

울릉도 섬잣나무-솔송나무림의 구조 및 하층식생의 종 다양성

조용찬¹ · 홍진기² · 조현재³ · 배관호⁴ · 김준수^{2*}

¹국립수목원 산림생물조사과, ²경북대학교 과학기술대학원 산림환경자원학과,

³산림청 녹색사업단, ⁴경북대학교 생태환경시스템학부⁴

Structure and Understory Species Diversity of *Pinus parviflora* - *Tsuga sieboldii* Forest in Ulleung Island

Cho, Yong Chan¹, Jin Ki Hong², Hyun Je Cho³, Kwan Ho Bae⁴ and Jun Soo Kim^{2*}

¹Division of Forest Biodiversity, Korea National Arboretum, Pocheon 487-821, Korea

²Department of Forest Environment and Resources, Graduate School of Science & Technology, Kyungpook National University, Sangju 742-711, Korea

³Korea Green Promotion Agency, Daejeon 301-302, Korea

⁴School of Ecology & Environment system, Kyungpook National University, Sangju 742-711, Korea

요 약: 본 연구에서는 울릉도 태하령의 섬잣나무-솔송나무림에서 10개의 영구방형구(10 m × 10 m) 및 30개의 소방형구(1 m × 3 m)를 설치하여 임분구조, 식생조성 및 종다양성을 밝히며 종다양성 모형을 수립하였다. 섬잣나무-솔송나무 임분의 광량은 평균 3.7 mol·m⁻²·day⁻¹, 수관 열림도는 평균 8.6 %로 분석되었다. Mantel 검정 결과, 임분 상층의 구조가 장기적으로 지속되기 어려울 것으로 나타났다. 하층식생의 조성은 지상부의 구조 및 토양 나출도와 유의한 상관을 나타내었다. 중회귀분석을 통한 종다양성 모형에서 섬잣나무의 양적 요인(단면적 및 밀도) 및 숲 바닥 조건이 유의한 예측변수로 분석되었다. 섬잣나무-솔송나무림의 유지에는 비교적 큰 규모의 교란이 필요할 것으로 생각되며, 종다양성을 유지하기 위해서는 여우꼬리사초 및 큰두루미꽃과 같은 단일 군락을 형성하는 교란지 종의 확산을 제어하는 것이 필요하다.

Abstract: Vegetation structure, composition and diversity were quantified for 10 samples (10 m × 10 m) representing woody vegetation and for 30 samples (1 m × 3 m) representing understory vegetation in *Pinus parviflora* and *Tsuga sieboldii* forest of Taeharyeong, Ulleung-gun (Gyeongsangbuk-do). *P. parviflora* was limitedly advanced to sapling layer from seedling stage, and based on Mantel tests, composition of canopy layer was not established in ground woody vegetation. Non-metric multidimensional scaling revealed influence of biotic and abiotic factors in species composition of woody and understory vegetation. In the result of multiple regression model, abundance of *P. parviflora* (density and breast height area) and percent cover of woody debris were significant predict variables for understory diversity. These results suggest that relatively large disturbance is required for regeneration of *P. parviflora* and *T. sieboldii* forest, and control of expansion of monocultural understory species that monopolize resources such as *Carex blepharicarpa* and *Maianthemum dilatatum*, is necessary for maintenance of diversity.

Key words : mantel test, multiple regression model, *Pinus parviflora*, species diversity, structure, *Tsuga sieboldii*, Ulleung-island, understory vegetation

서 론

본토에서 동쪽으로 130 km 떨어진 울릉도의 태하령에는 천연기념물 및 산림유전자원보호림으로 지정되어 있는 섬잣나무-솔송나무림이 형성되어 있다. 섬잣나무-솔송

나무림은 주로 울릉도 산지의 경사가 급하고 좁은 능선부에 형성되어 있다. 태하령의 이 침엽수림은 높은 생산성, 자연 교란에 의한 숲틈의 부재, 그리고 작은 직경급 개체에서의 고사 비율 등에 의해 성숙림 수준에 이르지 못한 것으로 분석되고 있다(임종환 등, 2004). 식생 구조의 속성에는 살아있는 나무의 크기(단면적), 밀도, 다양성 등을 포함한 다양하고 복잡한 관련 특성들이 있다(예, 죽은 나

*Corresponding author
E-mail: junsoo1379@hanmail.net

무의 양, 숲 바닥 환경 및 하층 군집) (Franklin *et al.*, 2002). 임종환 등(2004)의 연구를 제외하면, 태하령의 침엽수림에서는 다양한 측면에서의 임분 구조 분석 및 식생에 대한 연구가 이루어지지 않고 있다.

대부분의 온대림에서 종다양성은 교목성 식물보다는 하층식생을 구성하는 초본, 관목 및 아관목성 종들에 의해 결정된다(Raunkiaer, 1934; Crawly, 1986; Halpern and Spies, 1995). 따라서 하층 구성종의 다양성과 그것에 영향을 미치는 생물(목본 식물의 면적 및 밀도 등) 및 비생물(수관 열림도, 광량 및 토양 나출도 등) 요인의 상관관계 해석은 임분 구조 해석의 기초 연구가 된다. 이러한 종다양성의 이해는 자연 자원 이용과 보전에 관한 정책 설계, 적용 및 수정에 있어서 중요한 역할을 한다(Kessler *et al.*, 1992). 숲틈 형성과 같은 작은 교란에 의한 하층식생의 반응에 대한 연구(조용찬 등, 2009; Cho *et al.*, 2009) 및 남부 지방의 졸참나무림 및 사방오리나무림(Cho, 2009)의 하층식생 연구를 제외하면, 우리나라 산림식생에서 하층식생 조성 및 종다양성, 그리고 그것에 영향을 미치는 환경요인에 관한 연구는 찾아보기 어렵다.

종의 수 그리고/또는 양적 분포에 의해 간단히 측정할 수 있는 다양성에 관한 지수들은 군집의 종적 구조를 해석하는데 유용하게 이용된다(Magurran, 2004). 식생 연구에서 빈번하게 이용되는 지수는 희귀종과 일반적인 종을 동일하게 다루며, 종의 양에 대해서 가중치를 주는 다의성(또는 모호성)이 있지만, 복잡한 종의 집단을 단순하게 평가하여 비교할 수 있는 효과적인 생태학적 도구가 된다(Magurran, 2004). 한편, 우리나라와 같이 과거의 빈번한 산림자원의 이용 및 산불 등과 같은 인위적 교란 이후 발달하고 있는 생태계에 있어서, 종 수 또는 지수 값에 기초한 식생의 평가 또는 해석은 그것의 온전성, 교란사 등과 같은 생태학적 속성에 대한 해석을 제한할 수 있다. 종 수 및 다양성 지수는 근본적으로 서식지 또는 천이 계열 선호성과 같은 식생 구성 종의 생태적 속성을 무시하기 때문에 임분 및 군집의 올바른 질적 해석을 곤란하게 할 수 있다. 예를 들면, 섬잣나무-솔송나무림에서, 교란지 선호 식물인 여우꼬리사초, 섬포아풀 및 큰두루미꽃 등의 분포는 지형, 과거 또는 최근의 교란된 입지조건을 나타내는 것이다. 물론, 비교적 인위적 교란강도가 낮은 자연림 또는 초지 식생에서 지수에 의한 식생의 해석은 큰 대표성을 가질 수 있다(Wilsey *et al.*, 2005; Gazol and Ibáñez *in press*). 본 연구에서는 이러한 점을 인식하고, 초본 종에 대해서 숲 내부 종(*forest species*) 및 교란지 종(*ruderal species*)과 같은 종의 서식처 선호성(*habitat affinity*)으로 기능군을 구분하여 임분의 종 구성 상태를 분석하였다.

본 연구의 목표는 1) 울릉도 태하령의 섬잣나무-솔송나무림을 대상으로 임내 광량, 숲 열림도 및 숲 바닥 환경을

포함하여 임분 구조를 분석하고자 한다. 또한, 2) 임분 하층의 식생조성과 다양성을 밝히며, 생물 및 비생물 요인으로 구성된 종다양성 모형을 수립하고자 한다.

연구 지역 및 방법

1. 연구 지역

본 연구의 조사지역은 울릉도(N 37° 25'~30', E 130° 46'~130° 52') 태하령의 섬잣나무-솔송나무림이다. 울릉도의 연평균 기온 및 강수량은 각각 12.2°C 및 1,308 mm이다(1961~2008년, 기상청). 울릉도는 대륙성 기후인 한반도와 달리 해양성 기후로써, 연중 온난하며 강수량의 계절 분포가 고르며, 동일 위도 상의 다른 지역에 비하여 온난한 것이 특징이다(김종원, 2004). 울릉도의 연평균 기온 및 강수량은 점진적으로 증가하고 있는데, 전자의 기온이 후자보다 크며, 겨울철 강설량은 감소하는 경향이다(이승호 및 최병철, 2001; 남부지방산림청, 2009). 울릉도의 식생은 식생지리학적으로 동북아시아 식생형 가운데 섬형에 포함되는 울릉도아형(Ulleungdo subtype)으로 구분되며, 산지식생, 해안식생, 내륙초지식생 및 인공조림식생의 4개 식생형이 발달하고 있다(김종원, 2004). 울릉도의 식생은 내륙과 마찬가지로 과거 산불 및 벌채와 같은 인위적 교란을 경험한 이차림이 대부분이다(울릉군지, 2007). 태하령의 섬잣나무-솔송나무림 역시 숲 바닥에서 화재 또는 벌채의 흔적을 쉽게 찾아볼 수 있으며, 1997년에서 1998년 사이에 간벌이 이루어졌다(김용식, 1998). 태하령의 섬잣나무-솔송나무림은 식물사회학적으로 섬잣나무-솔송나무군집의 동백나무, 송악, 자금우, 굴거리나무, 식나무, 줄사철나무 등의 내동성이 큰 상록활엽수종에 의한 동백나무아군집에 포함된다(김종원, 2004). 태하령 침엽수림의 수관층에는 섬잣나무가 우점하며, 아교목층은 솔송나무, 피나무류, 풍게나무 및 동백나무 등으로 구성되어 있다. 하층 식생에는 이대, 송악 및 동백나무와 같은 난대성 식물 및 관중과 같은 냉온대성 식물이 함께 분포하고 있으며, 능선을 따라 교란지 또는 광량이 풍부한 지소를 선호하는 여우꼬리사초 및 큰두루미꽃 등이 높은 피도로 나타난다. 연구 지소의 토양은 적윤하며, 조면안산암 및 응회탄을 모재로 생성된 화산회 적윤토양이다(임종환 등, 2004). 본 연구를 위한 조사 지소는 임종환 등(2004)의 장기생태연구지역을 제외하여 선정하였다.

2. 조사 방법

식생 조사는 지분설계(*nested design*)를 기초로 하였다. 식생에 대한 장기 관찰을 위해 10 개의 영구 방형구를 설치하였다. 방형구는 10 m × 10 m 크기의 정방형으로 사면 상부에 설치하였다. 방형구 중앙의 3개 지점에 일정 간격

(1 m)으로 소방형구(1 m × 3 m, subplot)를 설치하였다. 소방형구는 다시 미세방형구(1 m × 1 m, microplot)로 나누었다.

조사구 내의 목본 식생은 상층, 중층 및 하층으로 구분하여 조사하였다. 상층 구성종은 흉고직경이 6 cm 이상인 것, 중층은 흉고직경 6 cm 이하의 것, 하층은 수고 120 cm 이하의 것으로 하였다. 상층 종은 지상으로부터 120 cm 높이에서 직경을 측정하였고, 중층 및 하층의 개체는 근주직경 (지상 5 cm)을 측정하였다. 각 미세방형구에서 출현 종의 피도를 측정하였다. 관목층 식물 피도는 지상에서의 높이 1 m~2 m 사이의 목본종의 것을 기록하였다. 또한 각 미세방형구에서의 토양나출도, 이끼피도 및 잔가지(woody debris) 피도 등을 기록하였다.

각 소방형구의 중심에서 수관열림도(Canopy Openness)와 광량(Light Availability) 측정을 위한 어안렌즈 영상을 촬영하였다(Nikon D90, 렌즈 Sigma 4.5 mm; F2.8 EX DC CIRCULAR FISHEYE). 영상 분석은 Gap Light Analyzer 2.0 프로그램을 이용하였다. 조사지 내에 출현한 식물의 동정은 이창복(1991) 및 Lee *et al.*(1997), 그리고 국립수목원 및 한국식물분류학회(2007)를 따랐다.

3. 통계 분석

수관열림도 및 광량은 3개 소방형구에서 얻어진 값을 평균하여 하나의 방형구 값으로 하였다. 임분 구조는 방형구 내에 출현한 목본 식물의 평균 흉고단면적 및 밀도를 구하여 분석하였다($n=10$). 목본 식생의 중요치는 각종의 상대기저면적과 상대밀도의 합으로 하였다. 세 개의 미세방형구에서 측정된 변수들의 평균을 구하여 하나의 소방형구 값으로 하였다($n=30$). 하층 식생은 출현 빈도 20% 이상의 종을 대상으로 상대 피도를 구하여 중요치로 하였다. 식생조성은 목본 및 하층식생의 중요치 자료를 이용하여 NMS(non-metric multi-dimensional scaling) 서열법(ordination)으로 분석하였다. NMS 분석은 모집단의 분포를 가정하기 어려운 생태학적 자료에 적절한 분석법이다. 서열분석은 Sørensen의 거리 척도를 이용하였고, PC-ORD 프로그램의 “slow and thorough” 옵션을 이용하였다(McCune and Mefford 1999). 이 분석은 실자료(real data)를 40번 분석 후, 무작위화 된 자료(randomized data)를 기초로 50회의 Monte Carlo 검정을 수행하여 하나에서 여섯 개의 축으로 나타낼 수 있는 서열 분석 결과를 순차적으로 낮추어 최적의 분석 결과(minimum stress configuration)를 나타내어 준다. 식생의 천이 경향은 Mantel 검정으로 분석하였다(Sokal and Rohlf, 1995). 목본 식생의 층위별 구성종의 중요치 표를 작성한 후, 층별 결합도를 Mantel 검정을 이용하여 분석하였다(McCune and Mefford, 1999). 이 검정은 두 개의 이질도 표(dissimilarity matrix) 사이의 상

관관계(correlation)를 계산하여 준다. 이질도 표는 Sørensen 거리 척도를 이용하여 작성하였다. Mantel 검정의 확률 수준은 1,000회의 Monte Carlo 무작위화를 통해 계산하였다. 본 연구에서는 상층 구조가 하층(중층 및 하층)의 구조에 영향을 주는 것에 대해 검정하였다. 따라서 상층과 다른 층위 사이에서 유의한 상관관계를 나타낸다면, 현재의 상층구조가 유지될 가능성이 있다고 해석할 수 있다. 식생 조성과 임분 구조(평균 단면적, 평균 밀도, 섬짓나무 단면적, 섬짓나무 밀도 등) 및 환경 변수(광량, 수관 열림도, 토양나출도, 이끼피도 등) 사이의 상관관계는 Spearman rank correlation(r_s)을 통하여 분석하였다. 소방형구를 구성하는 3개의 미세방형구에서 측정된 변수들의 평균을 구하여 각 소방형구값으로 하였다. 각 소방형구에 대한 종수(richness) 및 종다양성 지수(H' , Shannon, 1948)를 구하였다. 종 풍부도 및 종다양성, 그리고 그것에 영향을 미치는 요인(생물 및 비생물 요인; 수목 밀도, 크기, 토양나출도, 광량 등) 사이의 상관성은 다중선형회귀식(multiple linear regression)을 통하여 분석하였다. 모델은 예측변수(predictor)의 단계적 입력(stepwise) 방식을 통하여 구하였다(0.05 to add 및 0.10 to remove). 모델 계수(model coefficient)는 반응변수(response variable)에 대한 예측변수의 직접적인 비교가 가능할 수 있도록 표준화(standardized) 하였다. 잔차의 분산 및 정규성 가정의 검정은 일반적인 진단 방식을 따랐다. 단변량 및 다변량 분석은 각각 SPSS 15.0(SPSS 2006) 및 PC-ORD 4.0(McCune and Mefford, 1999) 프로그램을 이용하여 수행하였다.

결 과

1. 임분 구조

섬짓나무-솔송나무림 내부의 광량은 평균 $3.7 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$, 수관 열림도(canopy openness)는 평균 8.6 %로 분석되었다. 조사구 내의 이끼, 나출 토양 및 잔가지 등의 피도(%)는 각각 1.1, 2.4 및 4.0으로 나타났다. 각 방형구내 목본 식생의 층위별 구성종의 평균 단면적 및 밀도를 구하였다(Table 1). 교목층에서 평균 흉고단면적 및 밀도가 가장 높은 종은 솔송나무(*Tsuga sieboldii*)로 나타났다. 중층 구성종의 기저 단면적 및 밀도는 동백나무(*Camellia japonica*)가 가장 높게 나타났다. 섬짓나무(*Pinus parviflora*)는 하층에서 가장 밀도가 높았으나, 중층에서는 매우 낮게 나타났다.

2. 식생의 종 조성

태하령 침엽수림에는 총 66종의 식물이 확인되었고, 교목성은 12종으로 18.2%, 관목성은 14종으로 21.2%, 초본류는 40종으로 66.7%가 구성종으로 나타났다. 관목층(지

Table 1. Means of area (/ha) and density (stems/ha) in *Pinus parviflora* - *Tsuga sieboldii* forest in Ulleung-do.

Scientific name	Tree layer		Sapling layer		Seedling layer	
	BHA ^a	Density	BA ^b	Density	BA	Density
<i>Pinus parviflora</i>	32.5 ± 10.7	470.0 ± 146.9	0.1 ± 0.1	30.0 ± 21.3	0.1 ± 0.0	9111.1 ± 1488.9
<i>Camellia japonica</i>	3.6 ± 1.6	360.0 ± 140.0	1.3 ± 0.4	720.0 ± 183.7	0.9 ± 0.3	6555.6 ± 2688.4
<i>Tilia amurensis</i>	7.4 ± 1.4	340.0 ± 96.8	0.3 ± 0.2	160.0 ± 89.7	<0.1	333.3 ± 333.3
<i>Tsuga sieboldii</i>	56.4 ± 43.5	530.0 ± 155.0	0.4 ± 0.1	170.0 ± 39.6	<0.1	777.8 ± 372.2
<i>Fagus engleriana</i>	3.9 ± 1.5	230.0 ± 55.9	0.3 ± 0.1	230.0 ± 85.7	0.1 ± 0.1	333.3 ± 333.3
<i>Acer takesimense</i>	2.2 ± 1.1	220.0 ± 38.9	0.1 ± 0.0	110.0 ± 23.3	<0.1	777.8 ± 439.8
<i>Prunus takesimensis</i>	1.7 ± 1.0	70.0 ± 33.5	<0.1	80.0 ± 46.7	<0.1	111.1 ± 111.1
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	0.9 ± 0.3	80.0 ± 24.9	0.1 ± 0.0	60.0 ± 30.6	<0.1	222.2 ± 148.1
<i>Sorbus commixta</i>	0.3 ± 0.1	50.0 ± 22.4	0.1 ± 0.0	100.0 ± 36.5	<0.1	444.4 ± 296.3
<i>Celtis jessoensis</i>	0.1 ± 0.0	20.0 ± 13.3	<0.1	10.0 ± 10.0	-	-
<i>Cornus walteri</i>	0.1 ± 0.1	10.0 ± 10.0	-	-	-	-
<i>Styrax obassia</i>	0.1 ± 0.1	10.0 ± 10.0	0.2 ± 0.2	60.0 ± 34.0	<0.1	333.3 ± 169.7
<i>Taxus cuspidata</i>	<0.1	10.0 ± 10.0	<0.1	20.0 ± 13.3	-	-
<i>Neolitsea sericea</i>	-	-	<0.1	10.0 ± 10.0	<0.1	444.4 ± 444.4
<i>Morus bombycis</i> var. <i>bombycis</i>	-	-	-	-	<0.1	222.2 ± 148.1
Withered Tree	0.6 ± 0.3	20.0 ± 13.3	-	-	-	-
Total	109.6 ± 39.0	2410.0 ± 132.9	3.0 ± 0.6	1760.0 ± 280.6	1.1 ± 0.4	19666.7 ± 3271.2

Table 2. Mean cover and frequency of woody species in understory vegetation in *Pinus parviflora* - *Tsuga sieboldii* forest in Ulleung Island.

Species	Mean cover (%)	Frequency
<i>Hedera rhombea</i>	4.8 ± 0.9	90.0
<i>Pinus parviflora</i>	0.3 ± 0.2	73.3
<i>Camellia japonica</i>	6.4 ± 2.4	63.3
<i>Schizophragma hydrangeoides</i>	1.7 ± 0.6	43.3
<i>Hydrangea petiolaris</i>	2.4 ± 0.9	50.0
<i>Ardisia japonica</i>	0.5 ± 0.3	33.3
<i>Callicarpa japonica</i>	0.2 ± 0.1	30.0
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	0.2 ± 0.1	26.7
<i>Styrax obassia</i>	0.2 ± 0.1	20.0
<i>Euonymus fortunei</i> var. <i>radicans</i>	0.2 ± 0.1	20.0
<i>Acer takesimense</i>	0.7 ± 0.3	16.7
<i>Fagus engleriana</i>	1.2 ± 0.7	16.7
<i>Elaeagnus macrophylla</i>	0.3 ± 0.2	16.7
<i>Callicarpa japonica</i> var. <i>luxurians</i>	< 0.1	13.3
<i>Sorbus commixta</i>	0.3 ± 0.2	13.3
<i>Tsuga sieboldii</i>	< 0.01	10.0
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	< 0.1	10.0
<i>Prunus</i> spp.	< 0.1	10.0
<i>Morus bombycis</i>	< 0.1	10.0
<i>Euonymus oxyphyllus</i>	< 0.1	6.7
<i>Viburnum wrightii</i>	< 0.1	6.7
<i>Neolitsea sericea</i>	0.1 ± 0.1	3.3
<i>Tilia</i> spp.	0.1 ± 0.1	3.3
<i>Viburnum furcatum</i>	< 0.1	3.3
<i>Syringa patula</i> var. <i>venosa</i> f. <i>lactea</i>	< 0.1	3.3
<i>Pourthiaea villosa</i>	< 0.1	3.3
Total cover	20.1 ± 0.3	

상에서 1 m~2 m)의 평균피도는 7.6%로 나타났고, 동백나무가 가장 높은 피도 및 빈도(각각 3.6% 및 33.3%)를 나타내었다. 초본층(< 1 m)의 평균 피도는 38.0%로 나타났다. 초본층의 목본식물 중 중에서 섬잣나무가 73.3%로 가장 높은 빈도를 나타내었고, 평균 피도는 관목층과 동일하게 동백나무가 6.4%로 가장 높게 나타났었다(Table 2). 초본식물 중 중에서 가장 높은 평균 피도를 나타낸 종은 관중(*Dryopteris crassirhizoma*, 7.8%)이었고, 가장 높은 빈도를 나타낸 종은 산마늘(*Allium microdictyon*, 80.0%)이었다(Table 3). 하층식생에 출현한 초본식물 중, 숲 그늘에서 주로 생활하는 종(숲 종)은 산마늘, 관중 등의 28종(70%)이 포함되었고, 임연부 및 능선부의 교란 서식처에 주로 출현하는 종은 큰두루미꽃(*Maianthemum dilatatum*), 섬바디(*Dystaenia takesimana*), 선갈퀴(*Asperula odorata*), 섬포아풀(*Poa takeshimana*) 등의 12종(30%)이 포함되었다.

울릉도의 섬잣나무-솔송나무림에서 목본 및 하층식생의 종조성을 NMS서열법으로 분석하였다. 목본식생의 NMS 분석결과, 조사지점 별 조성은 단일 축(92.9%)으로 설명이 가능하였다(Final stress=7.3, final instability<0.01). 분석결과와는 임분 점수 및 순위로 나타내었다(Figure 1). 조사된 임분의 목본 식생은 솔송나무가 큰 비중을 차지하고 있는 곳과 그렇지 않은 지소로 비교적 구분되어 나타났었다(species score에 따른 해석). 임분 상층의 목본 종조성은 중층과는 강하진 않지만 양의 상관(Mantel 검정, $r=0.2$, $p=0.046$)을 나타내었고, 하층과는 뚜렷한 상관성(Mantel 검정, $r=-0.04$, $p=0.47$)을 보이지 않았다.

NMS 분석결과, 태하령 침엽수림의 하층식생은 세 축으

Table 3. Mean cover and frequency of herbaceous species in understory vegetation in *Pinus parviflora* - *Tsuga sieboldii* forest in Ulleung Island.

Scientific name	Habitat affinity	Mean cover	Frequency
<i>Allium microdictyon</i>	f ^a	2.6 ± 0.7	80.0
<i>Dryopteris crassirhizoma</i>	f	7.8 ± 2.1	56.7
<i>Hepatica maxima</i>	f	0.5 ± 0.2	46.7
<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>gigantea</i>	f	0.5 ± 0.2	36.7
<i>Maianthemum dilatatum</i>	r ^b	1.6 ± 1.5	30.0
<i>Saussurea grandifolia</i>	f	0.3 ± 0.2	23.3
<i>Dystaenia takesimana</i>	r	1.5 ± 1.0	23.3
<i>Asperula odorata</i>	r	0.2 ± 0.2	23.3
<i>Asplenium incisum</i>	f	< 0.1	23.3
<i>Smilax riparia</i> var. <i>ussuriensis</i>	f	0.6 ± 0.4	16.7
<i>Dryopteris lacera</i>	f	0.6 ± 0.3	16.7
<i>Pyrola japonica</i>	f	< 0.1	13.3
<i>Ophiopogon japonicus</i>	f	0.1 ± 0.1	13.3
<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>asiatica</i>	f	0.1 ± 0.1	13.3
<i>Viola keiskei</i>	f	< 0.1	10.0
<i>Aster yomena</i>	r	0.1 ± 0.1	10.0
<i>Disporum smilacinum</i>	f	< 0.1	10.0
<i>Poa takesimana</i>	r	< 0.1	10.0
<i>Stegnogramma pozoi</i> subsp. <i>mollissima</i>	r	< 0.1	6.7
<i>Dryopteris bissetiana</i>	f	< 0.1	6.7
<i>Viola kusanoana</i>	f	< 0.1	6.7
<i>Aster glehni</i>	r	< 0.1	6.7
<i>Desmodium podocarpum</i> var. <i>mandshuricum</i>	r	< 0.1	6.7
<i>Adenophora erecta</i>	f	< 0.1	6.7
<i>Adenophora remotiflora</i>	f	0.4 ± 0.4	6.7
<i>Campanula takesimana</i>	r	< 0.1	3.3
<i>Arisaema takesimense</i>	f	0.1 ± 0.1	3.3
<i>Goodyera macrantha</i>	f	< 0.1	3.3
<i>Dryopteris erythrosora</i>	f	0.1 ± 0.1	3.3
<i>Disporum sessile</i>	f	< 0.1	3.3
<i>Isodon inflexus</i>	f	< 0.1	3.3
<i>Viola collina</i>	f	< 0.01	3.3
<i>Viola orientalis</i>	f	< 0.01	3.3
<i>Cephalanthera erecta</i>	f	< 0.01	3.3
<i>Veronica insularis</i>	r	< 0.01	3.3
<i>Polypodium vulgare</i>	r	< 0.01	3.3
<i>Smilax nipponica</i>	f	< 0.01	3.3
<i>Cymbidium goeringii</i>	f	< 0.01	3.3
<i>Mitchella undulata</i>	f	< 0.01	3.3
<i>Duchesnea indica</i>	r	< 0.01	3.3
Total cover	f=28 r=12	17.9±0.2	

^aForest species

^bRuderal species

로 설명이 가능하였고(final stress=11.66, final instability <0.001), 분석결과는 축의 변량에 대한 설명율이 높은 I축

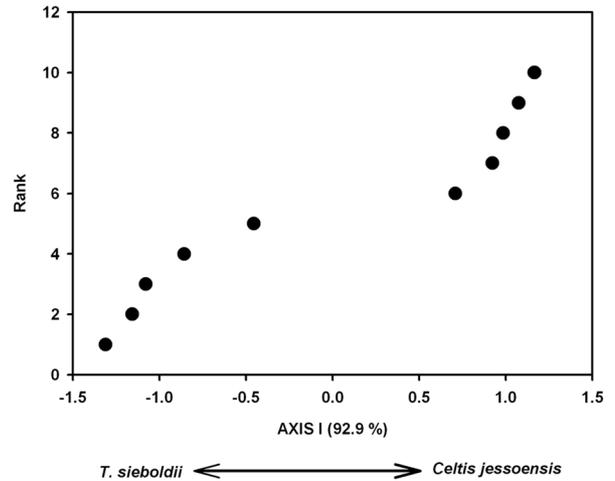


Figure 1. NMS ordination of woody vegetation in *P. parviflora* and *T. sieboldii* forest in Ulleung-do.

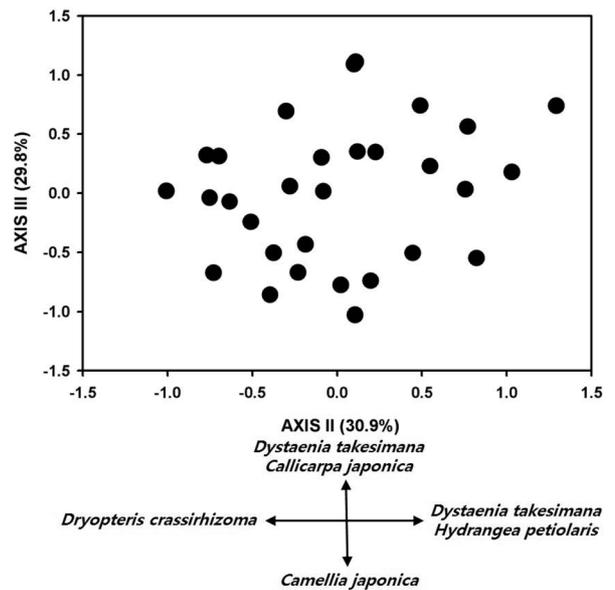


Figure 2. NMS ordination of understory vegetation in *P. parviflora* and *T. sieboldii* forest in Ulleung-do.

(30.9%) 및 II축(29.8%)으로 나타내었다(Figure 2). 섬잣나무-솔송나무림의 하층식생은 지상부의 구조 및 토양 나출도와 같은 요인에 유의한 영향을 받는 것으로 나타났다. II축은 전체 목본 종의 밀도($r_s = -0.36, p = 0.048$)와 상관성을 나타내었고, III축은 섬잣나무의 단면적($r_s = -0.41, p = 0.023$), 전체 목본 종의 단면적($r_s = -0.47, p = 0.009$) 및 토양나출도($r_s = 0.48, p = 0.007$)와 유의한 상관관을 보였다. NMS분석 결과의 종 점수(species scores)에 의하면, II축의 왼편은 음습지에서 생활하는 관중, 오른편은 교란지에 주로 나타나는 섬바디 및 등수국 등이 분포하였다. III축의 상부는 섬바디, 작살나무 및 꼬리고사리와 같은 배수가 좋은 입지에 분포하는 종들이 출현하여 미세한 수분구배역시 종 구성에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

Table 4. Stepwise multiple regression models of richness, cover and species diversity of forest species, ruderal species and whole species including standardized coefficients (β) and p values of significant predictors.

		<i>P. parviflora</i>		<i>T. sieboldii</i>		Total		Bared soil	Woody debris	Light availability	Canopy openness
		BHA*	Density	BHA	Density	BHA	Density				
Richness, adjusted $R^2 = 0.25$, $p = 0.003$	β	-	-0.52	-	-	-	-	-	-	-	-
	p	-	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-
H' , adjusted $R^2 = 0.51$, $p = 0.032$	β	-1.03	-	-	-	-	0.304	-	-0.670	-	-
	p	<0.001	-	-	-	-	0.032	-	0.001	-	-
Forest species richness adjusted $R^2 = 0.20$, $p = 0.008$	β	-	-0.478	-	-	-	-	-	-	-	-
	p	-	0.008	-	-	-	-	-	-	-	-
Ruderal species richness adjusted $R^2 = 0.44$, $p = 0.001$	β	-0.943	-	-	-	-	-	-	-0.697	-	-
	p	<0.001	-	-	-	-	-	-	0.001	-	-

3. 종 다양성

임분 내 하층식생의 평균 종 수는 11종, 평균 다양성 지수(H')는 1.6이었다. 중회귀분석 결과, 섬잣나무의 양(흉고 단면적 및 밀도) 및 숲 바닥의 조건이 하층 식생의 다양성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 모델은 종다양성 지수(H')(adjusted $R^2 = 0.51$)의 변동량을 가장 잘 설명하였고, 교란지 종 수(adjusted $R^2 = 0.44$), 전체 종 풍부도(adjusted $R^2 = 0.25$) 및 숲 종 수(adjusted $R^2 = 0.2$)의 순이었다. 섬잣나무의 크기는 다양성 지수($\beta = -1.03$) 및 교란지 종 수($\beta = -0.943$)와 유의한 음의 상관을 나타내었다. 섬잣나무의 밀도는 종 풍부도($\beta = -0.52$) 및 숲 종 풍부도($\beta = -0.478$)와 음의 상관을 보였다. 총 밀도는 다양성 지수($\beta = 0.304$)와 양의 상관을 보였고, 숲바닥의 잔가지 피도는 다양성 지수($\beta = -0.607$) 및 교란지 종($\beta = -0.697$)과 유의한 음의 상관을 나타내었다. 숲종 및 교란지 종의 피도는 예측 변수와 유의한 상관을 나타내지 않았다(Table 4).

논 의

울릉도 태하령 섬잣나무-솔송나무림의 광량($3.7 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) 및 수관 열림도(8.6%)는 동일한 방법으로 측정된 울릉도 알봉분지 활엽수림($8.1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$, 10.7%) (Cho *et al.*, 미발표자료), 남부지방 졸참나무림(10.5% 및 $4.3 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$)(Cho, 2009), 중부지방 소나무림($7.1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$, 13.7%)(국립산림과학원, 2009)에 비하여 낮게 나타났다. 사면 경사가 급한 조사지역의 환경 및 인접 활엽수림의 영향으로 인한 측광에도 불구하고 임내 광량이 낮게 나타났는데, 상층 및 중층에 상록수인 섬잣나무, 솔송나무 및 동백나무의 개체수가 많기 때문에 많은 양의 빛이 차단된 것으로 생각된다(Table 1). 또한 비교적 지하고가 낮은 솔송나무 및 동백나무의 개체 구조 역시 이러한 경향에 영향을 주었을 것으로 판단된다.

조사지역의 임분 평균 단면적 및 밀도는 임종환 등(2004)의 연구 결과보다 다소 높게 나타났는데, 이러한 차이는 조사지소 및 조사구 크기의 차이에 의한 것으로 판단된다. 피나무, 동백나무 및 너도밤나무 등 임분 내 주요 구성종은 임종환 등(2004)의 연구와 유사하게 나타났다. 식생 조사에서 관찰할 수 있었던 목본 식물의 사망 유형은 대부분 서서 죽은 어린 개체들(DBH<10 cm)이었다. 이러한 경향은 자연 교란과 같은 외부요인에 의한 사망보다는, 자원 경쟁 및 피압 등의 내부요인에 의한 결과일 가능성이 크기 때문에(Franklin *et al.*, 2002) 본 연구 대상지인 섬잣나무-솔송나무림은 하층식생의 발달 과정에 있는 것으로 판단된다(임종환 등, 2004).

조사지역에서 섬잣나무의 유목은 거의 찾아 볼 수 없는 반면, 치수는 높은 밀도로 출현하였다. 이러한 결과는 임상 환경이 섬잣나무의 발아를 제한하지는 않지만, 유목 수준으로의 성장에는 불리하다는 것을 의미한다. 이것은 섬잣나무가 내음성이 비교적 약하며(임종환 등, 2004), 다른 종과의 경쟁에 취약하기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 숲틈(forest gap) 처리에 의한 광환경 개선이 섬잣나무의 재생에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 고려하면(Yamamoto, 1993), 섬잣나무 개체군의 재생에는 산불과 같은 비교적 큰 규모의 교란이 필요할 것으로 판단된다.

Mantel 검정에 의한 임분의 발달 경향을 분석한 결과, 현재의 임분 상층 구조가 지속되기 어려운 것으로 나타났다. 솔송나무의 경우 치수가 지속적으로 하층에 정착하고 있으며, 상층 및 중층에서도 다른 활엽수종에 비하여 크기 및 밀도가 높다. 따라서 태하령의 침엽수림은 내음수인 솔송나무가 우점하는 식생으로 발달할 가능성이 있다. 한편, 섬잣나무-솔송나무림은 울릉도의 냉온대 및 난온대 식생의 중간 범위에 분포하고 있는데(김종원, 2004), 울릉도 평균 기온의 점진적인 증가를 고려하면, 난온대성 임분 구성종(동백나무, 굴거리나무, 송악 등)의 세력 확장,

그리고 태하령 일대 식생의 하층을 부분적으로 우점하고 있는 난온대 분포 종인 이대(*Pseudosasa japonica*)의 면적 확대 역시 고려해 볼 수 있다. 이러한 과정을 통해 냉온대 및 난온대 속성을 공유하는 상록침엽수림인 섬잣나무림-솔송나무림의 재생 또는 천이 경향과 하층 속성(환경 및 다양성)에 영향을 줄 수 있을 것이다.

솔송나무 치수의 밀도는 다른 교목성 종에 비하여 높은 것으로 관찰되었다. 관찰된 솔송나무 치수는 대부분 1년 또는 2년생의 어린 개체들이었다. 솔송나무는 그늘진 환경에 잘 견디며 생장이 매우 느린 특성 때문에 지속적으로 하층에 정착하고 있는 것으로 판단된다. 일본에서 솔송나무 종자의 발아는 지형 및 하층 낙엽량에 영향을 받지만, 초기 2~3년 사이에 발생한 치수의 대부분은 죽게 된다(Yoshida and Ohsawa, 1999). 한편, 현장 조사 당시 채취한 연륜심을 통해 종의 나이를 분석한 결과, 수관층의 섬잣나무보다 중층에 위치하는 솔송나무의 연령이 더 높게 나타났는데, 이것은 솔송나무의 생장이 섬잣나무보다 느리다는 것과 그늘진 환경에 잘 견디는 것을 뒷받침한다. 또한 솔송나무의 정착 이후 섬잣나무가 이입된 것을 알 수 있기 때문에 태하령 섬잣나무-솔송나무림의 연령 분석을 통해 임분 구조 및 교란사에 대한 연구가 필요하다.

섬잣나무-솔송나무림의 목본 식생은 솔송나무의 양(흉고단면적 및 밀도)에 따라 종조성에 차이가 나타났다(Figure 1). 하층식생의 종 조성은 지상부 구조 및 입지 환경(능선 및 사면 상부)에서 미세한 서식처(광환경 및 수분구배 등) 특성에 영향을 받는 것으로 분석되었다. 태하령 뿐만 아니라 울릉도의 숲은 과거부터 산불, 벌채, 산채 채취 및 연구자 활동 등 다양한 강도 및 유형의 교란을 받아왔기 때문에(울릉군지, 2007). 정량화하기 어려운 벌채 및 빈번한 출입과 같은 인위적 교란 또한 종 조성에 영향을 주었을 것으로 생각된다. 본 연구 및 기존의 연구에서 조사 지역의 하층식생 구성종으로 교란지 및 임연부 출현종인 큰두루미꽃, 여우꼬리사초, 섬포아풀 등이 나타나고 있다(이중효 등, 2006; 송호경 등, 2007). 이러한 종적 구성은 입지 조건뿐만 아니라, 태하령 일대에서 교란이 지속적으로 이루어지고 있다는 것을 뒷받침한다.

상층 우점종인 섬잣나무의 크기 및 밀도는 하층의 종다양성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 섬잣나무는 광량이 풍부한 곳에서 밀도가 높았는데, 이러한 생육환경은 빛을 선호하는 큰두루미꽃 및 여우꼬리사초 등과 같은 종이 정착할 수 있는 지소이다. 이것은 비교적 좁은 입지 조건을 나타내는 섬잣나무-솔송나무 임분에서 광량 등의 작은 차이가 하층 식생의 우점도 및 조성에 영향을 미치고 있다는 것을 나타낸다. 임분 내의 비교적 햇빛이 풍부한 곳에서 빛을 좋아하는 종들이 높은 밀도로 단일 군반(patch 또는 monoculture)을 형성하여 다른 경쟁력이 약한 종의

정착을 제한할 수 있다고 보고한 바 있다(Long and Turner, 1975). 이것과 반대로, 광량 등의 이용가능한 자원량을 제한하여 종 간 경쟁력을 증가시켜 이러한 햇빛이 풍부한 지소를 선호하는 종의 번성 및 식생 조성의 변동을 제한할 수 있을 것이다(Tilman, 1985). 한편, 태하령 침엽수림에서 정량화하기 어려운 다양한 종류 및 수준의 인위적 교란은 환경요인과 군집 속성의 상관성 형성을 제한할 수 있다(Thomas *et al.*, 1999).

우리나라는 과거 다양한 수준의 인위적 교란이 산림에서 이루어졌으며, 벌채 및 간벌을 제외하면 그러한 교란은 급격히 줄어들었다. 이에 따라, 서식처 유형에 따른 다양한 연령의 숲 구조 및 기능이 발달하고 있다. 따라서 우리나라의 산림생태계는 다양한 발달 단계의 서식처 유형을 가진 군반(또는 패치)들로 구성되어 있으며, 항상 동적인 상태라는 것을 인식하는 것이 필요하다. 또한 숲의 구조 및 기능과 같은 속성 역시 연령 또는 교란 및 환경에 따라 동적인 상태로 존재하고 있다. 이러한 측면에서 자연림, 식재림, 그리고 다양한 목적으로 관리가 이루어지고 있는 임분과 같이 각 서식처의 구조에 따른 식생 조성, 종 다양성 및 그것에 영향을 주는 인자들로 구성된 모델의 구축은 각 서식처 평가 및 종다양성 보전에 기초한 지속가능한 생태적 관리에 있어서 매우 중요하다. 또한 이러한 환경 인자에 기초한 종다양성 결정 요인 및 모델의 추출은 종, 군집 및 경관 수준의 복원 계획 수립의 기초 연구가 된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 ‘국가장기생태연구사업’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

인용문헌

1. 국립산림과학원. 2009. 연구사업보고서. 국립산림과학원, 서울시. pp. 770.
2. 국립수목원, 한국식물분류학회. 2007. 국가표준식물목록. 국립수목원, 포천시. pp. 531.
3. 기상청. <http://www.kma.go.kr>
4. 김용식. 1998. 울릉도 및 독도지역의 식물생태계. pp. 621-678. 영남대학교 민족문화연구소. 울릉도 독도의 종합적 연구. 영남대학교 출판부, 경산시.
5. 김종원. 2004. 산림, 조경, 생태, 환경을 위한 식물사회학적 녹지생태학. 월드사이언스, 서울시. pp. 308.
6. 남부지방산림청. 2009. 울릉도 산림유전자원 보호림 모니터링. 남부지방산림청, 울진. pp. 100.
7. 송호경, 소순구, 김무열, 박종민, 이상화, 박관수. 2007. 울릉도 삼림식생과 환경과의 상관관계. 한국환경생태학회지 21: 82-92.

8. 울릉군. 2007. 울릉군지. 울릉군청, 울릉군. pp. 1390.
9. 이승호, 최병철. 2001. 울릉도의 적설량 변화. 한국기상학회 37: 317-328.
10. 이중효, 조현제, 허태철. 2006. 울릉도 산림식생의 공간 분포 및 환경과의 상관관계 분석. 한국생태학회지 29(6): 521-529.
11. 이창복. 1991. 신고 수목학. 향문사. 서울. pp. 331.
12. 임중환, 김광택, 윤충원, 신준환, 배상원. 2004. 울릉도 섬잣나무림의 임분구조 및 동태. 한국임학회지 93: 67-74.
13. 조용찬, 김준수, 이중효, 이현호, 마호섭, 이창석, 조현제, 배관호. 2009. 아까시나무림에서 인공 숲틈 처리에 대한 졸참나무 식재목 및 하층식생의 초기 반응. 한국임학회지 98: 94-105.
14. Cho, Y.C. 2009. Restoration ecological assessment and improvement plan on a large scale afforestation practiced at the Young-il, southeastern Korea. PhD dissertation, Seoul Women's University, Seoul. pp. 120.
15. Cho, Y.C., Kim J.S., Lee, C.S., Cho H.J. and Bae, K.H. 2009. Initial responses of *Quercus serrata* seedlings and forest understory to experimental gap treatments. Journal of Ecology and Field Biology 32: 87-96.
16. Crawly, M.J. 1986. The structure of plant communities. pp. 1-50. In: M.J. Crawly, ed. Plant ecology. Blackwell, London, UK.
17. Franklin, J.F., Spies, T.A., Van Pelt, R., Carey, A.B., Thornburgh, D.A., Berg, D.R., Lindenmayer, D.B., Harmon, M.E., Keeton, W.S., Shaw, D.C., Bible, K. and Chen, J. 2002. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. Forest Ecology and Management 155: 399-423.
18. Gazol, A. and Ibáñez, R. *in press*. Variation of plant diversity in a temperate unmanaged forest in northern Spain: behind the environmental and spatial explanation. Plant Ecology. doi 10.1007/s11258-009-9649-5.
19. Halpern, C.B. and Spies, T.A. 1995. Plant Species Diversity in Natural and Managed Forests of the Pacific Northwest. Ecological Applications 5: 913-934.
20. Kessler, W.B., Salwasser, H., Cartwright, Jr C.W. and Caplan J. 1992. New perspectives for sustainable natural resource management. Ecological Applications 2: 221-225.
21. Lee, S.T., Lee, J.K. and Kim, S.T. 1997. A new species of *Adenophora* (Campanulaceae) from Korea. Journal of Plant Research 110: 77-80.
22. Long, J.N. and Turner, J. 1975. Aboveground biomass of understory and overstory in an age sequence of four Douglas-fir stands. Journal of Applied Ecology 12: 179-188.
23. Magurran, A.E. 2004. Measuring Biological Diversity. Blackwell, New York. pp. 256.
24. McCune, B. and Mefford, M.J. 1999. PC-Ord. Multivariate analysis of ecological data. Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA. pp. 237.
25. Raunkiaer, C. 1934. Life forms of plants and statistical plant geography. Charendon press, Oxford.
26. Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal 27: 379-423, 623-656.
27. Sokal, R.R., and Rohlf, F.J. 1995. Biometry, 3rd edn. W.H. Freeman & Co., New York.
28. Thomas, S.C., Halpern, C.B., Falk, D.A., Liguori, D.A. and Austin, K.A. 1999. Plant diversity in managed forests: understory responses to thinning and fertilization. Ecological Applications 9: 864-879.
29. Tilman, D. 1985. The resource-ratio hypothesis of plant succession. American Naturalist 125: 827-885.
30. Wilsey, B.J., Chalcraft, D. R., Bowles, C.M. and Willig M.R. 2005. Relationships among indices suggest that richness is an incomplete surrogate for grassland biodiversity. Ecology 86: 1175-1184.
31. Yamamoto, S. 1993. Gap characteristics and gap regeneration in a subalpine coniferous forest on Mt. Ontake, central Honshu, Japan. Ecological Research 8: 277-285.
32. Yoshida, N. and Ohsawa, M. 1999. Seedling success of *Tsuga sieboldii* along a microtopographic gradient in a mixed cool-temperate forest in Japan. Plant Ecology 140: 89-98.

(2010년 9월 7일 접수; 2011년 3월 4일 채택)