

都市內 孤立 林地의 소나무림에 對한 生態學的 診斷

趙 顯 濟\*

계명대학교 환경대학

Ecological Diagnosis on Korean Red Pine (*Pinus densiflora* Seibold & Zucc) Stands in Isolated Urban Forest

Hyun-Je Cho\*

College of Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

요 약: 도시림은 도시생태계의 생물종다양성 유지와 증진에 많은 기회를 제공한다. 본 연구는 군락 및 경관생태학적 방법으로 서울, 인천, 대구, 울산, 그리고 청주 등 5개 도시지역의 고립 임지 내 소나무림의 현존 상태를 진단하여 효율적인 보전방안을 모색하기 위한 기초정보를 제공하는데 있다. 5개 조사지역은 각각 나름대로의 지역적 특성을 나타내고 있었는데, 소나무림의 임분 동태에서 보면 모든 지역에서 소나무 유식물의 발생이 오래전 단절된 상태로 나타났다. 종다양성 지수에 있어서는 청주가 평균 1.86으로 가장 높게 나타났으며, 대구는 1.35로 가장 낮게 나타났다. 외래종 비율은 대구가 15.8%로 가장 높은 반면, 청주가 4.9%로 가장 낮게 나타나 종다양성과는 상반된 경향을 보였다. 식생 경관분석 결과, 소나무 패치의 복잡성 정도 즉 프랙탈 지수에 있어서는 대도시보다 중소도시에서 보다 높게 나타났으나 통계적으로 유의성은 없었다. 소나무 패치의 복잡성은 종다양성 및 종풍부도와 유의한 상관관계를 보였으나 외래종 비율과는 그렇지 않은 것으로 나타났다. 종합적으로 보면, 도시 내 고립 임지의 소나무림을 재생하기 위해서는 군락과 경관생태학적 정보에 의거한 생태학적 관리와 더불어 신중한 인공갱신 전략이 필요하다고 생각된다.

Abstract: The urban forest offer many opportunities to maintain and enhance local and regional biological diversity. *Pinus densiflora* stands in isolated urban forest in five areas of Seoul, Incheon, Daegu, Ulsan, and Cheongju were investigated by landscape and community ecological methods for diagnosis of current status and construction of conservation plan. Species composition of five study areas revealed regional characteristics. As the result of stand dynamics, absence of pine seedlings and saplings were observed. Cheongju, significantly, revealed highest species diversity (H'=1.86) and richness (24) among study areas, and the opposite was true for Daegu (1.35 for H', and 14 for richness). Ratio of alien species was highest in Daegu (15.8%) (F=5.05, p=0.0016). Based on landscape analysis, complexity of pine patch was higher in local city than metropolitans, but statistically not significant (p=0.133). Complexity of pine patch revealed significant positive correlation with diversity and richness, but not with percentage of aliens. Synthetically, ecological management based on community and landscape ecological information was recommended. Cautious artificial regeneration strategy was necessary to regenerate pine forest in urban area.

Key words : *Pinus densiflora*, urban forest, urbanization, ecological management, regeneration

서 론

도시림은 지역적 생물종다양성의 유지와 증진에 많은 역할을 수행하고 있다(Anderson, 1993). 또한 도시림은 끊임없이 인간의 간섭아래 놓여 있어 인간환경의 한 부분으로 인식되기도 한다(Kamada et al., 1991; Miller, 1997). 인간의 과도한 활동은 막대한 양의 오염물질을 도시로 배출하고 있으며, 그 결과 도시림과 같은 도시 내의

자연 요소들은 다양한 오염물질과 열섬현상 등에 노출되어 있고, 산림쇠퇴와 같은 문제점을 발생시키기도 한다(Lee et al., 2007a와 2007b). 이러한 점에서 도시림의 생태적 진단을 바탕으로 한 객관적 보전 및 관리계획 수립은 아주 중요하다.

우리나라의 대표적 식생경관요소 중 하나인 소나무림은 인간의 간섭과 더불어 성립하고 유지되어 왔으며(Lee and Hong, 1998), 1970년대까지 남한 산림면적의 거의 절반을 점유하고 있었지만(KFS, 1971) 그 후 산림이용 형태의 변화와 자연 친이 등에 의하여 최근에는 남한 산

\*Corresponding author  
E-mail: jhj132@kmu.ac.kr

림면적의 약 1/3을 점유하고 있는 상태이다(KFS, 2002). 특히 1980년대 이후 꾸준히 집중하고 있는 숲일회파리에 의한 피해는 이러한 소나무림의 활엽수림으로의 천이를 더욱 촉진시켰다고 할 수 있다(Lee, 1989).

일반적으로, 도시 내 산림생태계는 종조성과 기능이 단순하게 되고, 인간의 간섭이 커지는 도시 내부로 갈수록 파편화가 많이 발생하며(Cho *et al.*, 1999), 더구나 산림경관에서는 자연적 교란보다 인위적 요소에 의한 변화가 더 현저하게 나타난다(Kamada *et al.*, 1991; Bastian and Bernhardt, 1993). 도시 발달에 따른 산림경관 파편화는 도시 내 생물종다양성의 유지에 영향을 주고 내부 서식처를 줄이게 되는 가장자리가 증가하여, 다양한 수준에서 지역의 생물상을 변화 시킨다(Saunders *et al.*, 1991; Vogelmann, 1995; Riitters *et al.*, 2000). 이처럼, 도시지역은 소나무림과 같은 자연 요소에 대한 인간의 영향이 점차 증가하는 측면이 강하여, 경관생태학적 관점을 통한 자연자원의 분석과 잔존 자연요소의 관리가 중요한 대안으로 부각되고 있다 (Noss, 1983; Sharitz *et al.*, 1992; Swanson and Franklin, 1992; Dale *et al.*, 2000; Liu and Taylor, 2002; Cho *et al.*, 2006).

본 연구는 우리나라 도시 내 고립된 임지에 잔존하고 있는 소나무림의 생태적 특성을 군집 및 경관생태학적 측면에서 진단하여 보다 효율적인 관리방안을 모색하는데 있으며, 이를 위하여 소나무림의 종조성, 종다양성, 종풍부도, 외래종의 비율 및 경관생태학적 특성을 분석하고, 도출된 정보를 바탕으로 도시내 고립임지에 잔존하고 있는 소나무림의 보전방안을 논의하고자 한다.

## 재료 및 방법

본 연구의 조사지역은 서울 남산과 인왕산, 대구 장기공원, 인천 철마산, 울산 염포산, 그리고 청주 우암산 등 5개 지역이며 대부분 개발 및 도로 건설에 의해 주변 산림으로부터 고립된 임지이며, 특히 염포산과 철마산은 해안에 인접되어 있는 산림이다(Figure 1). 대구의 조사지소를 제외한 모든 지역에서 작성된 정밀식생도(1:5000)에 의하면 남산, 인왕산, 우암산, 염포산의 소나무림은 각각 전체 산림 면적의 38.6%(82.7ha), 43.5%(91.1ha), 6.7%(26.9ha) 및 9.6%(71.1ha)을 차지하고 있었다.

임분의 종조성 및 구조적 특성 파악을 위한 식생 조사는 2002년부터 2003년 까지 식물사회학적방법(Braun-Blanquet, 1964)으로 수행되었으며, 지역별로 다소 차이가 있지만 5개 지역에서 모두 58개의 식생자료가 수집되었으며, 조사구의 크기는 10m×10m를 적용하였다. 그리고 소나무림의 동태를 파악하기 위하여 지역별 가장 전형적인 임분에서 흉고직경 4 cm 이상 교목성 개체목을 대

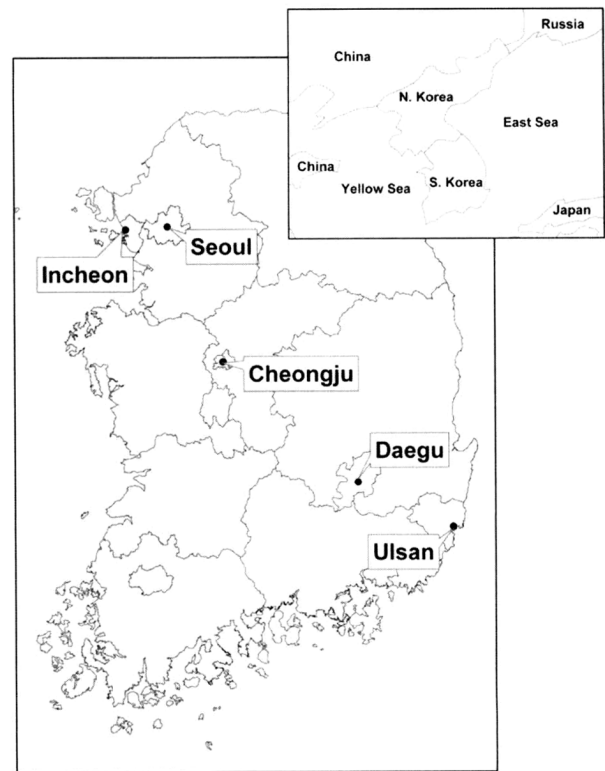


Figure 1. The map showing geographic location of five study areas.

상으로 매목조사를 실시하여 직경급빈도분포도를 작성하였다. 출현한 식물의 종명은 이창복(1985), 국가표준식물목록(2003), 그리고 외래종은 박수현(1995)의 기준에 따랐다. 식생경관의 특성을 파악하기 위해 소나무림 패치의 프랙탈 지수를 Fragstats 3.3(McCarigal and Marks, 1995) 프로그램으로 분석하였다. 각 조사지역간 종조성의 유사정도를 서열분석을 통해 비교하였으며, PC-ORD ver. 4.20 프로그램을 이용하였다(McCune and Grace, 2002). 조사구 별 Shannon-Wiener 다양성 지수 ( $H'$ ) (Magurran, 2004), 종풍부도(종수, richness), 및 외래종의 비율을 구하고 분산분석을 통하여 조사지역간 평균적인 경향을 비교하였다. 경관수준의 관리방안을 논의하기 위해 경관과 식생 속성의 상관관계를 Spearman rank correlation coefficient ( $r_s$ )를 구하여 분석하였다. 통계 분석은 SAS ver. 9.1(SAS Institute., Cary, NC) 프로그램을 이용하였고, 유의확률은 0.05 이하로 하였다.

## 결 과

### 1. 종조성과 임분 동태

각 조사지소간 종조성의 유사정도를 서열법으로 분석한 결과, 서울의 경우 대개 1축의 왼쪽 영역에 분포하였지만 일부 조사 지소는 청주와 유사한 종조성을 나타내었다. 해안 지역에 위치한 울산과 인천의 경우는 대개 오

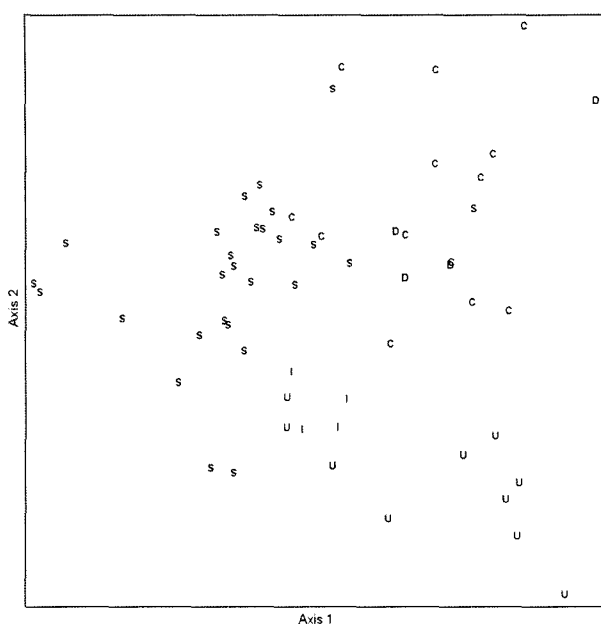


Figure 2. DCA ordination of vegetation samples of isolated pine forests of Seoul (signified by the letter S), Incheon (signified by the letter I), Cheongju (signified by the letter C), Daegu (signified by the letter D), Ulsan (signified by the letter U).

른쪽 하단, 그리고 내륙에 위치한 청주와 대구는 주로 오른쪽 상단에 위치하여 해안과 내륙 임분의 종조성이 각각 차이가 남을 알 수 있었다(Figure 2). 한편, 축 1과 2의 eigen value는 각각 0.63과 0.53이었다. 소나무 임분의 동태를 파악하기 위하여 각 조사지역별 직경급빈도분포도를 작성한 결과, 공통적으로 정규분포에 가까운 형태를 나타내어 소나무 유식물의 보충이 거의 이루어지지 않고 있음을 알 수 있었으며, 특히 서울의 경우, 작은 직경급에서 팔배나무, 때죽나무 등 호양성 수종들이 매우 높은 빈도를 차지하고 있었으며, 울산의 경우에는 작은 직경급에서 졸참나무, 신갈나무와 같은 참나무류가 높은 빈도로 나타나고 있었다(Figure 3과 4). 이러한 경향은 조사지소의 환경요인도 있지만 고립화 정도와 임분 면적의 차이로 판단된다. 한편, 각 조사지역별 임분 구성 주요

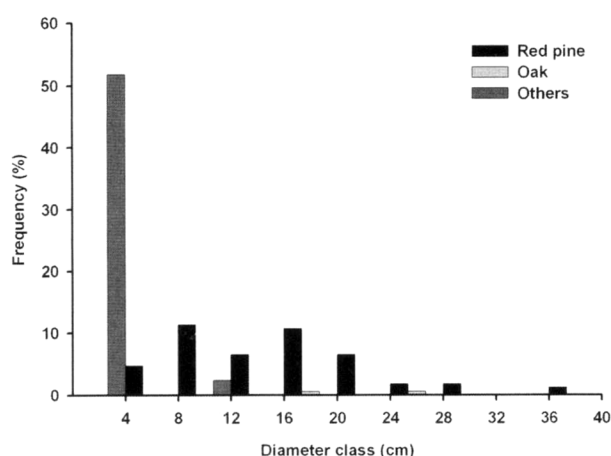


Figure 3. Frequency distribution of diameter class of major tree species in Seoul.

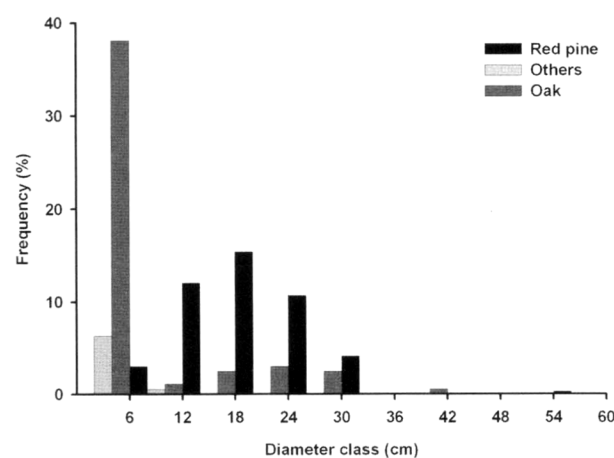


Figure 4. Frequency distribution of diameter class of major tree species in Ulsan.

수종의 중요치를 분석한 결과, 우점종인 소나무를 제외 하면 서울은 때죽나무와 아까시나무, 인천은 신갈나무와 리기다소나무, 울산은 졸참나무와 사방오리나무, 대구는 아까시나무와 리기다소나무, 청주는 졸참나무와 아까시나무 등의 중요치가 다른 구성종에 비하여 상대적으로 높게 나타남을 알 수 있었다(Table 1).

Table 1. Importance value (mean ± se) of major woody species in five study areas.

Site	Seoul (n=27)	Incheon (n=4)	Ulsan (n=10)	Daegu (n=4)	Cheongju (n=13)
<i>Pinus densiflora</i>	49.0 ± 1.5	50.1 ± 7.0	50.1 ± 2.7	57.7 ± 6.9	48.1 ± 3.0
<i>Robinia pseudoacacia</i>	2.6 ± 1.0	<1	3.1 ± 1.3	11.1 ± 6.2	4.2 ± 1.7
<i>Quercus serrata</i>	<1	1.2 ± 0.7	7.2 ± 2.3	1.3 ± 0.8	6.0 ± 2.3
<i>Styrax japonicus</i>	4.7 ± 2.2	-	1.9 ± 0.9	-	<1
<i>Q. mongolica</i>	<1	17.0 ± 2.0	4.0 ± 2.4	<1	<1
<i>Q. acutissima</i>	1.9 ± 1.2	-	-	1.9 ± 0.7	3.0 ± 1.0
<i>Sorbus alnifolia</i>	1.6 ± 0.6	<1	-	?	1.8 ± 1.0
<i>Prunus serrulata</i>	2.2 ± 0.7	-	-	<1	<1
<i>Alnus firma</i>	-	-	5.3 ± 1.8	-	-
<i>P. rigida</i>	<1	3.8 ± 1.9	-	3.0 ± 2.2	<1

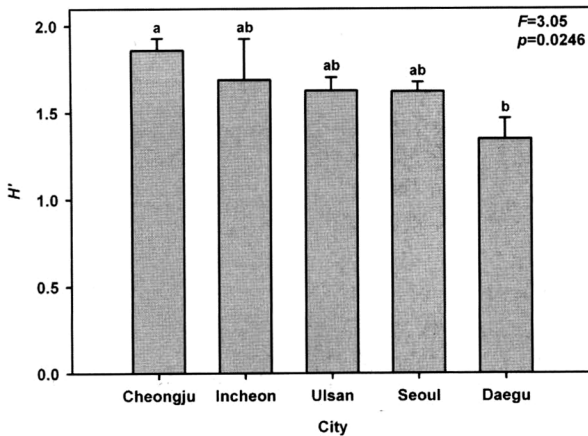


Figure 5. Species diversity ( $H'$ ) of Korean red pine forests of five study areas. Mean species diversity and se (standard errors) bars shown separately for study areas. Bars having different letters were statistically different ( $p < 0.05$ ).

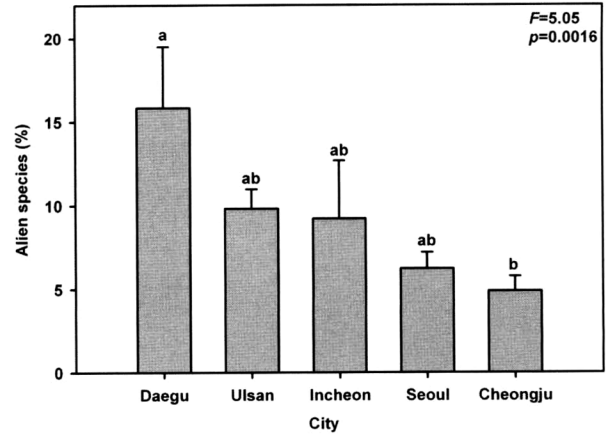


Figure 7. Percentages of alien species of plots in five study areas. Mean ratio of aliens and se (standard errors) bars shown separately for study areas. Bars having different letters were statistically different ( $p < 0.05$ ).

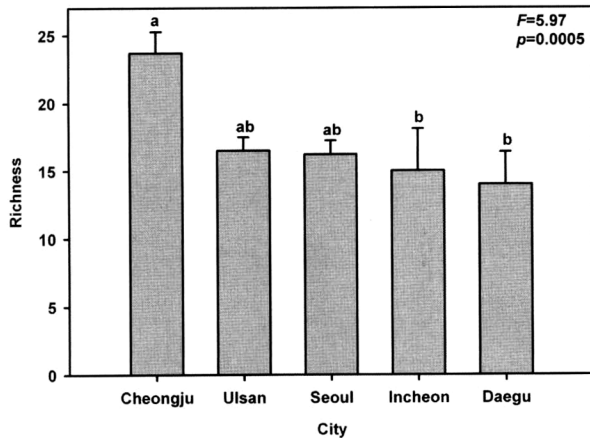


Figure 6. Species richness of Korean red pine forests of five study areas. Mean species richness and se (standard errors) bars shown separately for study areas. Bars having different letters were statistically different ( $p < 0.05$ ).

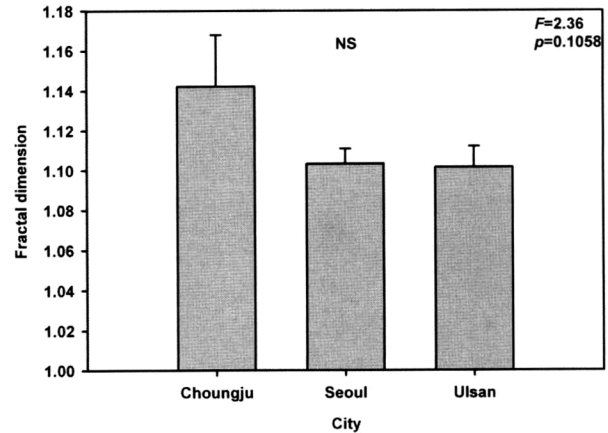


Figure 8. Fractal dimension of three study areas. Mean fractal dimension and se (standard errors) bars shown separately for study areas. NS indicates no statistically significant difference.

## 2. 종다양성과 외래종의 비율

5개 조사지역에 대한 임분 구성종의 종다양성( $H'$ )을 분석한 결과, 청주가 평균 1.86으로 가장 높게 나타났으며, 대구가 1.35로 가장 낮은 경향을 보였으며 평균 1.63으로 나타났다(Figure 5). 종풍부도는 청주가 단위면적당( $100 \text{ m}^2$ ) 평균 24종으로 가장 풍부하게 나타났으며, 다음으로 울산 17종, 서울 16종, 인천 15종, 그리고 대구 12종의 순으로 나타남을 알 수 있었다. 외래식물 구성 비율에 있어서는 대구가 전체 임분구성종의 15.8%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 울산 9.8%, 인천 9.2%, 서울 6.2%, 그리고 청주 4.9%의 순으로 나타나 종다양성 결과와는 상반된 경향을 보였다(Figure 7). 종다양성, 종풍부도, 그리고 외래종 구성 비율 사이의 상관관계( $r_s$ )를 분석한 결과, 종다양성과 종풍부도 간에는 유의한 상관관계( $r_s = 0.771, p = 0.0001$ )를 나타내었으며, 외래종 구성 비

율은 종다양성 및 종풍부도와 의미 있는 관계성을 나타내지 않음을 알 수 있었다( $r_s = 0.021, p = 0.6684$ ).

## 3. 식생경관 분석

서울, 울산 및 청주 등 3개 도시내 고립 임지의 소나무림을 대상으로 경관 패치의 복잡성을 나타내는 프랙탈 지수를 분석한 결과, 청주 1.14, 서울과 울산이 모두 1.1 정도로 유의한 차이( $F = 2.36, p = 0.133$ )를 나타내지 않았다(Figure 8). 경관 특성(프랙탈 지수)과 식생 속성(종다양성, 종풍부도, 및 외래종 구성 비율) 사이의 상관관계를 분석한 결과에서는 모든 검정에서 유의한 관계를 보였는데, 프랙탈 지수는 종다양성( $r_s = 0.303, p = 0.0318$ ) 및 종다양도( $r_s = 0.424, p = 0.0021$ )와는 양의 상관관계를 보였고, 외래종 비율( $r_s = -0.285, p = 0.0448$ )과는 음의 상관관계를 나타내었다.

## 논 의

우리나라 주요 5개 도시 지역의 고립된 임지에 잔존하고 있는 소나무림을 대상으로 군집 및 경관생태학적 특성과 그 속성 사이의 상관관계를 분석하였다. 인구증가, 오염물질, 도시 미기후 변화 등이 도시 생태계에 미치는 다양한 수준의 스트레스, 즉 경관, 군집, 개체군 그리고 개체에 미치는 영향은 지속적으로 증가할 것으로 생각된다. 이러한 점에서, 도시림에 대한 군락 및 경관생태학적 분석과 그것에 바탕을 둔 관리 방안 모색은 도시 생태계의 생물다양성 보전과 증진, 서식처 보전에 필수적이라고 할 수 있다.

본 연구에서 조사지대로 선정한 각 지역의 소나무림은 도시 규모, 성립배경과 크기, 그리고 관리 수준 등이 동일하지 않지만, 고립된 임지의 소나무림에 대한 다양한 수준(경관, 군집 및 개체군)의 생태적 현황 분석과 그것에 바탕을 둔 관리 방안 수립은 앞서 서술한 바와 같이 도시 생태계의 생물다양성과 서식처 보전에 있어서 무엇보다 중요한 기초적 정보를 제공할 수 있다고 본다.

서울 소나무림은 때죽나무, 팔배나무, 아까시나무, 잔털벗나무와 같은 호광성 식물이 번성하고 있어 다른 도시와는 다소 특이한 종조성과 천이 경향을 보이고 있는데 이는 서울 고립 임지의 소나무림이 다른 도시에 비하여 쇠퇴현상이 빨리 진행되고 있다고 생각 된다(Figure 3) (이창석 등, 2006; Lee *et al.*, 2007). 그리고 울산과 인천의 소나무림의 임분 종조성이 서로 유사한 경향을 보였는데 이는 해안에 위치한 임지 유사성에 기인한 것으로 생각 된다(Figure 2).

소나무림의 경관 특성과 군집 속성의 상관관계를 분석한 결과, 패치의 복잡성은 종다양성 및 종풍부도와는 양의 상관성을 보였지만 외래종 구성 비율과는 음의 상관성을 보여 향후 고립 임지내 소나무림의 종다양성 및 종풍부도의 증진 또는 보전에 있어서는 무엇보다도 경관 패치의 형태를 고려하는 것이 필요하고, 도시림에 대한 외래종 침입 제어 역시 경관 요소의 형태에 대한 고려가 필요하다고 생각된다.

Elton(1958)은 종다양성이 높은 곳에서 외래종의 침입이 적다고 하였는데, 본 연구에서 종다양성 및 종풍부도와 외래종 구성 비율은 의미 있는 경향을 나타내지 않았으며, Lee and Lee(2006)는 가중나무의 경우 Elton의 가설과 반대의 경향을 나타냄을 보고한 바 있다.

결론적으로 도시내 고립된 임지에 잔존하고 있는 소나무림의 보전을 위해서는 소나무 유식물의 보충이 지속적으로 담보되어야 하나 모든 조사지역에서 그러한 경향이 보이지 않고 있다(Figure 3과 4). 이창석(1995)과 진영환 및 이돈구(2000)는 소나무림의 재생에 숲틈 (gap)의 필요

성을 강조한 바 있으며, 이 경우 인공 숲틈 형성을 통해 소나무림을 유지하고자 한다면, 숲틈 내 유식물 식재 후 다른 수종과의 경쟁 및 피압에 유의하여 생태적 관리시업을 행할 필요가 있을 것이다.

## 인용문헌

1. 국가표준식물목록. 2006. <http://www.koreaplants.go.kr>.
2. 박수현. 1995. 한국귀화식물도감. 일조각.
3. 산림청. 1971. 임업통계연보. 산림청, 서울.
4. 산림청. 2002. 임업통계연보. 산림청, 서울.
5. 이창복. 1985. 대한식물도감. 향문사.
6. 이창석. 1995. 한국소나무림에서의 교란 후 재생과정. 한국생태학회지 18: 189-201.
7. 진영환, 이돈구. 2000. 묘목의 Gap내 성장 및 생리적 적응 과정. 한국임학회지 89: 452-460.
8. Anderson EM. 1993. Conservation biology and the urban forest. Proceedings of the sixth national urban forest conference. pp 234-238.
9. Bastian, O., Bernhardt, A. 1993. Anthropogenic landscape changes in Central Europe and the role of bioindication. Landscape Ecology 8: 139-151.
10. Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie. Grundzue der Begetationskunde. Springer-Verlag, Wein.
11. Cho, H.J., Cho, J.H., Lee, C.S. 1999. Forest Vegetation Units and Landscape Structure of Mt. Inwang in Seoul, Korea. Jour. Korean For. Soc. 88: 342-351.
12. Cho, H.J., Cho, Y.C., Lee, C.S. 2006. Degradation of Lowland Forest Landscape and Management Strategy to Improve Ecological Quality in Mt. Baekja and Its Surroundings. J. Ecol. Field Biol. 29(5): 101-105.
13. Curtis, J.T., McIntosh, R.P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32: 476-498.
14. Dale, V.H., Brown, S., Haeuber, R.A., Hobbs, N.T., Huntly, N., Niman, R.J., Ridbsame, W.E., Turner, M.G., Valone, T.J. 2000. Ecological principles and guidelines for managing the use of land. Ecological Applications 10: 639-670.
15. Elton, C.S. 1958. The ecology of invasions by animals and plants. Methuen, London.
16. Hill, M.O. 1979. DECORANA-A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging-. Cornell University Ithaca, New York, 52pp.
17. Kamada, M., Nakagoshi, N., Nehira, K. 1991. Pine forest ecology and landscape management : A comparative study in Japan and Korea. In: Coniferous forest ecology from an international perspective (Nakagoshi N, Golley FB, eds). SPB Academic Publishing, The Hague, pp. 43-62.
18. Lee, C.S., Lee, A.N., Cho, Y.C. 2007b. Restoration planning of the Seoul Metropolitan area, Korea toward eco-

- city. In: Urban forests (Carreiro MM ed). Springer, New York (in press).
19. Lee, C.S., Hong, S.K. Changes of landscape pattern and vegetation structure in rural area disturbed by fire. *Kor. J. Ecol.* 21: 389-399.
  20. Lee, C.S., Song, H.G., Kim, H.S., Lee, B., Pi, J.H., Cho, Y.C., Seol, E.S., Oh, W.S., Park, S.A., Lee, S.M. 2007a. Which Environmental Factors Caused Lammas Shoot Growth of Korean Red Pine? *J. Ecol. Field Biol.* 30: 101-105.
  21. Lee, C.S. 1989. A study on the succession of pine forests damaged b pine gall midge (PhD dissertation). Seoul National University, Seoul.
  22. Liu, J, Taylor, W.W. 2002. Coupling landscape ecology with natural resource management: Paradigm shifts and new approaches. In: Integrating Landscape Ecogoy into Natural Resource Management (Liu J, Taylor WW, eds). Cambridge University Press, Cambridge, pp 3-19.
  23. Magurran AE. 2004. Measuring Biological Diversity, Blackwell Publishing, Massachusetts.
  24. McCarigal, K., Marks, B.J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351. USDA Forest Service, Pacific Northwest Station, Portland, Oregon.
  25. McCune, B., Grace, J.B. 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon, USA.
  26. Miller, R.W. 1998. Urban forestry: planning and managing urban green spaces. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
  27. Noss, R.F. 1983. A regional landscape approach to maintain diversity. *Bioscience* 33: 700-706.
  28. Riitters, K., Wickham, R., O'Neill, R., Jones, B., Smith, E. 2000. Global-scale patterns of forest fragmentation. *Conservation Ecology* 4: 3. [online] URL: <http://www.conselcol.org/vol4/iss2/art3>
  29. Saunders, D.A., Hobbs, R.H., Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 9: 18-32.
  30. Sharitz, R.R., Boring, L.R., Vanlear, D.H., Pinder, J.E. 1992. Integrating ecological concepts with natural resource management of southern forest. *Ecological Applications* 2: 226-237.
  31. Swanson, F.J., Franklin, J.F. 1992. New forestry principles from ecosystem analysis of Pacific Northwest forests. *Ecological Applications* 2: 262-274.
  32. Vogelmann, J.E. 1995. Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conservation Biology* 9: 439-449.

---

(2007년 6월 14일 접수; 2007년 6월 28일 채택)