


백두대간 보호지역 일본잎갈나무림의 현존식생 유형과 생태적 특성

오승환¹ · 김준수² · 조준희² · 조현재¹ 

¹경북대학교 산림과학 · 조경학부, ²자연과숲연구소

Vegetation Types and Ecological Characteristics of *Larix kaempferi* Plantations in Baekdudaegan Protected Area, South Korea

Seung-Hwan Oh¹, Jun-Soo Kim², Joon-Hee Cho² and Hyun-Je Cho¹ 

¹School of Forest Sciences and Landscape Architecture, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

²Nature and Forest Research Institute, Daegu 41476, Korea

요약: 백두대간 보호지역 일본잎갈나무림의 생태적 관리를 위한 기본 단위 설정을 위하여 총 119개 조사구에서 수집한 식생 정보를 바탕으로 TWINSpan과 DCA ordination 분석을 통하여 현존식생의 유형을 분류하고 그 공간 배열 상태를 파악, 기술하였다. 현존식생 유형은 신갈나무-철쭉형, 신갈나무-조록싸리형, 층층나무-산뽕나무형, 신갈나무-까치박달형, 비목나무-쨍쨍꽃형, 졸참나무-산초나무형, 졸참나무-조릿대형 등 총 7개 유형이 도출되었고 대개 위도, 해발고도, 성립 기간, 시업 이력, 주변 임분 특성, 교란 정도 등에 따른 종조성적 차이를 반영하고 있었다. 또한 일본잎갈나무림과 주변 잠재자연식생(신갈나무림과 졸참나무림)의 종구성적 유사성을 Jaccard 계수에 의해 비교한 결과, 식생유형 간 다소 차이가 있지만 신갈나무림과는 평균 0.21, 졸참나무림과는 평균 0.32로 나타나 아직 전반적으로 종구성이 이질적인 경향이였다.

Abstract: To establish the basic unit for the ecological management of the *Larix kaempferi* plantations in the Baekdudaegan protected area, we classified the vegetation types using TWINSpan and DCA ordination analysis based on the vegetation information collected from 119 plots and analyzed their spatial arrangement status. Vegetation types were classified into seven types, including *Quercus mongolica*-*Rhododendron schlippenbachii* type, *Q. mongolica*-*Lеспедеза maximowiczii* type, *Cornus controversa*-*Morus australis* type, *Q. mongolica*-*Carpinus cordata* type, *Lindera erythrocarpa*-*Rosa multiflora* type, *Q. serrata*-*Zanthoxylum schinifolium* type, and *Q. serrata*-*Sasa borealis* type and they have usually reflected differences in the floristic composition according to latitude, elevation, establishment period, operation history, characteristics of the surrounding stands, and degree of disturbance. Furthermore, using the Jaccard coefficient to compare the floristic composition similarity between *Larix kaempferi* plantations and surrounding potential natural vegetation (*Q. mongolica* and *Q. serrata* forests), although some differences depended on vegetation types, it was 0.21 on average with *Q. mongolica* forest and 0.32 with *Q. serrata* forest, indicating that the floristic composition was still heterogeneous.

Key words: TWINSpan, DCA, floristic composition, similarity, ecological characteristics

서론

백두대간은 이북의 백두산에서 시작하여 금강산, 설악산, 태백산, 소백산을 거쳐 지리산으로 이어지는 총 연장 약 1,600 km에 달하는 동아시아 지역에서 가장 긴 큰 산줄

기로 남·북한이 분단되기 이전만 하여도 한반도 자연생태계의 핵심축을 이루고 있었다(Cho et al., 2004; Chung et al., 2018). 백두대간 보호지역은 백두대간 중 생태계, 자연경관 또는 산림 등에 대하여 특별한 보호가 필요하다고 인정되는 지역을 “백두대간 보호에 관한 법률 제6조의 규정”에 의해 보호되는 고시된 지역으로 핵심구역과 완충구역으로 구분하고 있으며 총면적은 275,465 ha(핵심구역 179,096 ha, 완충구역 96,369 ha)이다(KFS, 2019).

최근 전세계적으로 산림이 지닌 다면적 기능의 고도화

* Corresponding author

E-mail: chohj132@daum.net

ORCID

Hyun-Je Cho  https://orcid.org/0000-0003-0390-9386

라는 관점에서, 대개 동령림(even-aged forest)의 형태인 침엽수 인공림을 다양한 수종으로 구성된 혼효림으로 유도함과 아울러 산림자원으로서의 지속적인 이용을 위하여 다양한 정책적 및 기술적 노력을 기울이고 있다(Hanada et al., 2006; Barsoum and Henderson, 2016). 대개 침엽수 인공림은 목재 생산과 같은 기능성이 뛰어나지만 인공이기 때문에 생태계로서의 취약성을 안고 있어 생태학적인 여러 기능의 발휘 능력이 떨어져 적절한 인위적 관리 없이는 그 건전성을 유지하는 것이 곤란하다(Fujimori, 2000). 미국, 영국 등에서는 다양한 삼림생태계 혜택을 도모하기 위하여 침엽수 인공림의 구조와 조성의 다양화를 촉진하여 자연림으로의 부분적 또는 완전한 전환을 모색하고 있는데(Spracklen et al., 2013; Barsoum and Henderson, 2016), 북미에서는 ‘생태계 관리(ecosystem management)’, 유럽에서는 ‘자연친화적 임업(close-to-nature forestry)’이라는 패러다임과 함께 발전해 오고 있다(Igarashi et al., 2014). 특히, 영국에서는 외래수종으로 조성된 침엽수 인공림을 자연식생으로의 전환을 포함하여 그 면적을 늘리는 것을 생물다양성에 관한 국가임업표준지침(UK Forestry Standard Guidelines)의 핵심 목표로 설정하고 있다(Forestry Commission, 2011). 우리나라에서도 관련 전문가나 환경단체를 중심으로 그동안 산지 녹화 및 목재 생산을 위해 조성한 일본잎갈나무림을 비롯한 침엽수 인공림이 생태계로서의 구조적 불완전함이나 불충분한 관리 등으로 인하여 본래의 조림 목적뿐만 아니라, 생물다양성 증진과 산림이 가지는 공익적 제 기능도 저하시킬 수도 있다는 우려를 지속적으로 제기하고 있는 실정이다(Choi et al., 2018a). 이에 향후 우리나라 침엽수 인공림을 생태계로서의 다양한 구조와 기능을 가지는 산림으로 유도하여 자원 및 공익적 제 기능의 지속성을 확보해 나가는 산림 관리 방향의 설정이 필요해 보인다.

일본잎갈나무는 일본 혼슈 중부의 추부(Chūbu)와 간토(Kantō) 지역의 산지에 자생하고 있으며, 자생지인 일본을 비롯하여 우리나라와 북유럽의 영국과 아일랜드에서 주요 용재수로 널리 식재되어 있다. 우리나라에는 1904년에 처음 도입되어 1970~80년대 확대 조림기를 거쳐 현재 전국에 전체 인공림 면적의 36%인 272,800 ha가 식재되어 있으며, 본 연구 대상지인 백두대간 보호지역에는 이 중 6.1%에 달하는 16,512 ha(핵심구역 73,720 ha, 완충구역 91,390 ha)가 식재되어 있는 상태이다(NIFoS, 2021). 현재 우리나라에 식재되어 있는 일본잎갈나무림은 식재 당시에 예상한 별기에 도달하고 있지만, 주별이 연장되고 있는 임분이 점점 늘어가고 있고, 한편으로 산림생태계의 보전, 복원과 종다양성의 유지 등의 다양한 기능 발휘에 대한 국민적 요구도 높아지고 있다. 일본잎갈나무 인공림은 다

른 수종의 인공림에 비해 임내가 밝기 때문에 초본성 또는 목본성 식물이 침입, 혼생하기 쉽고, 그 때문에 임내에 많은 활엽수가 침입, 갱신하고 있는 임분이 적지 않다. 따라서 일본잎갈나무림 내에 침입, 갱신한 활엽수를 육성하여 혼효림으로 유도하는 것은 생태계로서의 기능 및 구조를 지소적으로 담보하는 측면에서 기본적인 방향으로 생각된다. 일본잎갈나무 인공림의 식생구조와 조성 그리고 천이와 관련된 주요 연구로서, 국내에서는 일본잎갈나무 조림지의 생태적 변화와 복원효과를 분석한 연구(Kim et al., 2013), 식생구조 분석 연구(Kim and Lee, 2012; Choi et al., 2018a), 생태적 관리 방안 연구(Choi et al., 2018b) 등이 있으며, 특히 Choi et al.(2018a)은 백두대간 보호구역이 포함된 6개 국립공원을 중심으로 일본잎갈나무림의 공간 분포 현황과 생육특성을 조사하여 관리방안을 제시한 바 있다. 일본에서는 일본잎갈나무림 내 침입, 갱신한 활엽수의 종조성과 구조, 밀도, 갱신과정, 종다양성 등에 대한 여러 연구(Nagaike, 2000; Kon, 2006; Hanada et al., 2006; Nagaike et al., 2006)가 보고되고 있다.

본 연구는 상기의 점을 감안하여 한반도 산림생태계의 핵심축인 백두대간 보호지역에 식재되어 있는 일본잎갈나무림의 현존식생 유형과 그 생태적 특성을 파악하여 향후 생태계로서의 기능 발휘 및 구조적 다양성을 제고하기 위한 생태적 관리 방안 수립에 필요한 기초자료를 제공하는데 있다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황 및 조사구 선정

백두대간 보호지역은 “백두대간 보호에 관한 법률 제6조의 규정”에 의해 보호되는 고시된 지역으로 총면적은 275,465 ha (핵심구역 179,096 ha, 완충구역 96,369 ha)이다(KFS, 2019). 지리적으로는 강원도 고성 향로봉에서 경남 산청 지리산 천왕봉에 이르는 도상거리 약 701 km의 마루금과 그 연접지역을 포함하고 있으며(KFS, 2020), 행정구역상으로는 강원, 충북, 전북, 전남, 경북, 경남 등 6개 광역시도 32개 시군에 포함되어 있다(Figure 1). 기후적으로는 해양성 기후와 내륙성 기후가 중첩되어 있다. 식물구계학적으로는 중부아구에 속하며(Lee and Yim, 2002), 총 1,135종의 유관속식물이 보고되고 있다(NIFoS, 2021). 일본잎갈나무림 조사구의 지리적 및 지형적 요소를 고려하여 북위 35.31~38.16°, 동경 127.52~129.02° 그리고 해발고도 269~1,290 m 범위에서 총 119개소를 선정하였다. 단위 조사구 크기는 임분 상관, 면적, 미세환경 등을 고려하여 가장 전형적인 곳에 10 m×10 m 또는 20 m×20 m를 적절히 병용하여 결정하였다.

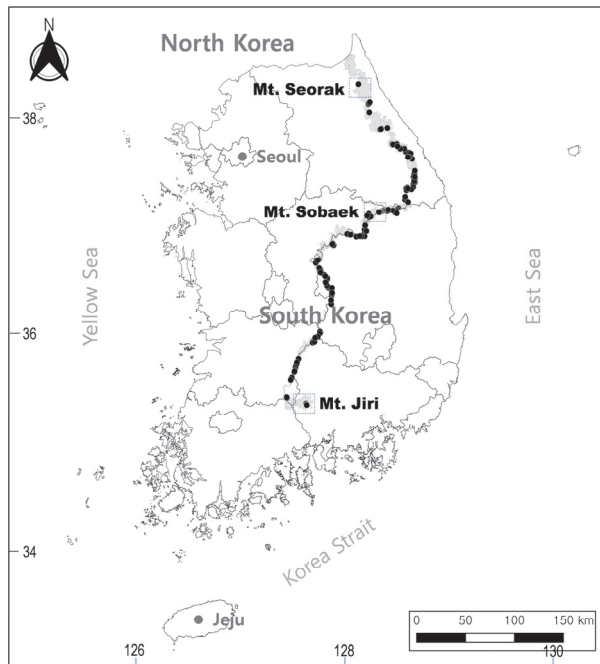


Figure 1. Study area (gray shaded area) and sample plots (black circles).

2. 조사 및 분석방법

식생조사는 2016년 6월에서 2020년 9월까지 선정된 총 119개 조사구에서 Z-M학파의 식물사회학적 방법(Braun-Blanquet, 1965; Muller-Dombois and Ellenberg, 1974)으로 수행하였다. 조사항목은 식생의 종조성과 구조 그리고 미세환경정보를 중심으로 하였으며, 전자는 임분 층위별 평균 높이, 평균 가슴높이지름(관목층 이상), 모든 출현종의 우점도와 군도, 후자는 조사구별 사면방위, 사면경사, 해발고도, 암석노출도 등이 기록되었다. 식생조사를 통해 확보된 자료를 바탕으로 백두대간 보호지역 일본잎갈나무림의 현존식생 유형을 분류하고 그 생태적 특성(중요치, 지표종, 종다양성, 유사도, 생활형 등)을 분석하였다. 현존식생 유형 분류는 수집된 식생조사 자료를 MS-Excel 2016을 이용하여 소표(raw table)화 한 후, 그 소표를 이용하여 Hill(1979)의 이원지표종분석법(TWINSPAN)으로 수행하고, 이원지표종분석법에 의해 분류된 식생유형들 사이의 공간적 배열을 서열법(ordination)인 DCA(detrended correspondence analysis)로 분석하였다. 또한, 분류된 식생유형간 구성종의 간접적인 생체량(biomass), 상대적인 우세정도, 번식 특성, 종다양성, 유사성, 지표종 등을 비교하기 위하여 단위면적당(/100m²) 구성종의 총피도(total coverage), 평균상대중요치(mean relative importance value: MIV), 생활형 조성(life-forms), 종다양성 지수(species diversity indices), 유사도 지수(similarity index) 등을 산출하고 지표종 분석(indicator value analysis: IndVal)을 수행하였다. 총

피도는 식생 층위간 모든 출현종의 피도 총합, 평균상대중요치(MIV)는 Curtis and McIntosh(1951)의 중요치(IV)에 식생층위간 개체 크기를 고려하여 층위별로 가중치를 부여한 (교목층 IV×3+아교목층 IV×2+관목층 IV×1+초본층 IV×0.5)/6.5로 구하였다(Lee et al., 2018). 생활형 조성은 Raunkiaer(1934)의 휴면형(dormancy form)과 Numata(1947)의 산포기관형(disseminule forms), 지하기관형(radioid forms), 그리고 생육형(growth forms) 구분 기준 등을 적용하였다. 종다양성 지수는 종풍부도(species richness index: S), 종다양도(Shannon diversity index; H'), 종균재도(Pielou evenness index; J'), 그리고 종우점도(Simpson dominance index; D) 등을 산출하였다(Shannon and Weaver, 1949; Brower and Zar, 1977). 유사도는 Jaccard 계수(Jaccard, 1901)를 사용하였고, 지표종 분석은 Dufrene and Legendre(1997)의 IndVal(indicator value)방법을 적용하였다. TWINSPAN과 지표종 분석에는 PC-ORD version 7(McCune and Mefford, 2016) 그리고 기타 분석에는 Past version 4.06(Hammer, 2021)을 사용하였다. 유관속식물의 동정은 원색대한식물도감(Lee, 2003)을 참조하였으며, 그 학명과 국명은 국가표준식물목록(KFS, 2021) 기준을 적용하였다.

결과 및 고찰

1. 식생분류

백두대간 보호지역의 대표적인 인공식생인 일본잎갈나무림에서 수집한 총 119개 조사구의 식생자료를 바탕으로 그 현존식생 유형을 TWINSPAN을 통해 분석한 결과, 총 7개 유형으로 분류되었다. Figure 2에서 보면 식생 유형 분류는 Level 3에서 정지되었고, 모든 구분 단계에서 고유값(eigenvalues)이 0.2를 넘었다. Level 1(Division 1)에서는 지표종으로 층층나무, 줄딸기, 미역줄나무, 넓은잎외잎쭈 등이 출현하는 그룹(-)과 졸참나무, 밤나무, 비목나무, 갈참나무, 주름조개풀 등이 출현하는 그룹(+)으로 분리되었는데, 전자는 대개 북위 36°이북과 해발고 700 m 이상에서, 후자는 대개 북위 36°이남과 해발고 700 m 이하에서 분포하고 있었다. Level 2에서는 Division 2와 Division 3의 두 그룹으로 분리되었고, Division 2는 다시 신갈나무, 노린재나무, 실새풀 등이 출현하는 그룹(-)과 출현하지 않는 그룹(+) 그리고 Division 3는 다시 개웃나무가 출현하는 그룹(-)과 조릿대, 작살나무가 출현하는 그룹(+)으로 분리되었으며, 대개 Division 2 그룹이 Division 3 그룹에 비해 해발고도 범위가 높았다. Level 3에서는 Division 2는 Division 4와 Division 5, 그리고 Division 3은 Division 6의 3개 하위 그룹으로 분리되었고, Division 4는 철쭉꽃이 출현하는 그룹(-)

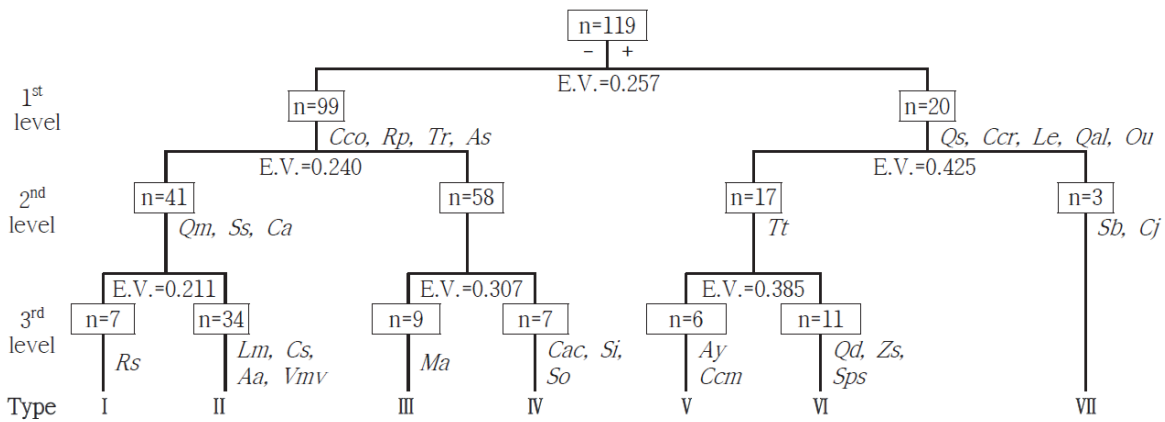


Figure 2. Simplified TWINSpan classification tree (dendrogram) of *Larix kaempferi* plantations in the Baekdudaegan protected area. 381 plant species \times 119 relevés matrix. For each level of division number of group, numbers of relevés (in boxes) are shown. Type I ~VII were defined as main vegetation types of *Larix kaempferi* plantations and each cluster is characterized by the species that are listed in its column (*Aa*: *Actinidia arguta*, *As*: *Artemisia stolonifera*, *Ay*: *Athyrium yokoscense*, *Ca*: *Calamagrostis arundinacea*, *Cac*: *Carpinus cordata*, *Ccm*: *Carex ciliato-marginata*, *Cco*: *Cornus controversa*, *Ccr*: *Castanea crenata*, *Cj*: *Callicarpa japonica*, *Cs*: *C. siderosticta*, *Le*: *Lindera erythrocarpa*, *Lm*: *Lespedeza maximowiczii*, *Ma*: *Morus australis*, *Ou*: *Oplismenus undulatifolius*, *Qal*: *Quercus aliena*, *Qd*: *Q. dentata*, *Qm*: *Q. mongolica*, *Qs*: *Q. serrata*, *Rp*: *Rubus pungens*, *Rs*: *Rhododendron schlippenbachii*, *Sb*: *Sasa borealis*, *Si*: *Stephanandra incisa*, *So*: *Syrax obassis*, *Sps*: *Spodiopogon sibiricus*, *Ss*: *Symplocos sawafutagi*, *Tr*: *Tripterygium regelii*, *Tt*: *Toxicodendron trichocarpum*, *Zs*: *Zanthoxylum schinifolium*, *Vmv*: *Veratrum maackii* var. *japonicum*). For full names of types I to VII, see Table 2.

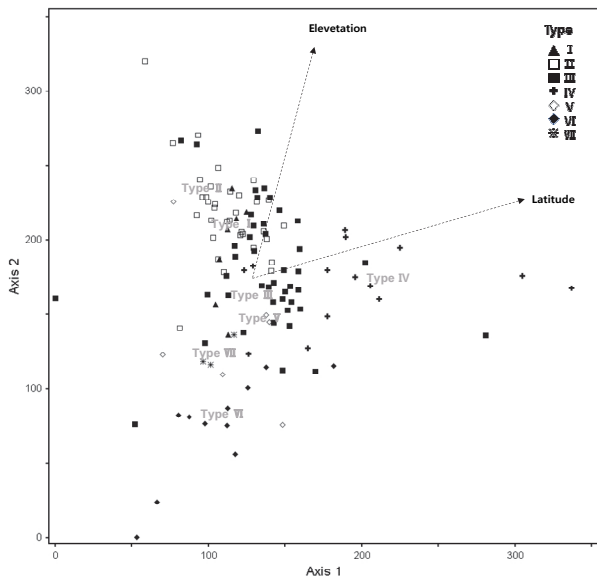


Figure 3. Detrended correspondence analysis (DCA) ordination diagram of 119 plots in the *Larix kaempferi* plantations. For full names of types I to VII, see Table 2.

과 조록싸리, 다래, 대사초, 여로 등이 출현하는 그룹(+), Division 5는 산뽕나무가 출현하는 그룹(-)과 까치박달, 쪽동백나무, 국수나무 등이 출현하는 그룹(+), 그리고 Division 6은 털대사초와 뱀고사리가 출현하는 그룹(-)과 떡갈나무, 산초나무, 큰기름새 등이 출현하는 그룹(+)으로 최종 분리되었는데, 대개 미지형, 성립기간, 시업이력, 주변 임분 특성 등의 차이를 반영하고 있었다. 한편,

TWINSpan에 의한 식생분류를 보완하는 방법으로 분류된 각 식생그룹의 공간분포를 파악하기 위해서 조사구간의 이질성을 바탕으로 조사구를 배치하는 DCA 분석을 수행한 결과(Figure 3), 뚜렷하지는 않지만 대개 위도와 해발고도 차이가 영향을 미친 것으로 판단되었다. 제1축을 기준으로 보면 Type IV와 Type VI이 다소 불연속적으로 분포하였고, 나머지 Type들은 다소 연속적으로 분포하고 있었고, 제2축을 기준으로 보면 Type I-IV는 일부 조사구를 제외하면 연속적으로 분포하였고, Type V~VII은 다소 불연속적으로 분포하고 있었다.

2. 식생유형

TWINSpan으로 분류된 백두대간 보호지역 일본잎갈나무림의 총 7개 유형(Type I~VII)별 지표종(indicator species)과 최상위 중요치를 갖는 우점종의 종명을 연명하여 식생유형의 명칭을 규정하고, 식생유형별 지리적 및 지형적 분포 경향과 종조성 및 구조적 특성을 Table 1~6을 바탕으로 기술하였다.

유형 I: 신갈나무-철쭉형 (*Rhododendron schlippenbachii*-*Quercus mongolica* type, VT I)

이 식생유형은 7개 식생유형 중 지리적 분포 범위가 가장 넓고 평균 해발고도가 993 m(803~1,168 m)로 가장 높은 것이 특징이며, 지형적으로 대개 남향의 사면상부에 나타나고 있었다(Table 1). 교목층과 아교목층 수관의 평균

Table 1. Geographic and topographic positioning of each vegetation of *Larix kaempferi* plantations classified by TWINSpan. For full names of VT I to VII, see Table 2.

| VT | NS | Geographic coordinates (°) | | Average elevation (m) | Average slope degree (°) | Microtopography (%) | | | | | Slope direction (%) | | | | | | | |
|-------|-----|----------------------------|---------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|----|----|----|----|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| | | Latitude | Longitude | | | V | LS | MS | US | R | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
| I | 7 | 35.32~37.62 | 127.52~128.97 | 993(803~1168) | 21(10~32) | - | - | 29 | 57 | 14 | 14 | 14 | - | - | 43 | 14 | 14 | - |
| II | 34 | 35.64~37.62 | 127.62~129.01 | 890(654~1236) | 16(5~30) | 6 | 3 | 3 | 82 | 6 | 15 | 18 | 12 | 9 | 12 | 6 | 18 | 12 |
| III | 44 | 35.69~38.00 | 127.64~129.02 | 827(376~1271) | 20(5~40) | 7 | 23 | 11 | 57 | 2 | 16 | 14 | 9 | 23 | 20 | 7 | 9 | 2 |
| IV | 14 | 36.59~37.99 | 127.89~128.91 | 863(626~1290) | 10(5~28) | 43 | 14 | - | 43 | - | - | 7 | 7 | 21 | 36 | 14 | 7 | 7 |
| V | 6 | 35.53~36.45 | 127.57~127.98 | 599(269~ 840) | 23(10~34) | 17 | - | 17 | 67 | - | 17 | 17 | 33 | 33 | - | - | - | - |
| VI | 11 | 35.72~36.48 | 127.66~128.05 | 475(324~ 772) | 16(10~25) | - | 9 | 45 | 36 | 9 | 9 | 9 | 9 | 18 | - | 9 | 27 | 18 |
| VII | 3 | 35.31~35.31 | 127.74~127.75 | 728(674~ 775) | 17(15~20) | 33 | 67 | - | - | - | - | - | - | 33 | - | 67 | - | - |
| Total | 119 | 35.31~38.00 | 127.52~129.02 | 812(269~1290) | 18(5~40) | 11 | 13 | 12 | 60 | 4 | 13 | 13 | 10 | 18 | 18 | 9 | 13 | 7 |

Note: VT-vegetation type, NS-number of species.

Table 2. Structural characteristics in each vegetation type of *Larix kaempferi* plantations classified by TWINSpan.

| Abbr. | Vegetation type (VT) (Indicator-Dominant species) | | Average height of vegetation strata (m) | | | | Average DBH (cm) | | Average total percent cover (%) | | | | | | | |
|-------|---|--|---|----|-----|-----|------------------|----|---------------------------------|-----|----|-----|----|----|----|--|
| | Full name | | T | ST | S | H | T | ST | All | Wd | Hb | T | ST | S | H | |
| I | <i>Rhododendron schlippenbachii-Q. mongolica</i> type | | 19 | 9 | 2.1 | 0.6 | 21 | 13 | 237 | 202 | 35 | 92 | 27 | 51 | 71 | |
| II | <i>Lespedeza maximowiczii-Quercus mongolica</i> type | | 18 | 10 | 2.4 | 0.5 | 26 | 12 | 271 | 193 | 78 | 90 | 37 | 62 | 87 | |
| III | <i>Morus australis-Cornus controversa</i> type | | 20 | 8 | 2.1 | 0.5 | 27 | 9 | 208 | 186 | 22 | 83 | 40 | 27 | 58 | |
| IV | <i>Carpinus cordata-Quercus mongolica</i> type | | 20 | 7 | 1.7 | 0.5 | 29 | 11 | 300 | 262 | 38 | 107 | 56 | 78 | 68 | |
| V | <i>Rosa multiflora-Lindera erythrocarpa</i> type | | 16 | 7 | 1.9 | 0.3 | 26 | 8 | 239 | 205 | 34 | 88 | 62 | 61 | 39 | |
| VI | <i>Zanthoxylum schinifolium-Quercus serrata</i> type | | 19 | 7 | 2.1 | 0.5 | 24 | 9 | 234 | 199 | 35 | 88 | 45 | 62 | 43 | |
| VII | <i>Callicarpa japonica-Quercus serrata</i> type | | 24 | 11 | 3.5 | 1.2 | 31 | 15 | 244 | 239 | 5 | 95 | 40 | 19 | 90 | |
| | Total | | 19 | 8 | 2.2 | 0.5 | 26 | 10 | 243 | 201 | 42 | 89 | 42 | 49 | 67 | |

Note: Abbr.-abbreviations. DBH-diameter at breast height. T-tree stratum, ST-subtree stratum, S-shrub stratum, H-herb stratum. Wd-woody plants, Hb-herbaceous plants.

Table 3. Species diversity indices in each vegetation type of *Larix kaempferi* plantations classified by TWINSpan. For full names of VT I to VII, see Table 2.

| VT | Total number of species | Richness (S) | | | Evenness (J) | | | Diversity (H') | | | Dominance (D) | | |
|-------|-------------------------|--------------|----|----|--------------|-------|-------|----------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| | | All | Wd | Hb | All | Wd | Hb | All | Wd | Hb | All | Wd | Hb |
| I | 61 | 17 | 11 | 6 | 0.617 | 0.651 | 0.447 | 1.692 | 1.513 | 0.718 | 0.249 | 0.306 | 0.606 |
| II | 197 | 28 | 13 | 16 | 0.633 | 0.639 | 0.496 | 2.083 | 1.599 | 1.303 | 0.183 | 0.287 | 0.379 |
| III | 260 | 23 | 13 | 10 | 0.558 | 0.601 | 0.473 | 1.708 | 1.507 | 0.914 | 0.266 | 0.306 | 0.556 |
| IV | 107 | 18 | 13 | 5 | 0.730 | 0.719 | 0.507 | 2.082 | 1.820 | 0.811 | 0.183 | 0.259 | 0.570 |
| V | 82 | 27 | 17 | 10 | 0.663 | 0.684 | 0.367 | 2.138 | 1.931 | 0.765 | 0.201 | 0.238 | 0.632 |
| VI | 91 | 22 | 15 | 7 | 0.635 | 0.625 | 0.400 | 1.950 | 1.683 | 0.716 | 0.220 | 0.290 | 0.608 |
| VII | 31 | 16 | 13 | 2 | 0.592 | 0.618 | 0.720 | 1.626 | 1.596 | 0.521 | 0.277 | 0.281 | 0.644 |
| Total | 381 | 23 | 13 | 10 | 0.616 | 0.635 | 0.476 | 1.900 | 1.610 | 0.966 | 0.224 | 0.290 | 0.521 |

Note: All diversity indices are based on the average value per unit area (/100m²), WD-woody plants, Hb-herbaceous plants.

높이는 각각 19 m, 9 m, 림은 각각 21 cm, 13 cm이었다. 단위면적당(/100m²) 평균 총피도는 237%(목본성 202%, 초본성 35%)로 나타났고 다른 식생유형에 비해 아교목층 총피도가 낮은 편이었다(Table 2). 유관속식물은 30과 48속 61종이 출현하였고, 단위면적당 평균종수와 종다양도

는 각각 17종(목본성 11종, 초본성 6종), 1.692(목본성 1.513, 초본성 0.718)로 다른 식생유형에 비해 다소 적고 낮았다(Table 3). 종수가 가장 풍부한 과(family)는 백합과(Liliaceae: 5종)와 국화과(Asteraceae: 5종)이었고, 구성종의 생태적 우세정도를 가늠하는 지표인 평균상대중요치

Table 4. Number of species(S) and family importance value index (FIVI) for the top 10 dominant families in each vegetation type of *Larix kaempferi* plantations. For full names of VT I to VII, see Table 2.

| VT I | | | VT II | | | VT III | | | VT IV | | |
|------------------|----|------|------------------|-----|------|------------------|-----|------|------------------|----|------|
| Family | S | FIVI | Family | S | FIVI | Family | S | FIVI | Family | S | FIVI |
| Pinaceae | 3 | 15.1 | Pinaceae | 4 | 8.7 | Pinaceae | 4 | 10.8 | Pinaceae | 4 | 14.3 |
| Fagaceae | 3 | 10.6 | Asteraceae | 17 | 8.7 | Rosaceae | 19 | 6.8 | Rosaceae | 11 | 13.0 |
| Ericaceae | 3 | 7.4 | Liliaceae | 14 | 7.9 | Oleaceae | 4 | 4.4 | Aceraceae | 7 | 11.5 |
| Liliaceae | 5 | 7.2 | Cyperaceae | 5 | 6.2 | Asteraceae | 22 | 4.3 | Betulaceae | 3 | 5.0 |
| Poaceae | 3 | 7.1 | Fagaceae | 3 | 5.0 | Liliaceae | 16 | 4.2 | Fagaceae | 3 | 4.9 |
| Lauraceae | 2 | 6.2 | Rosaceae | 13 | 5.0 | Cornaceae | 3 | 4.1 | Asteraceae | 8 | 4.5 |
| Cyperaceae | 3 | 5.2 | Fabaceae | 7 | 4.9 | Aceraceae | 7 | 3.7 | Cornaceae | 1 | 3.5 |
| Asteraceae | 5 | 5.0 | Oleaceae | 3 | 3.8 | Poaceae | 7 | 3.0 | Lauraceae | 1 | 3.5 |
| Rosaceae | 4 | 5.0 | Lamiaceae | 7 | 3.4 | Schisandraceae | 1 | 2.9 | Fabaceae | 5 | 3.2 |
| Fabaceae | 2 | 4.4 | Poaceae | 5 | 3.2 | Ranunculaceae | 14 | 2.8 | Araliaceae | 3 | 2.7 |
| Others (20 fam.) | 28 | 26.8 | Others (50 fam.) | 119 | 43.1 | Others (62 fam.) | 163 | 53.2 | Others (36 fam.) | 61 | 33.9 |
| VT V | | | VT VI | | | VT VII | | | | | |
| Fagaceae | 6 | 10.1 | Fagaceae | 7 | 16.9 | Poaceae | 2 | 14.3 | | | |
| Pinaceae | 2 | 8.9 | Pinaceae | 3 | 11.4 | Pinaceae | 1 | 12.4 | | | |
| Liliaceae | 9 | 8.6 | Liliaceae | 11 | 8.5 | Lauraceae | 2 | 8.8 | | | |
| Rosaceae | 4 | 6.7 | Poaceae | 3 | 6.9 | Fagaceae | 2 | 8.6 | | | |
| Lauraceae | 2 | 6.1 | Fabaceae | 4 | 4.5 | Aceraceae | 2 | 6.7 | | | |
| Cyperaceae | 5 | 5.0 | Cyperaceae | 2 | 4.4 | Ulmaceae | 1 | 5.8 | | | |
| Oleaceae | 3 | 4.8 | Asteraceae | 7 | 4.4 | Styraceae | 2 | 5.8 | | | |
| Athyriaceae | 1 | 4.1 | Lauraceae | 3 | 4.3 | Verbenaceae | 1 | 4.9 | | | |
| Poaceae | 2 | 3.6 | Vitaceae | 3 | 3.9 | Celastraceae | 2 | 3.4 | | | |
| Anacardiaceae | 1 | 3.1 | Rutaceae | 1 | 3.8 | Hydrangeaceae | 2 | 3.4 | | | |
| Others (31 fam.) | 47 | 39.1 | Others (33 fam.) | 47 | 30.9 | Others (14 fam.) | 14 | 25.6 | | | |

Table 5. Mean relative importance values (MIV %) of the five most dominant species in each vegetation type of *Larix kaempferi* plantations. For full names of VT I to VII, see Table 2.

| Species | Vegetation type (VT) | | | | | | | All |
|---|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | |
| <i>Larix kaempferi</i> | 36.2 | 35.4 | 40.6 | 25.7 | 35.2 | 33.7 | 31.2 | 33.6 |
| <i>Quercus mongolica</i> | 29.1 | 16.6 | 3.2 | 4.9 | 6.0 | 1.8 | - | 7.8 |
| <i>Cornus controversa</i> | 1.8 | 8.2 | 9.2 | 6.2 | 1.2 | - | - | 7.0 |
| <i>Fraxinus rhynchophylla</i> | - | 4.7 | 6.7 | 2.3 | 4.0 | 0.1 | - | 4.3 |
| <i>Morus australis</i> | - | 0.6 | 4.8 | 0.5 | 1.7 | 0.7 | - | 2.3 |
| <i>Lindera obtusiloba</i> | 2.9 | 1.8 | 1.6 | 2.4 | 1.2 | 1.5 | 1.7 | 2.1 |
| <i>Acer pictum</i> var. <i>mono</i> | - | 0.4 | 1.9 | 7.9 | - | - | 1.7 | 2.0 |
| <i>Acer pseudosieboldianum</i> | 0.1 | 1.3 | 1.8 | 4.1 | 1.7 | - | 6.5 | 1.8 |
| <i>Quercus serrata</i> | - | - | 0.2 | 0.2 | 4.4 | 7.8 | 11.0 | 1.6 |
| <i>Quercus variabilis</i> | 1.9 | 1.8 | - | 0.5 | 3.7 | 3.7 | 5.5 | 1.5 |
| <i>Actinidia arguta</i> | - | 3.6 | 1.1 | 0.1 | 0.8 | 0.0 | - | 1.3 |
| <i>Carpinus cordata</i> | - | 0.7 | 0.8 | 5.4 | 0.0 | - | - | 1.2 |
| <i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> | - | 0.3 | 2.6 | 0.0 | 3.2 | - | 5.7 | 1.2 |
| <i>Castanea crenata</i> | 0.0 | - | 0.2 | 0.0 | 0.9 | 6.3 | - | 1.1 |
| <i>Symplocos sawafutagi</i> | 2.5 | 1.7 | 0.6 | 0.4 | - | - | - | 1.0 |
| <i>Toxicodendron trichocarpum</i> | 0.3 | 1.2 | 0.4 | 0.1 | 2.3 | 4.1 | - | 1.0 |
| <i>Quercus acutissima</i> | 0.0 | - | - | - | 2.6 | 4.8 | - | 0.7 |
| <i>Lindera erythrocarpa</i> | 0.3 | - | 0.3 | - | 3.8 | 0.3 | 4.3 | 0.6 |
| <i>Rhododendron schlippenbachii</i> | 2.8 | 0.7 | 0.1 | 0.2 | - | 0.1 | - | 0.4 |
| Top 5 species MIV % | 73.5 | 68.5 | 64.5 | 50.1 | 53.4 | 56.7 | 50.8 | 55.0 |

Table 6. Indicator species identified by indicator species analysis (IndVal) for each vegetation type (VT) of *Larix kaempferi* plantations, with the observed indicator value (IV) and significance level (*P*). Only significant indicator values (*P* < 0.05) are shown. Significant values, returned by the Monte-Carlo test, are the proportions of randomized trials with an indicator value equal to or exceeding the observed indicator value (**P* < 0.05; ***P* < 0.01; ****P* < 0.001). For full names of VT I to VII, see Table 2.

| Species | VT | IndVal | | <i>P</i> | Species | VT | IndVal | | <i>P</i> |
|---|-----|-----------|-----------|----------|---|-----|-----------|-----------|----------|
| | | Max. obs. | Mean exp. | | | | Max. obs. | Mean exp. | |
| <i>Rhododendron schlippenbachii</i> | I | 57.7 | 12.1** | | <i>Oplismenus undulatifolius</i> | V | 35.0 | 12.9* | |
| <i>Quercus mongolica</i> | I | 36.5 | 17.5*** | | <i>Toxicodendron trichocarpum</i> | V | 34.4 | 13.3* | |
| <i>Symplocos sawafutagi</i> | I | 30.4 | 15.1* | | <i>Maianthemum japonicum</i> | V | 31.2 | 8.6** | |
| <i>Cephalanthera longibracteata</i> | I | 23.3 | 10.4* | | <i>Akebia quinata</i> | V | 31.2 | 8.6** | |
| <i>Carex siderosticta</i> | II | 41.9 | 16.3* | | <i>Rosa multiflora</i> | V | 27.7 | 9.0* | |
| <i>Ainsliaea acerifolia</i> | II | 37.2 | 12.8** | | <i>Zanthoxylum schinifolium</i> | VI | 63.0 | 10.7** | |
| <i>Lespedeza maximowiczii</i> | II | 36.6 | 16.1** | | <i>Quercus dentata</i> | VI | 55.3 | 10.6*** | |
| <i>Veratrum maackii</i> var. <i>japonicum</i> | II | 33.5 | 11.5* | | <i>Smilax china</i> | VI | 50.0 | 10.2** | |
| <i>Isodon inflexus</i> | II | 30.4 | 14.1* | | <i>Spodiopogon sibiricus</i> | VI | 39.0 | 12.3* | |
| <i>Morus australis</i> | III | 24.0 | 13.8* | | <i>Castanea crenata</i> | VI | 35.9 | 11.4* | |
| <i>Carpinus cordata</i> | IV | 42.0 | 11.8** | | <i>Ligustrum obtusifolium</i> | VI | 35.2 | 10.1* | |
| <i>Abies holophylla</i> | IV | 39.3 | 10.2* | | <i>Quercus aliena</i> | VI | 27.9 | 9.1* | |
| <i>Stephanandra incisa</i> | IV | 38.4 | 12.0* | | <i>Sasa borealis</i> | VII | 68.9 | 11.6*** | |
| <i>Athyrium yokoscense</i> | V | 71.7 | 14.5*** | | <i>Callicarpa japonica</i> | VII | 58.1 | 10.5*** | |
| <i>Carex ciliato-marginata</i> | V | 48.3 | 8.9** | | <i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> | VII | 55.7 | 11.5** | |

(MIV)의 경우, 과 기준에서는 소나무과(Pinaceae)와 참나무과(Fagaceae)가 각각 15.1, 10.6으로 가장 높았고(Table 4), 종 기준에서는 상관 우점종인 일본잎갈나무(36.2)를 제외하면 신갈나무(29.1)가 가장 높았고, MIV 상위 5종이 전체 MIV값의 73.5%를 차지하고 있었다(Table 5). 이 식생 유형에서 유의한 지표종은 우리나라 냉온대지역의 대표적인 잠재자연식생 구성종인 신갈나무를 비롯하여 다소 그늘진 곳에 생육하는 철쭉, 노린재나무, 은대난초 등 4종이었고 대개 중력산포형(gravity-dispersal) 번식체계를 갖는 종들이었다(Table 6).

유형 II: 신갈나무-조록싸리형 (*Lespedeza maximowiczii*-*Quercus mongolica* type, VT II)

이 식생유형은 지리적으로 북위 35.6° 이상의 평균 해발고도 890 m(654~1,236 m) 그리고 지형적으로는 사면방향에 관계없이 사면상부에 집중적으로 분포하고 있었다(Table 1). 교목층과 아교목층 수관의 평균 높이는 각각 18 m, 10 m, 림은 각각 26 cm, 12 cm이었다. 단위면적당 평균 총피도는 271%(목본성 193%, 초본성 78%)로 다른 식생유형에 비해 월등히 높았으며, 특히 초본성 식물이 다른 식생유형에 비해 두 배 이상으로 아주 높게 나타났다(Table 2). 유관속식물은 60과 136속 197종이 출현하였고, 단위면적당 평균종수와 종다양도는 각각 28종(목본성 13종, 초본성 15종), 2.083(목본성 1.599, 초본성 1.303)이었고 7개 식생유형 중 초본성 식물의 종다양도가 가장 높았

다(Table 3). 과별 종수는 국화과가 17종으로 가장 풍부하였고, 백합과와 장미과(Rosaceae)도 각각 14종, 13종으로 비교적 풍부하였다(Table 4). 구성종의 평균상대중요치(MIV)는 과 기준에서는 소나무과와 국화과가 모두 8.7로 가장 높았고, 다음으로 백합과(7.9), 사초과(Cyperaceae: 6.2) 등의 순이었으며, 종 기준에서는 상관 우점종인 일본잎갈나무(35.4)를 제외하면 식생유형 I과 마찬가지로 신갈나무(16.6)가 가장 높게 나타났고, MIV 상위 5종이 전체 MIV값의 68.5%를 차지하고 있었다(Table 5). 이 식생 유형에서 유의한 지표종은 대사초, 단풍취, 여로, 산박하, 조록싸리 등 5종이었고, 소형지상식물(Nanophanerophytes)인 노린재나무를 제외하면 대개 지중(Geophytes) 또는 반지중(Hemicryptophytes)의 휴면형을 갖는 식물들이었다(Table 6).

유형 III: 층층나무-산뽕나무형 (*Morus australis*-*Cornus controversa* type, VT III)

이 식생유형은 지리적으로 북위 35.7° 이상의 해발고도 376 m에서 1,271 m에 이르는 넓은 수직적 분포 범위를 갖으며, 지형적으로는 대개 사면상부 적윤지에 분포하고 있었다(Table 1). 교목층과 아교목층 수관의 평균 높이는 각각 20 m, 8 m, 림은 각각 27 cm, 9 cm이었다. 단위면적당 평균 총피도는 208%(목본성 186%, 초본성 22%)로 7개 식생유형 중 가장 낮았는데, 특히 초본층이 27%로 아주 낮았다(Table 2). 유관속식물은 72과 167속 360종이 출현

하였고, 단위면적당 평균 종수와 종다양도는 각각 23종(목본성 13종, 초본성 10종), 1.708(목본성 1.507, 초본성 0.914)이었고, 7개 식생유형 중 목본성 식물의 종우점도(0.306)가 가장 높게 나타났다(Table 3). 과별 종수에서는 국화과(22종)와 장미과(19종)가 가장 풍부하였고, 다른 식생유형에 비해 미나리아재비과(Ranunculaceae)가 아주 풍부한 것이 특징적이었다(Table 4). 구성종의 평균상대중요치(MIV)는 과 기준에서는 소나무과(10.8)가 가장 높았고, 다음으로 장미과(6.8), 물푸레나무과(4.4) 등의 순이었으며, 종 기준에서는 상관 우점종인 일본잎갈나무(40.6)가 다른 유형에 비해 아주 높게 나타났고, 중용수인 층층나무(9.2)와 물푸레나무(6.7)가 상위 중요치를 갖는 것이 특징적이었다고, MIV 상위 5종이 전체 MIV값의 64.5%를 차지하고 있었다(Table 5). 이 식생 유형에서 유의한 지표종은 산뽕나무 1종이었다(Table 6).

유형 IV: 신갈나무-까치박달형 (*Carpinus cordata-Quercus mongolica* type, VT IV)

이 식생유형은 지리적으로 북위 36.6° 이상의 평균 해발고도 863 m(626~1290 m) 그리고 지형적으로는 대개 남향의 계곡부 또는 사면상부 뒀지에 분포하고 있었다(Table 1). 교목층과 아교목층 수관의 평균 높이는 각각 20 m, 7 m, 림은 각각 29 cm, 11 cm이었다. 단위면적당 평균 총피도는 300%(목본성 262%, 초본성 38%)로 7개 식생유형 중 가장 높게 나타났다(Table 2). 유관속식물은 46과 86속 107종이 출현하였고, 단위면적당 평균 종수와 종다양도는 각각 18종(목본성 13종, 초본성 5종), 2.082(목본성 1.820, 초본성 0.811)이었고, 7개 식생유형 중 중군재도(0.730)가 가장 높았다(Table 3). 과별 종수에서는 장미과(11종)가 가장 풍부하였고, 다음으로 국화과(8종), 단풍나무과(Aceraceae: 7종) 등의 순이었다. 구성종의 평균상대중요치(MIV)는 과 기준에서는 소나무과(14.3), 장미과(13.0), 단풍나무과(11.5) 등의 순으로 높게 나타났다(Table 4). 종 기준에서는 상관 우점종인 일본잎갈나무(25.7)를 제외하면 고로쇠나무(7.9)와 층층나무(6.2)가 단연 높게 나타났고, MIV 상위 5종이 전체 MIV값의 50.1%를 차지하고 있었다(Table 5). 이 식생 유형에서 유의한 지표종은 풍산포형(wind-dispersal) 종자를 갖는 까치박달과 전나무 그리고 관목성인 국수나무 등 3종이었다(Table 6).

유형 V: 비목나무-쫄레꽃형 (*Rosa multiflora-Lindera erythrocarpa* type, VT V)

이 식생유형은 지리적으로 북위 35.5°에서 36.5°사이 백두대간 보호지역의 평균 해발고도 599 m(269~840 m) 그리고 지형적으로는 대개 동향의 사면 중·상부 적윤지에

분포하고 있었다(Table 1). 교목층과 아교목층 수관의 평균 높이는 각각 16 m, 7 m, 평균 가슴높이 지름은 각각 26 cm, 8 cm이었다. 단위면적당 평균 총피도는 239%(목본성 205%, 초본성 34%)이었고 다른 식생유형에 비해 아교목층과 관목층이 비교적 높게 나타났다(Table 2). 유관속식물은 41과 63속 82종이 출현하였고, 단위면적당 평균 종수와 종다양도는 각각 27종(목본성 17종, 초본성 10종), 2.138(목본성 1.931, 초본성 0.765)로 7개 식생유형 중 가장 풍부하고 높게 나타났으며, 특히 목본성 식물이 다른 식생유형에 비해 보다 풍부하였다(Table 3). 과별 종수에서는 백합과(9종)가 가장 풍부하였고, 다음으로 참나무과(6종), 사초과(Cyperaceae: 5종) 등의 순으로 풍부하였다. 구성종의 평균상대중요치(MIV)는 과 기준에서는 참나무과(10.1)가 가장 높았고 소나무과(8.9)와 백합과(8.6)도 비교적 높게 나타났다(Table 4). 종 기준에서는 상관적 우점종인 일본잎갈나무(35.2)를 제외하면 신갈나무(6.0)와 졸참나무(4.4)가 보다 높게 나타났고, MIV 상위 5종이 전체 MIV값의 53.4%를 차지하고 있었다(Table 5). 이 식생 유형에서 유의한 지표종은 뱀고사리, 털대사초, 주름조개풀, 풀솜대, 으름덩굴, 짚레꽃, 개웃나무 등 모두 7종이었고(Table 6), 이 중 주름조개풀, 풀솜대, 으름덩굴, 짚레꽃 등 주로 동물산포형(animal-dispersal) 종자를 갖는 종들이어서 다른 식생유형에 비해 생물적 간섭을 지속적으로 받고 있는 유형으로 판단되었다.

유형 VI: 졸참나무-산초나무형 (*Zanthoxylum schinifolium-Quercus serrata* type, VT VI)

이 식생유형은 지리적으로 북위 35.7°에서 36.5°사이의 평균 해발고도 475 m(324~772 m) 그리고 지형적으로는 대개 서향의 사면 중부 및 상부의 다소 건조한 입지에 분포하고 있었으며, 7개 식생유형 중 평균 해발고도가 가장 낮았다(Table 1). 교목층과 아교목층 수관의 평균 높이는 각각 19 m, 7 m, 평균 가슴높이 지름은 각각 24 cm, 9 cm이었다. 단위면적당 평균 총피도는 234%(목본성 199%, 초본성 35%)이었다(Table 2). 유관속식물은 43과 71속 91종이 출현하였고, 단위면적당 평균 종수와 종다양도는 각각 22종(목본성 15종, 초본성 7종), 1.950(목본성 1.683, 초본성 0.716)이었다(Table 3). 과별 종수에서는 백합과(11종)가 가장 풍부하였고, 다음으로 참나무과(7종), 국화과(7종), 콩과(Fabaceae: 4종) 등의 순이었다. 구성종의 평균상대중요치(MIV)는 과 기준에서는 참나무과(16.9)가 가장 높았고 소나무과(11.4)와 백합과(8.5)도 비교적 높게 나타났다(Table 4). 종 기준에서는 상관 우점종인 일본잎갈나무(33.7)를 제외하면 졸참나무(7.8), 밤나무(6.3), 상수리나무(4.8) 등의 순으로 높게 나타났고, MIV 상위 5종이 전체

MIV값의 56.7%를 차지하고 있었다(Table 5). 이 식생 유형에서 유의한 지표종은 다소 교란된 입지에 생육하는 떡갈나무, 밤나무, 갈참나무, 산초나무, 청미래덩굴, 쥐똥나무, 큰기름새 등 모두 7종이었다(Table 6).

유형 VII: 졸참나무-조릿대형 (*Sasa borealis-Quercus serrata* type, VT VII)

이 식생유형은 백두대간 보호지역 일본잎갈나무림 분포지 중 지리적 위치가 가장 낮은 북위 35.3°내외의 대개 남향의 사면하부 또는 계곡부에 분포하고 있었다(Table 1). 고목층과 아고목층 수관의 평균 높이와 림은 7개 식생 유형 중 가장 높고 큰 것으로 나타났는데, 평균 높이는 각각 24 m, 11 m, 림은 각각 31 cm, 15 cm이었다. 단위면적당 평균 총피도는 244%(목본성 239%, 초본성 5%)이었고, 7개 식생유형 중 초본성 식물의 총피도(5%)가 가장 낮았으나 식생층위 간에는 조릿대가 밀생하는 초본층(90%)이 가장 높게 나타났다(Table 2). 유관속식물은 24과 26속 31종이 출현하였고, 단위면적당 평균 종수와 종다양도는 각각 16종(목본성 13종, 초본성 2종), 1.626(목본성 1.596, 초본성 0.521)으로 7개 식생유형 중 가장 단순하고 낮았다(Table 3). 과별 종수에서는 벼과(Poaceae), 녹나무과(Lauraceae), 참나무과, 단풍나무과, 매죽나무과(Styracaceae), 노박덩굴과(Celastraceae), 수국과(Hydrangeaceae) 등이 모두 2종으로 비교적 고르게 나타났다. 구성종의 평균상대중요치(MIV)는 과 기준에서는 벼과(14.3)가 조릿대의 영향으로 가장 높았고, 다음으로 소나무과(12.4), 녹나무과(8.8), 참나무과(8.6) 등의 순으로 높게 나타났다(Table 4). 종 기준에서는 상관 우점종인 일본잎갈나무(31.2)를 제외하면 졸참나무(11.0)가 단연 높게 나타났고, MIV 상위 5종이 전체 MIV값의 50.8%를 차지하고 있었다(Table 5). 이 식생 유형에서 유의한 지표종은 군집성이 강한 조릿대를 비롯하여 작살나무와 느릅나무 등 모두 3종이었다(Table 6).

한편, 식생유형 간 구성종의 과 및 종수준에 있어서 MIV값의 차이가 다소 나타났는데, 이는 임분의 조성 시기, 크기, 개체 밀도, 미소환경, 인접 식생 특성, 그리고 교란 정도 등이 복합적으로 영향을 미친 결과로 판단되지만, 향후 매목조사에 의한 임분동태와 성장특성 관련 후속 연구가 수행되면 보다 객관적인 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단되었다.

3. 생활형 조성

백두대간 보호지역 일본잎갈나무림의 종구성의 휴면형, 지하기관형, 산포기관형, 생육형 등에 의한 생활형조성 체계를 종수 구성비 기준에서 분석한 결과(Figure 4), 식생유

형 간 차이가 있지만, 전체적으로 보면 휴면형은 지중식물(G)과 반지중식물(H), 지하기관형은 단립식물(R₅), 산포기관형은 중력산포형(D₄), 그리고 생육형은 직립형(e)이 대표 유형으로 나타나는 'G·H-R₅-D₄-e'의 체계로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 백두대간 전체 산림 식생 연구에서 보고된 'H-R₅-D₄-e'의 체계와 유사한 경향이 있었다(KFS, 2020).

4. 유사도

백두대간 보호지역 일본잎갈나무림에서 분류된 각 식생 유형과 보호지역의 대표적인 잠재자연식생인 신갈나무림과 졸참나무림 간의 종구성적 유사도 경향을 Jaccard 계수(Jaccard similarity coefficient)와 Pearson 상관계수를 이용하여 비교하였다(Table 7). 일반적으로 식물군락간의 유사도지수는 군락의 종구성에 따라 결정되며 생태적으로 유사한 집단일수록 유사도지수가 높게 나타나는데, 대개 유사도지수가 20%(0.2) 이하면 이질적인 군락, 80%(0.8) 이상이면 동질적인 군락 그리고 65%(0.65) 이상이면 비교적 동질적인 군락으로 보고 있다(Whittaker, 1965; Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974; Cox, 1995). 먼저 일본잎갈나무림의 식생유형간 유사도 경향을 보면 Jaccard 계수 기준에서는 식생유형(I~VII)간 차이가 있지만 전체적으로는 평균 0.55로 다소 동질적이었으며, 식생유형 I과 II(0.75)가 가장 높았고 식생유형 I과 VII(0.43) 그리고 IV와 VII(0.42)이 가장 낮게 나타났다. Pearson 상관계수 기준에서는 전체적으로는 평균 0.85의 높은 상관관계를 보였으며, 식생유형 I과 II, II와 III, II와 V, III과 IV~V, V와 VI은 모두 0.90 이상의 아주 높은 상관을 보였다. 한편 일본잎갈나무림의 식생유형과 보호구역의 대표적인 잠재자연식생(신갈나무림, 졸참나무림) 간의 유사도 경향을 파악한 결과, 식생유형간 차이가 있었지만, 전체적으로 보면 Jaccard 계수 기준에서는 신갈나무림과는 평균 0.21(0.10~0.30) 그리고 졸참나무림과는 평균 0.32(0.16~0.44)로 나타나 현재 상태의 일본잎갈나무림과 주변 잠재자연식생 임분과는 종구성에 있어서 아직 이질적인 것으로 판단되었으나 식생유형 I-IV는 졸참나무림과 0.40 내외로 나머지 유형보다 상대적으로 높은 유사도를 나타내었다. Pearson 상관계수 기준에서는 신갈나무림과는 낮은 상관을 보이는 식생유형 IV(0.23)를 제외하면 나머지 유형들과는 유의성이 없는 것으로 나타났으며, 졸참나무림과는 식생유형 I(0.53)과 II(0.42)가 다소 높은 상관 그리고 식생유형 IV(0.29)와는 낮은 상관을 보였으나, 나머지 유형들과는 상관이 거의 없거나 유의성이 없는 것으로 나타났다. 잠재자연식생과의 유사도 경향은 대개 관목층과 초본층의 종구성이 영향을 미치고 있었다.

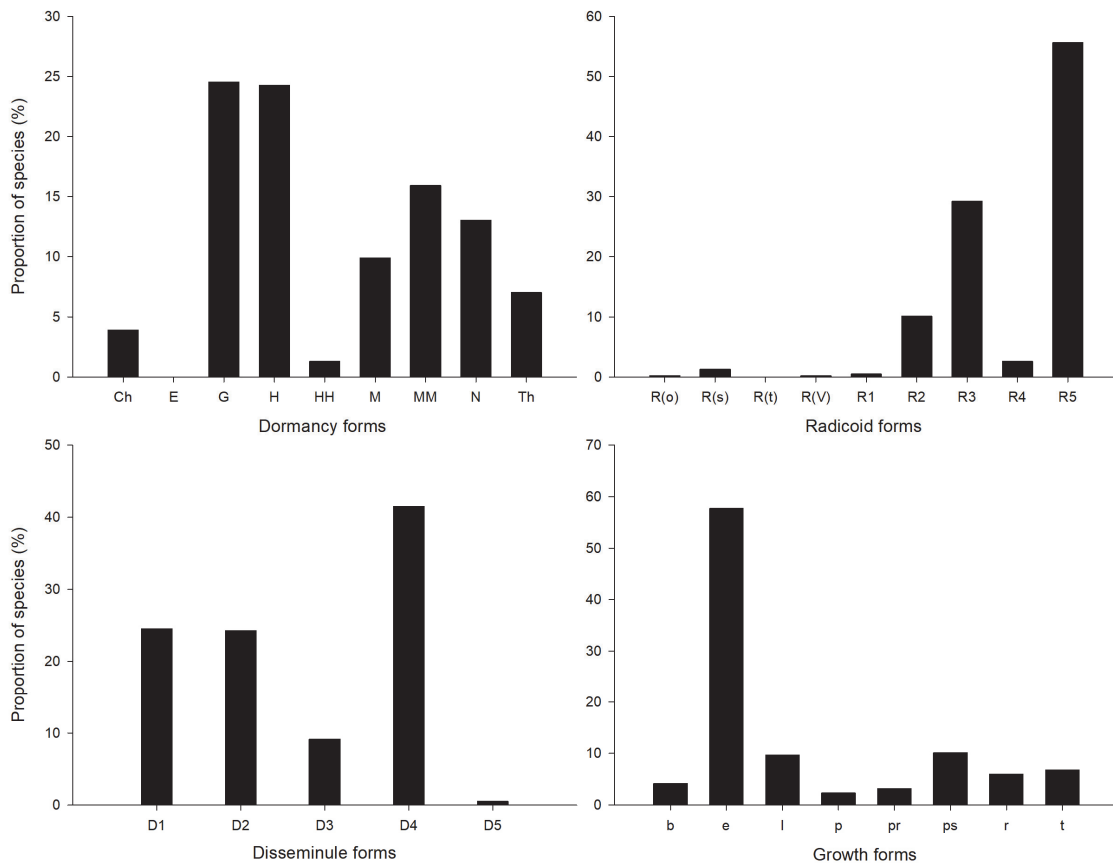


Figure 4. Proportion of species for four life-forms (dormancy, radicoid, disseminule and growth) of all plant species occurred in *Larix kaempferi* plantations.

Table 7. Similarity matrix based on Jaccard similarity coefficient and Pearson correlation coefficient (range of values from 0 to 1.0, with values closer to 1.0 indicating increasing similarity) among 7 vegetation types(I~VII) of *Larix kaempferi* plantations and with the two surrounding oak natural forests (Qm: *Quercus mongolica* forest, Qs: *Quercus serrata* forest). For full names of VT I to VII, see Table 2.

| VT | I | II | III | IV | V | VI | VII | Qm | Qs |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|------|
| I | | 0.75 | 0.53 | 0.47 | 0.60 | 0.53 | 0.43 | 0.19 | 0.44 |
| II | 0.94** | | 0.75 | 0.56 | 0.64 | 0.52 | 0.46 | 0.30 | 0.42 |
| III | 0.79** | 0.92** | | 0.59 | 0.66 | 0.50 | 0.49 | 0.27 | 0.32 |
| IV | 0.78** | 0.87** | 0.90** | | 0.50 | 0.43 | 0.42 | 0.26 | 0.37 |
| V | 0.84** | 0.91** | 0.94** | 0.86** | | 0.68 | 0.57 | 0.16 | 0.26 |
| VI | 0.75** | 0.83** | 0.88** | 0.81** | 0.94** | | 0.52 | 0.16 | 0.17 |
| VII | 0.70** | 0.77** | 0.84** | 0.79** | 0.89** | 0.88** | | 0.10 | 0.16 |
| Qm | 0.02 | 0.07 | 0.07 | 0.23** | 0.02 | 0.02 | 0.01 | | 0.45 |
| Qs | 0.53** | 0.42** | 0.16** | 0.29** | 0.16** | 0.06 | 0.06 | 0.29** | |

결론

최근 국내외적으로 침엽수 인공림에 있어서 산림관리의 이슈는 자원생산성 보다는 생태계로서의 기능 제고 및 생물다양성 증진을 위한 생태적 관리이다(Picchio and

Mercurio, 2019). 우리나라의 대표적인 침엽수 인공림인 일본잎갈나무림은 산지녹화 및 용재수로 해안지역을 제외한 전국에 널리 식재되어 있다. 그러나 임분 관리 목표가 불분명하여 주벌기가 지났거나 적절한 관리 없이 방치되고 있는 임분이 늘어나고 있으며, 또한 주변 자연림과

이질적인 경관을 형성하고 있어 이의 개선을 위한 정책적 및 기술적 방안 마련이 시급히 필요한 상태이다. 일본과 영국에서는 2000년대 중반부터 일본잎갈나무림을 비롯한 침엽수 인공림의 경제적 및 공익적 기능 제고를 위하여 자연림으로의 부분적 또는 완전한 전환을 통해 임분 구조와 조성의 다양화를 촉진하기 위한 여러 가지 생태적 관리 기법 개발이나 그 체계 확립에 노력하고 있다(Augusto et al., 2001; Ito et al., 2006; Forestry Commission, 2011; Seiwa, 2013; Barsoum and Henderson, 2016). 본 연구의 대상지인 백두대간 보호지역에는 여의도 면적의 57배인 16,512 ha에 달하는 일본잎갈나무림이 생태적 고려 없이 여기저기 균상으로 식재되어 2005년 보호지역 지정 이후부터 줄곧 관련 전문가나 환경단체로부터 주변 자연림과의 생태적 및 경관적 단절과 이질성 개선에 대한 요구를 받아오고 있지만, 이의 해결을 위한 정책 수립과 관련 연구가 많이 부족한 실정이다. 본 연구에서는 상기의 점을 고려하여 백두대간 보호지역 일본잎갈나무림의 생태적 관리를 위한 기초자료 제공을 목적으로 지리적 및 지형적 특성을 고려하여 선정된 총 119개소의 조사구에서 식물사회학적 식생정보와 미세환경정보를 수집하고 이원지표중분석법(TWINSPAN)과 서열법(ordination)에 의해 현존식생 유형 분류와 그 공간 배열 상태를 파악하였다. 현존식생 유형은 모두 7개 유형이 도출되었으며 각 유형별 지표종과 우점종을 연명하여 명칭을 부여하였다. 도출된 식생 유형은 대개 위도, 해발고도, 성립기간, 시업이력, 주변 임분 특성, 교란정도 등의 차이를 반영하고 있어 향후 생태적 관리의 기본 단위로 활용 가능하지만, 다소 주관적인 조사구 선정과 제한적인 조사구수로 인하여 그 실질적 적용성에 있어 향후 보다 많은 후속 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 한편 일본잎갈나무림의 식생유형과 보호구역의 대표적인 잠재자연식생(신갈나무림, 졸참나무림) 간의 유사도 경향을 파악한 결과, 식생유형간 차이가 있었지만, Jaccard 계수 기준에서는 전체적으로 신갈나무림과는 평균 0.21(0.10~0.30) 그리고 졸참나무림과는 평균 0.32(0.16~0.44)로 나타나 현재 상태의 일본잎갈나무림과 주변 잠재자연식생 임분과는 종구성에 있어서 아직 이질적인 것으로 판단되었다. Pearson 상관계수 기준에서는 신갈나무림과는 대부분 유의성이 없는 것으로 나타났고, 졸참나무림과는 상관계수 0.3~0.5 내외의 다소 높거나 낮은 상관을 보이는 유형들도 나타났는데, 대개 관목층과 초본층의 종구성적 유사도 경향에 영향을 미치고 있는 것으로 판단되었다. 이외에도 식생유형별 구성종의 총피도, 중요치, 종다양성, 생활형 조성, 그리고 지표종 등 생태적 특성을 파악하였는데, 특히 종다양성은 산림생태계의 주요 구성요소이고 많은 생태학적 기능과 과정에서 큰 역할을

하기 때문에 향후 식생유형별 생태적 관리에 있어서 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단되었다. 끝으로 백두대간 보호지역 일본잎갈나무림은 자원생산적 측면보다는 공익적 즉 생태계서비스 측면에서의 기능 강화가 보다 중요한 현안 문제로 대두되고 있음을 고려할 때 단순한 외래 임분의 집합체가 아니라 하나의 생태계로 인식하고 가능한 생태학적 견해에 기초하여 보다 명확하고 체계적인 임분 관리의 목표 설정과 생태적 관리 방안 수립이 요구된다.

감사의 글

본 논문은 산림청의 “백두대간 자원실태변화조사 및 관리방안 연구(2016~20)”의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Augusto, L., Dupouey, J.L., Picard, J.F. and Ranger, J. 2001. Potential contribution of the seed bank in coniferous plantations to the restoration of native deciduous forest vegetation. *Acta Oecologica* 22(2): 87-98.
- Barsoum, N. and Henderson, L. 2016. Converting planted non-native conifer to native woodlands: A review of the benefits, drawbacks and experience in Britain. *Research Note. Forestry Commission*. pp. 10.
- Braun-Blanquet, J. 1965. *Plant sociology: The study of plant communities* (Fuller, G.D. and H.S. Conrad, trans.). New York, USA. pp. 439.
- Brower, J.E. and Zar, J.H. 1977. *Field and laboratory methods for general ecology*. Wm. C. Brown Company. Iowa, USA. pp. 288.
- Cho, H.J., Lee, B.C. and Shin, J.H. 2004. Forest vegetation structure and species composition of the Baekdudaegan mountain range in South Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 93(5): 331-338.
- Choi, Y.H., Choi, S.H., Cho, W., Lee, I.M., Yoo, Y.M., Kang, H.M., Choi, T.J. and Lee, S.C. 2018a. Management Plan of *Larix kaempferi* Forests in National Park. *Proceedings of the 2018 Conference of Korean Society of Environment and Ecology*, pp. 36-36.
- Choi, W.J. et al. 2018b. Vegetation Structure Analysis for Ecological Management of *Larix kaempferi* forest in national park. *Proceedings of the 2018 Conference of Korean Society of Environment and Ecology*, pp. 33-33.
- Cox, G.W. 1995. *Laboratory Manual of General Ecology*. 7th ed. William C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa. pp. 288.

- Curtis, J.T. and McIntosh, R.P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.
- Dufrêne, M. and Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67(3): 345-366.
- Forestry Commission. 2011. Forests and biodiversity. UK Forestry Standard Guidelines, Forestry Commission, Edinburgh. pp. 67.
- Fujimori, T. 2000. *Symniosis with the forest*. Maruzen, Tokyo. pp. 236.
- Hammer, Ø. 2021. Paleontological statistics(PAST) version 4.06 for Windows. Natural history museum, university of Oslo, Oslo, Finland. <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/>. (2021. 5.10).
- Hanada, N., Shibuya, M., Saito, H. and Takahashi, K. 2006. Regeneration process of broadleaved trees in planted *Larix kaempferi* forests. *Journal of the Japanese Forest Society* 88(1): 1-7.
- Hill, M.O. 1979. TWINSPAN-A FORTRAN Program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. N.Y. Cornell University Press. Ithaca, USA. pp. 50.
- Igarashi, T., Makino, S., Tanaka, H. and Masakia, T. 2014. Alternative management system for the restoration of biodiversity in plantation forest of Japan. *Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute* 13(2): 29-42.
- Ito, S., Ishigami, S., Mizoue, N. and Buckley, G.P. 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(1): 234-241.
- Jaccard, P. 1901. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Drouces et dans quelques regions voisines. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 37(140): 241-272.
- KFS (Korea Forest Service), National Institute of forest science and Korean society of forest science. 2020. Understanding the Baekdudaegan mountain system of Korea: field survey report 2016-2020. pp. 306.
- KFS (Korea Forest Service). 2019. Korea Forest Service Notice no. 2019-75.
- KFS (Korea Forest Service). 2021. Korean plant names index, <http://www.nature.go.kr/kpni/index.do>. (2021. 7. 4)
- Kim, J.Y. and Lee, K.J. 2012. Vegetational structure and the density of thinning for the inducement of the ecological succession in artificial forest, national parks: In case of Chiaksan, Songnisan, Deogyusan, and Naejangsan. *Korean Journal of Environment and Ecology* 26(4): 604-619.
- Kim, S.M., An, J.H., Lim, Y.K., Pee, J.H., Kim, G.S., Lee, H.Y., Cho, Y.C., Bae, K.H. and Lee, C.S. 2013. Ecological changes of the *Larix kaempferi* plantations and the restoration effects confirmed from the results. *Korean Journal of Ecology and Environment* 46(2): 241-250.
- Kon, H. 2006. Structure of invasive broadleaved trees in *Larix kaempferi* and *Abies nephrolepis* plantations. *Proceedings of the Japanese Forest Society Congress* 117. The Japanese Forest Society. <https://doi.org/10.11519/jfsc.117.0.652.0> (2021.7.11).
- Lee, J.E., Shin, J.K., Kim, D.K. and Yun, C.W. 2018. Classification of forest vegetation for forest genetic resource reserve area in Heuksando Island. *Korean Journal of Ecology and Environment* 32(3): 289-302.
- Lee, T.B. 2003. *Coloured flora of Korea*. Hyangmunsa. Korea. pp. 999.
- Lee, W.C. and Yim, Y.J. 2002. *Plant geography with special reference to Korea*. Kangwon National University Press. pp. 412.
- McCune, B. and Mefford. M.J. 2016. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 7.0 for windows. Wild Blueberry Media, Corvallis, Oregon, U.S.A.
- Müller-Dombois, D. and Ellenberg, H. 1974. *Aims and method of vegetation ecology*. John Wiley & Sons. New Jersey, USA, pp. 547.
- Nagaike, T. 2000. A review of ecological studies on plant species diversity in plantation ecosystems. *Journal of the Japanese Forestry Society* 82(4): 407-416.
- Nagaike, T., Hayashi, A., Kubo, M., Abe, M. and Arai, N. 2006. Plant species diversity in a managed forest landscape composed of *Larix kaempferi* plantations and abandoned coppice forests in Central Japan. *Forest Science* 52(3): 324-332.
- NIFoS (National Institute of Forest Science). 2021. Understanding the Baekdudaegan mountain system of Korea: Field Survey Report 2016-2020. pp. 306.
- Numata, M. 1947. Ecological judgement of grassland condition and trend: I. Judgement by biological spectra. *Grassland Science* 11: 20-33.
- Picchio, R. and Mercurio, R. 2019. Ecological management of Pine forests. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03897-426-0>. (2021. 7.12).
- Raunkiaer, C., Egerton, F.N., Gilbert, C.H. and Fausboll. 1934. *Life forms of plants and statistical plant geography*. Clarendon Press, Oxford. pp. 632.
- 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.
- Shannon, C.E. and Weaver, W. 1949. *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press, pp. 177.
- Spracklen, B.D., Lane, J.V., Spracklen, D.V., Williams, N. and Kunin, W.E. 2013. Regeneration of native broadleaved species on clearfelled conifer plantations in upland Britain. *Forest Ecology and Management* 310: 204-212.
- Whittaker, R. H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities: numerical relations of species express the importance of competition in community function and evolution. *Science* 147(3655): 250-260.

Manuscript Received : July 23, 2021

First Revision : August 30, 2021

Second Revision : September 3, 2021

Accepted : September 9, 2021