

설악산 분비나무군락의 식물사회학적 특성^{1a}

이호영² · 정보광³ · 전영문⁴ · 오충현^{5*}

The Research on the Phytosociological Characteristics of *Abies nephrolepis* Maxim. Community in Mt. Seorak, Korea^{1a}

Ho-Young Lee², Bo-Kwang Chung³, Young-Moon Chun⁴, Choong-Hyeon Oh^{5*}

요약

본 연구에서는 최근 가속화되고 있는 기후변화로 인하여 쇠퇴가 우려되는 설악산 분비나무림을 대상으로 식물사회학적 연구를 수행하였다. 현장조사에서 획득된 70개 방형구 조사결과에 대해 TWINSpan 기법을 이용하여 군락을 분류하고, DCA 방법으로 서열을 분석한 후 각 군락이 갖는 특성을 분석하였다. 설악산 분비나무림은 4개 군락(분비나무-맹맹이나무군락, 분비나무-시달나무군락, 분비나무-당단풍나무군락, 분비나무-거제수나무군락)으로 구분되었다. 각 군락은 입지에 따라 분포 유형을 달리하였으며, 이는 해발고도, 사면 등 입지환경에 따라 서로 다른 미소환경이 형성됨으로써 종조성이 달라지기 때문이다. 각 군락은 분포 고도, 암석비율, 토양특성, 낙엽층 두께 등의 환경에서 차이를 보였으며, 그 결과로 종구성의 차이뿐만 아니라 출현종수 및 개체수, 식피율, 수목규격, 종다양도 등에서 군락 간 유의미한 차이를 보였다. 분비나무-맹맹이나무군락과 분비나무-시달나무군락은 높은 고도의 암석비율이 높은 곳에 입지하며 교목층 발달이 미약하였다. 반면, 분비나무-당단풍나무군락과 분비나무-거제수나무군락은 분포 고도가 상대적으로 낮고 토양비율이 높았으며, 교목층이 발달하고 종다양도가 높게 나타났다.

주요어: 기후변화, TWINSpan, DCA, 해발고도, 사면, 미소환경

ABSTRACT

This study carried out the plant sociological survey of *Abies nephrolepis* forest in Mt. Seorak, which is in danger of deterioration due to the accelerated climate change. We examined seventy quadrats obtained from the survey and used the TWINSpan technique to classify communities. We then performed the DCA method for the sequence analysis and analyzed the characteristics of each community. *A. nephrolepis* forest of Mt. Seorak is composed of four communities (*A. nephrolepis*-*Lonicera caerulea* var. *edulis* community, *A. nephrolepis*-*Acer komarovii* community, *A. nephrolepis*-*Ac. pseudosieboldianum* community, and *A. nephrolepis*-*Betula costata* community). Each community showed a different distribution according to location

1 접수 2020년 2월 28일, 수정 (1차: 2020년 7월 30일, 2차: 2020년 12월 29일), 게재확정 2020년 12월 29일
Received 28 February 2020; Revised (1st: 30 July 2020, 2nd: 29 December 2020; Accepted 29 December 2020

2 한길숲연구소 소장 Hankil Forest Institute, Gangneung 25522, Korea (hoylee@hanmail.net)

3 국립백두대간수목원 대리 Baedudaegan National Arboretum, Bonghwa 36209, Korea (hoban6865@kiam.or.kr)

4 송광생태연구소 소장 Songgwang Ecological Institute, Suncheon 57938, Korea (ymchun31@gmail.com)

5 동국대학교 바이오환경과학과 교수 Dept. of Biological and Environmental Science, Dongguk Univ., Goyang 10326, Korea

a 이 논문은 학위논문의 일부 내용을 재구성한 논문임

* 교신저자 Corresponding author: ecology@dongguk.edu

because different microenvironments are formed depending on location such as altitude and slope direction, resulting in different species composition. Each community showed differences in environmental characteristics such as altitude, rock ratio, soil characteristics, and litter layer thickness. As a result, there were significant differences between communities in the number of species and individuals, coverage, tree size, and species diversity, as well as differences in species composition. The *A. nephrolepis*-*L. caerulea* var. *edulis* and *A. nephrolepis*-*Ac. komarovii* communities were located in high altitude with high rock ratios and had little development of tree layer. On the other hand, the *A. nephrolepis*-*Ac. pseudosieboldianum* and *A. nephrolepis*-*B. costata* communities were relatively in low altitude with high soil ratio and had the development of tree layer with high species diversity.

KEY WORDS: CLIMATE CHANGE, TWINSpan, DCA, ALTITUDE, SLOPE DIRECTION, MICROENVIRONMENT

서론

최근세기 들어서 기후변화가 가속화되고 있다. 기후변화는 동식물의 생물학적, 생태학적 변화를 초래하고 있다(Hughes, 2000; Davis *et al.*, 2005; Hickling *et al.*, 2006). 기온이 상승하게 되면 고산 및 아고산대에 분포하고 있는 고산성 수목은 저산지대의 식물들에 비해 더 많은 영향을 받아 그 생육지가 감소하거나 심할 경우 소멸될 수도 있다(Horikawa *et al.*, 2009). 기후변화에 취약한 고산성 침엽수종 중 남한지역에 비교적 넓게 분포하는 교목성 수종으로는 한라산, 지리산, 덕유산 등 남부지역의 높은 산에 분포하는 한반도 고유종인 구상나무(*Abies koreana*)와 소백산 이북 백두대간 고지대에 주로 분포하는 분비나무(*A. nephrolepis*)가 가장 대표적이다. 분비나무는 러시아로부터 중국, 한반도에 걸쳐 분포하며, 한반도에는 지리산에 이르기까지 해발 700m 이상의 고도에 분포한다. 한반도에는 신생대 제4기 플라이스토세 시기의 한랭기부터 분포하기 시작하였으며, 약 1만년 전부터 시작된 홀로세의 기온 상승으로 분포선이 고위도 방향 및 고지대로 후퇴하여 지금은 백두대간을 중심으로 하는 고산지대에만 남아있는 유존종으로 기후변화가 가속화 될 경우 분포범위가 축소될 가능성이 있다(Kong, 1998, 2005, 2006).

우리나라의 전나무속 수종들에 대한 생태 연구는 주로 목재 가치가 있는 전나무와 우리나라 특산종인 구상나무를 대상으로 다양하게 이루어졌으며, 분비나무에 대한 연구는 상대적으로 미흡하였다. 연구는 크게 전나무속 나무들에 대한 분류학적 연구(Lee, 1970; Jang *et al.*, 1997; Kim and Hyun, 1999; Jung *et al.*, 2000; Joo, 2003; Song *et al.*, 2007, 2008)와 각 수종들에 대한 생태연구로 나뉘어 수행되었다. 전나무의 생태연구는 생장에 관한 연구(Kim, 1978; Woo *et al.*, 1999)와 천이에 관한 연구(Jang and Youn, 2003; Youn, 2002, 2007, 2009), 식생구조에 관한 연구(Nam *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2008;

Park and Jeon, 2010)가 주요 연구대상이었으며, 이 외에도 화분(花粉)에 대한 연구(Kim and Choo, 1995; Kormutak *et al.*, 2003), 수액이동과 토양수분 연구(Jun *et al.*, 2005) 등이 있었다. 구상나무에 대한 연구는 식생의 구조 및 동태에 관한 연구(Kim *et al.*, 1991; Lee and Cho, 1993; Lee and Hong, 1995; Koh *et al.*, 1996; Kang *et al.*, 1997; Kim and Choo, 1999, 2000; Oh *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2007; Song *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2012)가 중점적으로 이루어졌으며, 종자발아 및 치수형성 등 천연갱신에 관한 연구(Chung *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 1998; Song *et al.*, 2010), 연륜연대학적 연구(Kim, 1994; Park and Seo, 1999; Koo *et al.*, 2001), 건전개체와 쇠약개체의 비교연구(Lim *et al.*, 2006, 2007), 복원을 위한 식재연구(Kim *et al.*, 2001) 등 다양한 분야에서 연구가 이루어졌다. 위와 같이 전나무와 구상나무에 대한 연구는 한라산, 지리산, 덕유산 등 여러 지역에서 활발하게 진행되어 왔으나 분비나무에 대한 연구는 소수의 연구자에 의해 식생 구조(Kim *et al.*, 1996; Kim and Baek, 1998; Chun *et al.*, 2009, 2011, 2019) 및 천이연구(Chun *et al.*, 2010)가 일부 이루어졌을 뿐이다.

분비나무는 빙하기에 한반도에 정착한 후 온난기에 접어들면서 일부 고산지역에만 잔존하며 백두대간의 높은 산들이 분포남한계선에 해당하여 기후변화 연구에 적합한 종이다. 하지만 대부분의 관련 연구가 한반도 고유종인 구상나무에만 집중되는 실정이다. 분비나무는 중국과 시베리아 지역에 원산지가 넓게 분포하고 있으므로 구상나무와 달리 비교연구가 가능하다. 즉, 분비나무 연구를 통해 구상나무 쇠퇴 현상을 좀 더 깊게 이해할 수 있다. 이러한 측면에서 기후변화와 관련한 분비나무 연구는 중요성을 가진다. 본 연구는 식물사회학적 연구를 통해 최근의 기후변화로 인하여 쇠퇴가 우려되는 설악산 분비나무림의 식생군락을 분류하고 각각의 군락 유형이 가지는 특성을 비교분석 하였다. 현장연구가 수행된 시점으로부터 일정기간

시간이 흐르기는 하였으나 남한에서 가장 넓은 군락을 유지하고 있는 설악산 분비나무군락의 과거 상황을 상세하게 기록하고 분석하는 것은 갈수록 기후변화가 심화되고 있는 현재 아고산 식생의 보전 및 복원의 기초자료로 활용할 가치가 있을 것으로 생각된다.

연구방법

1. 연구대상지

설악산은 남한에서 1,500m를 넘는 높은 산들 중 가장 고위도에 위치하는 산으로 한대성 수목인 분비나무가 비교적 넓게 분포하고 있어서 본 연구 대상지로서 가장 적합한 곳이다. 설악산은 한반도 온대아구에 속하는 곳으로 참나무류가 우점하는 냉온대 활엽수림대에 해당되는 곳이나 대청봉, 중청봉, 소청봉 등 해발 1,500m 이상의 고해발역 산정부에는 아고산대 식생이 국지적으로 분포한다(Kong, 2000; Hong, 2004). 귀뚜기청봉에 설치한 미기상시스템을 통해 2011년부터 2018년까지 측정된 자료에 의하면 평균기온 3.7°C로 산정부는 아고산 식생대에 속하는 것으로 확인되었다(Chun *et al.*, 2019). 설악산의 분비나무는 해발 800m 가량부터 분포하며, 군락을 이루며 생육하는 해발고는 1,000m 이상의 지역이다(Lee, 2013). 본 연구는 설악산에서 분비나무가 비교적 균질한 군락을 형성하고 있는 대청봉-소청-끝청 구간과 설악폭포-대청봉 구간, 귀뚜기청봉, 한계령, 수렴동계곡-소청 구간, 소청-희운각 구간 등에서 이루어졌다. 주능선인 서북능선에는 분비나무 고사목이 많이 나타나고 있지만 현재 살아있는 분비나무들은 군락을 이루지는 못하고 개체 수준으로 분포하고 있어서 조사지역에서는 제외하였다(Figure 1).

2. 조사분석

조사는 2011년 7월부터 2013년 5월에 걸쳐 진행되었다. 조사지점은 분비나무군락의 사면별, 고도별 군락특성을 나타낼 수 있도록 지형조건을 고려하여 설악산 전체에서 고르게 선정하였다. 조사는 선정된 조사지에서 비교적 식분이 균질한 지점에 100m² 방형구 70개소를 설치하고 군락조사를 수행하였다.

조사구 내에서의 조사는 수직분포에 따라 층위를 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층의 4개 층위로 구분하여 실시하였다. 각 층위의 구분은 교목층은 수고 8m 이상, 아교목층 2~8m, 관목층은 2m 이하의 목본 수종으로 하고, 초본의 경우 초장과 상관없이 초본층으로 보았다. 각 층위별 조사 면적은 교목 및 아교목층은 100m² 전체, 관목과 초본은 25m²에 출현하는 개체들을 대상으로 하였으며, 각 층위별 수고, 흉고직경, 수관폭 등의 생육상태를 조사하고 우점도·군도, 층위별 식피율 등의 세력현황을 기록하였다. 환경요인으로는 경사, 암석비율, 낙엽층 두께 등의 주변환경을 기록하였다. 경사는 클리노미터를 이용하여 측정하였고, 암석비율은 조사구 내에서 노출된 암석의 면적비율을 조사하였으며, 낙엽층 두께는 조사구 내 3곳의 측정값 평균을 사용하였다.

조사된 방형구의 군락분류는 TWINSpan 기법을 이용하였고, Ordination 기법 중 DCA 기법을 이용한 서열분석을 실시하였다. TWINSpan 및 DCA 분석을 위한 군락 속성 자료는 Braun-Blanquet 우점도를 사용하였다. 최종적으로 군락분류와 서열분석 결과를 서로 비교 검토하여 군락의 분류가 적절하게 이루어졌는지를 확인하고 각 군락이 구분되는 주요 환경요인과의 관계를 검증하였다. 구분된 군락의 종다양도 및 최대종다양도(Shannon and Weaver, 1963), 우점도와 균재도(Pielou, 1975)를 산출하였다.

통계분석은 통계프로그램(IBM SPSS Statistics 21)을 이용하여 통계적 유의미 여부를 확인하였다. 군락간 특성 비교를 위한 분석은 평균비교, 분산분석, 교차분석 등을 수행하였다. 본 연구가 랜덤하게 고안된 실험실 연구가 아닌 자연 상태에서의 현장조사를 위주로 이루어졌기 때문에 일반적인 통계 방법의 적용에는 한계가 있었다. 표본 수에 한계가 있거나 수집된 표본이 정규 분포를 따르지 않을 경우에는 이들 분석 방법을 사용할 수가 없으므로 이를 판단하기 위하여 정규성 검정과 분산동질성 검정을 실시하였다. 이 두 가지의 조건을 만족하지 않을 경우 비모수 분석 방법인 Mann-Whitney test와 Kruskal-Wallis test를 수행하였다.

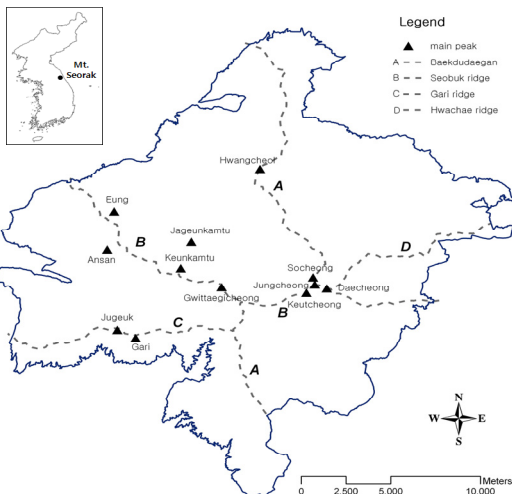


Figure 1. Map of the study site.

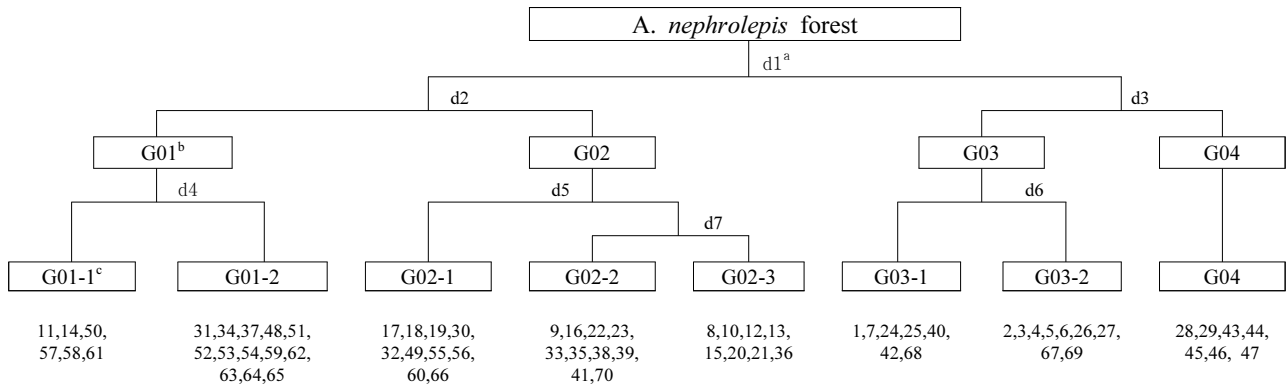


Figure 2. Classification of the *Abies nephrolepis* forest by TWINSpan in Mt. Seorak.

^a d1: *Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*(-), *Acer pseudosieboldianum*(+), *Betula ermanii*(-), *Euonymus sachalinensis*(+); d2: *Lonicera caerulea* var. *edulis*(-), *Spiraea fritschiana*(-), *Tripterygium regelii*(+), *R. schlippenbachii*(+), *Ac. komarovii*(+); d3: *B. costata*(+); d4: *Syringa wolfii*(-); d5: *Thuja koraiensis*(-), *R. brachycarpum*(-), *S. wolfii*(+); d6: *L. sachalinensis*(-), *Ac. komarovii*(-); d7: *Tripterygium regelii*(-), *Sorbus commixta*(-)

^b G01: *A. nephrolepis*-*L. caerulea* var. *edulis* community; G02: *A. nephrolepis*-*Ac. komarovii* community; G03: *A. nephrolepis*-*Ac. pseudosieboldianum* community; G04: *A. nephrolepis*-*Betula costata* community

^c G01-1: *A. nephrolepis*-*S. wolfii* subcommunity; G01-2: *A. nephrolepis*-*L. caerulea* var. *edulis* typical subcommunity; G02-1: *A. nephrolepis*-*T. koraiensis* subcommunity; G02-2: *A. nephrolepis*-*Tr. regelii* subcommunity; G02-3: *A. nephrolepis*-*Ac. komarovii* typical subcommunity; G03-1: *A. nephrolepis*-*L. sachalinensis* subcommunity; G03-2: *A. nephrolepis*-*Ac. pseudosieboldianum* typical subcommunity

결과 및 고찰

1. 식물사회학적 군락분석

1) TWINSpan에 의한 군락분류

설악산 분비나무림은 2개의 군락군, 4개 군락으로 구분되었고, 이들 군락은 다시 8개의 하위군락으로 분류되었다(Figure 2, Table 1). 구분된 군락을 도면위에 표시한 결과, 각각의 군락이 입지에 따라 구분되는 것으로 나타났으며(Figure 3), 특히 해발고도에서 차이를 보이는 것으로 확인되었다(Figure 4). 군락 구분은 식별종으로 털진달래(*Rhododendron mucronulatum*

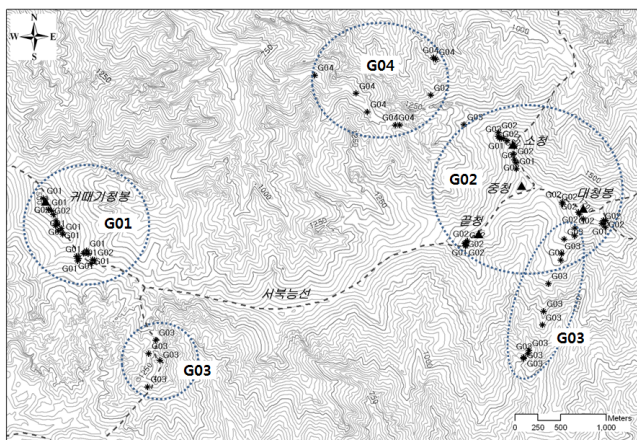


Figure 3. Positions of *Abies nephrolepis* communities.

var. *ciliatum*), 당단풍나무(*Acer pseudosieboldianum*), 사스래나무(*Betula ermanii*), 회나무(*Euonymus sachalinensis*)에 의해 분비나무-털진달래군락군(*A. nephrolepis*-*R. mucronulatum* group; G01, G02)과 분비나무-당단풍나무군락군(*A. nephrolepis*-*Ac. pseudosieboldianum* group; G03, G04)으로 나누어졌다. 분비나무-털진달래군락군은 봉우리 주변 및 능선에 위치하며, 털

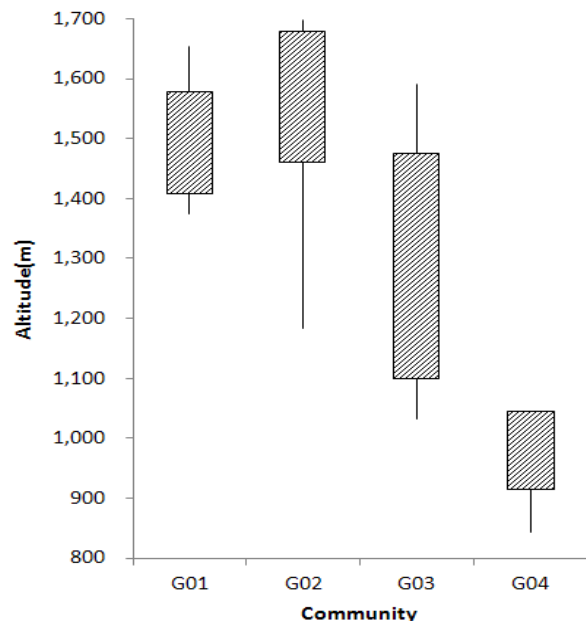


Figure 4. Elevation range of each communities.

Table 1. Synthesis table of *Abies nephrolepis* communities in Mt. Seorak.

Community	G01		G02			G03		G04
	G01-1	G01-2	G02-1	G02-2	G02-3	G03-1	G03-2	G04
No. of plots	6	13	10	10	8	7	9	7
No. of species	9.8±1.72	9.4±1.66	11.8±2.39	13.0±2.49	9.6±1.30	12.6±2.37	11.1±2.26	15.3±3.2
Altitude(m)	1,541±94	1,471±73	1,498±141	1,577±56	1,649±50	1,431±143	1,174±135	980±64
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i>	V 3-4	V 2-4	V +4	IV 4	V 1-4		II 3	
<i>Betula ermanii</i>	V +3	V 2	V 3	V 1-3	V +3	IV 3	II 2	I 1
<i>Lonicera caerulea</i> var. <i>edulis</i>	V 2	V 2	I +		II +			
<i>Spiraea fritschiana</i>	IV 1	V 2	I	II 1	II +	II 3	II 2	I +
<i>Syringa wolfii</i>	V 3		I +	IV 2	IV 2	III 2		
<i>Rhododendro schlippenbachii</i>			I +	IV 3	III 2	III 2	V 3	I +
<i>Acer komarovii</i>	I +	II +	III 2	V 1	V 3	IV 2	III 1	III 2
<i>Thuja koraiensis</i>	III 4	II 4	V 4	I 1		II 2		III 4
<i>Rhododendron brachycarpum</i>	I +	I +	V 2	I 1		I +	I 1	III +
<i>Tripterygium regelii</i>	I +	I 2	IV 3	V 4	II +	V 1-3	IV 3	IV 2
<i>Sorbus commixta</i>	I 1	IV 2	III 2	V 3		III 2	II 1	I 1
<i>Acer pseudosieboldianum</i>			I +	III 2	I +	V 3	V 4	IV 1
<i>Euonymus sachalinensis</i>		II 1	I +	II 1	I +	III 1	III 2	V 1
<i>Betula costata</i>								IV 3
<i>Lonicera sachalinensis</i>		III 1	V 2	IV 2	IV 2	IV 2		
<i>Sorbaria sorbifolia</i>	I 1	I +		I +				
<i>Rosa suavis</i>		I +	I					
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i>	I		I					
<i>Weigela florida</i>	I 1	II 2	I 1	I +	II 1		I +	
<i>Salix caprea</i>	IV 1		III 1	III 2				
<i>Pinus pumila</i>		I +	I 2		II 3			
<i>Berberis amurensis</i>			I +					
<i>Taxus caespitosa</i>		I +	II 3					
<i>Taxus cuspidata</i>			II +	I 2				
<i>Lonicera subsessilis</i>				I				
<i>Vaccinium hirtum</i> var. <i>koreanum</i>	III 1	I	II +	II +	IV 1	II +	III +	
<i>Abies nephrolepis</i>	V 2-4	V 2-4	V 2-4	V +4	V 3-4	V 4	V 2-4	V 1-3
<i>Pinus koraiensis</i>	V +	III 1	II +	III 2	II 1	V 2	V 3	IV 1
<i>Quercus mongolica</i>	IV 1	I +	III 2	IV 2	V 3	III 4	III 3	I 1
<i>Syringa patula</i>		IV 2	II 1	II 2	III 2	I 1	I +	II 1
<i>Alnus maximowiczii</i>				III 1				II 2
<i>Acer ukurunduense</i>		I 1	II 2	I 1		III 2		II 2
<i>Syringa reticulata</i> var. <i>mandshurica</i>						I +	II +	III 1
<i>Betula schmidtii</i>						I	II 3	III 1
<i>Lindera obtusiloba</i>							III 1	I 2
<i>Tilia amurensis</i>						II 1	III 3	III 2
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>						II 1	II 2	III 2
<i>Acer barbinerve</i>				I +		III 1	I 1	III 4
<i>Magnolia sieboldii</i>						III 4	I 2	IV 3
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>							II 1	III 1
<i>Abies holophylla</i>							I 2	II 2
<i>Prunus maackii</i>								II 2
<i>Ulmus lanciniata</i>								I 1
<i>Actinidia arguta</i>								I 2
<i>Aralia elata</i>								I +
<i>Rubus idaeus</i> var. <i>microphyllus</i>								I 1
<i>Pinus densiflora</i>							I 1	III 3
<i>Kalopanax septemlobus</i> var. <i>maximowiczii</i>								II 2
<i>Rhododendron mucronulatum</i>								II +
<i>Salix maximowiczii</i>								I 2
<i>Cornus controversa</i>								III 1
<i>Populus maximowiczii</i>								II 1
<i>Viburnum dilatatum</i>							I 1	
<i>Carpinus cordata</i>							I 3	
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>							I +	
<i>Maackia amurensis</i>							II 1	
<i>Prunus padus</i>	I 1			I +		III 3	I 1	I +
<i>Oplopanax elatus</i>						I +		
<i>Rubus crataegifolius</i>						I +		
<i>Actinidia kolomikta</i>			I +			II 1		I +

진달래와 사스래나무가 높은 상대도를 보이고 있다. 분비나무-당단풍나무군락군은 계곡부 및 사면부에 위치하며 당단풍나무와 회나무에 의해 구분되어졌다.

식별종으로 나타난 털진달래와 사스래나무는 설악산 아고산대를 대표하는 수종이다. Kwon *et al.*(2010)은 설악산 아고산대 식생을 털진달래-사스래나무군락군으로 분류하였으며, Kim and Baek(1998)의 설악산 연구에서도 사스래나무와 털진달래는 눈잣나무와 함께 분비나무와 정의 상관관계를 보이는 것으로 확인되었다. 당단풍나무가 고도가 높고 건조한 조건의 봉우리 및 능선부 식생과 능선 아래 고도가 더 낮고 적합한 조건의 식생을 나누는 식별종으로 나타났는데, 이러한 결과는 고도가 증가할수록 당단풍나무의 중요치가 떨어진다는 Yim and Baek(1985)의 연구 결과와 당단풍나무는 습한 사면에서 높은 중요치를 보이는 수종이라고 보고한 Lee *et al.*(1994)의 결과와 일치하였다.

분비나무-털진달래군락군은 땃대이나나무(*Lonicera caerulea* var. *edulis*), 참조팝나무(*Spiraea fritschiana*), 미역줄나무(*Tripterygium regelii*), 철쭉(*R. schlippenbachii*), 시닥나무(*Ac. komarovii*)에 의해 분비나무-땃대이나나무군락(*A. nephrolepis*-*L. caerulea* var. *edulis* community; G01)과 분비나무-시닥나무군락(*A. nephrolepis*-*Ac. komarovii* community; G02)으로 구분되었다. 이 두 군락도 지리적인 격리를 보이고 있는데, 분비나무-땃대이나나무군락은 귀뚜라기정봉을 중심으로 분포하고 있으며, 분비나무-시닥나무군락은 대청-소청-끝청 지역에 분포하고 있는 군락이다. Park and Hong(1959)은 설악산 1,500~1,700m의 분비나무-시닥나무 군총을 보고한 바 있다.

분비나무-당단풍나무군락군은 거제수나무(*B. costata*)에 의해 분비나무-당단풍나무군락(*A. nephrolepis*-*Ac. pseudosieboldianum* community; G03)과 분비나무-거제수나무군락(*A. nephrolepis*-*B. costata* community; G04)으로 분리되었다. 분비나무-당단풍나무군락은 남사면의 설악폭포 주변과 한계령 지역에 분포하고 있으며, 분비나무-거제수나무군락은 북사면에 위치하는 수렴동계곡 상류부를 중심으로 분포하고 있다.

위의 4개 군락은 각 군락별로 서로 다른 식별종에 의해 다시 8개의 하위군락으로 구분되었다. 분비나무-땃대이나나무군락(G01)은 분비나무-꽃개회나무 하위군락(*A. nephrolepis*-*Syringa wolfii* subcommunity; G01-1)과 분비나무-땃대이나나무 전형하위군락(*A. nephrolepis*-*L. caerulea* var. *edulis* typical subcommunity; G01-2)으로, 분비나무-시닥나무군락(G02)은 분비나무-눈쭈백 하위군락(*A. nephrolepis*-*Thuja koraiensis* subcommunity; G02-1), 분비나무-미역줄나무 하위군락(*A. nephrolepis*-*T. regelii* subcommunity; G02-2), 분비나무-시닥나무 전형하위군락(*A. nephrolepis*-*Ac. komarovii* typical subcommunity; G02-3)으로, 분비나무-당단풍나무군락(G03)은 분비나무-홍괴불나무 하위군락(*A. nephrolepis*-*L. sachalinensis* subcommunity; G03-1)과 분비나무-당단풍나

무 전형하위군락(*A. nephrolepis*-*Ac. pseudosieboldianum* typical subcommunity; G03-2)으로 구분되었는데, 이들 하위군락의 구분은 입지 환경의 차이에 따른 식물종 구성의 차이에 의한 것으로 판단된다. Lee(2003)는 설악산의 교목식생의 분포에 고도, 온도, 광선 및 토양 수분함량 등의 환경인자가 영향을 미치는 것으로 보고한 바 있다.

2) DCA에 의한 서열분석

DCA 기법을 이용한 설악산 분비나무군락의 서열분석 결과는 제 1축을 기준으로 봉우리-능선부 군락(분비나무-털진달래군락군)과 계곡-사면부 군락(분비나무-당단풍나무군락군)간 구분이 명확하게 이루어졌다(Figure 5). 계곡-사면부 군락은 제 2축에 의하여 남사면의 분비나무-당단풍나무군락(G03)과 북사면의 분비나무-거제수나무군락(G04) 간에 뚜렷한 거리가 형성되었다. 따라서 설악산 분비나무군락을 구분 짓는 첫 번째 기준은 해발고이며, 두 번째 기준은 사면분포임을 알 수 있다. 봉우리-능선부에 분포하여 제 2축의 기준인 사면분포가 큰 영향을 미치지 않는 분비나무-털진달래군락군에 속한 군락들은 같은 군락들끼리 유의하게 묶이기는 했으나 군락 간 상대적인 거리가 매우 가깝게 나타났다. 군락 간 거리가 가깝게 나타나는 것은 군락들 사이의 유사성이 높음을 의미한다.

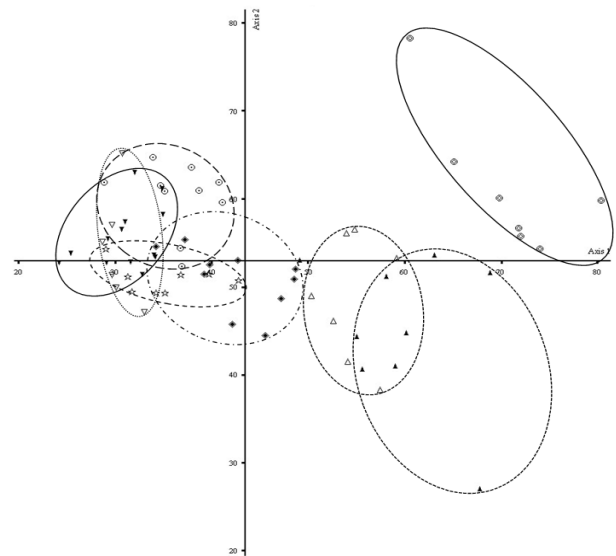


Figure 5. Ordination analysis of the communities. eigenvalue: axis1=0.4908, axis2=0.2435;

▽: *A. nephrolepis*-*Syringa wolfii* subcommunity; ▼: *A. nephrolepis*-*Lonicera caerulea* var. *edulis* typical subcommunity; ●: *A. nephrolepis*-*Thuja koraiensis* subcommunity; ◆: *A. nephrolepis*-*Tripterygium regelii* subcommunity; ☆: *A. nephrolepis*-*Acer komarovii* typical subcommunity; △: *A. nephrolepis*-*L. sachalinensis* subcommunity; ▲: *A. nephrolepis*-*Ac. pseudosieboldianum* typical subcommunity, ◎: *A. nephrolepis*-*B. costata* community

2. 군락 간 특성 비교

1) 입지환경과 군락 분포

군락별 분포 고도, 암석비율을 비교한 결과, 각 군락은 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 2). 분비나무-털진달래군락군(G01, G02)은 분비나무-당단풍나무군락군(G03, G04)에 비하여 더 높은 고도에 분포하며, 암석비율도 더 높은 경향을 보였다. 군락별로는 분비나무-시닥나무군락(G02), 분비나무-맹덩이나무군락(G01), 분비나무-당단풍나무군락(G03), 분비나무-거제수나무군락(G04) 순의 고도 분포를 나타냈다(Figure 4). 암석비율은 귀때기청봉 지역의 분비나무-맹덩이나무군락이 대청-소청-끝청 지역의 분비나무-시닥나무군락보다 높게 나타났으며, 북사면 분비나무-거제수나무군락이 남사면 분비나무-당단풍나무군락보다 높았다. 설악산에서 노출된 암석이 만드는 입지는 큰 암석들이 모여서 암괴류를 형성하는 특징을 보인다. 암석비율이 높은 암괴형 입지는 토양이 부족하고 부엽토가 토양 역할을 하므로 토심, 배수조건 등에서 일반적인 산림 토양 입지와는 다른 기반환경이 조성된다. 암석비율의 차이는 설악산의 지질 현황과 상관관계를 보였는데, 암석의 생성시기와 종류에 따라 풍화의 정도 및 결과가 다르게 나타나기 때문에 이러한 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 암석비율이 높은 귀때기청봉 및 수렴동계곡부는 중생대 화강암층으로 이루어진 젊은 지형이며, 암석비율이 상대적으로 낮은 대청봉 주변지역과 설악폭포~대청봉 하부 구간은 고원생대 변성암류 암석층으로 생성된 후 오랜 시간이 경과된 지형이다(KIGAM, 2013).

Table 2. Comparison of altitude and rock-ratio

	G01	G02	G03	G04	χ^2	sig.
Altitude	1,493 ±85.0	1,570 ±110.2	1,287 ±187.7	980 ±63.6	39.27	0.000**
Rock-ratio	77.2 ±25.16	48.4 ±30.58	34.3 ±28.02	60.0 ±16.73	18.76	0.000**

*p<0.05, **p<0.01

입지 및 토양 특성은 교차분석을 통해 비교하였다(Table 3). 입지 분포에서 분비나무-털진달래군락군은 모두 봉우리 주변 및 능선 또는 능선부 사면에 분포하고 있으며, 분비나무-당단풍나무군락군은 계곡 및 사면부에 주로 분포하는 것으로 나타났다. 토양은 암석비율에 따라 암괴형(≥90%), 준암괴형(≥70%), 준토양형(≤50%), 토양형(≤30%)으로 구분하여 비교하였다. 분비나무-털진달래군락군의 귀때기청봉 지역 분비나무-맹덩이나무군락(G01)은 암석비율이 높은 암괴형 및 준암괴형 지형을 이루고 있는 반면, 대청봉-소청-끝청 지역 분비나무-시닥나무군락(G02)은 다양한 토양 형태가 나타나고 있다. 이는 앞서와 같이 기반암의 차이로 인한 암석 풍화 진행속도의

차이에서 기인한 것으로 보인다. 계곡-사면부의 분비나무-당단풍나무군락군에서는 토양형과 준토양형 비율이 높게 나타났다. 입지와 토양의 차이는 군락 간 수분, 양분 등에서 서로 다른 미소환경을 형성하게 함으로써 해당 환경에 적합한 식물종이 나누어 분포하도록 하는 주요한 요인이 된다(Kojima, 1991).

Table 3. Crosstab of the location and the soil type

		G01	G02	G03	G04	χ^2	sig.
Location	Ridge	9 (47.4 ^a)	14 (50.0)	-	-	68.481	0.000**
	Ridge-slope	10 (52.6)	14 (50.0)	12 (75.0)	-		
	Valley	-	-	-	4 (57.1)		
	Valley-slope	-	-	4 (25.0)	3 (41.9)		
Soil-type	Block field ^b	13 (68.4)	4 (14.3)	1 (6.3)	1 (14.3)	33.446	0.001**
	Semi-block field	2 (10.5)	7 (25.0)	2 (12.5)	1 (14.3)		
	Semi-soil	1 (5.3)	5 (17.9)	4 (25.0)	4 (57.1)		
	Soil	2 (10.5)	9 (32.1)	8 (50.0)	-		

^a Percentage in the community

^b The sum can be under 100% because there are missing data in soil-type. The criterion of soil-type is the rock ratio. The soil-type is 'block field' when the rock ratio is over 90%, 'semi-block field' in over 70%, 'semi-soil' in under 50% and 'soil' in under 30%.

*p<0.05, ** p<0.01

낙엽층 두께는 분비나무-털진달래군락군에 속한 군락들에서 분비나무-당단풍나무군락군에 속한 군락들에 비하여 더 두껍게 나타났다(Table 4). 이러한 결과를 보이는 이유는 이들 군락이 높은 고도에서 출현하기 때문에 낮은 온도 조건으로 인하여 낙엽층의 분해가 더디게 일어나기 때문이다(Jang *et al.*, 1987; Hong, 2004; Chun *et al.*, 2010). 또한 분비나무-털진달래군락군의 경우 관목층이 매우 높은 밀도로 발달하였는데, 발달한 관목층은 보호막으로 작용하여 낙엽층이 바람에 날리는 것을 막아주는 역할을 함으로써 퇴적물이 유지되도록 한다(Butler *et al.*, 2009). 반면, 분비나무-당단풍나무군락군은 분비나무-털진달래군락군에 비하여 관목층 발달이 낮은 것으로 나타났다(Table 5).

Table 4. Comparison of the depth of litter layer

	G01	G02	G03	G04	χ^2	sig.
Depth of litter layer(cm)	7.7±1.81	7.9±1.94	6.3±3.01	5.6±1.27	8.81	0.032*

*p<0.05, **p<0.01

2) 군락별 식생구조 및 동태

출현종수, 개체수, 식피율에서도 군락 간에 뚜렷한 차이를 보이고 있다(Table 5). 출현종수는 계곡-사면부 군락인 분비나무-당단풍나무군락군에서 봉우리-능선부 군락인 분비나무-털진달래군락군 보다 더 많은 종이 출현하였다. 북사면인 수렴동 계곡 지역 분비나무-거제수나무군락(G04)에서 가장 많은 목본 출현종수를 보이고 있고, 남사면 분비나무-당단풍나무군락(G03)에서는 초본이 다른 곳에 비해 많이 나타났다. 귀뚜기청봉을 중심으로 하는 분비나무-맹맹이나무군락(G01)은 목본과 초본 모두 가장 낮은 출현종수를 보였다.

개체수 비교에서는 교목층에서 가장 큰 차이를 나타냈다. 분비나무-털진달래군락군에서는 교목층이 거의 형성되지 못하고 있으나, 분비나무-당단풍나무군락군에서는 100m² 당 6~8 개체의 교목이 자라고 있다. 분비나무-털진달래군락군에서 교목층이 형성되지 못한 이유는 이들 군락이 봉우리 주변이나 능선부에 위치함에 따라 교목층 형성에 여러 제약을 가질 수밖에 없기 때문이다. 먼저 강한 바람의 영향으로 크게 자라지 못한다(Bulter *et al.*, 2009). Kong(2000)의 연구에 의하면 설악산에는 강풍으로 인하여 정상부와 바람이 넘어가는 능선 지역에 국지적 교목한계선(local tree-line)이 형성되어 있다. 또한 낮은 산지에 비해 생육기간이 짧고(Paulsen *et al.*, 2000), 온도가 낮아 나무가 교목까지 자라지 못한다. 아교목층은 교목층과는 달리 분비나무-털진달래군락군에서 더 많은 개체수를 보였는데, 이는 교목층이 발달한 분비나무-당단풍나무군락군에서는 하층에 도달하는 빛이 부족하여 아교목층의 발달이 덜하기 때문으로 판단된다. 관목층에서는 통계적으로 유의미한 차이를 확인할 수 없었다.

식피율에 있어서는 관목층에서 군락 간 큰 차이를 보였다. 교목층이 제대로 발달하지 못한 분비나무-털진달래군락군에서는 양호한 광조건이 형성되어 80~ 90%의 높은 관목층 식피율

을 보이고 있는 반면, 분비나무-당단풍나무군락군은 50% 내외의 값으로 조사되었다.

군락 간에는 교목층과 아교목층 수목 규격에서도 차이를 보였다(Table 6). 교목층의 경우 분비나무-털진달래군락군은 교목층을 형성하지 못하거나 교목층까지 자란다고 해도 수고 10m를 넘지 못했다. 반면, 분비나무-당단풍나무군락군에서는 교목층이 11m 이상 큰 키로 자라는 것으로 확인되었다. 교목층 흉고직경은 유의한 차이를 보이지 않았다. 아교목층의 경우 분비나무-털진달래군락군의 아교목은 수고는 낮았으나 흉고직경은 컸고, 분비나무-당단풍나무군락군의 아교목은 수고는 크지만 흉고직경은 작았다. 이는 봉우리-능선부 아교목층은 교목층까지 수고생장을 하지는 못하지만 오랜기간 생장을 지속하여 큰 흉고직경을 가진 반면, 계곡-사면부의 아교목은 짧은 기간에 현재의 수고까지 성장했기 때문에 흉고직경은 작게 나타난 것으로 보인다.

Table 6. Comparison of the tree height and DBH

		G01	G02	G03	G04	χ^2	sig.
Height (m)	tree	-	8.6±0.93	11.2±1.93	12.1±1.68	10.77	0.005**
	sub-tree	3.6±0.46	3.7±0.57	4.6±0.50	4.4±0.40	23.48	0.000**
DBH (cm)	tree	-	23.9±3.89	26.8±4.79	23.8±4.15	2.79	0.248
	sub-tree	8.7±1.46	9.4±1.75	8.5±3.00	7.0±1.24	10.9	0.012*

*p<0.05, **p<0.01

종다양도에서도 군락 간에 유의한 차이를 보였다(Table 7). 분비나무-털진달래군락군은 분비나무-당단풍나무군락군에 비하여 낮은 종다양도와 균재도를 보이고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 보이는 이유는 이 군락군에 속한 군락들은 교목층이 제대로 발달하지 못함에 따라 관목층에 털진달래, 맹맹이나무 등의 몇몇 관목류가 높은 밀도로 우점하고 있어서 출현종수가 적고 우점도가 높기 때문이다. 이 중에서도 귀뚜기청봉 지역의 분비나무-맹맹이나무군락(G01)이 가장 낮은 종다양도를 보였다. 특히 귀뚜기청봉 지역은 강한 국지풍의 영향을 많이 받는 곳으로 관목층의 식피율이 높고 표층이 주로 화강암의 암괴를 토대로 한 너털지대로서 설악산의 타 조사지에 비하여 출현종수가 매우 낮은 것으로 보고된 바 있다(Chun *et al.*, 2019). 분비나무-당단풍나무군락군은 분비나무-털진달래군락군에 비하여 상대적으로 높은 종다양도와 균재도를 보이고 있는데, 이는 군락의 중-하층부에서 비교적 다양한 종들이 고르게 출현하고 있기 때문이다. 북사면 수렴동계곡부의 분비나무-거제수나무군락(G04)이 가장 높은 종다양도를 나타냈다.

Table 5. Comparison of the number of species, individuals, and the coverage

		G01	G02	G03	G04	χ^2	sig.
No. of Sp.	wood	9.5±1.7	11.6±2.5	11.8±2.4	15.3±3.2	19.07	0.000**
	herb	1.2±1.8	3.2±2.2	5.1±3.2	2.7±1.6	20.95	0.000**
	total	10.7±2.5	14.8±3.2	16.9±4.0	18.0±4.0	27.22	0.000**
No. of Indiv. ¹	tree	-	1.3±2.9	6.7±3.3	8.3±2.8	48.35	0.000**
	sub-tree	21.5±7.1	25.1±9.5	15.0±9.5	18.1±8.8	11.92	0.008**
	shrub	8.9±2.4	11.0±3.5	10.4±3.4	11.6±5.2	4.72	0.193
Coverage (%)	tree	-	10.9±24.1	66.3±24.7	67.1±16.0	50.02	0.000**
	sub-tree	60.0±18.9	64.5±16.5	62.2±22.7	62.9±16.0	0.74	0.864
	shrub	90.5±13.2	82.7±16.4	48.8±16.3	53.6±28.1	32.72	0.000**
	herb	10.6±22.0	16.6±22.8	30.9±22.2	10.7±6.7	18.02	0.000**

¹ 100m² in tree and sub-tree layer, 25m² in shrub layer

*p<0.05, **p<0.01

Table 7. Comparison of the species diversity indices

	G01	G02	G03	G04	χ^2	sig.
H'	0.7166 ±0.1129	0.8147 ±0.1435	0.9293 ±0.1078	1.0121 ±0.1043	27.03	0.000**
H'max	0.9726 ±0.0771	1.0572 ±0.0892	1.062 ±0.0856	1.1758 ±0.0941	19.69	0.000**
J'	0.7353 ±0.0857	0.7679 ±0.1040	0.8741 ±0.0640	0.8609 ±0.0546	24.98	0.000**
D'	0.2647 ±0.0857	0.2321 ±0.1040	0.1259 ±0.0640	0.1391 ±0.0546	24.98	0.000**

H': species diversity of Shannon; H'max: maximum species diversity; J': evenness; D': dominance
*p<0.05, **p<0.01

감사의 글

본 연구는 학위논문의 일부를 재정리한 내용입니다. 보호지역 내에서 연구를 수행할 수 있도록 허가하고 자료에 도움을 주신 국립공원공단과 설악산국립공원사무소 관계자분들께 깊이 감사드립니다.

REFERENCES

- Butler, D.R., G.P. Malanson, S.T. Walsh and D.B. Fagre(2009) The Changing Alpine Treeline. Elsevier, Hungary, 40-41pp. (in English)
- Chun, Y.M., H.Y. Lee, J.H. Kwon and H.C. Park(2019) Monitoring on the Structure and Dynamics of *Abies nephrolepis* Population in Seoraksan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 33(5): 565-577. (in Korean with English abstract)
- Chun, Y.M., H.Y. Lee, J.H. Kwon and H.C. Park(2019) Monitoring on the Structure and Dynamics of *Abies nephrolepis* Populations in Seoraksan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 33(5): 565-577. (in Korean with English abstract)
- Chun, Y.M., J.H. Kwon, M.P. Hong, J.S. Lee, H.L. Choung and S. Lee(2010) Habitat Environment and Succession of *Abies nephrolepis* Forest in Mt. Seorak. The Geographical Journal of Korea 44(1): 93-102. (in Korean with English abstract)
- Chun, Y.M., J.K. Ahn, M.P. Hong, J.T. Shin, H.J. Won and S. Lee(2011) Structure and Dynamics of *Abies nephrolepis* Community in Odaesan National Park. The Geographical Journal of Korea 45(4): 559-570. (in Korean with English abstract)
- Chun, Y.M., M.P. Hong, J.H. Kwon, J.S. Lee, H.L. Choung and S. Lee(2009) A Study on Community Structure and Growth Variation of *Abies nephrolepis* Forest in Mt. Seorak. The Geographical Journal of Korea 43(2): 125-137. (in Korean with English abstract)
- Chung, J.M., S.W. Lee and K.Y. Lee(1996) Vegetation Structure, Regeneration Niche, and Dynamics of the Saplings in *Abies koreana* Forest of the Mt. Chiri. J. Korean For. Soc. 85(1): 34-43. (in Korean with English abstract)
- Davis, M.B., R.G. Shaw and J.R. Etterson(2005) Evolutionary responses to changing climate. Ecology 86: 1704-1714. (in English)
- Hickling, R., D.B. Roy, J.K. Hill, R. Fox and C.D. Thomas(2006) The distribution of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. Global Change Biology 12: 450-455. (in English)
- Hong, M.P.(2004) Ecological Studies on the Forest Vegetation of Mt. Seorak. Ph.D. Dissertation, Konkuk Univ., Seoul, 293pp. (in Korean with English abstract)
- Horikawa, M., I. Tsuyama, T. Mstui, Y. Kominami and N. Tanaka(2009) Assessing the potential impacts of climate change on the alpine habitat suitability of Japanese stone pine (*Pinus pumila*). Landscape Ecology 24: 115-128. (in English)
- Hughes, L.(2000) Biological consequences of global warming: Is the signal already present? Trends in Evolution and Ecology 15: 56-61. (in English)
- Jang, C.S., J.I. Jeon and J.O. Hyun(1997) An Analysis of Morphological Variaton in *Abies koreana* Wilson and *A. nephrolepis* (Traut.) Maxim. of Korea (Pinaceae) and Their Phylogenetic Problems. J. Korean For. Soc. 86(3): 378-390. (in Korean with English abstract)
- Jang, D.W. and Y.I. Youn(2003) A Basic Survey about Dead Tree of Old Korean Fir Stands in Mt. Sorak. Korean J. Environ. Biol. 21(3): 251-256. (in Korean with English abstract)
- Jang, N.K., S.K. Lee, B.S. Lee and H.B. Kim(1987) The Decay Map and Turnover Cycles of Litters in Korea. Korean J. Ecol. 10(4): 183-193. (in Korean with English abstract)
- Joo, M.C.(2003) The study on the variation of Leaf characteristics in Genus *Abies*. J. Environmental Research 8(1): 87-96. (in Korean with English abstract)
- Jun, J., K. Kim, J. Yoo, Y. Jeong and C. Jeong(2005) Interactions and Changes between Sapflow Flux, Soil Water Tension, and Soil Moisture Content at the Artificial Forest of *Abies holophylla* in Gwangneung, Gyeonggi-do. J. Korean For. Soc. 94(6): 496-503. (in Korean with English abstract)
- Jung, Y.H., S.H. Han, Y.S. Oh, M.H. Ko, S.C. Koh, M.H. Kim and M.Y. Oh(2000) Genetic Variation and Phylogenetic Analysis of Genus *Abies* Distributed in Korea Based on RAPD and Nuclear rRNA ITS2 Sequences. Korean J. Genetics 22(4): 341-354. (in Korean with English abstract)
- Kang, S.J., A.K. Kwak and T. Kikuchi(1997) A Phytosociological Description of the *Abies koreana* Forest on Mt. Halla in Cheju Island, Korea. Korean J. Ecol. 20(2): 293-298. (in Korean with English abstract)
- KIGAM(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)

- (2013) Geological map. <http://geoinfo.kigam.re.kr>.
- Kim, C.H., M.G. Jo, J.K. Kim, M.S. Choi, J.M. Chung, J.H. Kim and H.S. Moon(2012) Vegetation Change and Growing Characteristics of *Abies koreana* Population by Altitude in Georim Valley of Mt. Jiri. J. Agriculture & Life Science 46(1): 1-8. (in Korean with English abstract)
- Kim, E.S.(1994) Decline of Tree Growth and the Changes of Environmental Factors on High Altitude Mountains. KOSEF, 89pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.B., K.J. Lee and J.O. Hyun(1998) Regeneration of Seedlings under Different Vegetation Types and Effects of Allelopathy on Seedling Establishment of *Abies koreana* in the Banyabong Peak. Mt. Chiri. J. Korean For. Soc. 87(2): 230-238. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T. and G.C. Choo(1999) Studies on the Structure of Forest Community in Subalpine Zone of Togyusan: *Abies koreana* Forest. Korean J. Environ. Ecol. 13(1): 70-77. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T. and G.C. Choo(2000) Comparison of Growth Condition of *Abies koreana* Wilson by Districts. Korean J. Environ. Ecol. 14(1): 80-87. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T. and G.J. Beak(1998) Studies on the Structure of Forest Community at Taech'ongbong-Hangyeryong Area in Soraksan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 11(4): 397-406. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., G.C. Choo and J.G. Koh(2001) Experimental Planting of the Seedlings for the Restoration of *Abies koreana* Forest in Hallasan. Korean J. Environ. Ecol. 15(3): 207-212. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., G.C. Choo and T.W. Um(1996) Studies on the Structure of Forest Community at Turobong-Sangwangbong Area in Odaesan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 10(1): 160-168. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., G.C. Choo and T.W. Um(2007) Studies on the Structure of *Abies koreana* Community at Subalpine Zone in Hallasan. Korean J. Environ. Ecol. 21(2): 161-167. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., J.S. Kim and G.C. Choo(1991) Studies on the Structure of Forest Community at Banyabong Area: *Abies koreana* Forest. Korean J. Environ. Ecol. 5(1): 25-31. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. and J.O. Hyun(1999) Genetic Variation in the Natural Populations of *Abies holophylla* Max. Based on RAPD Analysis. J. Korean For. Soc. 88(3): 408-418. (in Korean with English abstract)
- Kim, O.R.(1978) Studies on Prechilling and Light-Sensitivity in the Germination of *Abies* Seeds. Jinju A. & F. Jr. Coll. 16: 37-40. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.D. and G.C. Choo(1995) A Palynotaxonomic Study of Genus *Abies* in Korea. J. Agric. Tech. Res. Inst.(Chinju Nat. Univ.) 8: 1-8. (in Korean with English abstract)
- Koh, J.G., D.S. Kim, S.C. Koh and M.H. Kim(1996) Dynamics of *Abies koreana* Forests in Mt. Halla. J. Cheju Studies 13: 223-241. (in Korean with English abstract)
- Kojima, S.(1991) Classification and ecological characterization of coniferous forest phytogeocoenoses of Hokkaido, Japan. Vegetatio 96: 25-42. (in English)
- Kong, W.S.(1998) The Alpine and Subalpine Geoecology of the Korean Peninsula. Korean J. Ecol. 21(4): 383-387. (in English)
- Kong, W.S.(2000) Geoecology on the Subalpine Vegetation and Landscape of Mt. Sorak. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences 35(2): 177-187. (in Korean with English abstract)
- Kong, W.S.(2005) Selection of Vulnerable Indicator Plants by Global Warming. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences 41(2-1): 263-273. (in Korean with English abstract)
- Kong, W.S.(2006) Biogeography of Native Korean Pinaceae. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences 41(1): 73-93. (in Korean with English abstract)
- Koo, K.A., W.K. Park and W.S. Kong(2001) Dendrochronological Analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: Effects of Climate Change on the Growths. Korean J. Ecol. 24(5): 281-288. (in Korean with English abstract)
- Kormutak, A., S.W. Lee, S.D. Han and Y.P. Hong(2003) Microsporogenesis and Pollen Viability in *Abies holophylla* Maxim. Jour. Korean For. Soc. 92(5): 504-512. (in English)
- Kwon, H.J., J.H. Kwon, K.S. Han, M.Y. Kim and H.K. Song(2010) Subalpine Forest Vegetation of Daecheongbong Area, Mt. Seoraksan. Korean J. Environ. Ecol. 24(2): 194-201. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.S. and H.J. Cho(1993) Structure and Dynamics of *Abies koreana* Wilson Community in Mt. Gaya. Korean J. Ecol. 16(1): 75-91. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.J., J.S. Lee and D.W. Byun(1994) Community Classification and Vegetation Pattern of *Quercus mongolica* Forest in Mt. Myuonjjii. Korean J. Ecol. 17(2): 185-201. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.Y.(2013) The Phytosociological Characteristics of *Abies nephrolepis* Community and Population Dynamics as Climate Condition Changes in Mt. Seorak, Korea. Ph.D. Thesis, Dongguk University, Seoul, 181pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, I.Y.(2003) Temporal Changes in the Vegetation and Microenvironmental Factors Affecting the Vegetation Distribution in Mt. Sorak. Master's Dissertation, Catholic Univ., Seoul, 73pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J., J.S. Kim, J.W. Choi and B.H. Han(2008) Vegetation Structure of *Abies holophylla* Forest near Woljeong Temple in Odaesan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 22(2):

- 173-183. (in Korean with English abstract)
- Lee, T.B.(1970) *Abies koreana* and Its New Forms Discovered. J. Korean For. Soc. 10: 5-6. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y.W. and S.C. Hong(1995) Ecological Studies on the Vegetational Characteristics of the *Abies koreana* Forest. J. Korean For. Soc. 84(2): 247-257. (in Korean with English abstract)
- Lim, J.H., S.Y. Woo, M.J. Kwon and Y.K. Kim(2007) Antioxidant Enzyme Activities and Soil Properties of Healthy and Declining *Abies koreana* (Wils.) in Mt. Halla. J. Korean For. Soc. 96(1): 14-20. (in Korean with English abstract)
- Lim, J.H., S.Y. Woo, M.J. Kwon, J.H. Chun and J.H. Shin(2006) Photosynthetic Capacity and Water Use Efficiency under Different Temperature Regimes on Healthy and Declining Korean Fir in Mt. Halla. J. Korean For. Soc. 95(6): 705-710. (in Korean with English abstract)
- Nam, S.Y., S.I. Yoo, W.G. Park and S.S. Han(2000) Ecological Research of *Abies holophylla* Forest at Wol-jong Temple(Mt. Odae, Kangwon-do). J. For. Sci. Kangwon Nat'l Univ. 16: 69-81. (in Korean with English abstract)
- Oh, K.K., Y.K. Jee and S.G. Park(2000) Dynamic Patterns of *Abies koreana* Population in Chirisan National Park: Central of East Area in Chirisan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 13(4): 330-339. (in Korean with English abstract)
- Park, M. and W. Hong(1959) Investigation Report on Plant Communities of Mt. Sulak. J. Plant Biology 2(2): 1-21. (in Korean with English abstract)
- Park, P.S. and Y.G. Jeon(2010) Stand Structure and Seedling Recruitment of *Abies holophylla* Stands in Yong-In Area, Gyeonggi-do. J. Korean For. Soc. 99(1): 153-162. (in Korean with English abstract)
- Park, W.K. and J.W. Seo(1999) A Dendroclimatic Analysis on *Abies koreana* in Cheonwang-bong Area of Mt. Chiri, Korea. The Korean Journal of Quaternary Research 13(1): 25-33. (in Korean with English abstract)
- Paulsen, J., U.M. Weber and C. Körner(2000) Tree growth near treeline: Abrupt or gradual reduction with altitude? Arctic, Antarctic, and Alpine Research 32(1): 14-20. (in English)
- Pielou, E.C.(1975) Ecological Diversity. New York, John Wiley, 165pp.(in English)
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1963) The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 117pp. (in English)
- Song, J.H., J.J. Lee and K.S. Kang(2008) Variation in Cone, Seed, and Bract Morphology of *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim. and *A. koreana* Wilson in Native Forests. J. Korean For. Soc. 97(6): 565-569. (in Korean with English abstract)
- Song, J.H., J.J. Lee, K.Y. Lee, J.C. Lee and Y.Y. Kim(2007) Variation in Needle Morphology of Natural Population of *Abies nephrolepis* Maxim. and *A. koreana* Wilson in Korea. J. Korean For. Soc. 96(4): 387-392. (in Korean with English abstract)
- Song, J.H., K.H. Jang and S.D. Hur(2010) Variation of Seed and Germination Characteristics of Natural Populations of *Abies koreana* Wilson, a Korean Endemic Species. J. Korean For. Soc. 99(6): 849-854. (in Korean with English abstract)
- Song, K.M., C.S. Kim, J.G. Koh, C.H. Kang and M.H. Kim(2010) Vegetation Structure and Distributional Characteristics of *Abies koreana* Forests in Mt. Halla. J. Environ. Sciences 19(4): 415-425. (in Korean with English abstract)
- Woo, S.Y., D.S. Lee and O.K. Kwon(1999) Shading Effects on Growth and Chlorophyll Contents of *Abies holophylla*. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 1(2): 97-102. (in Korean with English)
- Yim, Y.J. and S.D. Baek(1985) Vegetation of Mt. Seorak. Chung-Ang Univ, 102-105pp. (in Korean)
- Youn, Y.I.(2002) Preliminary Study on Naturalness of Korean Fir(*Abies holophylla*) Stand in Mt. Sorak. Korean J. Environ. Biol. 20(4): 287-293. (in Korean with English abstract)
- Youn, Y.I.(2007) Classic Successional Theory and Stand Dynamics Studies on Fir Stand of Natural Forests in Naesorak Mt.: Focused on Patch Dynamics and Structure. Korean J. Environ. Biol. 25(2): 158-167. (in Korean with English abstract)
- Youn, Y.I.(2009) The Natural Regeneration and Stand Characteristics of the Korean Fir Stand in Nae Sorak: A Study about the Concept of the Natural Regeneration in a Natural Fir Forest. Korean J. Environ. Biol. 27(2): 176-182. (in Korean with English abstract)