



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

박사학위논문

한라산 구상나무림의
식생 구조와 동태

제주대학교 대학원

생명과학과

송 국 만

2011년 8월

한라산 구상나무림의 식생 구조와 동태






지도교수 김 문 흥

송 국 만

이 논문을 이학 박사학위 논문으로 제출함

2011년 8월

송국만의 이학 박사학위 논문을 인준함

심사위원장	고 석 찬	
위 원	김 명 숙	
위 원	김 철 수	
위 원	양 영 환	
위 원	김 문 흥	

제주대학교 대학원

2011년 8월

**Vegetation Structure and Dynamics
of *Abies koreana* Forests on Mt. Halla**

Kuk-Man Song

(Supervised by Professor Moon-Hong Kim)

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of Doctor of Philosophy

August, 2011

This dissertation has been examined and approved by

Seok Chan Koh

Chairperson of the Committee

Myung Sook Kim

Chul-Soo Kim

Young-hoan Yang

Moon-Hong Kim

August, 2011

Date

Department of Life Science
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	v
List of Appendices	viii
Summary	x
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	4
1. 조사 위치	4
2. 기상 특성	6
3. 조사 및 분석 방법	8
1) 한라산 구상나무림 분포 조사	8
2) 한라산 구상나무림 식생 조사	9
3) 한라산 구상나무림 기온과 상대습도 조사	10
4) 분석 방법	11
III. 조사 결과	13
1. 한라산 구상나무림의 분포	13
1) 해발 고도에 따른 구상나무림의 분포 특성	16

2) 경사 및 방위에 따른 구상나무림의 분포 특성	17
2. 한라산 구상나무림의 식생 구조	20
1) 식생 유형 I-1의 구조와 현황	24
2) 식생 유형 I-2의 구조와 현황	30
3) 식생 유형 II의 구조와 현황	36
4) 한라산 구상나무림의 식생 유형별 종다양성	42
3. 한라산 구상나무림의 치수 발생과 해발고도에 따른 식생 동태	43
1) 한라산 구상나무림의 치수 발생 특성	43
(1) 구상나무의 치수 발생량과 입지 환경과의 상관관계 분석	43
(2) 구상나무의 치수, 개체, 수관 분포	45
2) 해발고도에 따른 구상나무림의 식생 동태	51
IV. 고찰	54
V. 요약	63
VI. 인용 문헌	65
Appendices	76

List of Tables

Table 1. Measuring instruments and positional information of each meteorological observation points	10
Table 2. The area of <i>Abies koreana</i> forests on Mt. Halla	14
Table 3. The area of <i>Abies koreana</i> forests on Mt. Halla classified by altitude	16
Table 4. Vegetation features of <i>Abies koreana</i> forests on Mt. Halla	23
Table 5. Mean importance value of species distributed on upper and lower layers at vegetation Type I-1	26
Table 6. Mean importance value of species distributed on upper and lower layers at vegetation Type I-2	32
Table 7. Mean importance value of species distributed on upper and lower layers at vegetation Type II	38
Table 8. Species diversity indices of <i>Abies koreana</i> forests on Mt. Halla by vegetation type	42
Table 9. Correlation between number of seedling and vegetational conditions of each survey site on Mt. Halla	44

Table 10. Percentage of species importance value on Mt. Halla according
to altitude 52



List of Figures

- Fig. 1. The location map of the survey sites on Mt. Halla. 5
- Fig. 2. Temperature and relative humidity at the survey sites(Yeongsil and Bangaoreum) and control sites(Baeknokdam and Jeju) on Mt. Halla(from July 2009 to June 2010). 7
- Fig. 3. Distribution of *Abies koreana* forests on Mt. Halla. 13
- Fig. 4. The area percentage of *Abies koreana* forests according to inclination angle separated by 10-degree intervals. 18
- Fig. 5. Distribution map of *Abies koreana* forests on Mt. Halla by inclination angle. 18
- Fig. 6. The area percentage of *Abies koreana* forests according to direction angle separated by 10-degree intervals. 19
- Fig. 7. Distribution map of *Abies koreana* forests on Mt. Halla by direction angle. 19
- Fig. 8. Dendrogram of hierarchical cluster analysis in *Abies koreana* forests(J- : Jindallebat, Y- : Yeongsil, B- : Bangaoreum, M- : Mansedongsan). 22
- Fig. 9. Distribution of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type I-1. 27

Fig. 10. Distribution percentage of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type I -1.	28
Fig. 11. Distribution of height and DBH of 4 species at vegetation Type I -1.	29
Fig. 12. Distribution of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type I -2.	33
Fig. 13. Distribution percentage of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type I -2.	34
Fig. 14. Distribution of height and DBH of 4 species at vegetation Type I -2.	35
Fig. 15. Distribution of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type II.	39
Fig. 16. Distribution percentage of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type II.	40
Fig. 17. Distribution of height and DBH of 4 species at vegetation Type II.	41
Fig. 18. Distribution of <i>Abies koreana</i> individuals in lower(●) and upper (●) layer of Jindallebat and Bangaoreum.	47
Fig. 19. Distribution of alive individuals(●) in lower layer and dead individuals(●) in upper layer of <i>Abies koreana</i>	48

Fig. 20. Seedling number of *Abies koreana* and coverage of *Sasa quelpaertensis* at Jindallebat. 49

Fig. 21. Seedling number of *Abies koreana* and coverage of *Sasa quelpaertensis* at Bangaoreum. 50

Fig. 22. Change of species importance value in upper and lower layer by altitude. 53

List of Appendices

Appendix 1. Vegetation status at Jindallebat region	76
Appendix 2. Vegetation status at Yeongsil region	79
Appendix 3. Vegetation status at Bangaoreum region	82
Appendix 4. Vegetation status at Mansedongsan region	85
Appendix 5. Importance value of species on upper layer of vegetation Type I -1 on Mt. Halla	86
Appendix 6. Importance value of species on upper layer of vegetation Type I -1 on Mt. Halla	87
Appendix 7. Importance value of species on upper layer of vegetation Type I -2 on Mt. Halla	88
Appendix 8. Importance value of species on upper layer of vegetation Type I -2 on Mt. Halla	89
Appendix 9. Importance value of species on upper layer of vegetation Type II on Mt. Halla	90
Appendix 10. Importance value of species on upper layer of vegetation Type II on Mt. Halla	91
Appendix 11. Distribution of DBH of trees investigated in each vegetation type on Mt. Halla	92

Appendix 12. Importance value of species of Mt. Halla at an altitude of
1,550m 93

Appendix 13. Importance value of species of Mt. Halla at an altitude of
1,650m 94

Appendix 14. Importance value of species of Mt. Halla at an altitude of
1,750m 95

Appendix 15. Importance value of species of Mt. Halla at an altitude of
1,850m 96

Summary

To document the ecological characteristics found on Mt. Halla, we examined the distribution area and geological features of *Abies koreana* forests. During the study, the vegetation was classified, and its structure, climatic features, and dynamics were investigated.

The total distribution area of *A. koreana* forests on Mt. Halla was 803.6ha. These forests were distributed from 1,300, 1,400, 1,500, and 1,500m to the peak along the east, west, south, and north slopes, respectively. The area of *A. koreana* forests at 1,500 – 1,700m along the east slope was 556.0ha (approximately 69.2% of the total area), which was the highest proportion of *A. koreana* forests along the mountainside. In addition, 70% of the *A. koreana* forests were distributed on slopes of less than 20° inclination. A cluster analysis indicated that *A. koreana* forests on Mt. Halla were characterized by three vegetation types: Type I –1, Type I –2, and Type II. Type I –1 and Type I –2 vegetation (high importance value of *A. koreana*) exhibited a stable vegetation structure, whereas Type II vegetation (low importance value of *A. koreana*) had an unstable vegetation structure.

A correlation analysis between the number of seedlings and vegetation conditions (i.e., the number of *A. koreana* individuals, the crown coverage of *A. koreana* forests, and coverage of *Sasa quelpaertensis*) indicated that despite various correlative differences under similar vegetative conditions across several regions of Mt. Halla, the number of *A. koreana* seedlings was consistently dependent on the coverage of *S. quelpaertensis* and canopy gaps. For example, in the Bangaoreum region, the number of *A. koreana* seedlings was correlated with the coverage of *S. quelpaertensis*. Furthermore, the vegetation structure was the most unstable in this region due to a poor supply of

A. koreana individuals in each vegetative layer. In contrast, in the Jindallebat region, the number of seedlings was low because of the high canopy coverage of *S. quelpaertensis*. However, the vegetation structure was very stable due to a consistent supply of *A. koreana* individuals in each vegetative layer.

The analysis of the vegetation structure with altitude indicated that species diversity and the importance value of *A. koreana* and *Sorbus commixta* decreased with an increase in altitude, whereas the importance value of *Taxus cuspidata* and *Prunus maximowiczii* increased with altitude. In contrast, the species diversity and importance value of the other species in the lower layer increased with a decrease in altitude.

Our results highlight that a long-term ecological study is necessary to monitor current and future changes in the *A. koreana* forests on Mt. Halla and to establish countermeasures that can minimize such changes.

I. 서론

한반도는 온대성 기후구에 속하며, 제주도와 한반도의 일부 남쪽의 해안지역은 일반적인 기후 분류상 아열대 기후대에서 온대 기후대로의 전이지대에 위치하고 있다(강, 2006). 한반도의 기후는 과거 100년 동안 1.5℃ 상승하였다. 이것은 IPCC(A1B시나리오)에서 보고된 지구 평균온도 상승률(0.74℃/100년)의 2배에 해당하는 수치로서 2100년에는 일부 고지대 산악 지역을 제외한 남한의 대부분 지역이 아열대 기후구에 포함될 것으로 예측하고 있다(IPCC, 2007; 기상청, 2009). 또한 한반도 북쪽과 제주도의 한라산 고지대는 최난월의 평균기온이 10℃ 이하인 아한대기후 특성을 지닌 아고산 기후의 지역에 속한다고 할 수 있으며(강, 2006; 공, 1998; 제주도, 2006; 한라생태문화연구소, 2006), 해안지역에 비해 기온은 약 10℃에서 15℃가 낮고 상대습도는 4월에 가장 낮았고 8월에 가장 높게 나타난다(진과 조, 2008; 기상청, 2011).

한라산의 정상 지역은 극지고산식물의 세계적인 남방한계선 중 하나로서 신생대 제 4기의 빙하기에 제주도 부근까지 남하한 식물들이 후빙기를 거치면서 비교적 한랭한 고산 지역과 아고산 지역에 빙하시기 유존식물로 살아남았다. 이 유존식물의 일부가 고산지역에 고립되어 적응하면서 구상나무, 시로미, 돌매화나무와 같은 고유종으로 분화하였다(공, 2006; 2007).

고지대 수목의 생장은 기후와의 연관성이 매우 높아 온난화 등의 환경 변화 속도가 빨라짐에 따라 고사목 발생 빈도가 증가하고 성장량 감소 등의 다양한 악영향을 끼치고 있다. 따라서 이들 고산식물의 개체 유지와 보존의 중요성이 높게 평가되고 있다(Binkley et al., 1994; 공, 1999; 구 등, 2001; 신 등, 2008; 이와 조, 1993; 임 등, 2006; 정, 1998).

구상나무(*Abies koreana* E. H. Wilson)는 소나무과에 속하는 식물로서 백악기에 아시아를 중심으로 기원하였으며, 현재 소나무과 식물은 중국 북부지역과 히말라야 지역, 북아메리카 남서부와 남동부의 일부 지역에서 종다양성이 높게 나타난다(Frankis, 1989; 공, 2006). 구상나무는 1920년에 우리나라의 특산식

물로 보고된 종으로서 분포 범위가 전라북도 덕유산 이남의 해발 1,000m 이상의 고산지대에 주로 분포한다. 하지만 한라산을 제외하고는 대부분 숲을 형성하지 못하고 있을 뿐만 아니라 소규모 면적이거나 소수의 개체만이 드물게 분포한다. 하지만 한라산에는 광대한 면적의 순림이 형성되어 있으며, 세계에서 유일한 구상나무림이 분포하고 있다(공, 1998; 공, 2006; 김 등, 2007; 김과 추, 2000; 송 등, 2010; 이와 흥, 1995).

분류학적으로 구상나무는 근연종인 분비나무와 가장 유사한 형태를 보임으로써 분류학적인 혼란이 지속되고 있으나(김, 1998; 김 등, 2007; 장 등, 1997; 장 등, 2000; 전, 1987; 현 등, 1997), 침엽 두께, 침엽 배열지수, 수지구 거리, 기공 열수, 구과 폭, 종자 날개의 폭, 포침 길이 등이 외부형태학적인 형질로 인해 독립적인 분류군으로 보는 견해가 지배적이다(송 등, 2007; 송 등, 2008; 한, 2003).

구상나무림의 생태학적 연구로는 크게 식생구조를 밝힘으로서 쇠퇴와 확산의 관점에서 접근하고 있다. 먼저 한라산 구상나무림이 쇠퇴에 관한 연구로서 김 등(1998)은 구상나무-주목-제주조릿대 군집을 밝히면서 구상나무의 활력이 매우 저조한 것으로 조사하였다. 구 등(2001)은 온난화에 의한 기온상승이 구상나무의 성장쇠퇴에 대한 원인으로 추정하며, 특히 겨울철 기온 상승이 큰 영향을 끼치는 것으로 추정하였다. 권(2006)은 토양 환경의 불량은 구상나무의 성장에 스트레스를 주어 쇠퇴하는 정도가 더욱 심해지는 것으로 보았다. 이 등(1993)은 식생 및 토양의 훼손 원인을 가축의 방목과 탐방객 이용에 의한 훼손으로 구분하여 연구하면서, 식물군집의 종다양성이 매우 심하게 감소된 것으로 조사하였다. 임 등(2006)은 환경 스트레스에 대한 식물의 환경 적응 또는 생리적 상태를 확인하기 위해 토양의 성분을 분석한 결과 전기전도도, 유기물함량, 전질소 등의 성분이 낮게 나타나는 것으로 보아 생육환경이 불량한 것으로 판단하였다.

반면에 구상나무의 확산에 대한 긍정적인 연구로서, 고 등(2006)과 김(1997a)이 구상나무림의 주변부에서 치수 분포와 면적 확산 정도를 조사하면서 구상나무림의 분포가 점진적으로 확산되는 것으로 보고하였으며, 강(1989)은 구상나무가 고사하고 발생한 Gap에서 일정시간 경과 후 안정된 침엽수림으로 유지되는 Betula형의 갱신형에 의해 구상나무림이 유지된다고 하였다.

최근에는 환경 변화에 따른 구상나무의 식생변화에 대한 연구도 이루어지고 있다. 구 등(2001)은 과거 기후 요소와 연륜 성장량을 비교하여 구상나무의 쇠퇴와의 연관성을 밝혔으며, 공(1999)은 한라산에서 발생하는 기온 분포의 차이와 몇 가지 고산식물의 분포와의 연관성을 밝혀 한라산 고산식물의 미래를 논하기도 하였다.

선행된 연구들은 제주도의 접근성이 좋지 않고 비용 부담이 많이 발생함으로 인해 짧은 기간에 조사가 이루어져 연구 결과에 반영되거나, 일부 지역에 국한되어 조사된 후 구상나무림 전체를 대표하는 결과로 표현되어 있기 때문에 충분한 조사기간과 오랜 관찰을 통한 조사가 이루어져야 할 것이다. 또한 해발고도가 높은 한라산에 의해 발생하는 여러 특성, 예를 들어 해발고도에 따른 식물의 수직 분포 특성(엄, 1962; 이 등, 2010; 조, 2010; 차, 1969), 지역적 식물분포 특성(송, 2007), 기후의 다양한 변화 특성(강, 2002; 공, 1999)을 반영하지 못하고 있다. 또한 구상나무림의 정확한 분포의 경계와 분포 면적 조사가 이루어지지 않고 연구들이 이루어지고 있는 실정이다.

뿐만 아니라, 최근 기후변화에 따른 생태계 변화를 조사하기 위해 장기생태연구의 대상지로서 한라산 고지대의 구상나무림은 최적의 요건을 갖추고 있다(공, 1999; 구 등, 2001; 김과 길, 1996; 김 등, 1998).

따라서 본 연구는 한라산에 분포하고 있는 구상나무림의 생태학적 특성을 파악하기 위해 구상나무림의 정확한 분포 면적을 조사하고, 분포 지역의 경사와 방위 특성을 조사하였다. 또한 조사된 식생 결과를 바탕으로 식생유형을 구분하고 구분된 각 식생유형의 구조 및 현황과 치수발생과 해발고도에 따른 식생 동태 변화를 조사하여 구상나무림의 보전과 기후변화 연구의 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 조사 위치

한라산은 해발 1,300m까지 온대 낙엽활엽수림이 분포하고 그 이상의 지역에서는 아고산 식물 분포를 보이고 있다(공, 1998; 오 등, 2007). 예비조사를 통해 구상나무림이 높은 우점도를 보이고 접근성과 대표성을 감안하고, 가장 양호한 구상나무림이 분포하고 있는 해발 1,500m에서 1,700m 구간 중에서 해발고도가 가장 낮은 약 1,500m 부근을 중심으로 조사지역을 선정하였다.

조사지역은 정상 백록담을 중심으로 동쪽은 성판악 등산로 약 1,540m의 진달래밭 부근, 서쪽은 영실 등산로 약 1,560m의 윗세오름 서쪽 부근, 남쪽은 돈내코 등산로 약 1,540m의 방아오름 동쪽 사면 부근, 북쪽은 어리목 등산로 약 1,570m의 만세동산 남쪽 부근을 대상으로 식생 조사를 실시하였다.

또한 해발고도에 따른 식생 변화 조사를 위해 성판악 지역의 1,550m 지역부터 100m 간격으로 1,850m까지 4개 지점에서 조사를 실시하였다(Fig. 1).

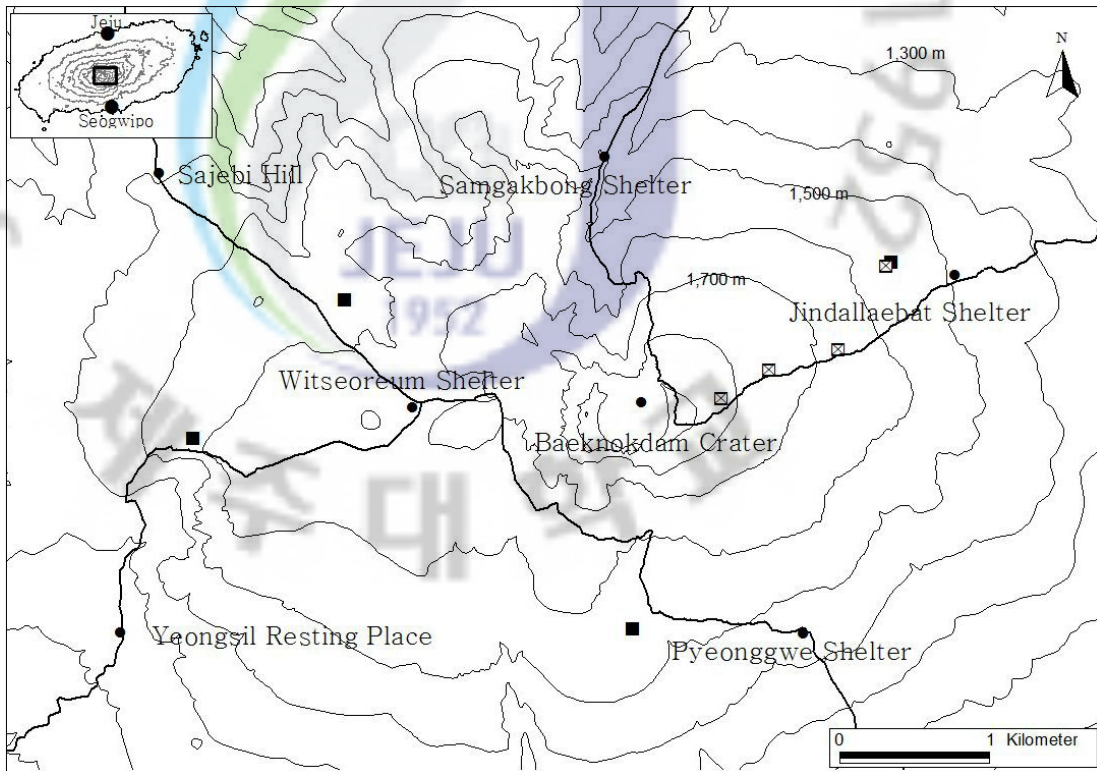


Fig. 1. The location map of the survey sites on Mt. Halla.

■ : Regional survey site, ☒ : Altitudinal survey site, ~ : Trail

2. 기상 특성

기후는 장기간에 걸친 평균적 날씨이고 국지적, 지역적 또는 지구적으로 나타나게 된다. 기상 요소 중에서 온도와 습도는 식물생태계의 구조를 정의하게 되는 직접적인 요인으로 작용하게 된다. 식물을 포함한 대부분의 생물은 그들을 둘러싸고 있는 더 큰 지역의 일반적인 기후 특성과 일치하지 않는 국지적 기상에서 살아간다. 이런 미기상이 생물이 살아가는 조건을 규정하게 되며(Berry and Bjorkman, 1980; Thomas and Robert, 2011), 온도와 습도의 변화는 식물의 생장에 영향을 미치게 된다(Chmielewski et al., 2004; 신 등, 2001; 신 등, 2008; 전 등, 1999; 조와 안, 2008). 제주도는 한라산의 지형적 특성으로 인해 지역별 기온, 풍속, 풍량, 상대습도, 강수량, 증발량 등에 많은 차이를 보인다(강, 2002; 문, 1989). 뿐만 아니라 고도별 다양한 식물상이 나타나고 있으며, 다양한 식생구조가 나타난다(공, 1999; 오 등, 2007; 이 등, 2010; 차, 1969).

한라산 남사면의 방아오름 지역과 북서사면의 영실 지역 구상나무림을 대상으로 산림 내부의 온도와 상대습도를 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. 고지대 기후 요소의 특징을 비교하기 위해 제주 지역의 동일시기 기상청 자료와 비교하였으며, 산림 내부와 외부의 기후 특징을 비교하기 위해 백록담 지역의 동일시기 자료를 비교하였다.

조사결과 영실 지역은 8월에 $16.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 로서 제일 높은 온도를 보였으며, 12월에 $-2.5 \pm 2.4^{\circ}\text{C}$ 로 제일 낮은 온도를 보인다. 상대습도는 8월에 $89.5 \pm 10.2\%$ 로 제일 높았으며, 3월과 4월에 $0.5 \pm 2.0\%$, $0.5 \pm 1.8\%$ 로 제일 낮게 측정되었다. 방아오름 지역의 기온은 8월에 $17.9 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ 로 제일 높았으며, 1월에 $-3.2 \pm 4.0^{\circ}\text{C}$ 로 제일 낮았다. 상대습도는 10월에 가장 낮은 것으로 측정되었다.

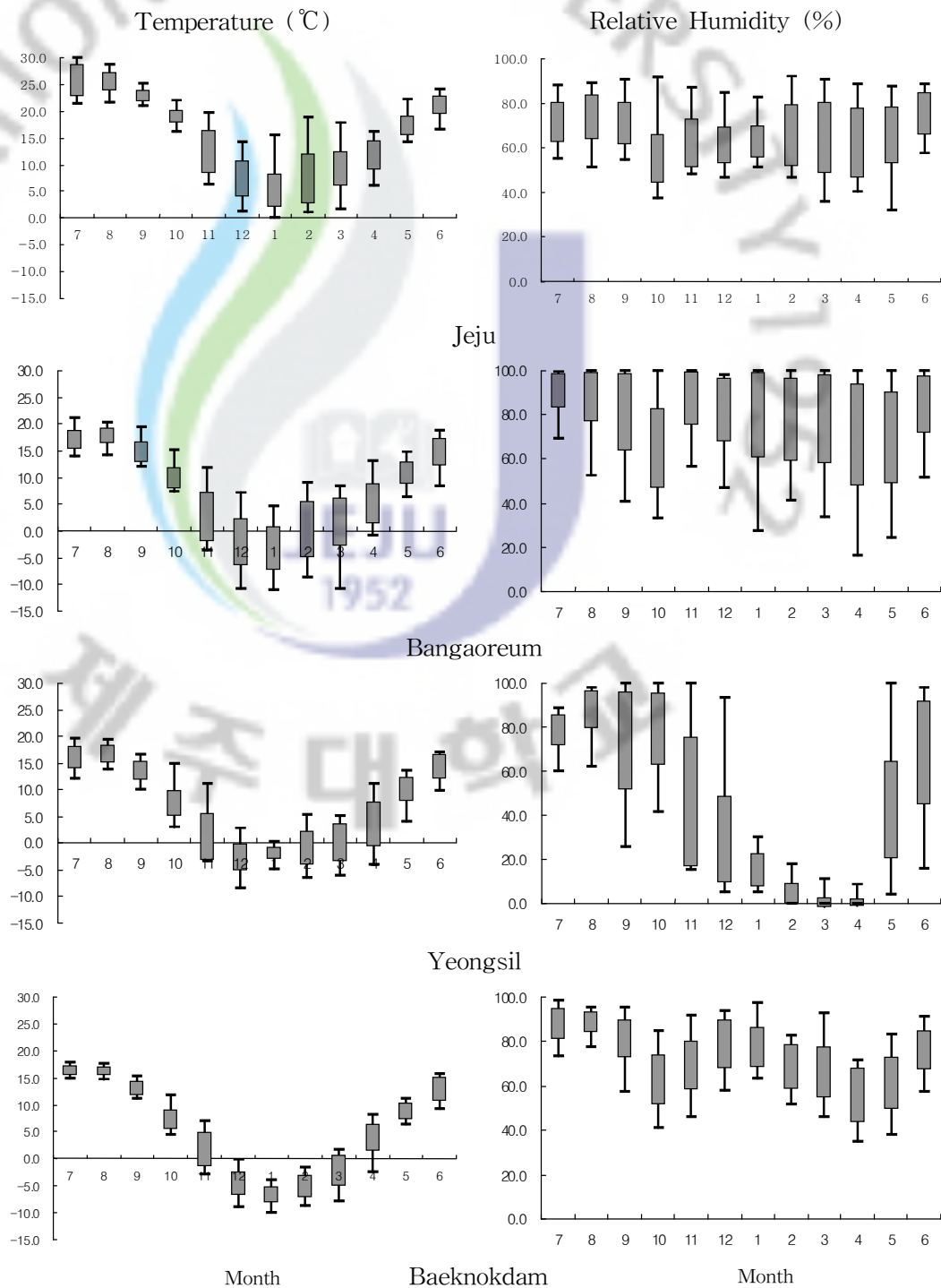


Fig. 2. Temperature and relative humidity at the survey sites(Yeongsil and Bangaoreum) and control sites(Baeknokdam and Jeju) on Mt. Halla(from July 2009 to June 2010).

3. 조사 및 분석 방법

1) 한라산 구상나무림 분포 조사

구상나무림 분포 조사는 한라산 전 지역을 대상으로 실시하였다. 최근에 촬영된 항공사진을 이용해 산림의 경계를 확인하고 일부 구상나무 분포가 불확실한 지역은 현지 조사(2009년 4월 ~ 2010년 4월)를 실시하였으며, 이 결과를 바탕으로 국립지리원 1/5,000 지형도에 표시하였다. 분포가 확인된 지역은 ArcView GIS 3.2a(김과 윤, 1999)를 이용해 수치지형도에 수치 데이터화 하였다. 완성된 구상나무림의 분포도를 바탕으로 면적을 산출하였다.

본 연구에서 사용된 항공사진은 2009년 2월에 촬영된 영상으로서 겨울철 구상나무림과 낙엽활엽수림, 초지, 관목림의 경계가 확실하게 나타난다(이 등, 2004). 특히 소나무와 곰솔의 침엽수림과 신갈나무, 졸참나무, 서어나무 등의 낙엽활엽수림과의 경계가 불명확한 지역은 현장 조사를 실시하여 정확도를 높였다.

2) 한라산 구상나무림 식생 조사

구상나무림의 식생 구조 분석을 위해 한라산 정상 백록담을 중심으로 동서남북의 각 조사지에서 산림 주연부를 포함하는 100m × 100m(1ha)의 구상나무림을 대상으로 25개의 400㎡의 소방형구를 구획하여 각 소방형구별로 식생 조사를 실시하였다. 단, 북쪽의 만세동산 지역은 접근성과 구상나무림의 협소한 면적을 감안하여 6개의 소방형구를 조사하였다.

또한 해발고별 식생 구조 분석을 위해 단일 집단으로는 제일 넓은 동쪽 사면의 성판악 지역을 대상으로 100m의 해발고 차이를 두고 진달래밭 부근의 1,550m를 시작으로 1,650m, 1,750m, 한라산 정상 동쪽 부근의 1,850m의 각 지점에 400㎡의 소방형구를 3개씩 설치하였다.

치수발생량과 입지환경과의 상관분석을 위해 각 지역의 소방형구(400㎡)를 5m × 5m(25㎡)의 미세소방형구 16개로 구획하였다.

식생조사는 2008년 4월부터 2010년 10월까지 겨울철 적설기와 여름철 우기를 제외하고 현장 조사가 이루어졌다. 각 조사구의 입지환경은 암석 노출비율, 자갈 노출비율, 제주조릿대의 피도, 낙엽피복도, 고사목의 피도, 숲틈의 피도, 식생 피도, 해발고도와 방위, 낙엽층 두께 등을 조사하여 기록하였다. 또한 출현하는 모든 종의 상대적인 위치도(분포도)를 작성하였다. 식생조사는 흉고직경 측정이 가능한 상층부(Upper layer)는 출현종의 종명, 수고, 흉고직경, 수관폭, 건전도 등을 측정하여 기록하였다. 흉고직경 측정이 불가능한 하층부(Lower layer)는 출현종의 종명, 수고, 수관폭을 측정하였다. 초본층(Herbaceous layer)은 조사대상에서 제외하였다. 단, 초본층의 제주조릿대는 미세소방형구에서 피도를 조사하였다. 출현종의 건전도는 고사한 개체를 대상으로 주간(Stem)의 형태가 바르게 서서 고사된 형태는 DS type, 주간이 부러져서 고사된 형태는 DB type, 주간이 비스듬히 기울어져서 고사된 형태는 DL type, 주간이 넘어졌거나 지표면에 쓰러져서 고사된 형태는 DF type으로 구분하였다.

3) 한라산 구상나무림 기온과 상대습도 조사

구상나무 분포 지역의 기후 특성을 알아보기 위해 각 조사지역에 기상(온도, 상대 습도)을 측정하고 저장 할 수 있는 데이터 로거(Data logger; HOBO LCD Temp/RH Ext)를 설치하였다. 구상나무림 수관 하부의 기상을 측정하기 위하여 산림식생이 양호한 지역의 지상 약 1m의 지점에 설치하였으며, 동일한 시기에 산림의 외부에서 측정된 백록담 정상외의 기상 자료를 이용해 산림의 내부와 외부의 기상 특성을 비교 분석하였고, 고지대 기후 특성을 비교하기 위해 기상청의 제주 지역 기상자료를 이용하였다(Table 1).

Table 1. Measuring instruments and positional information of each meteorological observation points

Meteorological Observation Points	Elevation (m)	Measuring Instruments	Measuring period	Reference ¹⁾
Jeju ²⁾	19.9	Surface Observation	2009. 7~2010. 6	Exterior
Bangaoreum	1,541	Data logger	2009. 7~2010. 6	Interior
Yeongsil	1,560	Data logger	2009. 7~2010. 6	Interior
Baengnokdam ³⁾	1,920	Automatic Weather System	2009. 7~2010. 6	Exterior

¹⁾ Forest

²⁾ Data of the Jeju Regional Meteorological Administration

³⁾ Data of Research Institute for Hallasan

4) 분석 방법

한라산 고지대 지역에서 구상나무림의 분포 특성을 알아보기 위해 구상나무림이 출현하는 1,300m에서부터 100m의 간격을 두고 해당 구간에서 구상나무림이 분포 면적을 산출하였으며, 경사도(Inclination angle)와 방위각(Direction angle)에 따른 면적 분석은 1/5,000 축척의 수치지형도를 ArcView GIS 3.2a (김과 윤, 1999) PC program을 이용해 3D Layer 형태의 수치표고모델을 생성하였다. 생성된 수치표고모델에서 경사도와 방위각은 Derive 과정을 통해 분석에 사용될 셀의 최소 크기를 10m × 10m(100m²)로 하여 경사는 10° 간격, 방위는 45°의 간격으로 해당 구간별로 면적을 산출하였다.

각 지역의 소방형구에서 조사된 식생조사 결과를 바탕으로 각 조사구 출현종의 피도와 개체수를 이용하여 중요도(Importance value, IV)를 산출하였으며 (Curtis and McIntosh, 1951), 산출된 중요도를 바탕으로 SPSS for Windows(SPSS Inc.) Release 10.0 통계프로그램을 이용하여 군집분석(Cluster analysis)을 실시하였다. 각 조사 지역 중 해발고별 조사지를 제외한 지역별 조사지에서 상층부 수관형성이 양호한 산림 지역 51개 방형구를 대상으로 실시하였다. 조사지역에서 조사된 출현종의 개체수와 피도를 이용한 중요도지수를 변수로 이용하여 각 변수들의 유사성이 가까운 것끼리 군집으로 묶는 계층적군집분석(Hierarchical Cluster Analysis) 방법을 이용했으며, 거리는 유클리드 거리(Euclidean distance)를 이용하였다.

군집분석 결과 구분된 유형별로 출현하는 모든 종의 상대피도(Relative Coverage, RC), 상대밀도(Relative Density, RD), 상대빈도(Relative Frequency, RF)를 이용하여 층위별 출현종의 중요도지수 (Importance value, IV)와 층위별 가중치를 부여하여 산출된 평균중요도지수 (Mean importance value, MIV)를 산출하여 각 군집의 식생 구조 분석을 실시하였다.

$$IV = RC + RF + RD \text{ (Curtis and McIntosh, 1951)}$$

$$MIV = (UIV \times 3 + LIV \times 2 + HIV \times 1)/6$$

UIV = Upper layer IV

LIV = Lower layer IV

HIV = Herbaceous layer IV

조사된 중요도를 이용하여 다양성지수(Diversity index, H'), 최대다양성지수(Max Diversity index, H' Max), 균등도지수(Evenness index, J')를 다음 식에 의해 산출하였다.

$$H' = -\sum p_i \log p_i \text{ (Shannon and Wiener, 1949)}$$

p_i = 종 중요치에 대한 i 종 중요치의 비

$$\text{Maximum } H' (H' \text{ max}) = \log S \text{ (장 등, 2001)}$$

S = 종수

$$J' = H' / H' \text{ max} \text{ (Pielou, 1975)}$$

$H' \text{ max} = \log S, S = \text{종수}$

구상나무 치수 발생에 따른 동태를 분석하기 위해 구획된 각 미세소방형구에서 구상나무의 치수(초본층 이하), 입지환경[암석노출도, 고사목 피도, 제주조릿대 피도, 상대광도(숲틈의 피도), 전체 식생피도, 초본층 피도]을 조사하여 ArcView GIS 3.2a(ESRI Inc.) 프로그램을 이용하여 시각화 하였고, 각 입지환경을 변량으로 하는 상관분석(Correlation Analysis)을 실시[SPSS for Windows(SPSS Inc.) Release 10.0]하였다.

각 조사지역의 구상나무림 수관 내부에서 2009년 7월부터 2010년 6월까지 1년간 온도와 상대습도를 측정하였다. 한라산 고지대의 기후 특성과 산림 내부의 기상 특성을 비교하기 위해 기상청의 제주 지역과 한라산연구소의 백록담 지역 기후 자료와 비교 분석하였다.

Ⅲ. 조사 결과

1. 한라산 구상나무림의 분포

한라산 전 지역을 대상으로 분포를 조사한 결과 구상나무림은 해발 1,300m 구간에서부터 한라산 정상까지 분포하고 있으며(Fig. 3), 면적이 1ha 미만의 소규모 집단을 제외하고 조사된 구상나무림의 전체 면적은 803.6ha 이상 분포하는 것으로 조사되었다.

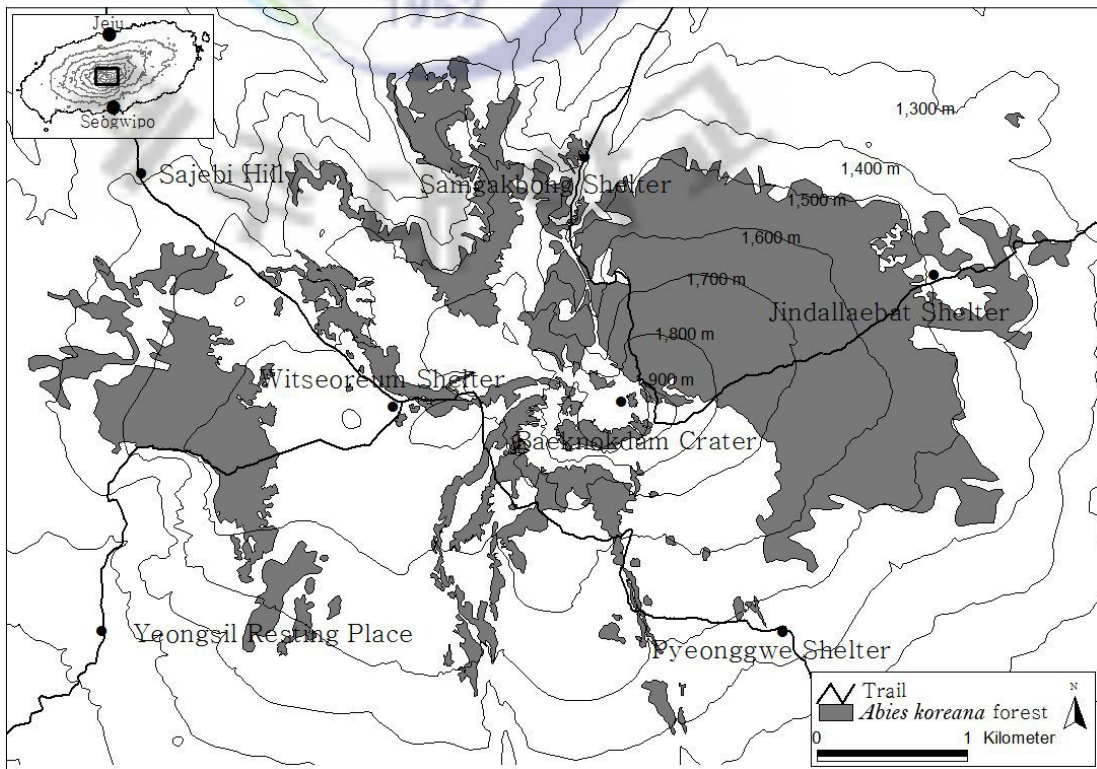


Fig. 3. Distribution of *Abies koreana* forests on Mt. Halla.

각 지역별로 구상나무림의 면적은 Table 2와 같다.

Table 2. The area of *Abies koreana* forests on Mt. Halla

Region	Jindallebat	Yeongsil	Bangaoreum	Mansedongsan	Total
Area (ha)	447.2	140.0	67.5	148.9	803.6
Percentage (%)	55.7	17.4	8.4	18.5	100.0

한라산 정상을 중심으로 동쪽의 성판악 등산로 주변의 구상나무림은 해발 약 1,300m부터 분포하고 단일 면적으로는 제일 넓은 면적을 차지한다. 이 지역은 계곡지형이 없는 비교적 경사가 완만한 사면 지형을 하고 있으며, 동서로 약 3.1km, 남북으로 약 3.2km의 범위에 면적은 약 447.2ha(55.7%) 였다.

서쪽의 영실 등산로 주변의 구상나무림은 해발 약 1,400m부터 분포하고 단일 집단으로는 성판악 지역에 이어 두 번째로 넓은 면적을 차지하였다. 이 지역은 계곡 지형이 없는 비교적 경사가 완만한 사면 지형을 하고 있으며, 등산로를 중심으로 동쪽으로는 윗세오름 중에서 제일 밑에 오름부터 서쪽은 병풍바위가 시작되는 지역까지 약 1.7km, 남쪽으로는 선작지왓 남단에서부터 북쪽은 만세동산 북쪽사면의 약 2.7km의 범위에 면적은 약 140.0ha(17.4%) 였다.

남쪽의 돈내코 등산로 주변의 구상나무림은 해발 약 1,400m부터 분포하고 있으며, 방아오름 주변과 분화구 남벽의 서남쪽 일부 사면을 제외하고는 대부분 계곡 지형의 경사면과 능선 일부 지역에 분포하고 있다. 동서로는 약 2.1km, 남북으로 약 2.2km의 범위에 계곡 형태를 따라 남북방향의 선형으로 분포하고 있으며, 면적은 약 67.5ha(8.4%) 였다.

북쪽의 탐라계곡과 Y계곡을 중심으로 분포하는 구상나무림은 가장 높은 지역인 해발 약 1,500m부터 분포하고 있으며, 백록담 분화구 남쪽에 사면을 포함한 계곡 주변 경사면과 계곡 정상부 능선 지역에 분포하고 있다. 동쪽으로는 관음사 등산로의 왕관릉 지역부터 서쪽으로 민오름 서쪽의 Y계곡까지 약 2.3km, 남쪽

으로는 백록담 분화구 내부의 남쪽 사면에서부터 북쪽으로는 큰두레왓 정상 지역의 약 2.6km의 범위에 남북으로 비교적 폭이 넓은 선형으로 분포하고 있으며, 면적은 약 148.9ha(18.5%) 였다.



1) 해발 고도에 따른 구상나무림의 분포 특성

구상나무림이 분포하는 지역에서 고도별 분포 특성을 확인하기 위해 각 해발고도 구간별(100m) 구상나무림 분포 면적을 조사하였다.

조사결과 한라산의 구상나무림은 해발 1,500m ~ 1,600m 구간이 39.2%로 가장 넓었으며, 이를 중심으로 해발고도가 높아지거나 낮아질수록 면적도 감소하고 있는 것으로 조사되었다(Table 3). 1,300m ~ 1,400m 구간은 전체 면적의 1.5%, 1,400m ~ 1,500m 구간은 12.9%, 1,600m ~ 1,700m 구간은 29.9%, 1,700m ~ 1,800m 구간은 12.4%, 1,800m ~ 1,950m 구간은 4.1%의 면적이 분포하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 3. The area of *Abies koreana* forests on Mt. Halla classified by altitude

Altitude (m)	Area (ha)	Percentage
1,300-1,400	11.8	1.5
1,400-1,500	103.6	12.9
1,500-1,600	315.3	39.2
1,600-1,700	240.7	29.9
1,700-1,800	99.3	12.4
1,800-1,900	28.1	3.5
1,900-1,950	4.8	0.6
Total	803.6	100.0

2) 경사 및 방위에 따른 구상나무림의 분포 특성

한라산 구상나무림이 분포하는 지역의 지형 특성을 조사하였다. 국립지리원의 수치 지형도(1/5,000)를 이용하여 구상나무림 분포지의 경사도(Inclination angle)와 방위(Direction angle) 분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

구상나무림이 분포하는 지역의 지표면 경사는 30° 미만인 지역에서 87.4%가 분포하고 있으며, 경사 30° 이상인 12.6%의 지역은 한라산 정상 백록담 외륜의 암벽지역과 정상을 중심으로 남쪽과 북쪽의 계곡 사면의 급경사 지역에 분포하고 있다(Fig. 4). 동사면의 진달래밭 지역과 서사면의 영실 지역의 집단은 비교적 완만한 경사 분포를 보이고 있지만, 남쪽과 북쪽 사면은 하천 사면의 경사가 비교적 급한 지역에 분포하고 있음을 확인할 수 있다(Fig. 5).

모든 방위에서 약 10% 이상 균일한 분포 비를 보이고 있어 방위에 의한 구상나무의 분포는 뚜렷한 분포 특성을 찾을 수 없었다. 하지만 동쪽 방위에는 비교적 높은 비율을 차지하지만, 서쪽 방향은 적은 분포 비를 보이고 있는 것으로 조사되었다(Fig. 6). 동사면의 진달래밭 지역의 경우 백록담 북쪽 지역, 서사면과 북사면의 지역은 대부분 서쪽이거나 북쪽을 향하고 있으며, 남사면과 진달래밭 지역의 일부 지역은 동쪽이거나 남쪽을 향하는 것으로 분석되었다(Fig. 7).

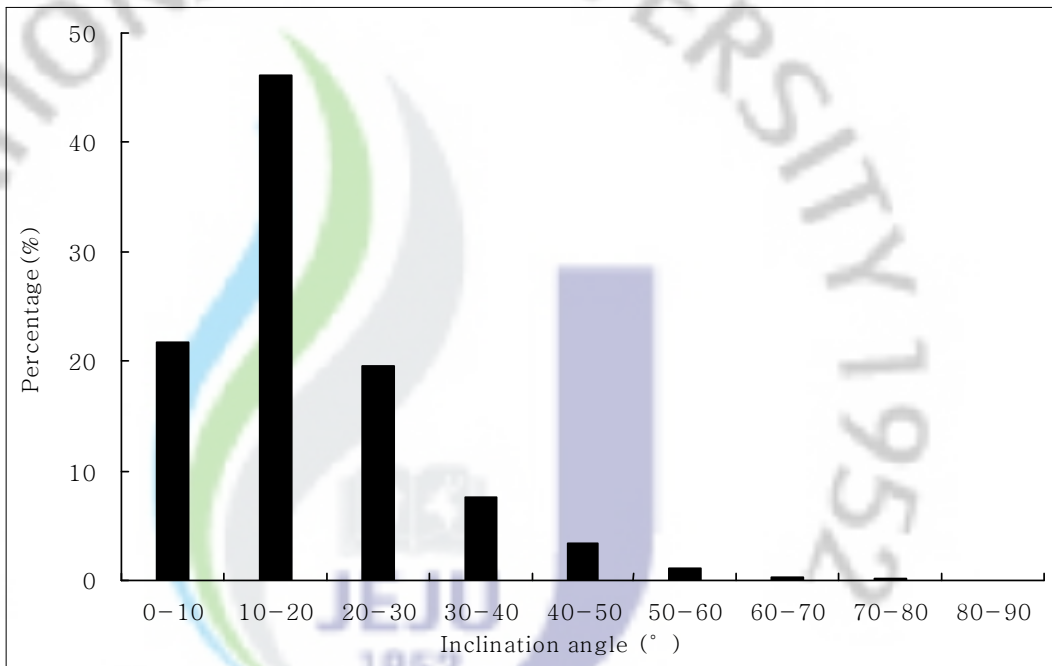


Fig. 4. The area percentage of *Abies koreana* forests according to inclination angle separated by 10-degree intervals.

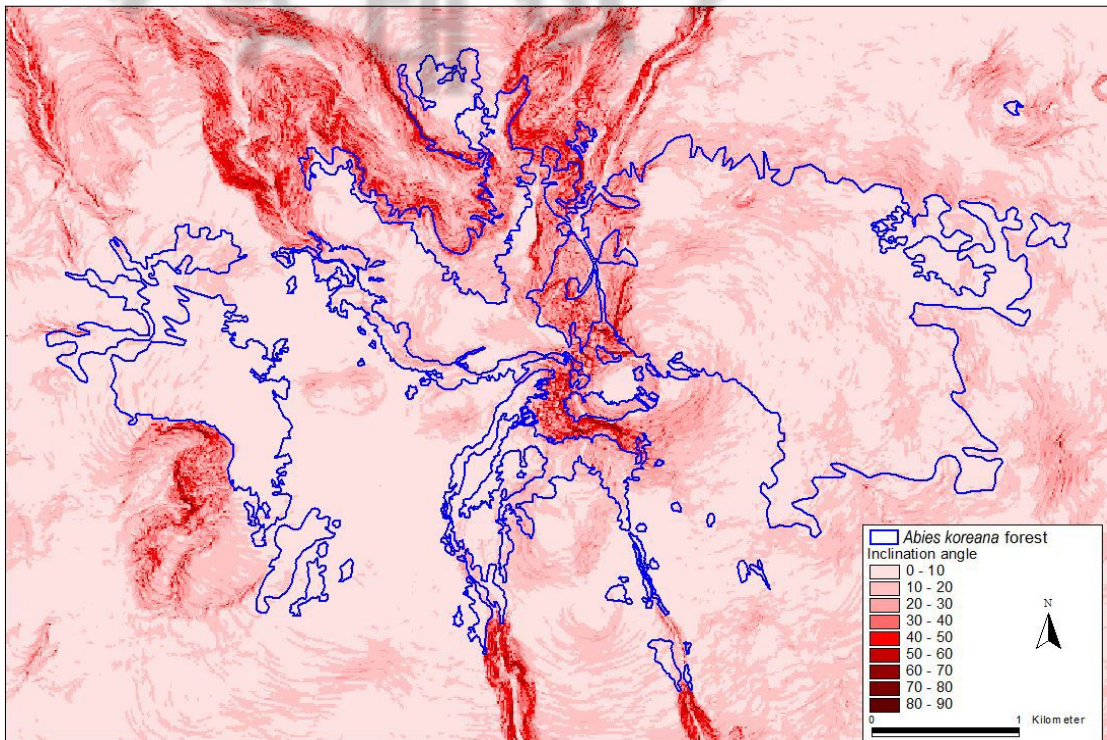


Fig. 5. Distribution map of *Abies koreana* forests on Mt. Halla by inclination angle.

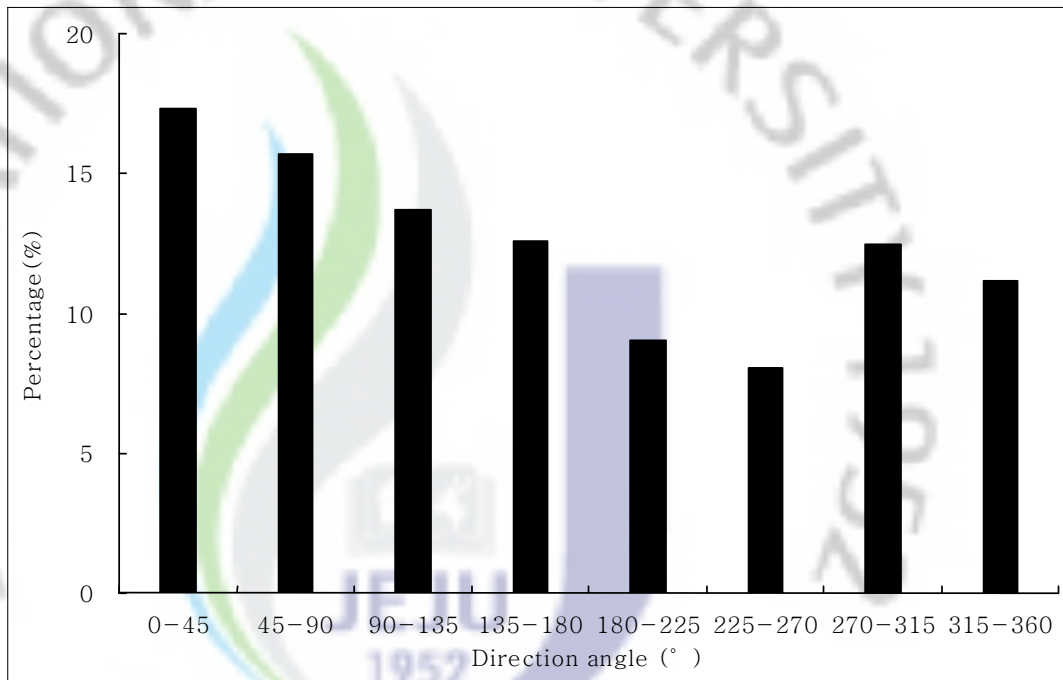


Fig. 6. The area percentage of *Abies koreana* forests according to direction angle separated by 10-degree intervals.

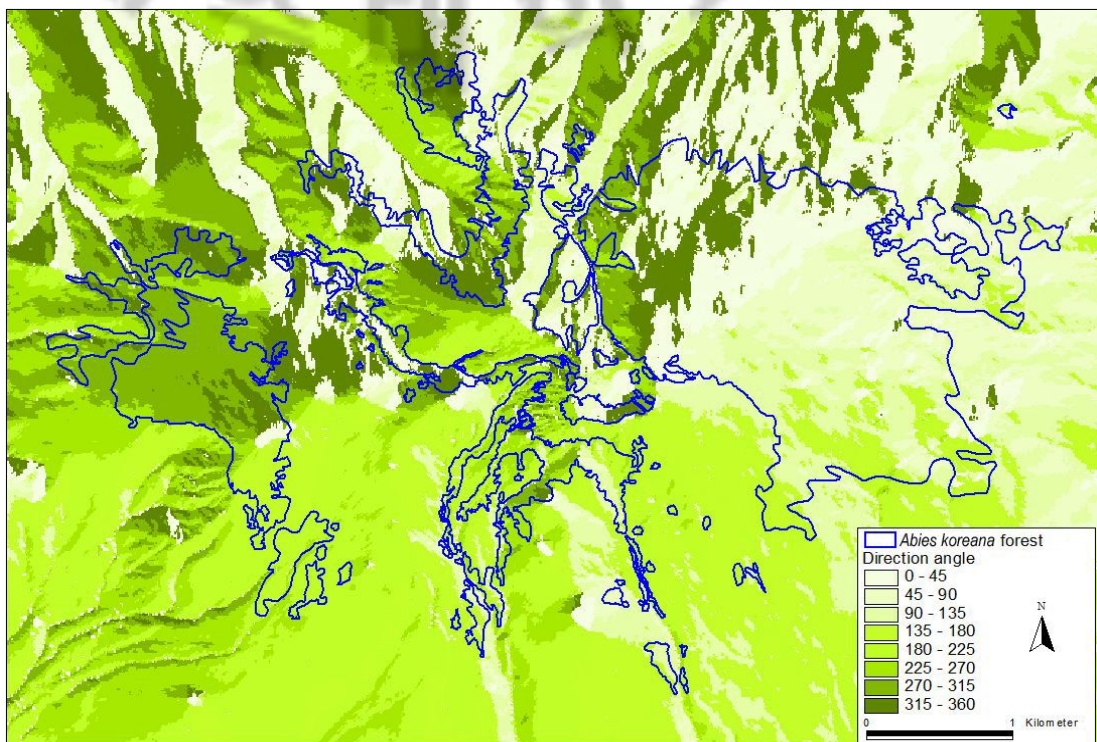


Fig. 7. Distribution map of *Abies koreana* forests on Mt. Halla by direction angle.

2. 한라산 구상나무림의 식생 구조

각 지역에서 식생조사의 결과는 Appendix 1 부터 Appendix 4에 정리하였다.

동쪽 사면에 위치한 진달래밭 지역은 전체 1ha의 방형구에 구상나무 중에서 살아있는 개체는 1,384개체, 고사된 개체는 325개체, 구상나무를 제외한 기타 종은 634개체로 전체 2,343개체가 분포하고 있다. 흉고직경이 가장 큰 구상나무는 38cm이고 기타 종은 21cm, 흉고직경이 10cm를 기준으로 이하는 평균 5.36cm, 이상은 평균 13.46cm로 조사되었다. 구상나무의 상대중요도는 78.53, 구상나무를 제외한 기타 종의 상대중요도는 21.47로 조사되어 구상나무의 상대중요도가 4개 지역 중에서 두 번째로 높게 나타났다(Appendix 1).

서쪽 사면에 위치한 영실 지역은 전체 1ha의 방형구에 구상나무 중에서 살아있는 개체는 799개체, 고사된 개체는 190개체, 구상나무를 제외한 기타 종은 634개체로 전체 1,981개체가 분포하고 있다. 흉고직경이 가장 큰 구상나무는 34cm이고 기타 종은 33cm로서 비교적 크기가 큰 개체들이 분포하고 있다. 흉고직경이 10cm를 기준으로 이하는 평균 5.01cm, 이상은 평균 13.89cm로 조사되었다. 구상나무의 상대중요도는 60.02, 구상나무를 제외한 기타 종의 상대중요도는 39.98로 조사되어 4개 지역 중에서 구상나무의 상대중요도가 세 번째로 높게 나타나고 있다(Appendix 2).

남쪽 사면에 위치한 방아오름 지역은 전체 1ha의 방형구에 구상나무 중에서 살아있는 개체는 568개체, 고사된 개체는 123개체, 구상나무를 제외한 기타 종은 1,098개체로 전체 1,792개체가 분포하고 있다. 흉고직경이 가장 큰 구상나무는 46.0cm이고 기타 종은 23.5cm로서 구상나무의 크기가 큰 개체들이 분포하고 있다. 흉고직경이 10cm를 기준으로 이하는 평균 5.17cm, 이상은 평균 15.81cm로 조사되었다. 구상나무의 상대중요도는 57.36, 구상나무를 제외한 기타 종의 상대중요도는 42.64로 조사되어 4개 지역 중에서 구상나무의 상대중요도가 가장 낮게 나타나고 있다(Appendix 3).

북쪽 사면에 위치한 만세동산 지역은 하천 사면 정상 of 능선부에 위치하고 있기 때문에 조사면적이 협소하여 0.24ha의 방형구를 설치하였다. 구상나무 중에

서 살아있는 개체는 310개체, 고사된 개체는 47개체, 구상나무를 제외한 기타 종은 47개체로 전체 404개체가 분포하고 있다. 흉고직경이 가장 큰 구상나무는 42.0cm이고 기타 종은 22.5cm로서 구상나무의 크기가 큰 개체들이 분포하고 있다. 흉고직경이 10cm를 기준으로 이하는 평균 5.39cm, 이상은 평균 15.65cm로 조사되었다. 구상나무의 상대중요도는 90.89, 구상나무를 제외한 기타 종의 상대중요도는 9.11로 조사되어 4개 지역 중에서 구상나무의 상대중요도가 가장 높게 나타나고 있다(Appendix 4).

각 지역의 식생조사 결과를 바탕으로 군집분석을 실시하였다. 조사결과 상층부 구상나무의 우점도가 매우 높게 나타나는 지역(Type I)과 남쪽 사면에 위치하고 있으며 상층부 구상나무의 우점도가 매우 낮게 나타나는 유형(Type II)으로 구분되었다(Fig. 8). Type I은 다시 두 개의 Subtype으로 다시 구분되었다. Type I-1은 상층부 신갈나무의 우점도가 낮게 나타나는 유형이고, Type I-2은 신갈나무의 우점도가 높게 나타나는 식생형을 나타내고 있다. Type I-1은 구상나무가 매우 양호하게 우점하는 식생 구조를 가지고 있으며, 상층부의 몇 개 수종에 의해 우점도가 매우 높게 나타나는 지역에서 관찰된다. Type I-2는 구상나무가 양호하게 우점하는 식생 구조를 가지고 있으며, 상층부와 하층부의 몇 개 수종의 우점도가 높게 나타나는 지역에서 관찰된다. Type II는 상층부의 구상나무의 우점도가 낮은 식생 구조를 가지고 있으며, 상층부와 하층부의 기타 종이 구상나무의 우점도를 증가하는 지역에서 관찰된다.

Type I-1 유형의 방형구 경사는 15° 미만으로 비교적 완만했으며, Type I-2와 Type II에서는 10° 미만으로서 경사가 매우 편평하였다. 암석노출비율은 Type I-1에서 5%에서 55%로 비교적 비율이 낮게 나타나고 있지만 Type I-2와 Type II에서는 95%까지 높게 나타나고 있다. 제주조릿대의 식피율은 Type I-1에서 75%이상 매우 높게 나타나고 있으며, Type I-2와 Type II에서는 거의 없거나 95%까지 다양한 분포를 나타내고 있다(Table 4). 초본층의 식생피도는 제주조릿대의 분포와 밀접한 연관이 있는 것으로 판단되며, 다양한 입지 환경은 한라산 구상나무림의 상층부와 하층부의 다양한 식생 구조와 식생 현황을 보이는 원인으로 판단된다.

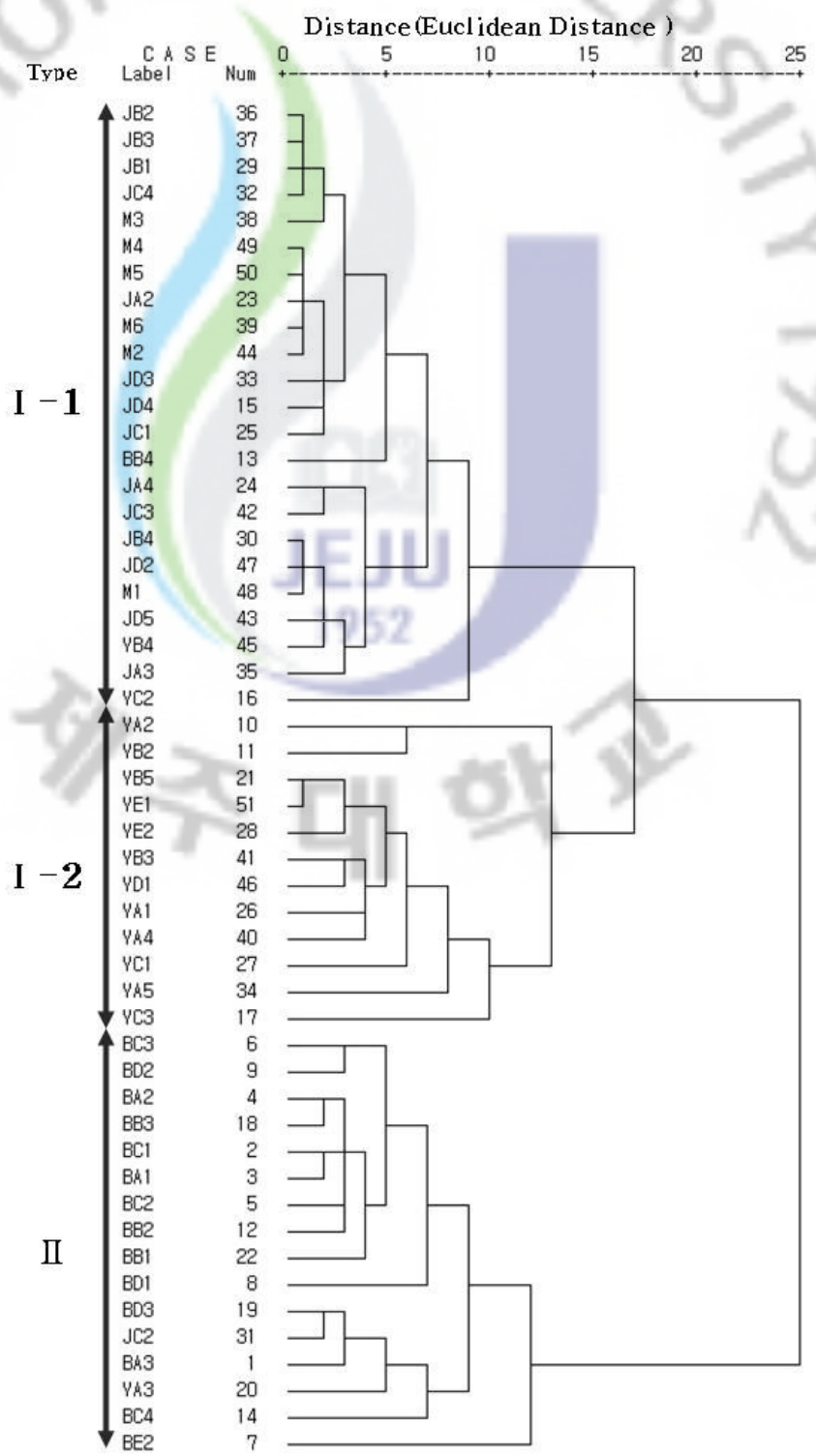
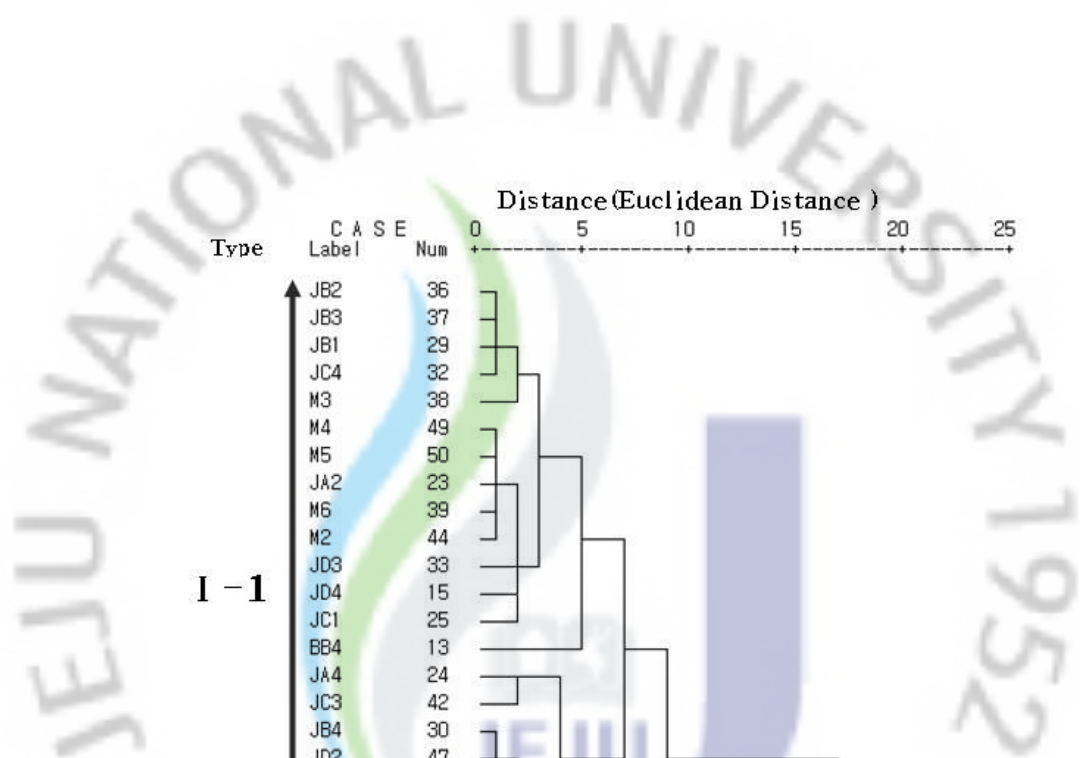


Fig. 8. Dendrogram of hierarchical cluster analysis in *Abies koreana* forests (J- : Jindallebat, Y- : Yeongsil, B- : Bangaoreum, M- : Mansedongsan).

Table 4. Vegetation features of *Abies koreana* forests on Mt. Halla

Vegetation feature	I		II
	I - 1	I - 2	
Dominance value			
<i>Abies koreana</i>	very high	high	low
<i>Quercus mongolica</i>	low	high	low
No. of species			
upper layer	17	14	22
lower layer	23	17	24
Coverage of <i>Sasa quelpaertensis</i> (%)	75~98	0~95	25~85
Total vegetation coverage(%)	85~98	60~98	85~98
Height(m)/Coverage(%) of upper layer	4~10/5~70	4~8/5~80	4.5~7/5~65
Height(m)/Coverage(%) of lower layer	2~4/20~65	1.5~3/25~70	1.5~4/5~70
Height(m)/Coverage(%) of herb layer	0.3~1.2/80~95	0.2~1.2/30~90	0.4~12/40~98

1) 식생 유형 I-1의 구조와 현황

Type I-1은 구상나무의 중요도가 매우 높게 나타나고 있으며, 주목, 산개벗지나무, 마가목이 비교적 높은 평균중요도지수 구성을 보이고 있는 곳에서 관찰된다. 상층부는 구상나무의 중요도가 매우 높게 나타나고 있으며 산개벗지나무, 주목, 마가목, 신갈나무, 팔배나무, 노린재나무 등이 비교적 높은 중요도 구성을 보이고 있다(Appendix 5). 하층부는 주목의 중요도가 가장 높았으며, 구상나무, 털진달래, 산철쭉, 쯤팍팍나무, 산개벗지나무의 순으로 중요도가 높게 나타나고 있다(Appendix 6). 이 유형에서는 29종의 출현종이 분포하는 것으로 조사되었으며, 전체적으로 구상나무의 평균중요도가 119.93으로 가장 높았고 주목, 산개벗지나무, 마가목, 털진달래, 노린재나무, 신갈나무의 순으로 구성되어 있다(Table 5).

구상나무는 흉고직경 15cm 이하의 개체가 높은 비중을 차지하고 있으며, 기타 종의 비율도 10cm 미만의 어린 개체가 높은 비중을 차지하고 있다. 각 흉고직경에 대한 개체수가 역 J자 형의 분포를 보이고 있어 매우 안정된 식생분포를 보이는 것으로 판단된다(Fig. 9).

식생 구조는 기온, 강수량 등의 환경 요인에 의해 오랫동안 영향을 받아 다양한 모양으로 나타나게 된다(Thomas and Robert, 2011). 이중 고사목의 발생은 수분 스트레스(공, 1999; 2005)와 태풍, 번개 등의 물리적 요인(김, 1994)이 원인이 되고 있다. 구상나무 고사목의 증가는 식생변화를 알려주는 직접적인 증거로서 구상나무림의 쇠퇴하고 있음을 짐작할 수 있게 하는 요소이다. 이 집단에서는 기타 종의 고사목은 0.5%로 조사되었으며, 구상나무의 경우 고사목이 16.5%를 차지해 비교적 높은 비율을 보이고 있다(Appendix 11, Fig. 10). 김 등(1998)과 김 등(2000)의 연구에서는 한라산의 구상나무 고사목이 8.11%로 구상나무가 분포하는 지리산과 덕유산에 비해 매우 낮다고 하였다. 하지만 비교적 구상나무의 중요도가 매우 높은 지역임에도 고사목의 비중이 높게 나타나는 것은 기후 변화에 의한 강수량의 부족, 이른 봄철 건조한 바람, 겨울철 기온 상승 등이 원인일 것으로 판단된다.

평균중요도지수가 제일 높은 4종의 흉고직경과 수고를 이용한 각 종의 수림내

입지와 연령에 따른 수림의 발달 단계를 추정해 보았다. 구상나무는 흉고직경이 30cm와 수고 7m의 범위에 집중 분포하고 있는 것으로 조사되었다(Fig. 11). 또한 흉고직경 40cm 이상, 수고 10m의 대경목도 분포하고 있기 때문에 다양한 규격의 구상나무가 각 층위에서 고루 나타나고 있다. 주목, 산개벚치나무, 마가목은 하층부의 흉고직경 15cm, 수고 4m에 집중되어 분포하고 있다. Type I-1의 구상나무 개체는 각 층위에 고루 분포하고 있어 천이에 의한 구상나무림은 가장 오랫동안 유지될 가능성이 매우 높은 것으로 판단된다.

Table 5. Mean importance value of species distributed on upper and lower layers at vegetation Type I-1

Scientific name/Korean name	U	L	MIV
<i>Abies koreana</i> 구상나무	158.72	61.75	119.93
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	27.45	90.90	52.83
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚나무	35.02	12.73	26.10
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	17.86	7.25	13.62
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래	–	24.95	9.98
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	10.35	9.24	9.91
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	14.60	2.14	9.62
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	–	22.00	8.80
<i>Sorbus alnifolia</i> 팔배나무	10.46	–	6.28
<i>Ilex crenata</i> var. <i>microphylla</i> 좁팡팡나무	–	14.80	5.92
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	4.88	6.68	5.60
<i>Malus sieboldii</i> 아그배나무	6.84	2.12	4.95
<i>Euonymus alatus</i> 화살나무	2.73	7.93	4.81
<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i> 시로미	–	11.32	4.53
<i>Acer pseudosieboldianum</i> 당단풍	6.38	–	3.83
<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	–	7.97	3.19
<i>Elaeagnus umbellata</i> 보리수나무	0.77	4.68	2.33
<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무	–	4.92	1.97
<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	–	2.40	0.96
<i>Pinus densiflora</i> 소나무	0.82	0.94	0.87
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i> 눈향나무	–	1.40	0.56
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i> 고로쇠나무	0.79	–	0.48
<i>Cornus kousa</i> 산딸나무	0.79	–	0.47
<i>Betula ermanii</i> 사스레나무	0.77	–	0.46
<i>Euonymus hamiltonianus</i> 참빗살나무	0.77	–	0.46
<i>Viburnum furcatum</i> 분단나무	–	1.11	0.44
<i>Rosa multiflora</i> 찔레	–	1.00	0.40
<i>Ligustrum obtusifolium</i> 쥐똥나무	–	0.92	0.37
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> 산초나무	–	0.87	0.35

U : upper layer, L : lower layer, MIV : mean importance value

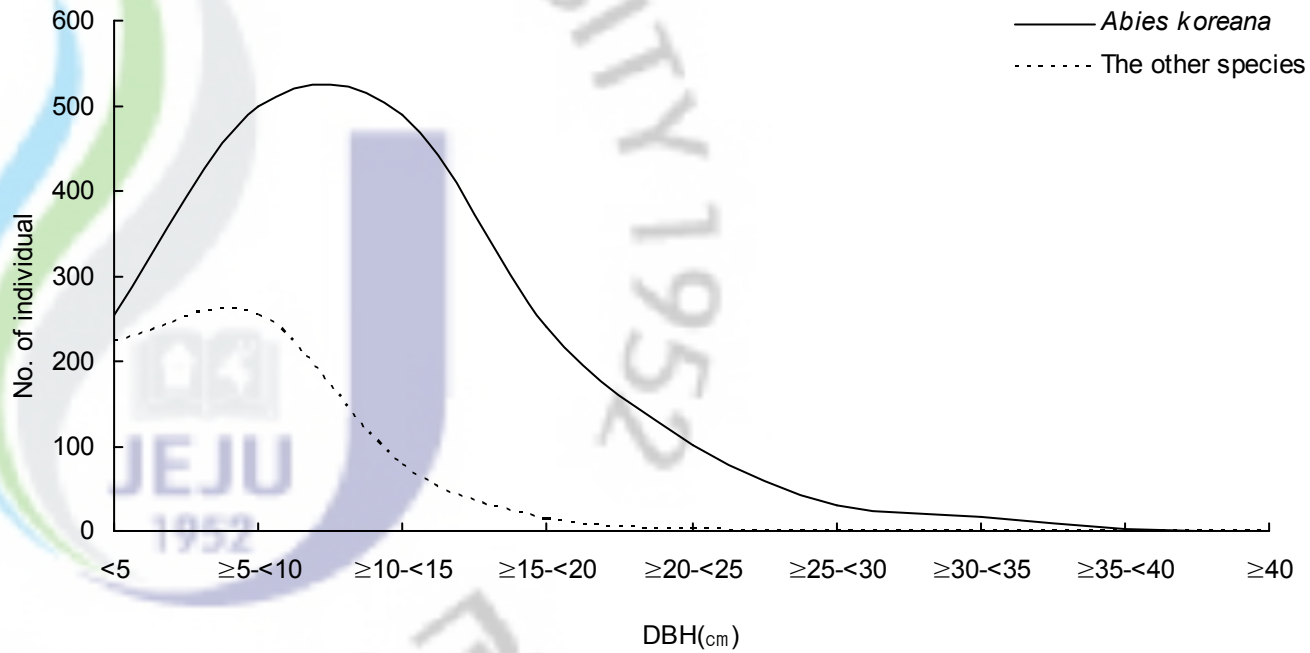


Fig. 9. Distribution of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type I-1.

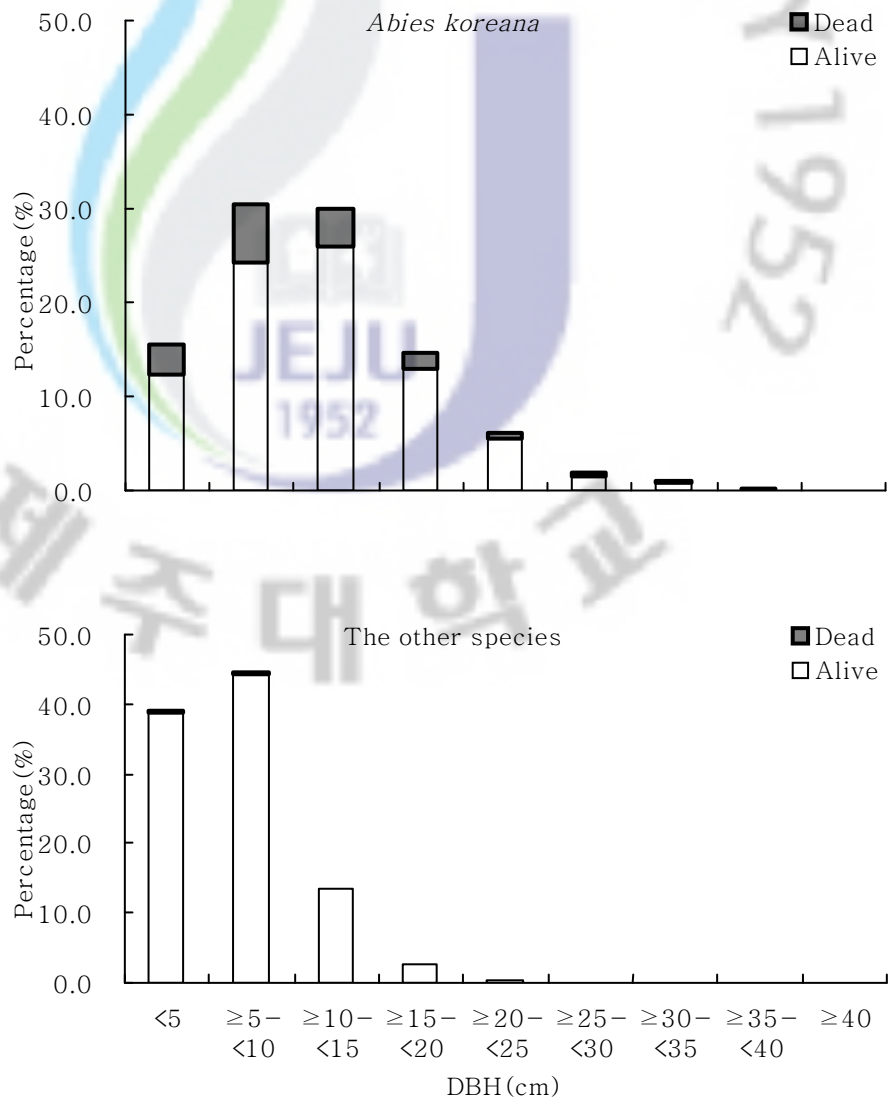


Fig. 10. Distribution percentage of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type I-1.

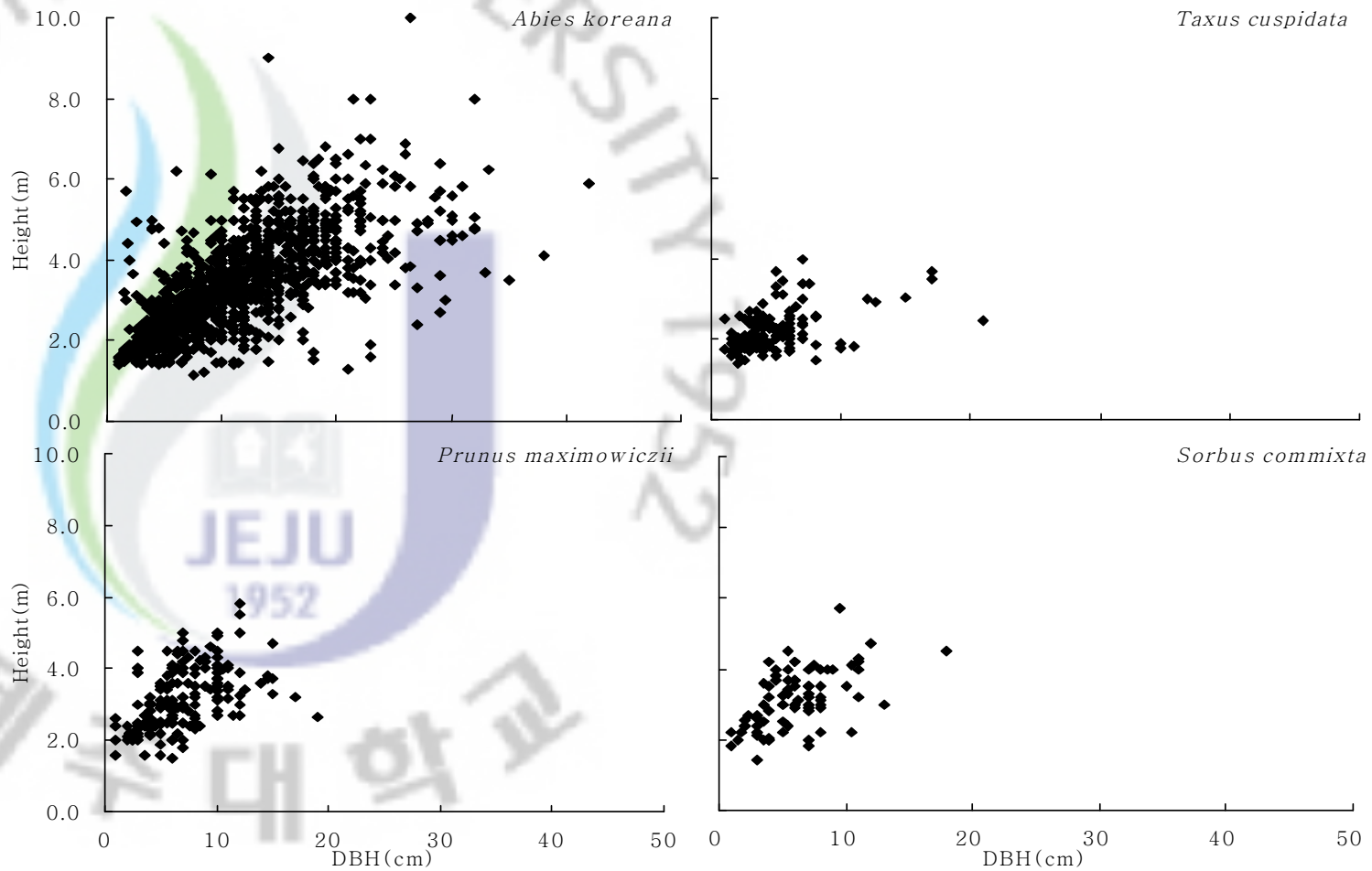


Fig. 11. Distribution of height and DBH of 4 species at vegetation Type I-1.

2) 식생 유형 I-2의 구조와 현황

Type I-2은 구상나무와 함께 신갈나무의 우점도가 높게 나타나는 지역에서 관찰된다. 상층부는 구상나무의 중요도가 가장 높게 나타나고 산개벚치나무, 주목, 사스레나무의 순으로 구성되어 있으며, 신갈나무의 경우 3가지 식생 유형중에서 가장 높은 중요도 구성을 보이고 있다(Appendix 7). 하층부는 주목의 중요도가 가장 높았으며, 붉은병꽃나무, 구상나무, 산철쭉, 털진달래, 함박꽃나무의 순으로 중요도가 높게 조사되었다(Appendix 8). 이 식생 유형은 총 19종의 가장 적은 출현종이 조사되었으며, 전체적으로 구상나무의 평균중요도가 77.76으로 가장 높았고, 주목, 산개벚치나무, 신갈나무, 붉은병꽃나무, 산철쭉, 털진달래, 함박꽃나무등의 순으로 구성되어 있다(Table 6).

구상나무는 흉고직경 5cm 이상 10cm 미만의 개체가 높은 비중을 차지하고 있으며, 기타 종은 흉고직경 10cm 미만의 구상나무보다 개체수가 많은 것으로 나타나고 있다(Fig. 12). 구상나무와 비슷한 층위를 형성하는 기타 종에는 신갈나무, 산개벚치나무 등의 온대성 낙엽활엽수가 높은 비중을 차지하고 있어 구상나무의 중간 경쟁 뿐만 아니라 동일 층위에서의 개체간 경쟁이 매우 치열하게 발생할 것으로 판단된다.

구상나무의 흉고 직경급별 개체수를 보면 흉고직경이 5cm 이상 10cm 미만의 약 35%로서 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 기타 종에서도 흉고직경 30cm 이상의 대경목도 분포하고 있는 것으로 조사되었다(Appendix 11, Fig. 13). 기타 종의 고사목은 1.4%로 매우 낮게 조사되었지만, 구상나무의 고사목은 조사 개체수의 18.5%로 매우 높게 조사되었다. 이들 고사목은 흉고직경이 10cm 미만의 개체에서 집중되어 나타나는데 이것은 수림내에서 발생하는 경쟁에서 도태된 개체들인 것으로 판단되며, 기타 종의 급격한 증가는 구상나무의 고사목 증가를 더욱 가속화 시킬 것으로 판단된다.

평균중요도지수가 제일 높은 4종의 흉고직경과 수고를 이용한 각 종의 수림내 입지와 연령에 따른 수림의 발달 단계를 추정해 보았다. 구상나무는 흉고직경 25cm, 수고 5.5m의 비교적 좁은 범위에 집중 분포하고 있는 것으로 조사되었다(Fig. 14). 주목, 산개벚치나무는 흉고직경 15cm, 수고 4m 범위에서 분포하고

있지만, 신갈나무는 흉고직경 20cm, 수고 5m의 대경목이 분포하고 있어 상층부의 구상나무와의 중간 경쟁이 활발하게 일어날 것으로 판단된다.



Table 6. Mean importance value of species distributed on upper and lower layers at vegetation Type I-2

Scientific name/Korean name	U	L	MIV
<i>Abies koreana</i> 구상나무	105.22	36.57	77.76
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	40.76	93.73	61.95
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚나무	58.67	8.67	38.67
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	44.19	4.25	28.21
<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	7.73	38.78	20.15
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	1.57	30.44	13.12
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래	3.05	25.15	11.89
<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무	4.45	20.87	11.02
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	10.94	7.14	9.42
<i>Betula ermanii</i> 사스레나무	12.85	-	7.71
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i> 눈향나무	-	8.51	3.40
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	3.17	3.10	3.14
<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	-	7.31	2.92
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	2.88	2.38	2.68
<i>Euonymus hamiltonianus</i> 참빗살나무	3.00	1.23	2.29
<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i> 시로미	-	5.53	2.21
<i>Viburnum furcatum</i> 분단나무	-	4.39	1.75
<i>Acer pseudosieboldianum</i> 당단풍	1.53	-	0.92
<i>Lonicera sachalinensis</i> 홍피불나무	-	1.95	0.78

U : upper layer, L : lower layer, MIV : mean importance value

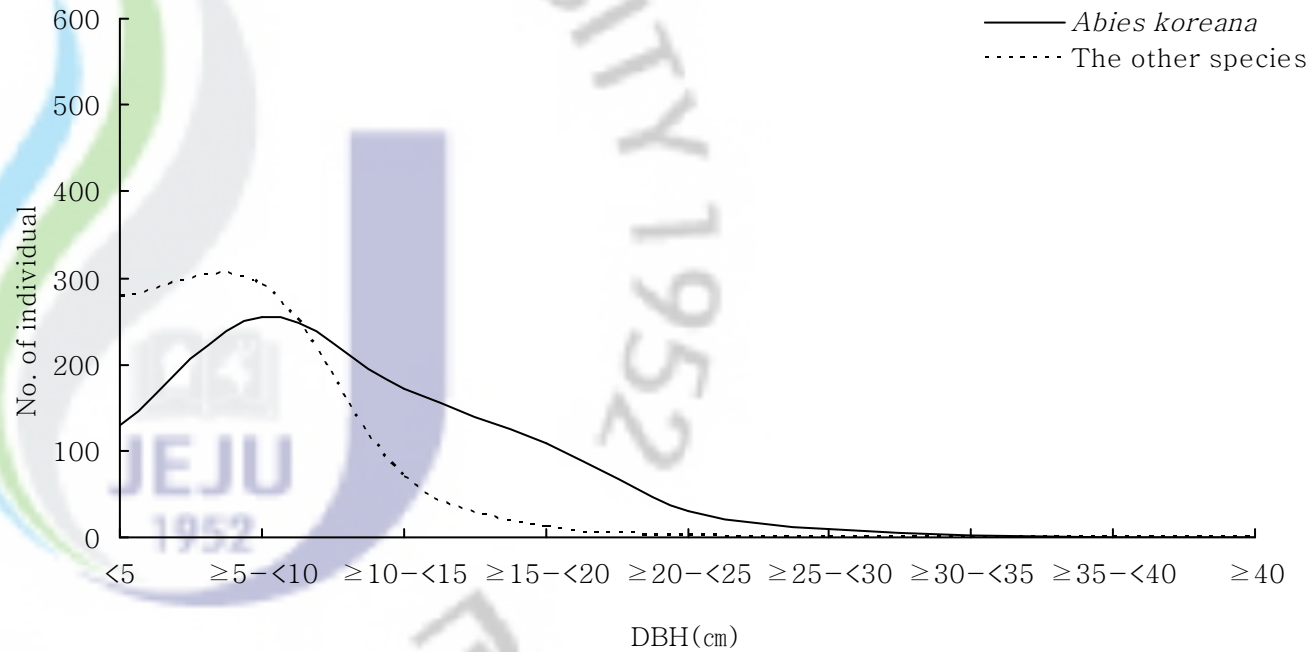
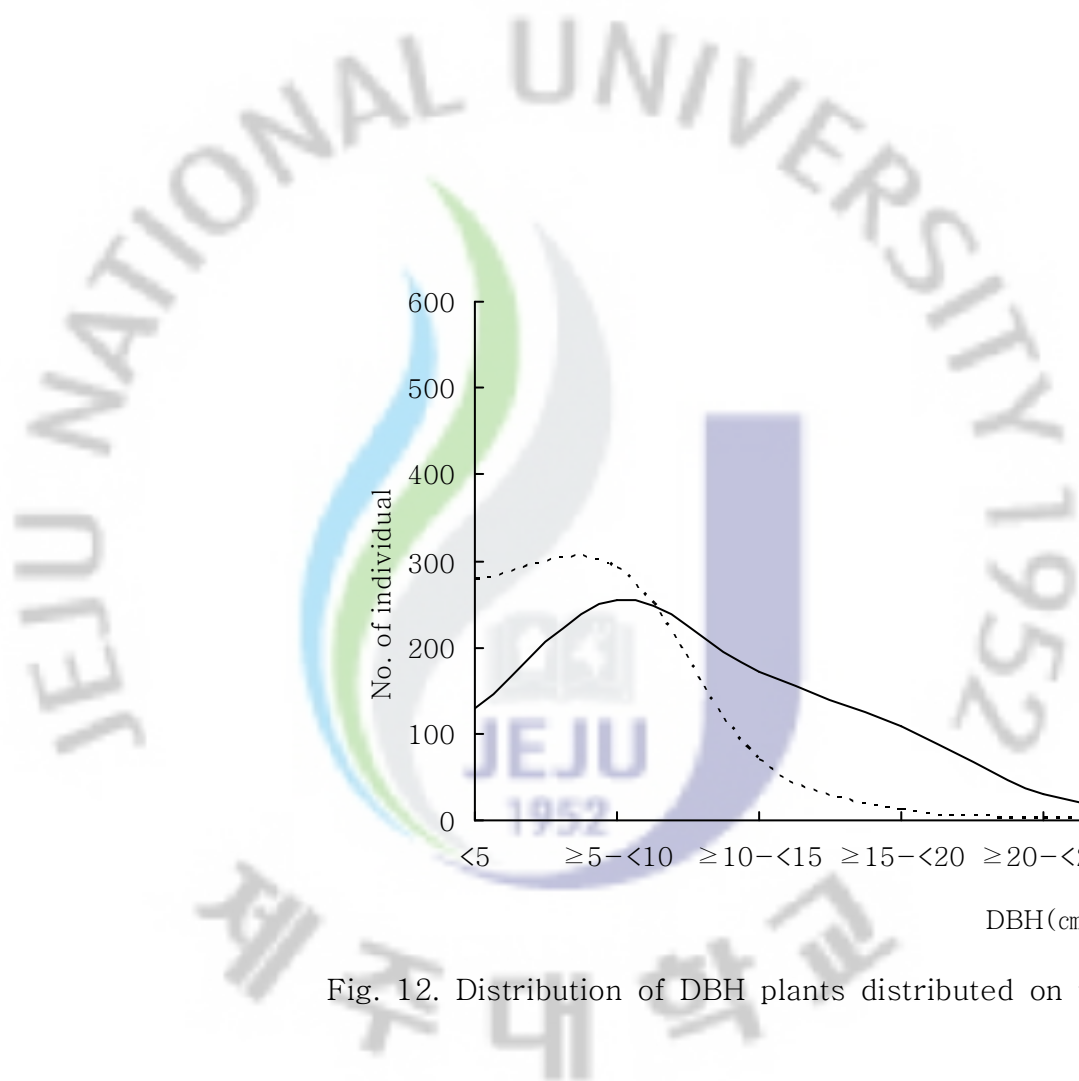


Fig. 12. Distribution of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type I-2.

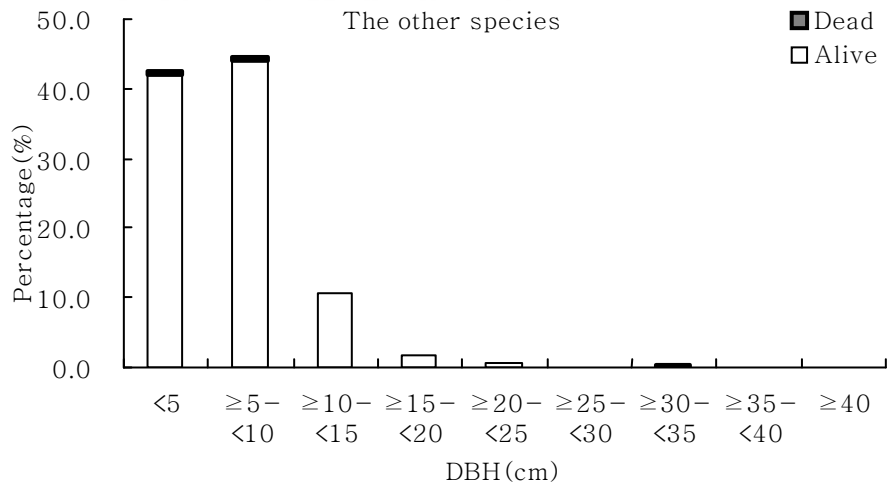
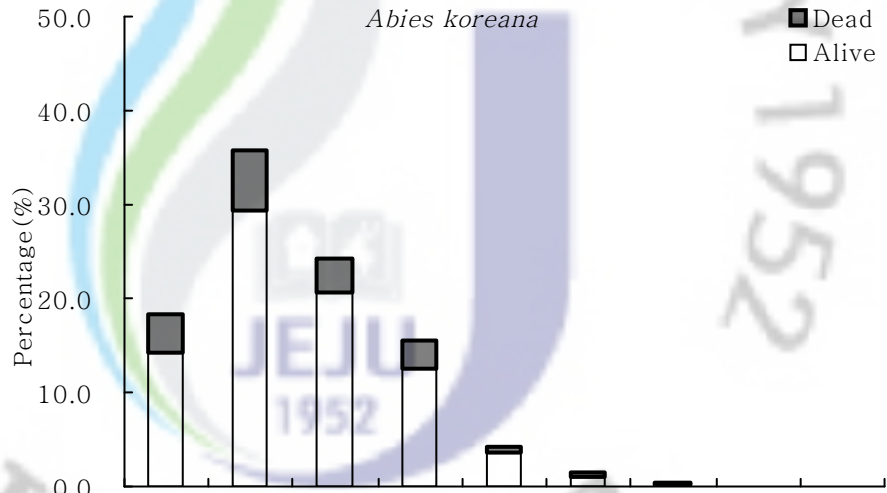
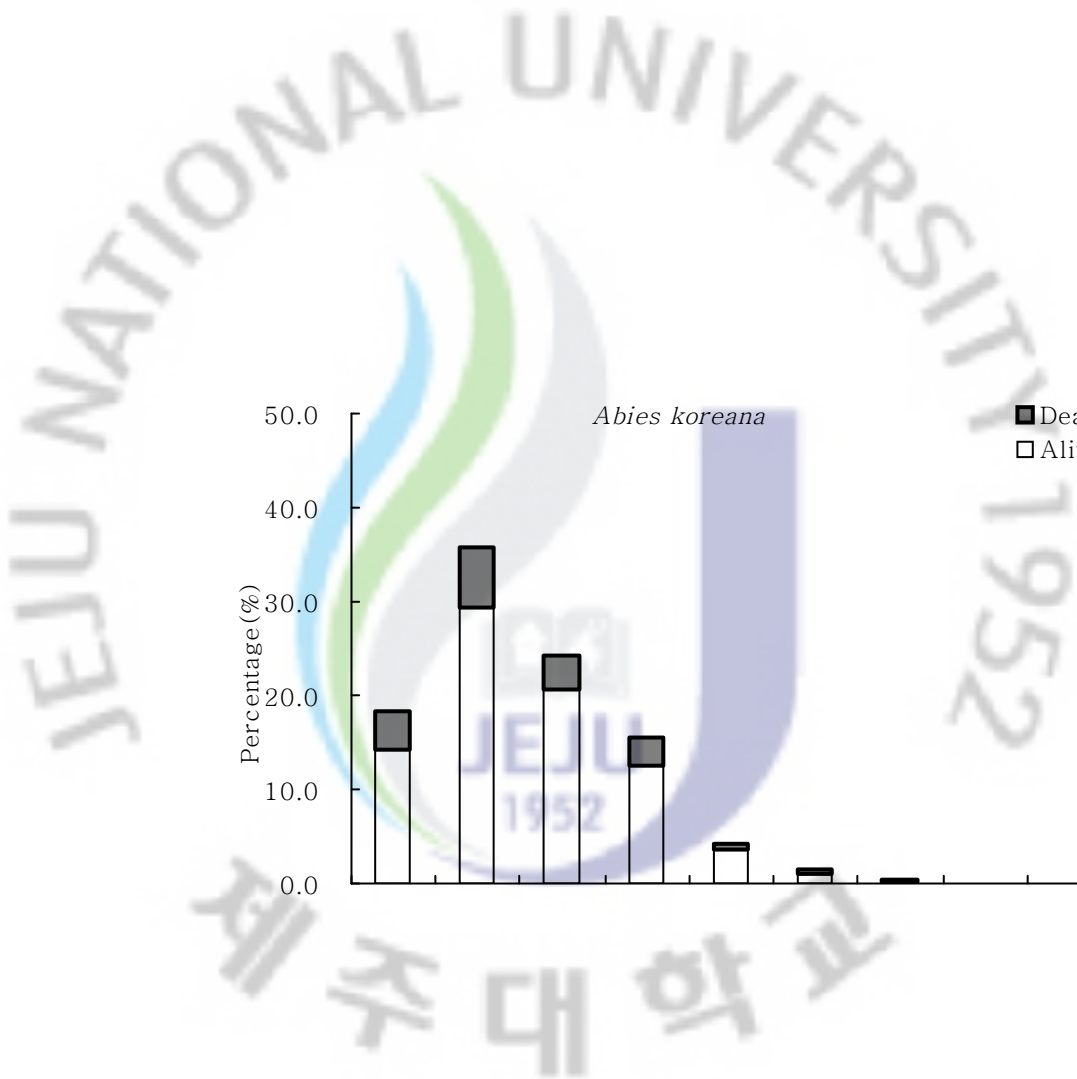


Fig. 13. Distribution percentage of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type I-2.

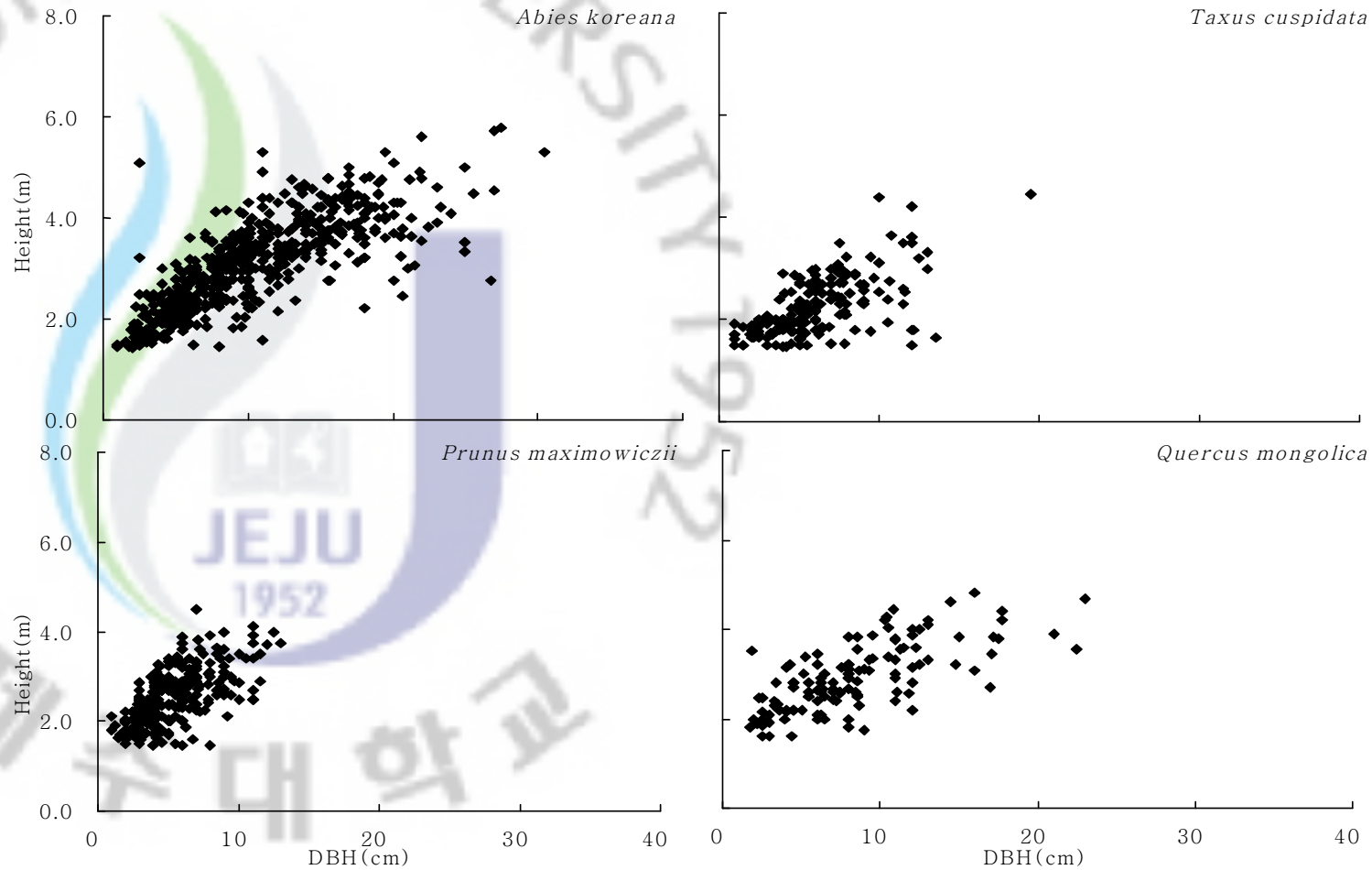


Fig. 14. Distribution of height and DBH of 4 species at vegetation Type I -2.

3) 식생 유형 II의 구조와 현황

이 Type은 구상나무 중요도가 매우 높은 Type I 과는 달리 구상나무의 중요도가 매우 낮고, 산림 주연부에서 구상나무의 중요도가 상대적으로 낮게 나타나는 지역에서 관찰된다. 상층부는 구상나무가 높은 중요도 구성을 보이고 있지만, 주목, 마가목, 산개벚치나무, 팔배나무, 노린재나무 등도 매우 높은 중요도로 구성되어 있다(Appendix 9). 하층부는 주목이 매우 높은 중요도로 구성되어 있지만, 상층부 구성 수목으로 자랄 수 있는 구상나무, 마가목, 산개벚치나무 등의 중요도 구성이 매우 낮은 것으로 조사되었다(Appendix 10). 이 식생 유형에서는 총 29종이 출현하였으며, 층위별 출현종은 3개의 식생 유형중에서 가장 많은 출현종이 조사되었다. 전체적으로 다른 식생유형과는 달리 구상나무가 아닌 주목의 평균중요도가 78.61로 가장 높게 나타났으며, 구상나무, 마가목, 산개벚치나무, 노린재나무, 팔배나무 등의 순으로 구성되어 있다(Table 7).

구상나무는 흉고직경 10cm 이상 15cm 미만의 개체가 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 하지만 구상나무의 개체수에 비해 기타 종의 개체수가 약 3배 이상 많은 것으로 조사되어 기타 종에 의한 구상나무의 생육저해로 인해 쇠퇴가 많이 진행된 것으로 추정된다(Appendix 11, Fig. 15). 매우 높은 밀도로 자라고 있는 하층의 10cm 미만의 기타 종은 하층부 개체의 성장을 억제하고 있으며, 3개의 집단 중에서 상층부와 하층부의 구상나무의 쇠퇴가 가장 빠르게 나타날 것으로 판단된다.

3개의 집단 중에서 기타 종의 고사목이 0.3%로서 가장 낮게 조사되었으며, 구상나무의 경우 고사목 비중이 20.7%로서 매우 높게 나타나고 있다. 흉고직경 10cm 이상 15cm 미만의 개체가 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 5cm 이상 15cm 미만의 개체에서 구상나무의 고사목이 많이 발생하고 있다(Fig. 16). 구상나무 고사목의 비율이 높은 원인으로는 구상나무와 기타 종의 경쟁으로 인해 고사목이 발생하고 있으며, 하층부 기타 종의 높은 밀도로 인해 3개의 집단 중에서 식생변화가 가장 빠르게 나타날 것이다.

구상나무는 흉고직경이 30cm와 수고 6m의 범위에 집중 분포하고 있는 것으로 조사되었다(Fig. 17). 비교적 넓은 범위에 분포하고 있지만, 개체수 밀도가

매우 낮게 나타나고 있어 상층부의 일부 우점종으로만 수관형성을 하고 있다. 주목, 마가목, 산개벚치나무의 높은 밀도는 구상나무의 활력을 떨어뜨리고 구상나무의 쇠퇴를 빠르게 진행시킬 것으로 판단된다.

Table 7. Mean importance value of species distributed on upper and lower layers at vegetation Type II

Scientific name/Korean name	U	L	MIV
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	50.70	120.48	78.61
<i>Abies koreana</i> 구상나무	85.76	14.99	57.45
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	45.60	15.58	33.60
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚치나무	43.18	15.84	32.24
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	10.13	13.18	11.35
<i>Sorbus alnifolia</i> 팔배나무	13.71	1.67	8.89
<i>Euonymus alatus</i> 화살나무	5.63	13.16	8.64
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	6.62	9.81	7.90
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	1.03	17.46	7.60
<i>Cornus kousa</i> 산딸나무	9.78	2.66	6.93
<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	–	17.04	6.82
<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	–	15.93	6.37
<i>Acer pseudosieboldianum</i> 당단풍	9.03	1.70	6.10
<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무	–	13.96	5.59
<i>Viburnum mifurcatum</i> 분단나무	4.21	4.01	4.13
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래	–	7.37	2.95
<i>Ligustrum obtusifolium</i> 쥐똥나무	0.81	5.38	2.64
<i>Euonymus hamiltonianus</i> 참빗살나무	1.67	3.26	2.30
<i>Betula ermanii</i> 사스레나무	3.84	–	2.30
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	3.24	–	1.94
<i>Pinus densiflora</i> 소나무	0.81	1.04	0.90
<i>Malus sieboldii</i> 아그배나무	0.91	0.80	0.86
<i>Ilex crenata</i> var. <i>microphylla</i> 좁팍팍나무	–	2.09	0.83
<i>Viburnum opulus</i> 백당나무	0.83	0.83	0.83
<i>Elaeagnus umbellata</i> 보리수나무	0.87	–	0.52
<i>Lindera erythrocarpa</i> 비목	0.85	–	0.51
<i>Kalopanax septemlobus</i> 음나무	0.80	–	0.48
<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i> 시로미	–	0.96	0.39
<i>Vaccinium japonicum</i> 산매자나무	–	0.80	0.32

U : upper layer, L : lower layer, MIV : mean importance value

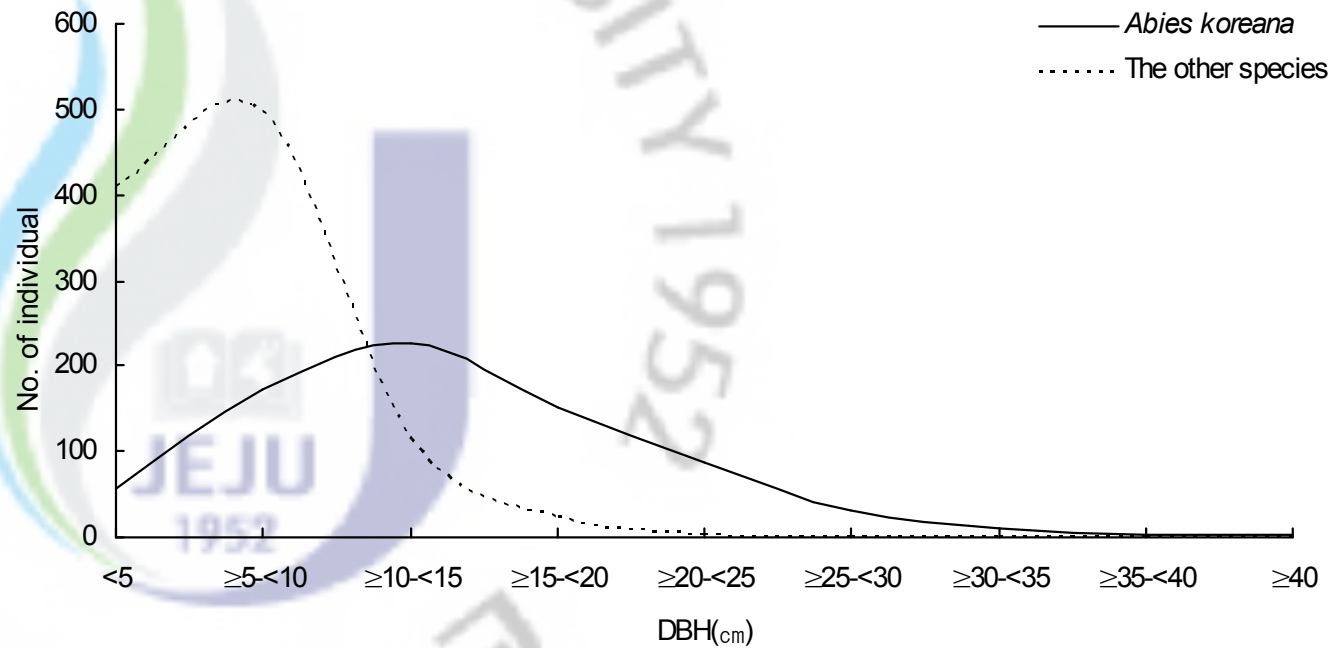


Fig. 15. Distribution of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type II.

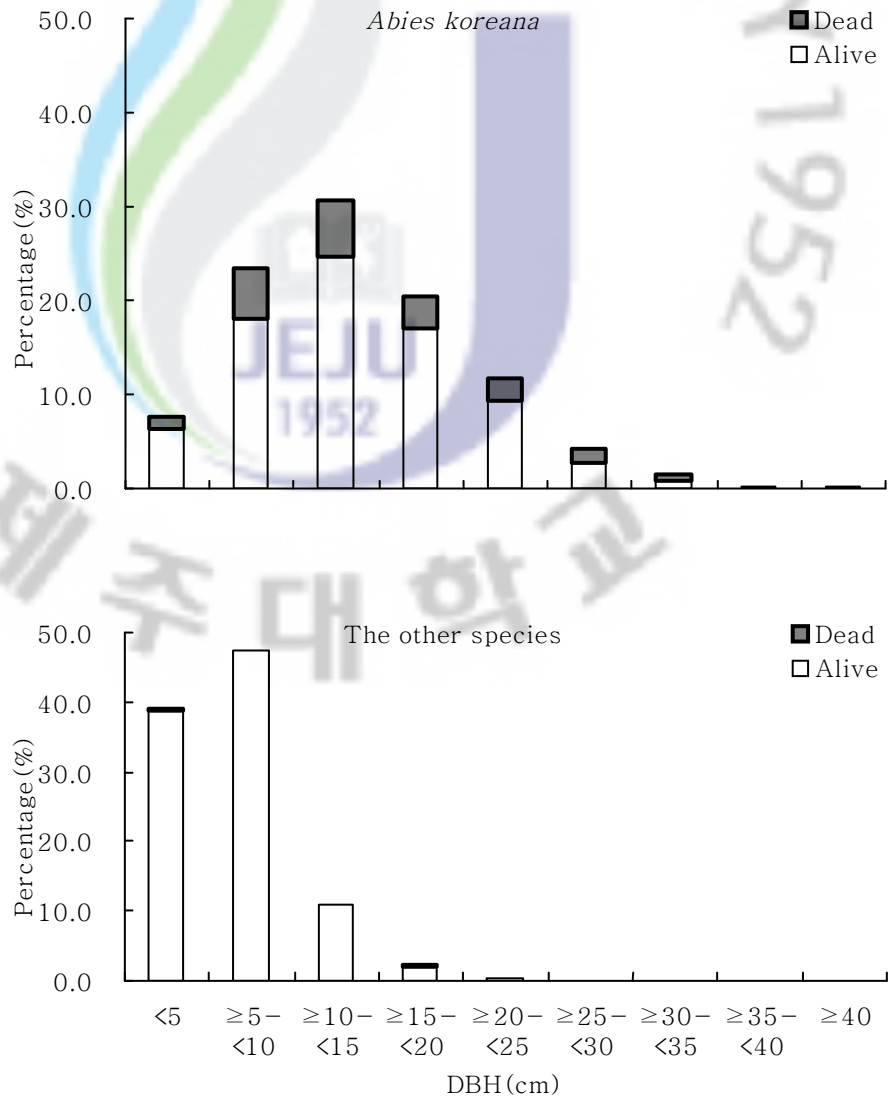


Fig. 16. Distribution percentage of DBH plants distributed on upper layer at vegetation Type II.

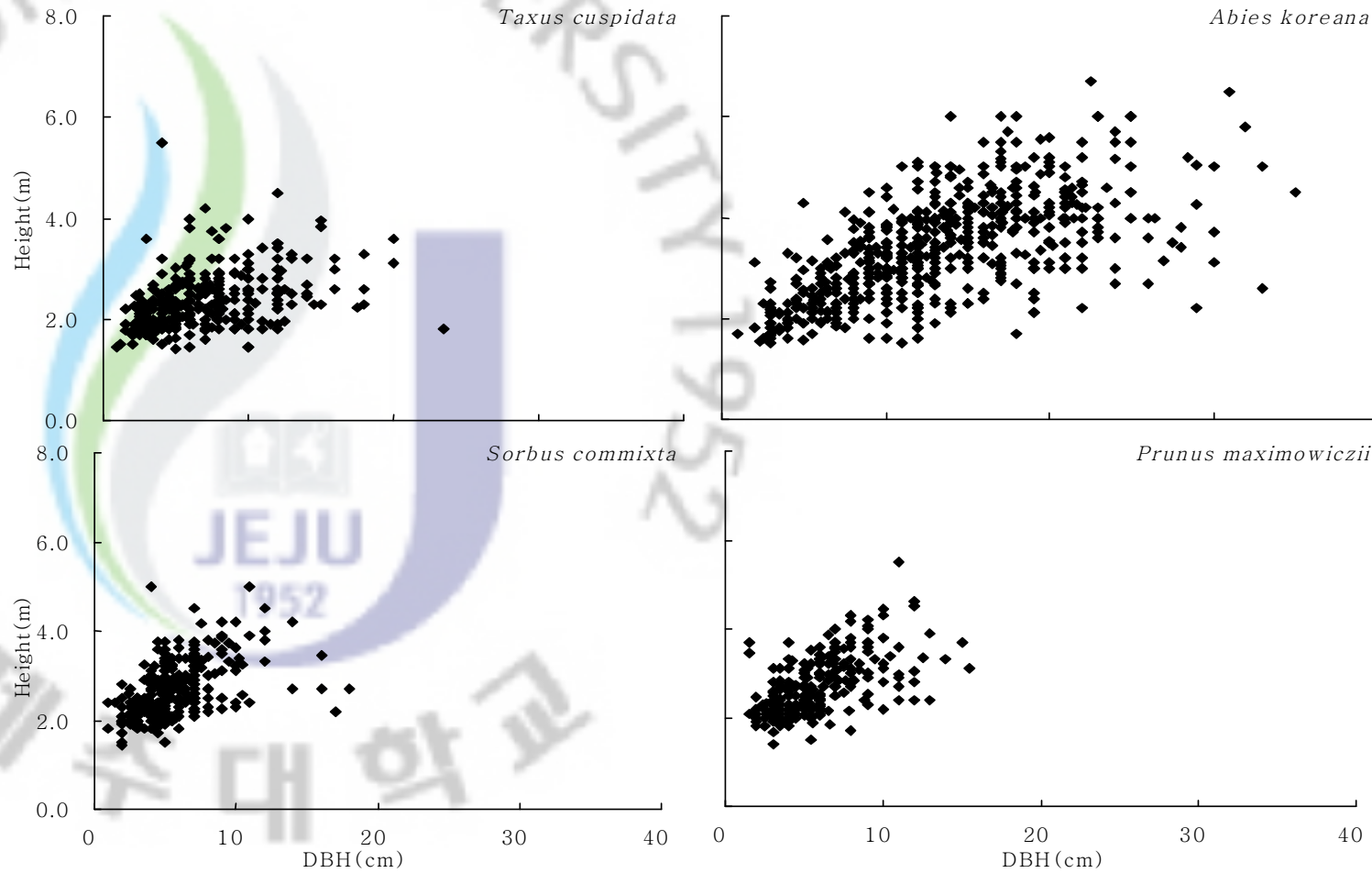


Fig. 17. Distribution of height and DBH of 4 species at vegetation Type II.

4) 한라산 구상나무림의 식생 유형별 종다양성

군집이나 집단이 생물학적 구조 차이를 시각적으로 해석하거나 관찰된 차이를 정량화하기 위한 방법으로 종다양도를 이용하게 된다. 대상 지역에서 오직 한 종만 출현하여 다양도가 제일 낮을 때는 다양도지수 값이 0이고, 모든 종이 동수로 출현할 때는 최대다양도지수(H'max)가 된다. 균등도지수(J')는 관찰된 표본의 종 수도(주어진 면적 내의 총 개체수)가 군집의 최대다양도지수에 얼마나 근접하는가를 나타낸다.

Type I-1의 출현종수는 상층 17 종, 하층 23 종으로 조사되었다. 상층부의 다양도지수 0.492, 균등도지수 0.600, 하층부의 다양도지수 0.844, 균등도지수 0.380으로 조사되었다. Type I-2의 출현종수는 상층 14 종, 하층 17 종, 상층부의 다양도지수 0.646, 균등도지수 0.437, 하층부의 다양도지수 0.824, 균등도지수 0.331로 조사되었다. Type II의 출현종수는 상층 22 종, 하층 24 종, 상층부의 다양도지수 0.771, 균등도지수 0.426, 하층부의 다양도지수 0.845, 균등도지수 0.388로 조사되었다(Table 8).

Table 8. Species diversity indices of *Abies koreana* forests on Mt. Halla by vegetation type

Type	Layer	No. of Species	Diversity index (H')	Maximum H' (H'max)	Evenness index (J')
I-1	Upper	17	0.492	1.230	0.600
	Lower	23	0.844	1.362	0.380
I-2	Upper	14	0.646	1.146	0.437
	Lower	17	0.824	1.230	0.331
II	Upper	22	0.771	1.342	0.426
	Lower	24	0.845	1.380	0.388

3. 한라산 구상나무림의 치수 발생과 해발고도에 따른 식생 동태

1) 한라산 구상나무림의 치수 발생 특성

(1) 구상나무의 치수 발생량과 입지 환경과의 상관관계 분석

각 미세소방형구에 조사된 결과를 바탕으로 각 조사지역에서 구상나무 치수와 상관관계 분석을 실시한 결과는 Table 9와 같다.

암석노출비율은 방아오름 지역에서 가장 높은 정의상관을 보였다. 만세동산 지역에서는 상관관계가 없는 것으로 조사되었으며, 진달래밭 지역과 영실 지역은 비교적 약한 정의 상관을 나타냈다. 고사목의 피도와는 모든 지역에서 비교적 낮은 정의 상관을 보이는 것으로 조사되었다. 제주조릿대의 피도와 숲틈, 전체 식생피도, 초본층 식생 피도와는 모두 부의 상관을 보이는 것으로 조사되었다. 전체 식생 피도와 초본층 식생피도는 지역별로 약간에 차이가 나타나고 있으며, 특히 제주조릿대 피도와 숲틈이 모든 지역에서 치수발생에 가장 주요한 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 방아오름 지역에서는 암석노출 피도와 숲틈에 의해 상관관계가 뚜렷하게 차이가 나는 것으로 조사되었다.

Table 9. Correlation between number of seedling and vegetational conditions of each survey site on Mt. Halla

Factor	Jindallebat	Yeongsil	Bangaoreum	Mansedongsan
Coverage of rock	0.260**	0.297**	0.555**	0.091
Coverage of dead tree	0.168**	0.225**	0.211**	0.234*
Coverage of <i>Sasa quelpaertensis</i>	-0.294**	-0.234**	-0.396**	-0.328**
Coverage of canopy gap	-0.225**	-0.303**	-0.512**	-0.308**
Total vegetation coverage	-0.194**	-0.080	-0.022	0.214*
Coverage of herb layer	-0.074	-0.313**	-0.375**	-0.307**

* : $p \leq 0.05$, ** : $p \leq 0.01$

(2) 구상나무의 치수, 개체, 수관 분포

군집분석에 의해 구분된 식생 유형중에서 구상나무의 우점도가 높게 나타나고 있는 식생유형이 가장 많이 나타나고 있는 진달래밭 지역과, 구상나무의 중요도가 낮은 식생 유형이 가장 많이 나타나고 있는 방아오름 지역에서 치수 발생량과 입지환경과의 분포 특성을 알아보기 위해 치수 발생량과 상층부 개체로 인해 형성된 수관, 상층부 구상나무의 고사목과 살아있는 개체의 분포, 제주조릿대의 피도 분포, 하층부 작은 구상나무의 각 개체 분포를 도식화하여 분석하였다.

주요 수관 형성원인과 각 층위의 구상나무 개체 공급의 요인을 알아보기 위해 Fig. 18은 치수 발생량과 상층부 구상나무의 살아있는 개체, 하층부 작은 구상나무 개체, 상층부의 분포에 의해 나타나고 있는 수관의 분포를 표시하였다. 진달래밭 지역은 상층부의 구상나무 개체에 의해 산림 수관이 형성되고 있지만, 방아오름 지역은 구상나무 개체가 아닌 기타 종의 분포에 의해 수관이 형성되는 지역이 많은 부분에서 나타나고 있다. 치수 발생량은 진달래밭 지역에서 넓은 지역에 고른 치수 발생량 분포를 보이고 있지만, 방아오름 지역은 수관이 형성된 산림 내부에서만 치수가 나타나고 있으며, 일부 지역에는 매우 집중적으로 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 진달래밭 지역의 상층부 구상나무는 다양한 크기의 흉고직경을 갖는 개체가 분포하고 있지만, 방아오름의 경우 흉고직경이 크기가 비교적 크지만, 다양한 흉고직경의 크기를 갖는 개체가 적게 분포하고 있다.

고사목 발생에 의한 구상나무림의 식생 변화 예측을 위해 Fig. 19에 상층부 구상나무 개체의 분포와 고사목의 분포를 표시하였다. 방아오름 지역은 고사목의 흉고직경이 다양하지 못하고, 비교적 크기가 큰 고사목이 나타나고 있다. 반면에 진달래밭 지역은 다양한 크기의 고사목이 나타나고 있으며, 전 지역에 고루 분포하고 있다.

구상나무림 분포 지역의 입지 환경과 치수 발생량과의 상관관계 분석결과 주요한 입지환경으로 판단된 제주조릿대의 분포와 치수 발생량 분포를 도식화하여 분포 특징을 분석하였다. 진달래밭 지역(Fig. 20)은 제주조릿대의 피도가 매우 높게 나타났으며, 방아오름 지역보다 치수 발생이 전 지역에 고른 분포를 보이지만 발생량은 비교적 적게 나타나고 있음을 알 수 있다. 하지만, 방아오름 지역

(Fig. 21)은 산림 외부의 제주조릿대 피도가 매우 높게 나타나고 있지만, 산림 내부의 경우 제주조릿대가 나타나고 있지 않거나 비교적 낮은 피도를 보이고 있는 것으로 조사되었다.



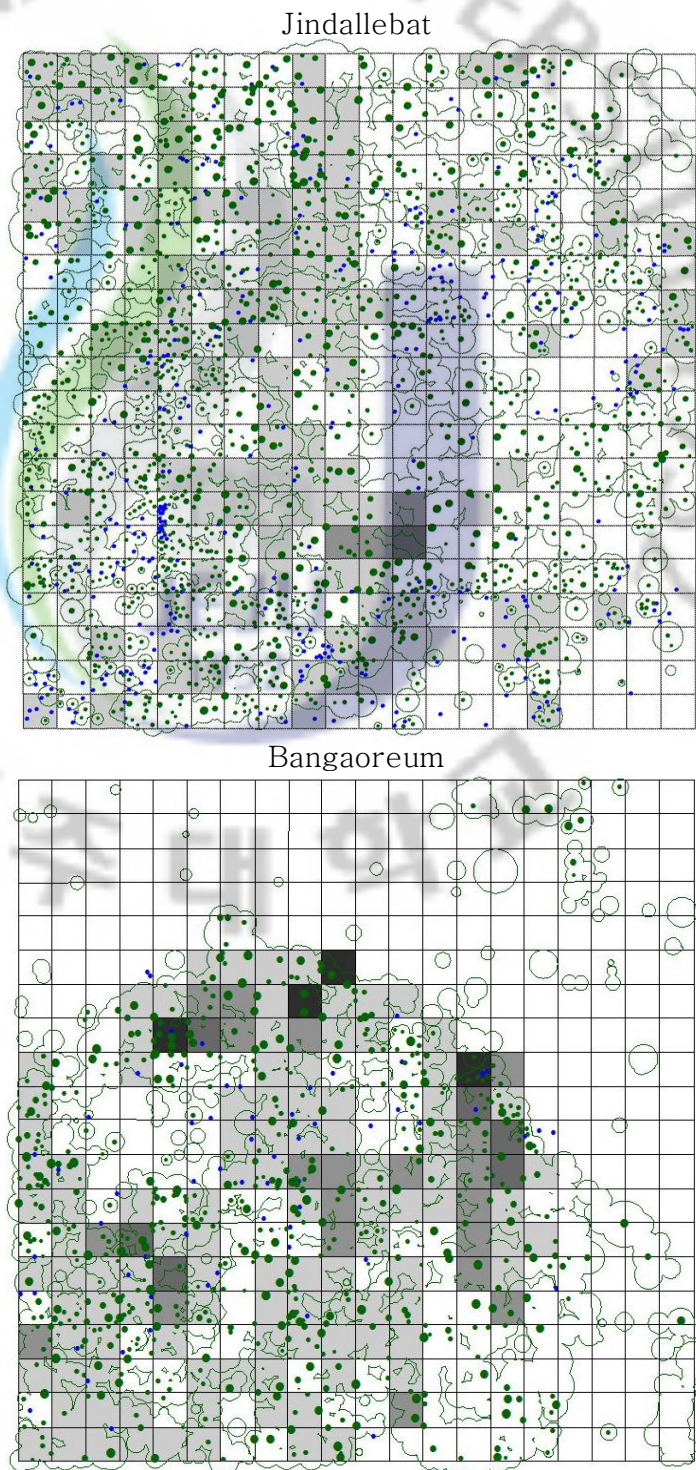
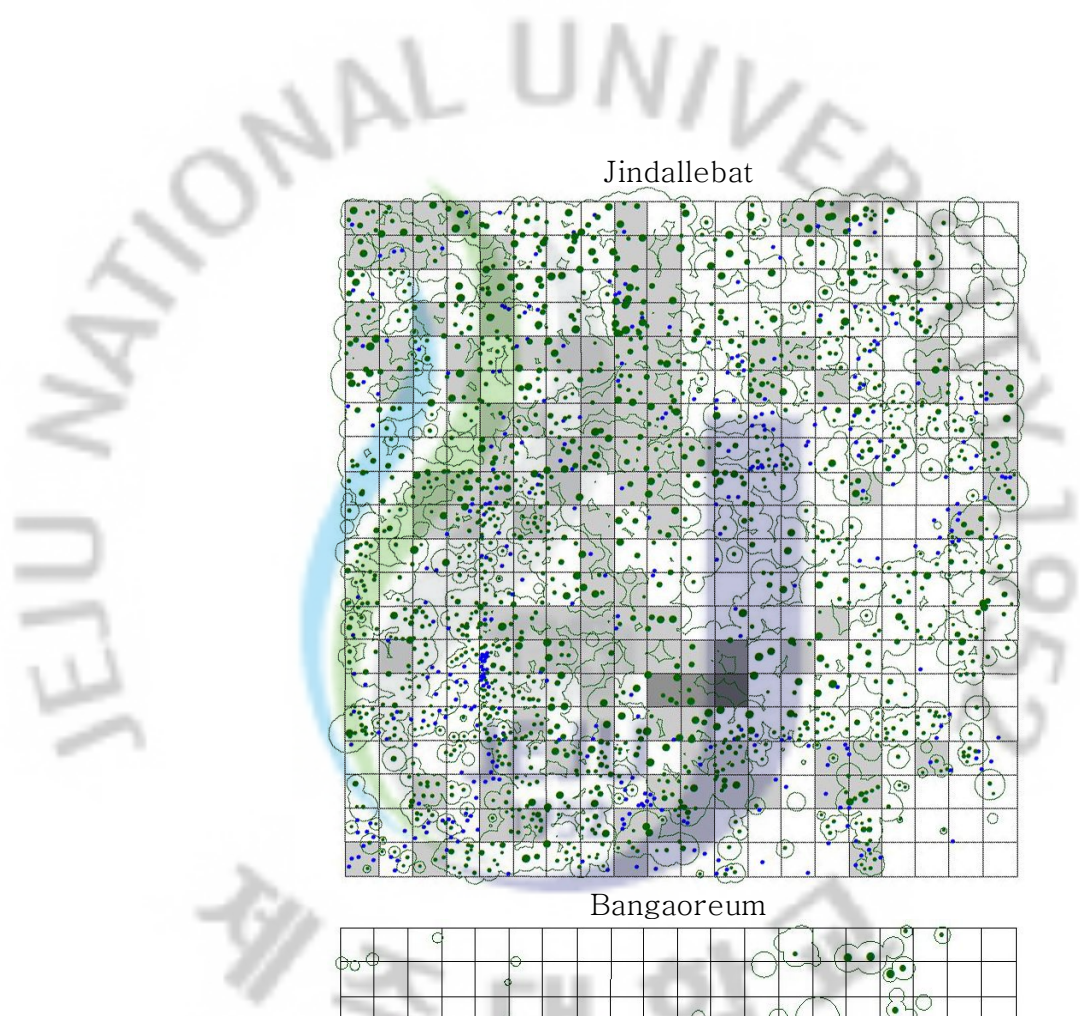


Fig. 18. Distribution of *Abies koreana* individuals in lower (●) and upper (●) layer of Jindallebat and Bangaoreum.

- Seedling emergence value □ : absent □ : less than 10, □ : 10-20, □ : 20-40, □ : 40-60, □ : 60-120,
- DBH size(cm) : ◦ (1-5), ◦ (5-9), ◦ (9-13), ◦ (13-17), ◦ (17-24), ◦ (24-46)
- ○ : The crown of forest, □ : The micro-quadrat area(5m × 5m)

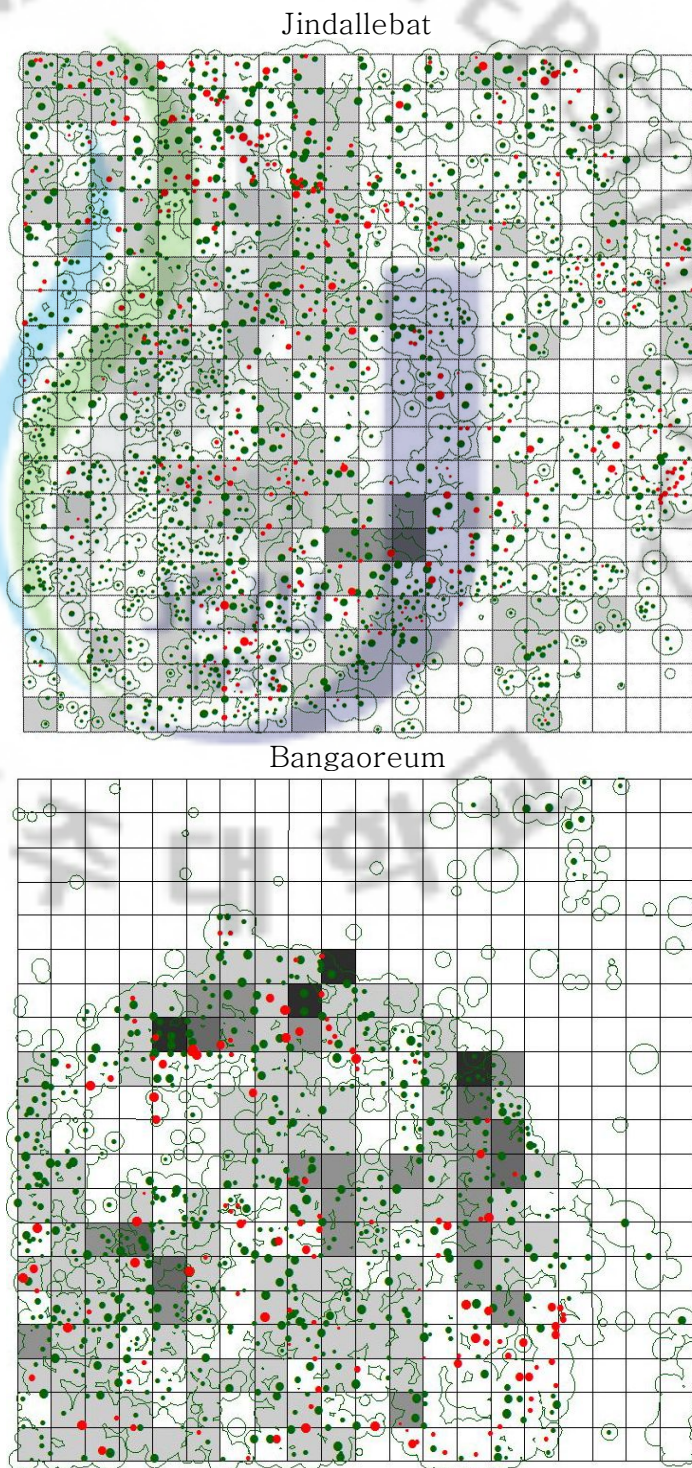
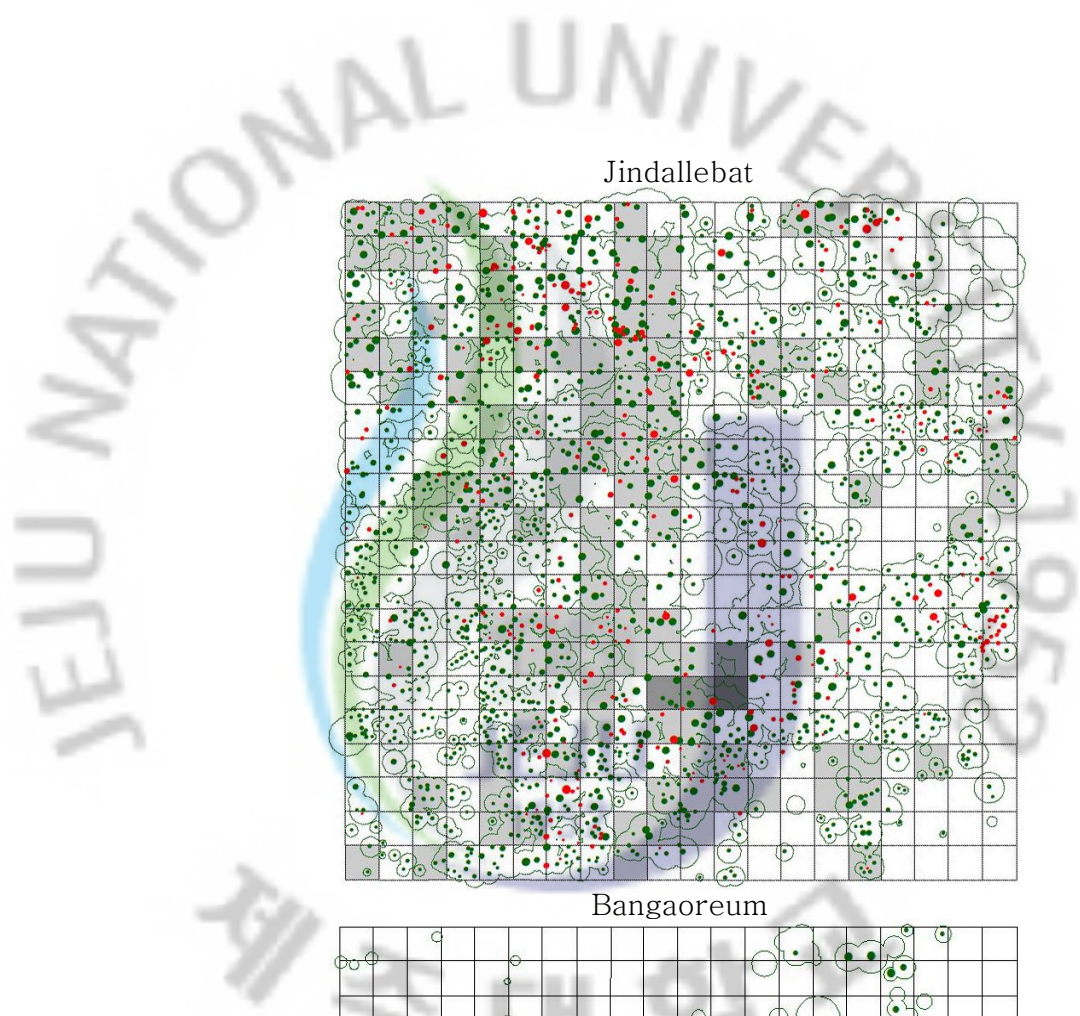
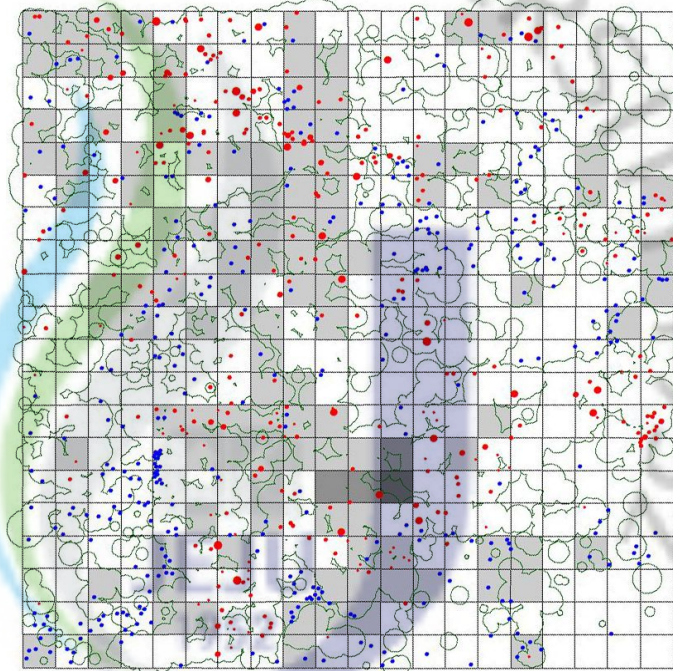


Fig. 19. Distribution of alive individuals(●) in lower layer and dead individuals(●) in upper layer of *Abies koreana*.

- Number of Seedling □ : absent □ : less than 10, □ : 10-20, □ : 20-40, □ : 40-60, □ : 60-120,
- DBH size(cm) : ◦ (1-5), ◦ (5-9), ◦ (9-13), ◦ (13-17), ◦ (17-24), ◦ (24-46)
- ◯ : The crown of forest, □ : The micro-quadrat area(5m × 5m)

Distribution of *Abies koreaana*



Distribution of *Sasa quelpaertensis*

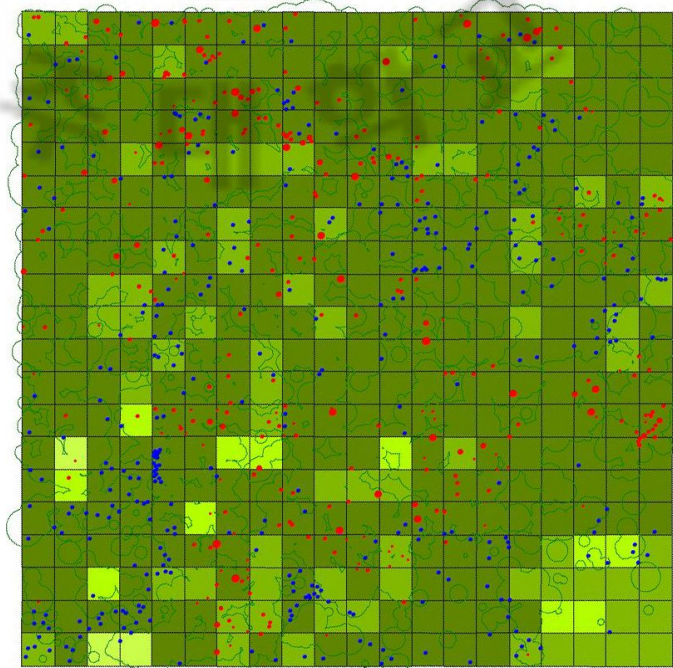
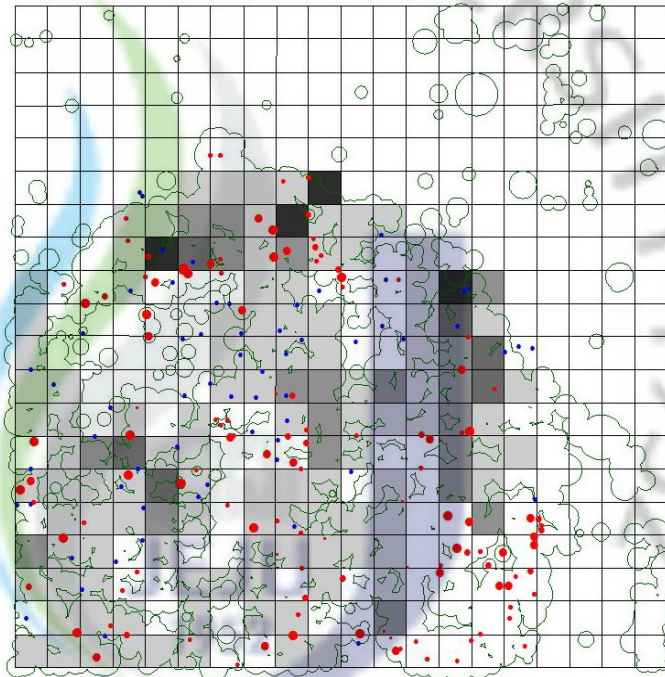


Fig. 20. Seedling number of *Abies koreaana* and coverage of *Sasa quelpaertensis* at Jindallebat.

- Number of Seedling □ : absent □ : less than 10, □ : 10-20, □ : 20-40, □ : 40-60, □ : 60-120,
- Coverage of *Sasa quelpaertensis* □ : less than 10, □ : 10-30, □ : 30-50, □ : 50-70, □ : 70-90, □ : 90-100
- DBH size(cm) : ◦ (1-5), ◦ (5-9), ◦ (9-13), ◦ (13-17), ◦ (17-24), ◦ (24-46)
- ○ : The crown of forest, □ : The micro-quadrat area(5m × 5m)

Distribution of *Abies koreaana*



Distribution of *Sasa quelpaertensis*

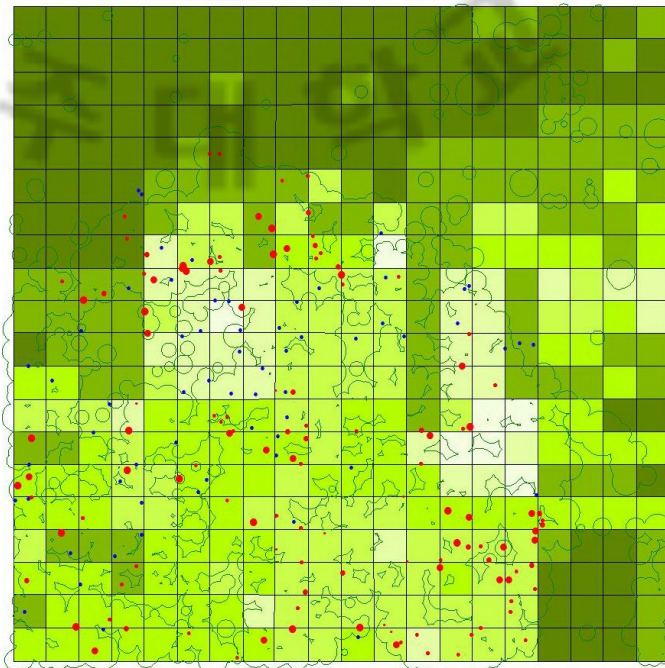


Fig. 21. Seedling number of *Abies koreaana* and coverage of *Sasa quelpaertensis* at Bangaoreum.

- Number of Seedling □ : absent □ : less than 10, □ : 10-20, □ : 20-40, □ : 40-60, □ : 60-120,
- Coverage of *Sasa quelpaertensis* □ : less than 10, □ : 10-30, □ : 30-50, □ : 50-70, □ : 70-90, □ : 90-100
- DBH size(cm) : ◦ (1-5), ◦ (5-9), ◦ (9-13), ◦ (13-17), ◦ (17-24), ◦ (24-46)
- ○ : The crown of forest, □ : The micro-quadrat area(5m × 5m)

2) 해발고도에 따른 구상나무림의 식생 동태

식생 분포는 온도와 습도의 영향을 받아 분포 범위가 결정될 뿐만 아니라, 식물의 생장에 영향을 끼치게 된다(Chmielewski et al., 2004; 신 등, 2001; 신 등, 2008; 전 등, 1999; 조와 안, 2008). 제주도는 한라산의 지형적 특성으로 인해 지역별로 다양한 기후 환경이 나타나며(강, 2002; 문, 1989). 해발고도에 따른 다양한 식생구조가 나타난다(공, 1999; 오 등, 2007; 이 등, 2010; 차, 1969). 한라산에서 해발고도 상승에 따른 기온 체감률이 약 $-0.58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (공, 1999)인 점을 고려하면, 구상나무림이 분포하고 있는 해발 1,300m에서부터 한라산 정상 1,950m 까지 650m의 해발고도 차이를 보임으로써, 기온은 약 3.8°C 의 차이가 발생한다. IPCC(2007)는 A1B시나리오에 근거하여, 동아시아는 21세기 말에 현재의 기온보다 4°C 가 상승 할 것으로 전망하였다(기상청, 2009). 식물의 분포를 결정짓는 주요 원인인 기온을 이용하여 현재 구상나무림이 자라고 있는 지역의 기온 분포를 고려해 2100년에 구상나무림의 분포를 추정해보면, 한라산 정상 일부지역에만 남아 있게 될 것으로 추정된다.

해발고도에 따른 구상나무림의 식생 구조 분석을 위해 단일 면적이고, 한라산 정상까지 하나의 면적으로 이루어진 단일 면적으로 가장 넓은 진달래밭 지역을 대을 대상으로 해발고도 약 1,550m부터 해발고도 약 1,850m지역까지 100m 간격으로 4개 지점에 방형구를 설치하여 식생 조사를 실시하였다. 각 지역의 식생조사 결과는 Table 10과 Appendix 12~15와 같다. 상층부에서는 모든 구간에서 구상나무, 주목, 산개벚치나무가 중요도지수가 높게 나타나고 있으며, 하층부는 구상나무 보다는 주목이 매우 높은 중요도지수를 보이고 있다. 상층부 주요 구성 수종인 구상나무, 주목, 산개벚치나무, 마가목의 해발고도에 따른 중요도지수의 비율을 Fig. 22에 나타냈다. 구상나무와 마가목은 전체 적으로 해발고도가 증가 할수록 중요도 비율이 감소하였으며, 주목과 산개벚치나무는 상대적으로 증가하는 것으로 조사되었다.

Table 10. Percentage of species importance value on Mt. Halla according to altitude

Scientific name/Korean name	Layer	Upper				Lower			
	Altitude(m)	1,550	1,650	1,750	1,850	1,550	1,650	1,750	1,850
<i>Abies koreana</i> 구상나무		46.3	35.0	57.4	25.4	5.1	16.8	9.7	10.1
<i>Taxus cuspidata</i> 주목		10.4	18.9	21.9	28.7	55.5	53.7	90.3	49.5
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚나무		9.9	9.8	12.8	20.5	4.6	4.2	–	6.4
<i>Sorbus commixta</i> 마가목		10.3	12.0	–	3.2	3.8	–	–	–
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무		4.6	2.1	–	–	11.3	–	–	–
<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무		1.5	2.5	–	–	–	–	–	–
<i>Sorbus alnifolia</i> 팔배나무		1.8	2.1	–	–	–	–	–	–
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무		7.1	–	–	–	–	–	–	–
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무		3.2	–	–	–	2.5	–	–	–
<i>Malus sieboldii</i> 아그배나무		3.5	–	–	–	–	–	–	–
<i>Aralia elata</i> 두릅나무		1.5	–	–	–	–	–	–	–
<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무		–	–	3.9	3.2	–	9.5	–	16.1
<i>Lonicera sachalinensis</i> 홍피불나무		–	–	4.0	2.6	–	–	–	3.7
<i>Betula ermanii</i> 사스레나무		–	8.0	–	4.0	–	–	–	–
<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매밭톱나무		–	2.9	–	12.3	2.9	9.8	–	14.2
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉		–	2.3	–	–	2.9	6.1	–	–
<i>Ilex crenata</i> var. <i>microphylla</i> 좁팡팡나무		–	–	–	–	2.4	–	–	–
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래		–	–	–	–	3.4	–	–	–
<i>Euonymus alatus</i> 화살나무		–	4.5	–	–	5.6	–	–	–

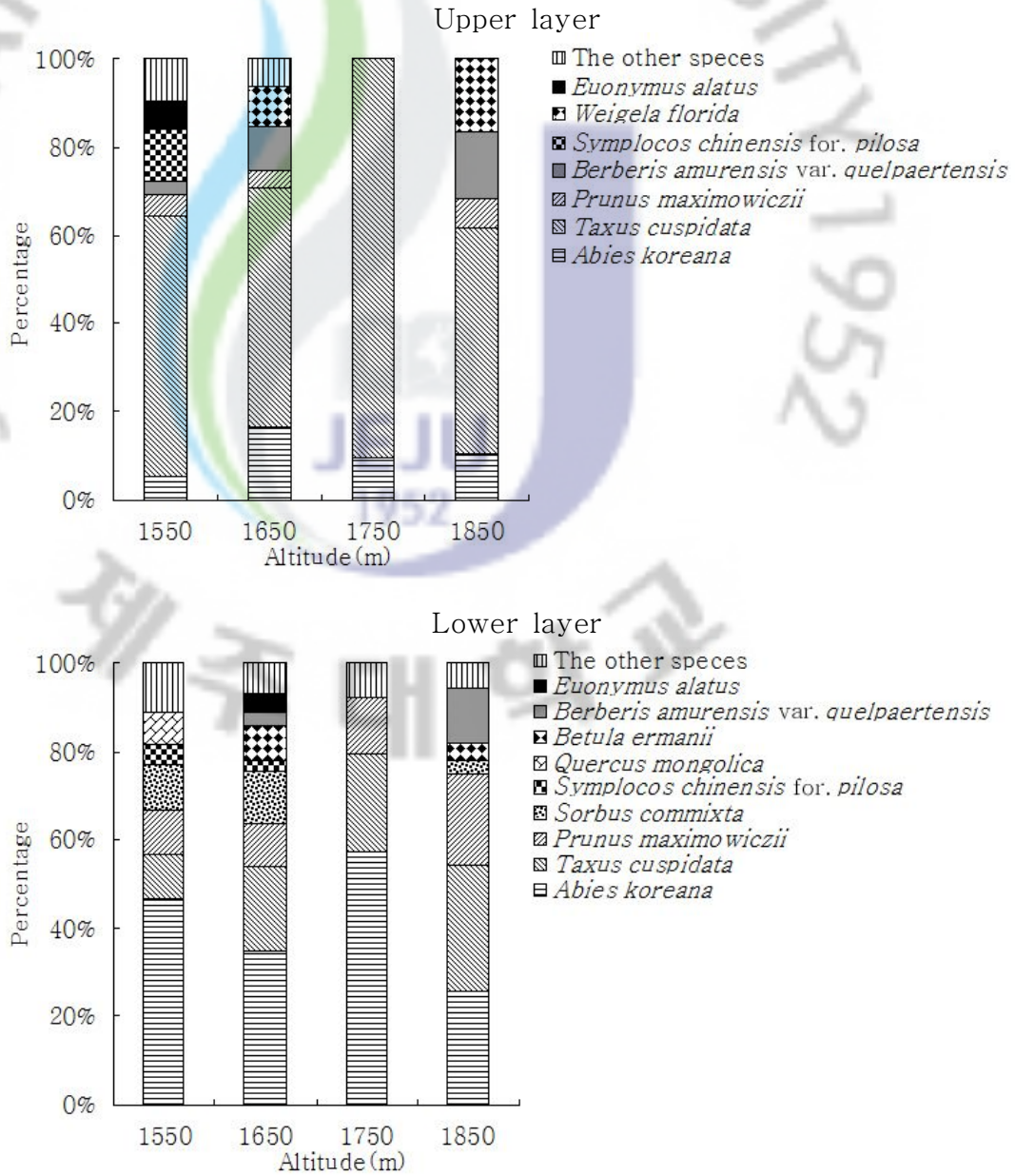


Fig. 22. Change of species importance value in upper and lower layer by altitude.

IV. 고찰

1. 한라산 구상나무림의 분포

한라산 구상나무림의 분포 면적 조사결과 803.6ha로 조사되었다. 하지만 제 3차 전국산림자원조사(1986년~1992년)를 바탕으로 제작된 산림청의 임상도에는 665.7ha(산림청, 2010), 제 2차 전국자연환경조사(1997년~2003년)의 결과로 제작된 환경부의 현존식생도에는 661.5ha(환경부, 2009), 김(2007)의 조사에서는 603.3ha의 구상나무림이 분포와 약 140ha의 차이가 나타나고 있다. 현재 구상나무림이 표현되어 사용되고 있는 자료로서는 산림청의 임상도와 환경부의 현존식생도 등이 있는데 이들 자료 대부분은 과거 해상도가 낮은 영상을 사용함으로써 산림의 경계나 우점종 판단이 잘못되고 누락된 부분이 나타나기도 한다. 또한 산림의 상층부 구상나무림의 경계가 불확실한 여름철이나 가을철에 촬영된 영상을 사용함으로써 경계 추출이 오류도 많은 부분에서 나타나고 있어(송 등, 2010; 이와 김, 2008; 허 등, 2001) 많은 면적의 차이가 발생하는 것으로 판단된다.

과거 한라산에서 구상나무의 분포를 사면별로 다양한 연구 결과가 제시되었다. 임(1962)의 연구에서는 1,450m부터 분포하였으며, 오(1968)는 1,200m부터 분포하는 것으로 보고하였다. 또한 차(1969), 김과 남(1985), 임(1991)은 사면별로 다양한 분포 결과를 보고하였다. 이들 연구에서는 구상나무가 출현하는 최저 해발고도를 동사면은 1,250m에서 1,550m, 서사면은 1,250m에서 1,500m, 남사면은 1,300m에서 1,500m, 북사면은 1,290m에서 1,400m부터 조사결과를 다양하게 제시하고 있다. 본 연구에서 동사면의 구상나무 분포지의 최저 해발고도는 1,300m로서 선행 연구 결과보다 비교적 낮은 해발고도에 분포하는 것으로 조사되었으며, 북사면은 1,500m로서 선행 연구 결과보다 크게는 약 200m가 높게 차이를 보이는 것으로 조사되었다.

한라산 구상나무림의 분포 조사결과를 종합해 보면, 동쪽과 서쪽은 비교적 경사가 완만한 사면에 분포하고 있으며, 남쪽과 북쪽은 하천 사면의 정상부와 능선

에 선형으로 분포하였다. 하천 주변의 구상나무림은 초지나 관목림과의 경계가 뚜렷하게 나타나고 있지만 동쪽과 서쪽의 사면에 분포하는 구상나무림은 졸참나무와 신갈나무 등의 낙엽활엽수림과 소나무와 곰솔 등의 침엽수림과 같이 나타나기도 하였다. 현재 구상나무림보다 낮은 고도인 낙엽활엽수림과 침엽수림의 내부에서 산발적인 구상나무 개체가 관찰되는 것은 극양수이고, 종자산포가 일시에 넓은 면적에 확산되는 침엽수의 종자 번식 특성(Cooper, 1961; 강, 1989; 공, 2006; 오, 1970; 전, 2001)으로 인해 이 지역에는 과거에 구상나무가 우점했을 것으로 추정된다. 따라서 현재 구상나무림이 분포하고 있지 않은 낙엽활엽수림에서도 소규모 개체가 다수 분포하고 있는 것으로 보아 침엽수의 종자산포에 따른 치수 발생 특성에 의해 현재의 구상나무림은 과거의 구상나무림보다 면적이 축소되어 있는 것으로 추정된다.

한편, 김 등(2007)은 한라산의 분포하는 구상나무 전체를 하나의 한라산 집단으로 보고 각각의 소규모 집단 52개를 독립적으로 구분하여 아집단(Subtype)으로 구분하였다. 하지만 한라산을 중심으로 하고 있으며, 동쪽과 서쪽의 구상나무림은 비교적 규모가 크게 형성되어 있어 하천, 암석지 등으로 인해 단절되어 나타나는 소규모 구상나무림이 나타날 수 있으며, 남쪽과 북쪽의 선형으로 길게 이어지는 하천 사면의 구상나무림도 일부 구간 단절되는 소규모 집단이 나타나고 있다. 따라서 이들 소규모 집단을 따로 구분하여 아집단으로 구분하는 것보다는 한라산을 중심으로 동쪽의 진달래밭 집단, 서쪽의 영실 집단, 남쪽의 돈내코 집단, 북쪽의 큰두레왓 집단으로 구분하는 것이 적당할 것으로 판단된다.

1) 해발 고도에 따른 구상나무림의 분포 특성

차(1969), 김과 남(1985), 임(1991) 등은 한라산의 구상나무의 분포를 다양한 해발고도부터 분포하는 것으로 제시하고 있다. 하지만 제시된 해발고도부터 한라산 정상까지 일률적으로 분포하는 것으로 보고하고 있다. 하지만 조사결과 해발고도가 1,500m 이하인 지역은 해발고도가 낮아짐에 따라서 분포 면적이 감소하고 있으며, 1,700m 이상의 지역에서도 감소하고 있다. 또한 해발고도 1,500m부터 1,700m 구간은 구상나무림이 집중 분포하고 있다. 1,700m에서 1,800m 구간은 백록담의 외륜을 형성하는 지역으로서 고산 지대의 강한 바람에

의해 수목의 생육이 저해되는 지역으로서 비교적 출현종수가 줄어들고 출현하는 개체의 크기도 왜성화 되거나 편형화되어 나타나기도 하며, 전체 면적의 약 12.4%에 해당된다. 또한 1,800m 이상에서는 한라산 정상부 경사가 급한 암석 지나 절벽 등이 포함되어 있고, 한라산의 원추형 구조의 특성상 높은 해발고도 일수록 상대적으로 면적이 협소해지는 지형적 요인에 의해 전체 면적의 약 4.1%에 해당하는 적은 비중을 차지하고 있다.

2) 경사 및 방위에 따른 구상나무림의 분포 특성

산림 지역에서 식물의 성장과 분포를 제한하는 환경요인으로서 토양과 지형 요인 등은 많은 연구가 있어왔다. 그중 해발고도나 경사 방향, 경사도 등의 변화에 따른 식생 변화 연구가 일부 진행된 바 있다(Shoulder and Tiarks, 1980; 임, 1989; 임 등, 1992). 이 연구는 특히 지형 특성에 의해 발생하는 수분 요인은 온도 요인과 함께 식물의 분포를 결정짓는 중요한 역할을 할 뿐만 아니라, 식물의 물질생산과 성장에 영향을 미침으로서 국지적인 종의 분포와 식생을 결정짓는 중요한 환경요인으로 판단하고 있다. 특히 임 등(1992)은 수분이용도를 측정하는 방법으로 지형적 요인으로부터 산림지역지수(Forest site quality index, FSQI)와 식물 분포와의 관계 분석결과 특정 식물 군락이 일정한 경사지에만 분포하고 있음을 통해 식물 군락의 분포에 지형적 요인이 중요함을 논하기도 하였다. 한라산에서도 일정한 경사와 방위에 구상나무림이 집중 분포하거나 면적이 차이가 나는 이유는 구상나무림 분포에 있어서 경사와 방위에 의한 수분의 유지와 이용은 주요한 영향을 끼치고 있음을 판단 할 수 있다.

구상나무림의 분포와 분포지 지형 특성을 종합해 보면, 임목의 생장은 유전적 요인과 함께 경사를 포함한 환경적 요인 등 다양한 인자에 의해 영향을 받게 된다(신 등, 2001; 신 등, 2008). 뿐만 아니라 자생지의 지표면 방위는 일조량과 건조 지수와 밀접하게 관련되어 있다. 한라산의 구상나무림은 지형 경사가 20° 미만의 완만하거나, 방위가 동사면을 중심으로 주로 분포하고 있다. 이는 평탄지보다 계곡지형에서 수분 증발량이 높아 임목생장에는 수분 증발량이 낮은 평탄 지역에서 양호한 생육 상태를 보인다는 연구와 유사한 경향을 보이고 있으며, 일조량이 적은 북쪽이거나 동쪽에 많은 면적을 차지하는 것은 수분이 충분히 유지

되는 지역에 분포하고 있는 것으로 판단된다(신 등, 2008). 한라산의 구상나무림의 분포는 오랜 기간 환경에 적응한 결과로서 환경 요소 중에서 수분조건과 밀접한 관계가 있을 것으로 판단된다(김, 2006).

2. 한라산 구상나무림의 식생 구조

각 Type의 층위별 식생 구조와 식생 현황을 종합해 보면, 독특한 환경에서 오랫동안 유지된 수림은 각 집단별로 독특한 식생구조를 가지게 되고, 구성 개체의 형질도 다양하게 발달하게 된다. 구상나무의 높은 중요도 구성으로 인해 Type I과 Type II로 구분되었다. Type I은 상층부 구성 수종(신갈나무, 마가목 등)에 의해 하위 집단인 Type I-1과 Type I-2로 구분된다. Type I-1은 구상나무의 평균중요도지수가 상대적으로 매우 높게 나타났으며, Type I-2는 구상나무의 평균중요도지수가 높게 나타나기는 했지만, 주목의 중요도가 비교적 높게 나타나는 것으로 조사되었다. Type II는 구상나무보다 주목의 평균중요도지수가 가장 높게 나타났으며, 구상나무, 마가목, 산개벗지나무 등의 순으로 평균중요도지수가 높게 나타나는 것으로 조사되었다.

홍고직경에 따른 구상나무와 기타 종의 개체수 빈도, 고사목 발생 현황, 주요 수종의 홍고직경에 따른 수고 분포 결과를 종합해보면, Type I-1은 비교적 구상나무림이 안정되어 있어 오랫동안 구상나무림의 유지된 것으로 판단되며, Type I-2는 상층부 구상나무와 기타 종의 경쟁으로 점차 구상나무림의 쇠퇴가 예상된다(구 등, 2001; 김과 길, 1996; 김 등, 1998). Type II는 구상나무의 쇠퇴가 비교적 많이 진행되어 있으며, 구상나무를 제외한 기타 종의 높은 개체수 밀도로 인해 3개의 Type 중에서 가장 빠른 식생 변화가 예상된다. 이 같은 결과는 유(2002)의 연구에서 사면별 홍고직경과 수고 분포 분석 결과 남사면에서 가장 불량한 생육상태를 보이는 것으로 판단한 결과와 일치하고 있다.

식생 유형별 종다양성 분석결과 각 Type의 하층부에서 높은 다양도지수를 보이고 있지만, 균등도 지수가 낮아 주목, 산철쭉, 털진달래 등의 중요도만 집중되어 높게 나타나는 것으로 판단된다. 상층부에서는 Type I-1의 다양도지수가 가장 낮게 나타났으며, Type II에서 가장 높은 다양도 지수를 보이는 것으로 조

사되었다. Type I-1은 Type I-2보다 개체수는 많지만 구상나무의 높은 중요도 때문에 다양도지수가 상대적으로 낮게 나타났다. 하지만 Type II는 상층부에 구상나무 이외의 기타 종이 높은 중요도 구성을 보임으로서, 다양도지수가 비교적 높게 조사되었다.

다양도지수의 증가는 중간 경쟁을 일으키는 주요 원인이 된다. 따라서 식생 구조와 식생현황을 분석한 결과와 동일한 결과를 보이고 있으며, Type II에서 가장 치열한 경쟁이 발생하고 가장 빠른 구상나무림의 쇠퇴가 일어날 것으로 판단된다.

3. 한라산 구상나무림의 치수 발생과 해발고도에 따른 식생 동태

1) 한라산 구상나무림의 치수 발생 특성

(1) 구상나무의 치수 발생량과 입지 환경과의 상관관계 분석

고 등(1996)과 김(1997b)은 구상나무의 치수는 대부분 산림 주연부에서 주로 발생하고 점진적으로 확산하는 것으로 보았다. 홍 등(2008)의 조사에서는 구상나무 치수는 임연부에서만 나타나고, 임내에서는 나타나지 않는다고 보고하였다. 구상나무의 치수 발생은 상층에 분포하는 개체의 수관 피도(정 등, 1996)와 상대광도(조 등, 2001)에 의해 영향을 받는다. 또한 식생구조와 동태는 치수의 상태와 개체수에 따라 크게 결정되며, 자연림의 치수 발생은 환경 요인에 의해 크게 영향을 받는다(Reder, 1993).

구상나무 치수는 바위로 인해 형성된 미세지형이 유리하게 작용하여 그 주변에 집중되어 나타나고 있으며(홍 등, 2008), 토심과는 부의 상관관계가 있다(김 등, 1998). 하지만 만세동산 지역에서는 상관관계가 낮은 것으로 나타났으며, 방아오름 지역에서는 높은 정의 상관관계를 보이고 있어 암석노출은 지역별로 다양한 영향을 끼치는 것으로 판단된다. Yamamoto(1993), 김 등(1998), 홍 등(2008)은 임연부에서 주로 밀생하는 제주조릿대는 지하경과 낙엽이 지면을 두껍게 덮고 있기 때문에 종자의 발아와 치수의 생장이 저해될 가능성이 높다고 하였다. 본 연구에서도 산림의 주연부와 산림 내부에서도 활발히 자라고 있으며 모든 지역에서 제주조릿대와 부의 상관관계를 보이고 있는 것으로 조사되었다.

따라서 구상나무림과 주변에 형성된 제주조릿대 군락은 매우 높은 밀도를 보이고 있어 하부식생의 다양도지수를 급속히 감소시키고 있으며(김, 2009), 한라산 아고산 지역에서 제주조릿대의 밀도 증가는 임연부에서 구상나무 치수 발생을 급격하게 감소시킬 것으로 판단된다. 구상나무림 내에서 발생하는 숲틈은 치수의 개체수와는 부의 상관을 보였으며, 방아오름 지역에서 비교적 높게 나타나는 것으로 조사되었다. 다양한 입지환경 중에 제주조릿대의 피도와 숲틈에 의해 치수 발생량이 크게 좌우 되는 것으로 판단된다.

(2) 구상나무의 치수, 개체, 수관 분포

치수 발생량과 제주조릿대 피도와의 분포도 분석결과 방아오름 지역은 제주조릿대의 피도에 의해 뚜렷한 치수 발생량 감소가 일어나고 있다. 또한 고사목의 발생은 산림 내에서 활발히 일어나고 있지만 비교적 흉고직경이 큰 개체가 많이 발생하고 있는 것으로 판단된다. 방아오름 지역은 각 층위별 개체 공급이 원활히 이루어지고 있지 않고 있는 상태에서 크기가 큰 구상나무 개체의 고사는 현재 식생 변화가 활발하고 그 변화 속도는 더욱 빨라질 것으로 판단된다. 하지만 진달래밭 지역은 제주조릿대의 피도가 매우 높게 나타나고 있기 때문에 치수 발생량은 방아오름 지역보다 적지만 숲틈의 피도는 진달래밭 지역보다 방아오름 지역에서 높은 음의 상관관계를 보이는 것으로 보아 진달래밭 지역은 제주조릿대의 피도와 함께 숲틈의 피도에 의해 치수가 하층부의 작은 개체로의 성장을 양호하게 하는 것으로 판단된다. 이 같은 결과는 산림내에서 고사목에 의해 발생하는 Gap에 의해 숲이 재생된다는 *Betula type*의 갱신(강, 1989)과는 다르게 방아오름 지역은 진달래밭 지역보다 제주조릿대의 피도와 숲틈의 피도에서 더 높은 음의상관 관계를 보이며(유, 1992), 치수 발생량이 제주조릿대의 피도와 직접적인 관계가 높은 것으로 판단되며, 진달래밭 지역의 경우 매우 높은 제주조릿대의 피도가 치수 발생을 억제하고 있지만, 치수 발생 후 작은 개체로의 공급과 숲틈과의 관계에 있어서도 밀접한 관련이 있음을 판단할 수 있다.

이를 종합하면, 진달래밭 지역은 치수 성장에 의해 구상나무림의 지속적으로 유지될 가능성이 매우 높다. 하지만 방아오름 지역은 구상나무를 제외한 기타종의 높은 중요도로 인해 구상나무 치수와 기타 종간 및 개체간 경쟁의 결과로 산

림 내에서 치수발생이 편중되는 것으로 판단된다. 구상나무의 치수 발생으로 인한 구상나무의 유지는 앞서의 결과와 같이 진달래밭 지역이 가장 오랫동안 구상나무림이 유지될 것으로 판단되며, 치수 발생량은 안정된 식생을 유지함에 있어 매우 높은 요인으로 작용하고 있다.

2) 해발고도에 따른 구상나무림의 식생 동태

현재까지 구상나무림은 상층부의 개체 유지로 인해 낮은 고도에서부터 유지되어 왔지만, 하층부의 구상나무 구성을 보면 1,550m 보다 1,650m의 고도에서 높은 중요도 구성비를 보이고 있어 분포 지역 중 가장 낮은 해발고도를 보이는 1,550m 지역은 최근 급격히 변하는 생태계 변화(기후)에 의해 다양한 식물이 유입되고 있는 것으로 판단된다. 해발고도가 높을수록 출현 종수는 감소하였으며, 비교적 바람에 강하고 수림내에서 활발한 성장을 보이는 고산 극음지 식물인 주목이 구성 비율이 매우 높게 증가하는 원인으로 판단된다. 이 같은 원인은 한라산과 설악산의 일부 고지대에서도 수고가 4m에서 5m 이상의 큰 나무가 자라지 못하는 교목한계선(Treeline)이 나타나며(유, 2002). 이 지역은 고산지대 환경의 악조건에 의해 형성되는 편형수(Wind-shaped tree)나 왜성편형수(Krummholz)가 나타나고, 수림이 연속적으로 자라지 못해 드문드문 모여 자라는 수목섬(Tree island)이 나타나기도 한다. 또한 유(2002)는 한라산 해발 1,800m부터 교목이 자라지 못하는 수목한계선이 나타난다고 하였다. 해발고도가 높아짐에 따라서 구상나무의 수고와 중요도가 낮아지는 것은 상층부 주요 구성 식물인 교목성 수종이 분포가 어려워지고, 주목, 산철쭉, 붉은병꽃나무 등의 관목성 수종의 중요도가 높게 나타나는 것으로서 추정할 수 있다.

한라산 구상나무림에서 반복적으로 발생하는 건조와 저온(Fig. 2)은 구상나무림의 수분 스트레스를 가속화시켜 구상나무가 고사 하거나 생육 저하를 발생시키고 있다(공, 2005; 공, 2006; 구 등, 2001). 따라서 구상나무림에서 발생하고 있는 다양한 식생구조는 기온과 상대습도의 다양한 변화가 원인이지만, 기온과 상대습도에 영향을 끼칠 수 있는 운량, 강수량, 풍속, 안개일수 등 다양한 기후요소를 측정하고 분석함으로써 생태계 변화에 따른 구상나무림의 식생변화를 다양한 측면에서 연구할 필요가 있다.

식생 구조는 오랜 기간의 기온, 강수량 등의 환경 요인에 의해 오랫동안 영향을 받아 다양한 모양으로 나타나게 된다(Thomas and Robert, 2011). 본 연구에서 단기간에 측정된 각 지역의 기온과 상대습도는 각 지역의 오랜 기간 이루어진 기후의 결과를 표현하기에는 매우 부족하다. 하지만 고온, 저온, 과습, 건조 등의 극단적인 환경은 식물의 생리적 활성화에 분명한 영향을 주고 있다. 1월부터 4월까지 다른 지역에 비해 극심히 나타나는 상대습도의 저하는 구상나무의 생육에 영향을 끼치게 된다.

줄기가 부러지거나(DB) 지표면에 쓰러진 유형(DF)은 바람, 눈, 번개 등의 물리적 요인에 의해 발생할 가능성이 높지만, 곧바로 서있거나(DS), 기울어진(DL) 개체는 기후 변화, 생리적 요인, 자연 고사 등의 비물리적인 요인에 의해 발생할 가능성이 높다. 따라서 영실 지역에서 발생한 고사목(DS)은 기온 및 상대습도의 이상 분포에 의한 결과로 추정되며, 최근 발생하고 있는 기온 및 상대습도의 반복적인 이상 변화는 한라산 모든 지역에서 발생할 수 있을 것이다. 방아오름 지역에서 발생한 고사목(DB)은 겨울철 적설량이 많거나, 여름철 태풍에 의해 발생한 것으로 판단되며, 이 같은 결과는 구상나무의 확산을 저해하는 요인으로 작용할 수 있다.

고사목의 발생에 대하여 김(1994)은 토양의 물리화학적 특성과 대기과 기후의 이상 변화, 등반객과 가축의 방목 등 인위적 요인 등에 의한 다양하고 복잡한 요인에 의해 발생하는 것으로 보고하였다. 특히 풍도목이나 풍절목의 발생을 태풍 발생 시기와 관련하여 그 시기가 일치함을 확인하였고, 1950년~1960년대까지 화입이나 목재로서의 남벌 등의 인위적인 간섭에 의해 발생하는 토양의 물리화학적인 변화에 의해 구상나무림의 회복이 늦거나 힘들어진 것으로 판단하고 있다.

조사 결과 남쪽 사면에서 주로 발생하고 있는 줄기가 부러져서 죽은 형태의 고사목이 비중이 높은 것은 태풍과 적설량의 증가에 의해 발생한다는 기존의 연구와 일치하는 결과로 판단된다. 또한 이 등(1993)은 가야산의 구상나무의 수령을 약 120년, 강(1984)은 지리산의 구상나무의 수령을 약 60년 ~ 70년이라 하였고, 한라산의 경우 구 등(2001)은 연륜연대측정 시료 중 1912년부터 88년간의 표준 연륜지수를 사용함으로써 약 90년의 수령을 갖고 있으며, 김(1994)

은 일반적으로 구상나무의 수령을 약 70년 정도로 추정하였다. 따라서 방목이 가장 넓은 면적에 최근까지 이루어졌던 방아오름 지역의 구상나무림은 방목이 금지된 후 약 60년 ~ 70년이 경과하여 구상나무림이 생태적 수명을 다하여 상층부 크기가 큰 고사목이 많이 발생하는 것과 연관이 높음을 판단 할 수 있다.

일반적으로 오랜 기간에 이루어지는 기후 변화는 식물 생태계가 적응할 수 있는 적절한 시간적 여유를 제공한다. 하지만 최근 급격하게 일어나는 기후 변화는 생태계가 적응 할 수 있는 시간적 여유를 제공하지 않고 있다. 이는 생태계 구성 요소 간의 상호작용, 종들의 서식 범위 이동에 큰 변화가 일어나거나, 특정 식물의 절멸을 초래할지도 모른다. 따라서 현재 식생 현황을 정확히 파악하고 이를 통해 환경변화에 따른 식생 변화를 예측하는 것은 구상나무림을 비롯한 환경변화에 취약한 종들의 가장 우선시 되어야 할 연구 과제일 것이다.

V. 요약

본 연구는 한라산에 분포하고 있는 구상나무림의 생태학적 특성을 파악하기 위해 구상나무림의 정확한 분포 면적을 조사하고, 분포 지역의 경사와 방위 특성을 조사하였다. 또한 조사된 식생 결과를 바탕으로 식생유형을 구분하고 구분된 각 식생유형의 구조 및 현황과 치수발생과 해발고도에 따른 식생 동태 변화를 조사하였다.

한라산 구상나무림의 면적은 803.6ha이며, 동사면은 1,300m, 서사면과 남사면은 1,400m, 북사면은 1,500m의 해발고도에서부터 구상나무림이 분포한다. 구상나무림은 해발 1,500m부터 1,700m에 집중 분포되어 있고, 분포지는 20° 미만의 경사도에 전체의 약 70%가 분포하고 있다. 조사된 식생결과를 군집분석한 결과 한라산의 구상나무림은 3개의 유형(Type I-1, Type I-2, Type II)으로 구분되었다. 구상나무의 중요도가 높게 나타나는 유형(Type I-1)은 가장 안정된 식생 구조를 보이고 있으며, 구상나무의 중요도가 낮은 유형(Type II)은 가장 불안정한 식생 구조를 보인다.

치수발생량과 입지 환경과의 상관분석 결과 제주조릿대의 피도와 숲틈의 피도가 모든 지역에서 상관계수가 높아 치수 발생량을 가장 크게 좌우 하는 것으로 판단된다. 치수발생량, 구상나무 개체, 수관, 제주조릿대 피도의 분포도 분석 결과 방아오름 지역은 제주조릿대의 피도가 치수발생량에 큰 영향을 끼치고 있으며, 각 층위에 구상나무의 개체 공급이 원활히 이루어지고 있지 않아 식생구조가 가장 불안정하다. 반면에 진달래밭 지역은 제주조릿대의 피도가 매우 높아 치수 발생량은 적다. 하지만 숲틈에 의해 구상나무의 작은 개체가 성장하여 각 층위에 구상나무 개체 공급이 원활히 이루어지고 있어 식생구조가 매우 안정되어 있다. 해발고도별 식생 구조 분석 결과 해발고도가 높아질수록 다양도지수와 구상나무와 마가목의 중요도는 감소하였으며, 주목과 산개벚치나무의 중요도는 증가하였다. 반면에 해발고도가 낮아질수록 다양도지수와 하층부 기타 종의 중요도는 높게 나타났다.

본 연구 결과를 바탕으로 한라산 구상나무의 장기적인 생태 조사를 통해 구상

나무림의 변화를 확인하고, 미래 구상나무림의 변화를 예측하고 변화를 최소화
시킬 수 있는 대처 방안을 세우는데 다양한 연구가 이루어져야 할 것이다.



VI. 인용문헌

- Berry J, Bjorkman O. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 31:491-543.
- Binkley D, Son YW, Kim ZS. 1994. Impacts of Air pollution on forests; A Summary of current situations. *Journal of Korean Forest* 83(2):229-238.
- Chmielewski FM, Muller A, Bruns E. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany. *Agricultural and forest meteorology* 121:69-78.
- Cooper CF. 1961. Pattern in ponderosa pine forests. *Ecological Society of America* 42(3):493-499.
- Curtis JT, McIntosh RO. 1951. An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecological Society of America* 32(3):476-796.
- Frankis MP. 1989. Generic inter-relationships in Pinaceae. *Notes Royal Botanic Garden Edinburgh* 45:527-548.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 104p.

Jeong SI, Lim JP, Jeon H. 2007. Chemical Composition and Antibacterial Activities of the Essential Oil from *Abies koreana*. *Phytotherapy Research* 21:1246-1250.

Kang SJ, Kwak AK, Takao K. 1997. A Phytosociological Description of the *Abies koreana* Forests on Mt. Halla in Cheju Island. *Korean Journal of Ecology* 20(2):293-298.

Ihm BS, Lee JS, Kim MH, Kim HS. 2000. A Comparative Study on the Habitat of *Abies koreana* Wilson between Mt. Jiri and Mt. Halla. *Plant Resources* 3(2):138-147.

Pielou EC. 1975. *Ecological diversity*. Wiley, New York, USA. 176p.

Reader RJ. 1993. Control of seedling emergence by ground cover and seed predation in relation to seed size for some old-field species. *The Journal of applied ecology* 81(1):169-175.

Shannon CE, Wiener W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois Press, Urbana. 117p.

Shoulder E, Tiarks AE. 1980. Predicting height and relative performance of major southern pines from rainfall, slope and available soil moisture. *Society of American Foresters* 26:437-447.

Thomas MS, Robert LS. 2011. *Elements of ecology*(7th Edition). Life science, Seoul. 637p.

Yamamoto S. 1993. Gap characteristics and gap regeneration in a

subalpine coniferous forest on Mt. Ontake, central Honshu, Japan.
Ecology Resources 8:277-285.

Yanga XW, Lib SM, Shena YH, Zhang WD. 2008. Phytochemical and Biological Studies of Abies Species. Chemistry & Biodiversity 5:56-81.

Yoon WJ, Kim SS, Oh TH, Lee NH, Hyun CH. 2009. Abies koreana Essential Oil Inhibits Drug-Resistant Skin Pathogen Growth and LPS-Induced Inflammatory Effects of Murine Macrophage. Lipids 44(5):471-476.

강상준. 1989. 한라산 구상나무 숲의 재생에 대하여. 대한민국학술원(국제학술대회논문집) 17:21-50.

강태진. 2002. 한라산 고도에 따른 바람의 구조변화. 한국기상학회지 12(1):217-219.

강태진. 2006. 한라산천연보호구역의 기후특성. 한라산천연보호구역 학술조사보고서. 제주특별자치도 한라산연구소, 제주. 33-42pp.

고정균, 김대신, 고석찬, 김문홍. 1996. 한라산 구상나무림의 동태. 제주도연구 13:223-241.

공우석. 1998. 한라산 고산식물의 분포특성. 대한지리학회지 33(2):191-208.

공우석. 1999. 한라산의 수직적 기온 분포와 고산식물의 온도적 범위. 대한지리학회지 34(4):385-393.

공우석. 2005. 지구온난화에 취약한 지표식물 선정. 한국기상학회지 41(2-1):263-273.

공우석. 2006. 한반도에 자생하는 소나무과 나무의 생물지리. 대한지리학회지 41(1):73-93.

공우석. 2007. 생물지리학으로 보는 우리식물의 지리와 생태. 지오북, 서울. 335p.

구경아, 박원규, 공우석. 2001. 한라산 구상나무의 연륜연대학적 연구-기후변화에 따른 생장변동 분석. 한국생태학회지 24(5):281-288.

권미정. 2006. 한라산 구상나무군락의 쇠퇴원인에 관한 연구. 석사학위논문, 서울시립대학교. 60p.

기상청. 2009. Climate change handbook. 기상청, 서울. 91p.

기상청. 2011. 기상관측자료. http://www.kma.go.kr/weather/observation/past_table.jsp. 2011년 3월 인용.

김갑태, 추갑철, 백길전. 1998. 한라산 아고산림대의 삼림군집구조에 관한 연구-구상나무림. 한국임학회지 87(3):366-371.

김갑태, 추갑철, 엄태원. 2007. 한라산 아고산지대 구상나무림 군집구조에 관한 연구. 한국환경생태학회지 21(2):161-167.

김갑태, 추갑철. 2000. 지역별 구상나무 생육현황 비교. 한국환경생태학회지 14(1):80-87.

- 김강현. 2006. 초임계추출법으로 추출된 구상나무 정유의 기억력 증진 효과. 석사학위논문, 우석대학교. 33p.
- 김대신. 1997a. 한라산 구상나무림 주연부의 동태 및 식생구조. 석사학위논문, 제주대학교. 27p.
- 김문홍, 남정현. 1985. 한라산 구상나무의 식물사회학적 연구. 한라산천연보호구역 학술조사보고서, 제주, 299-309pp.
- 김윤건, 문창국. 1994. 지리산산 구상나무의 정유특성에 관한 연구. 한국펄프종이공학회지 26(3):15-24.
- 김윤근. 1997b. 구상나무의 추출성분에 대한 연구. 목재공학회지 25(4):36-41.
- 김은식. 1994. 환경변화와 고산지대 수목생장 쇠퇴현상과의 상관성 해석. 한국과학재단, 서울. 89p.
- 김인식. 1998. RAPD marker에 의한 국내 전나무류의 유전적 구조와 유연관계. 박사학위논문, 서울대학교. 99p.
- 김정연, 길봉섭. 1996. 지구 온난화에 따른 한반도의 순일차생산력과 잠재자연식생의 변화 추정. 한국생태학회지 19(1):1-7.
- 김찬수, 이석우, 고정군. 2007. 한라산의 구상나무. 한라산연구소, 제주. 184p.
- 김채승, 윤창진. 1999. ESRI ArcView 지리정보체계-GIS 실습. 대영사, 서울. 654p.
- 문창국. 1980. 지리산산 구상나무재의 이화학적 성질. 박사학위논문, 전남대학

교. 22p.

문현숙. 1989. 제주와 서귀포의 기후 비교 연구. 지리학연구 14:51-73.

박준범. 1994. 제주도 화산암의 지화학적 진화. 박사학위논문, 연세대학교. 303p.

산림청. 2010. FGIS 산림공간정보서비스. [http://fgis.forest.go.kr/fgis/Map/Map_Main.aspx?theme=1_3#](http://fgis.forest.go.kr/fgis/Map/Map_Main.aspx?theme=1_3#;); 2010년 12월 인용.

송관필. 2007. 한라산 동서사면 상록활엽수림대의 식물상 및 식생. 박사학위논문, 제주대학교. 145p.

송국만, 김찬수, 고정군, 강창훈, 김문홍. 2010. 한라산 구상나무림의 식생구조와 분포 특성. 한국환경생태학회지 19(4):415-425.

송정호, 이정주, 강규석. 2008. 분비·구상나무 천연집단의 구과, 종자, 포침특성 변이. 한국임학회지 97(6):565-569.

송정호, 이정주, 이갑연, 이재천, 김용율. 2007. 분비·구상나무 천연집단의 침엽 특성 변이. 한국임학회지 96(4):387-392.

신만용, 정상영, 이돈구. 2001. 천연 활엽수림의 입지 유형별 미기후 추정과 직경성장과의 관계-강원도 평창 지역 국유림을 중심으로. 한국농림기상학회지 3(1):44-54.

신만용, 정상영, 한원성, 이돈구. 2008. 입지유형별 미기후가 천연활엽수림의 임목 성장에 미치는 영향. 한국농림기상학회지 10(1):9-16.

엄규백. 1962. 송백류의 분포를 중심으로 하는 한라산의 수직분포대. 한국식물학회지 5(2):17-20.

오계철. 1970. 소나무 군집안의 주요 구성종의 미분포와 중간 상관. 한국식물학회지 13(1):33-46.

오구균, 고정균, 김태환. 2007. 한라산 돈내코계곡의 해발고별 식물군집분포. 한국환경생태학회지 21(2):141-148.

원중관. 1975. 제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구. 박사학위논문, 건국대학교. 40p.

유용한. 2002. 상록침엽수의 지리적 분포와 환경요인-한라산 구상나무를 중심으로. 석사학위논문, 경희대학교. 150p.

유해미. 1992. 한라산 구상나무림의 파동상 분포에 관한 연구. 석사학위논문, 서울대학교. 21p.

이경재, 류창희, 최송현. 1993. 한라산 어리목, 영실, 돈내코 지역의 식물군집구조. 한국환경생태학회지 6(1):25-43.

이경재, 조우, 조현서. 1993. 한라산 아고산지대 식물군집구조 및 식생훼손. 한국환경생태학회지 6(1):44-54.

이문원, 손인석. 1983. 제주도는 어떻게 만들어진 섬일까. 도서출판 춘광, 서울. 134p.

이미선, 김성덕. 1999. 지리산 구상나무-신갈나무 혼재림의 갱신과정에 관한 연구. 한국임학회지(99년 학술연구발표회) 99:85-87.

- 이상철, 최송현, 강현미, 조현서, 조재우. 2010. 한라산국립공원 동사면의 해발고
별 식생 변화 및 구조. 한국환경생태학회지 24(1):26-36.
- 이수동, 김정호. 2008. 소규모 개발 사업지의 정밀 임상도 (영급) 작성 방안 연
구. 한국환경생태학회지 22(4):396-408.
- 이승호, 조현국, 최상일. 2004. 다시기 고해상도 위성영상을 이용한 임상구분
(제주난대림을 중심으로). 한국임학회지 2004(2):67-69.
- 이은복, 전의식, 최병희, 이병윤. 1990. 가야산 국립공원일대의 식물상. 한국자연
보호협회 조사보고서 28:35-55.
- 이운원, 홍성천. 1995. 구상나무림의 군락생태학적 연구. 한국임학회지
84(2):247-257.
- 이창복. 1970. 구상나무와 새로 발견된 품종. 한국임학회지 10:5-6.
- 이창석, 조현재. 1993. 가야산 구상나무 군락의 구조 및 동태. 한국생태학회지
16(1):75-91.
- 임병선. 1989. 토양의 수분포텐셜과 식물의 삼투조정능에 의한 해안식물군락의
분포. 박사학위논문, 서울대학교. 116p.
- 임병선, 박연우, 김하송. 1992. 다도해 해상국립공원 상록활엽수의 군락형성에
미치는 환경 요인. 연안환경연구 9:31-42.
- 임종환, 우수영, 권미정, 천정화, 신준환. 2006. 한라산 구상나무 건전개체와 쇠
약개체의 온도변화에 따른 광합성 능력과 수분이용효율. 한국임학회지
95(6):705-710.

장남기, 이인숙, 김종희, 이용상, 오인혜, 강혜순. 2001. 생태학. 아카데미서적. 서울. 152-154pp.

장진성, 전정일, 김휘. 2000. 구상나무 실체에 대한 분류학적 재고: flavonoids 와 allozyme 분석을 중심으로. 한국식물분류학회지 30(3):215-234.

장진성, 전정일, 현정오. 1997. 한국산 분비나무와 구상나무의 형질분석과 중간 유연관계. 한국임학회지 86(3):378-390.

전상근, 신만용, 정동준, 장용석, 김명수. 1999. 지역별 잣나무의 초기생장 특성과 미기후의 영향-정기평균 성장량과 미기후와의 관계. 한국임학회지 88(1):73-85.

전승훈. 1987. Monoterpene 성분에 의한 분비나무와 구상나무의 분류학적 연구. 석사학위논문, 서울대학교. 27p.

전영문. 2001. 한국 소나무림의 식물사회학적 연구. 박사학위논문, 건국대학교. 171p.

정연숙. 1998. 댐건설이 소나무 연륜생장에 미치는 영향. 한국환경생태학회지 22(3):221-229.

정재민, 이수원, 이강영. 1996. 지리산 구상나무 임분의 식생구조와 치수 발생 및 생육 동태. 한국임학회지 85(1):34-43.

제주도. 2006. 제주도지-1. 제주. 43-66pp.

제주발전연구원. 2000. 제주 오름의 보존 및 관리방안. 제주. 307p.

조태호. 2010. 제주도 한라산 일대 파리류의 계절적인 발생조장 및 수직분포. 한국환경과학회지 19(4):491-507.

조현길, 안태원. 2008. 미기후 변화에 따른 식물계절 차이. 한국환경생태학회지 22(3):221-229.

조현재, 이중효, 배관호. 2006. 월악산 주요 임분의 종조성과 구조: 국가장기생태연구지소를 중심으로. 한국생태학회지 29(6):531-537.

조혜경, 홍성각, 김종진. 2001. 상대광도 차이에 따른 구상나무 유묘의 생장과 물질 생산에 관한 연구. 산림바이오에너지 20(2):58-68.

진승환, 조병창. 2008. 한라산 정상부와 제주시의 기온 및 습도 비교. 한라산연구소 조사연구보고서(7). 제주특별자치도 한라산연구소, 제주. 95-105 pp.

차중환. 1969. 한라산 식물의 수직 분포. 한국식물학회지 12(4):19-29.

한라생태문화연구소. 2006. 한라산총서(한라산의 지형·지질). 도서출판 각, 제주. 192p.

한태이. 2003. 구상나무와 분비나무의 잎횡단면 해부연구. 석사학위논문, 공주대학교. 38p.

허승녕, 최정호, 권기원, 서병기, 이규석. 2001. 도시근린공원의 식생도 작성에 관한 연구. 한국환경영향평가학회지 10(2):147-155.

현정오, 김은식, 김갑태, 장진성. 1997. 산림생태계의 생물다양성 보존 및 서식지 복원을 위한 연구: 구상나무림을 중심으로. 식물환경과학의 발전방향,

교육부 농업과학심사평가위원회, 서울. 163-183pp.

홍성각, 김종진, 조혜경. 2008. 한라산 구상나무의 천연갱신에 관한 연구. 학술원논문집(자연과학편) 47(1):71-84.

환경부. 2004. 장기생태연구 시범사업-표준조사항목 및 지침서. 환경부, 서울. 42-51pp.

황석연. 1985. 제주도에 분포하는 화산암류 및 퇴적암류에 대한 고지자기 연구. 석사학위논문, 연세대학교, 서울. 48p.

Appendices

Appendix 1. Vegetation status at Jindallebat region

Small quadrat	Species name	No. of individual		Maximum DBH(cm)	DBH area (cm ²)		Average DBH (cm)		Vegetation composition		
		Live tree	Dead tree		Live tree	Dead tree	<10	≥10	RD	RC	RIV
A1	<i>Abies koreana</i>	54	1	17.00	2,983.20	1.77	5.20	12.15	90.00	97.54	93.77
	The other species	6	0	7.00	75.16	–	3.58	–	10.00	2.46	6.23
	Subtotal	60	1	17.00	3,058.36	1.77	4.39	12.15	100.00	100.00	100.00
A2	<i>Abies koreana</i>	100	4	22.00	6,333.91	96.16	5.45	13.15	90.91	95.14	93.02
	The other species	10	0	8.00	328.52	–	6.30	–	9.09	4.86	6.98
	Subtotal	110	4	22.00	6,662.44	96.16	5.88	13.15	100.00	100.00	100.00
A3	<i>Abies koreana</i>	77	9	28.00	7,957.94	360.32	5.88	13.54	62.10	87.48	74.79
	The other species	47	0	15.00	1,190.26	–	4.26	12.13	37.90	12.52	25.21
	Subtotal	124	9	28.00	9,148.19	360.32	5.07	12.84	100.00	100.00	100.00
A4	<i>Abies koreana</i>	42	11	31.00	7,060.49	1,239.12	5.87	15.51	47.19	80.34	63.76
	The other species	47	0	18.00	2,031.58	–	5.33	13.29	52.81	19.66	36.24
	Subtotal	89	11	31.00	9,092.07	1,239.12	5.60	14.40	100.00	100.00	100.00
A5	<i>Abies koreana</i>	51	14	26.00	8,459.36	1,184.57	5.86	15.17	71.83	93.32	82.58
	The other species	20	0	15.00	690.22	–	4.81	13.50	28.17	6.68	17.42
	Subtotal	71	14	26.00	9,149.58	1,184.57	5.34	14.34	100.00	100.00	100.00
B1	<i>Abies koreana</i>	93	24	38.00	9,848.55	2,126.60	5.58	15.17	77.50	90.70	84.10
	The other species	27	0	14.50	1,228.40	–	4.19	12.57	22.50	9.30	15.90
	Subtotal	120	24	38.00	11,076.95	2,126.60	4.89	13.87	100.00	100.00	100.00
B2	<i>Abies koreana</i>	92	25	30.00	9,978.53	1,299.35	5.92	14.43	73.60	89.82	81.71
	The other species	33	0	13.00	1,278.37	–	4.42	10.89	26.40	10.18	18.29
	Subtotal	125	25	30.00	11,256.90	1,299.35	5.17	12.66	100.00	100.00	100.00
B3	<i>Abies koreana</i>	86	10	30.00	7,842.34	683.34	5.48	13.98	75.44	87.64	81.54
	The other species	28	0	17.00	1,202.03	–	4.48	12.67	24.56	12.36	18.46
	Subtotal	114	10	30.00	9,044.37	683.34	4.98	13.33	100.00	100.00	100.00

Appendix 1. Continued

Small quadrat	Species name	No. of individual		Maximum DBH(cm)	DBH area (cm ²)		Average DBH(cm)		Vegetation composition		
		Live tree	Dead tree		Live tree	Dead tree	<10	≥10	RD	RC	RIV
B4	<i>Abies koreana</i>	70	11	25.00	9,994.03	895.88	7.13	14.39	68.63	88.69	78.66
	The other species	32	0	17.00	1,388.67	–	5.13	12.58	31.37	11.31	21.34
	Subtotal	102	11	25.00	11,382.70	895.88	6.13	13.49	100.00	100.00	100.00
B5	<i>Abies koreana</i>	62	38	31.00	12,843.58	4,932.83	6.69	16.10	53.45	86.55	70.00
	The other species	54	0	21.00	2,761.86	–	5.18	12.85	46.55	13.45	30.00
	Subtotal	116	38	31.00	15,605.44	4,932.83	5.94	14.48	100.00	100.00	100.00
C1	<i>Abies koreana</i>	70	15	32.00	6,400.55	420.12	5.36	15.04	73.68	93.92	83.80
	The other species	25	0	10.00	441.81	–	3.94	10.00	26.32	6.08	16.20
	Subtotal	95	15	32.00	6,842.36	420.12	4.65	12.52	100.00	100.00	100.00
C2	<i>Abies koreana</i>	40	15	32.00	9,716.53	1,694.82	6.50	16.92	44.44	82.83	63.64
	The other species	50	0	17.00	2,365.40	–	4.74	12.00	55.56	17.17	36.36
	Subtotal	90	15	32.00	12,081.94	1,694.82	5.62	14.46	100.00	100.00	100.00
C3	<i>Abies koreana</i>	33	7	21.00	5,808.52	701.79	6.45	14.97	52.38	85.98	69.18
	The other species	30	1	15.00	1,023.25	38.47	4.74	12.25	47.62	14.02	30.82
	Subtotal	63	8	21.00	6,831.77	740.26	5.60	13.61	100.00	100.00	100.00
C4	<i>Abies koreana</i>	53	17	22.00	7,570.94	2,077.90	6.55	14.59	71.62	91.07	81.34
	The other species	21	0	16.00	946.71	–	5.59	12.00	28.38	8.93	18.66
	Subtotal	74	17	22.00	8,517.65	2,077.90	6.07	13.30	100.00	100.00	100.00
C5	<i>Abies koreana</i>	51	16	29.00	10,866.56	1,554.89	7.55	16.95	45.54	76.21	60.88
	The other species	61	1	21.00	3,812.95	63.59	5.34	14.09	54.46	23.79	39.12
	Subtotal	112	17	29.00	14,679.51	1,618.47	6.45	15.52	100.00	100.00	100.00
D1	<i>Abies koreana</i>	34	2	17.50	2,086.82	51.03	5.55	13.05	85.00	93.87	89.43
	The other species	6	0	9.00	139.68	–	4.80	–	15.00	6.13	10.57
	Subtotal	40	2	17.50	2,226.50	51.03	5.18	13.05	100.00	100.00	100.00
D2	<i>Abies koreana</i>	50	23	33.30	8,363.23	1,984.68	5.69	16.23	63.29	94.22	78.76
	The other species	29	1	10.00	631.71	3.14	4.43	10.00	36.71	5.78	21.24
	Subtotal	79	24	33.30	8,994.95	1,987.82	5.06	13.12	100.00	100.00	100.00

Appendix 1. Continued

Small quadrat	Species name	No. of individual		Maximum DBH (cm)	DBH area (cm ²)		Average DBH (cm)		Vegetation composition		
		Live tree	Dead tree		Live tree	Dead tree	<10	≥10	RD	RC	RIV
D3	<i>Abies koreana</i>	36	9	25.00	4,404.68	1,250.11	6.53	15.28	75.00	91.61	83.31
	The other species	12	0	14.50	517.71	–	4.67	11.67	25.00	8.39	16.69
	Subtotal	48	9	25.00	4,922.39	1,250.11	5.60	13.48	100.00	100.00	100.00
D4	<i>Abies koreana</i>	61	8	22.00	5,468.31	376.41	5.80	12.85	80.26	92.14	86.20
	The other species	15	0	11.00	498.48	–	5.86	11.00	19.74	7.86	13.80
	Subtotal	76	8	22.00	5,966.79	376.41	5.83	11.93	100.00	100.00	100.00
D5	<i>Abies koreana</i>	55	14	35.00	8,795.53	2,750.44	5.85	16.04	64.71	87.90	76.30
	The other species	30	0	15.00	1,589.43	–	5.61	12.38	35.29	12.10	23.70
	Subtotal	85	14	35.00	10,384.96	2,750.44	5.73	14.21	100.00	100.00	100.00
E1	<i>Abies koreana</i>	18	0	13.00	876.06	–	4.63	11.42	90.00	96.46	93.23
	The other species	2	0	5.00	32.19	–	4.50	–	10.00	3.54	6.77
	Subtotal	20	0	13.00	908.25	–	4.57	11.42	100.00	100.00	100.00
E2	<i>Abies koreana</i>	45	20	21.30	4,233.98	1,675.06	6.69	13.63	83.33	93.76	88.55
	The other species	9	0	10.50	393.48	–	5.86	10.25	16.67	6.24	11.45
	Subtotal	54	20	21.30	4,627.47	1,675.06	6.28	11.94	100.00	100.00	100.00
E3	<i>Abies koreana</i>	37	7	20.00	3,602.45	775.65	4.94	14.66	92.50	98.98	95.74
	The other species	3	0	7.00	45.14	–	3.67	–	7.50	1.02	4.26
	Subtotal	40	7	20.00	3,647.59	775.65	4.31	14.66	100.00	100.00	100.00
E4	<i>Abies koreana</i>	51	19	24.00	4,452.57	764.79	5.87	14.22	92.73	99.55	96.14
	The other species	4	0	3.30	23.46	–	2.58	–	7.27	0.45	3.86
	Subtotal	55	19	24.00	4,476.03	764.79	4.23	14.22	100.00	100.00	100.00
E5	<i>Abies koreana</i>	23	6	22.00	3,182.92	537.14	5.63	14.51	43.40	72.88	58.14
	The other species	30	0	19.80	1,384.50	–	5.48	14.28	56.60	27.12	41.86
	Subtotal	53	6	22.00	4,567.41	537.14	5.56	14.40	100.00	100.00	100.00
Total	<i>Abies koreana</i>	1,384	325	38.00	169,131.58	29,434.75	5.95	14.56	68.68	88.37	78.53
	The other species	631	3	21.00	26,020.95	105.19	4.78	12.13	31.32	11.63	21.47
	Total	2,015	328	38.00	195,152.53	29,539.94	5.36	13.46	100.00	100.00	100.00

Appendix 2. Vegetation status at Yeongsil region

Small quadrat	Species name	No. of individual		Maximum DBH(cm)	DBH area(cm ²)		Average DBH(cm)		Vegetation composition		
		Live tree	Dead tree		Live tree	Dead tree	<10	≥10	RD	RC	RIV
A1	<i>Abies koreana</i>	51	18	29.00	6,359.19	2,612.68	5.37	15.60	49.04	79.51	64.28
	The other species	53	1	22.50	2,283.24	28.26	5.23	14.65	50.96	20.49	35.72
	Subtotal	104	19	29.00	8,642.43	2,640.94	5.30	15.13	100.00	100.00	100.00
A2	<i>Abies koreana</i>	30	2	20.00	3,047.53	35.52	6.01	14.33	42.25	58.26	50.26
	The other species	41	0	17.80	2,208.90	–	5.96	14.13	57.75	41.74	49.74
	Subtotal	71	2	20.00	5,256.42	35.52	5.99	14.23	100.00	100.00	100.00
A3	<i>Abies koreana</i>	34	26	24.00	5,317.56	2,959.20	6.68	15.54	43.59	83.84	63.72
	The other species	44	1	13.50	1,588.22	7.07	5.81	12.10	56.41	16.16	36.28
	Subtotal	78	27	24.00	6,905.78	2,966.26	6.25	13.82	100.00	100.00	100.00
A4	<i>Abies koreana</i>	28	12	34.00	6,528.45	3,063.07	5.31	18.30	43.75	84.68	64.22
	The other species	36	0	23.00	1,734.85	–	5.25	13.92	56.25	15.32	35.78
	Subtotal	64	12	34.00	8,263.30	3,063.07	5.28	16.11	100.00	100.00	100.00
A5	<i>Abies koreana</i>	35	10	30.50	4,233.77	1,494.84	6.91	14.17	49.30	74.37	61.83
	The other species	36	0	17.00	1,974.67	–	5.86	11.95	50.70	25.63	38.17
	Subtotal	71	10	30.50	6,208.44	1,494.84	6.39	13.06	100.00	100.00	100.00
B1	<i>Abies koreana</i>	14	0	13.00	578.40	–	4.10	11.38	51.85	70.04	60.94
	The other species	13	0	11.00	247.45	–	3.63	11.00	48.15	29.96	39.06
	Subtotal	27	0	13.00	825.84	–	3.87	11.19	100.00	100.00	100.00
B2	<i>Abies koreana</i>	25	9	21.50	2,581.85	427.79	5.51	14.02	33.78	61.83	47.81
	The other species	49	1	12.50	1,819.71	38.47	5.53	11.29	66.22	38.17	52.19
	Subtotal	74	10	21.50	4,401.56	466.25	5.52	12.66	100.00	100.00	100.00
B3	<i>Abies koreana</i>	68	24	23.30	6,741.98	1,710.08	6.47	14.79	59.13	74.84	66.98
	The other species	47	0	21.00	2,841.95	–	5.72	13.44	40.87	25.16	33.02
	Subtotal	115	24	23.30	9,583.93	1,710.08	6.10	14.12	100.00	100.00	100.00
B4	<i>Abies koreana</i>	62	9	20.00	6,422.30	719.85	6.81	13.03	60.78	84.99	72.89
	The other species	40	0	15.00	1,261.30	–	5.30	12.50	39.22	15.01	27.11
	Subtotal	102	9	20.00	7,683.60	719.85	6.06	12.77	100.00	100.00	100.00

Appendix 2. Continued

Small quadrat	Species name	No. of individual		Maximum DBH(cm)	DBH area(cm ²)		Average DBH(cm)		Vegetation composition		
		Live tree	Dead tree		Live tree	Dead tree	<10	≥10	RD	RC	RIV
B5	<i>Abies koreana</i>	65	12	23.00	6,744.75	888.62	6.45	13.73	51.18	75.55	63.36
	The other species	62	0	13.00	2,470.79	–	5.50	11.23	48.82	24.45	36.64
	Subtotal	127	12	23.00	9,215.54	888.62	5.98	12.48	100.00	100.00	100.00
C1	<i>Abies koreana</i>	80	3	25.00	3,931.65	80.77	5.28	13.54	48.19	74.44	61.31
	The other species	86	0	8.50	1,377.95	–	4.14	–	51.81	25.56	38.69
	Subtotal	166	3	25.00	5,309.60	80.77	4.71	13.54	100.00	100.00	100.00
C2	<i>Abies koreana</i>	55	18	24.00	3,524.01	1,657.53	5.60	15.16	47.83	70.49	59.16
	The other species	60	0	14.00	2,169.58	–	5.50	11.17	52.17	29.51	40.84
	Subtotal	115	18	24.00	5,693.58	1,657.53	5.55	13.17	100.00	100.00	100.00
C3	<i>Abies koreana</i>	29	9	20.50	3,064.70	945.93	6.02	14.75	40.85	73.74	57.29
	The other species	42	0	17.00	1,428.42	–	4.35	13.40	59.15	26.26	42.71
	Subtotal	71	9	20.50	4,493.12	945.93	5.19	14.08	100.00	100.00	100.00
C4	<i>Abies koreana</i>	9	0	21.00	926.50	–	6.75	13.50	21.43	64.07	42.75
	The other species	33	0	9.00	519.47	–	3.98	–	78.57	35.93	57.25
	Subtotal	42	0	21.00	1,445.97	–	5.37	13.50	100.00	100.00	100.00
C5	<i>Abies koreana</i>	28	6	26.00	3,204.72	647.63	6.52	14.64	49.12	83.98	66.55
	The other species	29	0	13.00	734.76	–	4.27	11.00	50.88	16.02	33.45
	Subtotal	57	6	26.00	3,939.48	647.63	5.40	12.82	100.00	100.00	100.00
D1	<i>Abies koreana</i>	61	11	21.80	4,077.09	494.26	5.30	13.46	50.41	73.81	62.11
	The other species	60	0	12.00	1,621.94	–	4.87	11.28	49.59	26.19	37.89
	Subtotal	121	11	21.80	5,699.02	494.26	5.09	12.37	100.00	100.00	100.00
D2	<i>Abies koreana</i>	10	0	9.20	184.81	–	4.25	–	40.00	44.19	42.10
	The other species	15	0	6.50	233.38	–	4.25	–	60.00	55.81	57.90
	Subtotal	25	0	9.20	418.19	–	4.25	–	100.00	100.00	100.00
D3	<i>Abies koreana</i>	3	0	14.00	183.66	–	3.70	14.00	12.50	38.77	25.64
	The other species	21	0	6.80	290.03	–	3.93	–	87.50	61.23	74.36
	Subtotal	24	0	14.00	473.68	–	3.82	14.00	100.00	100.00	100.00

Appendix 2. Continued

Small quadrat	Species name	No. of individual		Maximum DBH (cm)	DBH area (cm ²)		Average DBH (cm)		Vegetation composition		
		Live tree	Dead tree		Live tree	Dead tree	<10	≥10	RD	RC	RIV
D4	<i>Abies koreana</i>	2	0	12	117.95	–	2.50	12.00	8.00	23.06	15.53
	The other species	23	0	10	393.48	–	3.93	10.00	92.00	76.94	84.47
	Subtotal	25	0	12	511.43	–	3.22	11.00	100.00	100.00	100.00
D5	<i>Abies koreana</i>	1	0	14.8	171.95	–	–	14.80	6.67	55.80	31.23
	The other species	14	0	6	136.20	–	3.29	–	93.33	44.20	68.77
	Subtotal	15	0	14.8	308.14	–	3.29	14.80	100.00	100.00	100.00
E1	<i>Abies koreana</i>	55	13	27	7,778.16	701.37	5.84	15.93	43.65	70.56	57.10
	The other species	71	4	33	2,386.65	1,152.01	4.99	16.18	56.35	29.44	42.90
	Subtotal	126	17	33	10,164.82	1,853.38	5.42	16.06	100.00	100.00	100.00
E2	<i>Abies koreana</i>	51	8	23.3	5,512.72	1,530.82	6.90	15.77	44.35	76.16	60.25
	The other species	64	3	19.5	2,145.64	59.13	4.36	12.91	55.65	23.84	39.75
	Subtotal	115	11	23.3	7,658.36	1,589.95	5.63	14.34	100.00	100.00	100.00
E3	<i>Abies koreana</i>	2	0	20.3	365.32	–	7.30	20.30	25.00	81.01	53.01
	The other species	6	0	6.6	85.63	–	3.90	–	75.00	18.99	46.99
	Subtotal	8	0	20.3	450.95	–	5.60	20.30	100.00	100.00	100.00
E4	<i>Abies koreana</i>	0	0	0	–	–	–	–	0.00	0.00	0.00
	The other species	10	0	5.5	91.26	–	3.25	–	100.00	100.00	100.00
	Subtotal	10	0	5.5	91.26	–	3.25	–	100.00	100.00	100.00
E5	<i>Abies koreana</i>	1	0	9	63.59	–	9.00	–	3.57	21.01	12.29
	The other species	27	0	6	239.03	–	3.36	–	96.43	78.99	87.71
	Subtotal	28	0	9	302.62	–	6.18	–	100.00	100.00	100.00
Total	<i>Abies koreana</i>	799	190	34	81,662.59	19,969.93	5.38	14.67	44.86	75.17	60.02
	The other species	982	10	33	32,284.47	1,284.93	4.65	12.48	55.14	24.83	39.98
	Total	1,781	200	34	113,947.06	21,254.86	5.01	13.89	100.00	100.00	100.00

Appendix 3. Vegetation status at Bangaoreum region

Small quadrat	Species name	No. of individual		Maximum DBH(cm)	DBH area(cm ²)		Average DBH(cm)		Vegetation composition		
		Live tree	Dead tree		Live tree	Dead tree	<10	≥10	RD	RC	RIV
A1	<i>Abies koreana</i>	41	8	33.00	6,763.95	2,289.85	7.63	16.69	40.16	72.59	56.38
	The other species	73	0	20.00	3,418.10	–	5.15	12.44	59.84	27.41	43.62
	Subtotal	114	8	33.00	10,182.05	2,289.85	5.67	15.33	100.00	100.00	100.00
A2	<i>Abies koreana</i>	61	8	35.00	9,591.13	2,990.72	5.49	16.94	51.88	83.66	67.77
	The other species	64	0	20.00	2,458.03	–	4.90	12.78	48.12	16.34	32.23
	Subtotal	125	8	35.00	12,049.16	2,990.72	5.07	16.27	100.00	100.00	100.00
A3	<i>Abies koreana</i>	46	3	30.00	4,313.14	985.96	6.57	16.47	45.37	69.94	57.66
	The other species	59	0	19.00	2,277.48	–	4.73	12.78	54.63	30.06	42.34
	Subtotal	105	3	30.00	6,590.62	985.96	5.20	15.66	100.00	100.00	100.00
A4	<i>Abies koreana</i>	8	2	26.00	1,605.91	245.71	7.25	16.25	40.00	76.66	58.33
	The other species	15	0	15.00	563.83	–	5.04	13.00	60.00	23.34	41.67
	Subtotal	23	2	26.00	2,169.74	245.71	5.33	15.60	100.00	100.00	100.00
A5	<i>Abies koreana</i>	0	0	0.00	–	–	–	–	0.00	0.00	0.00
	The other species	5	0	4.20	31.82	–	2.66	–	100.00	100.00	100.00
	Subtotal	5	0	4.20	31.82	–	2.66	–	100.00	100.00	100.00
B1	<i>Abies koreana</i>	26	3	24.00	4,466.06	370.52	6.36	17.25	26.85	65.56	46.20
	The other species	78	1	17.00	2,364.62	176.63	4.88	13.36	73.15	34.44	53.80
	Subtotal	104	4	24.00	6,830.68	547.15	5.07	16.16	100.00	100.00	100.00
B2	<i>Abies koreana</i>	57	10	45.00	7,279.69	3,244.60	6.50	17.66	44.37	81.27	62.82
	The other species	84	0	14.00	2,425.85	–	4.70	12.13	55.63	18.73	37.18
	Subtotal	141	10	45.00	9,705.54	3,244.60	5.27	16.55	100.00	100.00	100.00
B3	<i>Abies koreana</i>	35	8	30.00	5,103.09	2,944.54	5.79	17.00	49.43	84.81	67.12
	The other species	44	0	12.00	1,441.11	–	4.89	10.38	50.57	15.19	32.88
	Subtotal	79	8	30.00	6,544.20	2,944.54	5.12	15.65	100.00	100.00	100.00
B4	<i>Abies koreana</i>	36	9	32.00	8,106.50	3,203.58	8.00	17.57	54.22	86.35	70.28
	The other species	37	1	19.00	1,654.98	132.67	5.44	13.00	45.78	13.65	29.72
	Subtotal	73	10	32.00	9,761.48	3,336.25	5.73	16.91	100.00	100.00	100.00

Appendix 3. Continued

Small quadrat	Species name	No. of individual		Maximum DBH(cm)	DBH area(cm ²)		Average DBH(cm)		Vegetation composition		
		Live tree	Dead tree		Live tree	Dead tree	<10	≥10	RD	RC	RIV
B5	<i>Abies koreana</i>	0	0	0.00	–	–	–	–	0.00	0.00	0.00
	The other species	4	0	1.80	4.75	–	1.18	–	100.00	100.00	100.00
	Subtotal	4	0	1.80	4.75	–	1.18	–	100.00	100.00	100.00
C1	<i>Abies koreana</i>	30	12	29.00	6,252.91	2,323.48	4.69	17.73	37.84	75.76	56.80
	The other species	69	2	18.00	2,743.65	–	5.14	12.65	63.96	24.24	44.10
	Subtotal	99	12	29.00	8,996.56	2,323.48	5.07	16.40	100.00	100.00	100.00
C2	<i>Abies koreana</i>	50	9	33.00	8,699.76	1,155.43	6.68	15.96	40.69	74.20	57.44
	The other species	85	1	23.50	3,144.12	283.39	5.22	13.55	59.31	25.80	42.56
	Subtotal	135	10	33.00	11,843.88	1,438.82	5.50	15.49	100.00	100.00	100.00
C3	<i>Abies koreana</i>	32	5	29.00	4,991.62	709.24	6.13	16.17	33.04	65.40	49.22
	The other species	75	0	18.00	3,016.17	–	5.36	13.00	66.96	34.60	50.78
	Subtotal	107	5	29.00	8,007.79	709.24	5.50	15.21	100.00	100.00	100.00
C4	<i>Abies koreana</i>	28	9	27.00	5,508.35	1,236.38	6.00	15.81	48.05	79.61	63.83
	The other species	40	0	14.00	1,727.98	–	5.45	11.75	51.95	20.39	36.17
	Subtotal	68	9	27.00	7,236.33	1,236.38	5.54	14.97	100.00	100.00	100.00
C5	<i>Abies koreana</i>	0	0	0.00	–	–	–	–	0.00	0.00	0.00
	The other species	1	0	2.90	6.60	–	2.90	–	100.00	100.00	100.00
	Subtotal	1	0	2.90	6.60	–	2.90	–	100.00	100.00	100.00
D1	<i>Abies koreana</i>	29	23	29.00	5,569.76	3,791.94	6.73	15.94	36.62	72.45	54.54
	The other species	90	0	15.00	3,559.63	–	5.41	12.75	63.38	27.55	45.46
	Subtotal	119	23	29.00	9,129.39	3,791.94	5.57	15.27	100.00	100.00	100.00
D2	<i>Abies koreana</i>	22	8	46.00	6,968.96	2,929.62	8.00	19.21	26.55	75.69	51.12
	The other species	83	0	16.00	3,178.79	–	5.09	13.14	73.45	24.31	48.88
	Subtotal	105	8	46.00	10,147.75	2,929.62	5.13	17.54	100.00	100.00	100.00
D3	<i>Abies koreana</i>	49	3	26.00	5,583.79	445.88	6.27	14.27	46.43	74.21	60.32
	The other species	60	0	12.50	2,095.68	–	5.91	11.13	53.57	25.79	39.68
	Subtotal	109	3	26.00	7,679.47	445.88	6.01	13.91	100.00	100.00	100.00

Appendix 3. Continued

Small quadrate	Species name	No. of individual		Maximum DBH(cm)	DBH area(cm ²)		Average DBH(cm)		Vegetation composition		
		Live tree	Dead tree		Live tree	Dead tree	<10	≥10	RD	RC	RIV
D4	<i>Abies koreana</i>	1	0	8.00	33.16	–	6.50	–	6.25	7.94	7.09
	The other species	15	0	8.00	384.70	–	5.37	–	93.75	92.06	92.91
	Subtotal	16	0	8.00	417.86	–	5.44	–	100.00	100.00	100.00
D5	<i>Abies koreana</i>	3	0	23.00	821.31	–	–	18.17	25.00	70.05	47.53
	The other species	9	0	17.80	351.13	–	3.73	17.80	75.00	29.95	52.47
	Subtotal	12	0	23.00	1,172.44	–	3.73	18.08	100.00	100.00	100.00
E1	<i>Abies koreana</i>	1	0	16.00	44.16	–	7.50	–	3.13	5.34	4.23
	The other species	31	0	10.50	783.39	–	3.86	12.17	96.88	94.66	95.77
	Subtotal	32	0	16.00	827.55	–	3.99	12.17	100.00	100.00	100.00
E2	<i>Abies koreana</i>	7	3	21.70	1,173.06	431.10	6.40	16.26	16.95	61.43	39.19
	The other species	49	0	13.30	1,007.26	–	3.92	11.93	83.05	38.57	60.81
	Subtotal	56	3	21.70	2,180.32	431.10	4.08	14.96	100.00	100.00	100.00
E3	<i>Abies koreana</i>	0	0	0.00	–	–	–	–	0.00	0.00	0.00
	The other species	6	0	7.00	65.18	–	3.05	–	100.00	100.00	100.00
	Subtotal	6	0	7.00	65.18	–	3.05	–	100.00	100.00	100.00
E4	<i>Abies koreana</i>	0	0	0.00	–	–	–	–	0.00	0.00	0.00
	The other species	8	0	3.60	29.55	–	2.03	–	100.00	100.00	100.00
	Subtotal	8	0	3.60	29.55	–	2.03	–	100.00	100.00	100.00
E5	<i>Abies koreana</i>	6	0	18.00	647.60	–	6.20	15.23	30.00	95.27	62.64
	The other species	14	0	3.10	32.13	–	1.52	–	70.00	4.73	37.36
	Subtotal	20	0	18.00	679.73	–	2.35	15.23	100.00	100.00	100.00
Total	<i>Abies koreana</i>	568	123	46.00	96,493.93	29,298.55	6.34	16.72	38.56	76.17	57.36
	The other species	1,098	3	23.50	38,766.49	592.68	4.92	12.59	61.44	23.83	42.64
	Total	1,666	126	46.00	135,260.42	29,891.23	5.17	15.81	100.00	100.00	100.00

Appendix 4. Vegetation status at Mansedongsan region

Small quadrat	Species name	No. of individual		Maximum DBH(cm)	DBH area(cm ²)		Average DBH(cm)		Vegetation composition		
		Live tree	Dead tree		Live tree	Dead tree	<10	≥10	RD	RC	RIV
1	<i>Abies koreana</i>	42	6	42.00	9,166.68	1,691.87	5.37	19.60	73.68	94.07	83.88
	The other species	15	0	12.00	684.33	–	4.21	11.50	26.32	5.93	16.12
	Subtotal	57	6	42.00	9,851.01	1,691.87	4.79	15.55	100.00	100.00	100.00
2	<i>Abies koreana</i>	81	9	31.00	9,432.58	1,420.07	5.43	17.54	90.00	95.36	92.68
	The other species	9	0	21.00	528.50	–	5.19	21.00	10.00	4.64	7.32
	Subtotal	90	9	31.00	9,961.08	1,420.07	5.31	19.27	100.00	100.00	100.00
3	<i>Abies koreana</i>	20	8	24.00	7,300.50	1,820.42	4.00	19.81	76.92	94.39	85.66
	The other species	6	0	13.50	541.80	–	4.90	14.00	23.08	5.61	14.34
	Subtotal	26	8	24.00	7,842.30	1,820.42	4.45	16.91	100.00	100.00	100.00
4	<i>Abies koreana</i>	62	13	27.00	10,757.64	1,806.48	6.60	16.06	88.57	93.84	91.20
	The other species	8	0	20.50	825.04	–	6.33	13.00	11.43	6.16	8.80
	Subtotal	70	13	27.00	11,582.68	1,806.48	6.47	14.53	100.00	100.00	100.00
5	<i>Abies koreana</i>	58	9	29.00	8,563.37	943.77	6.85	15.27	92.06	96.38	94.22
	The other species	5	0	12.00	357.18	–	6.00	11.00	7.94	3.62	5.78
	Subtotal	63	9	29.00	8,920.54	943.77	6.43	13.13	100.00	100.00	100.00
6	<i>Abies koreana</i>	47	2	22.00	3,127.67	235.70	5.59	14.32	92.16	98.16	95.16
	The other species	4	0	22.50	63.00	–	4.13	14.65	7.84	1.84	4.84
	Subtotal	51	2	22.50	3,190.66	235.70	4.86	14.49	100.00	100.00	100.00
Total	<i>Abies koreana</i>	310	47	42.00	48,348.44	7,918.31	5.64	17.10	86.83	94.94	90.89
	The other species	47	0	22.50	2,999.85	–	5.13	14.19	13.17	5.06	9.11
	Total	357	47	42.00	51,348.27	7,918.31	5.39	15.65	100.00	100.00	100.00

Appendix 5. Importance value of species on upper layer of vegetation
Type I -1 on Mt. Halla

Scientific name/Korean name	RC	RF	RD	IV
<i>Abies koreana</i> 구상나무	71.71	15.75	71.26	158.72
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚치나무	10.62	15.07	9.33	35.02
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	5.35	14.38	7.72	27.45
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	3.40	10.27	4.19	17.86
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	4.01	8.22	2.37	14.60
<i>Sorbus alnifolia</i> 팔배나무	1.34	8.22	0.91	10.46
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	1.10	7.53	1.71	10.35
<i>Malus sieboldii</i> 아그배나무	0.71	5.48	0.66	6.84
<i>Acer pseudosieboldianum</i> 당단풍	0.88	4.79	0.71	6.38
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	0.32	4.11	0.45	4.88
<i>Euonymus alatus</i> 화살나무	0.32	2.05	0.35	2.73
<i>Pinus densiflora</i> 소나무	0.04	0.68	0.10	0.82
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i> 고로쇠나무	0.06	0.68	0.05	0.79
<i>Cornus kousa</i> 산딸나무	0.05	0.68	0.05	0.79
<i>Betula ermanii</i> 사스레나무	0.04	0.68	0.05	0.77
<i>Euonymus hamiltonianus</i> 참빗살나무	0.04	0.68	0.05	0.77
<i>Elaeagnus umbellata</i> 보리수나무	0.03	0.68	0.05	0.77
Total	100.0	100.0	100.0	300.0

RC : relative coverage, RF : relative frequency, RD : relative density, IV : importance value

Appendix 6. Importance value of species on upper layer of vegetation
Type I -1 on Mt. Halla

Scientific name/Korean name	RC	RF	RD	IV
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	43.04	15.65	32.21	90.90
<i>Abies koreana</i> 구상나무	14.71	15.65	31.40	61.75
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래	11.11	4.76	9.07	24.95
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	7.04	6.80	8.15	22.00
<i>Ilex crenata</i> var. <i>microphylla</i> 좁팥팥나무	2.38	8.84	3.57	14.80
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚나무	2.83	8.16	1.73	12.73
<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i> 시로미	2.10	5.44	3.77	11.32
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	3.22	4.08	1.94	9.24
<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	1.99	4.76	1.22	7.97
<i>Euonymus alatus</i> 화살나무	2.25	4.76	0.92	7.93
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	1.78	4.76	0.71	7.25
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	1.58	4.08	1.02	6.68
<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무	2.74	1.36	0.82	4.92
<i>Elaeagnus umbellata</i> 보리수나무	0.94	2.72	1.02	4.68
<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	0.43	1.36	0.61	2.40
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	0.37	1.36	0.41	2.14
<i>Malus sieboldii</i> 아그배나무	0.45	1.36	0.31	2.12
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i> 눈향나무	0.31	0.68	0.41	1.40
<i>Viburnum furcatum</i> 분단나무	0.12	0.68	0.31	1.11
<i>Rosa multiflora</i> 찔레	0.22	0.68	0.10	1.00
<i>Pinus densiflora</i> 소나무	0.16	0.68	0.10	0.94
<i>Ligustrum obtusifolium</i> 쥐똥나무	0.14	0.68	0.10	0.92
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> 산초나무	0.09	0.68	0.10	0.87
Total	100.0	100.0	100.0	300.0

RC : relative coverage, RF : relative frequency, RD : relative density, IV : importance value

Appendix 7. Importance value of species on upper layer of vegetation
Type I - 2 on Mt. Halla

Scientific name/Korean name	RC	RF	RD	IV
<i>Abies koreana</i> 구상나무	42.85	15.19	47.18	105.22
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚치나무	21.53	15.19	21.96	58.67
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	18.63	15.19	10.37	44.19
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	11.04	15.19	14.53	40.76
<i>Betula ermanii</i> 사스레나무	2.85	8.86	1.14	12.85
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	1.46	7.59	1.88	10.94
<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	0.34	6.33	1.06	7.73
<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무	0.32	3.80	0.33	4.45
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	0.23	2.53	0.41	3.17
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래	0.19	2.53	0.33	3.05
<i>Euonymus hamiltonianus</i> 참빗살나무	0.23	2.53	0.24	3.00
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	0.10	2.53	0.24	2.88
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	0.14	1.27	0.16	1.57
<i>Acer pseudosieboldianum</i> 당단풍	0.10	1.27	0.16	1.53
Total	100.0	100.0	100.0	300.0

RC : relative coverage, RF : relative frequency, RD : relative density, IV : importance value

Appendix 8. Importance value of species on upper layer of vegetation
Type I - 2 on Mt. Halla

Scientific name/Korean name	RC	RF	RD	IV
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	45.25	12.00	36.48	93.73
<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	11.98	11.00	15.80	38.78
<i>Abies koreana</i> 구상나무	7.50	12.00	17.07	36.57
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	11.37	9.00	10.07	30.44
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래	7.92	8.00	9.23	25.15
<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무	8.05	9.00	3.82	20.87
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚나무	1.29	6.00	1.38	8.67
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i> 눈향나무	1.82	5.00	1.70	8.51
<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	0.46	6.00	0.85	7.31
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	0.50	6.00	0.64	7.14
<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i> 시로미	1.11	4.00	0.42	5.53
<i>Viburnum furcatum</i> 분단나무	0.75	3.00	0.64	4.39
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	0.62	3.00	0.64	4.25
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	0.57	2.00	0.53	3.10
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	0.17	2.00	0.21	2.38
<i>Lonicera sachalinensis</i> 홍괴불나무	0.52	1.00	0.42	1.95
<i>Euonymus hamiltonianus</i> 참빗살나무	0.12	1.00	0.11	1.23
Total	100.0	100.0	100.0	300.0

RC : relative coverage, RF : relative frequency, RD : relative density, IV : importance value

Appendix 9. Importance value of species on upper layer of vegetation
Type II on Mt. Halla

Scientific name/Korean name	RC	RF	RD	IV
<i>Abies koreana</i> 구상나무	38.11	11.68	35.97	85.76
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	18.80	11.68	20.22	50.70
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	17.25	10.95	17.40	45.60
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚치나무	16.18	11.68	15.32	43.18
<i>Sorbus alnifolia</i> 팔배나무	2.62	8.76	2.33	13.71
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	0.08	8.03	2.02	10.13
<i>Cornus kousa</i> 산딸나무	1.68	6.57	1.53	9.78
<i>Acer pseudosieboldianum</i> 당단풍	1.18	6.57	1.29	9.03
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	0.89	4.38	1.35	6.62
<i>Euonymus alatus</i> 화살나무	0.64	4.38	0.61	5.63
<i>Viburnu mfurcatum</i> 분단나무	0.13	3.65	0.43	4.21
<i>Betula ermanii</i> 사스레나무	1.10	2.19	0.55	3.84
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	0.68	2.19	0.37	3.24
<i>Euonymus hamiltonianus</i> 참빗살나무	0.09	1.46	0.12	1.67
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	0.24	0.73	0.06	1.03
<i>Malus sieboldii</i> 아그배나무	0.11	0.73	0.06	0.91
<i>Elaeagnus umbellata</i> 보리수나무	0.08	0.73	0.06	0.87
<i>Lindera erythrocarpa</i> 비목	0.06	0.73	0.06	0.85
<i>Viburnum opulus</i> 백당나무	0.04	0.73	0.06	0.83
<i>Pinus densiflora</i> 소나무	0.02	0.73	0.06	0.81
<i>Ligustrum obtusifolium</i> 쥐똥나무	0.02	0.73	0.06	0.81
<i>Kalopanax septemlobus</i> 음나무	0.01	0.73	0.06	0.80
Total	100.0	100.0	100.0	300.0

RC : relative coverage, RF : relative frequency, RD : relative density, IV : importance value

Appendix 10. Importance value of species on upper layer of vegetation Type II on Mt. Halla

Scientific name/Korean name	RC	RF	RD	IV
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	57.33	10.13	53.02	120.48
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	3.73	7.59	6.13	17.46
<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	3.00	9.49	4.55	17.04
<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	3.59	7.59	4.75	15.93
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚나무	5.41	6.96	3.46	15.84
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	5.39	6.33	3.86	15.58
<i>Abies koreana</i> 구상나무	3.92	6.33	4.75	14.99
<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무	5.84	5.06	3.07	13.96
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	3.39	6.33	3.46	13.18
<i>Euonymus alatus</i> 화살나무	2.50	7.59	3.07	13.16
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	1.78	5.06	2.97	9.81
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래	1.10	3.80	2.47	7.37
<i>Ligustrum obtusifolium</i> 쥐똥나무	0.59	3.80	0.99	5.38
<i>Viburnum furcatum</i> 분단나무	0.25	3.16	0.59	4.01
<i>Euonymus hamiltonianus</i> 참빗살나무	0.76	1.90	0.59	3.26
<i>Cornus kousa</i> 산딸나무	0.37	1.90	0.40	2.66
<i>Ilex crenata</i> var. <i>microphylla</i> 좁팍팍나무	0.33	1.27	0.49	2.09
<i>Acer pseudosieboldianum</i> 당단풍	0.14	1.27	0.30	1.70
<i>Sorbus alnifolia</i> 팔배나무	0.20	1.27	0.20	1.67
<i>Pinus densiflora</i> 소나무	0.01	0.63	0.40	1.04
<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i> 시로미	0.13	0.63	0.20	0.96
<i>Viburnum opulus</i> 백당나무	0.10	0.63	0.10	0.83
<i>Malus sieboldii</i> 아그배나무	0.07	0.63	0.10	0.80
<i>Vaccinium japonicum</i> 산매자나무	0.06	0.63	0.10	0.80
Total	100.0	100.0	100.0	300.0

RC : relative coverage, RF : relative frequency, RD : relative density, IV : importance value

Appendix 11. Distribution of DBH of trees investigated in each vegetation type on Mt. Halla

Type	Species	DBH(cm)	<5	≥5- <10	≥10- <15	≥15- <20	≥20- <25	≥25- <30	≥30- <35	≥35- <40	≥40	Total		
I-1	<i>Abies koreana</i>	Alive	202	398	425	212	90	24	13	1	1	1,366		
		Dead	52	101	65	28	12	7	3	2	0	270		
		Subtotal	254	499	490	240	102	31	16	3	1	1,636		
	The other species	Alive	223	254	77	14	2	0	0	0	0	0	570	
		Dead	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	
		Subtotal	224	255	78	14	2	0	0	0	0	0	573	
	Total			478	754	568	254	104	31	16	3	1	2,209	
	I-2	<i>Abies koreana</i>	Alive	101	208	146	89	25	8	1	0	0	578	
			Dead	29	46	26	21	5	2	2	0	0	0	131
			Subtotal	130	254	172	110	30	10	3	0	0	0	709
The other species		Alive	275	289	69	11	3	0	0	0	0	0	647	
		Dead	4	3	0	1	0	0	1	0	0	0	9	
		Subtotal	279	292	69	12	3	0	1	0	0	0	656	
Total			409	546	241	122	33	10	4	0	0	1,365		
II		<i>Abies koreana</i>	Alive	47	134	182	126	69	20	7	1	1	587	
			Dead	10	39	44	25	18	11	4	1	1	1	153
			Subtotal	57	173	226	151	87	31	11	2	2	2	740
	The other species	Alive	408	498	114	22	3	0	0	0	0	0	1,045	
		Dead	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	
		Subtotal	409	498	114	24	3	0	0	0	0	0	1,048	
	Total			466	671	340	175	90	31	11	2	2	1,788	
	Total			1,353	1,971	1,149	551	227	72	31	5	3	5,362	

Appendix 12. Importance value of species of Mt. Halla at an altitude of 1,550m

Layer	Scientific name/Korean name	RC	RF	RD	IV
Upper	<i>Abies koreana</i> 구상나무	63.96	12.00	63.04	139.01
	<i>Taxus cuspidata</i> 주목	7.53	12.00	11.68	31.22
	<i>Sorbus commixta</i> 마가목	9.66	12.00	9.24	30.90
	<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚치나무	9.29	12.00	8.42	29.71
	<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	5.37	12.00	3.80	21.17
	<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	0.68	12.00	1.09	13.76
	<i>Malus sieboldii</i> 아그배나무	1.65	8.00	0.82	10.47
	<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	0.65	8.00	0.82	9.47
	<i>Sorbus alnifolia</i> 팔배나무	0.86	4.00	0.54	5.41
	<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무	0.18	4.00	0.27	4.45
<i>Aralia elata</i> 두릅나무	0.16	4.00	0.27	4.44	
	Total	100.0	100.0	100.0	300.0
Lower	<i>Taxus cuspidata</i> 주목	70.94	17.65	77.78	166.37
	<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	8.55	17.65	7.78	33.97
	<i>Euonymus alatus</i> 화살나무	2.94	11.76	2.22	16.92
	<i>Abies koreana</i> 구상나무	1.27	11.76	2.22	15.25
	<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚치나무	5.76	5.88	2.22	13.87
	<i>Sorbus commixta</i> 마가목	3.31	5.88	2.22	11.42
	<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래	3.19	5.88	1.11	10.19
	<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	1.68	5.88	1.11	8.67
	<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	1.68	5.88	1.11	8.67
	<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	0.38	5.88	1.11	7.37
	<i>Ilex crenata</i> var. <i>microphylla</i> 좁쌀나무	0.31	5.88	1.11	7.30
	Total	100.0	100.0	100.0	300.0

RC : relative coverage, RF : relative frequency, RD : relative density, IV : importance value

Appendix 13. Importance value of species of Mt. Halla at an altitude of 1,650m

Layer	Scientific name/Korean name	RC	RF	RD	IV
Upper	<i>Abies koreana</i> 구상나무	46.16	15.00	43.80	104.96
	<i>Taxus cuspidata</i> 주목	16.93	15.00	24.79	56.72
	<i>Sorbus commixta</i> 마가목	10.22	15.00	10.74	35.96
	<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚지나무	10.36	10.00	9.09	29.45
	<i>Betula ermanii</i> 사스레나무	9.84	10.00	4.13	23.98
	<i>Euonymus alatus</i> 화살나무	1.78	10.00	1.65	13.43
	<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	1.08	5.00	2.48	8.56
	<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무	1.68	5.00	0.83	7.51
	<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	1.05	5.00	0.83	6.88
	<i>Sorbus alnifolia</i> 팔배나무	0.56	5.00	0.83	6.39
	<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	0.34	5.00	0.83	6.16
Total	100.0	100.0	100.0	300.0	
Lower	<i>Taxus cuspidata</i> 주목	73.03	30.00	58.14	161.17
	<i>Abies koreana</i> 구상나무	3.97	30.00	16.28	50.25
	<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	12.30	10.00	6.98	29.28
	<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	6.78	10.00	11.63	28.41
	<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	3.62	10.00	4.65	18.27
	<i>Sorbus commixta</i> 마가목	0.30	10.00	2.33	12.62
Total	100.0	100.0	100.0	300.0	

RC : relative coverage, RF : relative frequency, RD : relative density, IV : importance value

Appendix 14. Importance value of species of Mt. Halla at an altitude of 1,750m

Layer	Scientific name/Korean name	RC	RF	RD	IV
Upper	<i>Abies koreana</i> 구상나무	74.38	30.00	67.90	172.29
	<i>Taxus cuspidata</i> 주목	12.18	30.00	23.46	65.64
	<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚나무	12.31	20.00	6.17	38.48
	<i>Lonicera sachalinensis</i> 홍피불나무	0.66	10.00	1.23	11.89
	<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	0.47	10.00	1.23	11.70
	Total	100.0	100.0	100.0	300.0
Lower	<i>Taxus cuspidata</i> 주목	97.34	75.00	98.48	270.82
	<i>Abies koreana</i> 구상나무	2.66	25.00	1.52	29.18
	Total	100.0	100.0	100.0	300.0

RC : relative coverage, RF : relative frequency, RD : relative density, IV : importance value

Appendix 15. Importance value of species of Mt. Halla at an altitude of 1,850m

Layer	Scientific name/Korean name	RC	RF	RD	IV
	<i>Taxus cuspidata</i> 주목	35.21	18.75	32.22	86.19
	<i>Abies koreana</i> 구상나무	27.59	18.75	30.00	76.34
	<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚나무	21.50	18.75	21.11	61.36
	<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	8.23	18.75	10.00	36.98
Upper	<i>Betula ermanii</i> 사스레나무	3.41	6.25	2.22	11.88
	<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	1.21	6.25	2.22	9.68
	<i>Sorbus commixta</i> 마가목	2.29	6.25	1.11	9.65
	<i>Lonicera sachalinensis</i> 홍피불나무	0.57	6.25	1.11	7.93
	Total	100.0	100.0	100.0	300.0
	<i>Taxus cuspidata</i> 주목	58.68	23.08	66.67	148.42
	<i>Abies koreana</i> 구상나무	6.98	15.38	7.84	30.21
	<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚나무	9.60	7.69	1.96	19.26
Lower	<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	9.78	23.08	9.80	42.67
	<i>Weigela florida</i> 붉은병꽃나무	13.60	23.08	11.76	48.44
	<i>Lonicera sachalinensis</i> 홍피불나무	1.35	7.69	1.96	11.00
	Total	100.0	100.0	100.0	300.0

RC : relative coverage, RF : relative frequency, RD : relative density, IV : importance value

감사의 글

송국만

지난 3년, 안락산 구상낭발을 조사하여 드디어 성과물이 나왔습니다. 대학원 과정동안 많은 가르침과 격려를 주신 김문웅 교수님과 부족한 논문 심사를 위해 시간을 내어주신 고석찬 교수님, 김명숙 교수님, 김철수 박사님, 양영완 박사님께 진심으로 감사드립니다. 지금까지 많은 가르침을 주시 오문유 교수님, 이용필 교수님, 김원택 교수님, 오덕철 교수님, 이화자 교수님, 김세재 교수님, 이선령 교수님등 생물학과 교수님들께도 감사를 드립니다.

항상 옆에서 모든 일을 같이 했던 문명옥 박사님, 송관필 박사님, 연와자 박사님과 언제나 앞에서 격려와 질타로 부족한 저를 이끌어주신 김찬수 박사님, 고정근 박사님께 진심으로 감사드립니다. 늘 함께 조사 다니면서 고락을 함께 했던 강창훈, 임은영, 최선아, 강성연과 생태학연구실 많은 후배님들의 앞날에도 언제나 건강과 발전이 함께 아길 기원합니다.

사랑하는 가족 아내 강예랑, 큰아들 승언, 큰딸 서영, 막내딸 보영과 언제나 손주 걱정에 늘 애태우시는 할머니, 그리고 아버지, 어머니, 동생 용만과 은경, 부족한 사위를 언제나 걱정하시는 장인, 장모님께도 진심으로 감사드리며, 언제나 건강하고 밝은 가족이 되길 바라며, 사랑의 마음을 전합니다.

2011년 여름이 시작되는 날에...