

1991년부터 2007년까지 산불의 공간적 특성 Spatial Patterns of Forest Fires between 1991 and 2007

이병두[†] · 이명보

Byungdoo Lee[†] · Myung Bo Lee

국립산림과학원 산불연구과
(2008. 7. 14. 접수/2009. 2. 13. 채택)

요 약

산불을 효율적으로 관리하기 위해서는 지역별 산불 행동 특성에 대한 이해가 요구된다. 본 논문에서는 전국 시·군·구 단위로 산불통계 자료를 이용하여 발생 및 확산 특성을 분석하였다. 이를 위해 1991년부터 2007년까지 17년간 발생건수, 연소면적, 확산속도, 건당 면적 자료를 이용하여 산불 특성에 따라 군집을 분류하고 GIS를 이용하여 공간적 분포 특성을 분석하였다. 분석결과, 산불의 공간적 특성 변이가 뚜렷하게 관찰되었고, 전국 시·군·구는 산불위험성에 따라 5개의 군집으로 분류할 수 있었다. 대도시와 인근 지역은 산불위험이 낮은 군집으로 분류되었으나, 강원도 영동지방 4개 시·군은 가장 위험한 군집으로 분류되었다. 그 뒤를 이어 남, 서해안에 인접한 시·군·구의 산불위험성이 높았다.

ABSTRACT

For the effective management of forest fire, understanding of regional forest fire patterns is needed. In this paper, forest fire ignition and spread characteristics were analyzed based on forest fire statistics. Fire occurrences, burned area, rate of spread, and burned area per fire between 1991 and 2007 were parameterized for the cluster analysis, which results were displayed using GIS to detect spatial patterns of forest fire. Administrative districts such as cities and counties were classified into 5 clusters by fire susceptibility. Metropolitan areas had fire characteristics that were infrequent, slow rate of spread, and small burned area. However, 4 cities and counties showing fast rate of spread, and large burned area, in the eastern regions of Taebaek Mountain range, were the most susceptible areas to forest fire. The next vulnerable cities and counties were located in the West and South Coast area.

Keywords : Forest fire, GIS, Spatial pattern, Cluster analysis

1. 서 론

효과적인 산불관리 즉 예방과 진화 활동을 원활하게 수행하기 위해서는 산불발생과 확산 특성에 대한 사전 이해가 요구된다. 이러한 특성을 설명하기 위해 Gill (1975)은 산불의 크기, 빈도, 강도, 분포, 시기를 종합화하여 산불형(Fire regime)이라는 용어를 제시하여 지역별 산불특성을 파악하고 효과적인 산불관리 정책을 수립할 수 있도록 하였다¹⁾. 이러한 산불형은 피해 후 생태과정의 특성을 예측하는데도 중요한 요소로 인식되어,²⁾ 복원 단계에서도 기초자료로 이용되고 있다.

산불형은 지형, 기후, 연료, 인위적 요인의 영향을 받

아 결정되어 산불의 공간적 특성으로 표출된다.³⁾ 그러므로 산불의 공간적 특성은 산불과 환경인자의 종합적 산물로 인식될 수 있으며, 올바른 산불관리 정책을 개발하고 집행하기 위해서는 이러한 공간 특성에 대한 분석이 사전 요구된다.

Vázquez와 Moreno(2001)은 스페인 Sierra지역을 대상으로 산불의 공간적 특성을 분석하여 산불이 지형과 임상의 영향을 받아 공간적 집중현상이 관찰됨을 보고 하면서 산불피해를 입은 지역이 다른 지역에 비해 다시 발생할 확률이 높다고 하였다.⁴⁾ Kasischke 등(2002)은 알래스카 한대림에서 발생한 대형산불을 대상으로 공간적 패턴을 분석하여 온도, 강수량, 낙뢰빈도, 고도, 향과 산림피복율이 산불빈도와 상관성이 있다고 하였다.⁵⁾ 아울러 Parsien 등(2006)은 20년 동안의 캐나다 산불자

[†] E-mail: byungdoo@foa.go.kr

료를 이용하여 10개 생태지역별로 산불의 크기, 형태, 군집성과 주 확산방향이 다르기 때문에 이에 대한 산불관리 정책 또한 달라야 한다고 하였다.³⁾ 이러한 공간적 특성의 변이는 지역 내⁶⁻⁸⁾ 혹은 한 국가내에서 지역간^{9,10)}에도 존재한다. Bergeron 등(2004)은 동부 캐나다 한대림의 두 인접지역에서 산불형이 상이하다는 것에 주목하였는데, 한 지역은 많은 건수에 비해 중소규모의 산불이 발생하며, 다른 지역은 발생 건수는 작지만, 산불이 대형화되었다. 이러한 차이는 산불과 식생의 상호작용 때문이라고 밝혔다.¹¹⁾

이러한 공간적 특성은 분석 범위에 따라 그 결과가 달라지므로,¹²⁾ 발생 예측과 관리를 위해서 산불 관리 단위로 분석을 하는 것이 일반적이다.^{3,10,13)} 따라서, 본 연구에서는 산림청의 산불통계자료를 바탕으로 GIS와 통계를 이용하여 전국 시·군·구 단위로 산불발생 및 확산특성을 분석하고자 하였다. 산불통계자료에는 산불강도 등을 유추할 수 있는 자료가 없는 관계로 크기(연소면적), 빈도(건수), 분포(주소지) 등을 이용하였다. 이러한 분석 결과는 지역별로 다르게 표출되는 산불특성에 영향을 미치는 인자를 밝힐 수 있는 사전단계로써 중요성을 갖는다.

2. 재료 및 방법

2.1 산불통계 자료

1991년부터 2007년까지 17년간의 산불통계가 기록된 산림청 산불대장을 이용하였다.¹⁴⁾ 산불대장에는 초기 발화일시, 진화일시, 발생주소, 발화원인, 연소면적 등이 기록되어 있다. 본 연구에서는 시·군·구별 산불특성을 분석하고자 하였으므로, 발생주소의 시·군·구 정보를 이용하여 산불통계를 재작성하였다. 즉 1991년부터 2007년까지 시·군·구별 발생건수, 연소면적, 산불 한 건당 연소면적, 확산속도를 산출하였다. 이 때 산불대장 기록이 불분명하여 발생지 주소, 시간, 연소면적 파악이 불가능한 경우에는 분석에서 제외하였으며, 행정구역 통폐합 등이 발생하여 주소가 변경된 경우에는 현재의 주소로 수정하였다. 확산속도는 일반적으로 화두의 진행속도^{15,16)} 또는 시간당 연소면적으로 표현^{17,18)}되는데 산불대장으로 기록된 정보로는 화두의

진행속도를 분석할 수 없으므로, 본 연구에서는 후자의 개념, 즉 연소면적을 진화에 소요된 시간(진화시간-발화시간)으로 나누어 이용하였다.

한편 기초 자치단체별로 산림면적이 상이하므로, 표준화된 산불특성을 살펴보기 위해 산림청의 산림면적 자료¹⁹⁾를 이용하여, 산림면적 1,000ha당 발생건수와 연소면적을 산출하였다.

2.2 시군구별 산불특성 분석

전국 시·군·구를 산불특성에 따라 분류하기 위해 군집분석을 이용하였다. 군집분석에 사용된 변수는 발생건수, 연소면적(ha), 확산속도(ha/hr), 건당면적(ha)으로 자료의 정규화를 위해 모두 log를 취해 변환하였다. 이 때 군집분석은 계층적 군집분석 방법 중 잔차제곱합(Error sum of squares)을 최소화하도록 군집을 병합시키는 Ward 방법을 선택하였으며, SAS 9.1 버전에서 시행되었다. 군집의 개수는 CCC(Cubic Clustering Criterion)를 산출하여 산점도(Scatter plot)를 그린 다음, 첫 번째 나타나는 국소최고집에 해당되는 개수로 하였다.²⁰⁾ 이러한 군집분석 결과는 공간분포 패턴을 살펴보기 위해 국토지리정보원 발행 전국행정경계도를 바탕으로 GIS를 이용해 공간적으로 표현되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시군구별 산불특성

1991년부터 2007년까지 산불통계 대장에 기록된 발생건수는 총 7,558건으로 이로 인한 연소면적은 48,443ha 이었다.¹⁴⁾ 이 중 Table 1과 같이 주소지와 발화시간, 연소면적 기록이 불분명한 3건을 제외하고 7,555건을 분석 대상으로 하였다.

이 기간 동안 평균 26건의 산불이 전국 시·군·구에서 발생했는데 울산 울주(123건), 경북 포항(95건), 전남 여수(94건), 경북 안동(93건), 경북 경주(93건), 강원 강릉(92건) 순으로 많이 발생하였으며, 산림 1,000ha당 발생건수는 서울 동대문 38.7건, 서울 강서 30.9건, 부산 남 26.8건, 서울 구로 25.3건, 부산 동래 25.3건이었다. 우리나라 산불이 대부분 인위적인 요인으로 발생¹⁴⁾된다는 것을 고려했을 때, 산림면적이 상대적으로 적

Table 1. Forest Fire Statistics between 1991 to 2007 (Numbers in Parenthesis Mean Minimum and Maximum Value in a Each Column)

Period	Fires (No.)	Burned Area (ha)	Burned Time (hr)	Rate of Spread (ha/hr)	Burned Area (ha) Per Fire
1991~2007	7,555	45,249 (0~13,343)	17,921 (0~191)	2.52 (0.00~124.26)	5.99

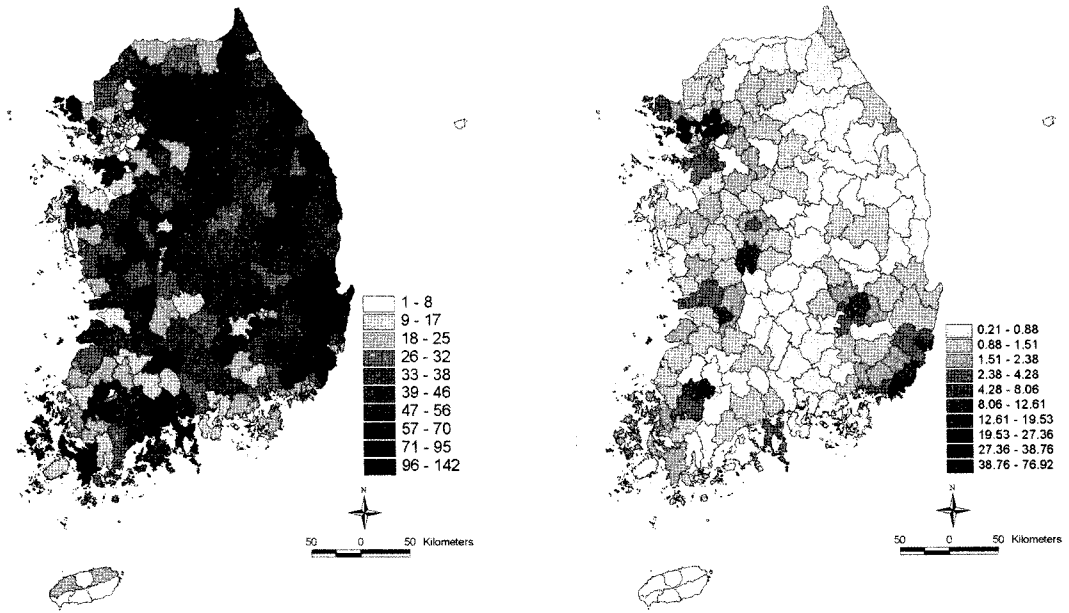


Figure 1. The spatial distribution of forest fires (left) and forest fires per 1,000ha (right).

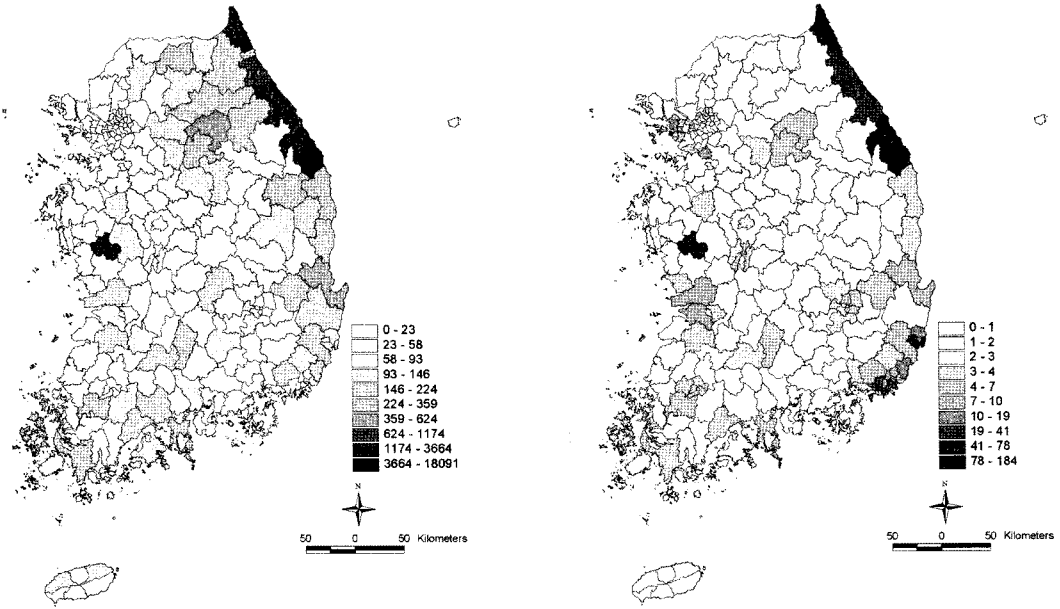


Figure 2. The spatial distribution of burned area (left) and burned area per 1,000ha (right).

고 인구수가 많은 대도시 권역에서 산림 단위면적당 발생건수가 많음을 알 수 있었다(Figure 1). 이 기간 동안 산불이 한건도 발생하지 않은 시·군·구는 대구 중구, 부산 중구, 서울 마포구, 영등포구, 중구, 인천 동

구였다.

전국 시·군·구별로 평균 184ha의 산림이 연소되었는데, Figure 2에서 보는 바와 같이 강원 삼척은 전체 연소면적과 산림 1,000ha당 연소면적이 각각

18,080ha, 176.2ha로 전국에서 가장 높았다. 연소면적을 살펴보면 2000년 동해안 산불의 영향을 받은 강원 고성 3,471ha, 강원 동해 2,542ha, 강원 강릉 2,320ha이었으며, 2002년 청양산불이 발생한 충북 청양이 2,247ha였다. 산림 1,000ha당 연소면적에서 강원 동해, 강원 삼척, 강원 고성의 뒤를 이어 울산 남구가 72.7ha로 4번째였으며, 부산 남구가 38.3ha로 산림면적에 비해 연소면적이 크을 알 수 있었다. 연소면적은 동해안과 남해안 축을 중심으로 분포하는 시·군·구에서 높았고, 산림 1,000ha당 연소면적은 동해안 축과 더불어 단위면적당 발생건수와 같이 광역시에 분포하는 시·군·구를 중심으로 높았다.

산불의 대형화 정도를 가늠할 수 있는 단위면적당 연소면적은 강원 삼척 334.8ha/건, 충남 청양 102.1ha/건, 강원 동해 101.6ha/건, 강원 고성 72.3ha/건, 강원 강릉 25.2ha/건 순으로 높아 각각 2000년, 2002년 대형산불의 영향을 받은 지역이 상위를 기록하였다(Figure 3). 피해면적을 진화까지 소요된 시간으로 나누어 산출한 확산속도(ha/hr)는 강원 삼척 334.8ha/hr, 충남 청양 102.1ha/hr, 강원 동해 101.7ha/hr, 강원 고성 72ha/hr, 강원 강릉 25.2ha/hr순이었다. 평균 확산속도는 4.9ha/hr으로 분석되었다(Figure 4). 더불어 산불확산에 풍속이

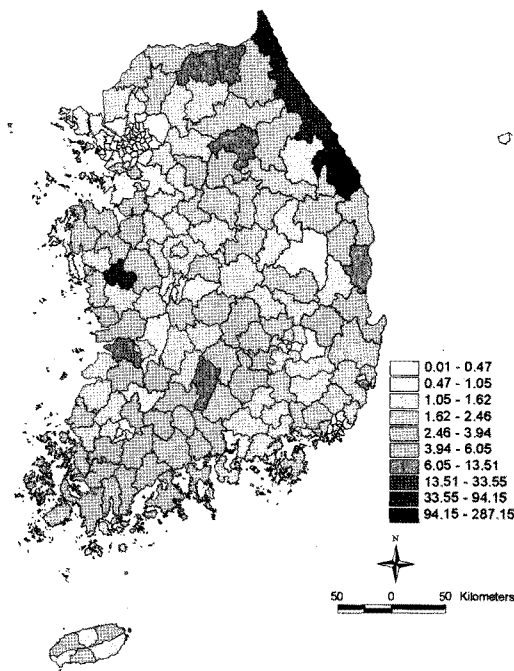


Figure 3. The spatial distribution of burned area per fire (ha).

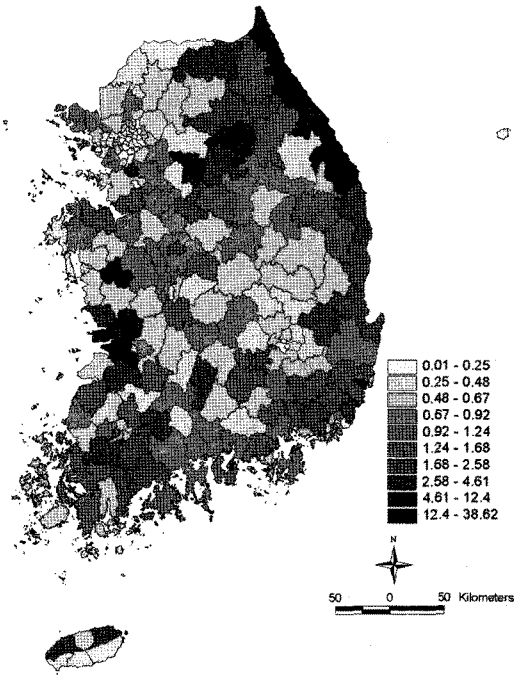


Figure 4. The spatial distribution of fire area growth rate (ha/hr).

강하게 작용했던 2000년 동해안 산불과 2002년 청양, 김제 산불을 제외하면 평균 확산속도는 1.99ha/hr로 산불 발생 후 시간당 약 2ha의 산림이 연소되는 것으로 분석되었다.

3.2 산불특성에 따른 시군구별 군집분석 결과

산불발생 및 확산특성을 보여주는 4개의 변수를 이용하여 CCC를 산출하여 국소최고점에 해당되는 개수로 군집을 결정한 결과 Figure 5에서 보는 바와 같이 5개의 군집으로 구분할 수 있었다. 각 군집별 산불특성은 Table 2와 같은데, 서울특별시의 자치구 일부를 중심으로 분포하고 있는 제 1군집은 발생건수, 연소면적, 확산속도, 건당 피해면적이 다른 군집에 비해 모두 낮아 산불로부터 상대적으로 안전한 지역으로 분류되었다.

이에 반해 강원 영동지방 4개 시·군과 충남 청양 지역은 건수와 피해면적, 확산속도, 건당 피해면적이 다른 군집에 비해 모두 높아 산불에 가장 취약한 지역으로 분류되었다. 이 지역은 2000년 동해안산불과 2002년 청양산불을 포함한 대형산불이 발생하여 피해면적이 다른 지역에 비해 넓은 지역이다. 하지만, 청양군의 경우 영동지방 4개 시·군 지속적으로 대형산불이 발생하는 것과는 달리 2002년 4월 14일에 발생하여

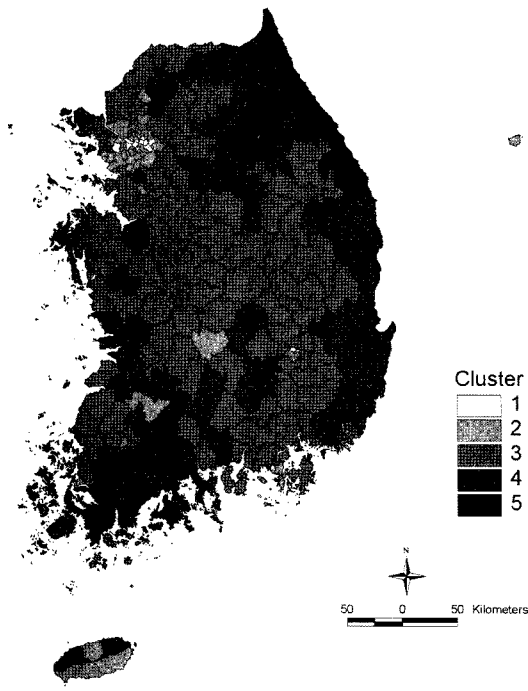


Figure 5. Forest fire clusters based on forest fire statistics between 1991 to 2007.

3,095ha의 연소면적을 기록한 단일 산불에 의해 영향을 받았다는 점에서 차이점이 존재한다.

이 5군집과 더불어 산불취약 지역으로 분류되는 4군집은 강원과 경북, 전남 지역에 집중적으로 분포하였다. 4군집에 속하는 기초 지방자치단체 수는 총 53개로, 특히 동해안, 남해안과 인접한 시·군·구들이 집

중적으로 포함되었다. 산불위험성에 있어서 중간 정도의 성격을 갖는 2, 3군집은 주로 서쪽 내륙 지역에 많이 분포하고 있었다.

이러한 결과는 소나무 임분의 크기와 응집성이 산불의 대형화와 밀접한 관련이 있다는 연구결과²¹⁾와 유사하며, 동해안 지역 산불의 대형화 원인이 임상요인과 더불어 기상 영향이 크다는 연구결과²²⁾와도 일치한다. 산불은 지형, 기상, 식생과 인위적 요인 등에 영향을 받으므로, 향후 이러한 공간적 분포 패턴을 야기하는 요인에 대한 분석이 요구된다.⁵⁾

4. 결 론

본 연구에서는 전국 시·군·구를 대상으로 산불 발생건수, 연소면적, 확산속도, 건당 면적 인자를 이용하여 발생 및 확산특성을 공간적으로 분석하였다. 분석 결과 공간적 변이가 뚜렷하게 관찰되었는데, 대도시권에 속하는 지역에 비해 강원도 영동지방과 남해안에 인접한 시·군·구가 산불에 취약한 것으로 분석되었다. 이를 구체적으로 살펴보면 산불 건수는 경남북 해안의 시·군·구와 강원 강릉에서 높았으며, 단위면적당 산불건수는 서울과 부산광역시에 속한 구가 높았다. 산불 연소 면적은 강원 삼척을 최고로 강원 고성, 동해, 강릉 순으로 강원 영동에 인접한 시·군·구에서 가장 많았다. 연소면적을 진화에 소요된 시간으로 나눈 확산속도는 강원 삼척, 충남 청양, 강원 동해, 강원 고성 순으로 충남 청양군이 강원도 영동지방과 더불어 확산속도가 빨랐다.

산불형을 연구하여 산불의 공간적 특성을 분석하고자 하는 이유는 이러한 변이에 영향을 미치는 인자들

Table 2. Frequency and Forest Fire Characteristics of Each Cluster by Ward's Cluster Analysis (Numbers in Parenthesis Mean Minimum and Maximum Value in a Each Column)

Cluster	No. Cities and Counties	Fires	Burned Area (ha)	Rate of Spread (ha/hr)	Burned Area (ha)/Fire
1	14	3 (0~11)	0.17 (0.00~0.36)	0.1058 (0.0000~0.3429)	0.059989 (0.000000~0.200000)
2	49	12 (2~42)	4.76 (0.64~12.60)	0.4623 (0.1016~1.4617)	0.525084 (0.060667~2.166667)
3	110	37 (12~125)	49.72 (9.15~127.91)	0.6939 (0.2700~1.5527)	1.381909 (0.357105~2.591667)
4	53	47 (8~142)	177.64 (29.17~623.87)	1.2672 (0.5140~4.3959)	4.517512 (1.754577~22.082000)
5	6	54 (27~118)	5021.6 (1,174.18~18,090.60)	3.5697 (1.7604~6.0315)	97.00091 (20.404750~287.153700)

구명하여 효율적인 산불예방과 관리를 하기 위함이다. 따라서 향후 연구에서는 이번에 분석된 공간적 변이 특성에 영향을 미치는 지형, 기후, 인위적 요소를 구명해야 할 것이다.

참고문헌

1. A.M. Gill, "Fire and the Australian Flora: A Review", *Australian Forestry*, Vol.38, pp.4-25 (1975).
2. M.C. Wimberly, "Fire and Forest Landscapes in the Georgia Piedmont: An Assessment of Spatial Modeling Assumptions", *Ecological Modelling*, Vol. 180, pp.41-56(2004).
3. M.A. Parisien, V.S. Peters, Y. Wang, J.M. Little, E.M. Bosch, and B.J. Stocks, "Spatial Patterns of Forest Fires in Canada, 1980~1999", *International Journal of Wildland Fire*, Vol.15, pp.361-374 (2006).
4. A. Vasquez and J.M. Moreno, "Spatial Distribution of Forest Fires in Sierra de Gredos (Central Spain)", *Forest Ecology and Management*, Vol.147, pp.55-65 (2001).
5. E.S. Kasischke, D. Williams, and D. Barry, "Analysis of the Patterns of Large Fires in the Boreal Forest Region of Alaska", *International Journal of Wildland Fire*, Vol.11, pp.131-144(2002).
6. W.L. Baker, "Effect of Scale and Spatial Heterogeneity on Fire Interval Distributions", *Canadian Journal of Forest Research*, Vol.19, pp.700-706(1989).
7. Y. Bergeron, "The Influence of Island and Mainland Lakeshore Landscapes on Boreal Forest Fire Regimes", *Ecology*, Vol.72, pp.1980-1992(1991).
8. M.A. Parisien and L. Sirois, "Distribution and Dynamics of Tree Species Across a Fire Frequency Gradient in the James Bay Region of Quebec", *Canadian Journal of Forest Research*, Vol.33, pp.243-256(2003).
9. M.G. Rollins, P. Morgan, and T. Swetnam, "Landscape-scale Controls over 20th Century Fire Occurrence in Two Large Rocky Mountain (USA) Wilderness Areas", *Landscape Ecology*, Vol.17, pp.539-557(2002).
10. B.J. Stocks, J.A. Mason, J.B. Todd, E.M. Bosch, and B.M. Wotton, "Large Forest Fires in Canada, 1959~1997", *Journal of Geophysical Research*, Vol.108, No.5, pp.1-12(2003).
11. Y. Bergeron, S. Gauthier, M. Flannigan, and V. Kafka, "Fire Regimes at the Transition between Mixedwood and Coniferous Boreal Forest in North-western Quebec", *Ecology*, Vol.85, pp.1916-1932 (2004).
12. J. Podur, D.L. Martell, and F. Csillag, "Spatial Patterns of Lightning Caused Forest Fires in Ontario, 1976~1998", *Ecological Modelling*, Vol.164, pp.1-20(2003).
13. B. Lee, P.S. Park, and J. Chung, "Temporal and Spatial Characteristics of Forest Fires in South Korea between 1970 and 2003", *International Journal of Wildland Fire*, Vol.15, pp.389-396(2006).
14. 산림청, "2007년 산불통계연보", 산림청(2007).
15. R.C. Rothermel, "A Mathematical Model for Prediction Fire Spread in Wildland Fuels", *USDA Forest Service, Research Paper INT 115*(1972).
16. H.E. Anderson, "Predicting Wind-driven Wildland Fire Size and Shape", *USDA Forest Service, Research paper, INT 305*(1983).
17. M.M. Kimoti and R.N. Jadhav, "Forest Fire in the Central Himalaya: an Extent, Direction and Spread using IRS LISS-1 Data", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.19, No.12, pp.2261-2274(1998).
18. 이병두, 정주상, 김형호, 이시영, "GIS 응용에 의한 2000년 삼척산불의 확산속도 분석", *한국임학회지*, Vol.90, No.6, pp.781-787(2001).
19. 산림청, "임업통계연보", 산림청(2007).
20. 송문섭, 조신섭, "SAS를 이용한 통계자료 분석", *자유아카데미*(2004).
21. 이병두, 송정은, 이명보, 정주상, "한국의 생태지역별 산불특성과 임상분포패턴과의 관계", *한국임학회지*, Vol.97, No.1, pp.1-9(2008).
22. 동해안산불피해지 공동조사단, "동해안 산불지역 정밀조사 보고서", *임업연구원*(2000).