

전남 사찰림에서의 소나무 생육과 입지환경간의 상관관계 연구^{1a}

박석곤² · 홍석환^{3*} · 오찬진⁴

A Study on Correlation Between the Growth of Korean Red Pine and Location Environment in Temple Forests in Jeollanam-do, Korea^{1a}

Seok-Gon Park², Suk-Hwan Hong^{3*}, Chan-Jin Oh⁴

요 약

사찰인근 소나무림은 문화경관림으로서 가치가 높으나 식생천이와 기후변화로 쇠퇴할 가능성이 높다. 본 연구에서는 사찰인근 소나무림을 대상으로 식생구조와 소나무 활력도, 입지환경 특성을 조사해 소나무 생육과 입지환경간의 상관관계를 밝히고자 했다. 소나무림이 양호하게 남아 있는 전남지역의 천은사, 원효사, 증심사, 태안사 4개소를 연구대상지로 선정했다. 이 대상지의 교목층에는 모두 소나무가 우점하고 하층에는 낙엽활엽수종이 주로 출현했다. 소나무의 수령이 많은 천은사 지역보다 증심사·원효사의 소나무 생육상태가 전반적으로 좋지 않았다. 토양의 총질소량은 증심사가 다른 지역보다 높은 편이었는데 하층식생 발달로 총질소량이 늘어난 것으로 보인다. 이로 인해 낙엽활엽수종과의 질소양분 경쟁에서 밀려 소나무의 생육이 악화된 것으로 추정된다.

해발고와 가지길이는 부(-)의 상관관계를, 경사도와 소나무 평균상대우점치도 부(-)의 상관관계를 보였다. 즉, 해발고·경사도가 상승할수록 토양환경을 포함한 생육환경이 열악해지면서 소나무의 성장량·우점도가 저조해지는 것으로 보인다. 경사도는 소나무 가지길이와 정의(+) 상관관계를 보였다. 소나무림이 주로 분포하는 입지환경 범위 내라면, 급경사 지일수록 낙엽활엽수종과의 경쟁을 회피해 소나무 생육이 양호해지는 것으로 판단된다. 반면, 토양의 전기전도도가 증가할수록 소나무 생육이 더 악화되는 것으로 분석됐다. 토양양분 증가는 낙엽활엽수종의 식생 발달을 촉진해 소나무의 생육환경을 악화시켜 소나무림의 건전성 유지에 부정적 영향을 미친 것으로 보인다.

주요어: 사찰림, 식생천이, 생육적지, 수목활력도, 총질소량

ABSTRACT

Although Korean red pine (*Pinus densiflora*) forests near temples are valuable as forests of the cultural landscape, they are likely to be deteriorated because of vegetation succession and climate changes. The purpose of this study is to investigate the vegetation structure, the pine vitality, and the site environmental characteristics of the pine forests near temples to identify the correlation between pine tree growth and location environment. We selected Chuneunsa, Wonhyosa, Jeungsimsa, and Taansa Temples since these four areas still had the healthy pine forests. In all four studied area, the pine trees dominate the canopy layers while the deciduous

1 접수 2017년 1월 23일, 게재확정 2017년 6월 23일

Received 23 January 2017; Accepted 23 June 2017

2 국립순천대학교 산림자원·조경학부 Division of Forest Resources and Landscape Architecture, Suncheon National Univ., Suncheon 57922, Republic of Korea

3 부산대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National Univ., Miryang 46241, Republic of Korea

4 전라남도산림자원연구소 Jeollanam-do Forest Resources Research Institute, Naju 58213, Republic of Korea

a 본 연구는 전라남도산림자원연구소의 연구비 지원을 받아 추진되었음

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-055-350-5406, Fax: +82-055-350-5409, E-mail: hong@pusan.ac.kr

broadleaf trees mostly inhabited appeared in the lower layers. The growth of pine trees in Jeungsimsa and Wonhyosa areas was not as good as Chuneunsa area where the pine trees tended to be older. We found higher total nitrogen content in soil in Jeungsimsa area than other areas, maybe because of increase in total nitrogen caused by the development of low vegetation in the area. This peculiarity may have led to the pine trees in the area to fall behind the deciduous broadleaf trees in competition for nitrogen nutrient and thus to show deteriorated growth.

The altitude and the twig length showed a negative correlation as did the degree of slope and the mean importance percentage of the pine tree. In other words, the growth environment such as soil became poorer when the altitude and the degree of slope increased, and thus the growth amount and dominance of the pine trees were lower. The degree of slope showed a positive correlation with the twig length of the pine tree. Within boundaries of location environment where the pine tree forests were dominant, it seemed that growth of the pine trees was more favorable as the slope was steeper because the trees could avoid competition with deciduous broadleaf trees. On the other hand, the growth of pine trees deteriorated as the electrical conductivity of soil increased; increase in soil nutrients might have accelerated vegetation development of deciduous broadleaf trees and thus aggravated the growth environment of pine trees to negatively affect maintaining the health of the pine tree forests.

KEY WORDS: TEMPLE FOREST, VEGETATION SUCCESSION, SUITABLE HABITAT, TREE VITALITY, TOTAL NITROGEN

서 론

소나무(*Pinus densiflora*)는 세계적으로 분포지역이 협소한 편으로 한반도를 포함해 일본, 중국 등의 일부지역에서만 분포한다. 한반도 전역에 분포하는 소나무는 비교적 건조하고 토양양분이 적으며 산성토양을 선호하는 것으로 알려져 있다(Yoon, 2003). 이러한 까닭으로 산지에서는 계곡 부보다 주로 능선부나 사면상부에 주로 분포한다(Korea Forest Research Institute, 2005). 수목 생육에 직·간접적 영향을 미친 환경인자는 그 관계가 복잡·다양하지만, 그 관계에 따라 수목의 생육적지가 한정된다. 이를 생리적 적지라고 한다. 수종 간 생리적 적지가 겹칠 경우 상호경쟁이 일어나게 되며 이런 경쟁의 결과로 생겨난 고유의 영역을 생태적 적지라고 한다. Yoon(2003)은 소나무의 생태적 적지에서 해발고가 낮고 경사가 완만하면서 유효토심이 얇거나 보통인 곳이라 보고했다. GIS분석을 통한 우리나라 소나무림의 공간분포 연구(Kim *et al.*, 2008)에서는 경사 15~45°, 전사면 방위, 건조한 지역이 주요 분포지로 확인된 바 있다. 이처럼 소나무의 생육환경은 타 수종에 비해 생태적 적지의 환경특성이 뚜렷한 편이다.

소나무림은 천이계열상 졸참나무나 신갈나무 등 낙엽성 참나무류군락으로 천이가 진행되는 것으로 보고되었고(Jo *et al.* 1995; Lee *et al.*, 1990; Kwon, 2003), 소나무순림의

유지기간은 약 140년 정도로 알려져 있다(Lee, 1995). 소나무는 내음성이 약한 생리적 특성을 지녀 2차천이 과정에서 일시적으로 우점하는 식생이다(Kim and Jang, 1995). 이로 인해 인위적 간섭이 없는 한 산림생태계에서 소나무림은 낙엽활엽수림으로 천이될 가능성이 높다. 우리나라 소나무림은 식생천이와 함께 특히 기후변화로 인한 고온 및 가뭄 스트레스, 소나무 병충해 등의 여러 요인으로 계속 줄어드는 추세를 보였다(Kim, 2014). 기후변화에 따른 미래 산림 분포를 예측한 연구(Choi *et al.*, 2011)에서는 한반도 대부분의 지역에서 소나무림이 사라지고 일부 중남부 지방의 고산지대에만 남을 것으로 예측했다.

한편, 소나무의 생태적 적지인 능선부·상부사면의 국립공원이나 백두대간, 사찰림 등의 보호지역에 소나무림이 비교적 넓게 분포해 있다(Kang *et al.*, 2016). 이곳의 소나무림은 문화적, 경관적 및 생태적으로 가치가 높으므로 보전을 위한 식생관리가 필요하다고 많은 연구자들이 주장했다(Yim *et al.*, 1980; Lee and Lee, 1989; Song *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 2009a; Lee *et al.*, 2009b). 특히 사찰림은 사찰의 증·개축 시 목재로 쓰기 위해 과거부터 식재 또는 관리됐다(Kwack and Shin, 1979). 식생천이 계열상 초기수종인 소나무가 사찰림에 보전된 것이 이런 까닭일 것이다. 사찰 인근의 소나무림은 문화경관림으로서의 가치가 높으나(Lee *et al.*, 2009b), 이 지역 또한 식생천이와 기후변화 등으로

인해 쇠퇴될 가능성이 높다. 최근 소나무재선충 등 병해충의 급격한 확산 영향 또한 배제할 수 없다. 이런 상황에서 현재까지 상대적으로 소나무림의 유지관리가 지속적으로 잘 이루어진 사찰인근 소나무림을 대상으로 식생구조 상황과 소나무 활력도, 토양환경 특성을 조사해 소나무 생육과 입지환경 특성의 관계를 밝히고자 했다. 이를 바탕으로 사찰의 문화경관림으로 가치가 높은 소나무림의 보전 및 관리 정책에 대한 논의방향 설정에 기여하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상지 선정

연구대상지로서 소나무림 또는 소나무-낙엽활엽수가 혼효된 온대림으로서 산림의 유지관리 상태가 양호한 국립공원 등의 전라남도 일대 사찰주변 산림을 선정했다. 지리산 국립공원의 천은사(구례군), 무등산국립공원의 원효사와 증심사(광주광역시), 곡성군 태안사 등 4개소를 대상으로 선정했다(Figure 1). 항공사진을 토대로 사찰림 주변에 소나무가 우점하는 지역을 구획한 후 조사지점이 특정 지점에 편중되지 않도록 방형구를 고르게 설정해 식생조사를 실시했다. 조사지역 내 소나무림 우점지역의 해발고는 대체로 400m전후이며, 사면경사는 천은사와 원효사가 상대적으로 완만했으며 태안사와 증심사가 비교적 급한 편이었다. 천은사지역의 소나무 수령이 80년생으로 가장 높았으며, 교목층

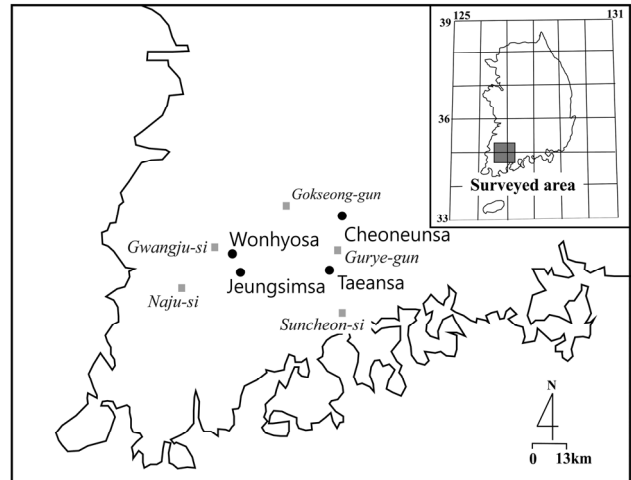


Figure 1. Map of the surveyed sites

에서는 소나무만 출현했다. 이에 비해 다른 지역은 40~50년생으로 낮았고 원효사지역에는 소나무-굴참나무가 교목층에 함께 우점했다(Table 1).

2. 조사 및 분석 방법

소나무 생육과 입지환경의 관계를 살펴보기 위해 방형구별로 식생구조, 소나무 생육상태, 입지환경 등을 조사했다. 4곳의 연구대상지에서 크기 20m×15m(300㎡)의 방형구 3~5개씩 총 15개소에서 식생조사를 실시했다. 방형구에 출

Table 1. General description of the physical of the surveyed area

Surveyed site (Buddhist temple)	Cheoneunsa	Wonhyosa	Jeungsimsa	Taeansa
No. of the plot	5	4	3	3
Location(GPS)	N35° 07' 52" E127° 58' 25"	N35° 08' 34" E126° 59' 11"	N35° 08' 31" E126° 59' 44"	N35° 08' 01" E127° 23' 07"
Altitude(m)	395~417	419~464	417~464	277~432
Slope(°)	8~28	8~17	20~30	28~38
Aspect(°)	S253W, N298~301W	N6~258E	N346~358W	S138~146W
Topography	Middle slope, valley	Middle slope, valley	Middle slope	Middle slope
Age of <i>Pinus densiflora</i>	80	50~52	45~47	43
Canopy	<i>Pinus densiflora</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>P. densiflora</i> , <i>Quercus variabilis</i>
Main species				
Understory	<i>Styrax japonica</i> , <i>Lindera erythrocarpa</i>	<i>S. japonica</i> , <i>Rhododendron mucronulatum</i>	<i>S. japonica</i> , <i>Sorbus alnifolia</i>	<i>Stewartia koreana</i> , <i>Fraxinus sieboldiana</i>
Shrub	<i>Lindera obtusiloba</i> , <i>L. erythrocarpa</i>	<i>L. erythrocarpa</i> , <i>Stephanandra incisa</i>	<i>L. erythrocarpa</i> , <i>Staphylea bumalda</i>	<i>F. sieboldiana</i> , <i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>

Table 2. Valuation Criteria of Tree Vitality

Measurement Items*	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Tree vigor	Vigorous growth; no damage in growth	Slight damage in growth, but barely recognizable	Damage in growth is clarified	Growth is deteriorated without chances of recovery
Tree form	The original form was maintained	Slightly collapsed but close to the original form	The original form was considerably collapsed	The original form was totally collapsed; abnormality was observed
Shoot blight	None	slight and barely recognizable shoot blight	Considerably observed	Predominantly observed
Density of branches and leaves	Normal; balanced density of branches and leaves	Within normal range but slightly low-dense	Slightly sparse	Predominantly low-dense; many branches are withered and leaves are few
Leaf form	Normal	Some leaves are slightly crooked	Moderately crooked	Predominantly crooked
Leaf color	Normal	Some leaves are slightly browned	Some leaves are considerably browned	Many leaves are predominantly browned
Necrosis	None	Slightly observed	Considerably observed	Predominantly observed

*Shiobara *et al.*(2002) revised some of the criteria.

현한 수종을 대상으로 흉고직경 2cm이상인 교목·아교목층은 흉고직경을 측정했고, 관목층은 수관폭을 조사했다. 상층수관을 형성하는 수목을 교목층으로, 교목층이하 수목 중 수고 2m이상을 아교목층으로, 0.5-2.0m 사이의 수목을 관목층으로 층위를 나누어 식생조사했다. 식생조사 자료를 토대로 각 조사구의 수종별 상대적 우세를 비교하기 위해 상대우점치(Importance percentage)를 수관층위별로 분석했다 (Brower and Zar, 1977). 상대우점치는 각 수종별 (상대밀도+상대피도)/2로 계산했으며, 개체들의 크기를 고려하여 수관층위별 가중치를 부여해 (교목층IP×3+아교목층IP×2+관목층IP×1)/6으로 평균상대우점치를 계산했다. 소나무림에서는 타감작용과 토양산성화 등으로 인해 하층식생 발달이 방해될 수 있으므로 각 조사구의 관목층에 출현종수와 종다양성지수(Shannon-Weaver)를 구했다.

Shiobara *et al.*(2002)의 육안에 의한 진단법을 응용해 수목활력도를 측정했는데 각 조사구별로 교목층 소나무 3개체를 선정해 조사했다. 수목활력도 평가기준은 Table 2와 같이 각각의 조사항목에 대한 값을 평균해 활력도를 평가했는데 수치가 낮을수록 생육상태가 양호함을 나타낸다. 수목활력도와 함께 각 표본목을 대상으로 3반복씩 작년에 자란 가지·잎 길이를 측정했다. 아울러 소나무림의 전반적 수령을 확인하기 위해 조사구별로 표본목 1~2주를 선정해 목편을 채취해 나이테를 헤아렸다.

산림생태계에서 식물군락의 구조와 기능에 영향을 미친 대표적 요인은 광량, 광질, 토양수분, 공중습도, 온도, 영양염류 등을 들 수 있다(Lee, 1995). 이러한 환경요인을 결정짓는 요소는 빛과 수분, 온도에 영향을 미친 지형적 특성과 영양염류에 영향을 주는 토양특성으로 구분할 수 있다. 소나무의 입지환경 조사로서 대상지의 사면경사방위 등 간접적으로 환경요인을 평가할 수 있는 지형적 특성 분석과 함께 빛환경·토양특성을 조사했다. 각 조사구의 중앙부에서 사면경사방위를 측정했다. 디지털카메라(D70, Nikon Inc.)와 화각(시야각)이 180°인 어안렌즈(4.5mm F2.8, Sigma Inc.)를 이용해 임상 2.0m의 높이에서 수직방향으로 칼라 천공사진을 조사구별로 3회 촬영해 임상의 빛환경을 분석했다(Park *et al.*, 2012). 촬영된 영상을 빛투과율 분석프로그램인 Gap Light Analyzer Ver. 2.0을 이용해 임내로 입사되는 광합성광량자속밀도(Photosynthetic Photon Flux Density; PPF)를 분석했다. 이 값은 기상 등의 환경조건에 따라 시시각각 변하므로 태양광이 전혀 차단되지 않은 공간의 PPF값에 대한 상대값으로 변환했다. 이 값을 상대광합성광량자속밀도(Relative Photosynthetic Photon Flux Density; rPPFD)이라 한다. 교목·아교목층의 율폐도가 높거나 상록성 수종이 우점하는 경우에는 rPPFD가 낮아져 하층식생 발달과 종조성에 영향을 주게 된다(Park *et al.*, 2012). 토양환경 조사로서 낙엽층 두께와 토양수분을 조사했다.

각 조사구별 3개 지점에서 분해되지 않은 낙엽층의 두께를 조사했으며, 수분측정기(WT-2000, 미래센서, 오차범위 $\pm 1\%$)를 이용해 각 방형구마다 3개 지점에서 토양수분율(%)을 측정 후 평균했다. 토양수분은 기상조건에 따라 변하고, 특히 강우의 영향이 크기 때문에 조사 3일 전부터 강우가 없고 맑은 날에 모든 조사지의 토양수분을 측정했다. 토양 이화학적 분석을 위해 각 방형구의 3개 지점에서 낙엽과 부식층을 제거한 후 약 150g씩의 시료를 채취한 후 혼합해 토양시료를 준비했다. 채취한 토양시료를 음지에서 풍건한 후 2mm 체로 쳐서 체를 통과한 시료를 분석했다. 분석항목은 토양산도(pH), 전기전도도(EC), 총질소(T-total), 양이온치환용량(CEC), 양이온함량 등이다. pH는 시료 10g에 증류수 25ml를 넣어 진탕해 pH메타로 측정했으며, EC는 토양시료와 증류수를 1:5의 비율로 진탕한 용액에 EC메타로 측정했다. 총질소함량은 Micro-kjeldahl법으로, CEC는 Brown간이법으로 측정됐다. Mg^{2+} 등의 양이온함량은 암모늄 아세테이트 침출 후 ICP로 분석됐다(Spark *et al.*, 1996). 2011년 6월 2일과 3일, 이틀에 걸쳐 현장조사를 실시했다.

일원배치분산분석(One-way ANOVA)과 사후검정 Duncan test로 각 대상지별 입지환경(해발고도·경사도·토양pH·총질소량 등), 소나무의 생장량(가지길이·잎길이) 및 수목활력도의 유의적 차이를 검정했다. 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)로 입지환경과 소나무 생육의 변수간 상관관계를 분석했다. 소나무와 다른 수종사이의 상관관계 또한 동일하게 실시했다. IBM SPSS Statistics ver. 21을 이용해 이 통계분석을 실시했다.

결과 및 고찰

1. 소나무 생육 특성

식생구조 분석결과 모든 조사대상지에서 소나무의 상대 우점치가 가장 높았으며, 태안사를 제외하고 아교목성상의 때죽나무가 다음으로 높았다. 소나무와 경쟁가능한 교목성상의 수종으로는 개서어나무, 갈참나무, 굴참나무, 신갈나무 등의 낙엽성 참나무류가 상당히 우점했으나 소나무에 비해 미미한 수준이었다(Table 3). 대상지별로 천은사는 교목층에 소나무만이 출현한 반면, 태안사 등의 지역은 소나무와 경쟁수종인 낙엽성 참나무류가 일부 출현했다. Table 4는 수종간 상관관계 분석을 통해 소나무와 유의적 관계에 있는 수종만을 나타낸 것으로, 소나무는 교목성 수종인 굴참나무, 졸참나무, 쇠물푸레나무 등과 부(-)의 상관관계를 보였다. 이 수종들은 소나무와 경쟁관계에 있는 후기종이거

나 입지환경이 서로 겹치는 수종으로 판단할 수 있다. 소나무림 하층에 전형적으로 출현하는 진달래는 양수성 수종이자 척박한 강산성 토양을 선호한다(Kang *et al.*, 2016). 그러나 본 대상지에서는 소나무와 상관관계를 보이지 않았으며, 일부 대상지에서 진달래의 우점도가 미미하거나 출현하지 않는 곳도 있었다. 소나무림에서 진달래 세력이 약하다는 사실은 이곳이 이미 생육적지로서 부적합하게 변했다는 것을 의미한다. 즉, 아교목·관목층에 낙엽활엽수의 세력이 우세해져 하층에 입사광이 줄어들고 낙엽활엽수의 낙엽량 증가로 토양 비옥화가 진행되면서 진달래의 세력이 약해진 것으로 판단할 수 있다. 진달래의 세력 약화는 소나무림 하층에서 교목 또는 아교목성상 낙엽활엽수의 세력이 이미 강화된 것과, 소나무 생육에 불리한 환경이 조성되었음을 의미하므로 점진적으로 소나무림 쇠퇴를 유추 가능케 한다.

관목층의 종수·종다양성지수, 층위별 개체수, 소나무 개체수는 대상지별로 통계적 차이를 보이지 않았다. 단, 천은사에서 소나무 교목층의 상대우점치가 다른 지역에 비해 유의적으로 높았다(Table 5). 소나무 수령으로 추정하면 천은사(80년), 원효사(50~52년), 중심사(45~47년), 태안사(43년) 순으로 오래된 산림이지만 교목층에 소나무만이 우점한 채로 식생 발전이 거의 정지된 것으로 보인다. 우리나라 식생천이관련 기존연구에서 소나무는 낙엽활엽수와의 경쟁에서 도태되어 낙엽성 참나무류림을 거쳐 서어나무림 또는 개서어나무림으로 식생천이가 될 것으로 알려져 있다(Jo *et al.* 1995; Lee *et al.*, 1990; Kwon, 2003). 본 대상지에서는 이런 소나무와의 중간 경쟁이 일어나지 않았는데 경쟁수종인 낙엽활엽수를 과거부터 지속적으로 제거했기 때문일 것이다.

세계적으로는 미국 요세미티국립공원일대에 3천년 이상 동안 우점수종이 변하지 않는 지역도 있으나 이는 극히 국소적이다. 일반적으로 산림지역에서 특정 우점식생의 유지기간은 짧게는 약 100년에서 길게는 약 1,000년 정도로 보고됐다(Budowski, 1965; Ashton, 1969; Harper and White, 1974). Jones(1945)에 의하면 온대 낙엽활엽수림의 우점종 평균수명은 약 300년 정도며, 소나무는 천이초기종으로서 낙엽활엽수림의 50%수준인 140년 정도로 추정된다(Lee, 1995). 이러한 산림 천이경향에 의해 아교목·관목층에 차세대 소나무의 우점도가 미미한 반면, 소나무와의 경쟁수종인 교목성 낙엽활엽수종의 우점도가 높은 식생구조는 자연스런 현상으로 볼 수 있다. 식생천이과정에서 소나무와 타수종간의 경쟁과 물질순환에 의한 토양환경 변화는 소나무 생육에 악영향을 줄 것으로 판단할 수 있다.

대상지별 소나무의 생장량(가지길이·잎길이)과 활력도를 분석한 결과, 태안사에서의 소나무 가지길이가 중심사·원효사에 비해 유의적으로 높았다(Table 6). 잎길이는 중심사가

Table 3. Importance percentage of woody species of each surveyed sites in the *Pinus densiflora* communities

Species	Cheoneunsa				Wonhyosa				Jeungsimsa				Taeansa			
	C*	U	S	M	C	U	S	M	C	U	S	M	C	U	S	M
<i>Pinus densiflora</i>	100.0	-	-	50.0	92.3	-	-	46.2	94.5	-	-	47.3	74.3	3.3	-	38.2
<i>Quercus aliena</i>	-	-	-	-	1.19	1.83	-	1.21	2.40	3.11	-	2.23	-	-	-	-
<i>Q. variabilis</i>	-	7.69	-	2.56	-	2.61	-	0.87	-	-	-	-	18.54	10.25	-	12.68
<i>Q. mongolica</i>	-	-	-	-	-	1.69	-	0.56	-	-	-	-	1.71	0.52	-	1.03
<i>Q. serrata</i>	-	-	2.22	0.37	-	3.23	-	1.34	-	-	0.96	0.16	1.59	10.25	2.85	4.69
<i>Castanea crenata</i>	-	0.19	-	0.06	-	0.39	1.08	0.31	-	-	-	-	-	0.51	0.56	0.26
<i>Carpinus tschonoskii</i>	-	11.09	-	3.70	-	0.98	-	0.33	3.06	-	2.33	1.92	-	4.38	-	1.46
<i>Zelkova serrata</i>	-	0.56	-	0.19	-	0.35	-	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Celtis jessoensis</i>	-	-	0.42	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	-	0.42	0.41	0.21	-	-	1.11	0.19	-	0.66	-	0.22	-	-	-	-
<i>F. sieboldiana</i>	-	1.60	0.44	0.60	-	10.25	6.89	4.56	-	1.79	2.43	1.00	-	19.73	21.71	10.20
<i>Prunus sargentii</i>	-	1.58	-	0.53	-	-	-	1.57	-	10.23	1.87	3.72	-	5.14	2.86	2.19
<i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	-	-	-	-	-	0.79	1.23	0.47	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Meliosma myriantha</i>	-	-	1.02	0.17	-	-	-	-	-	0.74	-	0.25	-	-	-	-
<i>Stewartia pseudocamellia</i>	-	-	-	-	-	0.67	-	0.22	-	-	-	-	2.40	20.05	20.84	11.36
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	-	0.40	-	0.13	-	0.32	0.81	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lindera erythrocarpa</i>	-	23.44	14.97	10.31	-	0.51	23.32	4.06	-	1.10	35.68	6.31	-	-	0.85	0.14
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	-	1.07	2.82	0.83	-	10.55	7.12	4.70	-	-	0.48	0.08	-	-	-	-
<i>Viburnum dilatatum</i>	-	0.57	1.99	0.52	-	2.81	2.58	1.37	-	4.13	4.33	2.10	-	6.49	8.94	3.65
<i>Diospyros kaki</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.42	-	0.14	-	1.23	-	0.41
<i>Lindera glauca</i>	-	2.45	8.53	2.24	5.94	-	0.85	3.11	-	-	4.32	0.72	-	-	1.06	0.18
<i>Cephalotaxus koreana</i>	-	-	0.90	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corylus heterophylla</i>	-	0.62	1.40	0.44	-	0.73	4.12	0.93	-	1.72	-	0.57	-	-	-	-
<i>Rhus trichocarpa</i>	-	1.12	-	0.37	-	0.81	0.49	0.35	-	6.61	8.39	3.60	-	4.68	4.08	2.24
<i>Diospyros lotus</i>	-	-	-	-	-	-	2.18	0.36	-	-	1.06	0.18	-	-	-	-
<i>Staphylea bumalda</i>	-	0.21	1.95	0.40	-	-	1.08	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanandra incisa</i>	-	-	-	-	-	-	10.76	1.79	-	-	12.73	2.12	-	-	-	-
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	-	1.12	1.69	0.66	-	1.80	1.82	0.90	-	0.45	-	0.15	-	-	-	-
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	-	-	-	-	-	4.17	3.34	1.95	-	-	1.21	0.20	-	1.33	2.93	0.93
<i>Ilex macropoda</i>	-	-	1.57	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.96	-	1.65
<i>Viburnum erosum</i>	-	-	-	-	-	0.59	3.35	0.76	-	1.74	3.60	1.18	-	-	4.54	0.76
<i>Aralia elata</i>	-	1.11	-	0.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Styrax japonica</i>	-	34.90	-	11.63	-	36.55	3.03	12.69	-	43.30	-	14.43	-	1.44	5.44	1.39
<i>Weigela subsessilis</i>	-	0.25	-	0.08	-	0.96	-	0.32	-	0.90	5.15	1.16	-	-	-	-
<i>Elaeagnus umbellata</i>	-	-	0.50	0.08	-	-	-	-	-	-	0.38	0.06	-	-	-	-
<i>Cornus kousa</i>	-	-	-	-	-	0.58	-	0.19	-	-	-	-	-	1.55	-	0.52
<i>Morus bombycis</i>	-	2.61	-	0.87	-	-	3.04	0.51	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hydrangea serrata</i> for. <i>acuminata</i>	-	-	2.07	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	-	0.71	-	0.24	-	0.13	-	0.04	-	0.42	-	0.14	-	-	-	-
<i>Lindera obtusiloba</i>	-	1.80	15.51	3.18	-	-	1.55	0.26	-	1.09	8.21	1.73	-	4.21	15.00	3.90
<i>Picrasma quassioides</i>	-	-	-	-	-	-	0.73	0.12	-	-	0.99	0.16	-	-	-	-
<i>Rubus corchorifolius</i>	-	-	-	-	-	-	0.96	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Picrasma quassioides</i>	-	0.44	-	0.15	-	0.80	0.81	0.40	-	-	-	-	-	-	1.16	0.19
<i>Callicarpa japonica</i>	-	0.94	20.70	3.76	-	0.26	1.90	0.41	-	-	0.47	0.08	-	-	-	-
<i>Vaccinium oldhami</i>	-	0.37	0.50	0.21	-	4.64	3.80	2.18	-	1.49	-	0.50	-	-	1.16	0.19
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	-	-	-	-	-	-	0.48	0.08	-	-	2.02	0.34	-	-	0.53	0.09
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	-	0.98	7.78	1.62	-	-	2.62	0.44	-	-	1.57	0.26	-	-	-	-
<i>Styrax obassia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.46	-	-	0.73
<i>Smilax china</i>	-	-	-	-	-	-	0.95	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Zanthoxylum piperitum</i>	-	-	10.83	1.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cornus controversa</i>	-	-	-	-	-	2.37	3.08	1.30	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lindera sericea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.13	0.19	-	-	-	-
<i>Sorbus alnifolia</i>	-	-	-	-	-	3.35	0.47	1.20	-	19.69	0.69	6.68	-	-	-	-
<i>Magnolia sieboldii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.51	0.92
<i>Euonymus alatus</i> for. <i>ciliatodentatus</i>	-	-	-	-	-	-	3.51	0.58	-	-	-	-	-	-	-	-

*C: Importance percentage in canopy layer, U: Importance percentage in understory layer, S: Importance percentage in shrub layer, M: Mean importance percentage

Table 4. The correlation between *Piuns densiflora* and the other species

Species	<i>Quercus variabilis</i>	<i>Q. serrata</i>	<i>Stewartia pseudocamellia</i>	<i>Cornus kousa</i>	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	<i>Acer pseudosieboldianum</i>	<i>Ilex macropoda</i>
<i>P. densiflora</i>	-0.74**	-0.66**	-0.74**	-0.69**	-0.68**	-0.53*	-0.53**

* and ** : significant at 5 and 1 % levels, respectively

Table 5. Species diversity and number of individual of each surveyed sites in the *Piuns densiflora* communities (Unit: 300 m²)

Surveyed area		Cheoneunsa	Wonhyosa	Jeungsimsa	Taeansa	Mean
Shrub layer	No. of species	22.00 ^a	25.25 ^a	19.67 ^a	16.67 ^a	21.33±6.114
	Shannon index(H')	0.81 ^a	0.88 ^a	0.82 ^a	0.89 ^a	0.84±0.075
No. of individual	Canopy layer	16.60 ^a	18.50 ^a	11.67 ^a	15.67 ^a	15.93±5.189
	Understory layer	64.00 ^a	52.00 ^a	51.33 ^a	49.33 ^a	55.33±15.305
	Shrub layer	27.00 ^a	43.50 ^a	40.33 ^a	36.00 ^a	35.87±10.542
<i>P. densiflora</i>	Importance percentage in canopy layer	100.00 ^a	92.35 ^{ab}	94.53 ^{ab}	74.27 ^b	91.72±12.758
	No. of individual	16.60 ^a	17.75 ^a	11.00 ^a	11.33 ^a	14.73±5.147

Different letter(a-b) of superscript indicates significant difference(p<0.05) between the surveyed sites to the Duncan test

Table 6. The growth increment and tree vitality of each surveyed sites in the *Piuns densiflora* communities

Surveyed area		Cheoneunsa	Wonhyosa	Jeungsimsa	Taeansa	Mean
<i>P. densiflora</i>	Branch length of the last year(cm)	7.92 ^{ab}	6.19 ^b	7.38 ^b	9.45 ^a	7.65±1.574
	Leaf length(cm)	8.38 ^a	6.80 ^b	8.07 ^a	8.23 ^a	7.87±0.768
	Tree vitality	1.21 ^b	1.61 ^{ab}	1.84 ^a	1.64 ^{ab}	1.52±0.336

Different letter(a-b) of superscript indicates significant difference(p<0.05) between the surveyed sites to the Duncan test

타 지역에 비해 유의적으로 높았다. 활력도 등급이 낮을수록 전반적인 생육상태가 양호하다고 판단하는데 중심사 지역의 소나무 활력도가 타 지역에 비해 높았으며, 통계적 유의성은 천은사의 활력도가 타 지역에 비해 낮은 것으로 분석됐다. 고령목 수림대로 안정화된 천은사 지역은 수세가 떨어질 것으로 예상되었으나, 중심사 원효사의 생육상태가 전반적으로 좋지 않았다. 이를 바탕으로 해석할 경우 소나무 생육은 수령보다 토양환경 등의 입지환경에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단할 수 있다. 또한 전반적인 소나무의 활력도와 개별 수목의 길이는 크게 관련성이 낮은 것으로 보인다. Choi *et al.*(2014)은 소나무의 신초생장이 사면방위 별로 큰 차이를 보였다는 결과를 제시한 바 있는데 본 연구의 대상지의 입지환경 또한 사면방위보다 다른 요인이 작용한 것으로 판단된다.

2. 소나무림의 입지환경 특징

대상지의 해발고는 평균 400m이었고 태안사지역이 300m전후로 타 지역에 비해 약 100m정도 낮았다. 천은사 지역의 주 사면방위는 서향, 원효사는 동향, 중심사는 북향, 태안사는 남향에 가까웠다. 사면경사는 15~31.1°(평균 21°)로서 태안사-중심사가 타 지역에 비해 약간 급한 편이었다. 입상으로 입사되는 광합성유효광량을 나타내는 rPPFD는 15.68~23.95%(평균 20.31%)이었다. 빛이 차단되지 않는 곳이 100%인 것에 비해 교목-아교목층의 수목이나 지형지물 등에 의해 상당 광량이 차단되어 입상 내부로의 입사광은 높지 않았다. 하층에 양수성 소나무 치수가 출현하지 않는 것은 입사되는 유효광량이 현저히 적다는 것이 큰 요인으로 보인다. 4곳의 rPPFD는 통계적 차이가 없었다. 토양의 이화학적 성질로서 pH는 평균 5.07로 지역별 큰

차이가 없었다. 토양 무기양분의 간접지표가 되는 전기전도도(EC)는 0.57~1.08dS m⁻¹(평균 0.77)이었고, 토양 내에 무기양분 저장능력을 나타내는 양이온교환용량(CEC)은 2.75~4.54cmol(+) kg⁻¹(평균 3.44)이었다. 이 성질은 지역별 통계적 차이는 없었다. 식물의 필수성분이자 대량 영양소인 질소의 경우에는 총질소량이 0.18~0.64%(평균 0.31)로서 중심사지역이 타 지역에 비해 유의적으로 많았다. Ca²⁺는 평균 0.94cmol(+) kg⁻¹, Mg²⁺는 평균 0.31cmol(+) kg⁻¹로서 천은사지역이 높았다.

기존 문헌에서 밝힌 소나무림의 물리적 입지환경을 살펴보면, 해발고 범위는 100~900m로서 해발고 500m 내외의 지대가 수직적 분포영역의 중심이었다(Korea Forest Research Institute, 2005). Yoon(2003)의 경우는 해발고 640m이하, 경사 26°이하, 유효토심이 얇거나 보통인 곳이 생육적지로 분석했다. GIS분석에 의한 소나무림의 공간분포 연구에서는 경사 15~45°, 전사면 방위, 약간 건조한 지역(지형습윤지수: 0~2등급)으로 분석한 바 있다(Kim *et al.*, 2008). 소나무림의 토양특성(A·B층 평균)으로 Park(1993)은 pH 5.4(H₂O), 유기물 2.66%, 총질소 0.13%, CEC 9.92cmol(+) kg⁻¹, Ca²⁺ 1.16cmol(+) kg⁻¹, Mg²⁺ 0.16cmol(+) kg⁻¹이라고 밝혔다. Seo *et al.*(2013)의 연구에서도 pH 5.07~5.63(H₂O), 유기물 5.23~11.20%, 총질소 0.13~0.38%, CEC 13.20~24.71cmol(+) kg⁻¹, Ca²⁺ 0.15~3.0cmol(+) kg⁻¹, Mg²⁺ 0.19~0.79cmol(+) kg⁻¹이었다. 본 대상지의 해발고, 사면방위, 사면경사, pH, Ca²⁺ 항목은 앞서 언급한 문헌과 비슷한 수준이거나 CEC·Mg²⁺는 조금 낮은 수준이었다.

반면, 소나무림의 지위지수에 큰 영향을 준 총질소량은 Park(1993)의 소나무림 토양환경 연구보다 약 2배 이상 높았고, 우리나라 산림토양(Jeong *et al.*, 2003)(총질소량 0.09~0.18%)보다 높은 수준이었다. 지위지수는 임목생장에 결정적인 영향을 준 인자로 추정하는데 지형과 토양환경이 큰 영향을 끼친다(Shin *et al.*, 2007). Park(1993)의 소나무림 지위지수에 관한 연구에서 토양 이화학적 성질로 추정된 지위지수 회귀식에서 A층의 경우는 유기물, B층은 총질소의 인자가 가장 크게 기여한다고 보고한 바 있다. 여기서 중점적으로 살펴봐야 할 것은 Park(1993)의 연구대상지인 소나무림은 수령이 27~29년의 약령림으로서 소나무림이 발달하는 시기로 하층식생 발달이 상대적으로 미약한 것으로 보인다. 이에 비해 본 대상지는 수령이 43~80년생으로 더 오랫동안 유지된 소나무림으로 교목층의 소나무와 함께 하층에는 낙엽활엽수가 우점하는 지역이다. 이런 하층식생 발달로 인해 낙엽공급량이 증가해 전형적인 소나무림에 비해 질소량이 높아졌을 것이다. 소나무림의 하층식생 발달로 인해 총질소량 등이 늘어나는 점은 Bae and Lee(1999)의 연구결과와 동일했다.

중심사지역의 총질소량은 특히 다른 지역에 비해 높았는데 산림토양의 유기질소는 대부분 낙엽 등의 유기물로 공급되므로 이곳이 계곡부로서 낙엽층 발달과 양분축적에 더 유리한 것으로 판단된다. Kume *et al.*(2003)은 일본 히로시마현의 소나무림에서 임상관리(하층식생 제거·하층식생 미 제거 처리구)에 따른 교목층의 소나무에 미친 생리생태적 영향을 조사했다. 그 결과 최대순광합성속도·기공컨덕턴스

Table 7. Location environment factor and soil characteristics of each surveyed sites in the *Pinus densiflora* communities

Surveyed area	Cheoneunsa	Wonhyosa	Jeungsimsa	Taeansa	Mean
Altitude(m)	408.60 ^a	439.00 ^a	433.33 ^a	299.67 ^b	399.87±55.839
Aspect(°)	290.80 ^a	89.25 ^b	354.00 ^a	149.00 ^b	221.33±120.620
Slope(°)	15.00 ^b	12.50 ^b	21.67 ^{ab}	31.30 ^a	18.93±9.422
rPPFD(%)	22.91 ^a	15.68 ^a	18.48 ^a	23.95 ^a	20.31±5.329
Soil water(%)	15.45 ^a	16.54 ^a	4.63 ^a	5.32 ^a	11.55±8.592
Litter depth(cm)	4.43 ^a	3.41 ^a	3.67 ^a	1.93 ^b	3.51±1.094
Soil pH(H ₂ O)	5.06 ^a	5.04 ^a	5.01 ^a	5.02 ^a	5.07±0.155
Electric conductivity(dS m ⁻¹)	0.57 ^a	0.87 ^a	1.08 ^a	0.69 ^a	0.77±0.341
Total-N (%)	0.22 ^b	0.28 ^b	0.64 ^a	0.18 ^b	0.31±0.192
CEC(cmol(+) kg ⁻¹)	2.75 ^a	2.99 ^a	4.54 ^a	4.10 ^a	3.44±2.246
Ca ²⁺ (cmol(+) kg ⁻¹)	1.98 ^a	0.60 ^b	0.47 ^b	0.17 ^b	0.94±1.004
Mg ²⁺ (cmol(+) kg ⁻¹)	0.55 ^a	0.25 ^b	0.20 ^b	0.12 ^b	0.31±0.212
Al ³⁺ (cmol(+) kg ⁻¹)	0.16 ^c	0.51 ^b	0.82 ^a	0.52 ^b	0.46±0.280

Different letter(a-c) of superscript indicates significant difference(p<0.05) between the surveyed sites to the Duncan test

및 총엽록소함량은 하층식생 제거의 소나무잎이 미제거 처리구보다 높았다. 소나무림의 2차천이 과정에서 침입한 하층식생은 토양양분·수분의 경쟁에 유리하기 때문에 교목층의 소나무에 생리생태적으로 부정적인 영향을 미쳤다고 밝혔다. 땀감채취 등의 과거 전통적인 입상관리는 소나무림의 건전성 유지에 긍정 효과를 주었다고 평가했다. 앞서 언급했듯이 중심사의 소나무 생육상태가 전반적으로 좋지 않았는데 이는 하층식생이 발달하면서 소나무가 낙엽활엽수와 의 질소양분 경합(Kume *et al.*, 2003)에서 밀리기 때문일 것이다.

무기양영소인 $Ca^{2+} \cdot Mg^{2+}$ 는 천은사지역이 높았다. 보통 CEC가 높을수록 양이온함량($Ca^{2+} \cdot Mg^{2+}$ 등)이 늘어나는 경향을 보이는데 CEC가 지역별로 유의적 차이를 없어 이것보다 다른 요인이 영향을 준 것으로 보인다. 이 성분들은 풍화작용으로 대부분 1차광물에서 유래된 것(Park, 1993)으로 연구대상지별 모암성분 차이로 추정된다.

3. 소나무 생육과 입지환경의 상관관계

소나무 생육과 입지환경의 상관관계를 살펴보면, 해발고와 가지길이, 경사도와 소나무의 평균상대우점치사이에서 각각 부(-)의 상관관계를 보였다(Table 8). 해발고·경사도가 상승할수록 토양환경을 포함한 생육환경이 열악해지면서 소나무의 성장량·우점도가 저조해진다고 해석가능하다. 소나무림(Yoon, 2003)을 포함해 다른 수종(Lee *et al.*, 2012; Park, 2013)에서도 이런 현상은 산림생태계에게 흔하게 일어난다. 단, 본 대상지의 해발고와 경사도가 기존문헌

(Yoon, 2003; Kim *et al.*, 2008)에서 밝힌 소나무림의 주요 분포범위에 해당되기 때문에 여기서 명료하게 결론짓기에는 데이터상의 한계가 있어 향후 추가적인 자료축적이 필요할 것이다. 경사도는 가지길이와 정(+)의 상관관계를 보였는데 Yoon(2003)이 밝힌 주요 소나무림의 분포 경사가 26° 이하임을 감안할 때 본 연구도 크게 범위를 벗어나지 않는 결과를 보였다. 소나무림의 주요 분포범위 내에서는 급경사 지일수록 낙엽활엽수와 의 경쟁을 회피해 가지길이 등의 소나무 생육이 양호해지는 것으로 판단된다.

소나무 활력도와 토양특성의 상관관계에서는 전기전도도(EC)에서 정(+)의 상관관계를 보였다. 활력도는 낮을수록 생육상태가 양호한 것으로 판단하므로 토양 무기양분의 간접적 지표가 되는 EC가 높을수록 소나무 생육이 나빠지는 것으로 이해할 수 있다. 보통 소나무림은 경사가 급해지면 토양수분·양분량이 적은 능선사면부나 나지 등에 주로 분포하는 특성을 보여 상대적으로 척박한 지역에 잘 자라는 것으로 알려져 있다(Korea Forest Research Institute, 2005). 그러나 소나무림 토양A·B층에 관한 지위지수를 보고한 Park(1993)의 연구에서는 각각 총질소·유기물함량의 관련성이 가장 높다고 제시한 바 있다. 소나무가 토양조건이 척박하고 건조한 능선 사면부나 나지 등에 주로 분포하는 것은 천이후기종인 낙엽활엽수종보다 이곳에 소나무의 환경적응력이 뛰어나기 때문으로 유추하는 근거가 된다. 본 연구결과처럼 EC 증가에 따른 소나무의 생육 약화는 앞서 지적했듯이 토양비옥화로 인해 낙엽활엽수종의 생장이 촉진되면서 소나무와의 경쟁이 심해지고 소나무에 적합한 생육환경이 악화되기 때문일 것이다. 산림생태계에서 낙엽활

Table 8. The correlations between the growth characteristics of the *Pinus densiflora* and environmental factors

	Branch length of the last year	Leaf length	Tree vitality	Mean importance percentage(MIP)	No. of individual
Altitude	-0.708**	-0.338	0.113	0.459	0.371
Aspect	0.058	0.461	-0.031	0.077	0.122
Slope	0.529*	0.168	0.106	-0.551*	-0.436
Soil water	-0.345	-0.164	-0.233	0.439	0.187
Soil pH	0.475	0.158	-0.385	0.121	-0.019
Electric conductivity	-0.114	-0.100	0.535*	0.306	-0.294
CEC	0.436	0.095	-0.011	0.354	0.000
Total-N	-0.150	0.035	0.454	0.327	-0.303
Litter depth	-0.480	0.010	-0.228	0.390	0.252
Mg ²⁺	-0.226	0.266	-0.563*	0.479	0.278
Ca ²⁺	-0.263	0.292	-0.507	0.450	0.237
Al ³⁺	-0.064	-0.160	0.682**	-0.221	-0.508

* and ** : significant at 5 and 1 % levels, respectively

엽수와의 경쟁관계가 배제된다면 Park(1993)의 지위지수에서 밝힌 것처럼 비옥한 토양이 소나무 생육에 유리할 것으로 판단된다. 다만 이런 관계는 국내 자연환경 특성상 인위적 관리에 기인하지 않으면 발생하지 않는다.

Mg함량과 활력도는 정(+)의 관계를 보였지만, Al함량과는 부(-)의 상관관계를 나타냈다. Park(1993)의 연구에서 토양 A·B층 공동으로 교환성 Ca·CEC와는 부(-)의 상관관계를 보였지만 다른 항목과는 유의적 상관성이 없었다. 국외 연구사례와 소나무의 관계를 직접적으로 비교하기는 어려우나 Finzi *et al.*(1998)이 수행한 북미에서의 낙엽활엽수림과 침엽수림의 Al함량 연구에서 침엽수림이 낙엽활엽수림에 비해 매우 높게 나타남을 밝힌 바 있다. Richter *et al.*(1994)이 테다소나무림을 대상으로 30년 동안 같은 장소에서 모니터링한 결과 Ca·Mg함량이 급격히 줄어든 것을 보고했다. 이런 특징은 온대 또는 열대지방의 식생천이 과정에서 흔히 일어나는 현상이라고 지적했다. 기존 연구를 살펴봤을 때 본 연구에서 소나무 활력도와 통계적으로 유의미한 Mg과 Al에 대해서는 향후 지속적인 조사와 심도있는 논의가 필요할 것이다.

이상의 결과를 종합하면, 전라남도 사찰인근 소나무림 지역은 임지환경 특성상 소나무림 생육적지로 보기는 어려운 환경임을 확인했다. 과거 인위적인 간섭으로 경쟁관계에 있는 낙엽활엽수 성장과 식생발달이 억제되면서 소나무림이 유지되고 지금까지 건전하게 생육한 것으로 보인다. 산림생태계의 소나무림에서는 식생천이에 따른 낙엽활엽수종을 중심으로 한 하층식생 발달과 물질순환에 의해 토양양분이 늘어난다. 이런 상황에서 낙엽활엽수와의 토양양분-수분 결합에서 소나무가 밀려 낙엽활엽수림으로 식생천이가 촉진 되므로서 소나무는 생리생태적 스트레스로 생육 저하와 수세 약화로 이어질 것이다. 이 상태가 지속되면 특히 최근 급속도로 번지는 소나무재선충병에 더욱 취약해져(Kume, 2000) 사찰인근의 소나무림이 순간 쇠퇴할 수도 있다.

하층식생이 관리된 본 대상지의 사찰인근 소나무림의 경우, 지형환경이 소나무림의 주요 분포범위이므로 토양비옥도 상승이 소나무 생육에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그러나 사찰인근 지역의 소나무림 생육상태가 양호하다고 해도 소나무림 생육적지임을 의미하지는 않으므로 지속적인 임상관리가 앞으로도 수반돼야 한다. 이런 임상관리가 소나무림의 유지기간을 조금 더 연장하는 수단이 될 수는 있으나, 토양환경 변화로 낙엽활엽수림 또한 빠른 속도로 성장하므로 인위적 관리에 따른 상대적 기회비용을 간과할 수 없다. 향후 사찰인근의 소나무림 유지관리에 관한 논의가 경관적, 문화적 및 생태적 천이 관점에서 복합적으로 이루어져야 할 것이다.

REFERENCES

- Ashton, P.S.(1969) Speciation among tropical forest trees: some deductions in the light of recent evidence. *Biol. J. Linn. Soc.* 1: 155-196.
- Bae, B.H and H.J. Lee(1999) Phytosociological studies for vegetation conservation of pine forest. *Kor. J. Env. Eco.* 22(1): 21-29.(in Korean with English abstract)
- Brower, J.E. and J.H. Zar(1977) *Field and Laboratory Methods for General Ecology.* Wm. C. Brown Company, 194pp.
- Budowski, G.(1965) Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional processes. *Turrialba* 15: 40-42.
- Choi, J.Y., K.S. Choi, K.S. Song, K.S. Yoon, H.I. Sung and J.J. Kim(2014) Characteristics of shoot elongation of *Pinus densiflora* stands on Mt. Yongma in Seoul. *Proceedings of The Korean Forest Society Annual Conference*, 114pp.(in Korean with English abstract)
- Choi, S.H., W.K. Lee, D.A. Kwak, S.C. Lee, Y.H. Son, J.H. Lim and J. Saborowski(2011) Predicting forest cover changes in future climate using hydrological and thermal indices in South Korea. *Climate Research* 49: 229-245.(in Korean with English abstract)
- Finzi, A.C., C.D. Canham and N.V. Breemen(1998) Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations. *Ecological Applications* 8(2): 447-454.
- Harper, J.L. and J. White(1974) The demography of plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5: 419-463.
- Jeong, J.H., C.N. Kim, K.S. Goo, C.H. Lee, H.G. Woon and J.G. Byun(2003) Physic-chemical properties of Korean forest soils by parent rocks. *Jour. Korean For. Soc.* 92(3): 254-262.(in Korean with English abstract)
- Jo, J.C., W. Cho and B.H. Han(1995) The plant community structure of *Pinus densiflora* in forest in Chuwangsan national park. *Kor. J. Env. Eco.* 8(2): 121-134.(in Korean with English Abstract)
- Jones, E.W.(1945) The structure and reproduction of the virgin forest of the north temperate zone. *New Phytol.* 44: 130-148.
- Kang, H.M. S.G. Park and S.C. Lee(2016) Characteristics of *Pinus densiflora*-dominant community on the mountain ridges of the Nakdong-Jeongmaek - Focusing on the Baekbyeongsan, Chilbosan, Baegamsan, Unjusan, Goheonsan -. *Kor. J. Env. Eco.* 30(4): 751-761.(in Korean with English abstract)
- Kim, J.S.(2014) *Science of *Pinus densiflora* : form DNA to Management.* Korea Univ., Publishing. 572pp.(in Korean with English abstract)
- Kim, S.D. and H.K. Jang(1995) Regeneration process of the pine (*Pinus densiflora*) forest in Bulying-Gyegog, Kyungsangbuk-Do, Korea. *Jour. Korean For. Soc.* 84: 258-265.(in Korean with

- English abstract).
- Kim, T.M., W.K. Lee, S.E. Jung and H.B. Kwak(2008) Analysis of relationship between spatial distribution of *Pinus densiflora* and topographical factors. The Journal of GIS Association of Korea 16(3): 359-372.(in Korean with English abstract)
- Korea Forest Research Institute(2005) Survey Natural *Pinus densiflora* Forest in Gwangneung Experimental Forest, 246pp.(in Korean)
- Kume, A.(2000) Eco-physiological decline processes of Japanese red pine, *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc., in the Seto inland sea area of Japan. Japanese Journal of Ecology 50(3): 311-317.(in Japanese with English abstract)
- Kume, A., T. Satomura, N. Tsuboi, M. Chiwa, Y. Hanba, K. Nakane, T. Horikoshi and H. Sakugawa(2003) Effect of understory vegetation on the ecophysiological characteristics of an overstory pine, *Pinus densiflora*. Forest Ecology and Management 176: 195-203.
- Kwack, B.W. and Y.C. Shin(1979) Landscape and woody vegetation of entering way to some scenic buddhist temples in Korea. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 8(1): 1-11.(in Korean with English abstract)
- Kwon, J.O.(2003) A study on the application of the ecological evaluation for the nature friendly residential site development planning. Doctor's thesis, University of Seoul, 281pp.(in Korean with English Abstract)
- Lee, C.S.(1995) Disturbance regime of the *Pinus densiflora* forest in Korea. Korean J. Ecol. 18(1): 179-188.(in Korean with English abstract)
- Lee, D.G., Y.S. Kim, H.T. Shin, S.K. Kang and S.G. Park(2012) *Ilex crenata* for. *microphylla* Rehder's leaf variations according to different altitudes of east-west slopes of Hallasan. The Journal of Korean Institute of Forest Recreation 16(2): 9-14.(in Korean with English abstract)
- Lee, K.J., I.H. Park, J.C. Jo and C.H. Oh(1990) Studies on the structure of the forest community in Mt. Sokri(2) analysis on the plant community by the classification and ordination techniques. Kor. J. Env. Eco. 4(1): 33-43.(in Korean with English Abstract).
- Lee, K.J., K.S. Ki and J.W. Choi(2009a) Vegetation succession and vegetation management of the *Pinus densiflora* S. et Z. forest in the Beopjusa Area, Songnisan national park. Kor. J. Env. Eco. 23(2): 208-219 (in Korean with English Abstract)
- Lee, S.D., K.J. Lee and J.W. Choi(2009b) Management plan to consider ecological characteristic of *Pinus densiflora* community in Seoul. Kor. J. Env. Eco. 23(2): 259-271.(in Korean with English Abstract)
- Lee, W.T., C.H. Lee(1989) Plant sociological studies on the *Pinus densiflora* forest in Korea. Korean. J. Ecol. 12(4): 257-284.(in Korean with English Abstract)
- Park, G.C.(1993) Relation of the physico-chemical properties of forest soil to site indices of *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*, *Pinus densiflora* and *Pinus densiflora* for. *erecta* stands. Doctor's thesis, Gyeongsang Univ., 53pp.(in Korean with English abstract)
- Park, S.G., M.H. Yi, J.W. Yoon and H.T. Sin(2012) Environmental factors and growth properties of *Sasa borealis* (Hack.) Makino community and effect its distribution on the development of lower vegetation in Jirisan national park. Kor. J. Env. Eco. 26(1): 82-90.(in Korean with English abstract)
- Park., S.G.(2013) An analysis of *Sasa borealis*' growth properties and positional environmental factors in Jirisan national park. J. Korean Env. Res. Tech. 16(2): 53-61.
- Richter, D.D., D. Markewitz, C.G. Wells, H.L. Allen, R. April, P.R. Heine and B. Urrego(1994) Soil chemical change during three decades in an old-field Loblolly pine (*Pinus Taeda* L.) ecosystem. Ecology 75(5): 1463-1473.
- Seo, D.J., C.Y. Oh, K.S. Woo and J.C. Lee(2013) A study on ecological niche of *Pinus densiflora* forests according to the environmental factors. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 15(3): 153-160.(in Korean with English abstract)
- Shin, M.Y., H.K. Won, S.W. Lee and Y.Y. Lee(2007) Site index equations and estimation of productive areas for major pine species by climatic zones using environmental factors. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 9(3): 179-187.(in Korean with English abstract)
- Shiobara, T., C. Hamano and T. Hamaya(2002) Decline and the agents causing it of large-sized old trees, read from the 1,041 sheets of clinical records made by "tree doctors". Journal of tree health 6(1): 3-12(in Japanese with English abstract)
- Song, H.K., S.D. Kim, K.K. Jang(1995) An analysis of vegetation environment relationships of *Pinus densiflora* for *Erecta* and *Chunyang*-type of *Pinus densiflora* communities by TWINSPAN and DCCA. Jour. Korean For. Soc. 84(2): 266-274.(in Korean with English Abstract)
- Spark, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loepfert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner(1996) Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical methods, SSSA, Madison, Wisconsin (USA), 1264pp.
- Yim, K.B., I.H. Park, K.J. Lee(1980) Phytosociological changes of *Pinus densiflora* forest induced by insect damage in Kyonggi-do area. Jour. Korean For. Soc. 50: 56-71.(in Korean with English Abstract)
- Yoon, J.H.(2003) Characteristics and change prediction of spatial distribution of *Pinus densiflora* stands in Korea : Emphasis on impacts of topography, climate, and soil factors. Doctor's thesis, Korea Univ., 142pp.(in Korean with English abstract)