

지리산 반야봉 아고산 침엽수림의 생태적 특성

조민기* · 정재민** · 임호인*** · 노 일**** · 김태운***** · 김충열***** · 문현식*****†

*남부산림자원연구소, **국립수목원 산림생물조사과, ***국립산림과학원 산림유전자원과,
****국립공원연구원, *****경상대학교 산림자원학과

Ecological Characteristics of Sub-Alpine Coniferous Forest on Banyabong in Mt. Jiri

Cho, Min-Gi*, Chung, Jae-Min**, Im, Hyo-In***, Noh, Il****, Kim, Tae-Woon*****,
Kim, Chung-Yeol***** and Moon, Hyun-Shik*****†

*Southern Forest Resources Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju, Korea

**Dept. of Forest Biodiversity, Korea National Arboretum, Pocheon, Korea

***Dept. of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon, Korea

****Korea National Park Research Institute, Wonju, Korea

*****Dept. of Forest Resources, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to elucidate the ecological characteristics of sub-alpine coniferous forest on Banyabong, Mt. Jiri. Soil pH was 4.20. The contents of organic matter, total N, available P and CEC were 14.15%, 0.43%, 10.1 ppm and 17.17 cmol⁺/kg, respectively. Sub-alpine coniferous forest had a relatively soil moisture content with 22.9%. According to the results of importance value analysis, *Picea jezoensis* (42.7) and *Abies koreana* (34.0) for tree layer, *Rhododendron schlippenbachii* (25.5) for subtree layer and *Tripterygium regelii* (18.4) and *Rhododendron mucronulatum* (16.6) for shrub layer were high, respectively. Shannon's diversity ranged from 0.3560 to 1.050. Evenness and dominance ranged from 0.398 to 0.733 and 0.267 to 0.601, respectively. *A. koreana* population had a reverse J-shaped DBH distribution, while *P. jezoensis* population had a normal DBH distribution. Height growth according to DBH of *A. koreana* was higher than that of *P. jezoensis*, which indicate than *A. koreana* have more effective water use efficiency than *P. jezoensis*. Annual mean tree ring growth of *P. jezoensis* and *A. koreana* showed up 1.792, 1.652, 1.389 mm/yr and 2.081, 1.921, 1.576 mm/yr for small, middle and large diameter tree, respectively.

Key words: Annual Ring Growth, Height Growth, Soil Properties, Species Diversity, Vegetation Structure

1. 서 론

식생은 다양한 식물종이 분포하고 있는 양상으로 어떤 종이 그 식물사회를 지배하고 있는가를 파악하기 위한 것으로 이를 통해 해당 생태계의 구조적 특성을 파악할 수 있으며(Kent and Coker, 1992), 오랜 시간에 걸쳐 다양한 환경요인들이 상호복잡하게 작용한 생태적 정보를 분석할 수 있다. 때문에 식물군집의 유형과 구조적 특성을 파악하여 해당 생태계의 교란과 훼손의 양상 및 미래의 변화예측, 입지환경요인과의 관계해석 및 생물학적 보전과 관리의 기준으로 활용되고 있다.

아고산 식생은 일반적으로 고산식생과 냉온대 북부·고산 식생 사이에서 기후적 극상을 형성하며, 수목한계선 아래에서 상록침엽수종이 우점하는 식생상관을 보인다(Kolbek *et al.*, 2003). 우리나라의 아고산 식생은 *Abies* spp., *Picea* spp., *Pinus* spp. 등의 상록침엽수가 우점식생을 이루고 있다. 이러한 상록침엽수종은 저온적응력이 강해 척박한 환경에서 살아남을 수 있었지만, 최근 기후변화로 인해 온대성 식물의 분포역이 높은 고도로 이동하는 경우, 고도제한 및 면적의 감소로 인해 자생지 확보가 어려울 수 있다. 또한 아고산 식생은 열악한 기후 조건에 의한 낮은 생산력으로 인해 기후변화 등과 같은

† Corresponding author: hsmoon@gnu.ac.kr

Received October 11, 2016 / Revised October 28, 2016 / Accepted November 14, 2016

간섭 및 인위적인 파괴가 진행되면 원래 상태로의 회복이나 복원은 불가능하거나 매우 긴 시간을 필요로 한다(Cho *et al.*, 2004). 생물종다양성 협약으로 미래에는 생물유전자원 확보 및 개발이 더욱 중요해지고 있으나, 지속적인 기후변화의 영향으로 제한된 지역에만 분포하고 있는 우리나라 아고산 식생의 멸종 위기가 더욱 가속화될 것으로 전망된다. 따라서 기후변화 영향분석과 취약종·취약지역에 대한 모니터링을 강화하고, 그 결과를 토대로 과학적 보전·관리체계를 마련할 필요가 있다(Cho *et al.*, 2004).

아고산 식생에 대해서는 생물지리학적 연구(Kong, 2002), 생태형 분류(Yun *et al.*, 2011), 아고산 침엽수림의 생태적 특성(Lee *et al.*, 2014) 등에 대한 연구가 주로 이루어졌다. 또한 구상나무군락(Kim *et al.*, 2012; Kim and Lee, 2013; Song *et al.*, 2014), 가문비나무군락(Cho *et al.*, 2012), 주목군락(Jang *et al.*, 2004; Cho *et al.*, 2012) 등 우리나라 아고산대의 대표적 식생형에 대해서도 많은 연구가 진행되어 기후변화 등으로 이들 아고산성 수종의 개체수 및 분포지 면적이 감소하고 있다는 공통적인 결과가 제시되고 있다. 지리산국립공원에서도 아고산 침엽수림의 대표 수종인 구상나무림(Cho *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2012)과 가문비나무림(Han *et al.*, 2012; Do, 2013; Han, 2013)에 대한 다양한 연구가 이루어졌으나, 반야봉 지역의 아고산 침엽수림에 대해서는 Park (2011)의 반야봉 구상나무림에 대한 연구 외에는 생태정보가 많이 부족한 실정이다. 아고산 식생을 보존하기 위한 연구가 다방면에서 이루어지면서 부분적인 관리방안 등이 제시되고 있으나, 아고산 수종의 분포면적과 개체수 등이 여전히 감소하고 있기 때문에 서식지의 체계적인 조사와 분석을 통한 많은 생태적 정보를 이용하여 합리적인 관리방안을 수립해야 할 필요성이 제기되고 있다.

본 연구는 지리산 반야봉 지역 아고산 침엽수림의 생태적 특성을 파악하여 아고산 식생의 보존과 효율적인 관리방안을 제시하기 위한 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사지 개황

우리나라 최초로 국립공원으로 지정된 지리산은 그 면적이 484,022 km²로서 가장 넓은 면적의 산악형 국립공원으로 전남 구례군, 전북 남원시, 경남 산청군·하동군·함양군에 걸쳐 있다. 본 연구는 구상나무와 가문비나무가 자생하고 있는 반야봉(1,732 m) 지역에서 이루어졌다. 지리산은 한반도에서 대륙성 기후의 중남부내륙형과 남부내륙형이 교차하는 생물기후형의 수평적 위치에 자리하고 있으며, 한반도 내에서도 최고

의 다우지역이면서 저위도에 위치하여 가장 습윤한 생태권역으로 특징지워진다(Kim, 2012). 또한 지리산국립공원은 2007년 IUCN(세계자연보전연맹)에 의해 자연생태계가 잘 관리되고 있어 이용보다는 보전에 해당하는 ‘IUCN 카테고리 2등급’으로 지정받기도 하였다.

본 조사지의 해발고는 1,620~1,720 m, 평균경사는 20°, 방위는 주로 남향 또는 남서향이었다. 기상자료는 조사지역과 인접한 남원 기상관측소에서 1986~2015년까지 30년간 측정된 기상청 자료를 이용하여 온도체감률(0.56℃/100 m)을 계산하여 산출한 결과, 연평균기온은 3.34℃이었으며, 연평균강수량은 1,380.4 mm로 나타났다(Fig. 1).

2.2 조사 및 분석방법

2.2.1 토양분석

산림식생의 기본이며 임목의 생장에 영향을 미치는 토양환경을 파악하기 위하여 토양분석을 실시하였다. 토양 시료는 각 조사지점에서 3점씩 낙엽층을 제거한 A층의 토양을 채취하였으며, 실험실로 가져와 음건한 후 2 mm 표준체를 이용하여 분석에 사용하였다. 토양 수분함량은 일정량의 생토를 105℃ 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후 칭량하여 소실된 양을 생토에 대한 수분함량의 백분율(%)로 나타내었다. 토양 pH는 pH meter 법, 유기물 함량은 Tyurin 법, 전질소는 macro-Kjeldahl 증류법, 유효인산은 Lancaster 법, 치환성 양이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺)은 유도결합 플라즈마 분광계(ICP, Atomscan, USA)에 의해 측정하였으며, 양이온치환용량은 Brown 법으로 분석하였다.

2.2.2 식생분석

식생조사는 2015년 6월부터 9월까지 현지조사를 실시하였

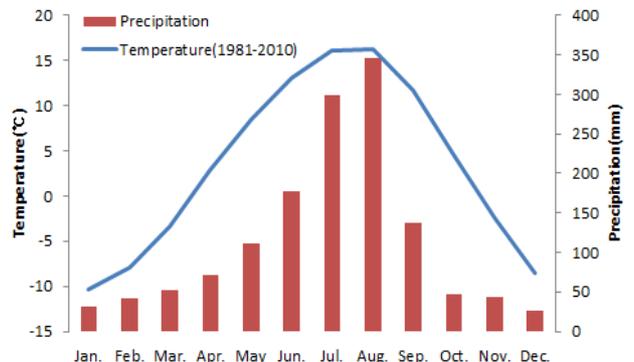


Fig. 1. Meteorological data of the study area.

으며, 조사구는 방형구법에 따라 15 m × 15 m, 20 m × 20 m 크기의 방형구를 총 25개 설정하였다. 조사구 내에 출현하는 모든 수종에 대하여 흉고직경 6 cm 이상을 대상으로 매목 조사를 실시하고, 층위구분은 수고를 기준으로 8 m 이상을 교목층, 2~8 m를 아교목층, 2 m 이하를 관목층으로 하였다. 층위별 중간 상대적 우열을 비교하기 위하여 식생조사 자료를 이용하여 Curtis & McIntosh(1951)의 방법으로 중요치(Importance value)를 산출하였으며, 관목층은 Braun-Blanquet(1964)의 식물사회학적 방법에 따라 피도와 군도만으로 중요치를 산출하였다. 또한 조사지역 내 층위별 식물의 구성상태의 다양성을 나타내는 지표로서 교목층, 아교목층, 관목층을 대상으로 Shannon-Wiener의 종다양도 지수를 산출하였다(Brower and Zar, 1977).

매목조사 결과에서 얻어진 자료를 이용하여 아고산 침엽수림의 주요 수종에 대해 흉고직경을 5 cm 꺾기로 구분하여 분석하였고, 주요 수종의 수고생장 패턴을 파악하기 위하여 매목 조사에서 얻어진 자료를 이용하여 흉고직경과 수고생장의 관계를 분석하였다. 그리고 주요 수종의 연륜생장량을 분석하기 위해 소경목(직경 20 cm 이하), 중경목(20~40 cm), 대경목(40 cm 이상)으로 구분, 생장추를 이용하여 연륜을 채취하고, WinDENDRO Ver. 6.3을 이용하여 연륜생장량을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 토양 특성

임목의 분포, 생장 및 갱신에 많은 영향을 미치는 토양을 분석한 결과(Table 1), 반야봉 아고산 침엽수림 토양은 토양 pH 4.20, 유기물 14.2%, 전질소 0.43%, 유효인산 10.1 ppm, 양이온치환용량(CEC)은 17.17 cmol⁺/kg으로 분석되었다. 지리산 구상나무림(Cho, 2014), 지리산 세석 구상나무림(Cho *et al.*, 2015)과 비교하면 토양 pH, 유효인산, 염기치환용량은 낮은

값이지만, 그 외 유기물, 전질소 함량 등은 조금 높은 값을 나타내었다. 비교대상지가 지리적으로 지리산 권역에 있고 임분 구성 등도 전형적인 아고산 식생을 나타내고 있음에도 불구하고 토양의 화학적 특성에 차이가 나타나는 것은 본 조사지역인 반야봉의 해발이 상대적으로 높은 영향도 있을 것으로 추정된다. 토양 pH는 다른 아고산성 수종인 주목군락 pH 4.31 (Kim *et al.*, 2010), 가문비나무군락 pH 4.20~4.70(Han *et al.*, 2012)과도 큰 차이가 나타나지 않았다. 토양이 산성화되면 염기성 양이온의 가용성 저하 및 Al 등의 활성화로 임목생육 저하를 초래할 수 있기 때문에 토양개량이 필요할 것으로 판단된다. 토양의 보수력, 토양구조 등 토양의 이화학적 성질에 많은 영향을 미치는 토양유기물(OM)은 14.2%, 토양유기물과 밀접한 관계가 있는 전질소(TN)는 0.43%로 비교적 높게 나타났는데, 아고산지대의 특성상 낮은 온도에서의 유기물 분해속도가 느리기 때문인 것으로 판단된다. 유효인산(10.1 ppm)은 지리산 다른 지역의 구상나무림(18.6~20.1 ppm)보다 낮은 함량이었는데, 낮은 토양 pH의 영향도 있을 것으로 판단된다. 토양비옥도의 척도인 양이온치환용량(CEC)은 17.17 cmol⁺/kg으로 낮았으며, 치환성 양이온 함량은 Ca²⁺>Mg²⁺>K⁺>Na⁺ 순으로 일반적인 산림토양과 유사한 경향이였다. 아고산대에서 수목의 발달과 생장에 가장 중요한 인자인 토양수분은 22.9%로 비교적 높게 나타났다. 본 연구팀이 지리산 천왕봉 주변 가문비나무림을 건전지와 쇠퇴지로 구분하여 토양수분을 측정된 결과, 건전지의 토양수분이 유의적으로 높게 나타난 바 있다. Cho *et al.*(2015)은 지리산의 다른 구상나무 분포지와 달리 세석지역의 구상나무가 쇠퇴하지 않는 것은 지형적인 특성으로 인한 수분공급이 원활하기 때문이라고 보고한 바 있다. 세석지역과 마찬가지로 반야봉 아고산 침엽수림도 완경사지에 분포하고 있는 지형적인 특성으로 인하여 토양수분 함량이 비교적 높은 것으로 추정된다. 구상나무와 가문비나무는 수분스트레스에 민감하여 토양수분량이 성장량에 영향을 미치는

Table 1. Soil properties of sub-alpine coniferous forest on Banyabong

pH (H ₂ O)	OM (%)	TN (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	CEC (cmol ⁺ /kg)	Ex. cation (cmol ⁺ /kg)				Soil moisture (%)	Remark
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
4.20 (0.06)	14.2 (1.94)	0.43 (0.04)	10.1 (2.14)	17.17 (2.31)	1.68 (0.38)	0.45 (0.11)	0.34 (0.10)	0.15 (0.03)	22.9 (1.55)	This study
4.57	10.6	0.27	18.6	18.70	2.65	0.42	0.27	0.12	-	Cho (2014)
4.26	10.5	0.32	20.1	18.15	1.24	0.48	0.33	0.19	-	Cho (2015)

것으로 알려지고 있어(Koo *et al.*, 2001; Yu *et al.*, 2006), 반야봉 아고산 침엽수림도 지리산의 다른 지역과는 상이한 분포 패턴을 나타낼 가능성이 높기 때문에 토양 수분수지 등을 포함한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 식생구조

반야봉 지역 아고산 침엽수림의 층위별 중요치를 분석한 결과(Table 2), 출현종수는 교목층 8종, 아교목층 20종, 관목층 28종, 초본층 36종이었다. 층위별 중요치를 살펴보면, 교목층에서는 가문비나무와 구상나무가 각각 42.7, 34.0으로 가장 높았으며, 이어 잣나무 9.2, 사스래나무 8.0, 주목 2.3, 소나무 1.8, 야광나무와 마가목이 1.0의 중요치를 나타내었다. 아

Table 2. Importance values by layer in sub-alpine coniferous forest on Banyabong

Layer	Scientific name	Korean name	Importance value
Tree	<i>Picea jezoensis</i>	가문비나무	42.7
	<i>Abies koreana</i>	구상나무	34.0
	<i>Pinus koraiensis</i>	잣나무	9.2
	<i>Betula ermanii</i>	사스래나무	8.0
	<i>Taxus cuspidata</i>	주목	2.3
	<i>Pinus densiflora</i>	소나무	1.8
	<i>Malus baccata</i>	야광나무	1.0
	<i>Sorbus commixta</i>	마가목	1.0
Sub-tree	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	철쭉	25.5
	<i>Acer komarovii</i>	시닥나무	13.0
	<i>Abies koreana</i>	구상나무	12.0
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	진달래	10.0
	<i>Weigela subsessilis</i>	병꽃나무	8.7
	<i>Betula ermanii</i>	사스래나무	7.9
	<i>Sorbus commixta</i>	마가목	6.1
	<i>Acer pseudosieboldianum</i>	당단풍나무	3.0
	<i>Euonymus pauciflorus</i>	회목나무	1.8
	<i>Magnolia sieboldii</i>	함박꽃나무	1.7
	<i>Taxus cuspidata</i>	주목	1.6
	<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	1.6
	<i>Acer ukurunduense</i>	부계꽃나무	1.5
	<i>Salix hallaisanensis</i>	떡버들	1.4
	<i>Euonymus macropterus</i>	나래회나무	0.9
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	쇠물푸레나무	0.8
	<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	고로쇠나무	0.7
	<i>Lonicera vidalii</i>	왕피불나무	0.6
<i>Lonicera cerasoides</i>	지리피불나무	0.6	

Table 2. Continued

Layer	Scientific name	Korean name	Importance value	
Sub-tree	<i>Euonymus oxyphyllus</i>	참회나무	0.6	
	<i>Tripterygium regelii</i>	미역줄나무	18.4	
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	진달래	13.9	
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	철쭉	13.3	
	<i>Abies koreana</i>	구상나무	7.6	
	<i>Acer komarovii</i>	시닥나무	6.0	
	<i>Pinus koraiensis</i>	잣나무	5.5	
	<i>Weigela subsessilis</i>	병꽃나무	3.9	
	<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i>	딱총나무	3.4	
	<i>Ribes maximowiczianum</i>	명자순	3.4	
	<i>Deutzia glabrata</i>	물참대	3.4	
	<i>Euonymus pauciflorus</i>	회목나무	3.4	
	<i>Vaccinium hirtum</i> var. <i>koreanum</i>	산앵도나무	2.3	
	<i>Vaccinium hirtum</i> var. <i>koreanum</i>	산앵도나무	2.3	
	<i>Euonymus macropterus</i>	나래회나무	1.6	
	Shrub shrub	<i>Acer pseudosieboldianum</i>	당단풍나무	1.6
		<i>Sorbus commixta</i>	마가목	1.1
		<i>Betula ermanii</i>	사스래나무	1.1
		<i>Euonymus oxyphyllus</i>	참회나무	1.1
		<i>Fraxinus sieboldiana</i>	쇠물푸레나무	1.0
<i>Picea jezoensis</i>		가문비나무	0.6	
<i>Actinidia polygama</i>		개다래	0.6	
<i>Symplocos tanakana</i>		검노린재나무	0.6	
<i>Lonicera maackii</i>		괴불나무	0.6	
<i>Clematis chiisanensis</i>		누른종덩굴	0.6	
<i>Acer ukurunduense</i>		부게꽃나무	0.6	
<i>Lonicera vidalii</i>		왕괴불나무	0.6	
<i>Syringa wolfii</i>		꽃개회나무	0.5	
<i>Taxus cuspidata</i>		주목	0.5	
<i>Lonicera cerasoides</i>		지리괴불나무	0.5	
Herb		<i>Calamagrostis arundinacea</i>	실새풀	33.0
		<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>asiatica</i>	미역취	9.1
		<i>Festuca ovina</i>	산거울	5.8

Table 2. Continued

Layer	Scientific name	Korean name	Importance value
	<i>Saussurea grandifolia</i>	서덜취	4.0
	<i>Ainsliaea acerifolia</i>	단풍취	3.7
	<i>Pimpinella brachycarpa</i>	참나물	3.6
	<i>Ligularia fischeri</i>	곰취	3.4
	<i>Adenophora remotiflora</i>	모시대	3.3
	<i>Synurus deltoides</i>	수리취	2.8
	<i>Clintonia udensis</i>	나도옥잠화	2.7
	<i>Athyrium yokoscense</i>	뱀고사리	2.7
	<i>Aconitum pseudolaeve</i>	진범	2.3
	<i>Veratrum maackii</i> var. <i>japonicum</i>	여로	2.3
	<i>Astilbe rubra</i>	노루오줌	2.2
	<i>Synurus excelsus</i>	큰수리취	2.1
	<i>Thalictrum aquilegifolium</i> var. <i>sibiricum</i>	평의다리	2.0
	<i>Hosta capitata</i>	일월비비추	2.0
	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	고사리	1.9
	<i>Bupleurum longeradiatum</i>	개시호	1.3
Herb	<i>Dryopteris crassirhizoma</i>	관중	1.1
	<i>Saussurea gracilis</i>	은분취	1.1
	<i>Asarum sieboldii</i>	족도리풀	1.0
	<i>Carex siderosticta</i>	대사초	0.9
	<i>Lycopodium serratum</i>	뱀톱	0.8
	<i>Agrostis clavata</i> var. <i>nukabo</i>	겨이삭	0.7
	<i>Viola orientalis</i>	노랑제비꽃	0.7
	<i>Pedicularis resupinata</i> var. <i>oppositifolia</i>	마주송이풀	0.6
	<i>Carex lanceolata</i>	그늘사초	0.4
	<i>Carex fernaldiana</i>	실사초	0.4
	<i>Pimpinella koreana</i>	가는참나물	0.3
	<i>Cucubalus baccifer</i> var. <i>japonicus</i>	덩굴별꽃	0.3
	<i>Lilium distichum</i>	말나리	0.3
	<i>Lactuca raddeana</i>	산씀바귀	0.3
	<i>Smilacina bicolor</i>	자주솨대	0.3
	<i>Carex okamotoi</i>	지리대사초	0.3
	<i>Aconitum jaluense</i>	투구꽃	0.3

교목층에서는 철쭉이 25.5로 가장 높은 중요치를 나타내었고, 이어 시닥나무 12.9, 구상나무 12.0, 진달래 10.0의 순이었으며, 병꽃나무 등 16종이 10 이하의 비교적 낮은 중요치를 보였다. 아교목층에서는 가문비나무는 전혀 출현하지 않았으나, 구상나무의 중요치는 12.0으로 비교적 높게 나타났다. 관목층에서는 미역줄나무 18.4, 진달래 16.6, 철쭉 13.3으로 높은 중요치를 보였으며, 이어 구상나무 7.6, 시닥나무 6.0, 잣나무 5.5의 중요치 값을 나타내었다. 초본층에서는 실새풀의 중요치가 33.0으로 가장 높았으며, 미역취 8.6, 산겨울 5.8, 서덜취 4.0, 단풍취 3.6, 곶취 3.4, 모시대 3.3의 순이었다. 반야봉 아고산 침엽수림의 중요치를 분석한 결과, 가문비나무가 교목층에서는 가장 높은 중요치를 보였지만, 아교목층에서는 가문비나무가 출현하지 않았고, 관목층에서는 0.6의 아주 낮은 중요치 값을 보인 반면, 구상나무는 교목층에서 34.2, 아교목층에서 12.0, 관목층에서 7.6의 비교적 높은 중요치 값을 보였다. 이와 같이 교목층은 가문비나무와 구상나무가 경쟁관계에 있으며, 아교목층에서는 철쭉이 우세한 가운데 시닥나무, 구상나무, 사스래나무 등과의 경쟁이 예상되며, 관목층에서는 미역줄나무, 진달래, 철쭉 등이 우점하고 있는 것으로 나타났다. 가문비나무의 치수는 고사한 도목 부근에서 많이 발생되는데, 지리산에서는 도목 공급량이 적어 치수 발생량이 적어 갱신에 어려움이 있다는 보고(Han, 2013)가 중요한 의미를 가지는 것으로 판단된다. 본 조사지인 반야봉에도 구상나무와 가문비나무의 고사목이 일부 나타나긴 하지만, 대부분의 고사목이 있는 형태를 하고 있었다. 아고산지대에 분포하는 상록침엽수종은 수분스트레스에 놓일 가능성이 높을 것으로 판단되는데(Lim *et al.*, 2006), 어느 정도 이상 부후된 도목은 스펀지와 같이 수분 보유력이 높고, 수분 보유기간이 길어 어린 묘목인 치수에 수분을 안정적으로 공급하여 정착 및 성장에 도움을 주는 것으로 생각된다.

반야봉 아고산 침엽수림의 안정성과 성숙도를 판단하기 위하여 층위별 종다양도 지수 등을 분석한 결과(Table 3), 출현종수는 교목층 8종, 아교목층 20종, 관목층 28종, 개체수는 교

목층 217개체, 아교목층 342개체, 관목층 649개체가 나타났다. 조사구의 크기와 개수 등의 차이가 있긴 하지만 출현종수와 개체수는 지리산 구상나무림(Cho, 2014), 지리산 세석 구상나무림(Cho *et al.*, 2015)에 비해 적은 것으로 나타났는데, 반야봉 지역이 전체적으로 해발이 높아 침엽수종을 제외한 다른 수종들이 생육하기에 입지여건 등 생육환경이 열악하기 때문인 것으로 판단된다. 종다양도는 교목층 0.360, 아교목층 0.954, 관목층 1.050으로 교목층의 종다양도 지수가 낮은 것을 제외하면, 덕유산 가문비나무림 0.779~1.052(Cho *et al.*, 2012), 한라산 구상나무림 0.625~0.810(Song *et al.*, 2010), 지리산 구상나무림 0.429~1.320(Cho *et al.*, 2015), 계방산 가문비나무림 0.816~1.126(Ko *et al.*, 2014) 등과는 큰 차이가 나타나지 않았다. 균재도는 군집의 안정상태에 도달된 정도를 나타내는 것으로 그 값이 클수록 군집이 안정상태에 도달되었다고 할 수 있다. 본 연구에서는 균재도가 교목층 0.398, 아교목층 0.733, 관목층 0.726으로 교목층의 균재도가 아주 낮은 것으로 분석되었다. Cho *et al.*(2015)은 지리산 세석 구상나무림 연구에서 교목층과 아교목층의 출현종수와 개체수가 많은데, 균재도가 낮은 것은 구상나무의 쇠퇴 및 고사경향이 나타나지 않기 때문이라고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 교목층과 아교목층에서 다른 아고산 침엽수림에 비해 출현종수와 개체수도 적고, 균재도 또한 낮게 나타난 것은 다른 수종의 이입 및 정착이 어려운 환경에 의한 것으로 추정되는데, 다른 아고산 침엽수림에 비해 반야봉 지역의 해발범위가 1,600 m 이상으로 더 높다는 것에서도 알 수 있다. 우점도는 교목층 0.601, 아교목층 0.267, 관목층 0.274로 교목층에서는 가문비나무와 구상나무가 우점하고 있다는 것을 알 수 있다.

수종별 흉고직경 분포는 수령 및 임분동태의 간접적인 표현이 가능하기 때문에 산림천이를 예측하는데 귀중한 정보를 제공한다(Harcombe and Marks, 1978). 반야봉 아고산 침엽수림의 주요 수종인 구상나무와 가문비나무의 직경급을 분석한 결과(Fig. 2), 가문비나무는 중경목의 개체수는 많지만, 대경목과 소경목은 상대적으로 적은 형태를, 구상나무는 20 cm급

Table 3. Species diversity of sub-alpine coniferous forest on Banyabong

Layer*	No. of species	No. of individual	Species diversity (H')	Maximum H' ($H' \max$)	Evenness (J')	Dominance ($1-J'$)
Tr.	8	217	0.360	0.903	0.398	0.601
Su.	20	342	0.954	1.301	0.733	0.267
Sh.	28	649	1.050	1.447	0.726	0.274

* Tr: Tree layer, Su: Subtree layer, Sh: Shrub layer.

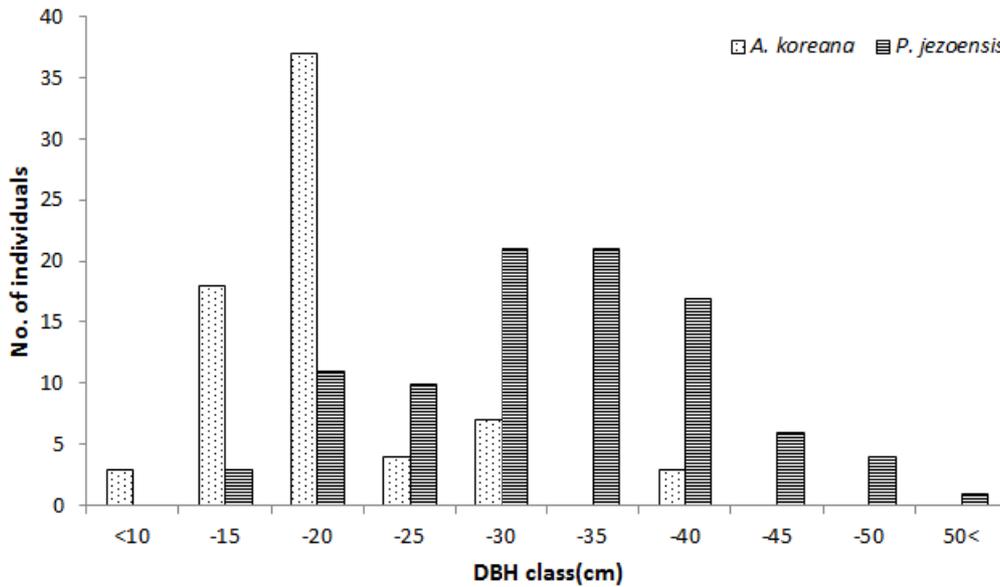


Fig. 2. DBH class distribution of two sub-alpine coniferous species on Banyabong.

의 소경목이 많은 분포를 나타내었다. 우점종의 직경급이 정 규분포를 하고 있을 때 그 군락은 유지될 수 있으며, 분포형태가 역 J형일 경우 이령림은 극상림으로의 유지가 가능하고, 동령림은 경쟁이 일어난다(Barbour *et al.*, 1987). 또한 Hoshino (2001)와 Bunyavejchewin *et al.*(2003)은 직경급이 뚜렷한 분포경향을 나타내지 않으면 해당 수종이 지속적으로 유지될 수 있다고 보고한 바 있다. 이는 특정 직경급에 해당하는 개체가 많은 것이 아니라, 전 경급에서 고르게 분포하는 것을 의미하는 것으로 해석할 수 있다. 본 연구에서 정규분포를 나타내는 가문비나무는 경급 15 cm 이하의 개체수가 너무 빈약한 것이 가문비나무가 유지될 수 있을 것으로 예측하기에 어려움이 있으나, 구상나무는 지속적으로 유지될 수 있을 것으로 추정된다. 아고산 지대에 자생하는 노령림은 환경에 오랜 시간동안 적응한 수종들로 이루어져 수종 구성이 안정적이어서 경급분포가 역 J형을 나타내는 경우가 많은 것으로 보고되고 있다(Kneeshaw and Burton, 1997; Takahashi *et al.*, 2001). 지리산과 덕유산의 가문비나무(Han, 2013), 계방산의 가문비나무(Ko, 2013), 오대산의 주목(Cho *et al.*, 2012) 등은 역 J형의 경급분포를 나타내어 군락으로 유지될 수 있으나, 지리산 거림계곡의 구상나무(Kim *et al.*, 2012)와 오대산의 분비나무(Chun *et al.*, 2011), 태백산의 주목(Cho *et al.*, 2012) 등은 J형과 유사한 분포형태를 나타내고 있어 향후 군락으로의 유지가 어려울 것으로 보고되고 있다. 이와 같이 동일 지역에서도 종구성 등 생태환경에 따라 아고산 수종의 흉고직경급 분포가 다양하게 나타날 수 있다는 것을 알 수 있다. 층위별 중요치

분석에서 교목층에서는 구상나무보다 높은 중요치를 나타내었지만, 아교목층에서는 전혀 출현하지 않았고, 관목층에서 아주 낮은 중요치를 나타낸 가문비나무가 일부 대경목과 대부분의 중경목으로 인해 반야봉 지역 아고산 침엽수림에서 어느 정도까지는 우세하겠지만, 아교목층과 관목층에서의 구상나무의 중요치가 상대적으로 높은 것에서도 알 수 있듯이, 시간이 경과함에 따라 구상나무의 세력이 확대될 것으로 판단된다.

수목의 수고는 다양한 환경요인의 영향을 받으며 산림천이에 따른 군락의 계층구조의 발달과정을 결정하는 중요한 요소이기도 하다(Ishii *et al.*, 2004). 본 연구에서는 반야봉 아고산 침엽수림의 주요 수종인 가문비나무와 구상나무의 흉고직경에 따른 수고생장 패턴을 파악하기 위하여 지리산 전체의 가문비나무, 구상나무를 대상으로 흉고직경에 따른 수고생장을 비교하였다(Fig. 3). 전체적으로 본 조사지의 구상나무는 가문비나무 및 지리산의 구상나무나 가문비나무보다 수고생장이 높게 나타났다. 이와 유사한 결과가 지리산 세석지역 구상나무 임분에서도 보고된 바 있다(Cho *et al.*, 2015). Ryan and Yoder(1997)와 Nabeshima and Ishii(2008)는 식물의 수고생장이 진행됨에 따라 수분통도제한 때문에 수관부로의 수분 이동이 어려워져 수분스트레스가 나타나게 되고, 이로 인하여 광합성이 제한되어 수고생장에 한계가 나타난다고 하였다. 가문비나무에 비해 구상나무의 수고생장이 높다는 것은 구상나무의 수분이용효율이 더 양호하다는 것을 의미하여, 상대적으로 가문비나무는 봄과 여름철의 건조에 취약하기 때문에 기후

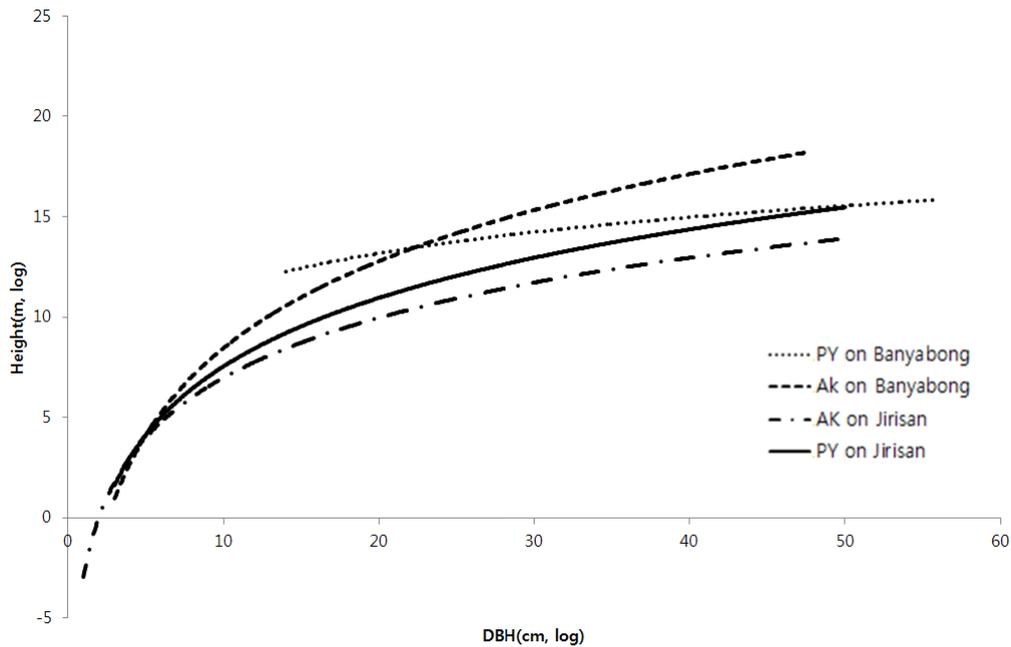


Fig. 3. Pattern of height growth according to DBH of sub-alpine coniferous forest on Banyabong. AK: *Abies ko-reana*, PY: *Picea yezoensis*.

변화 등으로 인해 나타나는 수분스트레스의 영향에 더 민감하게 반응할 것으로 예상된다(Youngblood and Safford, 2008).

반야봉 아고산 침엽수림을 구성하는 구상나무와 가문비나무를 대상으로 경급별로 구분하여 연륜생장량을 분석하였다 (Table 4). 가문비나무와 구상나무의 각 경급별 평균연령은 소

경목 39, 38년, 중경목 57, 47년, 대경목 79, 72년생으로 나타났다. 가문비나무의 각 경급별 평균 연륜생장량은 소경목 1.792 mm/yr, 중경목 1.652 mm/yr, 대경목 1.389 mm/yr, 구상나무는 소경목 2.081 mm/yr, 중경목 1.921 mm/yr, 대경목 1.576 mm/yr로 전 경급에서 구상나무의 연륜생장량이 가문비나무보다 많

Table 4. Mean tree ring growth of a 10 years period of sub-alpine coniferous forest on Banyabong

Year	<i>Picea yezoensis</i>			<i>Abies koreana</i>		
	Small (n=6)	Middle (n=6)	Large (n=6)	Small (n=6)	Middle (n=6)	Large (n=6)
1940s	-	-	2.140	-	-	2.863
1950s	-	2.075	2.077	-	-	2.275
1960s	-	2.477	1.393	-	2.813	2.061
1970s	2.367	2.379	0.826	2.635	2.120	1.005
1980s	2.066	2.118	1.077	2.163	2.214	1.078
1990s	1.701	0.951	1.587	2.256	1.986	1.240
2000s	1.928	0.947	1.283	1.886	1.452	1.082
2010s	0.899	0.620	0.732	1.465	0.943	1.003
Annual mean tree ring growth (mm)	1.792	1.652	1.389	2.081	1.921	1.576
Mean age (yr)	39	57	79	38	47	72

은 것으로 나타났다. 경급별 연륜생장량에서는 소경목이 중·대경목에 비해 높은 것으로 분석되었다. 설악산 분비나무 0.72~1.49 mm/yr(Lee, 2013), 오대산 분비나무 1.20~1.79 mm/yr(Chun *et al.*, 2011), 지리산 구상나무의 1.372~1.557 mm/yr(Cho *et al.*, 2015)에 비하여 전체적으로 반야봉 지역의 가문비나무와 구상나무의 연륜생장량이 높은 것으로 나타났다. 10년 단위로 구분한 평균 연륜생장량을 살펴보면, 가문비나무와 구상나무 전 경급에서 2000년 이후의 연륜생장량의 감소폭이 그 이전에 비해 큰 것으로 나타났다. 특히 가문비나무 중경목은 90년대 이후 연륜생장량의 감소폭이 아주 큰 것으로 나타났다. 성장률의 감소가 수목의 고사로 연결되는 것은 아니고, 관련 정보가 많지 않기 때문에 연륜생장량이 감소한다고 하여 아고산 수종들의 쇠퇴를 예측할 수는 없다. 한편, 아고산 지역에서의 기온상승은 따뜻한 겨울날씨가 광합성을 가능하게 하여(Takahashi and Okuhara, 2012) 수목의 생장량을 증가시킨다는 연구결과(Rigling *et al.*, 2001; Takahashi, 2003)도 있다. 일반적으로 아고산성 수종들의 고사목이 발견되면 기후변화로 인한 기온상승 및 수분수지의 변화 등이 주된 원인으로 거론되고 있지만, 아고산 지역은 많은 연강수량으로 수분부족에 의한 스트레스는 저지대에 비해 오히려 적을 수 있다(Lee, 2013). 하지만, 아고산 지역의 상록침엽수림은 대부분 토심이 깊지 않은 능선부에 위치하여 강우에 따른 수분을 효율적으로 이용할 수 없을 것이다. 추후 보다 많은 연구와 장기간의 모니터링을 통해 연륜생장과 기온과 수분에 관한 보다 많은 자료가 축적되어야만 아고산 침엽수림의 생장변화 및 쇠퇴에 대한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구는 지리산 반야봉 아고산 침엽수림을 효율적으로 관리하기 위한 기초정보를 제공하기 위해 아고산 침엽수림의 생태적 특성을 분석하였다. 토양특성, 중요치, 종다양도, 수고생장 패턴, 연륜생장량 등이 분석되었다.

반야봉 아고산 침엽수림은 토양 pH가 4.20으로 낮고, 토양 유기물과 전질소 함량은 각각 14.15%, 0.43%, 유효인산 10.1 ppm, 양이온치환용량(CEC)은 17.17 cmol⁺/kg으로 나타났다. 아고산대에서 수목의 발달과 생장에 가장 중요한 인자인 토양수분은 22.9%로 비교적 높게 나타났다. 중요치를 분석한 결과, 가문비나무가 교목층에서는 가장 높은 중요치를 보였지만, 아교목층에서는 가문비나무가 출현하지 않았고, 관목층에서는 0.6의 아주 낮은 중요치 값을 보인 반면, 구상나무는 교목층에서 34.2, 아교목층에서 12.0, 관목층에서 7.6의 비교적

높은 중요치 값을 보였다. 교목층은 가문비나무와 구상나무가 경쟁관계에 있으며, 아교목층에서는 철쭉이 우세한 가운데 시달나무, 구상나무, 사스래나무 등과의 경쟁이 예상되며, 관목층에서는 미역줄나무, 진달래, 철쭉 등이 우점하고 있는 것으로 나타났다. 종다양도는 교목층 0.360, 아교목층 0.954, 관목층 1.050으로 교목층의 종다양도 지수가 낮게 나타났으며, 군집의 안정상태에 도달된 정도를 나타내는 것으로 그 값이 클수록 군집이 안정상태에 도달되었다는 지표인 군재도는 교목층 0.398, 아교목층 0.733, 관목층 0.726으로 교목층의 군재도가 아주 낮은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 교목층과 아교목층에서 다른 아고산 침엽수림에 비해 출현종수와 개체수도 적고, 군재도 또한 낮게 나타난 것은 다른 수종의 이입 및 정착이 어려운 환경에 의한 것으로 추정된다.

수령 및 임분동태의 간접적인 표현이 가능하기 때문에 산림천이를 예측하는데 귀중한 정보인 흉고직경 분포를 파악하기 위하여 아고산 침엽수림의 주요 수종인 구상나무와 가문비나무의 직경급을 분석하였다. 가문비나무는 중경목의 개체수는 많지만, 대경목과 소경목은 상대적으로 적은 형태를, 구상나무는 20 cm급의 소경목이 많은 분포를 나타내었다. 흉고직경에 따른 구상나무와 가문비나무의 수고생장 패턴을 지리산 전체의 가문비나무 및 구상나무와 비교 분석한 결과, 구상나무의 수고생장이 비교적 높은 것으로 나타났다. 가문비나무에 비해 구상나무의 수고생장이 높다는 것은 구상나무의 수분이용효율이 더 양호하다는 것을 의미하며, 상대적으로 가문비나무는 봄과 여름철의 건조에 취약하기 때문에 기후변화 등으로 인해 나타나는 수분스트레스의 영향에 더 민감하게 반응할 것으로 예상된다.

반야봉 아고산 침엽수림의 주요 구성수종인 구상나무와 가문비나무를 대상으로 경급별 연륜생장량을 분석하였다. 가문비나무의 연륜생장량은 소경목 1.792 mm/yr, 중경목 1.652 mm/yr, 대경목 1.389 mm/yr로 분석되었고, 구상나무의 연륜생장량은 소경목 2.081 mm/yr, 중경목 1.921 mm/yr, 대경목 1.576325 mm/yr로 나타나 전 경급에서 구상나무의 연륜생장량이 가문비나무보다 많은 것으로 분석되었다. 두 수종 모두 경급별 연륜생장량에서는 소경목이 높게 나타났으며, 2000년 이후의 연륜생장량의 감소폭이 그 이전에 비해 큰 것으로 나타났다. 이상의 결과에서 반야봉 아고산 침엽수림의 구상나무는 가문비나무에 비해 전 층에서 개체가 나타나고 있으며, 수고생장, 직경생장도 비교적 양호한 것으로 나타나, 어느 정도 개체군이 유지될 수 있을 것으로 판단된다. 가문비나무는 하층에서 치수 밀도가 낮아도 긴 수명으로 개체군을 유지할 수 있는 것으로 알려지고 있으나, 본 조사지 하층에서의 낮은 치

수발생밀도가 긴 수명으로 보완되기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 도목 상에서의 가문비나무의 치수 발생 및 생존이 양호한 것으로 고려하면 가문비나무의 도목 공급량을 늘리기 위해 고사목을 도목화하는 방안도 고려할만하다.

사 사

본 연구는 국립산림과학원 산림유전자원부 “지리산 반야봉 지역 구상나무 쇠퇴 및 입지조건별 토양특성 분석 연구 (2015-0030)”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Barbour MG, Burk JH, Pitts WD. 1987. Terrestrial Plant Ecology. The Benjamin & Cummings Publ. Co. pp 62-68.
- Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde, 3rd ed. Springer-Verlag, New York.
- Brower JE, Zar JH. 1977. Field and laboratory methods for general ecology. Wm. C. Brown. Co., Dubuque, Iowa. pp 325.
- Bunyavejchewins S, LaFrankie JV, Baker PJ, Kanzaki M, Ashton PS, Yamakura TY. 2003. Spatial distribution patterns of the dominant canopy dipterocarp species in a seasonal dry evergreen forest in western Thailand. For Ecol Manage 175:87-101.
- Cho MG. 2014. Changes of vegetation structure and pattern of annual ring growth of *Abies koreana* E. H. Wilson forest in Mt. Jirisan. Dissertation, Gyeongsang National University.
- Cho MG, Chung JM, Jung HR, Kang MY, Moon HS. 2012. Vegetation structure of *Taxus cuspidata* communities in subalpine zone. J Agric Life Sci 46:1-10.
- Cho MG, Chung JM, Kim TW, Kim CY, Noh I, Moon HS. 2015. Ecological characteristics of *Abies koreana* forest on Seseok in Mt. Jiri. J Clim Chan Res 6: 379-388.
- Cho HJ, Bae KH, Kee CS, Lee CH. 2004. Species composition and structure of the evergreen coniferous forest vegetation of the subalpine area (South Korea). Jour Korean For Soc 93:372- 379.
- Chun YM, Ahn JK, Hong MP, Shin JT, Won HJ, Lee S. 2011. Structure and dynamics of *Abies nephrolepis* community in Odaesan National Park. The Geographic J Korea 45:559-570.
- Curtis JT, McIntosh RP. 1951. An upland forest continuum in the prairie forest border region of Wisconsin. Ecology 32:476-496.
- Do MS. 2013. Vegetation structure and ecological properties of *Picea jezoensis* community in South Korea. MS Thesis, Chungnam National University.
- Han AR. 2013. The population structure and regeneration characteristics of Jezo spruce (*Picea jezoensis*) in the southern part of the Korean Peninsula. Dissertation, Seoul University.
- Han SH, Kim DH, Kim GN, Yun CW. 2012. Needle life span, photosynthetic pigment and nitrogen allocation of *Picea jezoensis* in Korea. Jour Korean For Soc 101:62-68
- Harcombe PA, Marks PH. 1978. Tree diameter distribution and replacement processer in southeast Texas forest. For Sci 24:153-166.
- Hoshino D, Nishimura N, Yamamoto S. 2001. Age, size structure and spatial pattern of major tree species in an old-growth *Chamaecyparis obtusa* forest, Central Japan. For Ecol Manage 152:31-43.
- Ishii H, Tanabe S, Hiura T. 2004. Exploring the relationships among canopy structure, stand productivity, and biodiversity of temperate forest ecosystems. Forest Sci 50:342-355.
- Jang YS, Shin MY, Chung DJ. 2004. Phytosociological study on natural forest of *Taxus cuspidata* in Mt. Hambaek. Korean J Agric For Meteorol 6:30-37.
- Kent M, Coker P. 1992. Vegetation description and analysis: A practical approach. John Wiley & Sons. pp 353.
- Kim CH, Cho MG, Kim JK, Choi MS, Chung JM, Kim JH, Moon HS. 2012. Vegetation change and growing characteristics of *Abies koreana* population by altitude in Georim valley of Mt. Jiri. J Agric Life Sci 46:1-8.
- Kim HS, Lee SM, Song HK. 2010. An analysis of the vegetation on the southern and northern slopes in the Deogyusan National Park. Kor J Env Eco 24:708-722.
- Kim NS, Lee HC. 2013. A study on changes and distributions of Korean fir in sub-alpine zone. J Korean Env Res Tech 16:49-57.
- Kim SY. 2012. Syntaxonomy of subalpine vegetation in Korea. Dissertation, Keimyung University.

- Kneeshaw DD, Burton PJ. 1997. Canopy and age structure of some old sub-boreal *Picea* stands in British Columbia. *J Veg Sci* 8:615-626.
- Koo KA, Park WK, Kong WS. 2001. Dendrochronological analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: Effects of climate change on the growths. *Korean J Ecol* 24:281-288.
- Ko SY. 2013. Stand structure and disturbance regime of the *Picea jezoensis* in Mt. Gyeongsan. MS Thesis, Gongju National University.
- Ko SY, Han SH, Lee WH, Han SH, Shin HS, Yun CW. 2014. Forest vegetation classification and quantitative analysis of *Picea jezoensis* and *Abies hollophylla* stand in Mt. Gyeong. *Korean J Environ Ecol* 28:182-196.
- Kolbek J, Šrůtek J, Elgene OB. 2003. Forest vegetation of Northeast Asia. London. Kluwer Academic Pub.
- Kong WS. 2002. Species composition and distribution of Korean alpine plants. *Jour Korean Geo Soc* 37:357-370.
- Kong WS, Kim K, Lee S, Park H, Cho SH. 2014. Distribution of high mountain plants and species vulnerability against climate change. *Jour Env Imp Assess* 23:119-136.
- Lee HY. 2013. The phytosociological characteristics of *Abies nephrolepis* community and population dynamics as climate condition changes in Mt. Seorak, Korea. Dissertation, Dongguk University.
- Lee JH, Shin HS, Cho HJ, Yun CW. 2014. Subalpine conifer forest community. National Institute of Ecology. Seochon, pp 134.
- Lim JH, Woo SY, Kwon MJ, Chun JH, Shin JH. 2006. Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korean fir in Mt. Halla. *Jour Korean For Soc* 95:705-710.
- Nabeshima E, Ishii H. 2008. Limitation and mechanisms of height growth in trees. *J Jpn For Soc* 90:420-430.
- Park CG. 2011. Soil characteristics and community structure of *Abies koreana* forests in Banyabong. Mt. Jiri. MS Thesis, Sunchon National University.
- Park GS, Lee SW. 1990. The influence of organic matter on soil aggregation in forest soils. *Jour Korean For Soc* 79: 367-375.
- Rigling A, Waldner PO, Foster T, Bräker OU, Pouttu A. 2001. Ecological interpretation of tree-ring width and intra-annual density fluctuation in *Pinus sylvestris* on dry sites in the central Alps and Siberian. *Can J For Res* 31: 18-31.
- Ryan MG, Yoder BJ. 1997. Hydraulic limits to tree height and tree growth. *Bio Sci* 47:235- 242.
- Song KM, Kim CS, Koh JG, Kang CH, Kim MH. 2010. Vegetation structure and distributional characteristics of *Abies koreana* forests in Mt. Halla. *J Environ Sci* 19:415-425.
- Song KM, Kang YJ, Hyeon HJ. 2014. Vegetation structure at the slope direction and characteristic of seedlings of *Abies koreana* in Hallasan mountain. *Jour Env Sci Inter* 23:39-46.
- Takahashi K. 2003. Effects of climatic conditions on shoot elongation of alpine dwarf pine (*Pinus pumila*) at its upper and lower altitudinal limits in central Japan. *Arctic Antarctic Alp Res* 35:1-7.
- Takahashi K, Homma K, Vetrova VP, Florenzev S, Hara T. 2001. Stand structure and regeneration in a Kamchatka mixed boreal forest. *J Veg Sci* 12:627-634.
- Takahashi K, Okuhara I. 2012. Comparison of climate effects on radial growth of evergreen broad-leaved trees at their northern distribution limit and co-dominance deciduous broad-leaved trees and evergreen conifers. *Ecol Res* 27: 125-132.
- Youngblood A, Safford LO. 2008. *Picea A. Dietr. Spruce*. In Bonner FT, Karrfalt RP eds., *The woody plant seed manual*. USDA, For. Ser., Washington, DC. pp 793-806.
- Yu D, Wang Q, Wang GG, Dai L. 2006. Dendroclimatic response of *Picea jezoensis* along an altitudinal gradient in Changbai mountains. *Science in China Series E: Technol Sci* 49:150-159.
- Yun CW, Kim HJ, Lee BC, Shin JH, Yang HM, Lim JH. 2011. Characteristic community type classification of forest vegetation in South Korea. *Jour Korean For Soc* 100: 504-521.