

추이대 2차림의 식생구조 분석과 온난화에 따른 식생의 변화 예측에 대한 연구¹

- 두륜산을 중심으로 -

이성제² · 안영희^{3*}

Studies of Vegetation Structure Analysis and Anticipation of Vegetation Change due to Global Warming on Secondary Forest in Ecotone¹

Sung-Je Lee², Young-Hee Ahn^{3*}

요 약

본 연구는 식물사회학적 연구방법에 의해 추이대에 속하는 두륜산 일대의 삼림식생을 분류하고, 삼림식생단위와 환경과의 상관관계를 분석하여 온난화에 따른 식생의 수평적 변화를 구성종과 상관식생의 우점종을 통해 예측하는 것을 목적으로 수행하였다. 삼림식생은 졸참나무-굴참나무군락, 붉가시나무-황칠나무군락, 편백나무식재림 등 3개의 군락단위로 구분되었다. 각 삼림군락의 분포와 환경 요인들과의 상관 관계를 분석하였던 바, 모든 삼림군락에서 출현한 동백나무군강의 식별종, 구분종, 난온대성 낙엽활엽수림의 구성종 요소, 상관식생의 주요종을 통하여 낙엽활엽수림인 졸참나무-굴참나무군락은 굴참나무가 상대적으로 높은 출현율을 보이는 지역부터 점차 상록활엽수림으로 천이가 이루어질 것으로 예측된다.

주요어: 난온대, 식물사회학, 기후변화, 상록활엽수림, 붉가시나무, CCA

ABSTRACT

This study aims at classifying and interpreting on the second forest vegetation located in Mt. Duryun affiliated to the ecotone in southern part of Korea, and foreseeing vegetation change based on component species and dominant species on canopy. The second forest vegetation is classified into 3 community units as *Quercus serrata-Quercus variabilis* community, *Dendropanax morbiferus-Quercus acuta* community and *Chamaecyparis obtusa* plantation. This research is also expatiated on the relationship between the distribution of communities and the environmental conditions. *Quercus serrata-Quercus variabilis* community will be succession horizontally and gradually from the part where *Quercus variabilis* is dominated relatively at first to the other part in the community, according to the component species of deciduous broad-leaved forest in the warm-temperate zone and evergreen broad-leaved forest as *Camellietea japonicae*.

KEY WORDS: WARM TEMPERATE, PHYTOSOCIOLOGY, CLIMATE CHANGE, EVERGREEN BROAD-LEAVED FOREST, *Quercus acuta*, CCA

1 접수 2010년 12월 5일, 수정(1차: 2011년 4월 15일, 2차: 2011년 5월 12일), 게재확정 2011년 5월 13일

Received 5 December 2010; Revised(1st: 15 April 2011, 2nd: 12 May 2011); Accepted 13 May 2011

2 日本横浜國立大學大學院環境情報學府 Graduate school of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, Tokiwadai 79-7, Hodogaya, Yokohama(240-8501), JAPAN(phytoeco@gmail.com)

3 중앙대학교 식물시스템학과 Dept. of Plant System Science, Chung-Ang University, Anseong(456-756), Korea

* 교신저자 Corresponding author(ecoplant@cau.ac.kr)

서론

지구 온난화는 지구 표면의 평균온도의 증가를 의미하는 것으로서, 1800년대 후반 이후로 지구의 평균 온도는 약 0.4에서 0.8℃ 상승하였다. 많은 전문가들은 평균기온이 2100년경에는 약 1.4~5.8℃가 상승할 것으로 예상하고 있다. 이는 과거의 증가비율에 비해 더 큰 변화의 비율을 나타낸다. 2100년경의 한반도는 2000년도에 비해 평균기온이 약 3~4℃가 상승하여, 지구의 기온상승률에 비해 더 높은 상승률을 보일 것으로 보고하였다(NASA, 2010).

한반도의 식생의 분포는 최한월 평균기온, 최난월 평균기온, 강수량, 강수량의 계절별 분포 등의 영향에 따라서 상이하다. 우리나라의 연평균 강수량은 약 1,200mm로 비교적 많은 편이며 대부분이 여름에 집중되어 있어 한반도의 식생의 분포는 강수량보다 기온의 영향이 더 크게 작용한다(Heo *et al.*, 2006).

한반도는 기온상승으로 인한 기후대의 변화로 인하여 식생대가 변화할 것으로 예상된다. 지구온난화에 가장 큰 영향을 받는 영역은 두개의 식생대 및 기후대의 중간에 위치하고 있는 추이대로서, 난온대 기후대의 전형적인 상록활엽수림과 냉온대 기후대의 전형적인 낙엽활엽수림의 식생구조의 변화보다 두 식생대가 교차하는 영역인 추이대의 식생구조가 온도변화에 더 민감하게 반응할 것으로 사료된다.

두륜산은 전라남도 해남군 삼산면에 위치한 산으로서 낮은 연봉으로 이루어진 규모 있는 산이다. 북서쪽으로 경사가 완만하며 일면이 해안에 접해 있기 때문에 해안식물에서부터 산지식물까지 볼 수 있는 곳이다(Toh and Park, 1971; Haenam-gun, 2011)

본 연구는 한반도 식생의 추이대 영역에 해당하는 두륜산 일대에 존재하는 2차림의 삼림식생에 대하여 식물사회학적 조사방법을 통해 식생구조를 분석하고, 환경조건과 식생구조 간의 상관관계를 면밀히 분석하는 것을 1차 목적으로 하였다. 또한 조사된 식생 구조를 바탕으로 식생을 구성하는 식물종 및 상관식생의 우점종을 통해 온난화에 따른 식생의 수평적 변화와 형성될 식생구조의 예측을 연구의 2차 목적으로 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역의 환경현황

조사지역에서 가장 가까운 해남측후소의 지난 36년간의 연간 평균온도를 확인하였으며, Kira(1948)에 따라 기온감율 -0.55℃/100m를 적용하여 평균해발고도 180m인 조사지점의 연평균온도변화를 확인하였다(Figure 1). 지난 36년

간 약 0.5℃가 상승한 것을 확인할 수 있었다. 이 온도변화 자료를 바탕으로 조사지점의 온량지수(WI)와 한랭지수(CI)를 계산하여 온량지수 및 한랭지수의 지난 36년간의 변화를 나타냈다(Figure 2, Figure 3). Yim and Kira(1975)와 Yim(1976; 1977) 등의 한반도의 식생 분포와 온도변화의

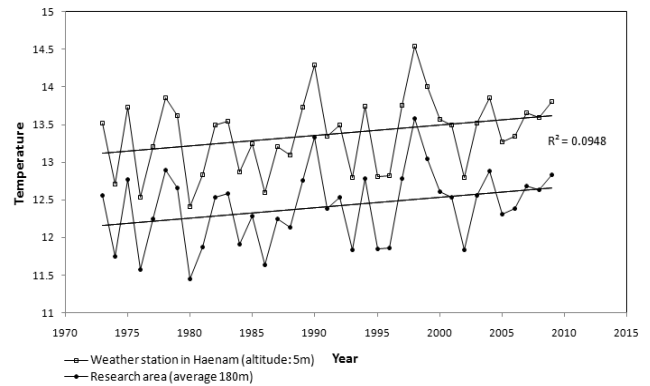


Figure 1. Temperature change for 36 years in the weather station in Haenam and the research area

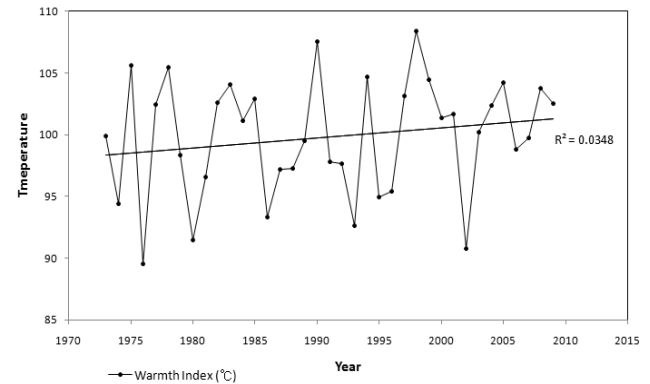


Figure 2. Warmth Index (WI) change for 36 years in the research area

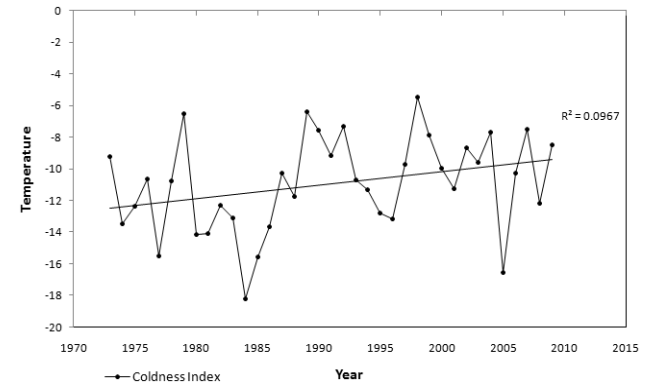


Figure 3. Coldness index (CI) change for 36 years in the research area

요인에 대한 연구를 통해 상록활엽수림은 한랭지수 -10°C 이상에서, 난온대 낙엽활엽수림의 남부영역은 온량지수 약 90°C 이상, 105°C (100°C) 이하에서 형성되는 것으로 보고하였다. 본 조사지점의 지난 36년간 온량지수 변화는 약 95°C 범위에서 101.3°C 범위로 증가하였다. 이와 같은 범위는 난온대성 낙엽활엽수림 내 남부영역에 해당되는 온도범위 내에 속하는 결과로서, 본 조사는 30년 이상 난온대 낙엽활엽수림의 식생대에 속하는 것으로 확인되었다. 최근의 온량지수를 난온대성 낙엽활엽수림 내 남부영역의 다른 온량지수(100°C)를 적용하였을 시, 난온대성 낙엽활엽수림이 아닌 그 다음 단계의 삼림으로 변환되어져 가는 것을 확인할 수 있다. 지난 36년간 한랭지수의 변화는 약 -12.5°C 범위에서 -9.4°C 범위로 증가하였다. 이 범위는 난온대 상록활엽수림의 이전단계에서 최근에 들어 상록활엽수림을 형성할 수 있는 기후조건에 들어왔다는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라서 본 조사지점은 과거에는 난온대성 낙엽활엽수림이 분포하는 기후조건에서 현재 상록활엽수림이 분포할 수 있는 기후조건에 들어온 것으로 사료되며, 각 식생 기후대의 온량지수 및 한랭지수의 구분선을 크게 넘지 못하고 그 선에서 머무는 상태로서 현재 난온대성 낙엽활엽수림대에서 상록활엽수림대까지의 식생대가 형성되어 있는 추이대라고 사료된다.

2. 조사분석

1) 식생조사 및 군락분류

식생조사는 상록활엽수림과 낙엽활엽수림이 공존하는 추이대의 영역에 속하고 있는 두륜산내 삼림으로서, 과거에는 인위적인 영향을 받았으나 현재 인위적인 관리 대신 자연 그대로 방치되어 조사 대상지 조건을 충족시키는 상록활엽수림과 낙엽활엽수림으로 구성된 2차림을 대상으로 실시되었다. 본 연구는 식물종의 생활형과 계절을 고려하여 2009년 9월에서부터 2010년 8월까지 1년에 걸쳐서 실시하였다. 방형구는 수평적 분포를 고려하여 일정고도 범위 내에서 총 35개를 설치하여 식생자료를 획득한 후 군락분류에 이용하였다. 조사지역 일대의 지형도 및 방형구의 배치는 Figure 4에 나타내었다. 방형구는 우세식생구조를 중심으로 조사지역의 전형성, 대표성을 나타낼 수 있는 균질한 식분을 최소면적 법칙에 근거하여 선정하였다(Braun-Blanquet, 1964).

식생조사는 식물사회의 종조성을 중시하는 Z.-M. 학파의 방법을 따랐다(Braun-Blanquet, 1964). 식물의 국명 및 학명은 산림청에서 배포한 국가표준식물목록(The Office of Korean Forestry, 2007)에 준하였다.

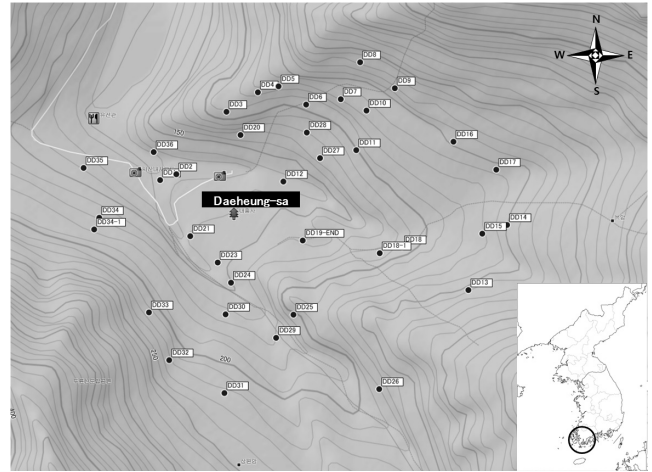


Figure 4. Study areas in the second forest (Topographical map: Garmin mapsource)

2) Ordination 분석

조사구에 대한 ordination 분석은 식물사회학적 조사법에 따른 종의 우점도 및 군도 등급에 대해 Tang(2010)의 방법을 개선·응용하여 정량화(+→0.1, +.2→0.5, 1.1→2.5, 2.1/1.2→8.75, 2.2→15, 2.3/3.2→26.25, 3.3→37.5, 4.3/3.4→50, 4.4→62.5, 4.5/5.4→75, 5.5→87.5)한 다음, 조사구 사이에 유사도를 계산하고, 종간의 상호유의성을 통한 Detrended Correspondence Analysis(DCA) 방법을 적용하여 소프트웨어 PC-ORD 4.41(McCune and Mefford, 1999)에 의해 분석하였다. 또한 환경조건과 식생 분포와의 관계를 알아보기 위하여 Canonical Correspondence Analysis(CCA) 방법을 이용하였다. 일반적으로 우점도 등급을 정량화하여서 분석하는 경우(Van der Maarel, 1979; Ahn *et al.*, 2007; Song *et al.*, 2009)가 주를 이루어져 왔으나, 본 연구의 우점도 및 군도 등급의 정량화는 기존의 Braun-Blanquet(1964)의 우점도 계급값에 비하여 더 자세한 차이를 반영하고, 우점도 계급 이외에 군도 계급의 군락형성에 영향력을 통하여 좀 더 명확한 군락구분을 도출하기 위함이다.

3) 환경조건 분석

환경조건 분석을 위하여, 토양조사는 토양채취가 불가능하였던 지점(DD12, DD23)을 제외하고 각 조사지점에서 유기물층을 제거한 후 A층에서 약 1kg을 채취하였다. 조사지점 중 토양시료는 실내에서 완전히 풍건한 다음, H_2SO_4 , 유기물(O.M.), pH, 총질소(T-N), 인산(P), 치환성양이온(K, Mg, Ca), 전기전도도(E.C.)를 분석하였다. 토양조사 이외에 조사지 사면경사도, 사면방향, 해발고도를 함께 분석하였다.

사면경사도, 사면 방향, 해발고도는 Clinometer(Kanayama Co. Japan) 및 GPS(Garmin, Oregon-300)로 측정하였다.

4) 식생분포의 변화 예측 분석

식생분포의 변화 예측 분석을 위하여, 군락을 형성하는 주요 우점 수종을 선정하였다. 군락의 분포와 상관성이 있는 환경조건을 선정하여 이를 기준으로 각 주요 우점종의 층별 분포를 확인하였으며, 일부 상록활엽수종의 출현을 토대로 식생분포의 변화를 예측하고자 하였다.

결과 및 고찰

1. 2차림의 식물사회학적 식생구조 분류

전통적인 식물사회학적 분석 방법을 통한 식생구조 및 분포 분석 결과, 상관식생분석과 마찬가지로 세 유형의 군락으로 구분되었다(Table 1). 이와 같은 세 군락들은 졸참나무-굴참나무군락, 붉가시나무-황칠나무군락, 그리고 편백나무식재림으로서, 식물사회학적 표 조작을 통한 식생구분을 통하여 3개의 식생단위는 다시 하위단위로 구분되었다. DCA 결과는 식물사회학적 식생구분 결과와 유사하게 3개의 군락들로 명확히 분포하였다(Figure 5).

1) 붉가시나무-황칠나무군락

본 군락은 평균 해발고도 203.57m로서 모든 군락 중 상대적으로 가장 높은 고도에 분포한다. 본 군락의 우점종은 붉가시나무로서 과거에 주변 사찰로부터의 인위적인 간섭 영향이 존재하였다고 사료되어지나, 현재는 자연 그대로 보호되어지고 있다. 평균경사도는 24.0도로서 다른 군락의 평균경사도(졸참나무-굴참나무군락: 17.56; 편백나무식재림: 8.20)에 비하여 급한 경사를 지닌 지형조건이다. 평균 출현종수는 28종으로 다른 군락의 평균 출현종수(졸참나무-굴참나무군락: 41종; 편백나무식재림: 45종)보다 매우 낮은 출현 종수인 것을 확인할 수 있다.

붉가시나무-황칠나무군락은 졸참나무-굴참나무군락 구분종의 유무 및 난온대 낙엽활엽수림 구성요소의 많고 적음에 따라서 전형군과 졸참나무군으로 다시 구분되었다. 전형군은 난온대 낙엽활엽수림 요소가 사람주나무(조사구: DD36; 우점도 및 군도: +), 쪽동백(DD36, 1.1), 개서어나무(DD9, 1.1; DD20, 2.2)를 제외하고 전혀 출현하지 않았다. 이에 반해 상록활엽수림의 구성요소인 동백나무군강의 표징종 및 구분종은 상대적으로 높은 우점도 및 군도를 보였다. 그러나 졸참나무군은 난온대 낙엽활엽수림 요소가 상대적으로 높은 우점도 및 군도로 나타났으며, 졸참나무-굴참나무군 구분종까지 높은 비율로 출현하였다. 졸참나무

군은 다시 전형아군과 나도밤나무아군으로 구분되었다. 전형아군은 붉가시나무-황칠나무군락의 구분종이 전혀 출현하지 않으며, 동백나무군강 요소들이 상대적으로 낮은 출현율과 우점도를 보인다. 또한 난온대 낙엽활엽수림 요소가 상대적으로 높게 출현하는 하위단위이다. 나도밤나무아군은 상록활엽수림 구성요소의 높은 출현 비율과, 비자나무-느티나무군락을 구성하고 있는 종들이 상대적으로 높은 출현율 및 우점도를 이루고 있는 하위단위이다.

2) 졸참나무-굴참나무군락

본 군락은 평균 해발고도 174.25m로서 붉가시나무-황칠나무군락과 29.32m의 고도차를 보였다. 이는 식생의 분포에 있어서 높은 고도차이가 아니다. 본 군락은 졸참나무 및 굴참나무외에 초본층에서 조릿대가 우점하는 것으로 나타났다. 평균경사도는 17.56도로서 붉가시나무-황칠나무군락과 6.44도의 차이를 보였으며, 편백나무식재림과는 9.36도의 차이가 나는 것으로 나타났다. 평균출현종수는 41종으로 붉가시나무-황칠나무군락에 비하여 평균 3종이 더 확인되었으나, 편백나무식재림(45종)에 비해 상대적으로 평균 4종이 적게 출현하였다.

졸참나무-굴참나무군락은 수종의 높은 출현율·피도·군도 등을 지닌 난온대 상록활엽수림 구성요소 이외에, 높은 출현율의 동백나무군강의 구성요소에 따라서 다시 동백나무군으로 구분하였다. 이는 본 지역이 추이대 중에서도 난온대성 상록활엽수림에 가까운 식생구조를 의미한다고 사료된다. 동백나무군은 다시 비자나무-느티나무군락의 구성요소와 소나무림의 구성요소에 의해서 느티나무아군과 소나무아군으로 구분되었다. 소나무림의 구성요소는 느티나무군에서도 출현하는 것으로 나타났으나 소나무림의 구성요소에 비하여 비자나무-느티나무군락의 구성요소가 상대적으로 높은 비율로 출현하기 때문에 느티나무군으로 명명하였다. 소나무군은 상대적으로 비자나무-느티나무군락의 구성요소가 낮은 출현율을 보이며, 높은 소나무림 구성요소의 출현에 따라서 명명하였다. 난온대 낙엽활엽수림의 구성요소 이외에 단풍취, 만주고로쇠, 물푸레나무 같은 냉온대 낙엽활엽수림 요소가 낮은 우점도로 함께 출현하는 것을 확인할 수 있다. 본 군락은 그 구성종의 출현이 상록활엽수림 구성요소에서부터 낙엽활엽수림의 구성요소까지 높은 출현비율로 나타남으로 인해 식물사회학적 분석에서 명확한 하위단위 구분을 하는 것이 불가능하였다. 이와 같은 결과는 본 군락은 냉온대성 식물에서부터 난온대성 식물까지 모두 존재하는 식생구조로서, 냉온대지역의 전형적인 낙엽활엽수림에 가까운 추이대의 식생보다, 상록활엽수림과 함께 공존할 수 있는 추이대의 대표적인 식생구조라 사료된다.

다른 조사구로부터 떨어져 있는 조사구 DD23는 상록활

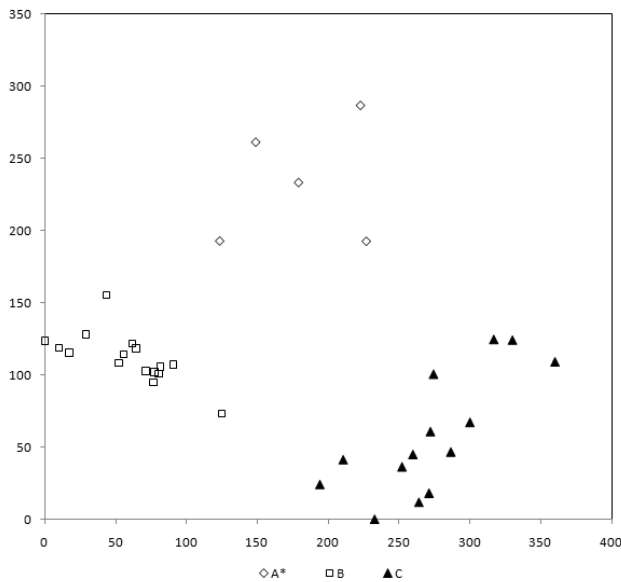


Figure 5. Detrended Correspondence Analysis (DCA) ordination of research stands in the second forest

*A-C: vegetation units (A: *C. obtusa* afforestation, B: *Q. serrata-Q. variabilis* community, C: *D. morbiferus-Q. acuta* community)

엽수림의 구성요소인 동백나무군강의 표징종 및 구분종 중 동백나무, 소엽맥문동, 맥문동, 송악 등을 제외하고 대부분이 출현하지 않았으며, 난온대 낙엽활엽수림의 구성요소도 적은 출현 종수(덜꿩나무, 쪽동백)와 그 우점도가 낮은 것으로 조사되었다(Table 1, Figure 5). 또한 다른 졸참나무-굴참나무군락의 조사구에 비하여 하부식생의 조릿대 개체의 우점도 등급이 매우 낮은 결과인 것을 확인할 수 있다. 본 조사구는 다른 모든 조사구에 비하여 초본층의 주름조개풀과 관목층의 차나무의 우점도 및 군도 등급(3.2; 3.3)이 매우 높은 것으로 나타났다. 이 결과는 낙엽활엽수림 내에서 인위적인 영향을 많이 받았던 조사구였으나 현재 방치로 인하여 인위적인 영향이 그대로 남아 있는 것으로 사료된다.

졸참나무의 수명은 길지만 졸참나무림의 식생을 유지하기 위한 어린 수종의 성장 및 발아는 매우 어렵다. 이는 시간이 지남에 따라 졸참나무림의 확장 대신 졸참나무림의 축소가 이루어질 것으로 사료된다. 이는 졸참나무림 이외의 식생이 증가할 것이다. 온난화와 관련해서 상록활엽수림의 식생종류가 증가할 것이며, 이외 낙엽활엽수림 내 요소로서는 조릿대 개체가 증가할 가능성이 높다(Watanabe, 2009). 온난화로 인한 식생대의 변화를 고려하였을 시 전형적인 난온대성 수종이 아닌 조릿대 개체의 증가는 일시적인 현상으로 사료된다. 그러나 상록활엽수림의 식생은 지구온난화로 인한 온도변화로 인하여 그 면적이 증가할 것이라 사료

된다. 위에서 나타난 독립된 조사구의 식생구조는 상록활엽수종이 하부식생을 우점하며, 인위적인 관리가 이루어지지 않는 이상 다른 조사구처럼 하부식생 내 조릿대가 우점할 가능성은 매우 낮다고 사료되어진다. 또한 기존의 졸참나무-굴참나무군락의 낙엽활엽수림 역시 기온상승에 따라서 상록활엽수림으로 자연적인 천이가 이루어질 가능성이 매우 높은 것으로 사료된다.

3) 편백나무 식재림

본 군락은 평균 해발고도 130.20m로서 모든 군락 중 상대적으로 가장 낮은 고도에 분포한다. 본 군락의 우점종은 편백나무로서 과거에는 경제적 이용을 위해 사찰 주변에 심어진 인공림이었으나 현재에는 특별한 간섭없이 자연 그대로 방치되어 있다.

평균경사도는 8.20로서 다른 군락의 평균경사도에 비하여 가장 완만한 경사를 지닌 지형조건이다. 평균출현종 수는 45종으로 다른 군락의 평균 출현종 수에 비하여 가장 높은 수치를 나타내고 있다. 이는 주변의 상록활엽수림 및 낙엽활엽수림의 구성종이 모두 유입되고, 상대적으로 완만한 경사도로 인하여 식물종의 유실이 적음이 원인이라고 사료되어진다.

본 식재림은 난온대 낙엽활엽수림의 구성요소의 출현율·우점도·군도에 비하여서 상록활엽수림의 구성요소인 동백나무군강의 표징종과 구분종의 출현율·우점도·군도가 상대적으로 높게 나타났다. 일본의 경우, 편백나무식재림은 난온대 상록활엽수림과 인접한 지역에 주로 식재되어 있는 수종으로써 현재는 대부분이 자연방치의 상태이다. 본 식재림 역시 일본 식생의 경우와 마찬가지로 난온대성 낙엽활엽수림 구성요소에 비하여 상대적으로 상록활엽수림의 구성요소가 더 쉽게 유입된 것으로 사료되어진다. 특히, 상록활엽수림인 붉가시나무-황칠나무군락에서 출현한 비자나무-느티나무군락 구성요소의 상대적으로 높은 출현비율과 소나무림 구성요소의 낮은 출현율을 통해 본 식재림 역시 상록활엽수림과 상대적으로 더욱 유사한 식생구조라고 사료된다.

2. 환경조건과 식생분포와의 상관관계 및 식생구조의 변화 예측

조사방법에서 언급한 바와 같이 12개의 환경조건과 식생분포와의 상관관계를 분석한 결과(토양조사가 불가능했던 두 조사구 제외), 식생분포에 있어서 5개의 환경조건과 유의성이 있는 것으로 나타났다(Figure 5). 이 분포결과는 DCA 결과와 대체적으로 유사하나 붉가시나무-황칠나무군락과 졸참나무-굴참나무군락의 분포에 있어서 차이를 보이

고 있다. 이 차이는 환경의 직접적인 영향이 큰 것으로 사료된다.

1) 환경과의 상관관계

식생의 분포와 해발고도간의 관계에 있어, 상록활엽수림(붉가시나무-황칠나무군락)이 낙엽활엽수림(졸참나무-굴참나무군락)에 비해 상대적으로 높은 해발고도에 형성되는 조사구 수가 더 많이 나타나는 것으로 조사되었다(Table 2, Figure 6). 졸참나무-굴참나무군락의 분포는 높은 고도에서부터 낮은 고도에까지 광범위하게 분포하는 것으로 나타났다. 본 결과는 저해발고도의 붉가시나무-황칠나무군락과 상대적 고위도의 졸참나무-굴참나무군락으로의 분포인 일반적인 난온대 식생의 수직분포에 반하여 차이를 보이는 결과이다. 이는 130m전후~250m전후의 사이에 대부분의 조사구를 설치하여 확인된 결과로서 식생의 분포에 있어서

수직적 분포의 차이라고 언급하기 어려운 해발고도의 차이로 사료된다. 대부분의 결과는 유사한 해발고도에서 출현한다. 특히, 본 조사대상지가 추이대중 상록활엽수림에 가까운 남부에 속하는 지점으로서 제한된 공간내 난온대성의 식생이 해발고도에 크게 영향을 받지 않고 분포하는 것이 가능하다 사료된다.

식생의 분포와 사면의 경사도간의 관계에 있어, 붉가시나무-황칠나무군락이 졸참나무-굴참나무군락에 비하여 상대적으로 경사도가 높은 지역에서 나타나는 것으로 확인되었다(Table 2, Figure 6). 이는 과거 이 지역에 분포가 용이하였던 낙엽활엽수림인 졸참나무-굴참나무군락을 피하여 상대적으로 분포하기 어려운 지형에서 상록활엽수가 군락을 이룬 것이라 사료된다. 온난화가 진행될수록 CCA의 두 식생이 중첩되는 지역과 결과 1-2)의 졸참나무림 축소에 대한 내용을 통하여 붉가시나무-황칠나무군락이 지리적으로 안

Table 2. Average height and coverage of each layer and environmental conditions on the second forest

Serial number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Study areas	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD
T1 (m)	16	17	15	13	15	18	15	18	17	13	13	17	14	15	17	15	14	15
T1 (%)	85	85	85	75	80	85	85	85	85	75	75	85	80	85	70	80	80	75
T2 (m)	10	10	11	10	11	12	10	12	12	10	10	12	8	10	10	11	10	8
T2 (%)	30	30	35	40	20	20	15	40	35	30	35	30	20	20	20	20	30	40
S (m)	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	5	4
S (%)	30	40	40	30	40	30	60	40	30	35	40	30	40	60	50	35	40	35
H (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8
H (%)	5	10	5	10	5	5	5	5	5	15	10	5	5	15	10	50	60	60
Aspect	S	S	S	S	N	N	S	S	N	N	N	S			S	S	S	N
	18	36	8	32	36	42	8	52	31	58	26	20	S	S	28	56	44	54
	W	W	W	W	E	E	W	W	E	W	W	W			W	W	W	W
Slope (°)	27	30	25	35	15	20	36	25	25	23	8	15	25	27	25	20	16	20
Elevation (m)	257	255	120	116	222	214	214	155	204	220	207	220	227	219	199	220	232	166

Table 2. (Continued)

Serial number	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Study areas	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD	DD
T1 (m)	15	16	16	16	15	16	17	14	12	16	15	13	20	20	20	20	20
T1 (%)	60	80	80	80	85	80	80	75	75	75	80	75	85	85	85	80	80
T2 (m)	11	11	11	11	10	10	10	10	8	10	10	-	10	8	12	13	10
T2 (%)	10	30	25	30	30	20	20	30	20	40	30	-	50	40	30	15	15
S (m)	5	5	5	6	5	6	6	5	4	5	5	6	4	5	6	5	5
S (%)	35	40	40	30	40	30	50	30	55	40	40	45	20	40	40	15	25
H (m)	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8
H (%)	50	5	25	40	30	55	30	40	50	50	15	40	20	25	30	25	20
Aspect	N	S	S	N	N	N	S	N	S	N	N	S	N	S	N	N	
	8	62	48	38	20	24	36	28	42	40	52	48	56	40	10	42	-
	W	W	W	W	E	E	W	W	W	W	W	W	W	W	W	E	
Slope (°)	3	25	27	7	10	25	25	25	8	15	15	15	5	20	3	13	0
Elevation (m)	136	177	164	158	153	145	200	220	189	135	133	161	122	132	130	133	134

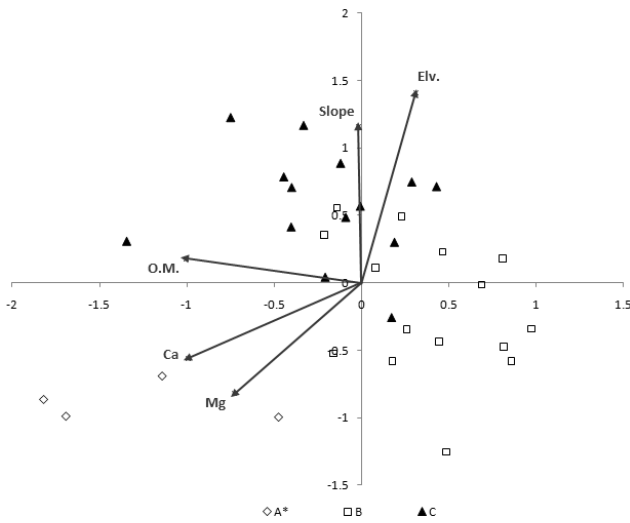


Figure 6. Canonical Correspondence Analysis (CCA) of research stands in the second forest

*A-C: vegetation units (A: *C. obtusa* afforestation, B: *Q. serrata-Q. variabilis* community, C: *D. morbiferus-Q. acuta* community)

Environmental factors: O.M. (Organic Matter), Ca (Calcium), Mg (Magnesium), Elv. (Elevation; m) Slope (gradient of slope)

정된 지역에 분포하는 졸참나무-굴참나무군락으로 이동 및 확대될 것으로 사료된다.

식생의 분포와 유기물간의 관계에 있어, 편백나무식재림과 붉가시나무-황칠나무군락이 졸참나무-굴참나무군락에 비하여 상대적으로 높은 유기물이 있는 것으로 나타났다 (Table 3, Figure 6). 편백나무식재림에서는 하층식생이 번무하는 유식생지에 비하여 하층식생이 존재하지 않는 무식생지가 1.9~2.8배의 낙엽층과 2.8~3.6배의 토사의 소실량을 보인다(Inoue *et al.*, 1987). 이는 본 조사 결과처럼 하층식생에 다양한 식물종이 출현하는 유식생지에서는 유기물층이 축적될 가능성이 매우 높다는 것을 의미한다. 또한 편백나무식재림은 낙엽활엽수림인 졸참나무-굴참나무군락에 비하여 상대적으로 낮은 경사도 조건으로 조사되었으며, 해발고도 역시 상대적으로 낮은 지역에 위치하는 것으로 조사되었다. 이 결과는 편백나무림에서 유기물층이 상대적으로

깊게 축적될 가능성이 더 높은 것으로 사료된다. 상록활엽수림의 유기물이 낙엽활엽수림에 비하여 상대적으로 높은 결과를 나타냄으로써(Figure 6), 상대적으로 다수의 상록활엽수림 구성요소들과 소수의 낙엽활엽수림 구성요소들을 지닌 편백나무식재림의 유기물 수치가 낙엽활엽수림에 비하여 상대적으로 높게 나타난 것은 유의성이 있다고 사료된다.

식생의 분포와 Ca-Mg간의 관계에 있어, 편백나무림에서 다른 군락들에 비해 높은 수치를 보이는 것으로 나타났다 (Table 3, Figure 6). Mg를 기준으로 붉가시나무-황칠나무군락과 졸참나무-굴참나무군락의 분포는 서로 큰 차이를 보이지를 않은 반면, 편백나무식재림은 이 두 군락과 큰 분포 차이를 보인다. Ca를 기준으로 편백나무식재림외에 붉가시나무-황칠나무군락의 일부 조사구들이 굴참나무-졸참나무군락에 비해 좀 더 높은 양의 상관성이 있는 것으로 사료된다.

환경조건과의 상관관계를 통한 졸참나무-굴참나무군락과 붉가시나무-황칠나무군락 사이의 식생분포의 차이는 사면의 경사 및 유기물과 높은 상관성을 보이는 것으로 사료된다.

2) 식생구조변화 예측

CCA를 통하여 대체적으로 붉가시나무-황칠나무군락의 상록활엽수림, 졸참나무-굴참나무군락의 낙엽활엽수림 그리고 편백나무식재림의 침엽수식재림으로 환경에 따라 분포하는 것으로 확인하였다. CCA 분석 중 일부 상록활엽수림과 낙엽활엽수림이 중첩되는 부분이 나타난다(Figure 6). 이 부분은 상관식생 및 식물사회학적 분석 결과를 통해 상관식생의 붉가시나무, 굴참나무, 졸참나무가 혼생하는 지역이다. 또한 상관식생의 우점종 이외에 상록활엽수림의 구성요소와 난온대 낙엽활엽수림의 우점종이 출현하였다.

두 군락의 분포에 영향을 미친 사면 경사도와 유기물의 환경조건을 기준으로, 상관식생의 우점종인 붉가시나무, 졸참나무, 굴참나무를 각층별 정량적 분포 패턴을 분석한 결과는 다음과 같다(Figure 7~12).

교목층내 세 수종의 분포 패턴은 군락의 분포의 결과와 마찬가지로 상대적으로 급경사도의 조건에서 붉가시나무

Table 3. Average and standard deviation of environmental conditions (Soil) on the vegetation units

Vegetation units	H ₂ SO ₄		T.N.		pH		O.M.		P		K		Ca		Mg		E.C.	
	a**	s	a	s	a	s	a	s	a	s	a	s	a	s	a	s	a	s
A	5.17	2.22	0.35	0.15	5.50	1.34	60.80	15.06	14.80	10.43	0.33	0.15	7.88	7.86	1.72	1.34	0.67	0.52
B	4.38	2.21	0.29	0.16	4.81	0.45	54.73	12.79	13.73	9.18	0.39	0.26	2.61	3.51	1.15	0.97	0.50	0.23
C	5.14	3.07	0.35	0.22	4.90	0.65	61.08	9.29	15.77	10.08	0.24	0.08	2.48	5.71	0.65	0.53	0.59	0.52

*Vegetation units: A: *C. obtusa* afforestation; B: *Q. serrata-Q. variabilis* community; C: *D. morbiferus-Q. acuta* community

**a: average; s: standard deviation

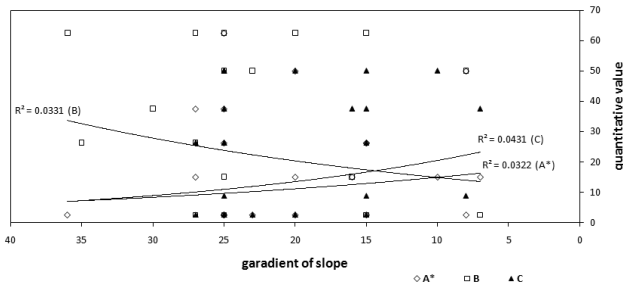


Figure 7. Distribution patterns of three species on tree layer (1)

*A-C: species (A: *Q. variabilis*; B: *Q. acuta*; C: *Q. serrata*)

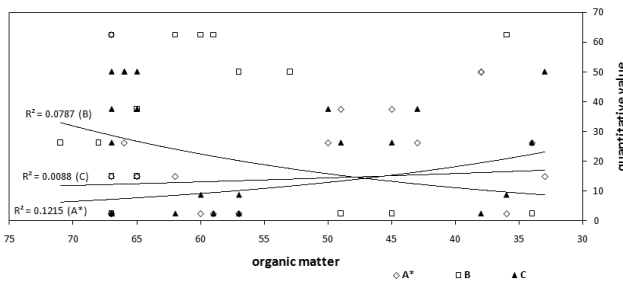


Figure 8. Distribution patterns of three species on tree layer (2)

*A-C: species (A: *Q. variabilis*; B: *Q. acuta*; C: *Q. serrata*)

가 높은 출현을 보였으며, 환경사 및 낮은 유기물조건으로 변할수록 붉가시나무는 감소하며 굴참나무와 졸참나무는 증가하는 패턴을 보이고 있다. 이와 같은 패턴은 높은 환경 조건에서 붉가시나무가 우점하는 붉가시나무림이, 낮은 환경 조건에서는 굴참나무와 졸참나무가 우점하는 졸참나무-굴참나무림이 분포하는 것으로서, CCA의 군락 분포와 같은 결과이다. 이와 같은 패턴의 원인은 군락의 패턴의 원인과 같다고 사료된다(Figure 7, 8).

아교목층내 세 수종의 분포 패턴은 모두 높은 조건에서 낮은 출현을 보였으나 난온대 낙엽활엽수림이 주로 형성되어 있는 낮은 환경조건에서는 굴참나무를 제외하고 모두 증가하는 패턴을 보인다. 이와 같은 결과는 한반도 식생의 분포에 영향을 미치는 온도가 상승할수록 붉가시나무우점림이 난온대 낙엽활엽수림이 우점하는 환경사지대로 확대 되어질 것으로 사료된다. 특히, 유기물이 적은 지역으로 붉가시나무의 급격한 증가와 졸참나무의 낮은 증가는 난온대 낙엽활엽수림이 붉가시나무가 우점하는 상록활엽수림으로 변화될 것으로 예상되어진다. 또한 굴참나무의 미세한 증가 혹은 감소는 굴참나무가 본 난온대 낙엽활엽수림내에서 쉽게 도태될 가능성이 높다고 사료된다(Figure 9, 10).

관목층내 졸참나무의 분포 패턴은 유기물 조건에 따라서 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 초본층내 졸참나무의 분

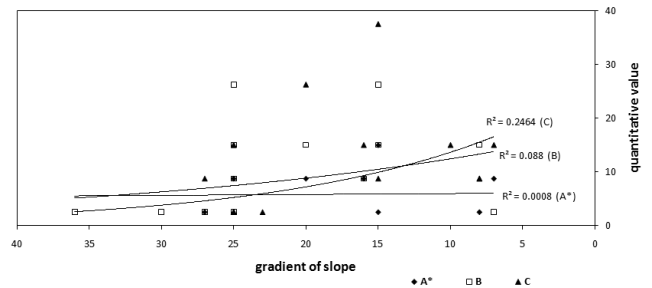


Figure 9. Distribution patterns of three species on subtree layer (1)

*A-C: species (A: *Q. variabilis*; B: *Q. acuta*; C: *Q. serrata*)

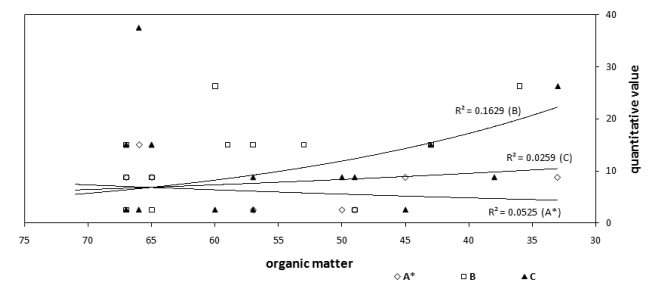


Figure 10. Distribution patterns of three species on subtree layer (2)

*A-C: species (A: *Q. variabilis*; B: *Q. acuta*; C: *Q. serrata*)

포 패턴은 나타나지 않았다. 초본층내 붉가시나무는 모든 환경조건에서 증가하는 분포패턴을 보이고 있다. 관목층에서는 졸참나무만이 출현하였으며 초본층에서는 굴참나무가 출현하지 않았다(Figure 11, 12).

이와 같은 결과는 현재 삼림이 환경조건에 의거하여 2개의 군락으로 분포하고 있으나, 온도상승으로 인한 식생의 변화와 아교목층 및 초본층의 난온대 낙엽활엽수림내 붉가시나무의 높은 분포 패턴에 따라서, 모든 삼림은 점차 붉가시나무가 우점하는 상록활엽수림으로 변화할 것이다.

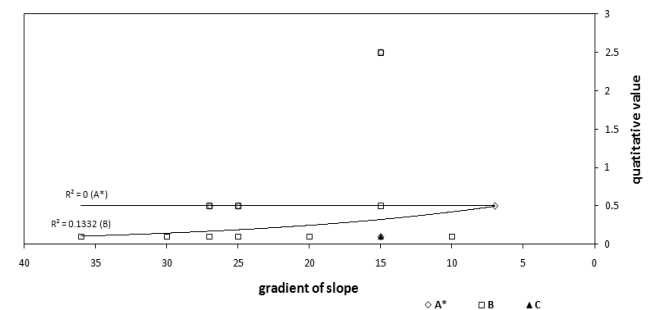


Figure 11. Distribution patterns of three species on shrub and herb layers (1)

*A-C: species (A: *Q. serrata* on shrub layer; B: *Q. acuta* on herb layer; C: *Q. serrata* on herb layer)

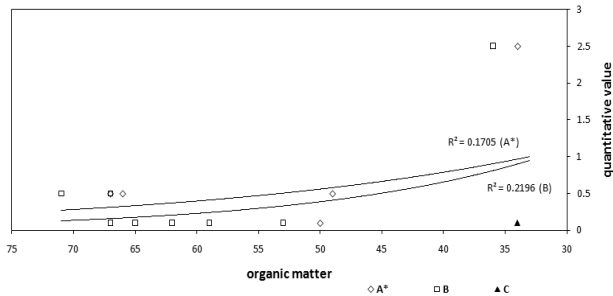


Figure 12. Distribution patterns of three species on shrub and herb layers (2)

*A-C: species (A: *Q. serrata* on shrub layer; B: *Q. acuta* on herb layer; C: *Q. serrata* on herb layer)

또한 현재의 졸참나무-굴참나무군락은 교목층에 비해 다른 층에서 굴참나무의 낮은 출현으로 인하여 점차 도태되리라 예상되어지며, 일부층에서 붉가시나무와 함께 증가하는 졸참나무에 의해 경사가 완만한 일부 지점에서 졸참나무가 우점하는 군락의 형태로 국지적으로 남을 가능성이 높다 사료된다. 또한 굴참나무 식생의 변화에 대한 상대적 적응력이 떨어짐에 따라서, 졸참나무-굴참나무군락내 굴참나무가 높은 우점도로 출현하는 난온대 낙엽활엽수림부터 점차 식생이 변화할 것으로 예상된다.

본 저자들의 추이대 영역에 속한 월출산의 상록활엽수종과 낙엽활엽수림의 고도에 따른 분포의 상관관계의 분석 결과(Lee, Unpublished data)를 통해 수직적 분포가 상록활엽수림, 졸참나무-굴참나무림, 졸참나무림으로 이루어져 있다. 상록활엽수림 공통종들이 상록활엽수림과 졸참나무우점림에 비해 본 연구의 결과와 마찬가지로 졸참나무-굴참나무림의 두종이 공존하는 영역에서 상대적으로 높게 출현하는 것으로 나타났다. 지구온난화에 따른 식생의 변화에 있어서 상록활엽수림의 분포는 특정 상록활엽수림을 대표하는 수종들(전형적인 상록활엽수림에서만 출현하나 상록활엽수림에서의 위치는 공통종인 수종과 동백나무군강의 구성 수종)이 낙엽활엽수림인 졸참나무-굴참나무군락으로의 우선적 침투를 통하여 이루어질 것으로 사료된다. 또한 참나무류가 졸참나무에 비하여 상록활엽수림내에서 상대적으로 높은 출현율을 보인다. 이와 같은 결과는 본 연구의 결과와 일치하는 것으로 판단된다.

월출산과 본 조사대상지의 미세한 식생 분포의 차이는 두 조사지점의 식생대 위치가 추이대 내 정반대로서, 두류산은 추이대 영역 중에서 가장 아랫부분인 전형적인 상록활엽수림에 가까운 형태이고 월출산은 추이대의 영역 중에서 가장 윗부분인 전형적인 낙엽활엽수림에 가까운 형태이기 때문에 해발고도에 따른 식생분포의 차이가 나타난다고 사료된다. 또한 월출산을 수직적 분포를 목적으로 조사를 하

였기 때문에 100~500m 전후까지의 분포이지만 본 조사결과와는 130m전후~250m전후까지의 분포로서, 군락과 환경조건과의 상관관계에서는 해발고도가 유의성이 있는 것으로 나왔으나 그 식생의 변화에 영향을 주는데 있어서 큰 영향을 미치지 않는다고 사료된다. 본 연구에서는 해발고도보다 사면의 경사도와 유기물과 상관성이 있다.

상관식생 우점종의 정량적 분포 패턴 결과와 함께 식물사회학적 분석 결과(Table 1)를 통해 동백나무군강의 표징종 및 구분종의 분포는 상록활엽수림에서 높은 질적·양적 분포뿐만 아니라 낙엽활엽수림에서도 높은 질적·양적 분포를 보이는 것으로 나타났다. 특히, 졸참나무-굴참나무군락 중 졸참나무와 굴참나무가 유사한 우점도·군도를 가진 영역에서 상대적으로 높은 질적·양적 결과를 나타내는 것으로 사료된다. 이는 낙엽활엽수림 중 굴참나무의 우점도가 높은 영역에서 상록활엽수림으로 변화될 가능성이 높은 요소를 포함하고 있다는 결과로서, 추후 온난화로 인한 식생의 수평적 분포에 있어서 낙엽활엽수림 중 굴참나무가 출현하는 삼림이 가장 먼저 상록활엽수림 요소들이 유입될 것으로 사료되며, 이 식생을 시작으로 추이대 영역에 존재하는 삼림들이 점차 상록활엽수림으로 천이될 것으로 사료된다.

3. 적요

본 연구의 결과를 통해 식생 추이대의 2차림은 3개의 군락단위로 구분되었다. 졸참나무-굴참나무군락의 식생은 추후 인위적인 관리에 의한 현존식생을 유지하는 것 이외에, 지구온난화에 따른 식생변화에 있어서 자연적인 방치를 통하여 상록활엽수림으로 천이될 가능성이 매우 높다고 사료된다. 온난화로 인한 추이대 식생의 수평적 변화는 환경조건에 따른 주요 우점종의 층별 분포패턴과, 상록활엽수림의 구성종들중 환경의 제한에 상대적으로 높은 내성을 지닌 종들이 낙엽활엽수림으로의 침투를 통하여 확인할 수 있다. 이는 굴참나무의 우점도가 상대적으로 높은 졸참나무-굴참나무 군락의 식생을 1차 대상지로 이루어지고 있음을 의미한다. 또한 함께 출현한 편백나무식재림은 구성종의 출현비율, 일반적으로 적응하는 환경 조건 및 자연방치에 의해서 상록활엽수림으로 천이될 것으로 사료된다.

Z.-M. 학파의 식물사회학적 방법은 두개의 식생대 사이에 존재하는 추이대 및 혼생림과 같은 식생을 조사하고 군락의 분류에 있어서 중대한 문제점을 나타내고 있다(Kent and Coker, 2002). 이에 대하여 본 연구는 추이대 영역에 속하는 식생을 식물사회학적 방법을 통하여 군락생태학적 관점에서의 식생변화와 그 루트를 분석하여 결과를 추출해 내었다. 언급한 문제점과 본 연구의 주된 목표인 식생의 변화의 예상에 따라서 기존의 식물사회학적 군락분류에서의

자세한 군락분류는 이루어지지 않았다.

본 연구의 식생구조 및 식생구조변화 예측에 대한 분석은 추후 한반도의 식생의 변화에 있어서, 상록활엽수림은 어떤 유형의 식생으로 침투하여 한반도의 식생이 상록활엽수림으로 변할 것인가에 대한 그 이동 및 확대 경로를 파악하는데 유리한 자료라 사료된다. 또한 본 연구는 식물사회학적 조사방법을 추이대 및 혼생림에 어떻게 적용하고 본 조사결과를 통하여 어떤 방향으로 식생생태학적 연구를 진행해야 하는 지에 대한 방법론을 제안하는 바이다.

인용문헌

- Ahn, Y.H., S.J. Lee, G.M. Shin and E.J. Park(2007) The vegetation and flora of village groves in Paengseong-eup, Pyongtaek City, Gyonggi-do Province, Korea. *Kor. J. Env. Eco.* 21(6): 515-525. (in Korean with English abstract)
- Braun-Blanquet, J.(1964) *Pflanzensoziologie Grundzuge der Vegetationskunde.* 3rd ed. Springer, New York, U.S.A., 865pp.
- Haenam-gun(2011) <http://www.haenam.go.kr/>
- Heo, I.H., W.T. Kwon, Y.M. Chun and S.H. Lee(2006) The impact of temperature rising on the distribution of plant -In case of bamboos and garlics-. *Kor. J. of Env. Imp. Ass.* 15(1): 67-79. (in Korean with English abstract)
- Inoue, K., O. Iwagawa and K. Yoshida(1987) Surface Movement of Litter and Soil in Hinoki(*Chamaecyparis obtusa*) Pure Stand. *Bull. For. & For. Prod. Res. Inst.* 343: 171-186.
- Kent, Martin and Paddy Coker(2002) *Vegetation Description and Analysis: A Practical Approach-11th edition.* John wiley & sons. Chichester, England. 265pp.
- Kira, T.(1948) On the altitudinal arrangement of climatic zones in Japan. *Kanti-Nogaku* 2: 143-173.
- LEE, S.J. Yokohama National University, Yokohama, Japan (Unpublished data).
- McCune, B. and M.J. Mefford(1999) *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 4.* MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A..
- NASA(2010) <http://www.nasa.gov/>
- Song, J.S., D.S. Sin, J.S. Lee, H.K. Kim and G.H. Eom(2009) Synecological study of the forest vegetation on Mt. Boryeonsan, Chungcheongbuk Province. *Kor. J. Env. Eco.* 23(1): 66-77. (in Korean with English abstract)
- Tang, Q.(2010) *Phytosociological study of deciduous quercus forest in the warm-temperate zone of China.* Ph. D. thesis, Yokohama National Univ., Yokohama, Japan, 11pp.
- The Office of Korean Forestry(2007) <http://www.nature.go.kr/kpni/>
- Toh, S.H. and S.H. Park(1971) *Plant Resources of Mt. Du Ryun.* *Kor. J. Pharmacog.* 2(2): 99-118. (in Korean with English abstract)
- Van der Maarel, E(1979) Transformation of cover abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio* 39: 97-114.
- Watanabe, K.(2009) Why do painted maple withers the trunk itself -Individualities and survival strategies of tree-, *Tsukiji-syokan*, 70pp.
- Yim, Y.J., and T. Kira(1975) Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsular. I. Distribution of some indices of thermal climate, *Jap. J. Ecol.* 25: 77-88.
- Yim, Y.J.(1976) Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsular. III. Distribution of tree species along the thermal gradient. *Jap. J. Ecol.*, 27: 177-189.
- Yim, Y.J.(1977) Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsular. IV. Zonal distribution of forest vegetation in relation to thermal climate. *Jap. J. Ecol.* 27: 269-278.