



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](#)

碩士學位論文

제주도 서부 한경-안덕 꽃자왈지대의
식생구조와 동태

Vegetation Structure and Dynamics of Hankyeong-Andeok
Gotjawal Terrain at Western Part of Jeju Island, Korea

國民大學校 大學院

山林資源學科

姜 泓 求

2 0 1 2

제주도 서부 한경-안덕 곳자왈지대의
식생구조와 동태

Vegetation Structure and Dynamics of Hankyeong-Andeok
Gotjawal Terrain at Western Part of Jeju Island, Korea

指導教授 金 恩 植

이 論文을 碩士學位 請求 論文으로 提出함

2012年 12月

國民大學校 大學院

山林資源學科

姜 泓 求

2 0 1 2

姜 泓 求의

碩士學位 請求 論文을 認准함

2012年 12月

審査委員長 신 만 용



審査委員 김 찬 수



審査委員 김 은 식



國民大學校 大學院

목 차

I. 서론	1
II. 연구사	6
1. 식생구조	6
2. 산림천이(식생동태)	8
3. 꽃자왈의 생태적 연구	12
III. 재료 및 방법	13
1. 조사지 개황	13
2. 조사 방법	15
1) 식생조사	15
2) 연륜시료 채취	16
3) 토양조사	16
4) 기후자료	17
3. 분석 방법	17
1) 식생구조	17
2) 환경구배에 따른 식생분포	19
3) 식생동태	20
IV. 결과 및 고찰	23
1. 식생구조	23
1) 식생분류	23
2) 식생그룹의 종조성	25

3) 식생그룹의 계층구조	35
4) 식생그룹의 멍아지 구성	37
5) 식생그룹의 종다양성	38
2. 환경구배에 따른 식생분포	39
1) 토양분석	40
2) 기후요인	42
3) Ordination	43
3. 식생동태	46
1) 임령 추정	47
2) 주요 수종의 내음성 추정	49
3) 흉고직경급과 수고급 분포	51
4) 연륜 생장과 흉고단면적 생장	56
V. 결론	62
1. 식생구조	62
2. 환경구배에 따른 식생분포	63
3. 식생동태	63
VI. 인용문헌	67
Abstract	80

List of Tables

Table 1. Survey plots Information	15
Table 2. Importance Value(IV) and Mean Importance Value(MIV) of woody species in Vegetation group I	26
Table 3. Importance Value(IV) and Mean Importance Value(MIV) of woody species in Vegetation group II	28
Table 4. Importance Value(IV) and Mean Importance Value(MIV) of woody species in Vegetation group III	31
Table 5. Importance Value(IV) and Mean Importance Value(MIV) of woody species in Vegetation group IV	33
Table 6. Species diversity indices of four vegetation groups by stratum and result of variance analysis by Duncan's multiple range test ..	39
Table 7. Soil chemical properties of study sites	41
Table 8. Canonical coefficients and intraset correlation coefficients between first two ordination axes and environmental variables	45
Table 9. Shade tolerance index of dominant tree species at study sites	50

List of Figures

Figure 1. Distribution maps of Jeju Gotjawal terrain	2
Figure 2. Location map of study sites at Hankyung–Andeok Gotjawal terrain	13
Figure 3. Dendrogram of classification for forty plots by TWINSpan ..	24
Figure 4. Vegetation strata of four vegetation groups at study sites ..	36
Figure 5. Sprouts density by four vegetation groups of study sites ..	37
Figure 6. Annual precipitation and mean annual temperature of study sites	43
Figure 7. Ordination diagram by DCCA with survey plots and environmental variables	44
Figure 8. Age distribution of dominant tree species at study sites	48
Figure 9. Age distribution of dominant trees at four vegetation groups of study sites	49
Figure 10. DBH and height distribution of major tree species in vegetation group I	52
Figure 11. DBH and height distribution of major tree species in vegetation group II	53
Figure 12. DBH and height distribution of major tree species in vegetation group III	54
Figure 13. DBH and height distribution of major tree species in vegetation group IV	55
Figure 14. Mean annual radial increment and mean annual basal area increment of major deciduous tree species of study sites	57

Figure 15. Mean annual radial increment and mean annual basal area increment
of major evergreen broad-leaved tree species of study sites ... 59

Figure 16. Summary of vegetation structure and dynamics of study sites ... 66

I. 서론

제주도는 과거 약 200만 년 동안 4차에 걸친 조면암질(trachytic)과 현무암질(basaltic) 용암을 분출한 화산활동에 의해 형성되었다. 지금으로부터 약 30만 년에서 20만 년 전 동안의 3차 화산분출 시기와 약 12만 년 전 이후의 4차 화산분출 시기에 집중적으로 제주도 중산간지역(해발 200~500 m)에 소형 화산체인 오름들이 발생하였다(제주특별자치도와 국립민속박물관, 2007; 국토지리정보원, 2011). 이 오름들에서는 점성이 강한 아아 용암(Aa lava)이 흘러내려 암괴상 지형을 형성하였고(송시태, 2000) 이곳에서 발달한 숲을 제주도 사람들은 고지, 골밭, 곳, 곳산, 자왈, 자월, 곳자왈 등 다양한 이름으로 불려왔다(제주특별자치도 제주역사문화진흥원, 2010).

곳자왈지대는 토양 발달이 빈약하고 암괴로 이루어진 특징 때문에 농경지로서의 효용이 떨어지는 쓸모없는 땅으로 여겨져 왔다. 그러나 최근 들어 곳자왈에 대한 가치가 제고되면서 그 개념을 체계적으로 정의하려는 노력들이 이루어지고 있다. 북제주군(2000)은 곳자왈을 ‘가시덤불과 나무들이 혼재한 곳(洞藪, 磊琳)과 토심(土深)이 얇은 황무지인 자왈(磊野)이 결합된 의미’라고 규정하였다. 2005년 설립된 (사)곳자왈사람들은 ‘곳자왈은 화산분출 시 점성이 높은 용암이 크고 작은 암괴로 쪼개지면서 분출되어 요철(凹凸)지형을 이루며 쌓여 있기 때문에 지하수 함양은 물론, 보온·보습효과를 일으켜 북쪽 한계지점에 자라는 북방한계 열대식물과 남쪽 한계지점에 자라는 남방한계 한대식물이 공존하는 세계 유일의 독특한 숲’이라고 정의하며 곳자왈의 생태적 의미를 강조하였다. 제주도와 한라산생태문화연구소(2006)는 “곳자왈은 잡석과 용암류, 스코리아 화산탄, 숭골 등의 지질적 1차적 요인이 포함된다. 식생적 요소(2차적 요소)로는 이끼류,

양치류, 초지성 식물 화초류, 수목(잡목, 침엽수, 활엽수) 및 가시덤불 등이 속하고 부차적 요소(3차적 요소)에는 궤(바위그늘, 소형동굴), 용암동굴(중형, 대형), 소지류 및 소규모 계곡, 이류구(泥流丘), 오름(측화산), 습지, 부분적인 초지, 인위적으로 개발된 경지 등이 포함된다.”라고 하여 곶자왈을 구성하는 요소들에 대한 종합적인 정리를 시도하였다. 그러나 곶자왈에 대한 개념은 아직 학술적·제도적으로 합의되지 못한 상태이고 일반적으로 곶자왈은 ‘제주도 암괴상 용암류 지대로 숲을 비롯한 다양한 식생환경을 이루는 곳’이라고 통용되고 있다(환경부, 2012).

제주도 곶자왈지대는 서부의 한경-안덕 곶자왈지대와 애월 곶자왈지대, 동부의 조천-함덕 곶자왈지대와 구좌-성산 곶자왈지대의 4개 구역에 분포하고 있다(송시태, 2000). 그러나 이 분포는 제주특별자치도, 환경단체와 학술기관별로 다소 상이한 개념규정에 따라 차이를 보이고 있다(Figure 1). 제주특별자치도(2007)는 식생환경이 반영되지 않은 투수성 지질구조에 따른 분포 분석을 통해 곶자왈지대의 면적을 제주도 전체 면적의 6%에 해당하는 110km²로 파악하고 있는 반면, 송시태와 (사)곶자왈사람들이 주축이 된 연구에서는 92.56km²로 보고하였다(환경부, 2012).

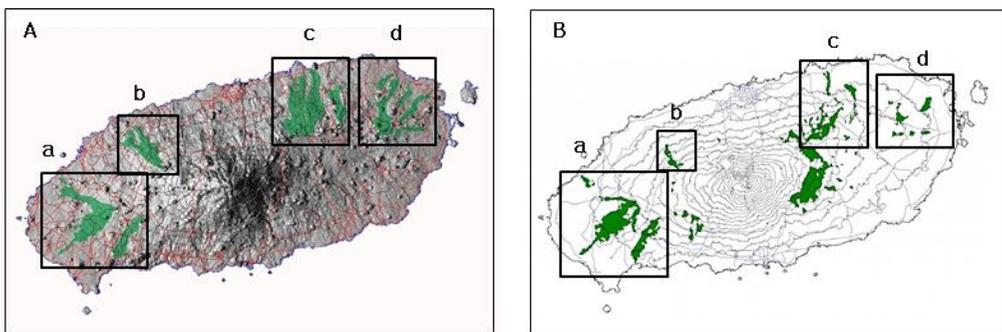


Figure 2. Distribution maps of Jeju Gotjawal terrain. Map A by Song(2000) and MAP B by Jeju Special Self-Governing Province(2007). a: Hankyeong-Andeok Gotjawal terrain, b: Aewol Gotjawal terrain, c: Jocheon-Hamdeok Gotjawal terrain, d: Gujwa-Seongsan Gotjawal terrain.

생태계는 생물다양성에 기반하여 물자공급 서비스(provisioning services)·문화 서비스(cultural services)·조절 서비스(regulating services)·부양 서비스(supporting services) 등의 다양한 서비스를 제공한다(Daily, 2000; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). 이러한 생태계서비스(ecosystem services)적 관점에서 꽃자왈의 가치가 새롭게 조명되고 있다. 꽃자왈에는 총 638분류군(559종, 5아종, 57변종, 17품종)의 관속식물이 분포하고 있고, 특히 IUCN(International Union for Conservation of Nature and Nature Resources)이 정한 희귀식물 49종이 서식하고 있다. 이는 꽃자왈이 해발 50~800m에 이르는 넓은 분포역을 지니고 있으며, 화산지형에 따른 다양한 형태의 생육환경이 존재하기 때문인 것으로 해석할 수 있다(환경부, 2012). 꽃자왈에 서식하는 다양한 식물은 전통적인 제주도민의 일상생활에 중요한 자원으로서의 역할을 해왔다. 제주도민들은 딸감, 목재, 약재, 식자재 등을 꽃자왈에서 수급했고 솥과 용기의 재료를 확보하고 제작하는 작업 역시 꽃자왈에서 이루어졌다. 일제 강점기 때부터 만들어지기 시작한 마을 공동 목장은 대부분 꽃자왈을 그 배후로 두고 있으며 이곳에 말과 소를 방목하고 있다(강만익, 2004; 윤순진, 2006; 정광중, 2004, 2012).

최근에는 꽃자왈에서 수급하던 생활자원의 효용이 적어지면서 붓순나무(*Illicium anisatum* L.), 녹나무(*Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl), 무환자나무(*Sapindus mukorossi* Gaertner) 등과 같이 자원으로서의 새로운 가치가 부각되는 식물 연구의 장으로 꽃자왈이 활용되고 있다. 제주시 한경면 청수리, 산양리와 서귀포시 안덕면 화순리 등의 마을 주민은 자발적으로 꽃자왈에 생태탐방로를 조성하여 생태관광, 숲체험 및 숲치유 프로그램 등을 진행하면서 문화공간으로서의 꽃자왈의 새로운 가치를 창출하고 있다.

제주도는 연평균 강수량이 2,000mm에 달하지만 화산암류 때문에 투수율

이 높고 하천도 길이가 짧고 경사가 급해 빗물이 빠르게 바다로 유출되어 버린다. 이 때문에 제주도는 수자원을 지하수에 전적으로 의지하고 있다(곶자왈공유화재단, 2012). 곶자왈은 숨골, 용암동굴, 함몰지, 절리계 발달 지역 등과 함께 제주도 중산간지역 내에서 지하수 함양에 관련되는 투수성 지질 구조에 속하며, 곶자왈은 그 중 58%로 가장 넓게 분포하고 있어 지하수 함양에 큰 역할을 하고 있다(제주도, 1997; 환경부, 2012).

곶자왈의 생물다양성과 생태계서비스적 가치에 대한 인식확대에 따라 곶자왈 보전을 위한 노력 역시 확대되고 있다. 제주특별자치도는 곶자왈 지역을 관리보전지역으로 지정하여 관리하고 있고 2011년에는 서귀포시 대정읍 일대(보성, 구역, 신평리지역) 1,546,757m²를 도립공원으로 지정 고시하였다(제주일보, 2011. 12. 27). 또한 2009년부터 곶자왈지역 중 국유림에 인접한 사유지를 제주특별자치도와 산림청이 매입하고 있으며 동부지역의 동백동산과 서부지역의 청수곶자왈을 산림청 시험림으로 지정하여 연구활동을 진행하고 있다(제주일보, 2011. 11. 22). 2012년 9월 제주도에서 개최된 IUCN의 세계자연보전총회(World Conservation Congress)에서는 ‘제주도 용암숲 곶자왈의 보전과 활용을 위한 지원’의 발의안이 정식 권고안으로 채택되기도 하였다(제주일보, 2012. 9. 15).

그러나 이미 전체 곶자왈 면적의 약 14%가량이 골프장, 채석장, 유원지 개발 등으로 훼손되었고(SBS, 2012. 1. 13) 제주특별자치도가 2011년 지정하려 했던 ‘제주특별자치도 곶자왈 보전·관리 조례’는 개념정의 미비, 행위제한과 처벌규정 부재, 곶자왈 보호지역 지정과 보전계획 수립 심의기능 미흡 등의 이유로 환경단체와 여론의 반대의견에 부딪혀 도의회 심의를 통과하지 못하였다(뉴시스, 2011. 7. 6). 이렇듯 곶자왈의 가치와 보전에 대한 다양한 논의가 활성화되고 그 공감대가 형성되고 있으나 체계적인 학술적 연구에 기초한 사회적 합의와 실효적인 제도적 관리 방안이 수

립되지 못하고 있다.

생육환경에 따른 식생의 구조 파악과 그 식생의 유지 및 재생(regeneration)의 과정을 추론하는 것은 자연생태계에 대한 보전과 건전한 이용이라는 목표를 성취하기 위한 과학적 기준을 마련하는 것이다(김종원, 2006). 현재 제주도 꽃자왈에 대해서는 그 보전과 건전한 이용을 위한 구체적 목표 설정과 효율적 실행이 절실히 필요하다. 이를 위해 제주도 꽃자왈지대의 식생연구에 기반을 둔 생태적 자료와 정보를 제공하는 것이 본 연구의 궁극적 목적이다.

본 연구는 제주도 서부의 환경-안덕 꽃자왈지대를 대상으로 하였다. 이곳은 꽃자왈지대 중 가장 큰 면적을 차지하고 있으며 상록활엽수림과 낙엽활엽수림의 공존으로 식생의 다양성이 높고 그 변화가 역동적일 것으로 예상되는 지역이다. 그러나 최근 영어교육도시, 신화역사공원 건설 등 대규모 개발사업이 집중적으로 이루어지고 있어 그 훼손이 심각하게 우려되는 지역이기도 하다. 환경-안덕 꽃자왈지대에서는 생태적 중요성을 고려한 보전과 합리적 개발 관리의 기초자료가 될 구체적 식생연구가 이루어진 바 없다. 따라서 본 연구에서는 (1)환경-안덕 꽃자왈지대의 수종구성에 따른 식생구조와 분포를 파악하고 (2)그 분포가 토양 및 기후 등의 환경요인에 어떤 영향을 받고 있는가를 유추하고 (3)현재의 식생이 언제부터 형성되었으며 성장상태는 어떠한지, 추후 어떠한 변화가 예측되는지에 대해 추론을 할 것이다.

II. 연구사

1. 식생구조

지표면을 덮고 있는 식물의 집단인 식생(vegetation)에 대한 연구는 독일의 Humboldt가 19세기에 상관적인(physiognomic) 경관 구분과 식물상(flora)에 기초하여 식물지리학을 발전시키면서 그 기반이 마련되었다. 이후 Braun-Blanquet은 1927년 식물사회학(plant sociology)을 발표하여 유전적 개념을 바탕으로 하는 식물분류의 종과 같이 식물군락을 기초로 하여 식생의 단위와 분류체계를 정의하였고, 식물군락의 종조성, 구조, 발달, 생육지 조건 및 인간간섭 등을 종합적으로 고려한 식생학의 기본 개념을 수립하였다(김준호, 2004; 김종원, 2006; Braun-Blanquet, 1965).

식생구조에 대한 연구는 식생을 연구하는 기본 단위인 식물군락(plant community)을 바라보는 관점에 따라 크게 두 가지로 나뉘어왔다. Clement(1916)은 식물군락은 종들이 밀접하게 연결된 초유기체(super organism)적 성격을 지니기에 단위성을 가지고 분류할 수 있다는 견해를 피력했고, 이에 기초하여 식물군락의 종조성에 중점을 두고 식물군락 분류를 수행하는 식물사회학적 식생 분류법이 발달하였다(Whittaker, 1962; Müller-Dombois and Ellenberg, 1974). Z-M학파(Zürich-Montpellier school) 방법으로 통칭되는 식물사회학적 식생 분류법은 구배(gradient)가 지어지는 어떤 환경요인에 군집을 구성하는 주요 종의 우점도를 대비시키게 되면 군락 내의 종들은 유사한 분포 한계를 나타내기 때문에 분명한 단위로 분류할 수 있다는 식물군락의 불연속적 견해(discrete view)를 대변한다(Kent and Coker, 1992).

이에 반해 Gleason(1926)은 식물군락이 명확한 단위성을 가지는 유기체가 아니고 군락을 구성하는 개체군들이 환경구배에 따라 분포역이 연속적

으로 변한다는 식물군락의 연속적 견해(continuum view)를 주장하였다. 이 견해에 따라 식물군락을 종조성에 기초하여 분류하는 것이 아니라 표본구 또는 식물종의 식생자료를 생태학적 구배에 배열하여 식생구조를 다변량적(multivariate)으로 분석하는 서열법(ordination)이 발달하게 되었다. 서열법은 환경요인과 식생자료를 직접 대응시켜 좌표축에 배치하는 직접구배분석법(direct gradient analysis)과 환경요인의 자료 없이 식생자료의 유사도지수(similarity index)를 척도화하여 좌표축에 배열시키는 간접구배분석법(indirect gradient analysis)으로 나뉜다. 대표적인 직접구배분석법은 CCA(Canonical Correspondence Analysis)와 CCA의 제2축 아치효과를 제거한 DCCA(Detrended Canonical Correspondence Analysis)이고, 간접구배분석법에는 PCA(Principle Component Analysis)와 CA(Correspondence Analysis) 등이 있다(Jongman et al., 1995; Lepš and Šmilauer, 2003). 서열법에 기초하여 식생구조를 파악하는 또 다른 방법으로 TWINSpan(Two-Way Indicator Species Analysis)이 있다. TWINSpan은 표징종(indicator species)의 유무를 기준으로 하여 식생을 분류하는 방법이다. CA의 제1축에 분류 대상 종들을 배열하는 3단계의 과정을 통해 표징종을 찾아내고 그 표징종은 중요치 구분 수준(cut level)을 함께 고려하여 결정된다. 중요치 구분 수준은 일반적으로 0%, 2%, 5%, 10%, 20%로 정의되고, 표징종은 종명과 중요치 구분 수준 점수(1, 2, 3, 4, 5)가 함께 명기된다(Hill and Šmilauer, 2005; Hill et al., 1975).

식물사회학적 분류법은 식물군락을 체계적으로 분류할 수 있는 장점이 있지만 연구자의 주관이 개입될 단점이 있고, 서열법은 환경요인과 식생분포의 관계를 해석하기 쉬운 반면 임분이 균질하지 않을 시 식생군락단위의 분석이 쉽지 않은 단점이 있다. 최근에는 식물사회학적 분류법과 서열법의 장단점을 고려하여 상호보완적 연구를 시도하는 경향이 두드러지고 있다. 식물사회학적 분류법은 식생연구의 초기 단계나 넓은 지역의 식

생을 비교·분류할 때 사용하고, 서열법은 식생과 환경요인과의 관계를 설명할 때나 비교적 좁은 지역의 식생연구에 유용하게 사용할 수 있다(오정수 등, 1991; 김현돈, 2010; Müller-Dombois and Ellenberg, 1974; Kent and Ballard, 1988).

우리나라의 식생 연구는 1980년대 초반부터 1990년대에 걸쳐 여러 지역의 산림군락을 대상으로 식물사회학적 분류법과 서열법을 활용하여 집중적으로 진행되었다. 제주도의 식생에 관한 식물사회학적 연구는 임양재 등(1990)이 한라산을 중심으로 한 제주도의 식생군락을 분류하였고, 김문홍(1991a, b)이 제주도의 구실잣밤나무와 후박나무 자연림 및 2차 초지대에 관한 연구를 진행하였다. 양영환 등(1992)은 김문홍의 선행연구와 연계하여 활엽수 2차림에 대한 식물군락 분류를 진행하여 인간간섭의 영향을 받았을 것으로 추정되는 예덕나무(*Mallotus japonicus* (Thunb.) Muell. Arg.)군락과 종가시나무(*Quercus glauca* Thunb.)군락을 정리하였다. 또한 내륙과 제주도의 식생구조를 연계하여 해석할 수 있는 자료를 제공해주는 난온대 상록활엽수림의 식생구조 연구가 진행되었다. 김종홍(1988)과 김철수와 오장근(1990a, 1990b, 1991)은 식물사회학적 연구방법으로 우리나라 상록활엽수림지역의 식생구조를 분석하였고, 오구균과 김용식(1996)은 남해안 도서지역의 식생을 서열법으로 구분하고 각 식생구조 특성과 환경요인과의 관계분석을 시도하였다.

2. 산림천이(식생동태)

생태계는 시간과 공간의 변화에 따라 다양한 형태로 변화하는 기본적인 속성을 지닌다. 장기적인 물리적 환경변화에 따른 식생의 형태·종구성(species composition)·종수의 변화와 그에 따른 물리적 환경의 상호 변화

작용을 산림천이(forest succession)라고 한다(이경준 등, 1996; Finegan, 1984; Kimmins, 2004). 산림천이의 개념이 장기간의 고정되고 방향성을 지닌 변화 형태를 설명하는 것이기에 천이가 유발하지 않는 변화를 포함하여 보다 유연하고 다양한 변화를 설명하려는 식생동태(vegetation dynamics)의 개념이 활용되기도 한다(Oliver and Larson, 1996).

산림천이의 개념은 20세기 초반 천이의 과정을 통해 이르게 되는 안정적인 상태인 '극상(climax)'에 대한 논쟁을 통해 발전하기 시작하였다. Cowles(1899)와 Clements(1916)는 모든 나지(bare place)는 수분·온도·광선 및 토양의 극단적인 환경조건에 처하지 않는 한 새로운 군집(community)으로 조성된다는 학설로 천이를 설명하였고, 외부의 교란(disturbance) 없이 천이가 진행된다면 주어진 기후지역에서는 동일한 종구성과 구조를 지니는 하나의 식물군집으로 발달한다는 단극상설(mono climax theory)을 주장하였다. 단극상설에 의해 설명되지 않는 다양한 현상을 관찰한 Tansley(1920)와 Olson(1958) 등은 다극상설(polyclimax theory)을 정의하였다. 동일한 기후지역 내에서도 토양·지형·산불 등의 특정 환경요인에 따라 극상성격을 나타내는 여러 생물군집이 존재한다는 것이 핵심 주장이다. 단극상설과 다극상설은 식물군집이 모자이크 형태로 명확하게 구분되어 발전함을 전제한다. Whittaker(1953)는 식생이 이러한 군집 구분의 모자이크 형태라기보다는 환경구배의 영향에 따른 복합적 유형이라는 Gleason(1926)의 식생의 연속적 관점을 천이 이론에 적용하여, 복잡한 유형의 식생에서 일어나는 천이는 개개의 극상 군집 자체가 복잡한 유형을 지닌다는 극상유형설(climax pattern hypothesis)을 주장하였다.

산림천이의 고전이론들이 천이의 기본 개념 정의에 집중한 반면, 20세기 후반에 들어서서는 산림천이의 구체적 작동방식을 설명하고 예측하기 위해 식물종의 생리(physiological)·생활사적(life-historical) 요소를 고려한

접근들이 시도되었다. 천이의 결과는 중간 정착능력(colonization ability)·성장률(growth rate)·고사율(mortality)·자원확보를 위한 내성능력 등의 차이에 기인하기에 식물들의 생활사적 특징에 따라 특정 교란체계에 반응하는 종을 결정할 수 있다는 것이 주요 내용이다(Grime, 1974). 이러한 접근은 Tilman(1985)의 자원비율가설(resource-ratio hypothesis)에 의해 강화되었다. 자원비율가설에 의하면 양분·빛·수분 등의 제한적 자원의 확보능력에 따라 천이단계의 종들이 결정되고, 제한된 자원을 효율적으로 이용할 수 있는 종이 안정상태에 이르게 된다는 것이다. 생리·생활사적 접근은 Connell과 Slatyer(1977)의 이론에 의해 통합적으로 해석됐는데, 이들은 천이를 촉진(facilitation), 내성(tolerance), 억제(inhibition)의 경로 모델로 설명하였다. 촉진 모델은 정착한 식물이 생육하는 과정에서 환경과의 상호작용을 통해 환경을 변화시키면, 그 환경은 변화를 주도한 식물이 아닌 다른 식물에게 유리하게 작용하여 천이를 진행할 수 있게 한다고 주장한다. 내성모델에 의하면 천이의 여러 단계를 이루는 종들이 동시에 정착하고 빠르게 성장한 종들이 천이 초기 단계를 이루나 수명이 짧아 오랫동안 그 상태를 유지하지 못한다. 반면 초기에 정착하지 못한 종은 수명이 길고 내음성(shade tolerance)을 지녀 천이단계를 이어간다고 설명한다. 억제모델은 먼저 정착한 식물들이 이후 정착하는 식물들에게 불리한 방향으로 환경을 변화시킨다는 이론이다. 세 가지 경로 모델은 천이를 체계적이고 복합적으로 설명해냈다는 평가와 동시에 각 모델의 배타적 적용으로 비판을 받았다(McCook, 1994). 현실적으로 세 가지 모델의 경로가 동시에 혹은 연속적으로 일어나는 경우가 많다.

최근 식생동태, 산림천이 연구는 반복적이고 상대적으로 빈번한 교란의 중요성을 강조하고 식생의 지속적인 변화를 당연하게 받아들이는 경향이 존재한다(Pickett and White, 1985). 평형 상태인 식물군락의 극상단계는

현실에서 존재하기 어렵고 주기적 교란으로 형성되는 숲틈(forest gap)은 식생의 구조와 재생의 방향을 결정한다. 따라서 특정 식물군락의 식생동태를 파악하기 위해서는 그 군락의 교란체계(disturbance regime)와 이에 대한 각 수준의 반응조사가 선행되어야 한다고 주장한다(조도순, 1990; Oliver and Larson, 1996).

식생동태와 산림천이의 연구는 기술적(descriptive) 방법, 다변량적(multivariate) 접근, 실험적(experimental) 연구, 모델링(modeling)으로 나눌 수 있다(임종환, 1988). 기술적 방법과 다변량적 접근은 식생동태, 산림천이 연구에 가장 일반적으로 사용되어온 방법으로 식물군락이 변해온 과정과 현재 변하고 있는 양상을 식생조사와 환경요인 자료 수집 등으로 확보한 다양한 데이터를 통해 기술하는 접근법이다. 실험적 연구는 특정 종의 제거와 추가, 자원 공급, 숲틈 형성, 화재 등의 식생 변화에 주요하게 작용하는 요인들의 실험을 통해 그 변화를 해석하려는 노력이다. 모델링은 식생의 변화조건을 단순화하여 수학적, 통계학적 방법을 통해 미래를 예측하는 접근으로 추이행렬에 바탕한 Markov Model(김지홍, 2003; Horn, 1975)과 숲틈 발생 이후의 임분 단위의 천이를 해석하는 Gap Model인 JABOWA Model(Botkin, 1972, 1993; Bugmann, 2001)이 대표적이다.

국내 식생동태 및 산림천이의 연구는 1980년대 초반부터 지형변화에 따른 천이, 산화 후 2차 천이 및 천이와 천이 초기 종의 환경에 대한 반응을 주제로 진행되었다(김준호, 2004). 제주도의 식생동태에 관한 연구는 초지지역(유영한과 이창석, 2003; 한봉호 등, 2004), 꽃자왈지역인 동백동산(한봉호 등, 2007)과 한라산 구상나무림(고정군 등, 1996; 김은식과 이육, 2000; 송국만, 2011)을 대상으로 진행되었다. 오구균과 최송현(1993)은 제주도와 인접한 남해안 지역의 상록활엽수림에 대한 천이 연구를 진행하였다.

3. 꽃자왈의 생태적 연구

제주도의 꽃자왈에 관한 연구는 송시태(2000)가 지질학적 분석을 통해 꽃자왈지대를 제주도 동, 서부 4개 지역으로 구분하면서부터 본격화되었다. 제민일보 꽃자왈특별취재반(2004)은 2년여에 걸친 탐사보도를 통해 제주도 전 꽃자왈지대의 지질, 문화 및 생태적 정보를 개괄하여 제주도민에게도 생소했던 꽃자왈을 체계적으로 알리는 계기를 마련하였다. 송관필(2007)은 한라산 동서 사면의 식물상과 식생에 관한 연구에 꽃자왈지역을 포함하였고, 제주특별자치도 환경자원연구원(2009, 2010b)과 제주특별자치도 한라산연구소(2011, 2012)는 4개 꽃자왈지대의 식물상 연구를 진행하였다. 식생구조의 연구는 동백동산(한봉호 등, 2007)과 애월 꽃자왈지대(김대신 등, 2007)를 대상으로 진행되었다. 제주특별자치도(2007)는 ‘제주도 관리지역 재정비’ 연구를 통해 꽃자왈지역의 식물상 목록과 현존식생도를 작성하였다. 이후 ‘제주도 환경자원활용 시스템 구축’을 위해 이를 보완·강화하였다(전성우, 2011). 환경부(2012)는 제주 세계자연보전총회를 대비하여 꽃자왈의 가치를 규명하고 보전대책을 마련하기 위한 ‘꽃자왈 보전 및 현명한 이용대책 마련 연구’를 수행하였다.

이러한 연구들은 꽃자왈의 식물상과 1차적 식생구조를 밝히는 데 집중하였고 환경요인을 고려한 식생구조의 분석과 동태적 해석까지는 그 범위가 이르지 못했다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구는 제주도 내 4개의 곶자왓지대 중 제주도 서부(북위 $33^{\circ} 15' 23''$ ~ $33^{\circ} 22' 51''$, 동경 $126^{\circ} 15' 28''$ ~ $126^{\circ} 22' 29''$)에 위치한 한경-안덕 곶자왓지대를 대상으로 진행하였다(Figure 2).

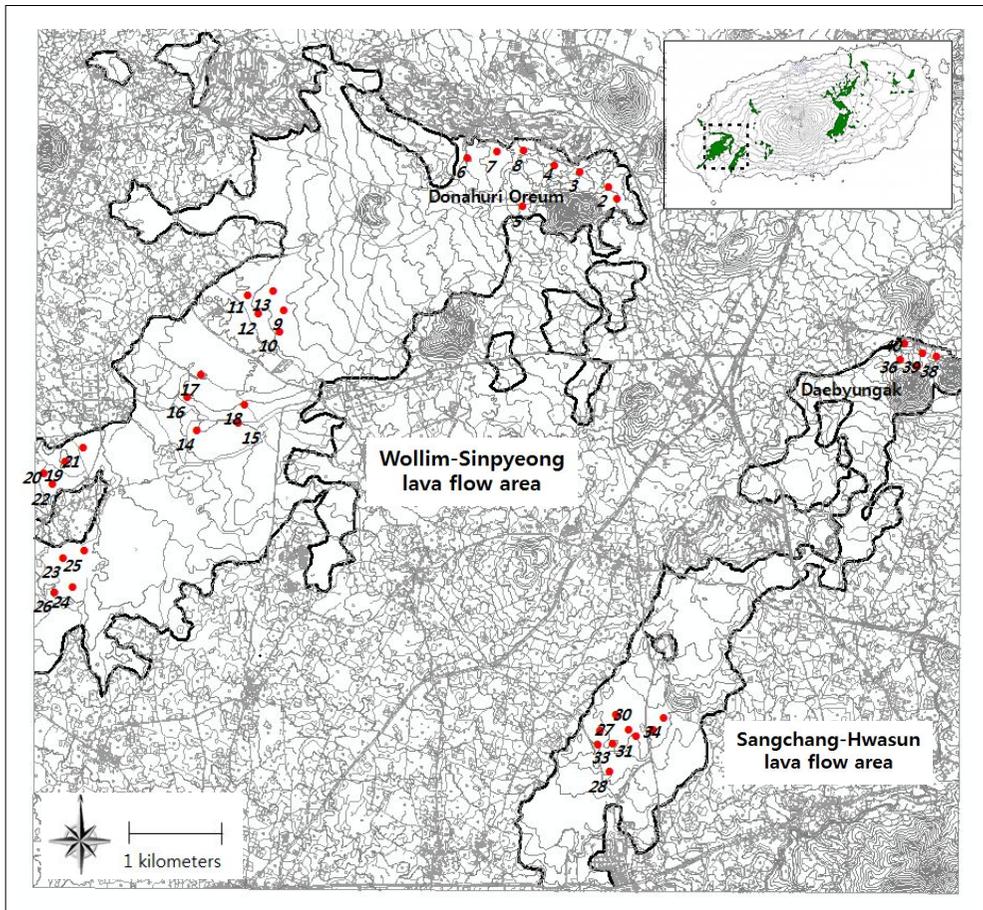


Figure 2. Location map of study sites at Hankyeong–Andeok Gotjawal terrain.
(●: Survey Plots at study sites)

한경-안덕 곳자왈지대는 해발 50~492m 범위에 위치하고 면적은 50.5km²로, 전체 곳자왈지대 면적 110km² 중 절반에 가까운 부분을 차지하고 있다(제주특별자치도, 2007). 지형은 경사가 거의 없는 평지이나 암괴구조로 인해 요철과 함몰이 심하고 작은 돔 형태의 튜물러스(tumulus)¹⁾가 나타나기도 한다.

한경-안덕 곳자왈지대는 제주시 한경면, 서귀포시 대정읍과 안덕면 일대에 분포하고 있고 도너리오름(해발 329.6m)에서 분출한 월림-신평 용암류지역과 대병악(해발 492m)에서 분출한 상창-화순 용암류지역의 두 개 지역으로 나뉜다. 월림-신평 용암류지역은 회색에서 암회색을 띠는 휘석-감람석 현무암(augite-olivine basalt)으로 구성되어 있고 상창-화순 용암류지역은 회색의 다공질 장식-휘석-감람석 현무암(feldspar-augite-olivine basalt)으로 이루어져 있다(송시대, 2000). 암괴들로 이루어진 지질적 특성으로 토양 발달은 미약하나 암괴들 사이의 공간과 상대적으로 요철이 심하지 않은 위치에 토심 약 10~15cm 수준으로 유기물층과 A층이 혼합된 토양이 발달해 있다. 한경-안덕 곳자왈지대에 분포하는 관속 식물상은 111과 361종 42변종 7품종 등 총 410 분류군으로 조사되었고, 환경부가 지정한 멸종위기야생식물 II급 종인 개가시나무(*Quercus gilva* Blume)와 솔잎란(*Psilotum nudum* (L.) P. Beauv.)이 분포하고 있다(제주특별자치도 한라산연구소, 2012).

제주도의 낙엽수 2차림 식생조사연구(양영환 등, 1992)를 통해 해당 지역에 종가시나무 군락, 개가시나무 아군락이 분포하고 더부살이고사리(*Polystichum lepidocaulon* (Hk.) J. Sm.) 군락에 팽나무(*Celtis sinensis* Pers.)와 예덕나무의 피도가 높음을 알 수 있다.

1) 분화구에서 유출된 용암이 저지대에 모여 상부는 냉각되어 굳지만, 내부의 가스와 뒤이
어 흘러온 용암의 압력에 의해 암반 지각이 들어올려져 부풀어 오른 용암 지형(제주특별자치도 환경자원연구원, 2010a)

2. 조사 방법

1) 식생조사

2012년 4~6월에 걸쳐 한경-안덕 곳자왈지대의 월림-신평 용암류지역에 15m×15m의 조사구 26개(도너리오름 주변-8개, 저지리-5개, 청수리-5개, 산양리-4개, 무릉리-4개), 상창-화순 용암류지역에 14개(상창리-5개, 화순리-9개) 등 총 40개의 조사구를 설치하여 식생조사를 진행하였다(Table 1). 조사구 선정은 사전 현지답사와 문헌 조사를 통해 해당 조사 지역 중 암괴상 지질이 전형적이고 식생 상태가 양호한 곳을 대상으로 하였다.

Table 1. Survey plots Information.

Site	Wollim-Shinpyeong lava flow area													
	Doneori Oreum								Jeoji					
Plot	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	J9	J10	J11	J12	J13	
Altitude (m)	363	365	346	328	323	285	317	317	192	186	168	167	156	
Site	Wollim-Shinpyeong lava flow area													
	Cheongsu					Sanyang				Mureung				
Plot	C14	C15	C16	C17	C18	S19	S20	S21	S22	M23	M24	M25	M26	
Altitude (m)	138	145	138	161	145	110	107	100	107	99	90	97	108	
Site	Sangchang-Hwasun lava flow area													
	Hwasun								Sangchang					
Plot	H27	H28	H29	H30	H31	H32	H33	H34	H35	K36	K37	K38	K39	K40
Altitude (m)	123	114	130	137	136	123	130	120	140	390	376	395	387	396

조사구에서 출현하는 목본 식물을 대상으로 상층(overstory), 중층(midstory), 관목(shrub layer)층으로 구분하여 매목 조사를 실시하였다. 상층과 중층은 수목별로 수종을 파악하고 흉고직경, 수고, 수관폭 및 지하고를 측정하였다. 가슴높이(약 1.2m)에서 분지된 맹아지는 한 개체로 판단하였고 하나의 뿌리 또는 줄기에서 분지된 맹아지의 수를 기록하였다. 관목층은 수종, 개체수 및 피도등급(Braun-Blanquet 방법, 국립환경과학원, 2007)을 조사하였다. 관목층에서도 흉고직경 측정이 가능한 개체는 흉고직경을 측정하였다. 초본층(herb layer)에 출현하는 식물에 대해서는 증명과 피도등급(Braun-Blanquet 방법)을 조사하였다.

2) 연륜시료 채취

각 조사구에서 우점하는 수종 중 생장 상태가 양호한 2~3개체의 연륜시료를 성장추(incremental borer)를 이용하여 약 1m 높이에서 채취하였다. 개체마다 2개의 시료를 채취하여 편심생장에 의한 오차를 줄이려고 노력하였으나 상황이 여의치 않은 경우 1개의 시료만을 채취하였다. 채취한 시료는 현장에서 고정틀에 부착하여 시료가 훼손되지 않도록 하였다. 106개체 174개의 연륜시료를 채취하였다.

3) 토양조사

낙엽 부식층을 제거하고 표토층 5~10cm 이내의 깊이에서 토양 시료를 채취하였다. 각 조사구의 3~5개의 지점에서 채취한 토양을 취합하여 비닐팩에 밀봉한 상태로 보관하였다. 암괴로 인해 토양시료 채취가 불가능한 지역 3곳을 제외하고 총 37개 조사구의 시료를 확보하였다.

4) 기후자료

조사지의 기후조건을 파악하기 위해 국립산림과학원(2010)의 한반도 산지기후자원 전자지도를 활용하였다. 이 지도는 1971~2010년까지의 기상관측 실측치를 바탕으로 소기후 추정모형을 적용한 기온, 강수량과 일사량 등의 기후자료를 해상도 30~270m 수준으로 제공한다. 제주도의 경우 4개의 표준 기상관측 지점의 실측 자료 및 인근 표준 기상관측 지점 자료와 회귀식을 통해 과거 자료를 보완한 5개의 AWS(Automatic Weather System)의 관측 자료가 활용되었다.

3. 분석 방법

1) 식생구조

(1) 종조성

층위별 종조성은 출현 종의 중요치(Importance Value, IV)를 Curtis and McIntosh(1951) 방법으로 산출하고 층위별 가중치를 부여한 평균 중요치(Mean Importance Value, MIV)를 계산하여 파악하였다(임경빈, 1980). 계산식은 다음과 같다.

$$IV = (RC + RD + RF)/3 \quad (1)$$

여기에서 RC = 상대피도(Relative Coverage), RD = 상대밀도(Relative Density), 그리고 RF = 상대빈도(Relative Frequency)이다.

$$MIV = (OIV \times 3 + JIV \times 2 + SIV \times 1) / 6 \quad (2)$$

여기에서 OIV = 상층의 중요치, JIV = 중층의 중요치, 그리고 SIV = 관목층의 중요치이다.

(2) 식생분류

식생의 분류는 TWINSpan을 이용하였다(Hill and Šmilauer, 2005). TWINSpan을 이용한 식생의 분류는 조사구 단위를 기본 자료로 사용하기에 상대피도와 상대밀도를 활용한 중요치를 이용하였고 중요치 구분 수준은 0%, 2%, 5%, 10%, 20%로 하였다.

(3) 종다양성

TWINSpan으로 분류된 식생그룹의 종다양성을 파악하기 위하여 상층, 중층, 관목층으로 나누어 Shannon and Wiener(1949)의 종다양도(Diversity Index, H'), Pielou(1969)의 균재도(Evenness Index, J')를 구하였고 균재도를 활용하여 우점도(Dominance Index, $1-J'$)를 계산하였다(Brower et al., 1997). 계산식은 다음과 같다.

$$H' = -\sum(p_i \log p_i) \quad (3)$$

여기에서 $p_i = n_i/N$ (전체 출현 종 중 i 번째 종이 차지하는 비율)이다.

$$J' = H' / \log S \quad (4)$$

여기에서 S = 종수이다.

얻어진 결과 값에 대하여 SAS 프로그램(SAS Institute Inc, 2008)을 이용하여 Duncan의 다중검정(multiple range test)을 실시하였다. 이를 통해 층위별 지수들이 식생그룹별로 유의한 차이가 있는지 검증하였다.

(4) 계층구조와 맹아지 구성

식생의 층위구조를 파악하기 위해 각 층위의 최고 높이와 평균 피도로 단면도를 작성하였고 조사지의 특징인 맹아지의 구성상태를 파악하기 위해 식생그룹별로 전체 개체 수 중 맹아지가 차지하는 비율과 한 개체에서 분지된 맹아지 수의 평균을 구하였다.

2) 환경구배에 따른 식생분포

(1) 토양분석

토양분석은 채취한 시료들을 한국임업진흥원에 의뢰하여 pH, 유기물 함량, 전질소, 유효인산, 양이온 치환용량(CEC), 치환성 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), 전기전도도(E.C.) 등의 토양의 화학적 특성에 대한 값을 구하였다.

(2) 기후분석

기온과 강수량의 기후자료는 한반도 산지기후자원 전자지도에서 산림청의 임상도 폴리곤 단위(도너리오름 주변 2개, 화순리 2개, 저지리, 청수리,

산양리, 무릉리, 상창리 각 1개)기준으로 추출하여 정리하였다.

(3) Ordination

환경요인과 식생분포와의 상관관계를 파악하기 위해 ordination 분석의 하나인 DCCA(Hill and Gauch, 1980; Ter Braak, 1986)를 수행하였다. DCCA는 조사구 출현 종들의 중요치와 환경요인 축과의 상관관계에 따라 조사구를 추상적으로 구성된 축 위에 분포시키는 직접구배분석방법이다. 이 분석을 위해 Ter Braak and Šmilauer(1998)의 CANOCO 프로그램을 이용하였다.

3) 식생동태

(1) 연륜측정

고정틀에 부착된 연륜시료를 건조하고 연마하여 LINTAB 5 연륜측정 시스템과 TSAP-Win 연륜측정 프로그램으로 0.01mm 단위의 측정을 진행하였다. 측정의 정확도를 높이기 위해 연륜 생장이 급격하게 감소하는 특정 연도와 전체적인 성장경향을 그래프를 통해 비교하였다. 이 비교는 한 개체에서 추출한 두 개의 시료 간, 동일 조사구 내의 개체와 개체 간 및 다른 조사구 개체의 측정값 간에 이루어졌다.

(2) 임령 및 성장상태

측정된 연륜 자료로 수목의 발생연도를 확인하였고 이를 통해 조사지의

임령을 추정하였다. 약 1m 높이에서 연륜시료를 채취하였기 때문에 실제 나이는 수목이 이 높이까지 자란 약 3~5년을 추가해야 한다. 추정한 임령의 정확도 및 인간간섭의 영향을 파악하기 위해 현지 주민 인터뷰를 진행하였다. 성장상태는 수종별 연평균 연륜 성장량(mean annual radial increment)과 이를 통해 계산한 연평균 흉고단면적 성장량(mean annual basal area increment)으로 분석하였다.

(3) 주요 수종의 내음성

수목의 내음성을 분석하기 위해 Lorimer(1983)의 방법으로 주요 수종별 내음성 지수(tolerance index, TI)를 구하였다. 이 지수는 수종의 내음성과 관계 있다고 여겨지는 수고 대비 수관의 평균 비율과 단위 면적당 피압목의 밀도를 활용하여 다음과 같이 계산된다.

$$TI = (R1+R2)/2 \quad (5)$$

여기에서 R1 = 수고 대비 수관의 평균 비율의 상대점수, R2 = ha당 피압목 밀도의 자연 로그값의 상대점수이다. 피압목의 밀도는 분포치의 왜곡을 방지하기 위해 자연 로그값을 활용한다. 각 상대점수의 계산식은 다음과 같다.

$$R1(R2) = 10 \left[\frac{(x_i - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} \right] \quad (6)$$

여기서 x_i = i 종의 수고 대비 수관의 평균 비율과 ha당 피압목 밀도의 자연 로그값이고, x_{max} 와 x_{min} 은 각각 전체 대상 종의 위 비율들과 로그

값들의 최고값 및 최소값이다.

(4) 흉고직경급 분포와 수고급 분포

식생그룹별로 중요치가 높은 주요 수종들을 대상으로 흉고직경급과 수고급별 분포도를 작성하여 수종들의 현재 갱신상태를 확인하였다. 임령추정을 통한 식생의 형성시점 확인과 수종의 내음성, 성장상태 및 갱신상태를 종합하여 식생그룹별 구조가 어떻게 변해 나갈 것인가에 대한 추론을 진행하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 식생구조

1) 식생분류

조사지의 식생분류를 위해 총 40개 조사구에 출현한 84종 중 5% 이하의 조사구에만 출현한 종을 제외한 총 60종을 대상으로 TWINSpan을 실시한 결과는 Figure 3과 같다. 1단계에서 종가시나무에 의해 크게 2개의 그룹으로 나뉘었다. 2단계에서는 종가시나무가 없는 그룹이 예덕나무가 있는 1개의 그룹과 새덕이(*Neolitsea aciculata* (Blume) Koidz.), 무환자나무와 푸조나무(*Aphananthe aspera* (Thunb.) Planch.)가 있는 1개의 그룹으로 나뉘었다. 종가시나무가 있었던 1단계의 그룹은 생달나무(*Cinnamomum japonicum* Siebold ex Nees), 육박나무(*Actinodaphne lancifolia* (Siebold & Zucc.) Meisn.)와 팽나무가 있고 녹나무가 없음을 기준으로 2개의 그룹으로 다시 나뉘었다. 3~6단계에서는 관목성 목본식물과 덩굴성 목본식물의 낮은 중요치 구분 수준을 기준으로 분류가 이루어지고 있어 본 연구를 위한 식생분류에 적합하지 않다고 판단하였다. 따라서 조사 대상 지역은 총 4개의 유의미한 식생그룹으로 분류되었다.

분류된 식생그룹의 분포를 지역별로 살펴보면 월림-신평 용암류지역의 도너리오름 주변과 상창-화순 용암류지역의 상창리에 식생그룹 I이 위치하고, 상창-화순 용암류지역의 화순리에 식생그룹 II, 월림-신평 용암류 지역의 저지리, 청수리, 산양리와 무릉리에 식생그룹 III과 IV가 분포하고 있었다. 전체적으로 식생그룹은 지역에 따른 분포가 명확하였으나 식생그룹 III과 IV 간의 구분은 쉽지 않았다.

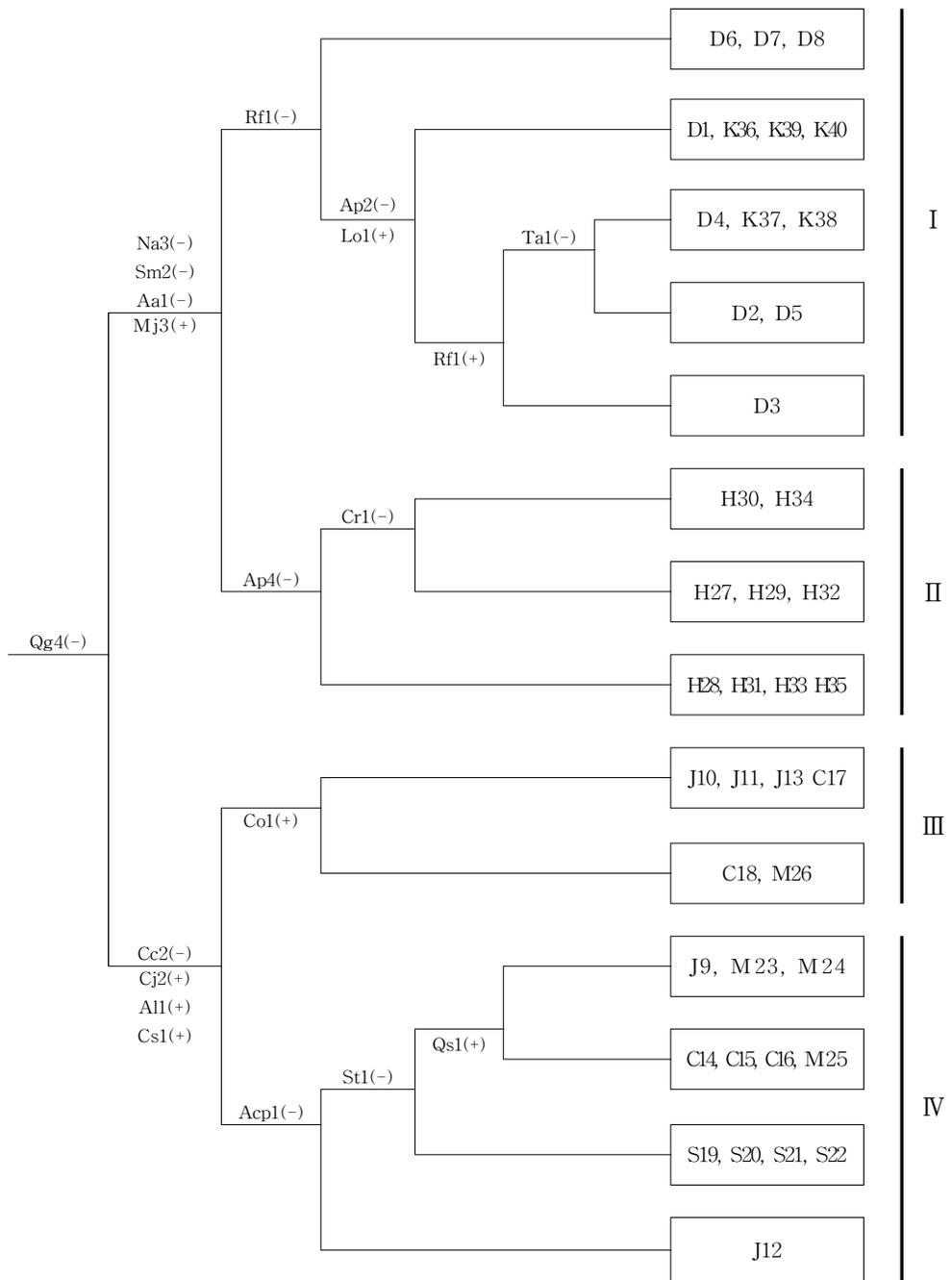


Figure 3. Dendrogram of classification for forty plots by TWINSpan.

(Qg: *Quercus glauca*, Na: *Neolitsea aciculata*, Aa: *Aphananthe aspera*, Sm: *Sapindus mukorossi*, Mj: *Mallotus japonicus*, Cc: *Cinnamomum camphora*, Cj: *Cinnamomum japonicum*, Al: *Actinodaphne lancifolia*, Cs: *Celtis sinensis*, Rf: *Ribes fasciculatum*, Ap: *Acer palmatum*, Co: *Celastrus orbiculatus*, Acp: *Actinidia polygama*, Lo: *Ligustrum obtusifolium*, Cr: *Cornus macrophylla*, St: *Sageretia theezans*, Qs: *Quercus salicina*, Ta: *Trachelospermum asiaticum*)

2) 식생그룹의 종조성

TWINSPAN에 의해 분류된 식생그룹의 종조성을 중요치와 층위별 가중치를 고려한 평균 중요치를 통해 파악하였다. 초본은 높은 피도를 나타내는 주요 종을 대상으로 정리하였다.

식생그룹 I은 총 58종(초본층 제외)이 출현하였고 단풍나무(*Acer palmatum* Thunb., 15.08%), 때죽나무(*Styrax japonicus* Siebold & Zucc., 12.60%), 예덕나무(8.10%), 팽나무(6.88%)의 평균 중요치가 높게 나타나는 낙엽활엽수림 식생이었다. 상층에서는 때죽나무가 23.46%의 가장 높은 중요치를 나타냈고 예덕나무(15.41%), 팽나무(12.93%), 단풍나무(12.44%) 순으로 중요치가 높았다. 중층에서는 단풍나무(26.28%)가 우세하였고 윤노리나무(*Pourthiaea villosa* (Thunb.) Decne., 11.55%)와 동백나무(*Camellia japonica* L., 7.15%)가 뒤를 이었다. 관목층에서는 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium* Siebold & Zucc., 16.52%), 작살나무(*Callicarpa japonica* Thunb., 14.44%), 상산(*Orixa japonica* Thunb., 10.88%)이 우점하고 있었고 참식나무(*Neolitsea sericea* (Blume) Koidz., 9.36%)의 중요치가 다른 교목성 수종에 비해 높게 나타났다(Table 2). 초본은 자주괴불주머니(*Corydalis incisa* (Thunb.) Pers.), 용수염(*Diarrhena japonica* (Franch. & Sav.) Franch. & Sav.), 십자고사리(*Polystichum tripterum* (Kunze) C. Presl), 가시딸기(*Rubus hongnoensis* Nakai) 등의 피도가 높았다.

Table 2. Importance Value(IV) and Mean Importance Value(MIV) of woody species in vegetation group I.

Vegetation group I					
Scientific name	Common name	IV			MIV
		OS	MS	SL	
<i>Acer palmatum</i>	단풍나무	12.44	26.28	0.60	15.08
<i>Styrax japonicus</i>	매죽나무	23.46	2.60	-	12.60
<i>Mallotus japonicus</i>	예덕나무	15.41	0.80	0.76	8.10
<i>Celtis sinensis</i>	팽나무	12.93	0.95	0.60	6.88
<i>Pourthiaea villosa</i>	윤노리나무	0.32	11.55	4.78	4.81
<i>Hedera rhombea</i>	송악	5.16	3.14	0.60	3.73
<i>Callicarpa japonica</i>	작살나무	-	3.56	14.44	3.59
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	취뽕나무	-	0.84	16.52	3.03
<i>Meliosma oldhamii</i>	합다리나무	1.58	6.12	-	2.83
<i>Neolitsea sericea</i>	참식나무	0.46	1.81	9.36	2.39
<i>Camellia japonica</i>	동백나무	-	7.15	-	2.38
<i>Trachelospermum asiaticum</i>	마삭줄	1.74	3.42	-	2.01
<i>Cornus macrophylla</i>	곰의말채	3.94	-	-	1.97
<i>Orixa japonica</i>	상산	-	-	10.88	1.81
<i>Euonymus hamiltonianus</i>	참빗살나무	1.06	3.80	-	1.80
<i>Celastrus orbiculatus</i>	노박덩굴	2.28	1.33	0.60	1.69
<i>Picrasma quassioides</i>	소태나무	1.00	2.85	0.60	1.55
<i>Ficus erecta</i>	천선과나무	-	4.64	-	1.55
<i>Machilus japonica</i>	센달나무	1.10	2.24	1.20	1.50
<i>Akebia quinata</i>	으름덩굴	0.98	1.06	3.08	1.36
<i>Rhamnella franguloides</i>	까마귀베개	1.01	1.77	1.18	1.29
<i>Actinidia polygama</i>	개다래	2.14	-	1.19	1.27
<i>Lindera erythrocarpa</i>	비목나무	1.32	1.18	-	1.05
<i>Neolitsea aciculata</i>	새택이	-	2.31	1.53	1.02
<i>Euonymus fortunei</i> var. <i>radicans</i>	줄사철	0.67	1.65	0.60	0.98

OS: overstory, MS: midstory, SL: shrub layer.

Table 2. (Continued).

Vegetation group I					
Scientific name	Common name	IV			MIV
		OS	MS	SL	
<i>Actinidia arguta</i>	다래	1.15	0.65	0.53	0.88
<i>Carpinus tschonoskii</i>	개서어나무	1.43	-	-	0.71
<i>Sorbus alnifolia</i>	팔배나무	1.42	-	-	0.71
<i>Quercus glauca</i>	종가시나무	1.39	-	-	0.70
<i>Distylium racemosum</i>	조록나무	0.71	0.99	-	0.69
<i>Rosa multiflora</i>	찔레	-	-	4.10	0.68
<i>Meliosma myriantha</i>	나도밤나무	0.66	1.02	-	0.67
<i>Quercus salicina</i>	참가시나무	0.72	0.92	-	0.67
<i>Lonicera harai</i>	길마가지나무	-	-	3.93	0.66
<i>Zanthoxylum piperitum</i>	초피나무	-	-	3.76	0.63
<i>Aphananthe aspera</i>	푸조나무	1.05	-	0.60	0.62
<i>Morus bombycis</i>	산뽕나무	0.50	1.06	-	0.60
<i>Elaeagnus macrophylla</i>	보리밥나무	-	-	3.58	0.60
<i>Cudrania tricuspidata</i>	꾸지뽕나무	-	-	3.56	0.59
<i>Ribes fasciculatum</i> var. <i>chinense</i>	까마귀밥여름나무	-	-	3.50	0.58
<i>Schizophragma hydrangeoides</i>	바위수국	0.39	0.80	-	0.46
<i>Cinnamomum japonicum</i>	생달나무	-	0.81	0.68	0.38
<i>Clerodendrum trichotomum</i>	누리장나무	0.34	-	1.19	0.37
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	담쟁이덩굴	0.04	0.93	-	0.33
<i>Sageretia theezans</i>	상동나무	-	0.69	-	0.23
<i>Viburnum dilatatum</i>	가막살나무	-	0.69	-	0.23
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	고로쇠나무	0.41	-	-	0.21
<i>Alangium platanifolium</i> var. <i>trilobum</i>	박쥐나무	-	-	1.19	0.20
<i>Euonymus alatus</i> for. <i>ciliatodentatus</i>	회잎나무	-	-	1.19	0.20
<i>Albizia julibrissin</i>	자귀나무	0.38	-	-	0.19
<i>Smilax china</i>	청미래덩굴	-	0.27	0.60	0.19

Table 2. (Continued).

Vegetation group I					
Scientific name	Common name	IV			MIV
		OS	MS	SL	
<i>Cornus kousa</i>	산딸나무	0.38	-	-	0.19
<i>Viburnum odoratissimum</i> var. <i>awabuki</i>	아왜나무	-	-	0.68	0.11
<i>Zanthoxylum planispinum</i>	개산초	-	-	0.60	0.10
<i>Kadsura japonica</i>	남오미자	-	-	0.60	0.10
<i>Vitis ficifolia</i> var. <i>sinuata</i>	까마귀머루	-	0.13	-	0.04

식생그룹 II는 총 51종이 출현하였고 상록활엽수인 새덕이(13.18%)와 단풍나무(10.30%), 때죽나무(8.32%)의 평균 중요치가 높은, 상록활엽수와 낙엽활엽수의 혼효 식생으로 판단된다. 상층의 중요치는 팽나무(12.86%), 때죽나무(11.52%), 새덕이(10.81%) 순으로 나타났다. 중층에서는 단풍나무(22.08%)와 새덕이(14.93%), 작살나무(11.54%)의 중요치가 높게 나타났다. 관목층에서는 참식나무(18.82%)와 새덕이(16.78%)가 높은 중요치로 우점하고 있었다. 특히 새덕이는 전 층위에서 높은 중요치를 나타냈다(Table 3). 초본은 더부살이고사리와 가는쇠고사리(*Arachniodes aristata* (G. Forst.) Tindale) 등의 피도가 높았다.

Table 3. Importance Value(IV) and Mean Importance Value(MIV) of woody species in vegetation group II.

Vegetation group II					
Scientific name	Common name	IV			MIV
		OS	MS	SL	
<i>Neolitsea aciculata</i>	새덕이	10.81	14.93	16.78	13.18
<i>Acer palmatum</i>	단풍나무	5.88	22.08	-	10.30
<i>Styrax japonicus</i>	때죽나무	11.52	5.89	3.59	8.32

Table 3. (Continued).

Vegetation group II					
Scientific name	Common name	IV			MIV
		OS	MS	SL	
<i>Celtis sinensis</i>	팽나무	12.86	-	0.96	6.59
<i>Callicarpa japonica</i>	작살나무	-	11.54	14.71	6.30
<i>Hedera rhombea</i>	송악	8.01	3.92	-	5.31
<i>Neolitsea sericea</i>	참식나무	3.18	1.60	18.82	5.26
<i>Sapindus mukorossi</i>	무환자나무	5.63	5.70	0.96	4.88
<i>Aphananthe aspera</i>	푸조나무	8.30	-	2.67	4.59
<i>Mallotus japonicus</i>	예덕나무	4.72	1.95	-	3.01
<i>Cinnamomum japonicum</i>	생달나무	2.57	1.58	5.39	2.71
<i>Xylosma congesta</i>	산유자나무	-	7.55	0.96	2.68
<i>Picrasma quassioides</i>	소태나무	0.42	6.90	-	2.51
<i>Rhamnella franguloides</i>	까마귀베개	0.58	5.10	1.89	2.30
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	취뽕나무	-	-	11.18	1.86
<i>Quercus glauca</i>	종가시나무	3.26	-	1.08	1.81
<i>Celastrus orbiculatus</i>	노박덩굴	2.03	1.26	-	1.43
<i>Meliosma myriantha</i>	나도밤나무	0.95	2.15	0.96	1.35
<i>Actinidia arguta</i>	다래	2.64	-	-	1.32
<i>Cornus macrophylla</i>	곰의말채	2.63	-	-	1.32
<i>Orixa japonica</i>	상산	-	-	6.75	1.12
<i>Trachelospermum asiaticum</i>	마삭줄	1.96	-	-	0.98
<i>Meliosma oldhamii</i>	합다리나무	1.70	-	-	0.85
<i>Ficus erecta</i>	좁은잎천선과나무	-	2.23	-	0.74
<i>Vitis coignetiae</i>	머루	0.81	0.34	1.08	0.69
<i>Ficus erecta</i>	천선과나무	1.38	-	-	0.69
<i>Actinidia polygama</i>	개다래	0.94	-	1.08	0.65
<i>Euscaphis japonica</i>	말오줌때	1.26	-	-	0.63
<i>Sageretia theezans</i>	상동나무	1.21	-	-	0.60

Table 3. (Continued).

		Vegetation group II			
Scientific name	Common name	IV			MIV
		OS	MS	SL	
<i>Schizophragma hydrangeoides</i>	바위수국	0.60	0.67	-	0.52
<i>Pourthiaea villosa</i>	윤노리나무	-	1.43	-	0.48
<i>Akebia quinata</i>	으름덩굴	0.87	-	-	0.43
<i>Cudrania tricuspidata</i>	꾸지뽕나무	-	1.28	-	0.43
<i>Viburnum dilatatum</i>	가막살나무	-	1.23	-	0.41
<i>Sinomenium acutum</i>	방기	0.26	0.34	0.96	0.40
<i>Kadsura japonica</i>	남오미자	0.13	0.34	1.19	0.38
<i>Ribes fasciculatum</i> var. <i>chinense</i>	까마귀밭여름나무	-	-	2.15	0.36
<i>Albizia julibrissin</i>	자귀나무	0.58	-	-	0.29
<i>Rhus sylvestris</i>	산검양옻나무	0.56	-	-	0.28
<i>Prunus pendula</i> for. <i>ascendens</i>	올벚나무	0.43	-	-	0.21
<i>Euonymus fortunei</i> var. <i>radicans</i>	줄사철	0.40	-	-	0.20
<i>Smilax china</i>	청미래덩굴	0.40	-	-	0.20
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	담쟁이덩굴	0.40	-	-	0.20
<i>Rosa multiflora</i>	찔레	-	-	1.19	0.20
<i>Smilax sieboldii</i>	청가시덩굴	0.07	-	0.96	0.19
<i>Poncirus trifoliata</i>	탱자나무	-	-	1.08	0.18
<i>Zanthoxylum piperitum</i>	초피나무	-	-	0.96	0.16
<i>Zanthoxylum planispinum</i>	개산초	-	-	0.96	0.16
<i>Callicarpa mollis</i>	새비나무	-	-	0.96	0.16
<i>Sorbus alnifolia</i>	팔배나무	-	-	0.76	0.13
<i>Pueraria lobata</i>	쑥	0.07	-	-	0.03

식생그룹 III은 총 34종이 출현하였고 종가시나무의 평균 중요치가 다른 수종에 비해 월등히 높은 47.52%를 차지하고 있는 상록활엽수림 식생이었다. 종가시나무는 상층과 중층에서 높은 중요치를 나타내고 있었다. 관목층에서는 생달나무가 33.14%의 높은 중요치로 우점하고 있었다(Table 4). 초본은 가는쇠고사리와 쇠고비(*Cyrtomium fortunei* J. Sm.)의 피도가 높았다.

Table 4. Importance Value(IV) and Mean Importance Value(MIV) of woody species in vegetation group III.

Vegetation group III					
Scientific name	Common name	IV			MIV
		OS	MS	SL	
<i>Quercus glauca</i>	종가시나무	41.08	76.05	9.81	47.52
<i>Cinnamomum japonicum</i>	생달나무	1.25	-	33.14	6.15
<i>Celtis sinensis</i>	팽나무	11.81	-	-	5.91
<i>Distylium racemosum</i>	조록나무	0.95	11.10	4.87	4.99
<i>Rhus sylvestris</i>	산검양울나무	0.90	9.73	-	3.69
<i>Quercus salicina</i>	참가시나무	6.23	-	2.95	3.61
<i>Styrax japonicus</i>	매죽나무	6.21	-	-	3.11
<i>Cornus macrophylla</i>	곰의말채	5.24	-	-	2.62
<i>Neolitsea sericea</i>	참식나무	1.16	-	10.86	2.39
<i>Actinodaphne lancifolia</i>	육박나무	4.40	-	-	2.20
<i>Hedera rhombea</i>	송악	2.48	2.08	-	1.94
<i>Callicarpa japonica</i>	작살나무	-	-	9.42	1.57
<i>Mallotus japonicus</i>	에덕나무	3.00	-	-	1.50
<i>Daphne kiusiana</i>	백서향	-	-	8.29	1.38
<i>Zanthoxylum piperitum</i>	초피나무	-	-	7.63	1.27
<i>Neolitsea aciculata</i>	새덕이	1.23	-	3.90	1.27

Table 4. (Continued).

		Vegetation group III				
Scientific name	Common name	IV			MIV	
		OS	MS	SL		
<i>Machilus japonica</i>	센달나무	1.17	-	3.72	1.21	
<i>Trachelospermum asiaticum</i>	마삭줄	2.37	-	-	1.18	
<i>Actinidia polygama</i>	개다래	1.13	-	1.80	0.87	
<i>Quercus gilva</i>	개가시나무	1.70	-	-	0.85	
<i>Celastrus orbiculatus</i>	노박덩굴	1.25	-	-	0.63	
<i>Albizia julibrissin</i>	자귀나무	1.18	-	-	0.59	
<i>Lindera erythrocarpa</i>	비목나무	1.00	-	-	0.50	
<i>Xylosma congesta</i>	산유자나무	0.96	-	-	0.48	
<i>Idesia polycarpa</i>	이나무	0.92	-	-	0.46	
<i>Actinidia arguta</i>	다래	0.86	-	-	0.43	
<i>Euonymus fortunei</i> var. <i>radicans</i>	줄사철	0.85	-	-	0.43	
<i>Akebia quinata</i>	으름덩굴	0.09	1.04	-	0.39	
<i>Castanopsis sieboldii</i>	구실잣밤나무	-	-	1.80	0.30	
<i>Callicarpa dichotoma</i>	좁작살나무	-	-	1.80	0.30	
<i>Smilax china</i>	청미래덩굴	0.28	-	-	0.14	
<i>Kadsura japonica</i>	남오미자	0.09	-	-	0.05	
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	담쟁이덩굴	0.09	-	-	0.05	
<i>Clematis apiifolia</i>	사위질빵	0.09	0.00	0.00	0.05	

식생그룹 IV는 47종이 출현하였다. 식생그룹 III과 마찬가지로 종가시나무의 평균 중요치가 38.84%로 가장 높은 상록활엽수림 식생으로 종가시나무가 전 층에서 우점하고 있었다(상층 중요치 48.32%, 중층 32.93%, 관목층 22.19%). 교목층에서는 참가시나무(*Quercus salicina* Blume)의 중요치가 7.57%로 종가시나무 다음으로 높았다(Table 5). 초본은 가는쇠고사리의 피도가 높았고 밤일엽(*Neocheiropteris ensata* (Thunb.) Ching)이 특징적으로 균락으로 이루고 함몰지에는 큰봉의꼬리(*Pteris cretica* L.)가 출현하였다. 식생그룹 III과 IV는 식생의 유사성이 높다고 판단하였다.

전 식생그룹에서 송악(*Hedera rhombea* (Miq.) Bean), 마삭줄(*Trachelospermum asiaticum* (Siebold&Zucc.) Nakai), 노박덩굴(*Celastrus orbiculatus* Thunb.) 등의 덩굴성 목본식물이 공통으로 출현하는 특징이 있었다.

Table 5. Importance Value(IV) and Mean Importance Value(MIV) of woody species in vegetation group IV.

		Vegetation group IV			MIV
Scientific name	Common name	IV			
		OS	MS	SL	
<i>Quercus glauca</i>	종가시나무	48.32	32.93	22.19	38.84
<i>Acer palmatum</i>	단풍나무	1.16	20.70	-	7.48
<i>Quercus salicina</i>	참가시나무	7.57	6.88	-	6.08
<i>Distylium racemosum</i>	조록나무	3.21	2.30	8.23	3.74
<i>Neolitsea sericea</i>	참식나무	-	-	21.66	3.61
<i>Trachelospermum asiaticum</i>	마삭줄	3.49	4.64	-	3.29
<i>Styrax japonicus</i>	매죽나무	4.79	1.96	-	3.05
<i>Cinnamomum camphora</i>	녹나무	3.92	1.78	2.21	2.92
<i>Celtis sinensis</i>	팽나무	3.81	1.48	-	2.40
<i>Machilus japonica</i>	센달나무	1.75	3.92	-	2.18

Table 5. (Continued).

Vegetation group IV					
Scientific name	Common name	IV			MIV
		OS	MS	SL	
<i>Cudrania tricuspidata</i>	꾸지뽕나무	0.48	3.04	4.85	2.06
<i>Ficus erecta</i>	천선과나무	0.48	0.48	4.95	1.23
<i>Castanopsis sieboldii</i>	구실잣밤나무	3.45	-	-	1.72
<i>Hedera rhombea</i>	송악	1.25	1.70	2.21	1.56
<i>Celastrus orbiculatus</i>	노박덩굴	2.06	1.41	-	1.50
<i>Callicarpa japonica</i>	작살나무	-	1.75	4.85	1.39
<i>Pinus thunbergii</i>	곰솔	2.61	-	-	1.31
<i>Neolitsea aciculata</i>	새덕이	0.51	2.71	-	1.16
<i>Eurya japonica</i>	사스레피나무	0.81	-	4.42	1.14
<i>Euonymus alatus</i> for. <i>ciliatodentatus</i>	회잎나무	-	-	6.59	1.10
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	취뽕나무	-	2.03	2.21	1.05
<i>Sageretia theezans</i>	상동나무	0.99	1.48	-	0.99
<i>Akebia quinata</i>	으름덩굴	0.55	0.85	2.21	0.93
<i>Cornus macrophylla</i>	곰의말채	1.65	-	-	0.83
<i>Vitis ficifolia</i> var. <i>sinuata</i>	까마귀머루	0.48	0.28	2.21	0.70
<i>Mallotus japonicus</i>	예덕나무	1.34	-	-	0.67
<i>Prunus pendula</i> for. <i>ascendens</i>	올벚나무	0.55	-	2.21	0.65
<i>Viburnum dilatatum</i>	가막살나무	-	1.77	-	0.59
<i>Daphne kiusiana</i>	백서향	-	-	3.07	0.51
<i>Picrasma quassioides</i>	소태나무	0.99	-	-	0.49
<i>Vitis coignetiae</i>	머루	-	0.28	2.21	0.46
<i>Ficus erecta</i>	좁은잎천선과나무	-	-	2.64	0.44
<i>Zanthoxylum piperitum</i>	초피나무	-	-	2.21	0.37
<i>Symplocos tanakana</i>	검노린재나무	-	-	2.21	0.37
<i>Idesia polycarpa</i>	이나무	0.56	-	-	0.28

Table 5. (Continued).

		Vegetation group IV			MIV
Scientific name	Common name	IV			
		OS	MS	SL	
<i>Viburnum odoratissimum</i> var. <i>awabuki</i>	아왜나무	-	-	1.61	0.27
<i>Cinnamomum japonicum</i>	생달나무	0.52	-	-	0.26
<i>Actinidia polygama</i>	개다래	0.51	-	-	0.26
<i>Sapindus mukorossi</i>	무환자나무	0.50	-	-	0.25
<i>Rhamnella franguloides</i>	까마귀베개	0.49	-	-	0.24
<i>Actinidia arguta</i>	다래	0.48	-	-	0.24
<i>Euonymus fortunei</i> var. <i>radicans</i>	줄사철	0.48	-	-	0.24
<i>Smilax china</i>	청미래덩굴	0.14	0.28	-	0.17
<i>Schizophragma hydrangeoides</i>	바위수국	-	0.28	-	0.09
<i>Lonicera japonica</i>	인동덩굴	-	0.28	-	0.09
<i>Smilax sieboldii</i>	청가시덩굴	-	0.28	-	0.09
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	담쟁이덩굴	0.10	-	-	0.05

3) 식생그룹의 계층구조

식생그룹의 계층구조를 파악하기 위해 각 그룹을 구성하는 조사구 층위의 최고 높이 범위와 평균 피도로 단면도를 작성하였다(Figure 4). 식생그룹 I 은 상층(최고높이 11~13.5m), 중층(6~8.5m), 관목층(1~2.5m), 초본층(0.7m)으로 이루어지고 피도는 각각 87.2%, 26.3%, 22.5%, 69.2%이었다. 식생그룹 II는 상층(11.5~13m), 중층(6.5~8m), 관목층(1.5~2m), 초본층(0.7m)으로 이루어지고 피도는 90.5%, 17.5%, 16.5%, 68.3%이었다. 식생그룹 III은 상층(11~14.5m), 중층(7~8m), 관목층(2.5~3m), 초본층(0.7m)으

로 이루어지고 피도는 92.3%, 12.4%, 8.6%, 50.0%로 나타났다. 식생그룹 IV는 상층(12~14.5m), 중층(7~9m), 관목층(1.5~2.5m), 초본층(0.7m)으로 구성되고 피도는 90.8%, 12.8%, 7.3%, 53.3%로 나타났다.

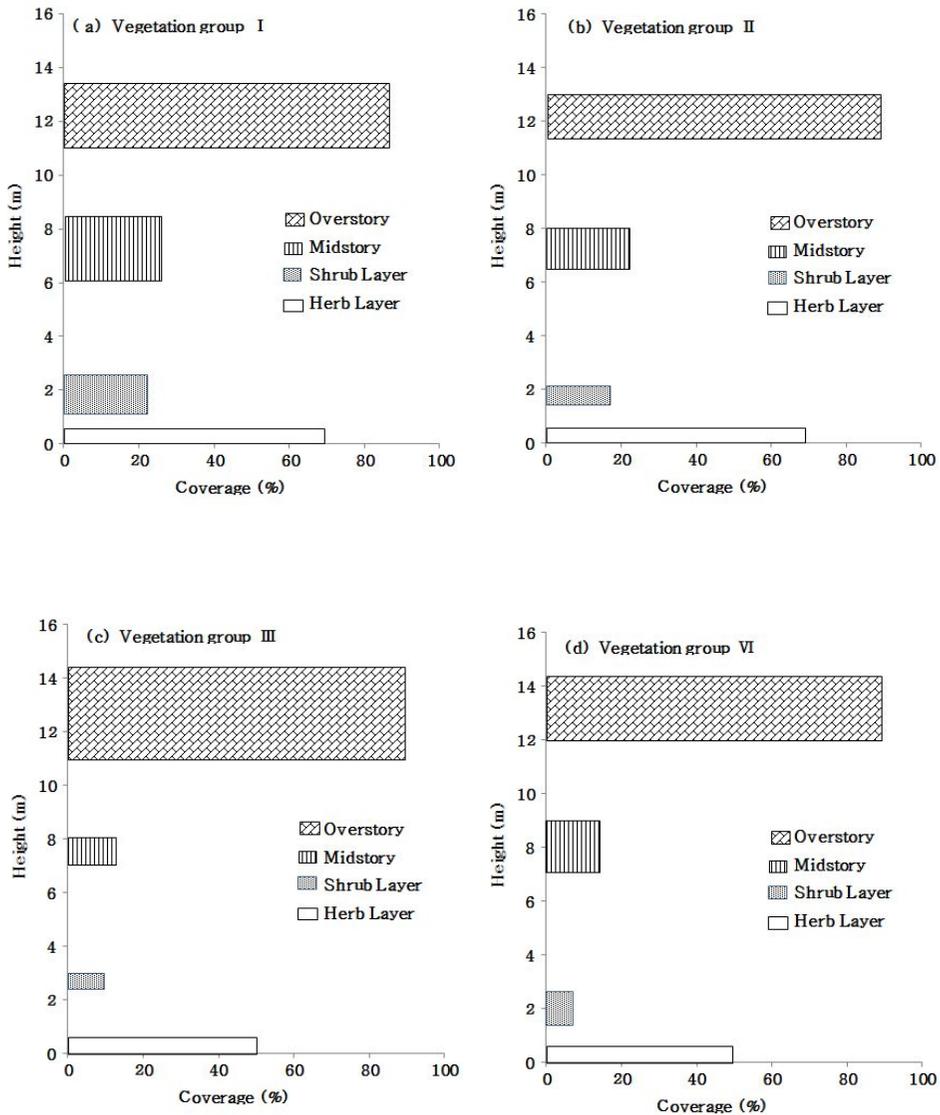


Figure 4. Vegetation strata of the four vegetation groups at study sites. Height: the range of maximum height of trees in each stratum, Coverage: the average coverage of each stratum.

전체 식생그룹 모두 상층, 중층, 관목층 및 초본층의 4층 구조가 온전하지는 못했고 식생그룹 III과 IV는 중층, 관목층, 초본층에서 낮은 피도를 나타내고 있어 식생그룹 I, II에 비하여 상대적으로 층위구조의 발달이 더디게 진행되고 있었다.

4) 식생그룹의 멥아지 구성

조사지역은 상층과 중층에서 멥아지의 구성비율이 매우 높은 특징을 나타냈다(Figure 5). 식생그룹 I은 ha당 출현한 2,776개체 중 2,205개체가 멥아지로 구성되어 79.4%를 차지하였다. 식생그룹 II에서는 전체 2,237개체의 63.6%인 1,422개체가 멥아지였고 식생그룹 III은 2,518개체 중 2,015개체가 멥아지로 80.0%의 구성비를 보였다. 식생그룹 IV는 멥아지의 비율이 가장 높았는데 3,414개체 중 83.3%에 해당하는 2,844개체가 멥아지였다.

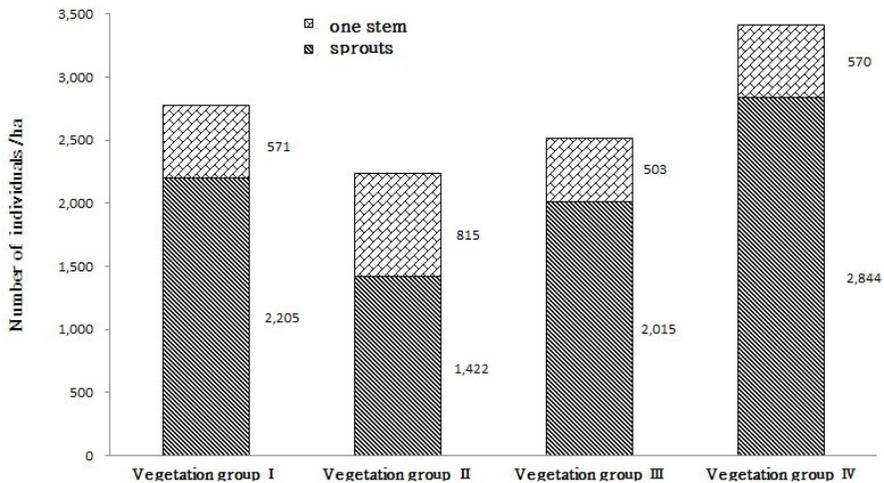


Figure 5. Sprouts density(number of sprouts/ha) by four vegetation groups of study sites.

하나의 뿌리 혹은 줄기에서 평균적으로 분지된 수는 식생그룹별로 각각 3.7개, 3.9개, 4.0개, 4.9개였다. 맹아지는 식생그룹별로 높은 중요치를 나타내는 때죽나무, 단풍나무, 종가시나무 등에서 주로 관찰되었다.

5) 식생그룹의 종다양성

조사지역의 층위별 종다양성을 파악하기 위해 종다양도, 균재도 및 우점도를 구하고 Duncan의 다중검정을 통해 비교한 결과는 Table 6과 같다.

상층에서는 낙엽활엽수림인 식생그룹 I 과 혼효림인 식생그룹 II의 종다양도가 높게 나타나는 경향이 있었고 식생그룹 II의 종다양도는 0.910으로 통계적으로 유의미한 차이를 나타내며 가장 높았다. 이는 낙엽활엽수와 상록활엽수의 혼효 상태의 결과라고 판단된다. 종가시나무가 매우 높은 중요치로 우점하고 있는 식생그룹 IV의 종다양도는 0.441%로 가장 낮게 나타났다.

1에 가까울수록 종별 개체 수가 균일함을 나타내는 균재도 역시 식생그룹 I 과 식생그룹 II가 높게 나타났고 종가시나무의 중요치가 높은 식생그룹 III과 식생그룹 IV에서는 각각 0.639, 0.552로 낮게 나타났다.

Whittaker(1965)는 우점도가 0.9 이상일 때는 1종, 0.3~0.7일 때는 2~3종, 0.3 이하일 때는 다수 종이 우점한다고 하였는데, 식생그룹 I (0.229)과 식생그룹 II(0.162)가 다수 종이 경쟁하고 있음을 파악할 수 있었다. 특히 식생그룹 II는 새덕이, 단풍나무, 때죽나무, 팽나무, 참식나무, 무환자나무, 푸조나무, 예덕나무, 생달나무 등 낙엽활엽수와 상록활엽수 다수 종이 교목층에서 경쟁하고 있었다.

중층에서는 식생그룹 III의 종다양도, 균재도 및 우점도가 통계적으로 유의미하게 차이가 났다. 종다양도 및 균재도는 낮고 우점도는 높아 증가

시나무 중심의 종 구성을 반영하고 있다. 한편 관목층에서는 종다양도, 균재도 및 우점도 모두 식생그룹 간에 유의미한 차이를 나타내지 않았다.

Table 6. Species diversity indices of four vegetation groups by stratum and result of variance analysis by Duncan's multiple range test.

Stratum	Vegetation group	H'(Diversity index)	J' (Evenness index)	1-J' (Dominance index)
Overstory	Vegetation group I	0.751 b	0.771 a	0.229 b
	Vegetation group II	0.910 a	0.838 a	0.162 b
	Vegetation group III	0.616 b	0.639 b	0.361 a
	Vegetation group IV	0.441 c	0.552 b	0.448 a
Midstory	Vegetation group I	0.681 a	0.835 a	0.165 b
	Vegetation group II	0.625 a	0.897 a	0.103 b
	Vegetation group III	0.265 b	0.556 b	0.444 a
	Vegetation group IV	0.535 a	0.839 a	0.161 b
Shrub Layer	Vegetation group I	0.567 a	0.710 a	0.290 a
	Vegetation group II	0.604 a	0.810 a	0.190 a
	Vegetation group III	0.595 a	0.776 a	0.224 a
	Vegetation group IV	0.542 a	0.769 a	0.231 a

Means with the same letter are not significantly different within each stratum at 5% level.

2. 환경구배에 따른 식생분포

식생의 분포는 기후, 지형 및 토양 등의 환경요인과 밀접한 관련을 가진다. 지리적 위치에 따른 기후는 해발, 사면 등의 지형의 영향을 받고 토양은 지형, 기후, 모재, 식생들의 상호작용을 통하여 특성화된다. 기후, 지

형, 토양 등의 특성은 식물의 생장에 영향을 미치고 그 식물들로 구성된 식생은 특정 지역의 환경요인에 최적화된 형태로 분포하게 된다(이우철과 임양재, 2002; 원형규 등, 2005; Oliver and Larson, 1996). 본 연구에서는 토양, 기온, 강수량, 해발 등의 환경요인과 조사지의 식생분포 연관성을 파악하였다. 조사지역은 경사가 거의 없는 평지였기에 사면과 방위 등의 지형요인은 분석에서 배제하였다.

1) 토양분석

토양은 생태계 구성의 중요한 요소 중 하나이고 식생의 분포, 수목의 성장 및 갱신에도 영향을 준다(박관수와 이수욱, 1990; 김태훈 등, 1991). 본 연구 조사대상지의 환경요인과 식생분포와의 관계를 알아보기 위한 토양의 이화학적 분석 결과는 Table 7과 같다.

조사지 식생그룹 토양의 평균 pH는 5.4~6.1의 범위에 있었고 낙엽활엽수림과 혼효림으로 구성된 식생그룹 I 과 식생그룹 II 지역은 타 식생그룹과 우리나라 산림토양 평균 pH 5.48(정진현 등, 2002)보다 높은 수치(6.1, 5.9)를 나타냈다.

제주도의 평균 유기물 함량은 10.4%로 우리나라 산림토양의 평균 유기물 함량 4.49%보다 월등히 높다고 보고된 바 있다(정진현 등, 2002). 조사지역의 평균 유기물 함량은 28.20%로 매우 높게 나타났고 이는 최근 이루어진 고석형 등(2012)의 연구와 유사한 결과이다. 식생그룹 지역 간에 큰 차이는 보이지 않았다.

유기물 함량과 밀접한 관계가 있는 전질소 함량(김태훈, 1991)은 우리나라 평균 전질소 함량 0.19%와 제주도의 평균 전질소 함량 0.43%보다 높은 1.22%로 조사되었다.

Table 7. Soil chemical properties of study sites.

Vegetation group	Survey plot	pH	OM (%)	TN (%)	P ₂ O ₅ (µm)	CEC	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC
						cmol _c /kg					ds/m
Vegetation group I	D1	5.9	22.87	1.109	8.0	28.60	0.60	0.22	14.66	4.22	0.73
	D2	6.0	29.00	1.313	9.0	30.80	0.69	0.22	18.61	5.50	1.06
	D3	6.2	32.19	1.502	7.0	31.68	1.08	0.27	23.28	7.71	0.96
	D4	6.4	34.48	1.392	13.0	29.48	0.94	0.26	36.39	9.21	1.30
	D5	6.2	27.47	1.257	12.0	29.92	1.12	0.26	27.49	7.36	0.97
	D6	6.5	31.49	1.445	6.0	29.92	0.85	0.29	22.23	5.71	1.08
	D7	6.4	33.93	1.528	10.0	31.24	1.01	0.22	25.66	6.24	1.09
	D8	6.2	33.22	1.365	9.0	31.46	1.32	0.25	28.30	6.62	0.96
	K36	5.8	21.01	0.969	12.0	43.46	0.43	0.19	7.18	2.63	0.37
	K37	5.9	21.30	0.827	32.0	51.48	0.64	0.25	12.56	3.61	0.56
	K38	5.4	27.00	1.256	25.0	53.04	0.50	0.32	8.17	4.67	0.59
	K39	5.9	26.54	1.317	12.0	55.30	0.49	0.20	14.50	5.75	0.66
K40	6.0	23.42	1.141	14.0	47.40	0.65	0.20	13.29	5.36	0.63	
Mean		6.1	27.99	1.263	13.0	37.98	0.79	0.24	19.41	5.74	0.84
Vegetation group II	H27	6.1	31.12	1.199	15.0	29.70	1.01	0.25	21.12	6.73	0.39
	H29	6.1	29.06	1.433	24.0	54.72	0.54	0.37	20.66	8.75	1.03
	H30	6.4	24.76	1.316	23.0	55.72	1.27	0.42	26.03	7.28	1.16
	H31	6.0	27.55	1.421	21.0	61.06	0.93	0.38	19.96	9.96	0.99
	H32	6.4	24.17	1.216	22.0	51.24	0.66	0.16	24.78	9.05	0.97
	H33	5.5	26.61	1.282	45.0	51.64	0.80	0.32	9.37	6.50	0.74
	H34	5.9	25.66	1.298	26.0	53.96	1.02	0.35	16.29	6.71	0.85
	H35	5.0	26.76	1.320	35.0	49.16	0.59	0.21	5.87	4.03	0.89
Mean		5.9	26.96	1.311	26.4	50.90	0.85	0.31	18.01	7.38	0.88
Vegetation group III	J9	5.3	23.43	0.878	17.0	29.04	0.52	0.17	2.40	2.88	0.42
	J12	5.5	24.96	0.880	13.0	30.14	0.53	0.24	3.81	2.80	0.40
	C14	5.6	36.13	1.414	14.0	33.88	0.64	0.47	11.21	7.31	1.13
	C15	5.3	26.62	0.875	29.0	32.34	0.53	0.29	6.37	3.06	0.59
	C16	6.2	30.87	1.394	10.0	29.48	1.01	0.25	26.90	6.49	1.01
	S19	5.6	32.73	1.334	10.0	32.78	0.67	0.33	12.07	5.65	1.20
	S20	5.1	24.85	0.867	14.0	29.04	0.39	0.27	1.73	2.80	0.37
	S21	4.8	23.92	0.636	27.0	28.60	0.38	0.40	1.78	4.15	0.54
	S22	5.2	24.30	0.903	25.0	47.22	0.73	0.32	4.49	4.29	0.48
	M23	5.3	34.18	1.387	18.0	33.00	1.40	0.32	15.16	5.90	1.00
	M24	5.3	26.01	0.865	15.0	28.16	0.46	0.26	1.10	2.56	0.39
	Mean		5.4	28.00	1.039	17.5	32.15	0.66	0.30	7.91	4.35
Vegetation group IV	J10	5.1	25.20	0.971	11.0	31.02	0.51	0.20	5.56	5.13	0.34
	J11	5.4	38.24	1.617	16.0	34.10	0.90	0.27	15.79	8.96	0.78
	J13	6.7	37.23	1.819	55.0	73.34	0.75	0.23	54.20	10.83	1.29
	C17	5.1	30.49	1.299	18.0	32.56	0.58	0.37	4.60	4.01	0.70
	C18	5.3	24.81	1.085	21.0	54.08	0.49	0.23	8.64	4.19	0.47
Mean		5.5	31.19	1.358	24.2	45.02	0.65	0.26	17.76	6.62	0.72
Total Mean		5.8	28.20	1.220	18.7	39.99	0.75	0.28	15.47	5.80	0.79

유효인산의 경우 평균 18.7ppm으로 우리나라 산림토양의 평균 함량 25.6ppm(정진현 등, 2002)보다 낮게 조사되었다. 제주도 화산회토양은 유효인산 함량이 매우 낮아 토양의 비옥도가 낮은 원인으로 알려져 있다(고석형 등, 2012). 식생그룹 I 지역은 가장 낮은 유효인산 함량(13.0ppm)으로 조사되었고 식생그룹 II 지역은 산림토양 평균함량을 약간 상회(26.4%)하였다.

치환성양이온은 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 순으로 높게 나타났다. 양이온 치환용량(CEC)은 우리나라 산림토양 평균인 12.5와 제주도 평균치 19.75(정진현 등, 2002)보다 월등히 높게 나타났다.

2) 기후요인

한반도 산지기후자원 전자지도 자료를 바탕으로 조사지역의 연평균 기온과 연 총 강수량의 자료를 정리하였다(Figure 6). 연 총 강수량은 낙엽활엽수림 지역인 식생그룹 I 지역(도너리오름 주변, 상창리)이 1,968mm로 가장 많았고 혼효림으로 구성된 식생그룹 II 지역(화순리)은 1,902mm를 나타냈다. 상록활엽수림 지역인 식생그룹 III과 식생그룹 IV 지역(저지리, 청수리, 산양리, 무릉리)은 1,744mm로 상대적으로 적은 연 총 강수량을 기록했다.

연평균 기온은 식생그룹 I (13.9°C), 식생그룹 II(14.3°C), 식생그룹 III과 식생그룹 IV(14.4°C)순으로 나타났다. 기온의 분포는 각 그룹의 해발고도 분포(식생그룹 I: 353m, 식생그룹 II: 126m, 식생그룹 III, IV: 135m)의 영향을 받고 있는 것으로 사료된다.

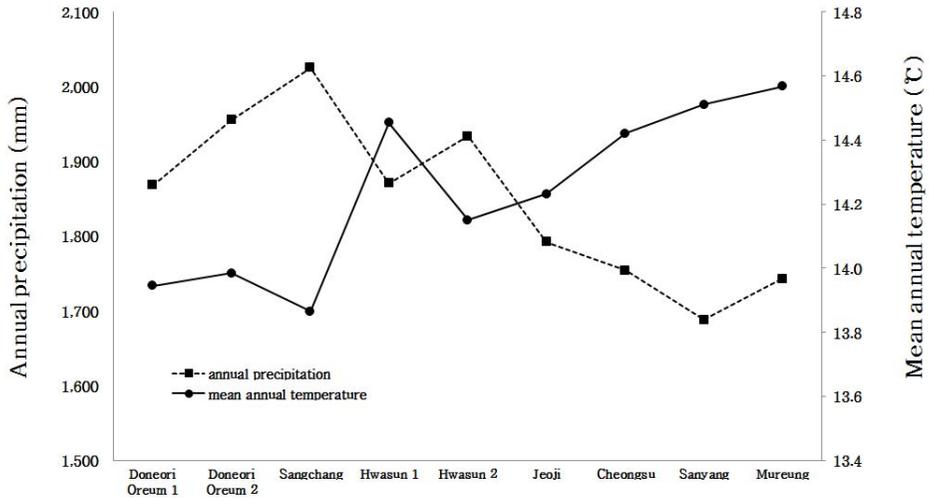


Figure 6. Annual precipitation and mean annual temperature of study sites.

3) Ordination

해발고도, 연평균 기온, 연 총 강수량과 토양의 이화학적 특성 등 13개의 환경요인과 조사지역 식생분포의 상관관계를 분석하기 위해 DCCA ordination을 실시한 결과는 Figure 7과 같다. Figure 7은 TWINSPLAN에 의하여 분류된 4개의 식생그룹을 구성하는 조사구와 환경 요인으로 DCCA ordination을 실행한 결과를 최초 1, 2축 평면상에 나타낸 것이다. 제1축과 제2축의 고유값(eigenvalue)은 각각 0.596, 0.238로 식생분포변이의 상당 부분을 나타내고 있었고 식생그룹Ⅲ을 제외한 식생그룹들은 환경요인에 따라 명확하게 구분되었다.

환경요인과 DCCA ordination 제1, 2축과의 상관관계는 Table 8과 같다. Canonical coefficients와 intraset correlation coefficients는 ordination축에 따라 배열된 식생의 구성을 예측함에 있어 각 환경요인들의 상대적 중요성을 의미한다. Canonical coefficients는 환경요인 간에 상관관계가 있는

경우 다중공선성(multicollinearity)의 문제가 발생하기에 이를 방지한 intraset correlation coefficients를 일반적으로 활용한다(Ter Braak, 1986). 제1축에서는 연 총 강수량이 상관관계가 높았고 Ca^{2+} , Mg^{2+} 와 CEC도 유의미한 상관관계를 나타냈다. 제2축에서는 해발고도와 연평균 기온이 높은 상관관계를 보여주고 있다.

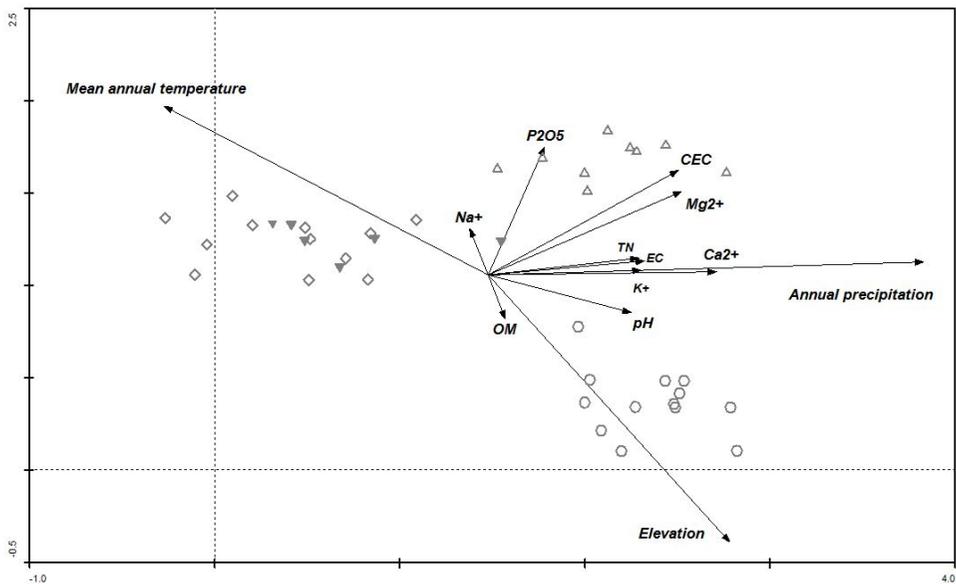


Figure 7. Ordination diagram by DCCA with survey plots(○ = Vegetation group I, △ = Vegetation group II, ▼ = Vegetation group III, ◇ = Vegetation group IV) and environmental variables(arrows).

분석결과에 근거하여 식생그룹의 분포와 환경요인의 관계를 살펴보면, 낙엽활엽수림의 식생그룹 I은 평균 해발고도가 높고 상대적으로 연평균 기온이 낮으면서 연 총 강수량이 많은 지역에 분포하였다. 상록활엽수림의 식생그룹 III과 IV는 해발고도가 낮고 상대적으로 연평균 기온이 높으면서 연 총 강수량이 적은 지역에 분포하였다. 혼효림의 식생그룹 II는

해발고도와 연평균 기온이 상록활엽수림 식생과 비슷하면서도 연 총 강수량이 상대적으로 많은 지역에 분포하였다. 식생그룹 II 지역은 제주도의 서부지역보다 강수량이 많은 남부지역의 기후 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

토양의 이화학적 요인에 따른 식생분포의 구분은 그리 명확하지 않았으나 Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 양이온치환용량(CEC)이 상대적으로 많은 지역에 식생그룹 I 과 식생그룹 II가 분포하였다.

Table 8. Canonical coefficients and intraset correlation coefficients between first two ordination axes and environmental variables.

Variables	Canonical coefficients		Correlation coefficients	
	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2
Elevation	-0.014	-0.661	0.258	-0.860**
Annual precipitation	0.744	0.154	0.901**	-0.125
Mean annual temperature	-0.108	-0.014	-0.341*	0.694**
pH	0.083	0.125	0.317	-0.216
OM	-0.404	-0.385	0.057	-0.123
TN	0.126	0.566	0.306	-0.090
P ₂ O ₅	0.101	-0.014	0.055	0.264
CEC	-0.161	-0.069	0.345*	0.089
K ⁺	0.170	-0.086	0.316	-0.122
Na ⁺	-0.024	0.019	-0.061	0.130
Ca ²⁺	0.087	-0.056	0.474**	-0.191
Mg ²⁺	0.029	-0.018	0.363*	0.035
EC	0.210	-0.091	0.319	-0.102
Eigenvalue	0.596	0.238		

*: p <0.05, **: p <0.01

상록활엽수림(식생그룹 III, IV)은 상대적으로 기온이 높으며 강수량이 적은 건조한 지역에 분포하고, 낙엽활엽수림(식생그룹 I)은 상대적으로 기온이 낮으며 강수량이 많은 덜 건조한 지역에 분포하고 있다. 위 결과와 혼효림(식생그룹 II)이 상록활엽수림 식생그룹 III, IV와 비슷한 해발고도와 연평균 기온을 유지하면서도 강수량의 차이에 의해서 분포역이 분리되는 것을 종합할 때 조사지역의 식생분포에 가장 큰 영향을 미치는 환경요인은 강수량에 따른 수분상태라고 판단된다. 연 총 강수량이 가장 높은 intraset correlation coefficients 값을 나타내는 것은 위 결과를 뒷받침하고 있다.

그러나 이러한 기후와 토양요인만으로 조사대상지의 식생분포를 설명하는 데에는 한계가 있다. 꽃자왈의 암괴상 지질 특성으로 인한 미기후요인을 고려하지 못했고, 인간간섭이 현존식생 구성에 어떠한 영향을 미쳤는지에 대한 해석이 미비하기 때문이다. 조사대상지는 인간간섭으로 갱신된 것으로 추정되는 다수의 맹아지가 세력을 확장·유지하고 있었고(Table 5), 양영환 등(1992)이 예덕나무 군락이 종가시나무 군락보다 인간의 간섭이 심한 지역에 분포할 것이라고 예측한 점 등으로 미루어볼 때, 인간의 간섭시점과 강도를 고려하여야 정확한 결론을 내릴 수 있을 것으로 판단된다.

3. 식생동태

기존 식생의 변화는 내음성, 갱신상태, 생장률 및 고사율 등의 특성에 따라 새로운 종들이 그 세력을 확장함으로써 일어난다(Barhour et al., 1987; Botkin, 1993; Oliver and Larson, 1996). 본 연구는 임령 추정을 통한 식생형성 시점을 확인하고 주요 수종들의 내음성, 흉고직경급·수고급 분포 및 생장상태를 파악하여 현재 우점하는 종들이 어떤 새로운 종들의 정착으로 대

치될 가능성이 높은가에 대해 검토하였다.

1) 임령 추정

조사지역의 중요치가 높은 주요 수종 우세목들의 연륜 측정을 통한 나이를 추정한 결과가 Figure 8이다. 1m 높이에서 연륜시료를 채취하였기 때문에 실제 나이는 수목이 이 높이까지 자란 약 3~5년이 추가되어 고려되어야 할 것이다. 낙엽활엽수인 때죽나무, 단풍나무, 예덕나무, 팽나무 등의 나이는 41~50년 사이에 주로 분포하고 있었고, 상록활엽수인 중가시나무, 참가시나무 등의 나이는 41~45년, 그리고 새덕이는 36~40년 사이에 주로 분포하고 있었다. 주요 수종의 나이를 그룹별로 정리하여 추정한 결과는 Figure 9와 같다. 전체적인 나이의 범위는 18~58년이었고 주로 31~50년 사이에 분포하고 있었다.

조사지의 식생형성 시점을 확인하기 위해 현지 주민을 대상으로 인터뷰를 진행하였다. 인터뷰 내용에 의하면 조사지역의 주민은 1960년대 중반에서 1970년대 초반 정도까지 꽃자왈지역의 나무를 땄감, 농기구 및 가구용 목재 수급 용도로 지속해서 채취하였다. 식생그룹 III과 IV 지역에서는 인근 주민뿐만 아니라 모슬포지역 주민까지 벌목을 해갔고, 모슬포에 있었던 제1육군훈련소에 공납하기 위한 벌목이 1950년대에 집중적으로 이루어졌다. 또한 숲과 옹기를 굽는 가마가 조사지역 근처에 존재하여 이곳에서 많은 양의 연료용 나무를 수급하였다. 벌목이 금지된 이후에도 연탄 등의 연료비 부담으로 불법 벌목이 부분적으로 진행되었고, 1980년대 도시가스가 보급된 이후에는 꽃자왈지역의 벌목이 거의 사라지게 되었다. 조사지역에서 벌목이 진행된 시기에는 나무의 높이가 1m에 이르지 못했고 마을에서의 거리와 상관없이 조사지 전역이 비슷한 상황이었다.

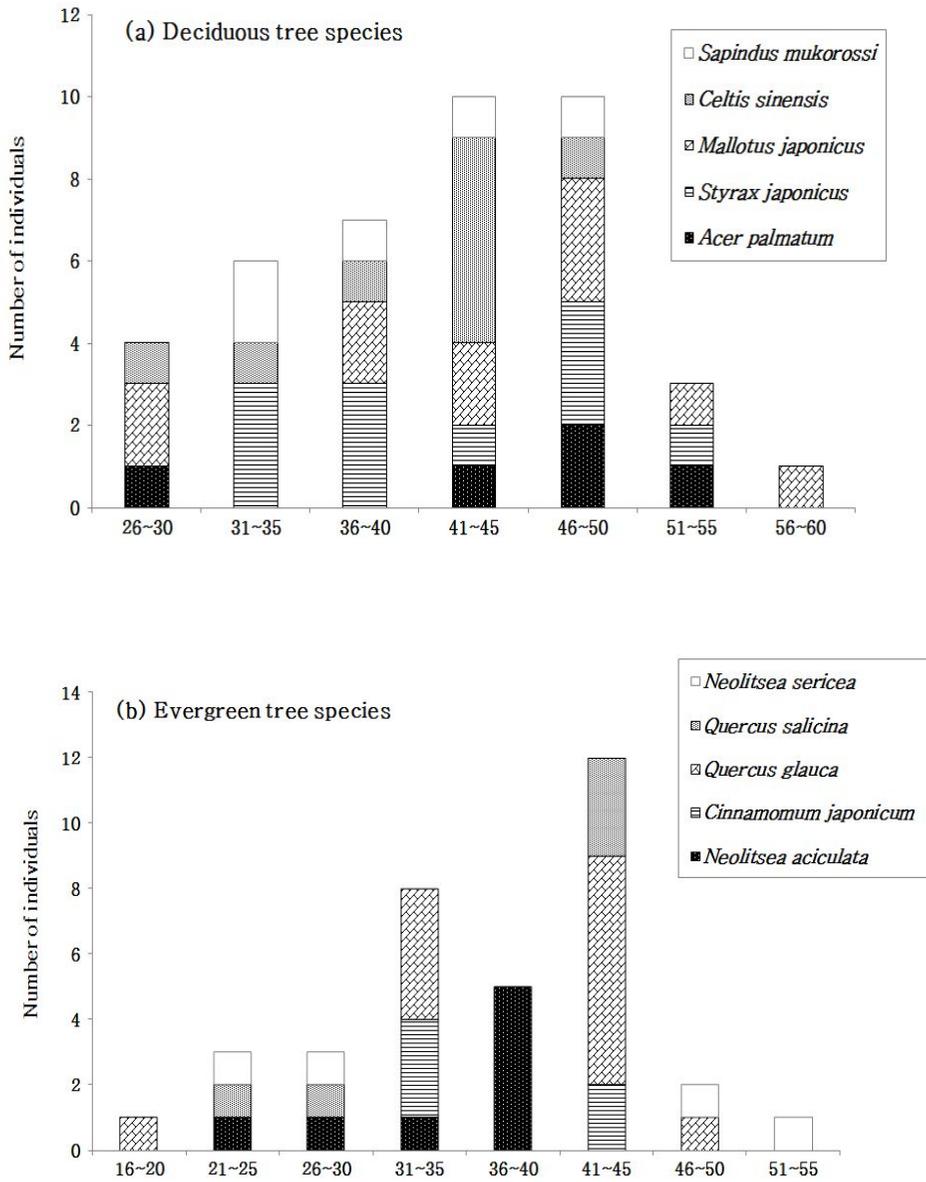


Figure 8. Age distribution of dominant tree species at study sites.

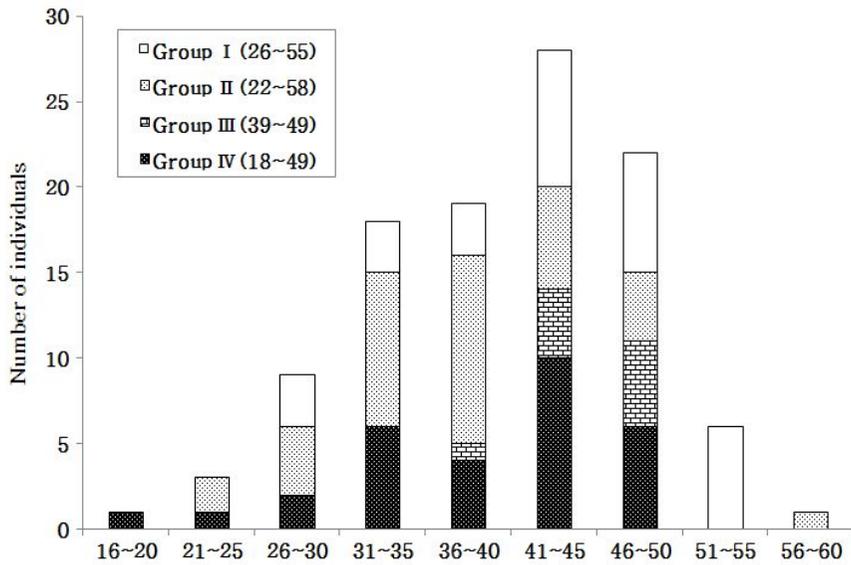


Figure 9. Age distribution of dominant trees at vegetation groups of study sites.

연륜 측정을 통한 1m 높이에서의 수목의 나이 추정과 지역 주민 인터뷰를 종합할 때, 조사지역은 인간간섭이 줄어든 1960년대 중반경부터 형성된 2차림이며 식생그룹 I 과 식생그룹 III, IV 지역은 임령이 40~50년 수준이고 식생그룹 II는 1970년대 중반 이후까지 간섭이 진행되어 임령이 30~40년 정도라고 판단된다.

2) 주요 수종의 내음성 추정

주요 수종의 내음성을 파악하기 위하여 피압목의 밀도와 수고 대비 수관의 비율을 활용하여 Lorimer(1983)의 방법으로 내음성 지수를 계산하였다(Table 9). 내음성이 강한 음수는 단풍나무, 생달나무, 새덕이로 파악되었고 내음성이 약한 양수는 예덕나무, 무환자나무로 파악되었다. 양지와 음지 모두에서 적정한

생육을 하는 중용수는 팽나무, 녹나무, 참식나무, 종가시나무, 참가시나무, 때죽나무로 나타났다.

Table 9. Shade tolerance index of dominant tree species at study sites.

Scientific name	Common name	Number of suppressed trees/ha (a)	Live crown ratio(%) (b)	Relative score		Tolerance index (e)
				(c)	(d)	
<i>Acer palmatum</i>	단풍나무	100.8	47.4	8.9	7.9	8.4***
<i>Celtis sinensis</i>	팽나무	8.1	36.2	1.7	4.4	3.1**
<i>Cinnamomum camphora</i>	녹나무	7.2	38.2	1.4	5.0	3.2**
<i>Cinnamomum japonicum</i>	생달나무	45.0	54.1	6.6	10.0	8.3***
<i>Mallotus japonicus</i>	예덕나무	5.4	22.1	0.5	0.0	0.3*
<i>Neolitsea aciculata</i>	새덕이	78.3	48.3	8.2	8.2	8.2***
<i>Neolitsea sericea</i>	참식나무	142.2	34.8	9.9	4.0	6.9**
<i>Quercus glauca</i>	종가시나무	84.6	36.3	8.4	4.4	6.4**
<i>Quercus salicina</i>	참가시나무	13.5	40.2	3.2	5.7	4.4**
<i>Sapindus mukorossi</i>	무환자나무	4.5	26.0	0.0	1.2	0.6*
<i>Styrax japonicus</i>	때죽나무	16.2	46.6	3.7	7.7	5.7**

(c): relative score of natural logarithm of column (a),

(d): relative score of column (b),

(e): mean value of column (c) and (d),

*, ** and *** indicate shade intolerant, intermediate and shade tolerant species, respectively, point values of boundaries between classes follow those of Lorimer(1983).

위 결과를 선행 연구(임경빈, 1985; 조무연, 1989; 송홍선, 2004)와 비교하였을 때 전반적으로 유사한 경향을 나타냈으나 단풍나무가 중용수에서 음수로, 참식나무가 양수에서 중용수로 분류된 차이가 있었다. 내음성은 지역과 경쟁자에 따라 다르게 나타날 수 있기에(임경빈, 1985) 본 연구결과에 따라 단풍나무는 음수로 참식나무는 중용수로 판단하여 이후 분석을 진행했다. 참식나무가 내음성을 지니고 있다는 결과는 오구균과 최송현(1993), 오구균과 지용기(1995), 그리고 Bhuju and Ohsawa(1999)에 의해 보고된 바가 있다.

3) 흉고직경급과 수고급 분포

흉고직경(DBH)급 분포와 수고급의 분포는 식생의 구조와 동태양상을 예측하는 데 유용한 정보를 제공한다. 특정 식생지역에 새롭게 침입하여 세력을 확장하는 수종이나 안정된 상태의 극상 수종은 흉고직경급 분포가 일반적으로 역 J자형 구조를 이루게 되고 정규분포형과 역 J형이 공존할 때는 후자가 전자를 대치하는 경향을 보인다(Ford, 1975; Harcombe and Marks, 1978; Barhour et al., 1987).

(1) 식생그룹 I

단풍나무, 때죽나무, 예덕나무 등이 우점하는 식생그룹 I의 흉고직경급과 수고급 분포는 Figure 10과 같다. 주요 수종들의 흉고직경급과 수고급 분포는 전반적으로 인간간섭에 의한 동령림의 특징이라고 해석되는 정규분포 형태를 띠고 있어 당분간 그 세력이 유지될 것으로 추측된다. 단풍나무는 5~10cm, 때죽나무와 예덕나무는 10~15cm, 팽나무는 15~20cm의 흉

고직경급 개체의 밀도가 높다. 수고급에서는 팽나무가 12~14m에 가장 많이 분포하고 때죽나무와 예덕나무는 9~12m에 주로 분포하여 상층을 이루고 있었다. 단풍나무는 6~9m의 개체 수가 가장 많아 중층에서 세력이 가장 컸다.

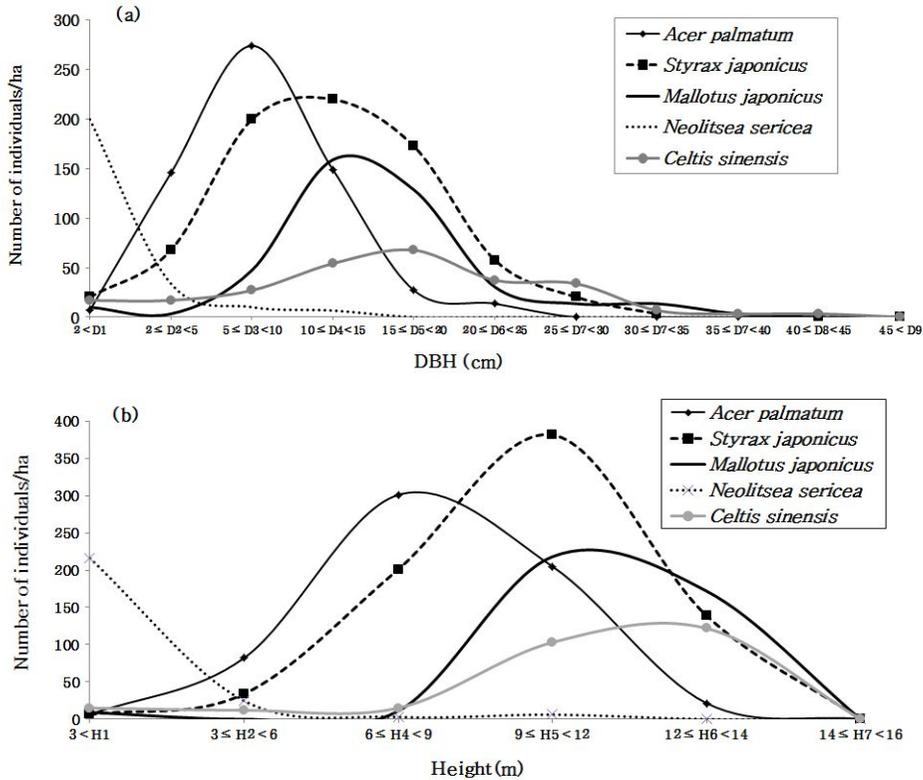


Figure 10. DBH(a) and height(b) distribution of major tree species in vegetation group I.

참식나무는 흉고직경급 2cm 이하, 수고급 3m 이하의 어린 개체의 밀도가 높게 나타났다. 현재 중요치가 높은 때죽나무, 예덕나무, 팽나무, 단풍나무의 유목(Sapling)이 미약하게 출현하는 상황에서 중용수인 참식나무의 세력 확장 가능성이 크다고 판단된다. 참식나무는 상록활엽수 식생의 천이 후기종으로 보고된 바가 있다(오구균과 최송현, 1993; 오구균과 지용기, 1995; Bhujju and Ohsawa, 1999).

(2) 식생그룹 II

식생그룹 II는 Figure 11에서 보는 바와 같이 단풍나무와 새덕이가 5~10cm의 흉고직경급과 6~12m의 수고급에 주로 분포하며 상층과 중층에서 경쟁하고 있었다. 때죽나무는 다양한 흉고직경급과 수고급에 분포하고 있었다.

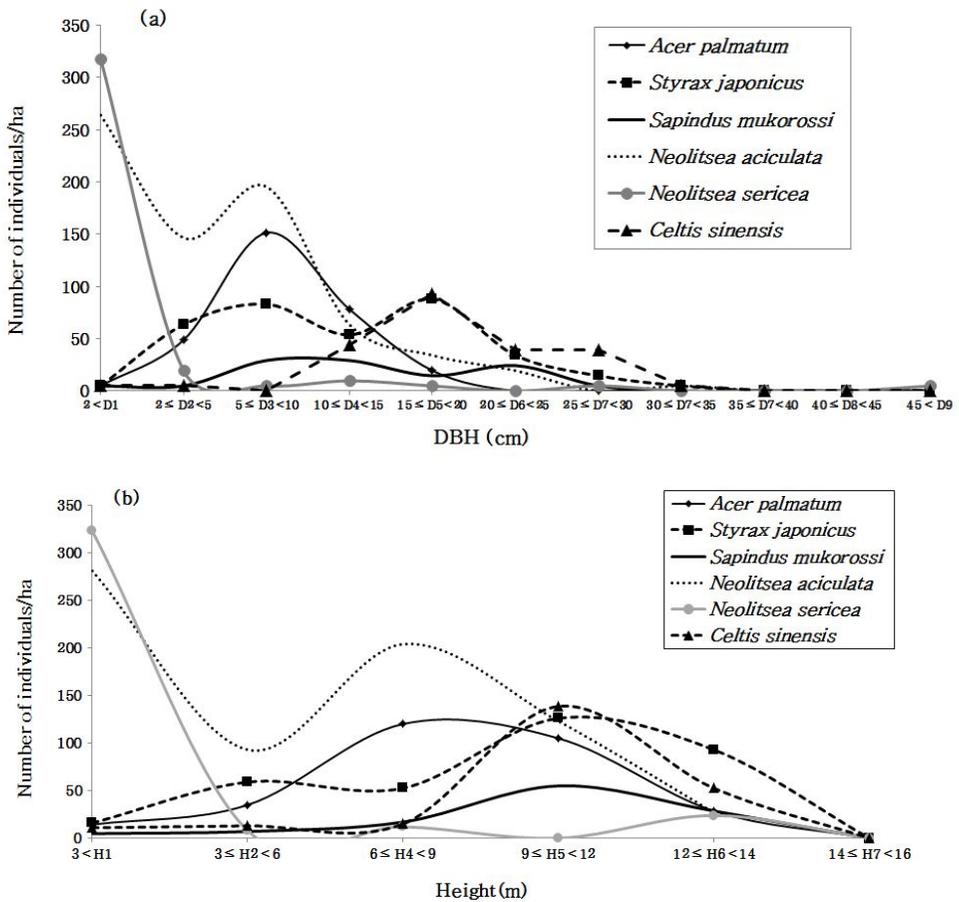


Figure 11. DBH(a) and height(b) distribution of major tree species in vegetation group II.

음수인 새덕이는 직경 5cm 이하의 개체들이 많은 양으로 유입되고 있어 세력 확장의 가능성이 크다고 판단된다. 식생그룹 I 과 마찬가지로 참

식나무의 유목이 다수 출현하고 있어 새덕이와 함께 상록활엽수림으로의 전환을 이끌 것으로 예측된다.

(3) 식생그룹 III

식생그룹 III의 흉고직경급과 수고급의 분포는 Figure 12와 같다.

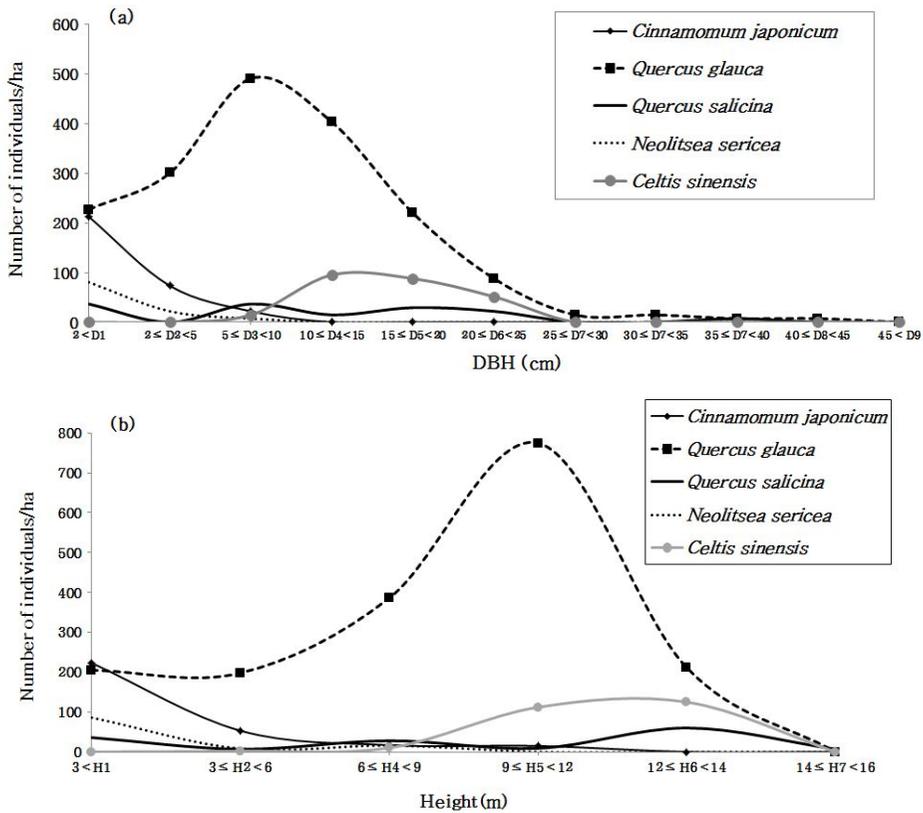


Figure 12. DBH(a) and height(b) distribution of major tree species in vegetation group III.

종가시나무는 흉고직경급 5~15cm와 수고급 9~12m의 개체 밀도가 매우 높은 분포를 하고 있었다. 타 수종의 세력이 미미한 상황에서 상당기

간 종가시나무가 우점하는 식생구조를 유지할 것으로 예측되고, 해당 그룹 조사구의 숲틈마다 약 200여 개 수준의 종가시나무 실생(seedling)들이 발견되어 이들에 의한 갱신의 가능성도 높다고 사료된다. 또한, 흉고직경 2cm 이하의 생달나무가 유목을 양호하게 생산하며 침입하고 있는 것이 발견되었다.

(4) 식생그룹 IV

Figure 13은 식생그룹 IV의 흉고직경급과 수고급의 분포이다.

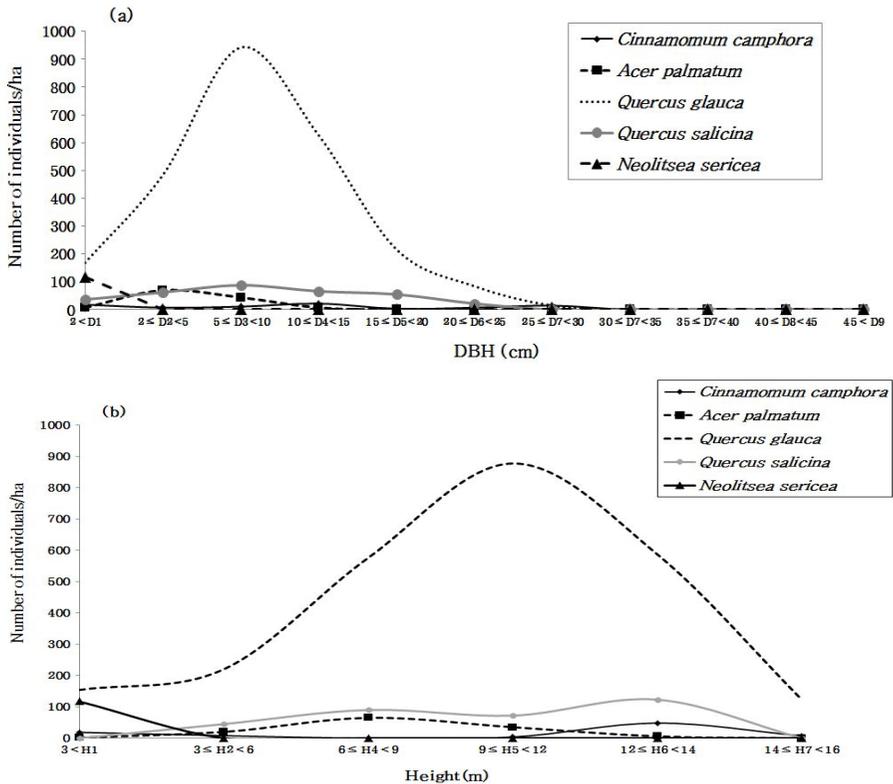


Figure 13. DBH(a) and height(b) distribution of major tree species in vegetation group IV.

식생그룹 IV는 식생그룹 III과 마찬가지로 종가시나무 5~10cm의 흉고직경급과 9~12m의 수고급의 개체 밀도가 매우 높은 정규분포를 하며 세력이 당분간 유지될 것으로 판단되고 참식나무가 유목들을 양호하게 생산하며 침입하고 있다.

4) 연륜 성장과 흉고단면적 성장

각 그룹의 주요 수종의 성장상태를 연평균 연륜 성장량(mean annual radial increment)과 연평균 흉고단면적 성장량(mean annual basal area increment)으로 분석하였다. 수목의 성장상태를 확인할 때 연륜 성장량만을 이용하면 해석상의 오류를 범할 가능성이 있기에 흉고단면적 성장량을 함께 고려하는 것이 바람직하고, 바이오메스의 증가량을 판단할 때는 흉고단면적 성장량이 연륜 성장량보다 더 나은 척도이다(Kim, 1988).

식생그룹 I 과 II를 구성하는 낙엽활엽수 주요 수종의 연평균 연륜 성장량과 연평균 흉고단면적 성장량의 측정 결과는 Figure 14와 같다. 때죽나무는 1990년대부터 연평균 연륜 성장량이 줄어들고 있지만 연평균 흉고단면적 성장량은 20~25cm² 정도를 유지하고 있어 양호한 성장상태를 보이고 있다. 양수인 예덕나무는 초기 높은 연평균 연륜 성장량을 보이다가 하락하는 특징을 보여주고 있으나 17~24cm²의 연평균 흉고단면적 성장상태를 유지하고 있다. 팽나무 역시 연평균 연륜 성장량은 하향 추세이나 연평균 흉고단면적 성장량은 22~27cm²를 유지하고 있다. 단풍나무는 2000년대를 기점으로 연평균 연륜과 흉고단면적 성장량이 일정하게 유지되는 경향을 보이고 있다. 전반적으로 낙엽활엽수 주요 수종은 연평균 연륜 성장량이 줄어들고 있으나 이는 수목의 생리적 특성이 반영된 일반적 추세라고 해석된다. 반면 일정 정도의 흉고직경급에 이르렀기에 연평균

홍고단면적 성장량은 줄지 않고 그 수준을 유지 하는 것으로 판단된다. 낙엽활엽수 주요 수종의 성장상태는 어느 정도 양호한 편이어서, 당분간 그 세력이 유지될 것이라는 홍고직경급 및 수고급 분포의 확인에 기반한 예측을 뒷받침하고 있다.

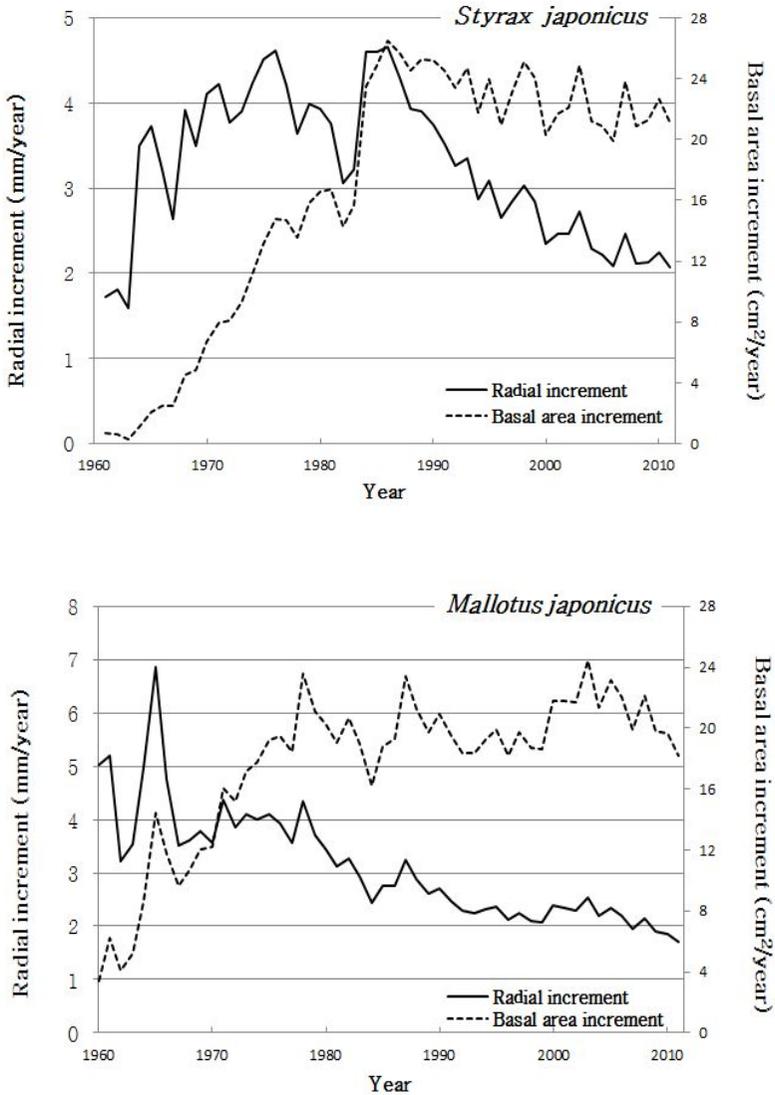


Figure 14. Mean annual radial increment and mean annual basal area increment of major deciduous tree species of study sites.

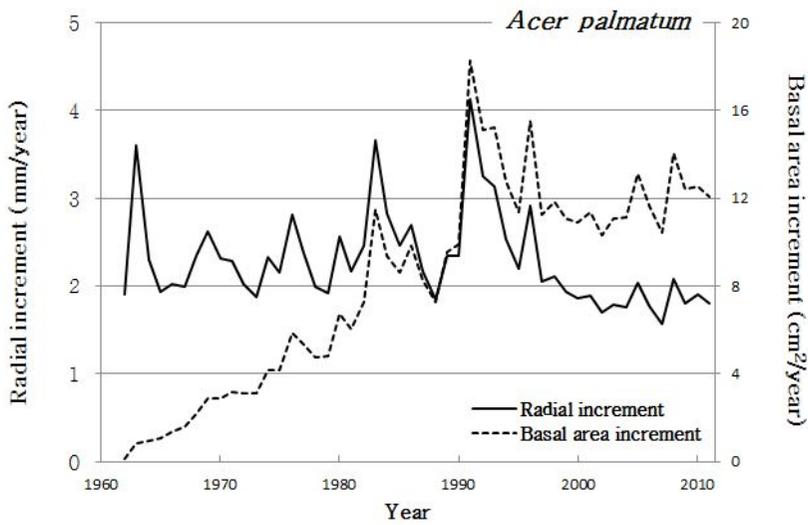
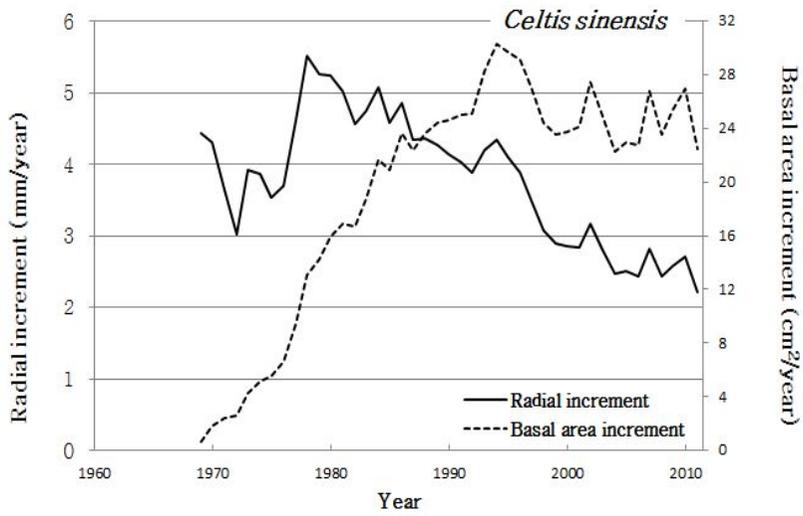


Figure 14. (Continued).

식생그룹 II와 III, IV를 구성하는 상록활엽수 주요 수종의 연평균 연륜 성장량과 연평균 흉고단면적 성장량의 측정 결과는 Figure 15와 같다. 종가시나무는 연평균 연륜 성장량은 하락하고 있어도 연평균 흉고단면적은 24~29cm²의 양호한 성장을 하고 있어 그 세력이 당분간 유지될 것이라는 판단에 설득력을 부여하고 있다. 흉고직경급과 수고급 분포의 확인을 통해 새롭게 세력을 확장할 것으로 판단한 새덕이와 참식나무는 연평균 연륜 및 흉고단면적 성장량 모두 꾸준히 증가하고 있어 낙엽활엽수림에서 상록활엽수림으로의 변화를 이끌 주요 수종이 될 가능성이 크다고 생각된다. 생달나무는 연평균 연륜 및 흉고단면적 성장량이 모두 전반적인 감소 추세여서 흉고직경급 및 수고급 분석을 통해 유의미한 침입이 이루어질 것이라고 한 예측에 대해 좀 더 면밀한 판단이 요구된다.

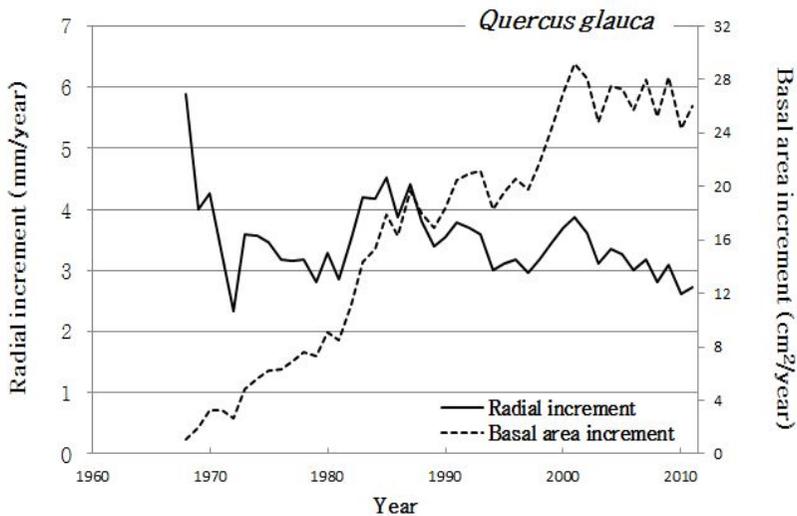


Figure 15. Mean annual radial increment and mean annual basal area increment of major evergreen broad-leaved tree species of study sites.

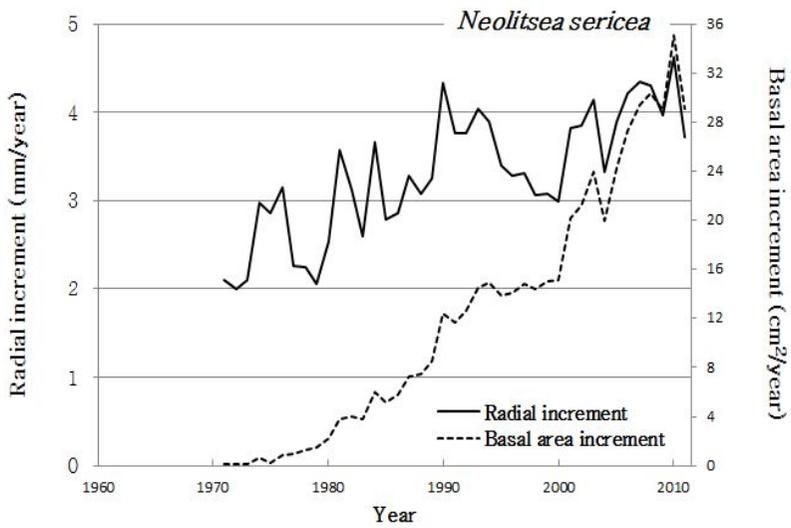
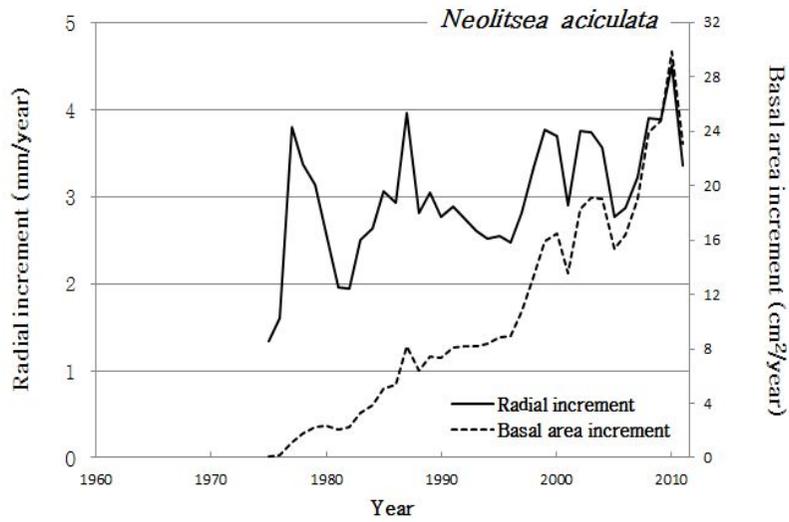


Figure 15. (Continued).

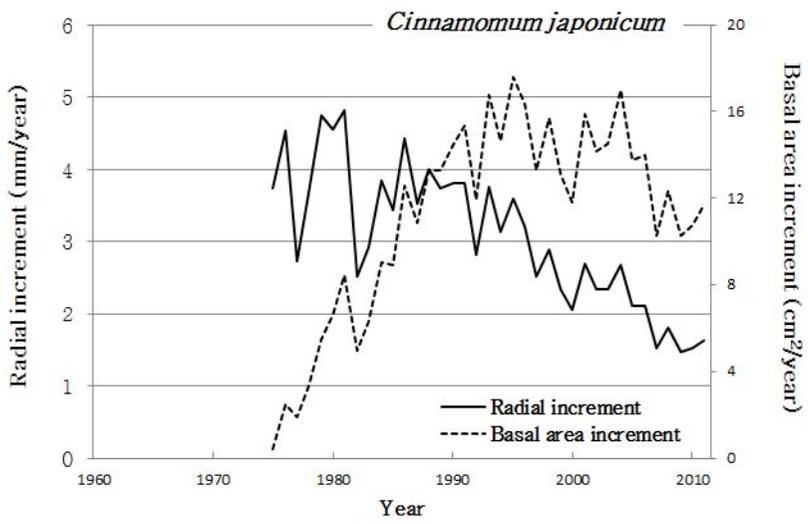


Figure 15. (Continued).

V. 결 론

곶자왈은 제주도 한라산과 해안을 연결하는 생태축으로서 다양한 생태계서비스적 가치를 지니고 있다. 이에 대한 인식을 바탕으로 곶자왈의 보전과 건전한 이용에 대한 사회적 논의가 활성화되고 있다. 그러나 사회적 관심의 증가와 다방면으로 이루어지고 있는 보전 노력에 비해, 그를 뒷받침할 구체적인 과학적 기준이 부족한 실정이다.

본 연구는 제주도 곶자왈지대 중 가장 큰 면적을 차지하고 있으면서 심각한 개발의 위협 아래 놓여 있고 체계적인 식생연구가 진행되지 않은 한경-안덕 곶자왈지대를 대상으로 식생의 구조와 변화 양태를 파악하기 위해 진행하였다.

1. 식생구조

조사대상지의 식생은 낙엽활엽수림 식생그룹 I, 낙엽활엽수와 상록활엽수의 혼효림 식생그룹 II, 상록활엽수림 식생그룹 III과 IV의 4개의 식생그룹으로 나뉘었다. 식생그룹 I은 단풍나무, 때죽나무, 예덕나무, 팽나무가 우점하고 있었다. 식생그룹 II는 상록활엽수인 새덕이와 단풍나무, 때죽나무가 높은 평균 중요치를 차지하고 있었다. 식생그룹 III은 종가시나무의 평균 중요치가 매우 높았고 생달나무가 관목층에서 우점하고 있었다. 식생그룹 IV는 식생그룹 III과 마찬가지로 종가시나무의 평균 중요치가 월등하게 높았다. 각 식생그룹은 전반적으로 지역적 구분이 명확했으나 식생그룹 III과 IV는 그 구분이 불분명했다.

각 식생그룹은 공통적으로 상층, 중층, 관목층, 초본층의 4층위 구조의 발달이 미약했고 맹아로 성장한 개체가 매우 높은 구성비를 나타냈다. 식생

그룹별 교목층의 종다양도는 낙엽활엽수림과 혼효림인 식생그룹 I 과 II 가 높게 나타났고 종가시나무 단일종이 우점하는 식생그룹 III, IV는 낮게 나타났다. 식생그룹 I 과 II 지역은 수종 간 경쟁에 따른 변화의 양태가 상대적으로 빠르게 일어날 것으로 판단된다.

2. 환경구배에 따른 식생분포

환경요인에 따른 식생분포는 식생그룹 분류와 유사한 경향으로 분석되었다. 상록활엽수림(식생그룹 III, IV)은 상대적으로 해발고도가 낮으며 기온이 높고 강수량이 적은 건조한 지역에 분포하고, 낙엽활엽수림(식생그룹 I)은 상대적으로 해발고도가 높으며 기온이 낮고 강수량이 많은, 덜 건조한 지역에 분포하고 있다. 혼효림(식생그룹 II)은 상록활엽수림과 비슷한 해발고도와 연평균 기온을 유지하면서도 강수량의 차이에 의해서 분포 역이 분리되고 있어 조사지역의 식생분포에 가장 큰 영향을 미치는 환경요인은 강수량에 따른 수분상태라고 판단된다.

토양의 이화학적 환경요인 중에는 Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 양이온치환용량(CEC)이 많아 상대적으로 비옥한 토양에 식생그룹 I 과 식생그룹 II가 분포하였다. 식생분포와 환경요인의 관계는 지질적 특성에 의한 미기후 요인과 인간간섭의 시점과 강도 등이 고려되어야 정확한 판단을 할 수 있을 것이다.

3. 식생동태

조사지역의 식생은 인간간섭이 줄어든 1960년대 중반경부터 형성된 2차림으로 판단된다. 식생그룹 I 과 식생그룹 III, IV 지역은 임령이 40~50년 수준이고 식생

그룹 II는 1970년대 중반 이후까지 간섭이 진행되어 임령이 30~40년 정도인 것으로 추정된다.

낙엽활엽수림 지역(식생그룹 I)은 단풍나무, 때죽나무, 예덕나무, 팽나무 모두 흉고직경급과 수고급이 정규분포를 하고 있어 당분간 그 세력이 유지될 것으로 예측되나 어린 개체의 미흡한 발달로, 다량의 유목이 존재하는 상록활엽수이자 중용수인 참식나무로 대체될 가능성이 높을 것으로 예측하였다. 혼효림 지역(식생그룹 II)은 상록활엽수이며 음수인 새덕이가 역 J자형과 유사한 흉고직경급 분포를 하고 있어 단풍나무와 때죽나무를 대체할 것으로 예측된다. 상록활엽수림 지역(식생그룹 III, IV)은 상당 기간 종가시나무가 우점하는 식생구조를 유지할 것으로 판단된다. 수목의 성장량 분석을 통해 때죽나무, 단풍나무, 팽나무, 예덕나무, 종가시나무 등은 연륜 성장량은 줄고 있으나 양호한 흉고단면적 성장을 하고 있음을 확인하였다. 이는 위 수목들이 현재의 세력을 당분간 유지할 것이라는 예측을 뒷받침하고 있다. 새롭게 세력이 확장될 것으로 판단된 새덕이와 참식나무는 연륜 및 흉고단면적 성장량이 모두 꾸준히 증가하고 있었다.

조사지 식생그룹들은 식생형성기(stand initiation stage)와 울폐기(stem exclusion stage)를 거쳐 하층 재도입단계(understory reinitiation) 초기에 들어섰다고 판단된다(Oliver and Larson, 1996). 낙엽활엽수림(식생그룹 I)과 혼효림(식생그룹 II)은 이 시기를 거쳐 상록활엽수림으로 변화될 가능성이 크고 상록활엽수림(식생그룹 III, IV)은 현재 구조로 유지될 것으로 예측된다. 본 연구 결과의 요약은 Figure 16과 같다.

본 연구를 포함하여 제주도 꽃자왈에 대한 생태적 연구는 그동안 제주도 동부와 서부 4개 지대별로 다양한 방법론을 통해 진행되어왔다. 그러나 꽃자왈 보전과 건전한 이용에 대한 보다 합리적인 기준을 마련하기 위해서는 제주도 전체 꽃자왈에 대해 통일된 기준과 방법론을 적용한 연구가 필요할 것이다. 꽃

자왈만의 독특한 지질적 특성에 인한 미기후 요인, 인간간섭의 영향 및 수종의 생리적 특성 등을 고려하여 곳자왈지대 식생의 분포와 구조를 체계화하는 중장기적 모니터링 연구가 진행되어야 할 것이다.

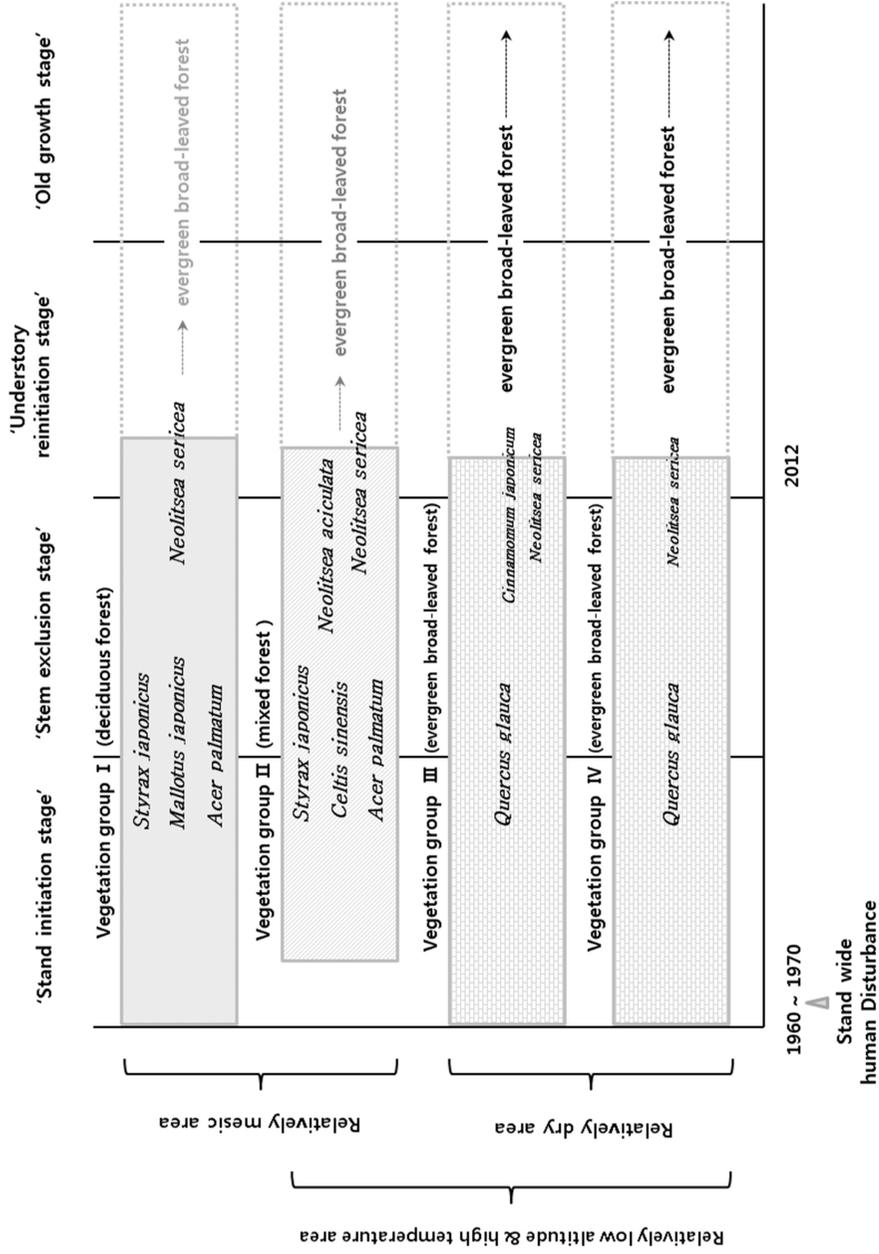


Figure 16. Summary of vegetation structure and dynamics of study sites.

VI. 인용문헌

강만익. 2004. 일제강점기 제주도 공동목장의 운영실태. 제19회 전국향토 문화공모전 수상집. pp. 17-74.

국립산림과학원. 2010. 기후변화에 따른 산림생태계영향 평가 및 적응연구 한반도 산지기후자원 전자지도 제작(2차). pp. 55.

국립환경과학원. 2007. 제3차 전국자연환경조사 지침. pp. 10-38.

국토지리정보원. 2011. 한국지리지 전라·제주편. pp. 717.

고석형, 고정균, 강인보, 김철수, 현해남. 2012. 한라산 장기생태연구지의 토양화학적 및 미생물적 특성 변화. 한라산연구소 조사연구보고서 11호. pp. 117-136.

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

꽃자왈공유화재단. 2012. 제주지역의 꽃자왈의 역할과 보전방안. 제주 WCC 워크숍자료집. pp. 237 .

김대신, 정세호, 김철수, 양승훈, 신창훈, 송관필. 2009. 애월꽃자왈지대의 식생구조. 한국자원식물학회 심포지엄 5: 84.

- 김문홍. 1991a. 제주도 식생의 식물사회학적 연구 1 - 구실잣밤나무와 후박나무의 자연림. 한국생태학회지 14(1): 39-48.
- 김문홍. 1991b. 제주도 식생의 식물사회학적 연구 3 - 2차 초지대. 제주대학교 저널 32: 67-81.
- 김은식, 이육. 2000. 구상나무집단의 생장특성 및 기상요인의 영향분석. pp. 62-92. In: 서울대학교. 산림생태계의 식물다양성 보존 및 서식지 복원을 위한 연구 - 구상나무林을 중심으로-.
- 김종원. 2006. 식물사회학적 식생 조사와 평가 방법. 월드사이언스. 서울. pp. 240.
- 김종홍. 1988. 한반도 상록활엽수에 대한 식물사회학적 연구. 건국대학교 대학원 박사학위논문. pp. 115.
- 김준호. 2004. 한국생태학 100년. 서울대학교출판부. 서울. pp. 547.
- 김지홍. 2003. 천연림의 수종 대치 작용 모델에 의한 산림천이 경향 분석. 임산에너지 22(3): 1-10.
- 김철수, 오장근. 1990a. 다도해 해상국립공원 내의 상록활엽수에 대한 식물사회학적연구(I) - 조도군의 식생을 중심으로-. 한국생태학회지 13(3): 181-190.

김철수, 오장근. 1990b. 다도해 해상국립공원 내의 상록활엽수에 대한 식물사회학적연구(Ⅱ) - 금오열도의 식생을 중심으로-. 한국생태학회지 13(4): 343-359.

김철수, 오장근. 1991. 다도해 해상국립공원 내의 상록활엽수에 대한 식물사회학적연구(Ⅳ) - 외나로도의 식생을 중심으로-. 한국생태학회지 47: 49-62.

김태훈, 정진현, 이충화, 구교상, 이원규, 강인애, 김사일. 1991. 토양유형별 주요수종의 생장. 임업연구원 연구보고 42: 91-106.

김현돈. 2010. 북한산국립공원 삼림식생의 군집동태. 창원대학교 대학원 박사학위논문. pp. 160.

뉴시스. 2011. 제주환경단체 "빈 껍데기 꽃자왈 보전조례 거부한다. 2011. 7. 6.

박관수, 이수욱. 1990. 삼림토양 내의 유기물함량이 토양입단화에 미치는 영향. 한국임학회지 79(4): 367~375.

북제주군. 2000. 북제주군지. pp. 93-101.

(사)꽃자왈사람들. 2005. 꽃자왈이란?

http://www.gotjawal.com/local/local_1.asp(2012. 10. 20)

송국만. 2011. 한라산 구상나무림의 식생구조와 동태. 제주대학교 대학원

- 박사학위논문. pp. 97.
- 송관필. 2007. 한라산 동서사면 상록활엽수림대의 식물상 및 식생. 제주대학교 박사학위논문. pp. 145.
- 송시태. 2000. 제주도 암괴상 아아용암류의 분포 및 암질에 관한 연구. 부산대학교 박사학위논문. pp. 118.
- 송홍선. 2004. 한반도 자생 상록활엽수 도감. 풀꽃나무. 서울. pp. 280.
- 양영환, 김봉찬, 김문홍. 1992. 제주도 식생의 식물사회학적 연구 2 - 활엽수 2차림. 제주대학교 기초과학연구 3(1): 37-48.
- 오구균, 김용식. 1996. 난대 기후대 상록활엽수 복원모형(1) - 식생구조. 환경생태학회지 10(1): 87-102.
- 오구균, 지용기. 1995. 불갑산 상록활엽수림의 식물군집구조. 응용생태연구 9(1): 30-43.
- 오구균, 최송현. 1993. 난온대 상록수림지역의 식생구조와 천이계열. 한국생태학회지 16(4): 459-476.
- 오정수, 이병천, 신준환, 오세원, 김사일. 1991. Z-M 학파의 식물사회학적 식물군집 분류결과와 다변량 기법에 의한 Ordination과 Classification 결과의 비교. 학국임학회 91년도 하계총회 학술발표회 자료집. pp. 48-50.

- 원형규, 정용호, 이충화, 이운영, 정진현, 변재경, 이승우. 2005. 산림토양단면도집. 국립산림과학원. pp. 143.
- 유영한, 이창석. 2003. 제주도 저지대 목밭 식물군락의 2차 천이. 한국생태학회지 26(4): 209-214.
- 윤순진. 2006. 제주도 마을 공동목장의 해체과정과 사회·생태적 함의. 농촌사회 16(2): 44-88.
- 이경준, 한상섭, 김지홍, 김은식. 1996. 산림생태학. 향문사. 서울. pp. 395.
- 이우철, 임양재. 2002. 식물지리. 강원대학교 출판부. 춘천. pp. 412.
- 임경빈. 1980. 경기도지방 해충피해 적송림의 식물사회학적 연구. 한국임학회지 50: 56-71.
- 임경빈. 1985. 조림학원론. 향문사. 서울. pp. 491.
- 임양재, 백광수, 이남주. 1990. 한라산의 식생. 중앙대학교 출판부. 서울. pp. 291.
- 임중환. 1988. 지형에 따른 일사량과 토양 수분의 이질성을 근거로 한 산림동태 예측모델. 서울대학교 박사학위논문. pp. 145.
- 전성우. 2011. 제주 환경자원용량 산정 및 활용. 제주발전연구 15: 53-76.

- 정광중. 2004. 꽃자왈과 제주인의 삶. 제주교육대학교 논문집 33: 41-65.
- 정광중. 2012. 제주의 숲, 꽃자왈의 인식과 이용에 대한 연구. 한국사진지리학회지 22(2): 11-28.
- 정진현, 구교상, 이충화, 김춘식. 2002. 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. 한국임학회지 91(6): 694-700.
- 제민일보 꽃자왈특별취재반. 2004. 제주의 허파 꽃자왈. 아트21. 제주. pp. 288.
- 제주도. 1997. 중산간 지역 종합조사. pp. 344.
- 제주도, 한라산생태문화연구소. 2006. 한라산총서Ⅱ - 한라산의 지형지질. pp. 289.
- 제주일보. 2011. 꽃자왈 보전 정부의지 절실. 2011. 11. 22.
- 제주일보. 2011. 대정읍 일대 '꽃자왈' 도립공원 연내 지정. 2011. 12. 27.
- 제주일보. 2012. 제주 WCC 폐막...열흘 간 대장정 마무리. 2012. 9. 15.
- 제주특별자치도. 2007. 제주도 관리보전지역 재정비 용역 본보고서. pp. 164.
- 제주특별자치도, 국립민속박물관. 2007. 제주의 민속문화④ - 제주의 꽃자왈. pp. 180.

제주특별자치도 제주역사문화진흥원. 2010. 유네스코 제주 세계자연유산마을 선홍1리. p. 146.

제주특별자치도 한라산연구소. 2011. 꽃자왈지대의 식물상 및 곤충상 조사 (3) 구좌-성산 꽃자왈. pp. 84.

제주특별자치도 한라산연구소. 2012. 꽃자왈지대의 식물상 및 동물상 조사 (4) 한경-안덕 꽃자왈 지대. pp. 104.

제주특별자치도 환경자원연구원. 2009. 꽃자왈지대의 식물상 및 곤충 조사 보고서(1) 애월꽃자왈. pp. 102.

제주특별자치도 환경자원연구원. 2010a. 꽃자왈 이야기. pp. 304.

제주특별자치도 환경자원연구원. 2010b. 꽃자왈지대의 지질 및 동식물 조사(2) 조천-함덕 꽃자왈. pp. 184.

조도순. 1990. 삼림생태계에서의 교란과 그 역할. 한국식물학회지 33(2): 147-150.

조무연. 1989. 원색한국수목도감. 아카데미 출판사. 서울. pp. 489.

한봉호, 김정호, 배정희. 2004. 제주도 선홍꽃 초지지역의 천이경향을 고려한 상록활엽수림 복원 연구. 한국환경생태학회지 18(4): 369-381.

한봉호, 김종업, 최인태, 이경재. 2007. 제주도 동백동산 상록활엽수림의 식생구조. 한국환경생태학회지 21(4): 336-346.

환경부. 2012. 꽃자왈 보전 및 현명한 이용대책 마련 연구. pp. 254.

SBS. 2012. 사유지 꽃자왈 훼손 심해...공유화 시작. 2012. 1. 13.

Barhour, M.G., J.H. Burk. and W.D. Pitts. 1987. Terrestrial Plant Ecology. 2nd ed. The Benjamin & Cummings Publ. Co., Menlo Park. CA. pp. 634.

Bhujju, D.R. and M. Ohsawa. 1999. Species dynamics and colonization patterns in an abandoned forest in an urban landscape. Ecological research 14: 139-153.

Botkin, D.B. 1972. Some ecological consequence of computer model of forest growth. Journal of Ecology 60: 849-873.

Botkin, DB. 1993. Forest Dynamics An Ecological Model. Oxford University Press. Oxford. pp. 309.

Braun-Blanquet, J. 1965. Plant Sociology: the study of plant communities. McGraw-Hill. New York. pp. 439.

Brower, J., J. Zar. and C.N. von Ende. 1997. Field and Laboratory Methods for General Ecology. 4th ed. WCB McGraw-Hill.

Boston. pp. 288.

Bugmann, H. 2001. A review of forest gap modeling. *Climatic Change* 51: 259-301 p.

Clements, F.E. 1916. *Plant Succession: An Analysis of The Development of vegetation*. Carnegie inst. Publ. 242. Washington D.C., pp. 512.

Connell, J.H. and R.O. Slatyer. 1977. Mechanism of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* 111: 1119-1144.

Cowles, H.C. 1899. The ecological relations of the vegetation on the sand of Lake Michigan. *Botanical Gazette* 27: 95-117, 167-202, 281-308, 361-369.

Curtis, J.T. and R.P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the Prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.

Daily, G.C. 2000. Management objectives for the protection of ecosystem services. *Environmental Science & Policy* 3: 333-339.

Finegan, B. 1984. Forest succession. *Nature* 312: 109-114.

Ford, E.D. 1975. Competition and stand structure in some even-aged

- plant monocultures. *Journal of ecology* 63: 311-333.
- Gleason, H.A. 1926. The individual concept of the plant association. *American Midland Naturalist* 21: 92-110.
- Grime, J.P. 1974. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature* 250: 26-31.
- Harcomb, P.A. and R.H. Marks. 1978. Tree diameter distribution and replacement processes in southeast Texas forests. *Forest Science* 24(2): 153-166.
- Hill, M.O., R.G.H. Bunce. and M.W. Shaw. 1975. Indicator species analysis, a device polythetic method of classification, and its application to survey of native pinewood in Scotland. *Journal of Ecology* 63: 597-613.
- Hill, M.O. and H.G. Jr. Gauch. 1980. Detrended correspondence analysis, an improved ordination technique. *Vegetatio* 42: 47-58.
- Hill, M.O and P. Šmilauer. 2005. TWINSpan for Windows version 2.3. Center for Ecology and Hydrology & University of South Bohemia, Huntingdon & Ceske Budejovice.
- Horn, H.S. 1975. Forest succession. *Scientific American* 232: 90-98.

- Jongman, R.H.G., C.J.F. Ter Braak. and O.F.R. van Tongeren. 1995. Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 299.
- Kent, M. and P. Coker. 1992. Vegetation Description and Analysis. John Wiley and Sons. New York. pp. 363.
- Kent, M. and J. Ballard. 1988. Trends and problems in application of classification and ordination methods in plant ecology. *Vegetatio* 78: 109–124.
- Kim, E.S. 1988. Radial growth pattern of tree species in relation to environmental factors. Ph.D. Dissertation. Graduate School, Yale University. p. 57.
- Kimmins, J.P. 2004. Forest Ecology. 3rd ed. Prentice Hall. New Jersey. pp. 611.
- Lepš, J. and P. Šmilauer. 2003. Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 269.
- Lorimer, G.C. 1983. A test of accuracy of shade-tolerance classifications based on physiognomic and reproductive traits. *Canadian journal of botany* 61: 1596–1598.

- McCook, L.J. 1994. Understanding ecological community succession. Casual models and theories, a review. *Vegetatio* 110: 115-147.
- Millennium Ecosystem Assessment(MEA). 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press. Washington D.C., pp. 155.
- Müeller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley and Sons. New York. pp. 547.
- Oliver, C.D. and B.C. Larson. 1996. *Forest Stand Dynamics*. update ed. John Wiley and Sons. New York. pp. 520.
- Olson, J.S. 1958. Rate of succession and soil change on southern Lake and dunes. *Botanical Gazette* 119(3): 125-170.
- Pickett, S.T.A. and P.S. White. 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press. Orlando. pp. 472.
- Pielou, E.C. 1969. *An Introduction to Mathematical Ecology*. John Wiley and Sons. New York. pp. 292.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana, IL. pp. 117.
- Tansley, A.G. 1920. The classification of vegetation and the concept of

development. *Journal of Ecology* 8: 118–149.

Ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67(5): 1167–1179.

Ter Braak, C.J.F. and P. Šmilauer. 1998. *CANOCO-Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows*. Microcomputer Power. Ithaca, USA. pp. 352.

Tilman, D. 1985. The Resource ratio hypothesis of plant succession. *American Naturalist* 125: 827–852.

Whittaker, R.H. 1953. A consideration of climax theory: The climax as a population and pattern. *Ecological Monographs* 23: 41–78.

Whittaker, R.H. 1962. Classification of natural communities. *Botanical Review* 28: 1–29.

Whittaker, R.H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science* 147: 250–259.

Abstract

Vegetation Structure and Dynamics of Hankyeong-Andeok Gotjawal Terrain at Western Part of Jeju Island, Korea

by Kang, Hong-Gu

Department of Forest Resources
Graduate School, Kookmin University
Seoul, Korea

This study was conducted on the subject of Hankyeong-Andeok Gotjawal Terrain at western part of Jeju Island, Korea, which is taking up the largest area of Gotjawal terrain, is expected to be in high diversity of vegetation and dynamic change because of the coexistence of forests with evergreen broad-leaved trees and deciduous trees. On the region of Wollim-Shinpyeong and Sangchang-Hwasun lava flow areas in Hankyeong-Andeok Gotjawal Terrain, 40 survey plots in 15m×15m were installed to elucidate 1)vegetation structure, 2)relationship between vegetation distribution and environmental gradient, and 3)vegetation dynamics of study sites through investigating vegetation and soil, sampling the annual ring of dominant trees, etc.

As a result of vegetation classification by TWINSpan, vegetation groups were divided into deciduous forest(vegetation group I), mixed deciduous and evergreen broad-leaved forest(vegetation group II), and

evergreen broad-leaved forest(vegetation group III and IV). Vegetation group I showed a high MIV(Mean Importance Value) in *Acer palmatum*, *Styrax japonicus*, *Mallotus japonicus* and *Celtis sinensis*. Vegetation group II had a high MIV in *Neolitsea aciculata*, which is an evergreen broad-leaved tree, *Acer palmatum* and *Styrax japonicus*. Vegetation group III showed a very high MIV in *Quercus glauca* with *Cinnamomum japonicum* dominating the shrub layer. Vegetation group IV, like vegetation group III, showed a noticeably high MIV in *Quercus glauca*.

According to DCCA ordination analysis, evergreen broad-leaved forest (vegetation group III, IV) is distributed in a dry region with comparatively low altitude, high temperature and less precipitation while deciduous forest(vegetation group I) in a less dry region with comparatively high altitude, low temperature and more precipitation. Mixed forest(vegetation group II), though with similar altitude and annual mean temperature to the evergreen broad-leaved forest, has separate zones in distribution by difference in precipitation. So the moisture condition by precipitation is considered as the environmental factor with the highest effect on vegetation distribution of the surveyed sites.

Vegetation in the surveyed sites is considered a secondary forest formed since the middle of the 1960's with a decreased human interference. For vegetation group I, III and V, the age of the forest is assumed to be 40 to 50years, while for vegetation group II, it is 30 to 40years because interference proceeded even until after the middle of 1970's. In case of

deciduous broad-leaved forest(vegetation group I) with normal distribution in DBH and tree height for all of *Acer palmatum*, *Styrax japonicus* and *Celtis sinensis*, it is expected that the current structure will maintain for the time being. But these deciduous trees are very likely to be replaced by an evergreen broad-leaved and intermediate tree species, *Neolitsea sericea* with a large amount of saplings. For mixed forest(vegetation group II), an evergreen broad-leaved and shade tolerant tree species, *Neolitsea aciculata* with distribution in DBH similar to inversed J-letter shape, is expected to replace *Acer palmatum* and *Styrax japonicus*. For evergreen broad-leaved forest(vegetation group III and IV), it is expected for *Quercus glauca* to dominate for a considerable time in vegetation structure. Through analysis of the trees' growth, it was verified that *Styrax japonicus*, *Acer palmatum*, *Celtis sinensis*, *Mallotus japonicus*, *Quercus glauca*, etc. are decreasing in mean annual radial increment but have a good mean annual basal area increment. This supports the prediction that the above-mentioned trees will maintain the current dominion for the time being. *Neolitsea aciculata* and *Neolitsea sericea* considered to expand their territory were both increasing in their mean annual radial increment and basal area increment steadily. The vegetation groups in the surveyed sites are considered in the early period of understory reinitiation stage after stand initiation stage and stem exclusion stage. Deciduous forest(vegetation group I) and mixed forest(vegetation group II) are likely to change into evergreen broad-leaved forest while evergreen broad-leaved forest(vegetation group III and IV) is expected to maintain in the current structure.

It is expected that the result of this study will be used as a rational data for social discussion in Gotjawal, where the logics of development and conservation are intricately entangled. Also, more detailed ecological study on Gotjawal is considered necessary that can reflect micro-climatic factors caused by geological characteristics, influence of human interference, physiological characteristics of each tree species, etc. through mid-and long-term monitoring on the whole Gotjawal terrain of Jeju-Island.

감사합니다

늦은 공부는 쉽지 않은 선택이었습니다. 믿고 지켜봐주신 많은 분의 도움이 큰 힘이 되었습니다. 무엇보다 만학도를 애정으로 살펴주신 지도교수 김은식 교수님께 감사드립니다.

본 연구를 지원하고 논문심사까지 맡아주신 국립산림과학원 난대·아열대 산림연구소 김찬수 박사님, 부족한 논문의 체계를 잡는 데 많은 도움을 주신 신만용 교수님께 감사드립니다. 대학원 생활 동안 공부하는 즐거움을 일깨워주신 전영우 교수님, 김천 교수님, 김기원 교수님, 김미숙 교수님, 고동욱 교수님, 감사합니다.

수년 전, 본 논문의 연구 대상인 꽃자왈을 처음 만나게 해주신 우종영 선생님, 연구 방법에 대한 조언을 해주신 천정화 선배님, 꽃자왈 관련 자료에 도움을 주신 (사)꽃자왈사람들, 힘든 조사에 큰 힘이 되어주신 이꽃리, 이재철 선생님께도 감사드립니다. 한국임업진흥원 변재경 박사님, 영산강유역 환경청 김영호 박사님, 감사합니다.

환경생태실험실의 김영선 선배님을 비롯한 실원들 모두 감사하고 건승하길 바랍니다. 산림경영학, 산림미학, 조림육종 실험실 동료와 선후배님, 임나나 조교님의 격려와 도움에 감사드립니다.

마지막으로 늘 응원해주는 가족에게 고마움을 전합니다.

강홍구 드림