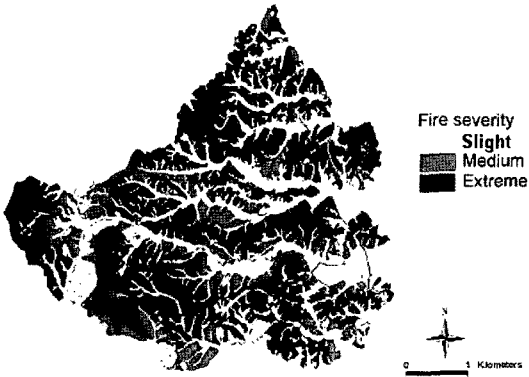


Fig. 5. Fire severity map of the 2005 Yangyang forest fire.

Table 2. Area burned (ha) of each fire severity class in the 2005 Yangyang forest fire

Fire severity	Area burned (ha)	%
Slight	211.1	15.2
Medium	65.4	4.7
Extreme	1,110.0	80.1
Total	1,386.5	100.0

러한 측면에서 본 연구에서는 2005년 강원도 양양산불을 대상으로 산불의 행동특성을 확산방향 및 속도와 피해도로 구분하여 분석하였다. 양양산불은 1996년 강원도 고성과 2000년 삼척산불과 마찬가지로 발화 후 초기 단계에서 강한 편서풍의 영향으로 빠르게 동쪽으로 진행되었고, 이후 산림이 존재하는 다른 세 방향으로 확산되는 경향을 보였다. 한편 피해가 심한 지역은 대부분 소나무림 지대였다. 이러한 사실들은 동해안 인근에서 산불이 발생했을 때 발생장소보다 동쪽에 위치하고 소나무림으로 이루어진 지역에 대한 진화화 인근 마을의 대피가 우선시 되어야 한다는 것을 말해준다.

이러한 연구는 복잡한 산불의 행동을 이해하는데 도움이 된다고 판단된다. 하지만 체계적인 산불연구를 위해서는 이러한 현장 중심적 산불 사례에 대한 자료 수집과 더불어 산불과 산불환경인자들 간의 상호 작용을

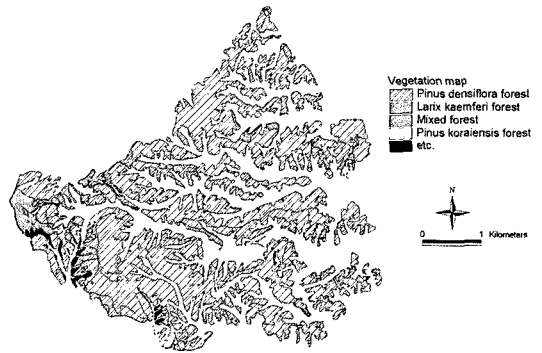


Fig. 6. Vegetation map of the 2005 Yangyang forest fire.

구명하기 위해 실내 실험도 병행되어야 할 것이다. 또한 최근에 대형화된 산불이 강원도 영동지방에서 주로 발생한다는 사실에 착안하여 이러한 대형산불들의 공통적인 산불행동 특성을 분석하여 진화정책에 이용될 수 있도록 하여야 할 것이다.

특히, 양양산불은 최근 다른 대형산불과는 달리 23시 53분의 심야에 발생했기 때문에 초기 대응능력이 저하되었다. 즉, 빠른 신고접수와 함께 진화대원들은 초동출동 하였으나 강풍과 연기 속에서 피해확산 범위와 확산속도 예측이 어려웠다. 따라서 급후에는 야간산불에 대한 보다 빠른 산불상황 판단 및 예측기술 확보로 조기경보시스템 및 피난대응시스템 구축, 산불확산예측 도면작성에 의한 진화대 운영 및 진화전략 수립과 헬기진화 등 야간산불진화 방법 개발이 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 산림청, “동해안 산불백서 I”, p. 405, 현대종합광고 인쇄사(2001).
2. S. J. Pyne, P. L. Andrews, and R. D. Laven, “Introduction to Wildland Fire”, JOHN WILEY & SONS, p. 769, New York(1996).
3. N. Hening-Sever, D. Poliakov, and M. Broza, “A

- Novel Method for Estimation of Wild Fire Intensity Based on Ash pH and Soil Microarthropod Community”, *Pedobiologia*, Vol. 45, pp.98-106(2001).
4. 이병두, “GIS와 RS를 이용한 2000년 삼척산불 행동 특성 분석 및 산불확산예측모델 개발”, 서울대학교 박사학위논문, p. 117(2005).
 5. S. Y. Lee, J. H. Lim, and J. S. Oh, “Analysis of Spread rate and Pattern of Forest Fire in Kosung, Korea”, *Proceedings of the 3rd International Conference on Long-Term Ecological Research in the East Asia-Pacific Region*, pp.160-167(1996).
 6. 이병두, 정주상, 김형호, 이시영, “GIS 응용에 의한 2000년 삼척산불의 확산속도 분석”, *한국임학회지*, Vol. 90, No. 6, pp.781-787(2001).
 7. 국립산림과학원, “산불피해저감을 위한 진화기술 개발”, p.121(2004).
 8. <http://www.nifc.gov/fireinfo/glossary.html>, 2005년 8월 13일.
 9. M. M. Kimothi and R. N. Jadhav, “Forest Fire in the Central Himalaya: An Extent, Direction and Spread Using IRS LISS-I Data”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 12, pp.2261-2274(1998).
 10. R. C. Rothermel, “A Mathematical Model for Prediction Fire Spread in Wildland Fuels”, *USDA Forest Service, Research Paper INT 115*(1972).
 11. H. E. Anderson, “Predicting Wind-driven Wildland Fire Size and Shape”, *USDA Forest Service, Research Paper INT 305*, p. 26(1983).
 12. Y. H. Cheong, “Burning Behavior of Forest Litter and Forest Fire Danger Rating in Relation to Weather Conditions”, 서울대학교 박사학위 논문, p. 123(1992).
 13. M. A. Finney, “FARSITE : Fire Area Simulator - Model Development and Evaluation”, *Rocky Mountain Research Station*, p. 47(1998).
 14. G. M. Byram, “Forest Fire : Control and Use ; Combustion of forest fuels”, pp. 61-123, McGraw-Hill, New York(1959).
 15. R. M. Nelson and C. W. Adkins, “Flame Characteristics of Wind-driven Surface Fires”, *Canadian Journal of Forest Research*, Vol. 16, pp.1293-1300 (1986).
 16. P. L. Andrews, “BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System - BURN Subsystem, Part 1”, *USDA Forest Service, General Technology Report INT 194*(1986).
 17. J. D. White, K. C. Ryan, C. C. Key, and S. W. Running, “Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 6, pp.125-136(1996).
 18. J. Rogan and S. R. Yool, “Mapping Fire-induced Vegetation Depletion in the Peloncillo Mountains, Arizona and New Mexico”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 16, pp.3101-3121(2001).
 19. C. J. Chafer, M. Noonan, and E. Macnaught, “The Post-fire Measurement of Fire Severity and Intensity in the Christmas 2001 Sydney Wildfires”, *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 13, pp.227-240(2004).
 20. 정주상, 이병두, 김형호, “GIS 및 판별분석에 의한 삼척산불지역의 소나무임분 피해도 추정”, *한국임학회지*, Vol. 91, No. 3., pp.355-361(2002).