



지리산 세석 구상나무림의 사면별 생태적 특성

노일* · 정재민** · 김태운*** · 타미랏 솔로몬*** · 문현식****†

*국립공원관리공단 내장산사무소 계장, **국립수목원 산림생물조사과 연구사
경상대학교 산림자원학과 박사과정, *경상대학교 산림자원학과 교수(농업생명과학연구원)

The Ecological Characteristics by Slope of an *Abies koreana* Forest in Seseok of Jirisan National Park

Noh, Il*, Chung, Jae-Min**, Kim, Tae-Woon***, Tamirat, Solomon*** and Moon, Hyun-Shik****†

*Section Chief, Korea National Park Service, Jeongeup, Korea

**Researcher, Plant Conservation Division, Korea National Arboretum, Pocheon, Korea

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

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

ABSTRACT

This study was carried out to provide basic information on efficient preservation and management of an *Abies koreana* forest through analyzing the ecological characteristics by slope in Seseok, Mt. Jirisan. Soil moisture content at southern and northern slopes was 29.9% and 21.7%, respectively, and there was no significant difference among soil properties between southern and northern slopes. The importance value of *A. koreana* in the southern and northern slopes was high for tree and subtree layers, respectively. It is noteworthy that many seedling and saplings of *A. koreana* were present on the southern slope. The species diversity was 0.413 for the tree layer, 0.632 for the subtree layer, and 0.609 for the shrub layer on the southern slope and 0.396 for the tree layer, 0.783 for the subtree layer, and 1.215 for the shrub layer on the northern slope. Evenness and dominance ranged from 0.371 to 0.609 and 0.629 to 0.391 on the southern slope and from 0.380 to 0.968 and 0.620 to 0.032 on the northern slope, respectively. The mortality of *A. koreana* was 9.6% on the southern slope and 24.4% on the northern slope, a distinct difference between the slopes. The mortality type at two slopes was the highest proportion of standing dead. Annual mean tree ring growth of *A. koreana* on the southern slope (1.76 mm/yr) was higher than that on the northern slope (1.64 mm/yr).

Key words: Annual Ring Growth, Forest Soil, Mortality Rate, Mortality Type, Vegetation Structure

1. 서 론

산림생태계는 생물적·무생물적 요소 간의 상호작용으로 끊임없이 변해가는 속성을 지니고 있지만, 최근 전 세계적인 이상기후로 인한 기온상승 등으로 가속화되고 있다. 급격한 기온상승은 생물종의 분포에도 많은 변화를 초래할 것으로 예상되며, 특히 산림생태계의 경우 난대 수종의 생육범위는 확대되겠지만, 아고산대에 주로 분포하는 침엽수종은 지구온난화 등의 환경변화에 취약할 것으로 예상된다. 특히 *Abies*속 식물은 기후변화에 민감한 것으로 알려지고 있고, 전 세계적

으로 그 분포지가 줄어들고 있는 것으로 보고되고 있다 (Becker *et al.*, 2004; Tiwari *et al.*, 2017). 우리나라에서도 1,500 m 이상의 아고산대 기후조건을 선호하는 *Abies*속 식물들이 기온상승에 적응하지 못할 뿐만 아니라 낙엽활엽수와의 경쟁에서 도태되고, 얇은 토심과 겨울철 기온증가로 인한 수분스트레스 등이 원인으로 분포면적이 줄고 있다. *Abies*속 식물로 우리나라에는 구상나무 (*A. koreana*), 전나무 (*A. holophylla*), 분비나무 (*A. nephrolepis*)가 분포하고 있는데, 우리나라 특산종이자 세계자연보전연맹 (IUCN)이 선정한 국제적 멸종 위기종으로 그 보존가치가 높다. 한반도내 한라산과

† Corresponding author: E-mail: hsmoon@gnu.ac.kr 52828 (501 Jinju-daero, Jinju-city, Gyeongnam-do, 52828, South Korea)

Received August 24, 2018 / Revised September 10, 2018 / Accepted September 27, 2018

지리산에서는 각각 34%, 18%에 해당하는 분포면적인 줄어든 것으로 알려지고 있다 (Kim and Lee, 2013).

구상나무림을 대상으로 한 최근의 연구는 한라산 장기생태연구지에서의 생태적 특성 (Song and Kim, 2018), 구상나무 임지의 균근균과 내생균의 연구 등이 있다 (Sim, 2018). 그러나 지리산 구상나무림에 대해서는 구상나무 치수발생 및 고도별 종구성 변화 (Kim *et al.*, 2018)에 관한 연구와 세석지역 구상나무림 (Cho *et al.*, 2015), 반야봉 아고산침엽수림 (Cho *et al.*, 2016)의 생태적 특성에 대한 연구 외에는 최근에 활발한 연구가 이루어지고 있지 않은 실정이다.

지리산 세석지역은 구상나무림은 지리산의 다른 분포지와 달리 구상나무림의 쇠퇴가 나타나지 않고 오히려 유지 및 확산되고 있다고 보고한 바 있어 (Cho *et al.*, 2017; Noh, 2017) 구상나무림의 관리방안 마련을 위해 연구를 해 볼 가치가 있는 곳이다. 한편 Kim *et al.* (2017)은 한라산 구상나무림은 사면에 따른 공간분포가 다르며, KNPS (2000)는 지리산의 주능선을 중심으로 북사면의 구상나무는 쇠퇴가 심하지만, 남사면에서는 구상나무림이 확산되고 있다고 보고한 바 있다. 이것은 주능선을 경계로 남·북사면의 입지적인 차이에서 오는 미기상 등의 영향에 의한 것으로 추정되기 때문에, 아고산 침엽수종의 지속가능한 보전을 위해서는 자생지의 사면별 생육정보 등의 자료 구축이 무엇보다 필요하다.

본 연구는 지리산 국립공원 세석지역에 분포하는 구상나무 임분의 사면에 따른 생태적 특성을 분석하여 구상나무 개체 및 임분의 보존과 효율적인 관리방안마련을 위한 기초자료 구축에 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구대상지

지리산국립공원은 행정구역상 경남 함양군, 산청군, 하동군, 전남의 구례군과 전북의 남원시 등에 속한 약 47만 km²의 면적을 가지며, 1967년 우리나라 최초의 국립공원 1호로 지정되었다. 산악형 국립공원으로서 다양한 동·식물이 분포하는 자연생태계의 핵심지역이며, 구상나무 등의 보전을 위해 20.2 km²의 면적이 생태·경관보전지역으로 지정·관리되고 있는 곳이다 (KIGAM, 2009). 지리산은 한반도 남부아구 (Lee and Yim, 1978), 식생의 군계수준으로는 온대남부 (Yim and Kira, 1975), 식물지리학적으로는 대륙형으로 한반도아형의 남부/산지형에 속한다 (Kim, 1992). 세석지역은 산청군 시천면 내대리의 거림계곡을 따라올라 지리산의 주능선 상에 위치하는 고위평탄면이다. 신생대 3기에 일어난 대대적은 습곡 및 요곡운동으로 고위평탄면이 발달 하였으며 하천의 침식력이 강해져 골짜기가 깊어진 지형을 가지고 있으며, 화강편마암으로 이루어져 토양의 수분이 쉽게 침투하지 못한다 (KIGAM, 2009). 본 대상지의 기상자료는 국립공원관리공단 관측기상자료와 산청군 기상자료에 온도체감율 (0.56°C/100m)을 적용하여 분석한 결과, 1980년대 5.1°C였던 연평균기온이 2010년대에는 5.8°C로 30년간 약 0.7°C 상승한 것으로 나타났다.

2.2 연구방법

2.2.1 토양분석

산림식생의 생육에 많은 영향을 주는 토양환경을 분석하

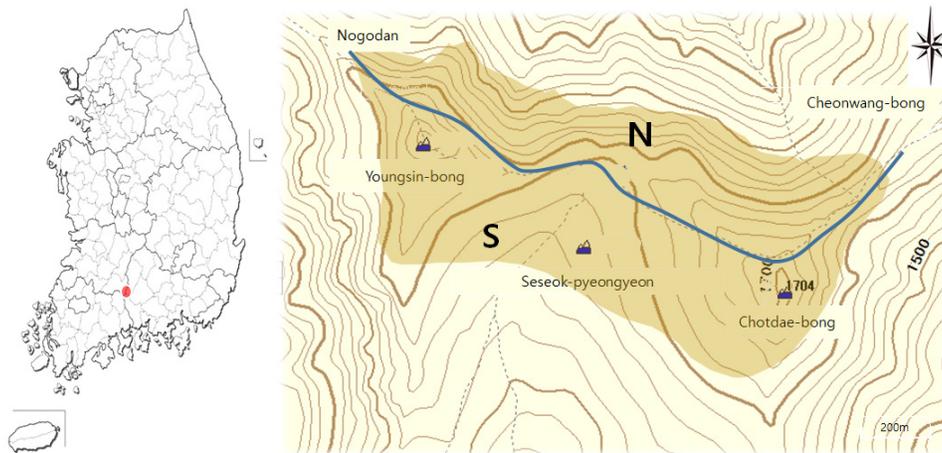


Fig. 1. The location map of survey area

기 위하여 2016년 6월에 각 조사지에서 3개의 토양시료를 채취하여 음건한 후 2 mm채로 걸러 분석하였다. 토양 pH는 pH meter (720A, Orion, USA), 유기물 함량은 작열감량법 (loss on ignition), 전질소함량은 대용량자동원소분석기 (LECO, USA), 유효인산 및 치환성양이온 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+)은 유도결합플라즈마분광계 (Atomscan, USA)로 분석하였다. 본 연구에서는 토양분석 항목에 대한 결과를 사면별로 나타내었으며, 사면별 토양특성의 차이를 규명하기 위하여 분산분석을 실시하였으며, 통계분석은 SPSS 14.0K (IBM Corp., Armonk, NY, USA) 프로그램을 사용하였다.

2.2.2 식생조사

식생조사는 2016년 6월부터 7월에 400 m² 크기의 조사구를 각 사면별로 10개씩 총 20개의 조사구를 설치하여 실시하였다. 조사구에서 출현하는 수종은 수고를 기준으로 교목층 (8m 초과), 아교목층 (2~8m), 관목층 (0.8~2m), 초본층 (0.8m 미만)으로 구분하였으며, 2 cm이상의 목본을 대상으로 매목조사를 실시하였다. 매목조사를 통해 얻어진 자료를 이용하였고, 초본층은 피도계급으로 분석한 자료를 이용하여 중요치를 산출하였다. 군락구조의 안정도와, 성숙도의 정도를 파악하기 위해 Shannon의 종다양도지수 (H'), 최대종다양도 ($H' \max$), 균제도 (J')와 우점도 (D')를 분석하였다. 매목조사 시 구상나무의 교란정도를 파악하기 위하여 구상나무 고사목을 잔가지가 부러져 고사 (BB, broken branch), 큰 가지가 부러져 고사 (LF, limb fall), 주간이 부러져 고사 (SO, snap off), 서서 고사 (SD, standing dead), 뿌리 채 뽑혀 고사 (UR, up rooted)하는 유형으로 분류하여 조사하였다 (Ko *et al.*, 2013). 또한 사면별 구상나무의 연륜생장량을 분석하기 위해 성장추를 이용하여 지상 1m 높이에서 줄기의 중심을 관통한 연륜시료를 채취하였다. 시료 채취는 각 조사구에서 평균 흉고직경에 해당하는 개체로 사면별 10개체에서 채취하였으며 각 개체목당 2개의 시료씩 총 40개의 시료를 분석

하였다. 연륜생장측정기 (Win-DENDRO Ver 6.3, Regent Instruments, Canada)를 사용하여 정확도 1/100mm까지 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 토양환경

세석지역 구상나무림의 사면별 토양환경을 분석한 결과 (Table 1), 토양수분은 남사면이 29.9%로 북사면의 21.7%에 비해 유의적으로 높은 것으로 분석되었다. 일반적으로 북사면이 남사면보다 토양수분이 높은 경향을 보이지만 본 연구에서는 남사면 지역에 나타나는 계곡 등 지형에 의해 이러한 결과가 나타난 것으로 보인다. Kim & Oh (2016)는 구상나무의 수고와 흉고직경은 지형적 특성 중에서 수분상태를 나타내는 지형습윤지수의 영향이 가장 클 것으로 예측한 바 있다. 또한 Cho *et al.* (2015)은 세석지역은 높은 토양수분의 영향으로 지리산의 다른 구상나무군락이 쇠퇴하고 있는 것과 달리 구상나무군락이 유지되고 있다고 보고한 바 있다. 남사면의 초본층과 관목층에 나타나는 구상나무의 치수나 유묘의 생육과 토양수분 간의 관련성을 밝히기 위한 지속적인 모니터링이 필요하다. 토양 pH의 경우 남사면 4.25, 북사면 4.27로 사면 간에 유의적인 차이는 없었으며, 지리산 반야봉 아고산침엽수림의 4.20 (Cho *et al.*, 2016), 주목군락 4.31 (Kim *et al.*, 2010), 가문비나무군락 4.20~4.70 (Han *et al.*, 2012)과도 큰 차이가 나타나지 않았다. 토양유기물은 토양구조, 보수력 등에 영향을 미치며, 전질소와 유효인산을 공급하는데, 그 함량은 남사면 11.3%, 북사면 14.0%로 북사면이 조금 높긴 하지만 사면 간 유의적인 차이가 없었다. 일반적인 산림토양의 유기물함량 4.5% (Jeong *et al.*, 2002)와 비교하면 아주 높은 것으로 나타났는데, 이는 본 조사지가 산악지역이라는 지형적인 특성과 더불어 본 조사지의 높은 토양수분으로 인한 부식조건 때문인 것으로 판단된다. 전질소 (TN) 함량은 0.74~

Table 1. Soil chemical properties of the surveyed area

| Slope | Mois. | pH (H ₂ O) | O.M (%) | T-N (%) | P ₂ O ₅ (ppm) | C.E.C (cmol ⁺ /kg) | Ex-cation (cmol ⁺ /kg) | | | |
|-------|-------------------------------|-----------------------|------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | | | | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ |
| South | 29.9a ^y (±2.08) | 4.25a (±0.04) | 11.3a (±1.38) | 0.74a (±0.07) | 6.00a (±1.30) | 15.4a (±2.17) | 0.72a (±0.14) | 0.36a (±0.06) | 0.16a (±0.03) | 0.14a (±0.02) |
| North | 21.7b (±2.40) | 4.27a (±0.06) | 14.0a (±1.84) | 0.89a (±0.19) | 8.80a (±1.37) | 13.8a (±1.51) | 0.56a (±0.06) | 0.26a (±0.06) | 0.16a (±0.04) | 0.12a (±0.02) |

^yMeans followed by different letters within columns are significantly different at $p=0.05$ level by Duncan's multiple range test.

0.89%로 덕유산의 구상나무군락 0.62%, 주목군락 0.60% (Kim *et al.*, 2010) 보다 높은 것으로 나타났는데, 전질소를 대부분 공급해 주는 유기물함량이 높기 때문에 판단된다. 유효인산은 6.00~8.80 ppm으로 반야봉 아고산 침엽수림 10.1 ppm (Cho *et al.*, 2016), 덕유산 구상나무군락 32.6 ppm, 주목군락 21.9 ppm (Kim *et al.*, 2010) 보다 낮은 것으로 나타났다. 유효인산 함량은 토양 pH나 유기물함량과 밀접한 관계가 있는데 pH가 낮을 경우 인산의 난용성으로 유효인산의 함량이 낮은 것으로 알려지고 있다 (Park and Jang, 1998). 토양 중 보비력을 나타내는 중요한 척도인 양이온치환용량 (C.E.C.)은 남사면 (15.4 cmol^+/kg)이 북사면 (13.8 cmol^+/kg) 보다 조금 높았지만 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났으며, 치환성양이온 함량은 남사면 (Ca^{2+} 0.72 cmol^+/kg , Mg^{2+} 0.36 cmol^+/kg , K^+ 0.16 cmol^+/kg , Na^+ 0.14 cmol^+/kg)이 북사면 (Ca^{2+} 0.56 cmol^+/kg , Mg^{2+} 0.26 cmol^+/kg , K^+ 0.16 cmol^+/kg , Na^+ 0.12 cmol^+/kg) 보다 조금 높았지만 사면 간 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 본 연구에서는 토양수분을 제외한 항목에서 사면간 큰 차이가 나타나지 않았는데, 이것은 한라산 구상나무림 토양분석에서 유기물함량, 전질소, 유효인산, 양이온치환용량, 양이온의 함량이 쇄퇴지역에서 낮은 것으로 나타나 생물환경이 불량하다는 보고 (Lim *et al.*, 2007)와는 다른 경향이었다.

3.2 식생구조

사면별 중요치는 교목층에서는 남사면과 북사면에서 구상나무가 각각 57.4, 56.9로 가장 높게 나타났다 (Table 2). 이어 남사면에서는 잣나무 (10.1), 신갈나무 (7.2) 순이었으며, 북사면에서는 가문비나무 (10.3), 잣나무 (7.6)의 순으로 중요치가 높게 나타났다. 아교목층에서는 남사면에서 구상나무 (43.4), 사스래나무 (11.5), 당단풍나무 (9.7), 북사면에서는 구상나무 (37.3), 사스래나무 (16.3), 부계꽃나무 (9.2)의 순이었다. 교목층에서 일부 개체가 나타났던 가문비나무가 아교목층에서는 전혀 나타나지 않았다. 관목층에서는 남사면에서 철쭉이 43.9로 가장 높은 중요치를 보였으며, 구상나무가 18.9로 비교적 높은 중요치를 보였고 이어 산철쭉, 조릿대의 순이었으며, 북사면에서는 산철쭉 (13.9), 미역줄나무 (10.6), 부계꽃나무 (9.5), 쇠물푸레나무 (8.9) 등이 유사한 중요치를 보였으나, 구상나무는 6.5로 낮은 중요치를 보였다. 초본층에서는 남·북사면에서 기름새가 가장 높은 중요치를 보였다. 이어 남사면에서는 조릿대, 구상나무의 순으로 높은 중요치를 보였으며, 북사면에서는 단풍취, 관중, 지리대사초 등의

중요치가 비교적 높은 것으로 나타났다. 모든 층위에서 구상나무는 북사면보다 남사면에서 중요치가 높았다. 관목층 및 초본층에서의 상대적으로 낮은 조릿대의 피도가 구상나무의 실생묘와 치수 발생에 긍정적인 역할을 했을 것으로 추정된다. 지리산 반야봉과 천왕봉 구상나무림은 상층에서의 구상나무 고사율 증가와 하층에서 구상나무 치수와 유효가 거의 발생하지 않아 향후 구상나무림으로의 유지가 어려울 것이라는 연구 (Cho *et al.*, 2016; Noh, 2017)와는 다른 경향이었다. 구상나무를 비롯한 아고산 침엽수종의 치수발생 특성을 파악하는 것은 식생구조 유지에 매우 중요한 역할을 하며 천연갱신 메카니즘을 밝힐 수 있는 기초자료이다. Hong *et al.* (2008)은 한라산에서는 제주조릿대 밀도가 높지 않은 임연부의 바위주변에 구상나무 치수가 많이 나타났다고 보고한 바 있다. 한라산과 지리산은 지리적 기후적 특징이 상이하나 치수에 발생의 현상을 분석하기 위해 세석지역 남사면에서 많이 나타난 구상나무 실생묘와 치수에 대해서는 생태적인 특성을 포함한 입지환경과 생육상황 등에 대해 향후 지속적인 모니터링이 이루어져야 할 것이다. 한편 북사면에서는 아고산성 수종의 갱신에 부정적인 영향을 미치는 조릿대가 관목층과 하층에 전혀 출현하지 않았음에도 구상나무 발생량이 적은 것으로 나타났다. Song & Kim (2018)은 북사면인 한라산 장기생태연구 조사지에서 구상나무의 성숙개체가 급격히 감소하고 있고, 치수발생량보다 고사량의 비율이 높게 나타나 구상나무 임분으로의 유지가 어려울 것이라고 예측한 바 있다. 사면방위에 따른 식물의 분포 및 물질생산에는 온도뿐만 아니라 토양수분의 영향도 강하다는 것 (Shoulder & Tiarks, 1980)과 남사면에 비해 북사면의 낮은 토양수분 함량 (Table 1)을 고려하면 세석지역 북사면은 남사면에 비해 구상나무림으로의 유지가 더욱 어려울 것으로 판단된다.

산림군집의 구조차이를 시각적으로 해석하거나 정량화하기 위한 방법 중 하나인 종다양도 지수 등을 사면별, 층위별로 분석한 결과 (Table 3), 군집의 종다양성 및 안정도를 간접적으로 알 수 있는 출현종수는 남사면 교목층 13종, 아교목층 17종, 관목층 10종, 북사면에서는 각각 11종, 15종, 18종으로 지리산 반야봉 아고산침엽수림 (Cho *et al.*, 2016)과 비교하면 출현종수가 교목층에서는 많았지만 아교목층과 관목층에서는 적은 것으로 나타났다. 종다양도는 교목층에서 남사면 0.413, 북사면 0.396, 아교목층에서 각각 0.632, 0.783, 관목층에서 0.609, 1.215로 다른 아고산 침엽수림 (Song *et al.*, 2010; Cho *et al.*, 2012; Ko *et al.*, 2013)과 비교하면 전체적으로 낮은 것으로 분석되었다. 군재도는 그 값이 1에 가까울수록 군집이 안정상태에 도달되었다고 판단하는데, 남사면에서

Table 2. Important value by slope of *A. koreana* forest

| Layer | Scientific name | Korean name | South | North |
|-------------------------------------|--|----------------------|-------|-------|
| Tree | <i>Abies koreana</i> | 구상나무 | 57.4 | 56.9 |
| | <i>Picea jezoensis</i> | 가문비나무 | 2.4 | 10.3 |
| | <i>Pinus koraiensis</i> | 잣나무 | 10.1 | 7.6 |
| | <i>Quercus mongolica</i> | 신갈나무 | 7.2 | 3.4 |
| | <i>Betula ermanii</i> | 사스래나무 | 5.3 | 3.2 |
| | <i>Fraxinus sieboldiana</i> | 쇠물푸레나무 | 4.5 | - |
| | <i>Malus baccata</i> | 야광나무 | 3.4 | 1.8 |
| | <i>Acerpseudo-sieboldianum</i> | 당단풍나무 | 3.3 | 1.8 |
| | The other species | | 6.4 | 15.0 |
| | Sub tree | <i>Abies koreana</i> | 구상나무 | 43.4 |
| <i>Betula ermanii</i> | | 사스래나무 | 11.5 | 16.3 |
| <i>Acer pseudo-sieboldianum</i> | | 당단풍나무 | 9.7 | 8.5 |
| <i>A. ukurunduense</i> | | 부계꽃나무 | 7.9 | 9.2 |
| <i>Quercus mongolica</i> | | 신갈나무 | 5.8 | 4.9 |
| <i>Malus baccata</i> | | 야광나무 | 5.0 | 5.2 |
| <i>Rhododendron schlippenbachii</i> | | 철쭉 | 3.7 | 2.0 |
| <i>Pinus koraiensis</i> | | 잣나무 | 4.1 | 1.5 |
| The other species | | | 8.9 | 15.1 |
| Shrub | <i>Rhododendron schlippenbachii</i> | 철쭉 | 43.9 | 11.2 |
| | <i>Abies koreana</i> | 구상나무 | 18.9 | 6.5 |
| | <i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i> | 산철쭉 | 8.6 | 13.9 |
| | <i>Sasa borealis</i> | 조릿대 | 6.5 | - |
| | <i>Tripterygium regelii</i> | 미역줄나무 | 3.8 | 10.6 |
| | <i>Fraxinus sieboldiana</i> | 쇠물푸레나무 | 3.8 | 8.9 |
| | <i>Symplocos chinensis</i> var. <i>pilosa</i> | 노린재나무 | 3.8 | - |
| | <i>Acer pseudo-sieboldianum</i> | 당단풍나무 | 2.8 | 8.6 |
| | <i>A. ukurunduense</i> | 부계꽃나무 | - | 9.5 |
| | <i>Betula ermanii</i> | 사스래나무 | - | 6.7 |
| | <i>Pinus koraiensis</i> | 잣나무 | - | 3.8 |
| The other species | | 7.9 | 20.3 | |
| Herb | <i>Spodiopogon cotulifer</i> | 기름새 | 26.1 | 19.8 |
| | <i>Ainsliaea acerifolia</i> | 단풍취 | 1.2 | 14.3 |
| | <i>Dryopteris crassirhizoma</i> | 관중 | 2.4 | 13.5 |
| | <i>Carex okamotoi</i> | 지리대사초 | 7.0 | 12.2 |
| | <i>Sasa borealis</i> | 조릿대 | 10.5 | - |
| | <i>Abies koreana</i> | 구상나무sd. | 8.4 | 1.5 |
| | <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> | 고사리 | 7.6 | 8.1 |
| | <i>Matteuccia orientalis</i> | 개면마 | 6.8 | - |
| | <i>Ligularia fischeriz</i> | 곰취 | 3.6 | 1.8 |
| | <i>Acer ukurunduense</i> | 부계꽃나무sd. | 3.6 | 1.2 |
| | <i>Veratrum patulum</i> | 박새 | 2.4 | 0.6 |
| | <i>Plantago asiatica</i> | 질경이 | 2.4 | 0.6 |
| | <i>Hosta capitata</i> | 일월비비추 | 2.4 | 1.8 |
| | <i>Carex lanceolata</i> | 그늘사초 | 1.2 | 1.5 |
| | <i>Symplocos chinensis</i> var. <i>pilosa</i> | 노린재나무sd. | 1.2 | - |
| | <i>Picea jezoensis</i> | 가문비나무sd. | 1.1 | - |
| The other species | | 12.1 | 23.1 | |

Table 3. Species diversity by layer of *A. koreana* forest

| Slope | Layer* | No. of species | Species diversity (H') | Maximum H' (H'_{max}) | Evenness (J') | Dominance ($1 - J'$) |
|-------|--------|----------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------|
| South | Tr. | 13 | 0.413 | 1.114 | 0.371 | 0.629 |
| | Su. | 17 | 0.632 | 1.230 | 0.514 | 0.486 |
| | Sh. | 10 | 0.609 | 1.000 | 0.609 | 0.391 |
| North | Tr. | 11 | 0.396 | 1.041 | 0.380 | 0.620 |
| | Su. | 15 | 0.783 | 1.176 | 0.666 | 0.334 |
| | Sh. | 18 | 1.215 | 1.255 | 0.968 | 0.032 |

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

Table 4. The mortality rate by slope of *A. koreana*

| Slope | Tree | | | Subtree | | | Total | | |
|-------|-------------------------|------|----------------|-------------------------|------|----------------|-------------------------|------|----------------|
| | No. of individual (/ha) | | Dead ratio (%) | No. of individual (/ha) | | Dead ratio (%) | No. of individual (/ha) | | Dead ratio (%) |
| | Living | Dead | | Living | Dead | | Living | Dead | |
| South | 395 | 25 | 6.3 | 208 | 33 | 15.9 | 603 | 58 | 9.6 |
| North | 275 | 50 | 18.2 | 167 | 58 | 34.7 | 442 | 108 | 24.4 |
| Total | 670 | 75 | 11.2 | 375 | 91 | 24.3 | 1,045 | 166 | 15.9 |

교목층 0.371, 아교목층 0.514, 관목층 0.609로 북사면의 0.380, 0.666, 0.968에 비해 균재도가 다소 낮은 것으로 나타났다. 남사면의 균재도가 낮다는 것은 북사면에 비해 상대적으로 구상나무의 임상이 안정되어 있는 상태이기 때문에 다른 종의 확산이 어렵다는 것을 의미하는데 (Cho *et al.*, 2015), 아고산대의 생육여건 상 출현하는 종이 제한적이고 수관 상층부가 소개되지 않으면 하층부의 식물종들이 생장에 많은 영향을 받기 때문인 것으로 추정된다. 우점도는 남·북사면에서 교목층 0.620-0.629, 아교목층 0.334-0.486, 관목층 0.032-0.391로 교목층에서는 구상나무가 상대적으로 우점하고 있다는 것을 알 수 있다.

3.3 고사율과 고사유형

세석지역 구상나무의 생육상황을 파악하기 위하여 ha당 개체수와 고사목을 분석하였다. 남사면과 북사면에서 구상나무는 ha당 603개체, 442개체로 남사면이 많은 것으로 나타났으며, 고사목은 남사면 58개체, 북사면 108개체로 고사율은 각각 9.6%, 24.4%로 북사면에서의 구상나무 고사가 뚜렷하게 나타났다 (Table 4). 교목층에서는 남사면과 북사면에서 구상나무가 각각 395개체, 275개체, 아교목층에서는 남사면과 북사면에서 각각 208개체, 167개체로 교목층, 아교목층 모두 남사면에서 많은 것으로 확인되었다. 고사목은 교목층에서 남사면 25개체, 북사면 50개체로 구상나무 고사율은 각각

6.3%, 18.2%, 아교목층에서는 남사면 33개체, 북사면 58개체로 고사율은 각각 15.9%, 34.7%로 나타나 남·북사면 모두 아교목층에서의 구상나무 고사가 뚜렷한 것으로 확인되었다. 지리산 세석지역은 ha당 구상나무가 1,045개체, 고사목 166개체로 고사율 15.9%인 것으로 나타났다. 지리산 천왕봉과 반야봉 구상나무림의 고사율 16.7%, 22.1% (Noh, 2017)와 비교하면 세석지역 남사면은 아주 낮은 고사율인 반면 북사면은 이들 지역보다 높은 비율로 구상나무가 고사하고 있다는 것을 알 수 있다. Kim *et al.* (2016)은 한라산 구상나무림 내 2,225개체의 구상나무 중 교목층의 720개체가 고사하여 고사율 32.4%로 구상나무 군집의 지속여부에 대한 우려를 나타낸 바 있다. 지리산 세석지역 구상나무림은 사면별 고사율이 다르게 나타나고 있으며, 특히 북사면의 경우 높은 고사율을 보여 고사원인에 대한 세부적인 연구 및 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

지리산 세석지역에서의 구상나무 고사 유형을 5가지로 구분하여 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 사면별 고사유형은 선채로 고사한 개체가 남사면 30본 (52%), 북사면 55본 (50.9%)으로 가장 많았으며, 뿌리 채 뽑혀 고사한 개체는 각각 17본 (29.3%), 32본 (29.6%)이었다. 이어 주간이 부러져 고사한 개체가 각각 5본, 10본이었으며, 잔가지가 부러져 고사한 개체와 큰 가지가 부러져 고사한 개체는 상대적으로 낮은 비율이었다. 뿌리 채 뽑혀 고사한 구상나무는 주로 탐방로 주변의 토심이 얇은 곳에서 나타났다. 구상나무의 고사유형

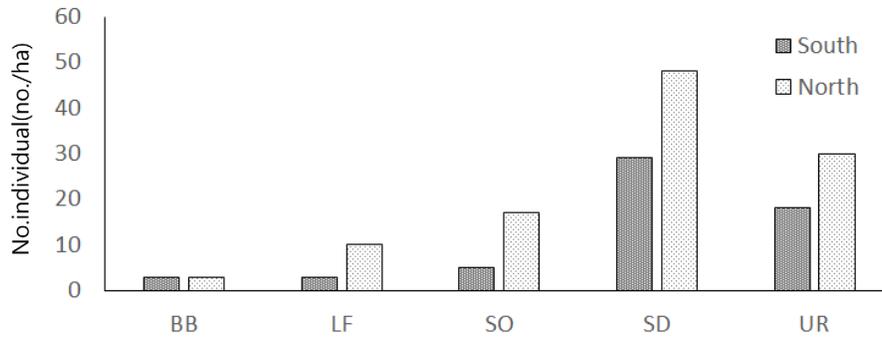


Fig. 2. The mortality type by slope of *Abies koreana* at the study sites. BB: Broken branch, LF: Limb fall, SO: Snap off, SD: Standing dead, UR: Up rooted.

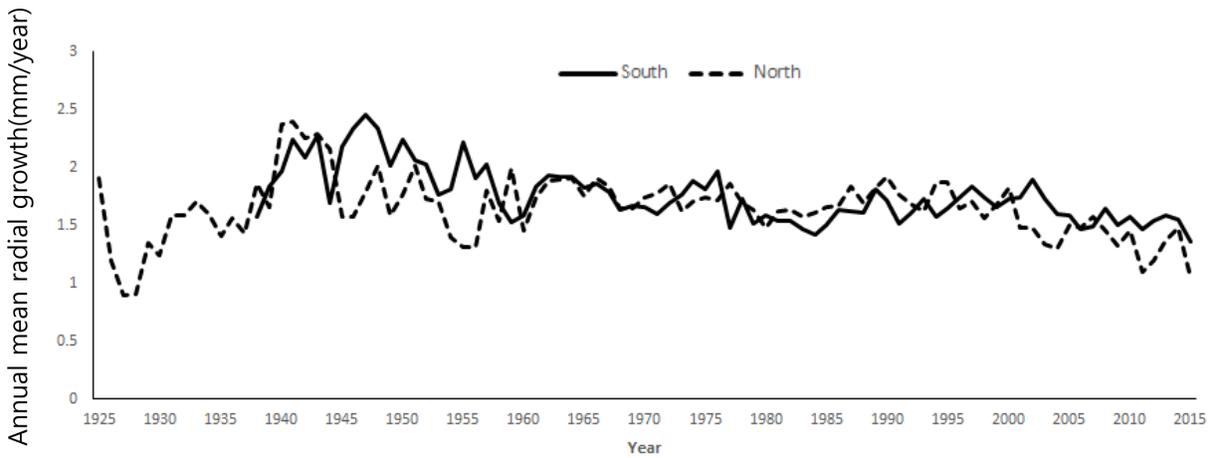


Fig. 3. Annual mean radial growth of *Abies koreana* at the study site.

은 두 사면에서 선채로 고사한 개체의 비율이 가장 높고, 이어 뿌리 채 뽑혀 고사한 개체 순으로 나타나 동일한 경향이였다. Nakashizuka (1984)는 외부 요인의 영향이 강하게 작용하면 뿌리 채 뽑혀 고사하는 비율이 높게 나타난다고 보고한 바 있는데, 본 연구에서는 선채로 고사한 개체의 비율이 가장 높게 나타나 내부의 요인이 보다 강하게 작용했을 것으로 추정된다. 아고산성 침엽수종의 고사유형은 gap 형성 및 치수 발생 등과 밀접한 관계를 가지는 것으로 알려져 있다 (Ko *et al.*, 2013). *Abies*속과 *Picea*속 등의 아고산 침엽수의 치수와 실생은 도목의 부후가 진행된 곳에서 많이 나타나며, 이러한 환경은 아고산 침엽수의 갱신에도 유리한 것으로 알려져 있다 (Nakagawa *et al.*, 2003; Maruyama *et al.*, 2004; Yano *et al.*, 2010). 한편 Han (2013)은 우리나라 가문비나무림 연구에서 고사목이 지면에 넘어져 있는 곳에서는 고사목 부근에 치수와 유묘가 나타나지만, 지리산에서는 도목 공급량이 적어

갱신에 어려움이 있다고 보고한 바 있다. 본 연구에서도 구상나무는 선채로 고사하는 개체의 비율이 가장 높게 나타나 도목부근에서의 구상나무 갱신에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 인위적인 관리나 시업을 하지 않는 것이 국립공원의 기본적인 운영지침이지만, 특산수종인 구상나무가 자생지에서 지속적으로 쇠퇴하고 있는 현실을 감안하면 구상나무 고사목을 도목으로 유도하여 구상나무의 실생묘 및 치수 발생상황을 모니터링하는 것도 구상나무림의 지속적인 유지를 가능하게 하는 하나의 방안으로 고려해 볼 수 있을 것이다.

3.4 연륜생장량

세석지역 남사면과 북사면에서 평균적인 흉고직경에 해당하는 구상나무 개체의 연평균 연륜생장량을 분석한 결과 (Fig. 3), 생육초기에는 연륜생장량의 증감폭이 크게 나타났

고, 사면별로는 남사면 1.76 mm/yr, 북사면 1.64 mm/yr로 남사면 구상나무의 연평균 연륜생장량이 더 높은 것으로 나타났다. 세석지역 구상나무의 연평균 연륜생장량 (1.64~1.76 mm/yr)은 지리산 전체 구상나무의 1.37~1.56 mm/yr (Cho, 2015), 다른 아고산성 침엽수인 오대산 분비나무 1.20~1.79 mm/yr (Chun *et al.*, 2011), 설악산 분비나무 0.72~1.49 mm/yr (Lee, 2013), 덕유산과 설악산의 주목 0.93~1.27 mm/yr (Chun *et al.*, 2012)와 비교하여도 전체적으로 높은 것으로 나타났다. Chun *et al.* (2011)은 오대산 분비나무의 연구에서 암반이 많아 양분과 토양수분의 공급이 부족한 곳의 연평균 연륜생장량이 낮다고 보고한 바 있다. 지형의 수분조건을 정량화하기 위하여 지형습윤지수라는 것이 있는데, 이 값이 클수록 토양수분이 상대적으로 많다는 것을 의미한다 (Gessler *et al.*, 2000). Kim and Oh (2016)는 지형습윤지수를 이용하여 이 값이 높은, 즉, 토양수분이 많은 곳에서의 구상나무의 연륜생장량이 높다고 하였다. Cho *et al.* (2015)은 지리산 대부분의 구상나무림에서 개체수가 감소하는 등의 현상이 나타나고 있는 것에 비해 세석지역은 실생묘와 치수가 나타나는 등 구상나무림으로 유지되는 것은 상대적으로 풍부한 토양수분의 영향도 있을 것으로 추정된 바 있다. 한편, 북사면 구상나무의 연평균 연륜생장량이 다소 낮게 나타난 것은 사면에 따른 영향과 상대적으로 낮은 토양수분의 영향 등도 고려할 수 있으나 향후 구상나무 임분 내의 생태적 특성 등에 대한 세부적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 지리산 국립공원 세석지역에 분포하는 구상나무 임분의 사면에 따른 생태적 특성을 분석하여 구상나무 개체 및 임분의 보존과 효율적인 관리방안을 제시하기 위한 자료구축에 목적이 있다. 토양분석 결과, 토양수분은 남사면 (29.9%)이 북사면 (21.7%)에 비해 유의적으로 높게 나타났으나 다른 항목에서는 사면간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 중요치 분석 결과, 교목층과 아교목층에서는 남·북사면 모두 구상나무의 중요치가 가장 높았으며, 관목층에서는 구상나무의 중요치가 남사면에서 18.9로 비교적 높았으나 북사면에서는 6.5의 값을 보였다. 하층에서는 남사면에서 치수가 나타나는 등 8.4의 높은 중요치를 보였으나 북사면에서는 1.5로 아주 낮은 값을 보였다. 남사면에서 구상나무가 모든 층위에서 비교적 높은 중요치를 보인 것과 구상나무의 실생묘와 치수가 많이 발생한 것은 특이할 만하다. 관목층 및 초본층에서의 상대적으로 낮은 조릿대의 피도가 구상나무의

실생묘와 치수 발생에 긍정적인 역할을 했을 것으로 추정된다. 종다양도는 교목층에서 남사면 0.413, 북사면 0.396, 아교목층에서 각각 0.632, 0.783, 관목층에서 0.609, 1.215로 전체적으로 낮은 것으로 분석되었다. 균재도는 그 값이 1에 가까울수록 균집이 안정상태에 도달되었다고 판단하는데, 남사면이 북사면에 비해 다소 낮게 나타났는데, 남사면은 전 층위에서 구상나무가 균집이 불안정하며, 북사면에서는 다른 종의 확산이 어렵다는 것을 의미한다.

구상나무 고사목은 남사면 58본 (9.6%), 북사면 108본 (24.4%)으로 총 166본 (15.9%)이었으며, 북사면에서의 고사목이 남사면보다 약 2배 정도 많은 것으로 나타났다. 사면별 고사율이 다르게 나타나고 있으며, 특히 북사면의 경우 높은 고사율을 보여 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다. 사면별 고사유형을 살펴보면, 선채로 고사한 개체가 남사면 30본 (52%), 북사면 55본 (50.9%)으로 가장 높은 고사유형을 보였다. 구상나무 고사목을 도목으로 유도하여 구상나무의 실생묘 및 치수 발생상황을 모니터링하는 것도 구상나무림의 지속적인 유지를 가능하게 하는 대안이 될 수 있을 것이다. 평균적인 흉고직경에 해당하는 구상나무의 연륜생장량은 생육초기에는 증감폭이 크게 나타났고, 사면별로는 남사면 1.76 mm/yr, 북사면 1.64 mm/yr로 남사면에서 구상나무의 연평균 연륜생장량이 더 높은 것으로 나타났다. 북사면 구상나무의 연평균 연륜생장량이 다소 낮게 나타난 것은 사면에 따른 영향과 상대적으로 낮은 토양수분의 영향 등도 고려할 수 있으나 향후 구상나무 임분 내의 생태적 특성 등에 대한 세부적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서 밝혀진 지리산 세석지역의 남사면 및 북사면의 생태적 특성은 기후변화로 인한 구상나무 개체의 반응예측 및 임분의 쇠퇴를 예측하는데 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Becker M, Landmann G, Levy G. 2004. Silver fir decline in the vosges mountains. *Water Air Soil Pollut* 48:77-86.
- Cho MG, Chung JM, Im HI, Noh I, Kim TW, Kim CY, Moon HS. 2016. Ecological characteristics of sub-alpine coniferous forest on Banyabong in Mt. Jiri. *J Clim Chan Res* 7:465-476.
- 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.
- 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.
- Chun YM, Hong MP, Lee NY, Seo EK, Lee SH. 2012. Structure and dynamics of *Taxus cuspidata* populations. Korean J Pl Res 25:123-131.
- Gessler PE, Chadwick OA, Chamran F, Althouse L, Holmes K. 2000. Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes. Soil Sci Soc Am J 64:2046-2056.
- 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.
- Hong SG, Kim JJ, Cho HK. 2008. Studies on natural regeneration of *Abies koreana*. The National Aca Sci 47:71-84.
- Jeong JH, Koo KS, Lee CH, Kim CS. 2002. Physico-chemical properties of Korean forest soils by regions. Jour Korean For Soc 91:694-700.
- 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 JD, Park GE, Lim JH, Yun CW. 2018. The change of seedling emergence of *Abies koreana* and altitudinal species composition in the subalpine Area of Mt. Jiri over Short Term (2015-2017). Korean J Environ Ecol 32:313-322.
- Kim JK, Koh JG, Yim HT, Kim DS. 2017. Changes of spatial distribution of Korean fir forest in Mt. Hallasan. Korean J Environ Ecol 31:549-556.
- Kim JW. 1992. Vegetation of northeast Asia. On the syntaxonomy and syngelography of the oak and beech forest. Dissertation. Wien University.
- 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 SH, Park HC, Oh CH. 2016. A study on the state and sustainability of *Abies koreana* in Hallasan mountain. Proc Korean Soc Environ Ecol Con 26:23.
- Ko SY, Han SH, Yun CW. 2013. Population structure and dynamics of the *Picea jezoensis* stand in Mt. Gyeongbansan. Jour Korean For Soc 102:355-364.
- Korea National Park Service. 2000. Ecological monitoring report of National park (I). Korean National Park Service. 590pp
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources. 2009. <https://www.kigam.re.kr>
- 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 WT, Yim YJ. 1978. Studies on the distribution of vascular plants in the Korean Peninsula. Korean J Pl Taxon 8:103-107.
- 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.
- Lim JH, Woo SY, Kwon MJ, Kim YK. 2007. Antioxidant enzyme activities and soil properties of healthy and declining *Abies koreana* (Wils.) in Mt. Halla. Jour Korean For Soc 96:14-20.
- Maruyama R, Maruyama M, Konno Y. 2004. Effects of influence of understory vegetation and litter on the establishment of *Abies sachalinensis* and *Picea jezoensis* seedlings in a conifer forests in Hokkaido Northern Jap. Jap J Ecol 54:105-115.
- Nakagawa M, Kurahashi A, Hogetsu T. 2003. The regeneration characteristics of *Picea jezoensis* and *Abies sachalinensis* on cut stump in the sub-boreal forests of Hokkaido Tokyo University Forest. For Ecol Manage 180:353-359.
- Nakashizuka T. 1984. Regeneration process of climax beech (*Fagus crenata* Blume) forest IV. Gap formation. Jap J Ecol 34:75-85.
- National Institute of Forest Science. 2017. Symposium for conservation plan of *Abies koreana* in Mt. Halla. National Institute of Forest Science. p.133.
- Noh I. 2017. Ecological characteristics of subalpine

- coniferous forest in Jirisan National Park. Dissertation, Gyeongsang National University.
- Noh I, Chung JM, Cho MG, Kim TW, Moon HS. 2017. The flora of subalpine vascular plants in Seseok area in Jirisan National Park. *J Clim Chan Res* 8:201-211.
- Park GS, Jang KK. 1998. Soil properties in *Quercus mongolica* communities. *Kor J Env Eco* 2:236-241.
- Shoulder E, Tiarks AE. 1980. Predicting height and relative performance of major southern pines from rainfall, slope and available soil moisture. *Soc Ame For* 26:437-447.
- Sim JS. 2018. Diversity and community structure of ectomycorrhizal fungi associated with *Abies koreana* along altitudinal gradients on Mt. Halla. MS Thesis. Korea National Univ., Education.
- 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, Kim JH. 2018. Vegetation change of long-term ecological research (LTER) site of *Abies koreana* forests in Hallasan mountain (Yeongsil area). *J Korean Env Res Tech* 21:1-12.
- Tiwari A, Fan ZX, Jump AS, Li SF, Zhou ZK. 2017. Gradual expansion of moisture sensitive *Abies spectabilis* forest in the Trans-Himalayan zone of central Nepal associated with climate change. *Dendrochron* 41:34-43.
- Yano K, Shibuya M. 2010. Site preference and occurrence patterns of *Abies sachalinensis* and *Picea jezoensis* on decayed logs in natural coniferous forests in Hokkaido, northern Japan. *Jap For Res* 15:108-114.
- Yim YJ, Kira T. 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula I. Distribution of some indices of thermal climate. *Jap J Eco* 25:77-88.