

The Relationship between Spatial Patterns of Forest Distribution and Forest Fire Characteristics in the Regional Administrative Unit in Korea

Byung Doo Lee^{1#}, Jung Eun Song²

¹ Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

² Korea Forest Conservation Association, 186 Dongjak-daero, Seocho-gu, Seoul, Korea

Abstract

This study aims to identify the correlation between forest fire characteristics and forest distribution patterns in 16 regional administrative units in Korea. The canonical correlation analysis was conducted between forest fire characteristics and landscape matrices extracted from the forest cover map. The forest distribution varied by administration unit, in terms of the diversity of tree species, and fragmentation and aggregation of forest patches. The number of fires per unit area tended to be larger with less diversity of tree species, higher concentration of forest patches and simpler perimeter of a forest. The larger the average size of forest patches, the larger the burned area per fire. The shorter the distances among patches of pine forests, the longer the combustion time. This result contributes to the development of forest management strategies for reducing risks of forest fire.

Key words: forest fire, landscape metrics, Canonical Correlation Analysis, forest cover map

1. 서론

산불 교란과 경관패턴은 상호 강한 영향을 미친다(Lloret, *et. al.*, 2002). 전체 경관에서 특정 교란은 취약한 지역의 분포와 그 양에 따라 확산되며(Turner, *et. al.*, 1989), 경관패턴은 교란의 빈도, 강도, 범위에 따라 형성된다(Pickett & White, 1985; Krumel, *et. al.*, 1987). 이러한 교란형과 경관구조의 상호 관계는 매우 복잡하며, 시간에 따라 다양한 패턴을 생성한다(Roberts, 1996). 일반적으로 교란은 동질성이 높은 경관

을 이질성이 높은 상태로 만든다(Lloret, *et. al.*, 2002).

산불은 산림생태계의 주요 교란요소로, 다른 교란에 비해 단기간 내에 경관을 빠르게 변화시킨다. 산불은 일반적으로 형태와 크기가 불규칙하므로, 수직적, 수평적 식생구조의 이질성을 초래한다(Forman, 1995). 산불 특성에 영향을 미치는 인자는 지형(Broncano & Retana, 2004), 기상(Román-Cuesta, *et. al.*, 2003), 숲(Turner & Romme, 1994; Hargrov, *et. al.*, 2000; Mouillot, *et. al.*, 2003; Lee, 2005)과, 사람의 개입(Pew & Larsen, 2001; Ducan & Schmalzer, 2004)으

The 1st author: Byung Doo Lee, Tel. +82-2-961-2687, Fax. +82-2-961-2699, e-mail. byungdoo@korea.kr

+ Corresponding author: Byung Doo Lee, Tel. +82-2-961-2687, Fax. +82-2-961-2699, e-mail. byungdoo@korea.kr

로 정리된다.

이러한 인자들은 다양한 상호 작용을 통해 현재 산림의 분포 특성을 변화시켜 그로 인해 연료의 종류와 분포를 결정한다(Christensen, 1981; Morgan, *et. al.*, 2001). 잦은 산불은 식생의 구조와 구성을 변화시키며, 이러한 결과는 다음에 발생할 산불의 강도에 영향을 미친다.

경관분석을 통해 산출되는 경관지수는 산림 혹은 지형의 구성과 공간 분포 특성을 분석하는데 일반적으로 사용되고 있다. 이 지수를 통해 자연적 혹은 인위적인 교란이 경관에 미치는 영향을 파악할 수 있다(Cumming & Vernier, 2002; Schroeder & Perera, 2002; Stenhouse, 2004). 이러한 경관지수는 기본적인 평가 도구로 사용되고 있는데, 시간과 공간을 고려한 경관 변화를 추적할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Leitao & Ahen, 2002). Turner, *et. al.*(2001)는 지리정보시스템 기반에서 이러한 경관분석을 쉽게 할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

이러한 경관 분석 과정에는 단위가 중요한데, Parisien, *et. al.*(2006)은 캐나다를 10개의 생태권역으로 나누고, 산불 특성과의 관계를 분석한 다음, 산불은 산림의 공간 분포 패턴과 밀접한 관련이 있다고 하였다. 즉 생태 단위별로 상이한 숲의 경관구조와 산불형(Fire regime)은 상호 관련성이 높다(Baker, 1989;

Larsen, 1997; Lloret, 2002; Lee, *et. al.*, 2008). 하지만 우리나라의 경우에는 산불 행정 집행 단위가 광역 혹은 기초 자치단체이므로 분석결과가 현장에 사용되기 위해서 이를 반영해야 한다.

따라서 본 연구에서는 한국의 16개 광역 행정단위별로 산불통계를 통해 산불형을 분석하고, 수치임상도를 통해 산림의 경관 패턴을 분석하여 상호 관련성을 분석하였다.

II. 연구방법

1. 산불특성 변수 산출

산림청에서는 법정 통계인 산불통계를 매년 작성하고 있는데, 여기에는 발화시간, 발화지 장소, 연소 면적, 진화시간, 피해 금액 등이 기록된다(Korea Forest Service, 2016). 이렇게 구축된 산불정보는 시계열 상에서 산불 조심 기간을 설정(Seol, *et. al.*, 2011)하는데 활용될 수 있고, 공간상으로는 산불 다발 지역 선정(Lee, *et. al.*, 2006)에 이용될 수 있다.

1991년부터 19년간의 산불통계자료를 활용하였다. 이 통계에서 발생지 주소, 발생 시간, 진화에 소요된 시간, 연소면적 자료를 분석해 광역 행정 단위별로 산불

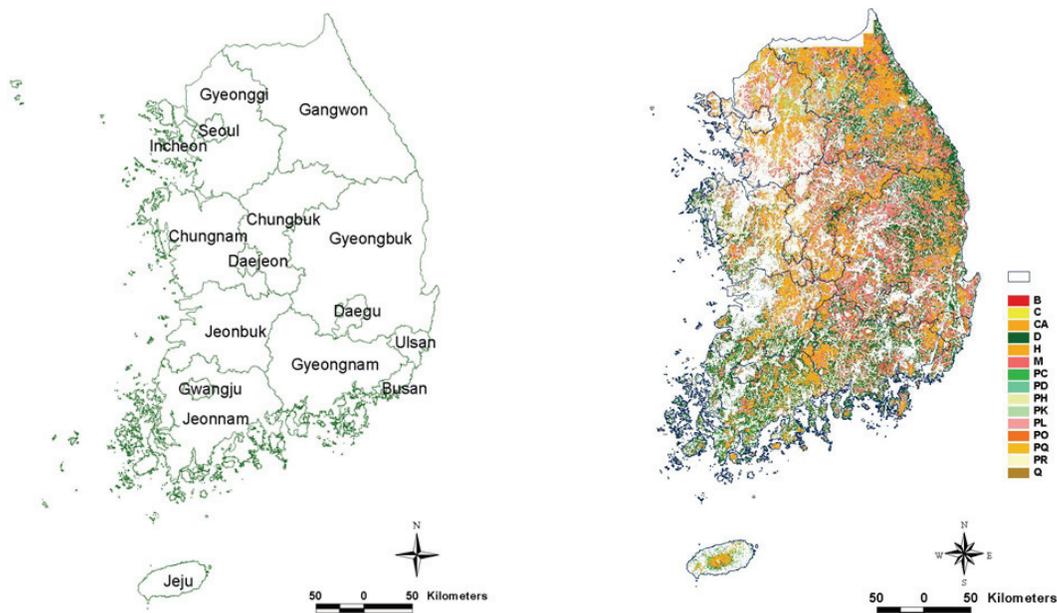


Figure 1. Regional administration districts and forest cover map

특성을 파악하였다. 산불이 행정 경계를 넘어 확산될 경우 발생장소는 한 곳이지만, 피해면적은 경계에 따라 나누었다. 자료 중 명백한 오기가 있고, 원자료를 확인할 수 없는 경우에는 분석에서 제외하였다. 이를 통해 최종적으로 산불 한 건당 연소면적과 진화까지 소요된 연소시간, 시간당 연소속도(ha/hr)와 산림 단위 규모 (1,000ha)별 건수와 연소면적을 산출하였다.

2. 산림 경관 분석

1) 수치임상도

국립산림과학원에서는 5년 주기로 항공사진을 촬영하여 산림 조사에 활용하기 위해 수치임상도를 제작하고 있다. 이러한 임상도는 현재 5차까지 제작되었는데, 이 지도를 활용하면 전국의 산림의 분포 패턴을 수종별, 영급(나무의 나이)별, 밀도별로 분석할 수 있다. 제4차 수치임상도를 광역 행정 단위 경계를 사용하여 분할하고, 25×25m 크기의 래스터 지도로 변환하였다.

2) 경관지수 산출

이러한 행정 단위별 임상도를 이용해 전체 산림과, 산불에 취약하다고 알려진 소나무 임분 등 두 단계로 구분하여 FRAGSTATS 3.3(McGarigal, *et. al.*, 2002)을 통해 경관지수를 분석하였다. 전체 산림 수준에서는 각 행정 지역 내에 존재하는 모든 숲을 대상으로 공간분포패턴과 다양성을 함께 측정하였다. 또한, 산불에 취약한 소나무 숲만을 따로 추출하여 공간분포패턴과 다양성을 파악하였다(Lee, *et. al.*, 2008).

경관분석은 독립된 하나의 동질적 임상 패치(patch)를 기본 단위로 하여, (Table 1)에서와 같이 밀도, 형태, 가장자리, 형태, 거리와 산포, 다양성을 산출하였다. 이 지수들의 정의와 산출 방법은 McGarigal & Marks(1995)가 제시한 방법을 이용하였다. 패치밀도(PD)는 100ha 안에 패치의 수를 의미하는데, 같은 면적에서 패치가 몇 개로 나누어져 있는가를 측정한다. 클래스 면적비율(PLAND)은 각 패치가 해당 공간 내에서 면적을 얼마나 차지하고 있는지를 비율로 제시한 것이다.

Table 1. FRAGSTAT metrics (McGarigal & Marks, 1995) computed in the analysis

| Metrics | Index (unit) | Scale | |
|--------------------------------|--|--------------------------|--------------|
| | | Landscape (Whole forest) | Class (Pine) |
| Edge/Area/Density | | | |
| PD | Patch density (no. / 100ha) | ○ | ○ |
| PLAND | Percentage of landscape (%) | × | ○ |
| AWMPS | Area weighted mean patch size (ha) | ○ | ○ |
| ED | Edge density (m / ha) | ○ | ○ |
| AWPSSD | Area weighted patch size standard deviation (ha) | ○ | ○ |
| LPI | Largest Patch Index | ○ | ○ |
| MPS | Mean Patch Size (ha) | ○ | ○ |
| Shape | | | |
| AWMSI | Area weighted mean shape index | ○ | ○ |
| FRAC | Fractal Dimension Index | ○ | ○ |
| AWMPFD | Area weighted mean patch fractal dimension index | ○ | ○ |
| Proximity/Isolation | | | |
| MNN | Mean nearest-neighbor distance (m) | ○ | ○ |
| NNSD | Nearest-neighbor distance standard deviation (m) | ○ | ○ |
| ENN | Euclidean Nearest Neighbor Distance (m) | ○ | ○ |
| Interspersion/Contagion | | | |
| CLUMPY | Clumpiness | × | ○ |
| CONTAG | Contagion (%) | ○ | ○ |
| AI | Aggregation index (%) | ○ | ○ |
| CONTIG | contiguity value | ○ | ○ |
| IJI | Interspersion_juxtaposition index (%) | ○ | ○ |
| Diversity | | | |
| SHEI | Shannon's Evenness index | ○ | × |
| SHDI | Shannon's diversity index | ○ | × |

가장자리 밀도(ED)는 가장자리 길이를 면적으로 나누어 산출하는데, 복잡할수록 이 수치가 증가한다. 지역 내 패치의 크기와 관련된 인자는 평균 패치크기(AWMPS)와 크기 표준편차(AWSSD)이다. 패치의 복잡성은 형태지수(AWMSI)와 프랙털 차원 지수(AWMPFD)로 표현할 수 있는데, 값이 높으면 패치가 복잡하다는 것을 의미한다. 패치의 근접성은 평균거리(MNN)와 거리 표준편차는(NNSD)로, 패치의 응집성은 군집도(CLUMPY)와 응집성(AI) 지수로 표현된다. 이와는 반대로 공간상에서 패치가 떨어진 정도는 산재도 지수(IJI)로 표현된다. 이러한 분석 방법은 국립산림과학원이 구획한 생태 지역 단위로 임상 분포와 산불특성과의 관계를 분석한 Lee, *et. al.*(2008)과 동일하게 적용하였다.

3. 산불특성과 산림 분포 패턴 간의 상관관계

생태 지역별로 산림의 분포 패턴을 대변할 수 있는 의미 있는 경관지수를 산출하기 위해 SAS 9.1을 이용해 주성분분석을 수행하였다. 경관지수들은 서로 간에 상관성이 높기 때문에 상관 계수가 0.9가 넘어가는 경우에는 하나의 지수만을 선택하였다(Lee, *et. al.*, 2008; Ritters, *et. al.*, 1995).

마지막으로 행정 지역별 산불특성과 산림 분포 패턴

간의 상관관계를 규명하기 위해 정준상관분석을 수행하였다. 이 분석을 이용한 이유는 산불 특성 변수 집단과 산림 분포 패턴 지수 집단 간의 상관관계뿐만 아니라 각 집단 내에서 어떠한 변수가 중요한 의미를 가지고 있는지 분석할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 경관분석을 통해 추출한 전체 산림과 소나무 숲의 경관지수를 독립 변수집단의 변수로, 행정단위별 산불통계자료를 종속변수집단의 변수로 이용하였다(Lee, *et. al.*, 2008).

III. 결과 및 고찰

1. 지역별 산불특성

1991년 이후부터 총 19년 동안 총 8,520건의 산불이 발생했으며, 연소면적은 51,510ha이었다. 서울, 부산, 대전 등 대도시 지역의 경우 총 산불 건수와 연소면적은 적었으나, 단위 산림면적(1,000ha) 당으로 환산했을 경우에는 반대였다. 즉 산림 단위 면적당 산불건수와 연소면적은 대도시 지역이 많고, 넓었다. 건당 연소면적, 건당 연소시간, 확산속도는 대도시보다는 산림이 많은 지역에서 높았다. 2000년 동해안 산불이 발생한 강원도의 경우 건당 연소면적은 30.54ha, 확산속도는 0.033ha/min로 가장 높았다(<Table 2>).

Table 2. Forest fire statistics by regional administration district

| Administration district | Forest fires | Burned area (ha) | Burned area | | Burned area / fire | Fire spread rate (ha/min) | Combustion time / fire |
|-------------------------|--------------|---------------------|--------------|-------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| | | | Fires | (ha) | | | |
| | | | Per 1,000 ha | | | | |
| Gangwon-do | 992 | 30,296 | 0.50 | 17.84 | 30.54 | 0.033 | 185.53 |
| Gyeonggi-do | 757 | 1,078 | 0.66 | 1.05 | 1.42 | 0.014 | 140.61 |
| Gyeongsangnam-do | 731 | 1,648 | 0.52 | 1.34 | 2.25 | 0.014 | 160.99 |
| Gyeongsangbuk-do | 1381 | 4,115 | 0.54 | 1.63 | 2.98 | 0.012 | 174.89 |
| Gwangju | 182 | 148 | 2.89 | 2.62 | 0.81 | 0.011 | 79.06 |
| Daejeon | 227 | 168 | 3.44 | 2.69 | 0.74 | 0.009 | 60.57 |
| Daegu | 256 | 264 | 2.35 | 2.76 | 1.03 | 0.007 | 146.38 |
| Seoul | 355 | 65 | 4.77 | 0.88 | 0.18 | 0.004 | 46.94 |
| Busan | 409 | 544 | 3.88 | 6.60 | 1.33 | 0.013 | 106.12 |
| Incheon | 310 | 215 | 2.19 | 1.92 | 0.69 | 0.011 | 83.06 |
| Ulsan | 292 | 634 | 2.13 | 5.38 | 2.17 | 0.016 | 126.44 |
| Jeollanam-do | 912 | 2,352 | 0.58 | 1.70 | 2.58 | 0.021 | 164.96 |
| Jeollabuk-do | 595 | 1,063 | 0.58 | 1.45 | 1.79 | 0.015 | 130.56 |
| Jeju | 37 | 129 | 0.18 | 0.64 | 3.49 | 0.027 | 168.35 |
| Chungcheongnam-do | 521 | 4,164 | 0.53 | 3.61 | 7.99 | 0.018 | 154.23 |
| Chungcheongbuk-do | 563 | 873 | 0.60 | 1.06 | 1.55 | 0.014 | 139.04 |
| Total | 8,520 | 51,510 | | | | | |

2. 지역별 산림 분포 패턴

경관분석을 통해 전체 산림 및 소나무 숲의 경관지수를 산출하여 지역별 차이를 살펴본 결과 전체임상과 소나무 숲은 비슷한 공간분포패턴을 나타내었다. 즉 강원, 경북, 부산과 같은 지역에서 패치밀도가 낮게 나타나는 반면 전라도, 충청도, 광주, 제주 지역은 높은 패치밀도를 나타내었다. 또한, 강원, 부산, 서울과 같이 패치밀도가 낮은 지역에서 응집성이 높은 것으로 나타났다. 이를 통해, 지역별로 산림의 공간분포가 뚜렷한 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있으며, 단위 면적당 적은 수의 패치가 나타나는 지역에서 임상의 결속이 높

다고 판단할 수 있다(Figure 2), (Figure 3).

시·도 단위로 산출된 경관지수를 대입하여 주성분 분석을 수행한 결과를 (Table 3)에 나타내었다. 전체 산림 분포에 있어서 1보다 큰 고유값을 갖는 주성분은 3개이며 전체변동의 84%를 설명함을 알 수 있다. 첫 번째 주성분은 지역 내 임상패치의 응집성을 나타내는 변수라 할 수 있으며 두 번째 주성분은 임상패치의 형태적 복잡성 및 낮은 정도의 파편화, 세 번째 주성분은 지역 내 큰 임상패치가 차지하는 우점도를 나타내는 변수라 판단할 수 있다.

(Figure 4)는 전체임상의 처음 두 개 주성분을 이용

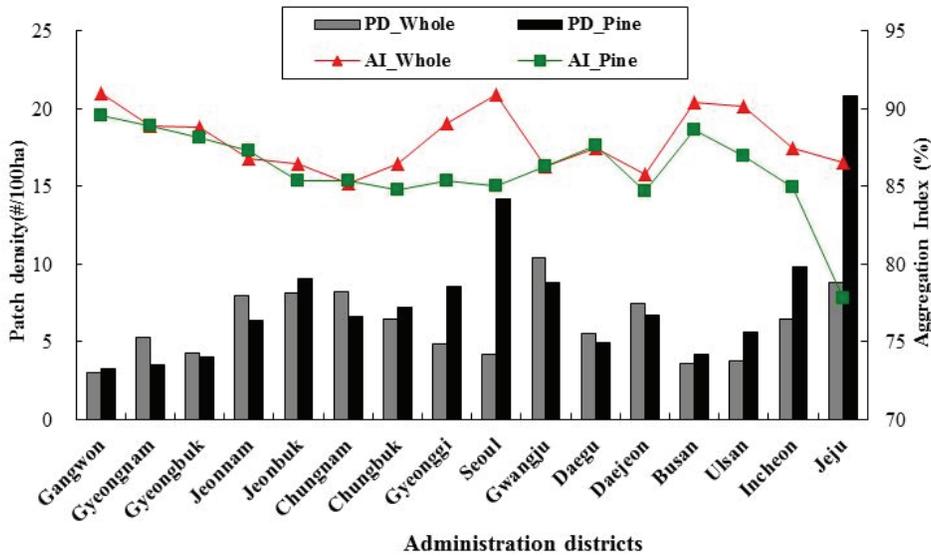


Figure 2. Patch density(PD) and Aggregation index(AI) of each administration district

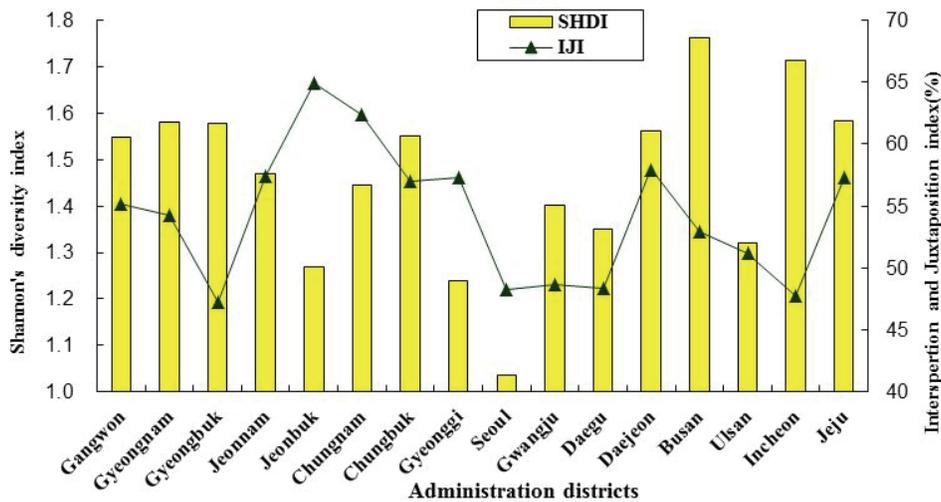


Figure 3. Shannon diversity index(SHDI) and Interspersion and juxtaposition index(IJI) of each administration district

Table 3. The results of principal component analysis for whole forest patches

| Patch type | Principal component # | | |
|---------------------|-----------------------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Eigen value | 4,27 | 2,98 | 1,18 |
| Cumulative Variance | 42,71% | 72,49% | 84,29% |
| Component Loading | | | |
| PD | -0,316 | -0,408 | -0,076 |
| LPI | -0,019 | -0,231 | 0,796 |
| SHAPE | -0,016 | 0,542 | 0,253 |
| FRAC | -0,252 | 0,353 | 0,350 |
| CONTIG | 0,240 | 0,465 | -0,160 |
| ENN | 0,372 | -0,092 | -0,212 |
| CONTAG | 0,439 | -0,196 | 0,024 |
| IJI | -0,378 | 0,040 | -0,096 |
| SHDI | -0,387 | 0,237 | -0,285 |
| AI | 0,392 | 0,202 | 0,112 |

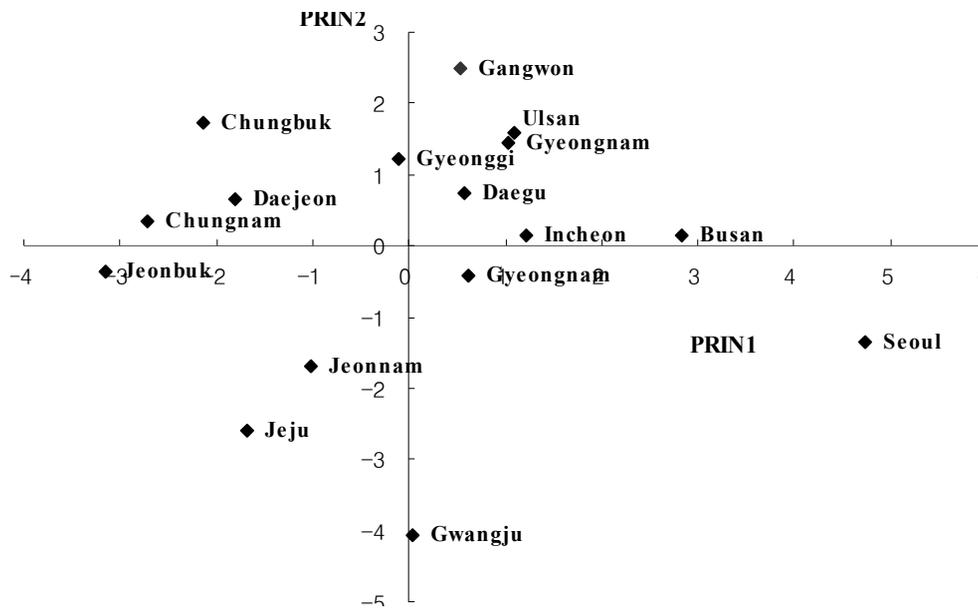


Figure 4. The scatter-gram between principal component 1 and 2 for whole forest patches

한 산점도이다. 강원, 울산, 경남 등의 지역은 산림의 응집성이 높고 패치밀도가 낮은 지역으로 분류될 수 있으며, 충북, 대전, 충남은 응집성이 낮고 패치밀도가 높은 지역으로 분류될 수 있다. 서울은 제 1주성분에 있어 가장 큰 값을 갖는 두드러진 특징을 보이는데, 이는 임상패치의 응집성이 높은 것을 의미한다. 광주주는 제 2주성분에 있어 가장 작은 값을 나타내는데, 이는 산림의 파편화 정도가 가장 큰 것을 의미한다. 산점도를 토대로 산림의 공간분포특성을 살펴보았을 때, 지역별 산림의 공간분포 특성이 뚜렷이 나타남을 알 수 있다.

소나무 숲만을 대상으로 했을 때 1보다 큰 고유햄을

갖는 주성분은 2개이며 전체변동의 72%를 설명함을 알 수 있다(Table 4). 첫 번째 주성분은 소나무 숲의 파편화를 나타내는 변수라 할 수 있으며, 두 번째 주성분은 소나무 숲의 패치 간 근접성을 나타내는 변수라 볼 수 있다. 서울, 제주, 광주지역에 분포하는 소나무 숲의 파편화가 두드러졌으며, 강원, 경남, 경북 지역의 소나무 숲은 상대적으로 파편화가 진행되지 않아, 큰 규모로 존재함을 알 수 있었다. 서울 지역의 소나무 숲은 제주지역에 비해 소나무 숲 간의 근접성이 상대적으로 높음을 알 수 있었다(Figure 5).

Table 4. The results of principal component analysis for pine forest patches

| Patch type | Principal component # | |
|---------------------|-----------------------|--------|
| | 1 | 2 |
| Eigen value | 3,99 | 1,99 |
| Cumulative Variance | 49,91% | 74,87% |
| Component Loading | | |
| PD | -0,450 | -0,216 |
| MPS | 0,433 | 0,082 |
| LPI | -0,236 | 0,464 |
| SHAPE | 0,471 | -0,090 |
| FRAC | 0,344 | -0,262 |
| CONTIG | 0,295 | 0,430 |
| ENN | -0,277 | 0,468 |
| CONTAG | 0,225 | 0,500 |

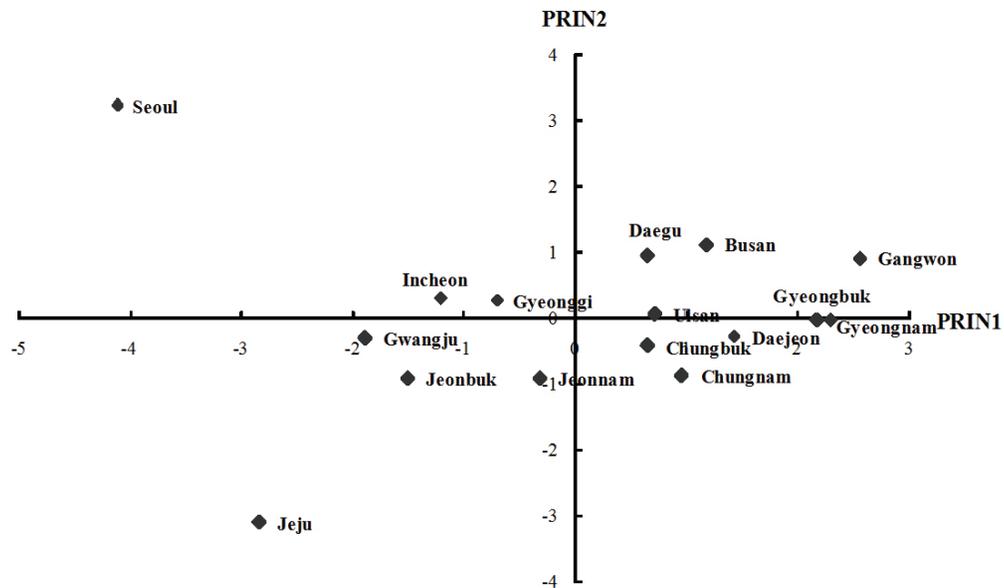


Figure 5. The scatter-gram between principal component 1 and 2 for pine forest patches

3. 산불과 산림 분포 패턴과의 상관관계

지역별 경관지수와 산불특성 변수 간에 의미 있는 상관관계를 나타내는 변수들은 <Table 5>와 같다. 임상 패치의 평균크기(MPS)는 주로 연소면적(F2, F3)과 유의한 양의 상관관계를 나타내었다. 즉 산림경관 내 임상 패치의 평균크기가 클수록 산불 발생 시 연소면적 또

한 커진다는 것을 알 수 있다. 산불 발생 건수는 전체 임상의 프랙털 차원, 패치 간 최소거리, 다양성지수, 소나무 숲의 최대패치비율, 패치 간 최소거리지수와 유의한 상관관계를 나타내었다. 즉 시·도 지역별로 숲을 구성하는 수종이 단순할수록, 숲 패치 간의 거리가 가깝고, 응집될수록, 숲의 가장자리가 단순할수록 단위면

Table 5. The results of Pearson correlation between forest fire variables and landscape metrics

| Variables | Whole forest | | | | | | Pine forest | |
|-------------------------|--------------|---------|----------|--------|----------|---------|-------------|---------|
| | MPS | FRAC | ENN | CONTAG | SHDI | SHEI | MPS | ENN |
| Fires / 1,000ha | - | -0,500* | 0,734** | 0,560* | -0,728** | -0,540* | - | 0,551* |
| Burned area / 1,000ha | 0,673** | - | - | - | - | - | - | - |
| Burned area / fire | 0,531* | - | - | - | - | - | 0,534* | - |
| Combustion time / fire | - | - | -0,658** | - | 0,546* | - | - | -0,561* |
| Rate of spread (ha/min) | - | - | -0,569* | - | - | - | - | - |

Table 6. The results of canonical correlation analysis between forest fire characteristics and whole forest landscape indices

| Patch type | Canonical Weights | Canonical Loading | Canonical Cross-Loading |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| Dependent variables | | | |
| Fires / 1,000ha | 1.6754 | 0.6874 | 0.6526 |
| Burned area / 1,000ha | -1.5609 | -0.2814 | -0.2671 |
| Burned area / fire | 0.6450 | -0.3794 | -0.3602 |
| Combustion time / fire | 0.0573 | -0.6781 | -0.6437 |
| Rate of spread (ha/min) | 1.2295 | -0.2499 | -0.2373 |
| Independent variables | | | |
| CONTAG | -0.0363 | 0.4588 | 0.4356 |
| ENN | 0.1518 | 0.5861 | 0.5564 |
| IJI | 0.6702 | -0.2111 | -0.2004 |
| SHDI | -1.3684 | -0.7837 | -0.7440 |
| AI | -0.3591 | 0.0091 | 0.0086 |
| Redundancy Index | 0.5882 | | |
| Canonical correlation coefficient | 0.949* | | |

Table 7. The results of canonical correlation analysis between forest fire characteristics and pine forest landscape indices

| Patch type | Canonical weights | Canonical Loading | Canonical Cross-Loading |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| Dependent variables | | | |
| Fires / 1,000ha | 0.4911 | 0.1299 | 0.1155 |
| Burned area / 1,000ha | -1.9100 | -0.6342 | -0.5638 |
| Burned area / fire | 0.8651 | -0.4957 | -0.4407 |
| Combustion time / fire | -0.6767 | -0.4294 | -0.3817 |
| Rate of spread (ha/min) | 1.1536 | -0.1187 | -0.1055 |
| Independent variables | | | |
| PD | 0.4955 | 0.9467 | 0.8416 |
| SHAPE | 0.1028 | -0.7252 | -0.6447 |
| MPS | -0.6269 | -0.9657 | -0.8585 |
| Redundancy Index | 0.3085 | | |
| Canonical correlation coefficient | 0.888* | | |

적당 발생 건수가 많았다.

소나무 숲 패치 평균 크기가 클수록 건당 연소면적이 컸으며, 건당 연소시간과 소나무 숲 패치 간 거리는 음의 관계가 있었다. 즉 소나무 숲 간의 거리가 가까울수록 연소시간이 길어졌다.

정준상관분석을 이용하여 전체산림 및 소나무 숲 공간분포특성을 나타내는 지역별 경관지수와 산불특성변수들 간의 정준상관 함수식을 도출한 결과는 <Table 6>, <Table 7>과 같다. 전체산림의 5개 경관지수군(독립변수군)과 산불특성변수군(종속변수군)에서 각각 유도된 첫 번째 정준변수간의 정준상관계수는 0.949(p -값=0.02)이다. 소나무 숲 3개 경관지수군과 산불특성변수군에서 각각 유도된 첫 번째 정준변수간의 정준상관계수는 0.888(p -값=0.03)이다. 정준 가중치에 근거했을 때, 전체산림의 정준변수는 임상의 다양성지수

(SHDI)에 가장 큰 가중치를 두고 있으며 이와 짝을 이루는 산불특성변수군의 정준변수는 1,000ha당 발생 건수, 1,000ha당 연소면적에 가장 큰 가중치를 두고 있다. 이를 산불 특성과 살펴보면 숲을 구성하는 수종이 단순하고, 응집성이 높을수록 산림 1,000ha당 산불 건수가 많고 확산속도가 빨랐다.

소나무 숲의 정준변수는 평균패치크기(MPS)에 가장 큰 가중치를 두고 있으며, 이와 짝을 이루는 산불특성변수군의 정준변수는 1,000ha당 연소면적, 확산속도에 높은 가중치를 두고 있다. 산불 특성변수군에서 유도된 정준변수와 전체임상 및 소나무 숲의 경관지수 사이의 정준교차부하량을 보았을 때, 산불특성변수군의 정준변수는 전체임상의 다양성지수, 소나무 숲의 패치 밀도 및 평균패치크기와 높은 상관관계에 있음을 알 수 있다. 산불특성변수군의 전체분산 중 전체임상의 경관

지수군에 의해 설명될 수 있는 비율은 0.5882이며, 소나무 숲의 경관지수군에 의해 설명될 수 있는 비율은 0.3085이다.

이를 해석해 보면 동일한 면적에서 소나무 숲 패치의 수가 많고, 소나무 숲 패치의 크기가 작을수록 산림 1,000ha당 연소면적은 많았지만, 확산속도는 느렸다. 즉 소나무 숲이 파편화될수록 도시권 산불특성을 보였는데, 1,000ha당 발생 건수와 연소면적은 많고, 크지만 산불 한 건당 연소면적과 확산속도는 느렸다. 이는 Lee, et. al.(2008)의 연구결과에서와 마찬가지로 우리나라의 산불특성이 소나무 숲의 분포특성과 밀접한 관련이 있음을 의미한다.

IV. 결론

본 연구에서는 지역별 산림의 공간분포특성 및 산불 특성을 파악하고 두 특성변수들 간의 상관관계를 알아 보았다. 연구 결과 산림의 공간분포 및 산불특성은 지역 간의 뚜렷한 차이가 있어, 산불의 발생 및 피해를 예측하는 데 있어 경관지수가 유용한 설명변수가 됨을 알 수 있었다. 산불과 밀접한 연관을 갖는 소나무 숲의 경우 서울, 제주, 광주지역은 파편화가 두드러졌으며, 강원, 경남, 경북 지역의 경우 상대적으로 파편화가 진행되지 않아, 큰 규모로 존재하였다. 숲을 구성하는 수종이 단순하고, 응집성이 높을수록 산림 1,000ha당 산불 건수가 많고 확산속도가 빨랐다. 소나무 숲이 파편화될수록 1,000ha당 발생 건수가 많고, 연소면적은 크지만, 산불 한 건당 연소면적과 확산속도는 느렸다. 이러한 연구 결과는 숲의 올바른 관리를 통해 산불 발생을 줄이고, 확산속도를 느리게 할 수 있음을 보여준다.

References

- Baker, W. L. 1989. Effect of Scale and Spatial Heterogeneity on Fire Interval Distributions. *Canadian Journal of Forest Research*. 19: 700-706.
- Broncano, M. J. and J. Retana. 2004. Topography and Forest Composition Affecting the Variability in Fire Severity and Post-fire Regeneration Occurring after a Large Fire in the Mediterranean Basin. *International Journal of Wildland Fire*. 13(2): 209-216.
- Christensen, N. L. 1981. Fire Regimes in Southeastern Ecosystems. *Proceedings of the Conference on Fire Regimes and Ecosystem Properties*. US Department of Agriculture General Technical Report. 112-136.
- Cumming, S. and P. Vernier. 2002. Statistical Models of Landscape Pattern Metrics, with Applications to Regional Scale Dynamic Forest Simulations. *Landscape Ecology*. 17(5): 433-444.
- Ducan, B. W. and P. A. Schmalzer. 2004. Anthropogenic Influences on Potential Fire Spread in a Pyrogenic Ecosystem of Florida, USA. *Landscape Ecology*. 19(2): 153-165.
- Forman, R. T. 1995. Land Mosaics. *The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press: 351-363.
- Hargrov, W. W., R. H. Gardner, M. G. Turner, W. H. Romme, and D. G. Despain. 2000. Simulating Fire Patterns in Heterogeneous Landscape. *Ecological Modelling*. 135: 243-263.
- Korea Forest Service. 2016. *2015 Statistical Yearbook of Forest Fire*.
- Krumel, J. R., R. H. Gardner, G. Sugihara, R. V. O'Neill, and P. R. Coleman. 1987. Landscape Patterns in a Disturbed Environment. *Oikos*. 48: 321-324.
- Larsen, C. P. S. 1997. Spatial and Temporal Variations in Boreal Forest Fire Frequency in Northern Alberta. *Journal of Biogeography*. 24: 663-673.
- Lee, Byung Doo, Jung Eun Song, Myung Bo Lee, and Joo Sang Chung. 2008. The Relationship between Characteristics of Forest Fires and Spatial Patterns of Forest Types by the Ecoregions of South Korea. *The Journal of Korean Forest Society*. 97(1): 1-9.
- Lee, Byung Doo, Pil Sun Park, and Joo Sang Chung. 2006. Temporal and Spatial Characteristics of Forest Fires in South Korea between 1970 and 2003. *International Journal of Wildland Fire*. 15(3): 389-396.
- Lee, Byung Doo. 2005. Analysis of Behavior Characteristics of the 2000 Samcheok Forest Fire Using GIS/RS and Development of a Forest Fire Growth Prediction Model.

- Ph. D. Dissertation. Seoul National University.
- Leitao, A. B. and J. Ahern. 2002. Applying Landscape Ecological Concepts and Metrics in Sustainable Landscape Planning. *Landscape Urban Plan.* 59: 65-93.
- Lloret, F., E. Calvo, X. Pons, and R. Díaz-Delgado. 2002. Wildfires and Landscape Patterns in the Eastern Iberian Peninsula. *Landscape Ecology.* 17(8): 745-759.
- McGarigal, K. and B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis. *Program for Quantifying Landscape Structure.* US Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station GTR-351.
- Morgan, P., C. C. Hardy, T. W. Swetnam, M. G. Rollins, and D. G. Long. 2001. Mapping Fire Regimes across Time and Space: Understanding Coarse and Fine Scale Patterns. *International Journal of Wildland Fire.* 10: 329-342.
- Mouillot, F., J. P. Ratte, R. Joffre, J. M. Moreno, and S. Rambal. 2003. Some Determinants of the Spatio-temporal Fire Cycle in a Mediterranean Landscape (Corsica, France). *Landscape Ecology.* 18(7): 665-674.
- Parisien, M. A., 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.* 15(3): 361-374.
- Pew, K. L. and C. P. S. Larsen. 2001. GIS Analysis of Spatial and Temporal Patterns of Human-caused Wildfires in the Temperate Rain Forest of Vancouver Island, Canada. *Forest Ecology and Management.* 140: 1-18.
- Pickett, S. T. and P. S. White. 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics.* Academic Press, USA.
- Ritters, K. H., R. V. O'Neill, C. T. Hunsaker, J. D. Wickham, D. H. Yankee, S. P. Timmins, K. B. Jones, and B. L. Jackson. 1995. A Factor Analysis of Landscape Pattern and Structure Metrics. *Landscape Ecology.* 10(1): 23-39.
- Roberts, D. W. 1996. Landscape Vegetation Modelling with Vital Attributes and Fuzzy Systems Theory. *Ecological Modelling.* 90: 175-184.
- Román-Cuesta, R. M., M. Gracia, and J. Retana. 2003. Environmental and Human Factors Influencing Fire Trends in Enso and Non-enso Years in Tropical Mexico. *Ecological Applications.* 13(4): 1177-1192.
- Schroeder, D. and A. H. Perera. 2002. A Comparison of Large-scale Spatial Vegetation Patterns Following Clearcuts and Fire in Ontario's Boreal Forests. *Forest Ecology and Management.* 159: 217-230.
- Seol, A Ra, Byung Doo Lee, and Joo Sang Chung. 2011. Analysis of the Seasonal Characteristics of Forest Fires in South Korea Using the Multivariate Analysis Approach. *Journal of Forest Research.* 17(1): 45-50.
- Stenhouse, R. N. 2004. Fragmentation and Internal Disturbance of Native Vegetation Reserve in the Perth Metropolitan Area, Western Australia. *Landscape and Urban Planning.* 68: 389-401.
- Turner, M. G. 1989. Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. *Annual Reviews Ecology & Systematics.* 20: 171-197.
- Turner, M. G. and W. H. Romme. 1994. Landscape Dynamics in Crown Fire Ecosystems. *Landscape Ecology.* 9(1): 59-77.
- Turner, M. G., R. H. Gardner, and R. V. O'Neill. 2001. *Landscape Ecology in Theory and Practice Pattern and Process.* Springer: 401.
- Korean References Translated from the English*
- 산림청. 2016. 2015 산불통계연보.
- 이병두. 2005. GIS와 RS를 이용한 2000년 삼척산불 행동 특성 분석 및 산불확산예측모델 개발. 서울대학교 대학원 농학박사학위논문.
- 이병두, 송정은, 이명보, 정주상. 2008. 한국의 생태지역별 산불 특성과 임상분포패턴과의 관계. *한국임학회지.* 97(1): 1-9.

Received: Oct. 17, 2016 / Revised: Nov. 14, 2016 / Accepted: Nov. 16, 2016

광역 행정단위별 산림 분포 패턴과 산불 특성과의 관계

국문초록 생태계 교란의 한 요소로서 산불은 경관패턴과 강한 연관성이 있다. 본 연구에서는 한국의 16개 광역 행정단위별로 산림의 공간분포특성 및 산불특성을 파악하고 두 특성변수들 간의 상관관계를 알아보려고 하였다. 이를 위해 시·도별로 산불특성을 분석하고, 수치임상도를 대상으로 경관지수를 산출하여, 두 인자간의 정준상관을 분석하였다. 산림의 분포를 경관지수로 분석한 결과, 지역별로 수종의 다양성, 파편화, 응집성, 근접성에 차이가 뚜렷했다. 숲을 구성하는 수종이 단순하고, 숲 패치 간의 거리가 가깝고, 응집되고, 숲의 경계선이 단순할수록 단위면적당 발생 건수가 많았다. 소나무 숲의 패치 평균 크기가 클수록 산불 한 건당 연소면적이 컸으며, 소나무 숲 사이의 거리가 가까울수록 연소시간이 길어졌다. 이러한 연구 결과는 경관지수가 산불의 발생 및 피해를 예측하는데 있어 유용한 설명변수임을 의미하며, 숲의 올바른 관리를 통해 산불 발생을 줄이고, 확산속도를 느리게 할 수 있음을 보여준다.

주제어 : 산불, 경관지수, 정준상관분석, 임상도

Profiles **Byung Doo Lee** : He received his Ph.D. in Agriculture from Seoul National University in August 2005 with his Ph.D. paper titled "Analysis of Behavior Characteristics of the 2000 Samcheok Forest Fire Using GIS/RS and Development of a Forest Fire Growth Prediction Model". He is currently working for Forest Disaster Management Division of the National Institute of Forest Science as a senior researcher. He has conducted various research projects on forest fire and building on it, published many academic papers. His current research interest includes forest fire prediction and suppression techniques and forest danger assessment(byungdoo@korea.kr).

Jung Eun Song : She obtained her master's degree in agriculture in February 2007 with her paper titled "Evaluating the Impacts of Forest Management Activities on Landscape Structure" and finished a doctoral course in agriculture in February 2009. She is currently working as a Forestland Policy Research Team leader at Forestland Research Center of Korea Forest Conservation Association. She has conducted a variety of research projects on forest landscape structure change caused by forest use and/or forestland development, and forest connectivity assessment by using GIS/RS. A number of studies based on such projects have been published. Major research interest includes forestland policy, forestland planning, and forest connectivity assessment(readjean@kfca.re.kr).