

전남 편백림에서의 입지환경요인과 연륜생장량의 상관성 분석¹

박석곤² · 유한춘³ · 오찬진³ · 최우경^{4*}

Analysis of the Correlation between Site Environmental Factors and Tree Ring Growth in *Chamaecyparis obtusa* Stands in Jeonnam Province¹

Seok-Gon Park², Han-Choon You³, Chan-jin Oh³, Woo-Kyong Choi^{4*}

요 약

본 연구는 전남지역에 조림된 편백림을 대상으로 출현종의 개체수 및 종다양성 등의 식생요인과 토양요인의 상관성을 밝히고, 편백의 연륜생장량에 영향을 미치는 입지환경요인을 분석하였다. 편백림의 식생요인과 토양요인의 상관관계분석에서 종다양성지수와 CEC·유효인산·치환성 K^+ 사이에서는 높은 정의 상관관계를 보였다($P<0.01$). 또한, 출현종수와 CEC·유효인산·치환성 K^+ ·치환성 Mg^{2+} 사이에서도 높은 정의 상관관계를 보였다($P<0.01$). 편백의 연륜생장량과 입지환경요인간 상관관계 분석에서 연륜생장량은 유효인산, CEC, 치환성 K^+ , 전기전도도 등 토양의 보비력 및 비옥도와 높은 상관관계를 보였다($P<0.01$). 편백 연륜생장량의 설명변수는 치환성 K^+ 과 유기물함량, 토양산도며, 회귀모형의 설명력(R^2)은 74.4%로 높은 수준이었다. 이 모형에서 편백의 연륜생장량은 치환성 K^+ 과 유기물함량이 높을수록 늘어났지만, 토양산도는 낮을수록 줄어들었다. 따라서, 편백의 연륜생장량은 유효인산·CEC·치환성 K^+ ·전기전도도 등의 토양지력이 유효한 영향을 미친 것으로 분석되었다. 또한, 편백림의 토양지력은 편백의 하층식생으로부터의 낙엽공급이 유익한 영향을 미치는 것으로 보인다.

주요어: 물질순환, 토양양분, 하예작업, 하층식생

ABSTRACT

This study verified the correlations between vegetation factors, such as the number of individual species and species diversity, and soil factors in *Chamaecyparis obtusa* (CO) stands in Jeollanam-do. Also, the site environmental factors that affect the annual growth of CO ring width were analyzed. Positive correlations were found between the species diversity index and Cation Exchange Capacity (CEC), available phosphate, and exchangeable K^+ ($P<0.01$). In addition, strong positive correlations were also found between the number of species that appeared in the study site and CEC, available phosphorus, exchangeable K^+ and exchangeable Mg^{2+} ($P<0.01$). Tree ring growth showed strong correlations with the nutrient holding capacity and fertility of soil, including available phosphate, exchangeable K^+ , CEC, and electrical conductivity ($P<0.01$). The explanatory variables of tree ring growth in CO were composed of exchangeable K^+ , organic matter content, and soil pH.

1 접수 2015년 6월 16일, 수정 (1차: 2015년 9월 21일, 2차: 2015년 9월 25일), 게재확정 2015년 9월 26일

Received 16 June 2015; Revised (1st: 21 September 2015, 2nd: 25 September 2015); Accepted 26 September 2015

2 국립순천대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Sunchoen National Univ., Sunchoen 57922, Republic of Korea

3 전라남도 산림자원연구소 Jeonnam Forest Resources Research Institute, Naju 58213, Republic of Korea

4 국립수목원 Korea National Arboretum, Uijeongbu, 11186, Republic of Korea

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-31-540-1038, Fax: +82-31-540-2049, E-mail: cwk45@korea.kr

The regression model had a high level of explanatory power, 74.4%. In this model, the annual growth of CO ring width increased when exchangeable K^+ and organic matter content were higher but decreased when soil pH was lower. According to the analysis, it is found that the annual growth of CO ring width was significantly affected by soil fertility, including available phosphate, exchangeable K^+ , CEC, and electrical conductivity. In addition, the soil fertility of CO stands seems to be significantly affected by the supply of fallen leaves from the understory vegetation of CO.

KEY WORDS: CYCLE OF MATERIAL, SOIL NOURISHMENT, BRUSH CUTTING, UNDERSTORY VEGETATION

서론

일본산 상록교목성 편백은 1904년 국내에 도입되어 전북, 전남, 경남, 제주 등의 중부이남을 중심으로 조림되기 시작하여, 1970년대에는 산림녹화 사업으로 남부지역에 집중적으로 식재되었다(Son *et al.*, 2014). 최근 편백림은 산림녹화의 측면뿐만 아니라 휴양림으로서 국민들의 수요가 확대되어, 숲 치유와 건강증진을 위한 산림복지 측면에서 활용가치가 높아지고 있다(Jo *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2009). 또한, 편백에서 발생하는 피톤치드의 유용성(Kofujita *et al.*, 2001; Matsushita *et al.*, 2006)이 알려지면서 편백림은 남부지방에서 비교적 쉽게 접할 수 있는 수목자원이 되었다(Son *et al.*, 2014).

산림청 산림통계연보(<http://kosis.kr>)의 조림면적을 살펴보면, 2003년도 잣나무(2,356ha), 소나무(1,972ha), 편백(1,493ha) 순으로 편백이 3번째를 차지했다. 10년 경과한 2013년에는 소나무(4,641ha) 다음으로 편백(2,840ha)이 넓은 면적을 차지하였다. 10년간 조림면적은 641ha가 증가한 데 비해 편백은 1,347ha가 늘어나, 기존 조림지의 수종이 편백림으로 갱신된 것으로 보인다. 이처럼 10년 사이에 편백의 조림지 면적은 2배 가까이 급증하였고, 이 중 전남지역의 조림면적은 2003년 4,162ha에서 2013년 2,969ha로 10년 사이 1,193ha가 줄어든데 비해 편백조림지의 면적은 증가하였다. 사회적으로 편백림의 수요 증가로 인해 무분별한 편백 조림 및 편백림으로의 수종갱신은 조림목의 생육불량 및 고사로 조림이 실패하는 사례도 늘고 있다. 편백의 생육환경을 고려하지 않은 조림적지 선정이 그 원인일 것이다.

편백림은 임목밀도가 높아 임상으로의 광투과율이 낮으며, 타감작용으로 인해 종다양성이 낮아 생물종다양성 및 바이오매스 감소가 문제시 되고 있으며(Kiyono, 1988), 오랜 기간 생태적 천이가 중단되어 자연생태계 교란요인이 된다(Lee *et al.*, 2009). 특히, 편백순림은 임상이 어두워 하층식생의 발달이 미약하여 낙엽공급량이 적고, 편백의 낙엽 분해속도가 늦어 토양양분으로의 환원을 감소시킨다

(Takahashi *et al.*, 1996; Takahashi, 2000). 또한, 편백의 낙엽은 비늘잎(鱗葉) 파편으로 강우 충격에 쉽게 유실되어 유기물 집적이 어렵고(Ichikawa *et al.*, 2002), 이로 인해 토양침식으로 이어져(Nakajima and Kaneko, 2012) 산림환경이 심각하게 훼손될 수 있음을 많은 연구에서 지적해 왔다.

한편, 산림생태계내의 양분축적량과 물질순환은 기후조건, 지형, 모암, 산림의 종조성 등에 의해 달라진다고 알려져 있다(Takahashi, 2000; 재인용). 특히, 산림토양의 지력은 임상으로 공급되는 낙엽 시기 및 공급량, 낙엽의 질, 낙엽의 분해속도, 집적양식 등에 따라 토양양분이 크게 달라진다(Hobbie *et al.*, 2006). 산림토양내 이화학적 성질 차이는 조림수종의 성장과 밀접하게 관련된다(Jeoung *et al.*, 2003). 이 때문에 과거부터 식생 변화가 토양양분 특성에 어떤 영향을 미치는지가 관심사였고, 여러 수종과의 비교 연구가 진행되어 왔다(Ichikawa *et al.*, 2002). 편백림의 경우, 낙엽활엽수에 비교하여 침엽수로서 낙엽의 분해속도가 늦고, 하층식생 발달의 미흡으로 바이오매스가 적어 임상으로 공급되는 낙엽량이 적다(Kawahara *et al.*, 1979). 이로 인해 편백림의 토양은 지력감소로 이어져(Takahashi *et al.*, 1996; Takahashi, 2000) 편백의 성장에 악영향을 미칠 수 있다.

따라서, 전남지역에 조림된 편백림을 대상으로 출현종의 개체수 및 종다양성, 종수 등의 식생요인과 토양요인사이의 상관관계를 밝히고, 편백의 연륜생장량에 영향을 미치는 입지환경요인을 파악하고자 하였다. 이를 통해 편백의 임목생산에 적합한 적지조건과 동시에 생태학적 관점에서 편백림의 관리방안을 논의하고자 한다.

연구방법

1. 연구조사지 선정

편백림의 식생 및 입지환경요인(토양 및 입지요인)과 연륜생장량사이의 상관성을 분석하기 위해 전라남도청 편백

조림 현황자료를 바탕으로 대규모로 조림되거나 생육상태가 양호한 편백림을 연구조사지로 선정하였다. 연구조사지로서 고흥군 팔영산(조사지 번호: 1~6번), 광양시 느랭이골(7~11번), 광주광역시 무등산국립공원 중심사지구(12~14번), 순천시 낙안면(15~27번), 보성군(28~32번), 순천시 봉화산(33~35번), 장성군 축령산 및 병풍산(36~45), 장흥군 우드랜드 등 8곳이 선정되었다(Figure 1, Table 1). 장흥군 우드랜드의 식생조사 데이터는 방형구 크기가 달라 식생분석에서 제외했고, 보성군 지역의 연료생장량 및 토양 분석 데이터는 채취 및 측정상의 오류로 분석에서 제거했다. 현지조사는 2012년 5월부터 2014년 8월까지 실시하였다.

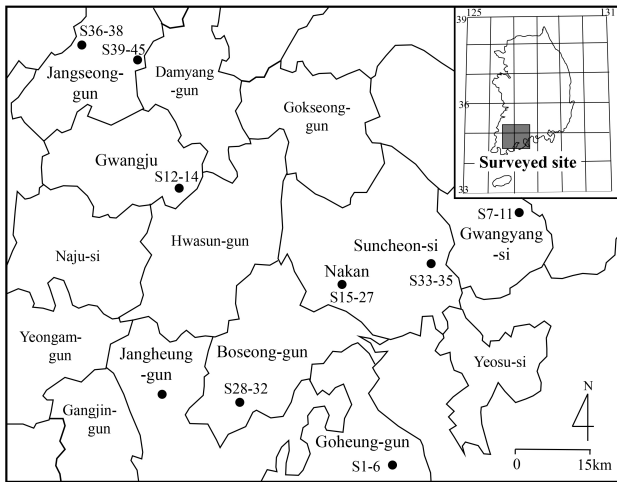


Figure 1. Map of the surveyed sites

2. 편백림의 식생 및 입지환경, 편백의 연료생장량 조사

전남지역에 조림된 편백림에서의 식생조사는 임내에 방형구를 설치하여 매목조사를 실시하였다. 교목층, 아교목층, 관목층으로 층위를 나누어(Park, 1985) 수관층위별로 수목조사를 실시하였다. 상층수관을 이루는 수목을 교목층으로, 수고 2m이하의 수목을 관목층으로, 기타 수목을 아교목층으로 구분하였다. 교목층과 아교목층에 출현한 수목을 대상으로 방형구(크기 10m×10m)에서 각각 흉고직경을 측정했고, 관목층은 방형구의 가장자리 좌우측에 크기 5m×5m의 소방형구 1개소를 설치하여, 소방형구내에 수목의 수관폭(장변×단변)을 조사하였다. 이 식생데이터를 기초로 종수 및 종다양성지수, 편백 및 그 외 수종의 개체수를 분석하여, 이를 식생요인으로 선정하였다. 각 조사지의 해발고도, 사면방위, 경사도 등을 조사했고 연평균기온 및 강수량은 조사지에 가까운 지역의 기상청 자료를 정리하여, 이

를 입지요인으로 하였다.

토양요인의 경우, 식생조사 방형구에서 가능한 1~2점씩 토양시료를 채취하여 이화학적 성질을 분석했다. 방형구내에서 토양시료는 임의로 3곳을 선정하여 낙엽과 부식층을 제거하여 깊이 10~20cm의 A층에서 채취했다. 임의의 3곳에서 약 150g씩 총 450g의 토양시료를 채취해 음지에서 풍건한 후에 시료를 2mm의 체로 쳐서, 이 체를 통과한 시료를 토양분석에 이용했다. 토양시료 채취는 식생조사를 실시한 시기와 동일하며, 채취한 토양은 전처리한 후에 1개월 이내에 토양분석을 실시하였다. 토양분석 항목은 토양산도(soil pH), 전기전도도(EC), 유기물함량(organic matter), 총질소(Total-N), 치환성 양이온함량(K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), 양이온치환용량(CEC) 등을 분석했다. 토양산도와 전기전도도는 토양시료와 증류수를 1 : 5의 비율로 진탕한 용액에 pH메타와 EC메타 센서로 측정했다. 토양의 유기물함량은 Walkley-Black법으로, 총질소함량은 Microkjeldahl법으로, CEC는 1N- NH_4OAc (pH 7.0) 침출에 의한 NH_4-N 증류법으로 측정했다(Spark *et al.*, 1996).

편백림에서 식생조사를 실시한 후에 연료생장량 측정을 위해 방형구내 편백 중에 흉고직경이 평균에 해당되는 편백 대상목 1~2개체를 선정하였다. 대상목의 지상 높이 1.2m 지점에서 성장추(하그로프사, 스웨덴)를 이용하여 목편을 추출하였다. 이때 성장추가 수평으로 대상목의 정중앙을 통과하도록 하여, 목편의 나이트가 수직이 되도록 주의하였다. 추출한 목편을 모눈종이에 놓고 나이트를 기준으로 연료생장량을 측정하였다.

3. 통계분석

편백림의 식생요인(종수 및 종다양성지수, 편백 및 활엽수종의 개체수)과 토양요인(토양산도, 유기물함량, 총질소, 유효인산, 치환성 양이온함량, 양이온치환용량, 전기전도도) 변수간 상관관계를 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)로 분석하였다. 편백의 연료생장량과 입지환경요인(토양 및 입지요인)의 변수간 상관관계도 분석했다. 또한, 연료생장량에 영향력이 큰 입지환경요인을 찾고자 다중회귀분석을 실시하였고, 단계선택법으로 독립변수를 제거하여 회귀모형을 구하였다. 상기 통계분석은 SPSS ver. 21(IBM) 패키지를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 연구조사지 개황

연구조사지의 식생구조를 살펴보면, 인공림의 특성상 교

목층에는 편백이 우점했으나 과거 하예작업 등으로 인해 아교목층에서 거의 출현수종이 없거나 일부 출현했다. 이에 비해 관목층에서는 상수리나무, 비목나무, 개웃나무, 청미래덩굴, 작살나무 등 다양한 수종이 분포해 피도가 전반적으로 높은 편이었다. 특히, 고흥, 광양, 장흥지역은 난온대 지역으로 관목층에서 흔하게 출현하는 상록성 사스레피나무가 주요종으로 출현하였다. 순천지역은 다른 지역에 비해 수령이 30년으로 비교적 적은 편이며, 조림이후 간벌작업이 실시되지 않아 임목밀도가 2,267주/ha로 다른 조사지에 비해 높은 편이었다(보통 편백 2-4년생 묘목 1천5백~3천 주/ha 조림). 보성지역의 경우에는 간벌작업이 실시되어 임목 밀도는 1,260주/ha로 중간 정도였지만, 임상에 잡초목의 잔가지더미가 쌓여 있어 과거 1~2년 사이에 하예작업이 실시된 것으로 추측된다. 이로 인해 2곳은 타 조사지에 비해 관목층의 피도가 20%로 낮았다. 타 조사지에 비해 순천지역의 편백림 토양은 총질소(Total-N), 양이온치환용량(CEC) 등이 낮아 척박한 편이었다. 특히, 조사지별 토양산도는 3.97~5.26으로 강산성 또는 극강산성을 띠었고 치환성 K^+ 함량은 0.09~0.29cmol⁺/kg이었는데 이는 우리나라 산

림토양(A층)의 평균(pH 5.5, 치환성 K^+ 함량 0.24cmol⁺/kg; Jeong *et al.*, 2003)보다 전반적으로 낮은 수준이었다. 반면, 총질소(Total-N)는 0.17~0.39%, 유기물함량은 5.17~13.04%, 양이온치환용량은 6.30~12.0cmol⁺/kg으로 전반적으로 약간 낮거나 비슷한 수준을 보였다. 고흥, 낙안, 순천, 장성, 장흥지역의 편백 연륜생장량은 3.52~3.84mm/년으로 광양 및 광주지역(1.53~2.68mm/년)에 비해 높았다. 일본 우즈노미야(宇都宮)대학 연습림의 27년생 편백의 평균연륜생장량은 2.3mm/년(Ishiguri *et al.*, 2013), 신슈(信州)대학 연습림의 20~80년생에서는 4.8mm/년(Saito and Kato, 2004)으로 보고되었다. 본 조사지의 연륜생장량은 평균 3.26mm/년으로 상기 두 지역의 중간정도 수준이었다.

2. 편백림의 식생요인과 토양요인간의 상관분석

편백림에서의 종다양성지수(Shannon index)와 유효인산·치환성 K^+ ·양이온치환용량(CEC) 사이에서는 높은 정의 상관관계($P<0.01$)를 보였다(Table 2). 또한, 출현종수와는 유효인산·치환성 K^+ ·치환성 Mg^{2+} ·양이온치환용량이 높은 정

Table 1. General description of the surveyed sites in the *Chamaecyparis obtusa* communities

The surveyed sites (Plot number)	Goheung (S1~6)	Gwangyang (S7~11)	Gwangju (S12~14)	Nakan (S15~27)	Boseong (S28~32)	Suncheon (S33~35)	Jangseong (S36~45)	Jangheung	
Location(GPS)	N34°37'28.8" E127°25'16.3"	N35°03'30.09" E127°42'38.69"	N35°06'09" E126°57'45"	N34°55'26" E127°18'25"	N34°43'28" E127°04'40"	N34°58'14.15" E127°31'06.58"	N35°23'20" E126°44'36"	N35°40'23" E126°55'43"	
Altitude(m)	246~267	176~288	151~196	293~402	310~332	106	248~307	163~167	
Aspect	S, W	E	N	E, N, S	E	E	E, W, S	N	
Slope(°)	22~33	10~15	10	5~22	19~22	23	5~25	8~25	
Topography	Slope	Valley	Valley	Valley, Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	
Number of species (Per 100m ²)	35	17	20	37	9	4	53	27	
Canopy	Mean DBH(cm)	12.8 (11.9~15.1)	26.2 (24.1~29.0)	29.0 (24.7~33.6)	24.9 (20.5~31.2)	22.29 (19.6~24.7)	16.3 (14.4~17.7)	23.2 (15.1~32.0)	23.2 (15.1~32.0)
	Cover(%)	50	60	80	70	80	80	70	55
	Main species	Co*	Co	Co	Co	Co	Co	Co	Co
Understory	Mean DBH(cm)	2.3(1.2~4.1)	2.9(1.5~4.3)	3.0(2.6~3.7)	1.6(1.0~2.8)	-	-	3.1(2.5~7.0)	-
	Cover(%)	10	5	20	10	-	-	5	-
	Main species	Qv, Ch	Cr	Mo	Lo	-	-	Cc	-
Shrub	Cover(%)	70	50	50	70	20	20	50	80
	Main species	Ej, Qa, Eu	Le, Rt, Eu	Ta, Cj	Ps, Lo, Le	Sc, Le	Sc, Rt	Ctr, Cj	Le, Eu
Density of growing stock of Co* (Per ha)	1,783±115.9**	1,040±32.5	933±31.0	1,115±131.0	1,260±74.8	2,267±134.1	1,270±127.4	520±10.0	
Age of tree	26±0.89	45±1.23	76±2.87	38±1.35	-	30±1.21	38±1.92	37±2.96	
Mean annual ring width (mm/yr)	3.79±0.17	2.68±0.15	1.53±0.14	3.62±0.28	-	3.84±0.13	3.52±0.24	3.82±0.35	
Soil pH(1:5)	4.21±0.05	4.61±0.06	5.26±0.12	4.02±0.03	-	4.73±0.04	4.03±0.13	3.97±0.10	
Organic matter(%)	10.23±1.20	13.04±0.26	7.93±0.54	10.92±0.53	-	5.17±0.26	9.99±0.68	12.43±0.09	
Total-N(%)	0.29±0.03	0.39±0.01	0.27±0.02	0.31±0.02	-	0.17±0.01	0.32±0.02	0.37±0.02	
Available phosphate(mg/kg)	21.17±1.25	10.00±3.24	6.50±2.33	19.62±1.26	-	0.00	22.40±1.45	23.33±2.19	
Exchangeable cation(cmol/kg)	K^+	0.29±0.03	0.09±0.01	0.10±0.01	0.17±0.01	-	0.09±0.003	0.21±0.02	0.17±0.02
	Ca^{2+}	1.36±0.27	0.27±0.06	2.75±0.46	0.40±0.11	-	0.22±0.04	1.83±0.65	0.36±0.04
	Mg^{2+}	0.42±0.06	0.13±0.01	0.54±0.10	0.20±0.03	-	0.12±0.01	0.46±0.13	0.24±0.003
CEC(cmol/kg)	11.56±0.58	10.39±0.28	9.48±0.61	11.53±0.32	-	6.30±0.18	11.70±0.39	12.00±0.25	
Electric conductivity(dS/m)	0.29±0.02	0.27±0.01	0.22±0.01	0.25±0.01	-	0.21±0.01	0.26±0.01	0.32±0.02	

*Co: *Chamaecyparis obtusa*, Qv: *Quercus variabilis*, Ch: *Corylus heterophylla*, Cr: *Carpinus tschonoskii*, Mo: *Meliosma oldhamii*, Lo: *Lindera obtusiloba*, Cc: *Cornus controversa*, Ej: *Euscaphis japonica*, Qa: *Quercus acutissima*, Eu: *Eurya japonica*, Le: *Lindera erythrocarpa*, Rt: *Rhus trichocarpa*, Ta: *Trachelospermum asiaticum*, Cj: *Callicarpa japonica*, Ps: *Prunus sargentii*, Sc: *Smilax china*, Ctr: *Clerodendrum trichotomum*,

** : Standard error

의 상관관계($P < 0.01$)를 보였다. 한편, 개체수와 토양요인의 상관관계의 경우, 편백 개체수와 양이온치환용량 사이에서는 결정계수가 0.402로 낮았으나 유의한 부의 상관관계를 보였다($P < 0.01$). 활엽수의 개체수와 치환성 Ca^{2+} 사이에는 높은 정의 상관관계($P < 0.01$)를 나타냈다. 한편, 해발고, 사면방위 등의 입지요인과 토양요인간의 상관관계가 있는지 알아보기 위해 상관분석을 실시했으나 유의한 상관관계가 보이지 않았다(데이터 생략).

편백림은 인공림의 특성상 교목층에 편백만이 우점하고, 아교목·관목층에 다양한 활엽수가 생육하는 식생구조를 보였다(Table 1). 이러한 식생구조와 상기 결과로 유추해 보면, 편백림에서 다양한 활엽수종이 공생할수록 토양의 비옥도가 상승하였고, 편백의 개체수는 토양요인에 미치는 영향은 미약하거나 오히려 편백의 개체가 늘어날수록 토양의 보비력(CEC)을 저하시켰다고 할 수 있다. 이에 비해 활엽수종의 개체수가 많을수록 치환성 Ca^{2+} 를 증가시키는 데 영향을 미쳤다고 볼 수 있다. 즉, 편백 개체수에 의한 낙엽공급보다 활엽수종의 다양성에 의한 낙엽의 질이 토양지력에 상관성이 높다고 해석할 수 있다. Takahashi(2000)의 편백림 토양성질 변화연구에서는 편백림에 낙엽활엽수의 낙엽공급은 A_0 의 두께 및 양분량을 증가시켰고, 그 결과 양이온치환용량과 염기포화도도 늘어났다고 하였다. 이러한 원인으로 편백 잎에 비해, 활엽의 양분농도는 질소(N)가 1.3~1.4배, 칼슘(K)이 1.2~2.4배, 칼슘(Ca)이 2.1~2.2배, 마그네슘(Mg)이 3.0~5.7배로 꽤 높다는 사실을 Takahashi(2000)는 언급했다. 더불어, 낙엽의 C/N비가 편백 잎은 80, 활엽은 49로서 낙엽활엽수 잎은 미생물에 의한 유기물 분해활성이 촉진되는 반면, 편백 잎은 C/N비가 높아 분해가 더디어 양분순환을 저해한다고 하였다. Takahashi et al.(1996)는 편백순림에서 편백은 낙엽 양분공급량이 적고 낙엽의 질도 낮아 토양산도의 저하 및 이로 인한 토양 염기성 양이온의 유실, 교환성 알루미늄의 용출 등에 의해 토양지력이 저하될 수 있다고 지적했다. 더불어, 물질순환의 관점에서 편백림의 하층식생 발달은 입지에서 양분유실을 억제하고,

토양지력 유지에 중요한 역할을 담당한다(Outcalt and White, 1981). 따라서 편백과 하층에 공생하는 활엽수는 토양에 유기물을 공급하고, 이에 따른 유기물 분해 활성화는 토양지력 상승에 효과적이고 이는 편백의 임목생산에도 유효할 것으로 추측된다. 편백림에서 토양지력 저하대책으로서는 하층식생 도입 및 낙엽활엽수와의 혼효, 낙엽활엽수림 인근에 편백림 조성 등을 들 수 있다(Takahashi, 2000).

3. 편백림의 연료생장량과 입지환경 요인간의 상관 분석 및 회귀분석

편백의 연료생장량과 입지환경요인간의 상관분석 결과(Table 3), 유효인산(available phosphate), 치환성 K^+ , 양이온치환용량(CEC), 전기전도도(EC), 유기물함량(organic matter)은 연료생장량과 높은 정의 상관관계($P < 0.01$)를 보였다. 반면, 토양산도(soil pH)와는 높은 부의 상관관계($P < 0.01$)를 보였다. 그 외 다른 요인과는 유의적 상관관계를 보이지 않았다. Chung(1980)의 연구에서 편백의 흉고직경, 수고, 재적생장과 깊게 관여하는 토양인자는 치환성 Ca^{2+} , 토양산도, 양이온치환용량이라고 보고하였다. 본 연구에서도 비슷한 결과를 보였으며, 특히 토양의 보비력 및 비옥도의 척도가 되는 양이온치환용량과 전기전도도, 치환성 K^+ 이 정의 상관관계라는 결과는 편백이 비옥한 토양에서 생장량이 높다고 볼 수 있다. 우리나라 산림토양의 산도는 5.48로 약산성(Jeong et al, 2003)인데 비해 본 연구의 토양산도는 3.97~5.26으로 전반적으로 강산성 또는 극강산성을 띄었다. Sassa et al.(1991)의 편백림 연구에서도 토양산도가 3.60~4.80로 낮은 수준을 보였다. 편백의 낙엽에 함유된 수지성분 등에 의해 유기물 분해가 어려워져 광질토양으로의 염기공급 저하(Takahashi, 2000) 및 아황산가스 등이 함유된 수간류(Sassa et al., 1991)에 의해 편백림의 토양산도가 낮은 것으로 알려져 있다. 지나치게 낮은 토양산도는 편백의 토양양분 흡수를 저해시켜 편백의 성장량에 악영향을 미치는 것으로 판단된다.

Table 2. The correlation between the vegetation factors of *Chamaecyparis obtusa* and soil factors

Vegetation factor	Soil factor			Available phosphate	Exchangeable cation			CEC	Electric conductivity	
	Soil pH	Organic matter	Total-N		K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}			
Shannon index(H')	-0.469**	0.394**	0.384**	0.709**	0.674**	0.457**	0.352	0.745**	0.474**	
Number of species	-0.216	0.138	0.191	0.580**	0.558**	0.457**	0.502**	0.596**	0.269	
Number of individual	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	-0.071	-0.442	-0.468	-0.096	0.242	-0.149	-0.057	-0.402**	0.043
	Broad-leaved tree	0.609**	-0.206	-0.081	-0.209	-0.239	0.556**	0.419**	-0.063	-0.312
	Total	0.615**	-0.224	-0.098	-0.215	-0.235	0.560**	0.422**	-0.077	-0.315

** : significant at 1 % level

Table 3. The correlation between the mean annual ring width of *Chamaecyparis obtusa* and site environmental factors

Site environmental factor	Soil pH	Organic matter	Total-N	Available phosphate	Exchangeable cation			CEC
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
<i>Chamaecyparis obtusa</i>								
Mean annual ring width	-0.781**	0.494**	0.374	0.762**	0.650**	-0.221*	-0.049	0.671**

Site environmental factor	Electric conductivity	Density of growing stock	Altitude	Aspect	Slope	Amount of precipitation	Annual mean temperature
Mean annual ring width	0.570**	-0.060	0.499**	-0.074	0.238	-0.022	-0.294*

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

Table 4. The multiple regression analysis between the mean annual ring width of *Chamaecyparis obtusa* and site environmental factors

Dependent variable	Independent variable	B	Standard error B	Beta	t
	(Constant)	6.075	0.848	-	7.165
Mean annual ring width (mm/yr)	X ₁ (K ⁺)	4.586**	0.841	0.368	5.456
	X ₂ (pH 1:5)	-1.051**	0.150	-0.515	-7.009
	X ₃ (Organic matter; g/kg)	0.007**	0.002	0.209	3.194
R ² =0.744, F=70.859 (p<0.001)					

** : significant at 1 % level

편백의 연륜생장량에 크게 영향을 미치는 독립변수는 치환성 K⁺, 토양산도, 유기물함량이었으며, 회귀모형의 설명력(R²)은 74.4%로 높은 수준이었다(Table 4). 이 모형에서는 치환성 K⁺과 유기물함량이 높을수록 편백의 연륜생장량이 늘어났지만, 토양산도는 낮을수록 줄어들었다. Yang *et al.*(2014)의 연구에서는 편백의 생장량은 토양 특성보다 조림지의 입지환경에 영향을 미칠 것으로 예상하였다. 또한, Kim *et al.*(2008)의 편백 지위지수 연구에서는 기후대, 건습도, 경사, 지형, 전토심 순으로 수고생장에 영향력이 크다고 보고하였다. 반면, 토양의 이화학적 성질과 편백의 흉고직경 생장량에 관한 회귀모형을 연구한 Chung(1980)은 치환성 Ca⁺, 토양산도, 양이온치환용량, 유기물함량 등이 흉고직경 생장에 관여한다고 밝혀 본 연구와 비슷한 결과를 도출하였다. 본 연구조사지가 주로 전남지역으로 한정되어 있기 때문에 입지요인보다 토양요인이 편백의 연륜생장에 더 크게 영향을 미친 것으로 판단된다.

4. 종합고찰

본 연구에서 편백의 연륜생장량은 유효인산, CEC, 치환성 K⁺, 전기전도도 등의 토양지력이 유효한 영향을 미친 것으로 분석되었다. 또한, 편백림의 토양지력은 편백의 하층식생으로부터의 낙엽공급이 유의한 영향을 미쳤다고 할 수 있다. 편백림의 문제점으로서 토양지력 저하, 토양침

식 등에 의한 산림환경 훼손 및 임목생산력 저하를 들 수 있다. Ichikawa *et al.*(2002)의 편백림 토양양분 연구에서 낙엽활엽성 관목이 다수 생육하는 편백림과 낙엽활엽수림에서의 토양양분 차이는 없었다. 이는 낙엽활엽성 관목에서의 분해가 빠른 낙엽이 공급되어 편백림의 토양양분 증진에 유효한 역할을 했기 때문이라고 하였다. 이를 토대로 편백림에서 하층식생 발달은 토양양분 축적 및 물질순환 측면에서 유의한 영향을 주었다고 보고하였다. 또한, Nakajima and Kaneko(2012)는 급한 비탈지, 하층식생의 발달미약 등의 편백림에서는 낙엽 및 유기물을 함유한 표층토양이 사면하부로 이동하면서 유기물이 감소하여 임상의 토양침식으로 이어진다고 하였다. 따라서, 편백 조림지로서는 인근에 낙엽활엽수림이 위치해 있어 편백림으로의 낙엽공급이 예상되는 곳이나, 토양양분 축적량이 높은 계곡부나 강우에 의해 토양침식이 잘 일어나지 않는 완만한 지역이 유리할 것이다. 더불어, 유령림과 장령림 단계에서 간벌 등으로 적절하게 임목밀도를 조절하여 다양한 자생수종이 유입되어 하층식생이 발달하면, 토양침식으로 인한 양분 유실이 일어나지 않으며 다양한 낙엽활엽수로부터 낙엽공급이 늘어나 토양지력이 상승하여 편백의 임목생장에 유효할 것으로 판단된다.

최근 일본에서는 편백, 삼나무 등의 인공림을 생태학적으로 안정된 산림구조로 갱신하기 위해 간벌에 의한 하층식생 회복뿐만 아니라 다양한 활엽수를 도입하여 종다양성이 높

은 혼효림으로 전환을 피하고 있다(Ito *et al.*, 2006; Seiwa, 2013). 더불어, 인공림에서 전면적이고 일괄적인 잡초목을 제거하는 하예작업은 급격한 유기물 분해로 인해 많은 양분이 토양에 공급되어 조림목에 유효하게 흡수되지 않고 토양 양분 유실로 이어지므로 물질순환 측면에서 적절치 않다고 Takahasi *et al.*(1995)는 지적하였다. 이러한 관점에서 편백림에서의 숲가꾸기 일환으로 하층식생의 전면제거와 편백순림으로의 관리는 바람직하지 않을 것이다.

편백 조림이후 산림사업에 따른 임목밀도는 재적, 수고 등의 편백 생장에 영향을 미치는 요인 중 하나이다. 이 임목밀도 변화를 고려하지 못한 것은 본 연구의 한계며, 향후 이를 고려한 환경요인과 편백의 생장에 관한 연구가 필요할 것이다.

REFERENCES

- Chung Y.G.(1980) Effects of Soil Properties and Environmental Factors on the Growth of *Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zuce. Ph. D. thesis. Konkuk Univ., Seoul, Korea. (in Korean with English abstract)
- Hobbie S.E., B.R. Peter, J. Oleksyn, M. Ogdahl, R. Zytkowski, C. Hale and Piotr Karolewski(2006) Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden. *Ecology* 87(9) : 2288-2297
- Ichikawa, T., F. Fumitaka, T. Terumasa and A. Yoshito (2002) Effects of the conversion of the forest management type from natural deciduous broad-leaved forests to artificial Japanese cypress and Japanese cedar forest on soil fertility. *Japanese Journal of Forest Environment* 44(2): 23-29. (in Japanese with English abstract)
- Ishiguri, F., M. Kawashima, K. Iizuka, S. Yokata and N. Yohsizawa (2013) Relationship between radial growth rate and wood properties in 27-year-old hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) wood. *Bulletin of the Utsunomiya University Forests* 49: 9-14. (in Japanese with English abstract)
- Ito, S., S. Ishigami, N. Mizoue and G.P. Buckley (2006) Maintaining plant species composition and diversity of understory vegetation under strip-clearcutting forestry in conifer plantations in Kyushu, southern Japan. *Forest Ecology and Management* 231: 234-241
- Jeong, J.H., C.S. Kim, K.S. Goo, C.H. Lee, H.G. Won and J.G. Byun (2003) Physico-chemical properties of Korean forest soils by parent rocks. *Journal of Korean Forest Society* 92(3): 254-262. (in Korean with English abstract)
- Jo, J.S., S.I. Kim, S.L. Yoon, J.K. Noh, D.K. Kim and K.D. Choi (2006) Analysis of antimicrobial components from essential oil in the leaves of *Chamaecyparis obtusa*. *Journal of Industrial Technology Research Institute* 14:243-249. (in Korean with English abstract)
- Kawahara, T., Y. Tadaki, I. Takeuchi, A. Sato and K. Higuchi (1979) Productivity and cycling of organic matter in natural *Fagus crenata* and two planted *Chamaecyparis obtusa* forests. *Japanese Journal of Ecology* 29(4): 387-395 (in Japanese with English abstract)
- Kim, C., Y. Son, W.K. Lee, J. Jeong and N.J. Noh (2009) Influences of forest tending works on carbon distribution and cycling in a *Pinus densiflora* S. et Z. stand in Korea. *Forest Ecology and Management* 257(5): 1420-1426. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.H., E.G. Kim, S.G. Lee, Y.G. Chung and H.J. Jin (2008) The effects of site environmental factors on estimation of site index function for *Chamaecyparis obtusa* Endlicher Stands. *Journal of the Environmental Sciences* 17(8): 891-898. (in Korean with English abstract)
- Kiyono, Y. (1988) Analyses of factors affecting the dynamics of coverage and number of species in understories in *Chamaecyparis obtusa* plantations. *Journal of the Japanese Forestry Society* 70(10): 455-460 (in Japanese)
- Kofujita H., Y. Fujino, T. Sasaki, M. Hasebe, M. Ota and K. Suzuki (2001) Antifungal activity of the bark of *Cryptomeria japonica* and its relevant components. *Journal of the Japan Wood Research Society* 47: 479-486.
- Lee, K.J., B.H. Han, J.Y. Kim and T.H. Noh (2009) Restoration and management method based on the density of growth and ecological succession in artificial forest, national parks. *Proceeding Korea Society of Environment and Ecology Conference* 19(2): 120-124. (in Korean)
- Matsushita Y., Y.H. Hwang, K. Sugamoto and T. Matsui (2006) Antimicrobial activity of heartwood components of sugi (*Cryptomeria japonica*) against several fungi and bacteria. *Journal of Wood Science* 52: 552-556.
- Nakajima, G. and N. Kaneko (2012) The effect of Japanese cypress plantation on soil biochemical characteristics converted from deciduous forests. *Journal of the Japanese Forest Society* 94(3): 112-119 (in Japanese with English abstract)
- Outcalt, K.W. and E.H. White (1981) Understory biomass and nutrients 2 year after timber harvest in northern Minnesota. *Canadian Journal of Forest Research* 11: 305-308.
- Park, I.H. (1985) A Study on Forest Structure and Biomass in Baegwoonsan Natural Ecosystem. Seoul Natinal Univ. Graduate School Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy, 42pp. (in Korean with English abstract)
- Saito, M and M. Katoh (2004) Periodic change of hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Sieb.) plantation on Terasawayama experimental forest-1997 and 2003 forest inventory data comparison-. *Bulletin Shinshu University Alpine Field Center* 2: 67-74. (in Japanese with English abstract)
- Sassa, T, Goto K, Hasegawa K and Ikeda S. (1991) Acidity and nutrient elements of the rain fall, through fall and stem flow in the typical forests around Morioka City, Iwate Pref., Japan : Characteristic pH value of the stem flow in several tree species.

- Japanese Journal of Forest Environment 32(2): 43-58 (in Japanese with English abstract)
- Seiwa, K. (2013) Steps in recovering biodiversity of conifer plantations: an effective combination of edge and thinning effects (Feature Ecological process around "the boundary" between forest stands). Japanese Journal of Ecology 63(2): 251-260. (in Japanese with English abstract)
- Son, H.J., Y.S. Kim, N.Y. Kim, H.B. Lee and W.G. Park (2014) A consideration of the possibility of planting *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* on the east sea area in Gangwon-Province by tree ring dating and climatic factor analysis. Journal of Forest Science 30(1): 36-44. (in Korean with English abstract)
- Spark, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, 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.
- Takahashi, T. (2000) Effects of supply of deciduous broad-leaved litter to the forest floor on the soil fertility of a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) forest. Japanese Journal of Forest Environment 42(1): 23-28 (in Japanese with English abstract)
- Takahashi, T., K. Haibara, Y. Aiba (1996) Effects of mixture of broad-leaved trees on the chemical characteristics of the soil in Japanese cypress stand. Journal of the Japanese Forestry Society 78(3): 244-249 (in Japanese with English abstract)
- Takahashi, T., K. Haibara, Y. Aiba, H. Tada and M. Fukusa (1995) Effects of weeds and weeding on nutrients dynamics in young stands. Japanese Journal of Forest Environment 37(2): 67-76. (in Japanese with English abstract)
- Yang, A.R., J.H. Hwang and M.S. Cho (2014) Regional early growth performances of planted *Chamaecyparis obtusa* seedlings in relation to site properties. Journal Korean Forest Society 103(3): 375-382. (in Korean with English abstract)

<http://kosis.kr>