

Original article

한국 난온대 식생분포대의 식물기후학적 재검토

엄병철 · 김종원^{1,*}

계명대학교 생명과학전공, ¹서식처생태학·식물사회학연구소

A Phytoclimatic Review of Warm-temperate Vegetation Zone of Korea. Byeongcheol Eom (0000-0001-9379-1144) and Jong-Won Kim^{1,*} (0000-0002-7698-9404) (School of Biological Sciences, Keimyung University, Dalseo-gu, Daegu, 42601 Republic of Korea; ¹Institute of Habitat Ecology and Phytosociology, Dalseong-gun, Daegu 42900, Republic of Korea)

Abstract In Korea, specific thermal elements such as annual mean temperature (AMT) 13°C, 14°C, and Kira's coldness index (CI) - 10°C, have been suggested about the northernmost distribution of the warm-temperate evergreen broad-leaved forest zone. We reviewed the relationship between three thermal elements and the actual distribution of evergreen broad-leaved woody plants or its communities. Thiessen and Kriging method using point-data calibrated by seasonal lapse rate according to altitude were utilized for the spatial distribution pattern analysis. Several phytoclimatic maps were also produced in order to compare different thermal values. We identified that the AMT 13°C was the best thermal element to demarcate the northern limit of the warm-temperate forest zone. Its area was estimated ca. 20,334 km² and larger than those of other thermal elements. We concluded that an indirectly fabricated index i.e. CI - 10°C is useless and it was enough for a direct value of AMT 13°C to represent the northern-limit distribution of warm-temperate forest zone, at least in Korea. Further researches on the reciprocity between floristic regions and phytoclimate zones are raised.

Key words: Kira's coldness index, northern limit distribution, phytoclimatic map, potential natural vegetation, warm-temperate evergreen broad-leaved forest zone

서론

식물군락이나 식물종의 분포와 기후 환경의 상관관계는 초기 식물지리학에서 이미 주목받았던 생태학적 주제이다 (Haeckel, 1886; Warming, 1909). 식물의 분포 한계는 일차적으로 온도요소에 의해 결정되고, 식물지리적 특정 온도요소에 관한 연구가 범지구적 수준에서 성취된 바도 있

다 (Köppen, 1918, 1936; Hopkins, 1938). 이러한 연구결과는 최근 지구온난화에 따라 북상 분포하는 남방분자의 미래 예측 연구에 중요한 바탕 정보가 된다 (Chen and Chen, 2013; Engelbrecht and Engelbrecht, 2016). 한반도와 같이 남북으로 펼쳐진 지역에서 지구온난화와 남방분자 북상과의 상호관계 연구도 같은 선상에 있다 (Yun *et al.*, 2011a, b; Kang *et al.*, 2016).

비록 식물종의 실제적 분포와 그 대응성이 검토되지는 않았으나, 연평균기온 13°C가 난온대 식생과 식물종의 분포 북한계라는 제안 (Lim, 1965)도 있었다. Yang and Shin (2007)은 기후와 지리·지형 정보에 대한 다중회귀분석을

Manuscript received 7 January 2020, revised 12 June 2020,
revision accepted 13 June 2020

* Corresponding author: Tel: +82-53-580-5558, Fax: +82-53-580-5558
E-mail: econearing@gmail.com

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

이용하여 그런 사실을 뒷받침하고자 하였다. 하지만 Yang and Shin (2007)의 연구에서 제시한 연평균기온 13°C는 난온대 식물군락(붉가시나무림, 구실잣밤나무림, 동백나무림, 후박나무림)의 분포 북한계에 대응하는 특정 온도 값(isothermal line)이 아니었으며, 이들 식물군락이 분포하는 지역에서 산출한 연평균기온의 평균값(average)이었다.

한편, 난온대 식생역의 북한계로 연평균기온 14°C를 제시한 선행연구(Oh, 1977; Kim, 2000b)도 있으나, 실제 분포와 그 일치성이 검토된 바 없다. 이러한 식생대 공간분포 해석에서 13°C 또는 14°C와 같이 가공하지 않은 특정 연평균온도 값과 그 속성을 근본적으로 달리하는 온도지수(thermal index)가 제안된 바 있다(Kira, 1945, 1948). 난온대 식물종 분포에 대한 Kira의 한랭지수(coldness index) -10°C 선이 대표적인 사례이다(Yim and Kira, 1975; Numata, 1984; Krestov and Nakamura, 2007; Box and Fujiwara, 2015; Korznikov *et al.*, 2019). 그럼에도 한랭지수 -10°C 선과 난온대 식물의 현존분포와의 불일치성은 지속적으로 제기되어 왔다(Sakai, 1975; Numata, 1984; Chiu *et al.*, 2014). 식생 분포와 특정 온도요소의 대응성에 대한 문제는 현존식생의 실제적 분포와 해당 지역의 기후에 관한 해상도 높은 데이터 축적과 분석으로 해결할 수 있다(Franklin, 1995; Ichter *et al.*, 2014).

최근 급속도로 발달한 컴퓨터 시뮬레이션은 식생 분포와 기후요소 같은 빅데이터의 수리분석을 더욱 용이하게 한다(Botti, 2018; Eom, 2019). 게다가 식생 분포 정보는 지리적 수치 정보(위도, 경도, 해발고도)를 포함하는 식물사회학적 식생자료(phytosociological relevé)로부터 얻을 수 있다(Kim and Lee, 2006). 지리 및 식생에 대한 정교한 정보를 포함하는 미가공(raw data) 식생자료의 생태학적 중요성을 일깨워주는 대목이다. 난온대 식생의 분포 정보에 대해 직접 이용 가능한 미가공 원천정보는 차나무의 북한계 분포(Eom and Kim, 2017)나 한반도 남단 전역에 발달한 동백나무군락(*Camellietea japonicae* Miyawaki et Ohba 1963)의 상록활엽수림에 관한 식물사회학적 식생 정보(Choi, 2012) 따위와 같은 선행연구로부터 획득될 수 있다. 이와 함께 국가 또는 지역의 보호지역에 대한 식물상 정보(Oh and Beon, 2007; Kim and Chung, 2011; Hong *et al.*, 2013)가 분포 위치에 관한 정확한 지리적 정보를 포함한다면 이 또한 유효한 생태 정보로 활용될 수 있다.

한국에서 난온대성 식물의 분포 한계선으로 제안된 세 가지 온도요소, 연평균기온 13°C와 14°C, 한랭지수 -10°C에 대한 고해상도의 공간분석이 수행되었다. 각각의 온도요소에 대하여 식물기후도를 생산하고, 난온대 지표성의 벤치마킹 식물종 및 식생에 대한 실제 분포양상을

비교·분석함으로써 난온대 식생의 북한계 분포에 대응하는 특정 온도요소를 밝히고자 하였다. 본 연구는 지구온난화에 대응하여 나타나는 냉온대를 포함한 한랭 식생대의 후퇴 및 축소, 그리고 난온대 식생의 확장에 관한 생태계 변화를 모니터링 하는 정량정성적 방법과 수단을 뒷받침한다. 나아가 일본을 포함한 환동해 동아시아 속에서 온대림 식생의 분포 양상에 대한 지역 연구의 기반을 제공하고, 국가 수준 및 지역 수준을 넘어 지구적 수준에서의 연구 확장도 가능할 것으로 판단된다.

재료 및 방법

본 연구의 공간 범위는 해수면의 약최고고조면(approximate maximum sea level; KHOA, 2013)을 기준으로 하여 한반도와 인근 도서지역을 대상으로 하였다. 공간분석의 최소 면적은 1 km²이며, 그 이하 면적의 도서지방은 분석에서 제외하였다. 온도요소는 기후표준평년값(climatological standard normal; period: Jan. 1, 1981~Dec. 31, 2010)을 이용하였고, 국제기상기구의 기준(WMO, 2017)에 따라 80% (24년) 이상의 온전한 자료를 채택하였다. 국내 기상관측소 64지점의 자료가 기준에 적합하였고, 이와 함께 공간분석을 위한 중요 지점으로 77% (23년)의 자료를 이용할 수 있는 기상관측소 4지점(고산, 봉화, 장수, 철원)의 기후자료가 추가되었다. 공간분석에서 발생할 수 있는 가장자리 미분석 문제를 보완하기 위하여 연구 대상 공간범위의 동, 서, 남, 북 말단에서 각 방위로 100 km 떨어진 기상관측소 4지점을 선정하여 이 지점에 대한 관측정보로서 인접 기상관측소(동단: 울릉도, 서단: 강화, 남단: 서귀포, 북단: 속초)의 정보를 이용하였다. 곧 본 연구의 공간분석은 총 72지점에서 얻어진 온도요소로 이루어졌다.

한국의 복잡한 지리·지형(Park, 2014)을 고려한 고해상도의 공간분석이 요구되는데, 지리정보의 통일성을 성취하기 위하여 연구범위의 수직적 지리정보는 ASTER GDEM (NMAJS and UJAST, 2009)을 기준으로 하였다. 공간분석에 이용된 점(point) 자료는 기상관측소 72개, 해안선 12,028개(1 km 간격), 전국 산봉우리(NGII, 2017) 15,688개, 연구범위를 1 km² 격자로 구분한 격자의 중심점 101,356개의 총합 129,144개이다. 모든 점 자료의 온도요소는 티센 방법(Thiessen, 1911)과 해발고도에 따른 기온감률(temperature lapse rate)을 적용하여 보정되었다. 72개 기상관측소 위치를 기준으로 티센 방법이 적용되었고, 이후 각각의 티센 폴리곤(polygon) 내에 위치한 기상관측소 자료를 기준으로 폴리곤 내 점 자료의 월평균기온이 보정

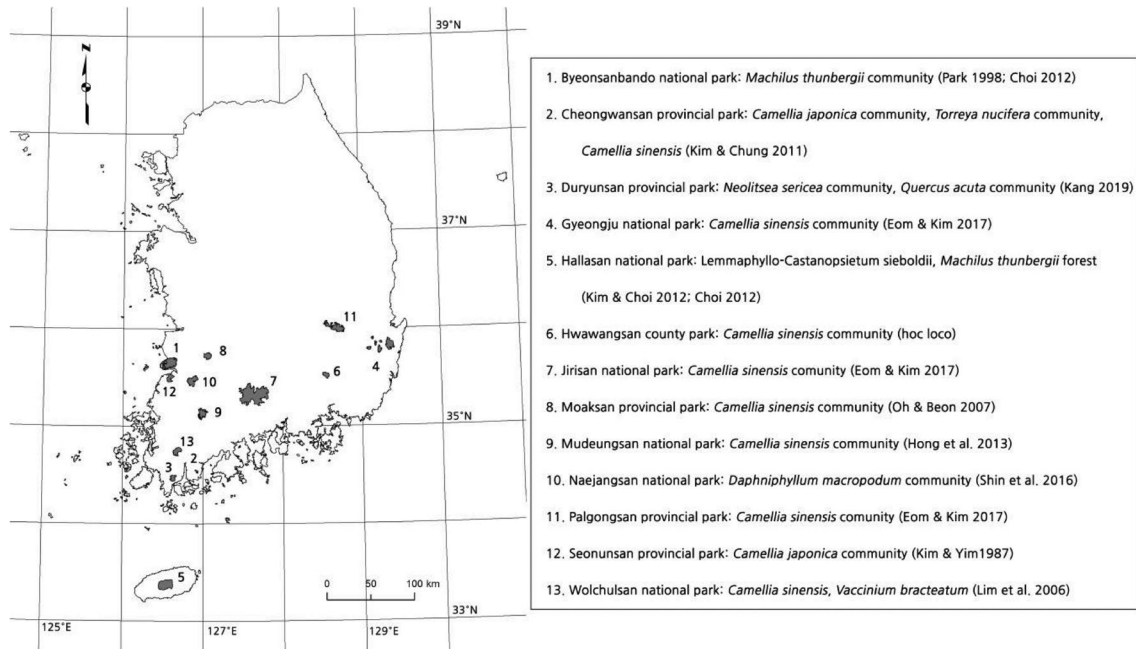


Fig. 1. A total of 13 materialized sites for benchmarking plant species and vegetation in the protected areas.

되었다. 수직적 기온감률은 기상관측소와 각 지점의 해발고도 차이에 따라 계절별 기온감률의 변화를 고려한 Yun et al. (2001)의 방법을 이용하였다 (Formula 1). 온도요소에 대한 일련의 산출과정과 보정은 [Microsoft Office 365 EXCEL] 프로그램 (Microsoft Corporation, 2019)을 통해 수행되었다.

$$|T_l| = 0.00688 + 0.0015 \times \cos\{0.0172(D_y - 60)\} \quad (\text{Formula 1})$$

여기서 T_l 은 기온감률(°C/m), D_y 는 연중일수(day)이다.

보정된 월평균기온을 이용하여 연평균기온 (Formula 2)을 산출하였다.

$$AMT = \frac{\sum_{m=1}^{12} T_m}{12} \quad (\text{Formula 2})$$

여기서 AMT (annual mean temperature)는 연평균기온, T_m 은 월평균기온이다.

한랭지수 (CI sensu Kira 1945, 1948)는 보정된 월평균기온 가운데 월평균기온이 5°C 미만인 달의 월평균기온을 연간 합산하여 산출하였다 (Formula 3).

$$CI = \sum_{m=1}^{12} (T_m - 5), \text{ when } T_m < 5^\circ\text{C} \quad (\text{Formula 3})$$

전체 129,144개 점 자료의 AMT 와 CI 각각을 이용한 공간분석이 수행되었다. 본 연구에서는 공간분석을 통

해 AMT 13°C 이상과 14°C 이상, 그리고 CI -10°C 이상을 북한계로 하는 난온대 식생 분포역 (warm-temperate vegetation zone)의 식물기후도를 생산하였다. 기후자료는 정상성 (定常性; stationarity) 자료분석에 적합하고 (Arguez and Vose, 2011), 정상성 자료의 분석에 유용한 Ordinary Kriging 방법 (Oliver and Webster, 1990)을 이용하였다. 이러한 공간분석은 [ArcGIS 9.1] 프로그램 (ESRI, 2005)을 통해 수행되었고, 공간 해상도는 1 km²로 설정하였다.

난온대 벤치마킹 식생 (식물종 및 식물군락)은 난온대 상록활엽수림의 동백나무군강을 진단하는 수목종이나 전형 분자 (Miyawaki, 1967; Kim, 2004)를 중심으로 선정하였다. 벤치마킹 식생이 기재된 선행 연구 자료에 대한 검색이 이루어졌고, 총 11개 문헌으로부터 총 13곳의 국가 및 지역의 보호지역 (국립공원, 도립공원, 군립공원) 속에 분포하는 구실잣밤나무, 굴거리나무, 동백나무, 모새나무, 붉가시나무, 비자나무, 차나무, 참식나무, 후박나무의 총 9종에 대한 위치정보를 DB화 하였다 (Fig. 1). 벤치마킹 식생의 공간적 분포와 식물기후도와와의 연관성 분석은 보호지역의 경계선과 식물기후도의 난온대 분포역 간의 최근 (最近) 직선거리 산출로 이루어졌다. 보호지역의 경계는 국가 보호지역의 디지털 분포 영역 자료 (KDPA, 2018)로부터, 최근 직선거리 분석은 [ArcGIS]의 Near의 방법 (proximity in analysis tool)으로 성취되었다.

온도요소별로 생산된 식물기후도의 난온대 분포역에 대

한 공간분포 양상은 한반도, 제주도, 울릉도, 그 밖의 도서 지역의 네 지역으로 구분하여 한국 전체와 비교하였다. 수평적 공간분포 양상은 한반도에 대한 위도, 경도별 면적의 변화로 비교하였으며, 수직적 공간분포 양상은 제주도에서 해발고도별 면적 변화로 비교하였다.

결 과

난온대 벤치마킹 식생이 분포하는 보호지역과 각 온도 요소별 난온대 분포역의 최근 직선거리는 Table 1과 같다. 평균 최근 직선거리는 AMT 13°C에 의한 분포역이 가장 짧았고, CI -10°C, AMT 14°C의 순으로 멀었다. AMT 13°C의 분포역에서 가장 멀리 떨어진 보호지역은 변산반도 국립공원으로 그 이격 거리는 약 10,675 m이었다. 변산반도 국립공원은 황해안의 비교적 협소한 영역이 별도의 영역으로 포함되면서 최근 직선거리가 보다 멀게 산출된 것이었는데, 황해안 영역을 제외한 최근 직선거리는 약 2,644 m이었다. AMT 14°C와 CI -10°C의 분포역에서 가장 먼 보호지역은 모악산 도립공원으로 그 거리는 각각 약 43,036 m, 34,839 m로 나타났다. 반면, AMT 13°C의 분포역은 모악산 도립공원의 서부지역을 포함하였다. 최근 직선거리의 표준오차는 AMT 13°C의 분포역이 가장 작음으로 나타났고, CI -10°C, AMT 14°C 분포역의 순으로 큰 값을 보였다. 또한, AMT 13°C의 분포역은 8개 보호지역(경주, 두륜산, 모악산, 무등산, 선운산, 월출산, 팔공산, 한라산), CI -10°C의 분포역은 5개 보호지역(경주, 두륜산, 무등산, 월출산, 한라산), AMT 14°C의 분포역은 1개(경주) 보호지역을 포함하였다. 이러한 결과로부터 AMT 13°C의 분포역이 다른 두 온도요소의 분포역보다 난온대 식생의 실제적 분포와 더욱 정교하게 일치하는 것으로 밝혀졌다.

온도요소별 지역에 따른 공간 분포 면적은 Fig. 2, Table 2와 같다. AMT 13°C의 분포역은 한국 전체 면적 속에서 가장 넓은 면적을 차지하였고, CI -10°C와 AMT 14°C의 분포역이 그 뒤를 이었다. AMT 13°C와 CI -10°C 분포역의 차이는 약 838 km², AMT 14°C 분포역과의 차이는 약 13,258 km²이었다. 이는 AMT 13°C 분포역에 비하여 CI -10°C 분포역은 약 4.1%, AMT 14°C의 분포역은 약 65.2%의 축소된 면적을 의미하였다.

지역별 온도요소의 분포 면적 비교에서 한반도는 AMT 13°C 분포역이 가장 넓었고, 그 다음으로 CI -10°C, AMT 14°C 분포역의 순이었다. AMT 13°C 분포역보다 CI -10°C와 AMT 14°C 분포역은 각각 약 1,218 km², 10,514 km² 좁았으며, 이는 AMT 13°C 분포역에 비하여 각각

Table 1. The nearest distance from each thermal line to the edge of protected areas.

Thermal line	Annual mean temperature		Coldness index -10°C
	13°C	14°C	
Maximum distance	10,675 m	43,036 m	34,839 m
Average distance	1,344 m	11,523 m	5,996 m
Standard error	± 524 m	± 2,247 m	± 2,209 m

8.3%와 71.9% 축소된 면적이었다. 반면, 제주도, 울릉도, 그 밖의 도서 지역에서는 CI -10°C 분포역의 면적이 AMT 13°C 분포역보다 넓었고, CI -10°C 분포역에 비하여 AMT 13°C 분포역은 각각 약 11% (201 km²), 40.7% (24 km²), 3.7% (155 km²)의 축소된 면적으로 나타났다. 한반도와 그 밖의 도서지역에서 AMT 14°C 분포역은 다른 두 온도요소의 분포역과 큰 차이를 보였다. 한반도에서 AMT 14°C 분포역은 AMT 13°C 분포역의 71.9%, CI -10°C 분포역의 69%로 나타났고, 도서지역에서 AMT 14°C 분포역은 AMT 13°C 분포역의 60.4%, CI -10°C 분포역의 62% 축소된 면적이었다. 하지만 제주도에서 AMT 14°C 분포역은 AMT 13°C 분포역의 16.3%, CI -10°C 분포역의 26% 축소된 것으로 나타나, 한반도와 그 밖의 도서지역에 비하여 높은 비율로 분포하였다. 울릉도에서는 해안과 인접한 저지대에 AMT 13°C 분포역이 35 km², CI -10°C 분포역이 59 km²의 면적으로 분포하였으나, AMT 14°C 분포역은 나타나지 않았다.

한반도에서 위도와 경도에 따른 온도요소별 난온대 분포역의 면적이 비교되었다(Fig. 2). AMT 14°C 분포역은 AMT 13°C와 CI -10°C 분포역에 비하여 협소한 패치상의 분포 특성을 보였다. 한반도 남서부의 전라남도의 영광군과 목포시, 광주광역시 일대, 전라남도 해남군, 장흥군, 전라남도 여수시에서 남해안을 따라 부산광역시까지 분포하였으며, 영남분지의 대구광역시 일대와 경상북도 경주시와 울산광역시에서도 협소한 면적의 분포가 확인되었다. AMT 13°C 분포역은 한반도 남서부의 금남정맥 이남과 호남정맥 이서 지역에서 CI -10°C 분포역보다 넓은 면적으로 분포하였고, 북한계 분포는 전라북도 익산시(36°03'10.3")인 것으로 나타났다. 이에 비하여 CI -10°C 분포역의 북한계 분포는 전라남도 고창군의 남부지역(35°22'37")으로 AMT 13°C 분포역보다 수평적으로 약 40'33.3" 낮은 위도였다. 영남분지에서는 대구광역시 주변으로 AMT 13°C 분포역의 면적이 CI -10°C 분포역에 비하여 넓게 나타났으며, 대구광역시의 남부로 경상남도 창

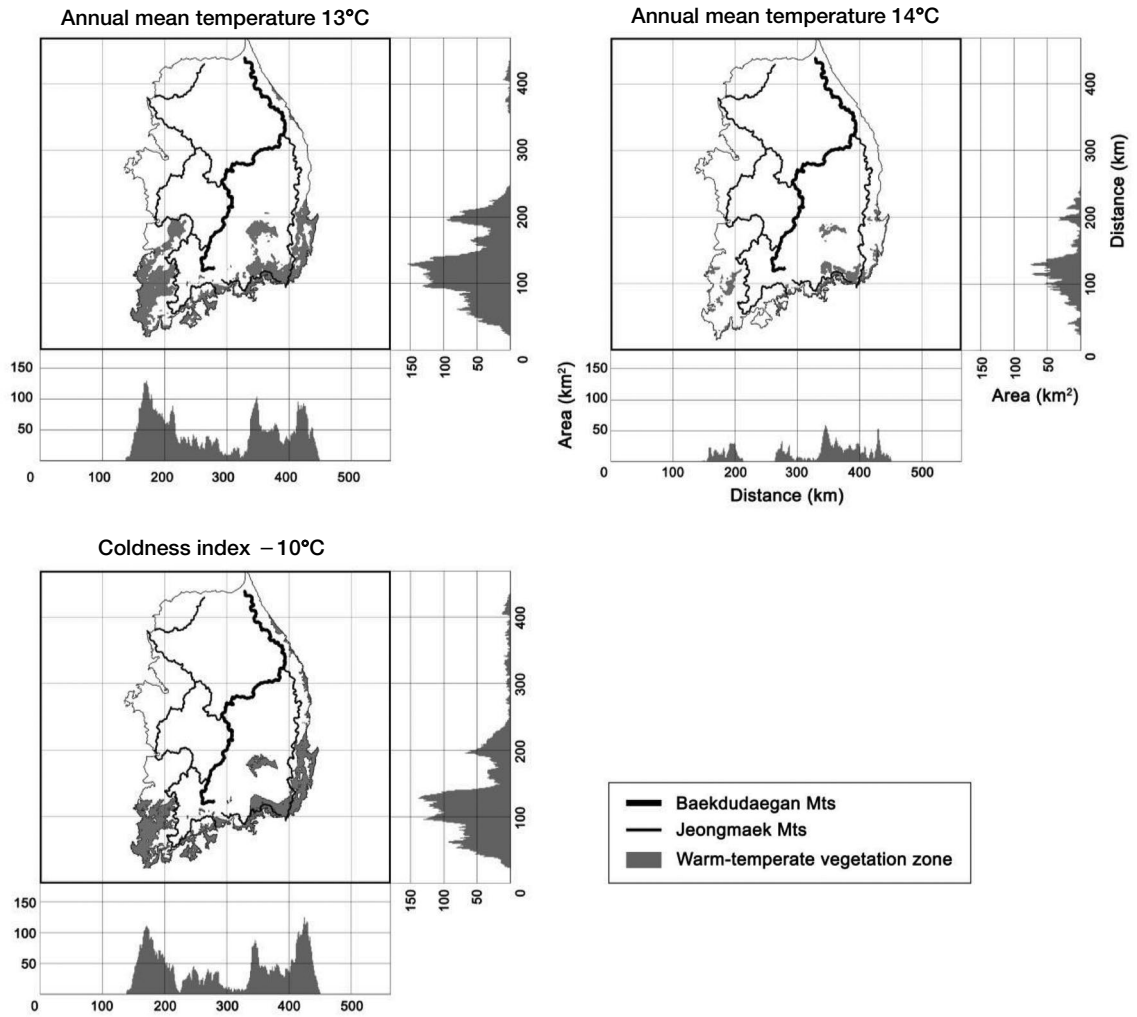


Fig. 2. Horizontal distribution pattern of thermal zones by annual mean temperature 13°C, 14°C, and coldness index -10°C according to latitude and longitude in Korean Peninsula.

Table 2. Areas (km²) of three thermal zones in Korea.

Thermal zone	Annual mean temperature		Coldness index -10°C
	13°C	14°C	
Korean peninsula	14,631	4,117	13,413
Jeju Island	1,621	1,356	1,822
Ulleung Island	35	-	59
Other islands	4,047	1,603	4,202
Total	20,334	7,076	19,496

녕군, 함안군을 걸쳐 창원시까지 연속적으로 분포하는 반면, CI -10°C 분포역은 창녕군의 남부 일부 지역의 매우 좁은 면적(26 km²)만 포함하는 불연속적 분포를 보였다.

백두대간과 낙동정맥으로 이어지는 산줄기의 동부 동해안 지역에서도 AMT 13°C와 CI -10°C 분포역의 차이가 나타났다. CI -10°C 분포역은 경상북도 포항시에서 경주시, 울산광역시, 부산광역시에 걸친 지역에서 AMT 13°C 분포역보다 고해발 지역까지 분포하였고, 동해안 남부의 부산광역시에서 강원도의 양양군의 동해안을 따라 연속적으로 분포하는 특성을 보였다. 반면, AMT 13°C 분포역은 부산광역시에서 해안을 따라 경상북도 영덕군 남정면 부흥리까지만 분포하였고, 강원도 삼척시 원덕읍 갈남리의 중부 지역까지 단절된 이후 갈남리의 북부에서 북쪽으로 강원도 양양군 현북면 잔교리까지 매우 좁은 해안지역에 불연속 분포하는 양상을 보였다.

한반도와 달리 제주도에서는 CI -10°C 분포역의 면적(약 1,822 km²)이 가장 넓었으며, 다음으로 AMT 13°C 분

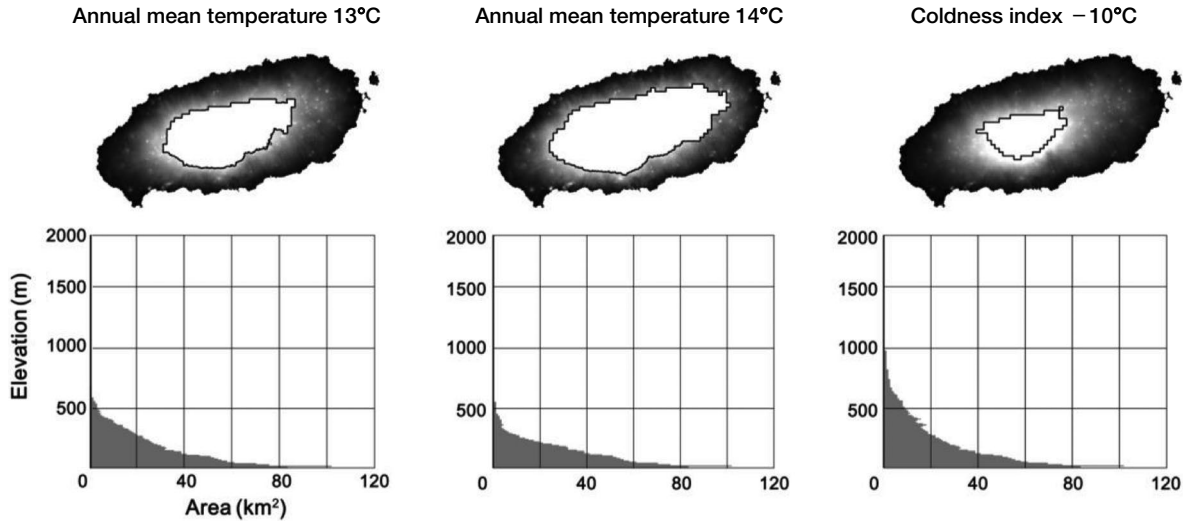


Fig. 3. Horizontal distribution and altitudinal area of three thermal zones in Jeju Island.

포역(약 1,621 km²), AMT 14°C 분포역(약 1,356 km²) 순이었다. 제주도에서 수직적 난온대 분포양상은 Fig. 3과 같다. CI -10°C 분포역은 해발고도 약 980m까지 분포하였으나, AMT 13°C와 AMT 14°C 분포역이 나타난 가장 높은 해발고도는 각각 690m, 550m 인근이었다. 이러한 결과는 한반도와 제주도에서 각 온도요소 영향력의 차이가 있음을 의미하였다.

고찰

1. 한국 난온대 식생의 실체와 북한계 분포에 대하여

한국은 수평적으로 난온대와 냉온대의 이행대에 위치하면서 남북으로 긴 지리 형상으로부터 난온대 식생의 북한계에 대한 연구가 용이한 지역이다(Yang and Kim, 1972; Yim and Kira, 1975; Yang, 2002; Lee and Choi, 2010; Eom, 2019). 본 연구에서 밝혀진 한반도, 제주도, 울릉도 지역에서 난온대 식생의 현존분포 북한계와 가장 일치하는 온도 요소는 연평균기온 13°C 선이었다. AMT 13°C에 의한 잠재적 난온대 식생 분포역의 면적은 20,334 km²로 한국 전체의 약 19.2%였으나, 현재 남아 있는 식생 분포역의 대부분은 이차식생 또는 대상식생이고, 자연식생은 보호지역과 접근이 어려운 일부 지점에 점점이 남아있다(Kim, 1993; Choung and Hong, 2006). 수평적 저위도와 수직적 저해발 지역에 발달하는 난온대 식생의 공간분포 특성으로부터 잔존 유적식생(relic vegetation) 가운데 식물사회학적으로 온전한 구조를 갖는 식분은 실제로 매우 제한적이라

는 사실이 밝혀져 있다(Oh, 1995; Choi, 2012). 토지의 이용과 개발의 집약적 인간간섭 역사(Woo, 2016; Lee *et al.*, 2017)가 지속되면서 서식처의 질적·양적 감소와 난온대 잠재자연식생 분자의 종자은행 유실에서 비롯한다(Li *et al.*, 2017). 최근 대구광역시 도심의 두류공원 삼림 입지에서 조경에 의한 식재로부터 유래하는 상록활엽수종의 분포 확장이 지난 20여 년 전부터 진행되었음이 알려진 바 있다(Yang and Kim personal communication, 2019). 비록 특정 지역에서 인간에 의해 식재 도입된 식물종이라도 인근 야생 서식처로 탈출, 틈입, 정착하여 여러 세대에 걸친 온전한 생명환(life cycle)을 성취한다면 지역의 자연식생 요소로 고려될 수 있다. 그런 식물종의 분포와 확산에 관한 연구는 특정 식물종의 분포 환경조건을 규명하고 기후 변화와 식물기후의 예측에 중요한 정보를 제공한다. 본 연구에서 난온대 벤치마킹 식생분자로서 선정된 구실잣밤나무, 굴거리나무, 동백나무, 모새나무, 붉가시나무, 비자나무, 차나무, 참식나무, 후박나무 따위는 적어도 동아시아 난온대 상록활엽수림의 주요 구성분자들이다. 이들은 ‘어떠한 인간의 도움이 없이 온전한 생명환을 완성하는 자생’이라는 생태학적 분포 기원(Eom and Kim, 2017)과 대상분포(zonal distribution) 식생형에 대한 엄격한 적용으로부터 선정되었다(Yamanaka, 1969; Nakanishi and Hattori, 1979; Miyawaki, 1984; Miyawaki *et al.*, 1994).

한편, 식생 공간분포 양상에서 상부 식생대 분자가 하부 식생대로 하강 분포하여 하부 식생대의 분포 북한계의 가늠을 종종 어렵게 한다(Forman, 1995). 하부 식생대의 자연식생이 교란되면, 이차적으로 들어서는 대상식생은 상

부 식생대의 구성분자로 부분적 또는 전면적으로 대체되기 때문이다(Kim, 2004). 이는 식물 분포에 대한 생태학적 기본 개념으로 난온대 상록활엽수림의 이차림이 상록활엽수림이 아니라, 냉온대 남부·저산지대 낙엽활엽수림이라는 사실에서 확인할 수 있다(Miyawaki and Okuda, 1990). 특히 식생지리학적으로 동아시아 온대림 생물군계 속에서 난온대 상록활엽수림대의 수평적 북한계에 위치하는 한국에서 그러한 상부식생의 하강 분포 현상은 흔하게 관찰된다. 식물기후학적으로 잠재적 분포역(Eom, 2019)이 좁고 상록수종의 다양성이 제한되는 '대륙성 난온대'인 한반도 남부 지방에서 그런 현상은 더욱 뚜렷하다(Kim, 2004; Choi, 2012). 난온대 식생의 분포 북한계를 가능할 벤치마킹 식생분자(Tüxen, 1956; Mucina, 2010)의 발굴을 어렵게 하는 대목이다. 따라서 한국에서 난온대 식생의 분포 북한계와 식물기후적 대응성에 관한 해상도 높은 해석은 난온대 식생과 기후 정보의 질적·양적 정교성에 크게 영향을 받을 수밖에 없다. 이러한 측면에서 본 연구는 그러한 식생 및 기후 정보의 정교성을 보완하기 위하여 빅데이터 자료의 가공과 컴퓨터 수리분석 기법을 고안함으로써 성취될 수 있었다.

본 연구결과 $AMT 13^{\circ}C$ 분포역은 한반도의 서부에서 전라북도의 전주시와 익산시까지 분포하였는데, 차나무의 최북자생지로 알려진 전북 익산시 웅포면 함라산(Park *et al.*, 1997; Eom and Kim, 2017)과 최근 직선거리는 8.8 km이었다. 이와 함께 비교적 온난건조한 지역인 영남분지(Eom, 2019)의 대구광역시 주변에서도 $AMT 13^{\circ}C$ 분포역이 비교적 널리 분포하였다. 우리나라에서 가장 높은 해발고도의 차나무 자생지($35^{\circ}58'18''N$, $128^{\circ}43'26''E$, 390 m a.s.l.)로 알려진 팔공산의 서식처(Eom and Kim, 2017)와의 최근 직선거리는 2.2 km이었다. 북한계 지역에서의 분포 특성에 따라 함라산과 팔공산의 차나무 자생 군락지는 작은 면적으로 출현하였고, 그 개체군은 띄엄띄엄 분포하였다. 게다가 $AMT 13^{\circ}C$ 분포역은 낙동정맥으로 이어지는 산줄기의 이동(以東) 지역에서 한반도 동남부 부산에서 동해안을 따라 영덕군 남정면 부흥리까지 이어졌다. 한반도 동해안에서 상록활엽수림의 최북 자생지로 알려진 울산광역시 울주군 온산읍 방도리의 목도(Kim and Jang, 1997)와 경주에서 출현한 차나무의 분포지(Eom and Kim, 2017)는 모두 $AMT 13^{\circ}C$ 분포역 내에 있었다. 한편, 강원도 백두대간의 이동지역으로 동해안을 따라 삼척시 원덕읍 갈남리에서 양양군 현북면 잔교리까지의 지역도 $AMT 13^{\circ}C$ 분포역에 포함되었다. 강원도 동해안과 인근 지역에 대한 식물상 및 식생학적 연구는 부족한 실정으로 난온대성 식물 및 식생과 관련한 학술적 자료는 확인되지 않는다. 제주도에서

$AMT 13^{\circ}C$ 분포역은 해발고도 약 690 m a.s.l.까지 분포하였는데, 이는 $CI - 10^{\circ}C$ 분포역의 최고해발고도(약 980 m a.s.l.)보다 290 m 낮은 결과이다. 한라산에서 $AMT 13^{\circ}C$ 분포역의 최고해발고도는 남사면에서 564.7 m a.s.l., 북사면에서 396.2 m a.s.l.인 것으로 밝혀졌는데, 수직적인 난온대 한계 해발고도로 북사면 400 m a.s.l., 남사면 600 m a.s.l.을 제시한 선행연구(Kim and Choi, 2012)와 거의 일치하였다. 더불어 한라산에서 600 m a.s.l. 이하의 계곡과 산지 사면에서 동백나무와 구실잣밤나무의 분포가 보고된 것도 본 연구의 결과를 뒷받침하였다(Yim *et al.*, 1991). 따라서 $AMT 13^{\circ}C$ 분포역이 난온대 식생 분포역과 가장 유사하다는 본 연구의 결과와 일치하였다.

2. Kira의 온도지수와 한국의 난온대 식생 분포대에 대하여

식물기후학적으로 동아시아 난온대 상록활엽수림의 분포 양상과 기후의 연관성에 관한 대표적 연구사례는 20세기 초에 제안된 Kira의 온도지수이다. Kira는 온도지수로 온량지수(warmth index (*WI*); Kira 1945, 1948)와 한랭지수(coldness index (*CI*); Kira 1948)를 제안하였고, 이 두 지수를 이용하여 우리나라의 식생 분포대를 구분하였다(Kira 1948). 여기에서 난온대(또는 난대)는 $WI 100^{\circ}C$ 등치선, 상록활엽수림의 분포 북한계는 $CI - 10^{\circ}C$ (또는 건습지수 $10^{\circ}C$) 등치선을 제안하였다. 난온대에 관하여 Kira는 상록활엽수림대와 낙엽활엽수림대로 구분하였기 때문이다. 난온대 상록활엽수림대에서 출현하지 않는 서어나무속 식물이 '난온대 낙엽활엽수림대'에서 출현하지만, 졸참나무와 상수리나무 등이 공통으로 출현하기 때문이라고 구분한 이유를 설명하였다. 하지만 서어나무류는 졸참나무·작살나무아군단의 대상분포 식생형에 대응하는 비대상분포(azonal distribution)의 토지적(edaphic) 극상림의 주요 분자(Kim, 1992, 2004)라는 사실과 문화적(synanthropic) 분자로서 상수리나무의 생태형질(Kim and Kim, 2017)에 대한 몰이해에서 비롯하는 식물사회학적 오류이다. 게다가 $WI 85 \sim 100^{\circ}C$ 의 분포역을 난온대와 냉온대(또는 온대)의 이행대로 판단하여 난온대 북한계로 $WI 85^{\circ}C$ 등치선을 제안하기도 하였다. 그 이후 Yim and Kira (1975)는 난온대 상록활엽수림의 경계로 $CI - 10^{\circ}C$ 등치선, 냉온대 낙엽활엽수림의 경계로 $WI 55^{\circ}C$ 등치선을 제시하여 앞선 연구와 다른 기준을 제안하였다. 여기에서 $WI 100^{\circ}C$, $WI 85^{\circ}C$, $WI 55^{\circ}C$ 등치선을 기준으로 냉온대를 다시 남부, 중부, 북부로 세분하였다. 냉온대 남부와 중부는 일본의 난온대 낙엽활엽수림대에 대응하는 것으로 설명하였으나, 이에 대한

Table 3. Kira's warmth and coldness indices of the northern-limit distribution of the forest vegetation zones in Korea. Three historical literatures showed the slightly modified thermal ranges.

Vegetation zone	Vegetation subzone	Kira 1948	Yim & Kira 1975	Yim 1977
Warm-temperate	Evergreen broad-leaved forest	CI - 10	CI - 10	CI - 10
	Deciduous broad-leaved forest	WI 100	-	WI 90~115
Cool-temperate	Southern deciduous broad-leaved forest	WI 85	WI 100	-
	Central deciduous broad-leaved forest		WI 85	-
	Northern coniferous forest	WI 55	WI 55	WI 60~90

근거는 제시하지 않았다. 이후 Yim (1977)은 우리나라에 분포하는 수종의 분포범위 연구에서 WI와 CI의 범위를 규명하였고, 이전 연구에서 냉온대 남부와 중부에 해당하는 분포역을 난온대 낙엽활엽수림대에 포함하는 것이 합리적이라고 고쳐 제한한 바 있다. 즉, 선행연구에서 상록활엽수림대에 관한 북한계는 CI - 10°C로 같았으나, 난온대에 관한 북한계는 차이가 있었다(Table 3).

식물사회학적으로 한국의 동백나무군강은 난온대 상록활엽수림으로 대표되고, 냉온대는 남부·저산지대 낙엽활엽수림대의 졸참나무-작살나무아군단, 중부·산지대 낙엽활엽수림대의 신갈나무-생강나무아군단, 냉온대 북부·고산지대 침활혼합림대의 신갈나무-잣나무군단, 아고산대 침엽수림대의 가문비나무-월귤군강으로 나뉜다(Kim, 1990, 1992, 2004). Kira (1948)의 식생분포대 구분은 난온대 상록활엽수림과 낙엽활엽수림 모두에서 출현한 졸참나무와 상수리나무를 근거로 하였다. 하지만 식물사회학적으로 졸참나무는 냉온대 남부·저산지대 낙엽활엽수림을 대표하는 진단종이고, 난온대 동백나무군강에서는 상록활엽수림의 이차림에서 수반종으로 출현하는 종이다(Oh and Kim, 1996; Suzuki, 2001). 따라서 난온대와 냉온대에 모두 출현하는 졸참나무이지만, 식생분포대 연구에서는 냉온대 남부·저산지대에서의 자연식생형과 난온대의 이차식생형에 포함되어야 한다(Kim and Kim, 2017). 더불어 상수리나무는 전통마을숲 숲정이에 이용되던 자원식물(Kim *et al.*, 2011)로 자연적인 우점림이 만들어지지 않는다(Kim, 2004). 일본의 사토야마(里山) 상수리나무림(Takeuchi *et al.*, 2003)도 마찬가지이다. 일부러 식재하거나 선택적 관리로 생겨나는 상수리나무와 전통마을숲 숲정이를 온도요소에 대응하는 ‘대상분포 식생형’으로 취급하는 것은 식생공간 분포 해석을 문란하게 한다. 이와 같은 한국 내에서의 하록 참나무 6 분류군(신갈나무, 졸참나무, 갈참나무, 떡갈나무, 굴참나무, 상수리나무)의 행동양식에 따른 분포 특성은 Kim and Kim (2017)에서 상세히 분석된 바 있다. 따

라서 현존식생의 면밀한 조사와 분석을 통해 자연식생과 이차식생의 구분, 대상분포와 비대상분포의 잠재자연식생에 대한 이해는 본 연구와 같은 기후요소와 식생 분포대에 관한 연구의 선결과제이다(Tüxen, 1956; Mucina, 2010; Ichter *et al.*, 2014).

Kira의 CI - 10°C에 따른 난온대의 분포역과 동백나무군강의 수평적·수직적 분포와의 일치성이 줄곧 지지받아왔다. 주로 일본에서의 일이다(Kira, 1948, 1991; Yoshino, 1968; Yasuda and Narita, 1981; Fukata *et al.*, 2005). 한반도 남부 지방의 난온대 상록활엽수림 분포에 대해서도 그 경계는 CI - 10°C를 그대로 적용하고 인정한 바 있다(Yim, 1970; Yim and Kira, 1975; Kil and Kim, 1999; Yang, 2002). 그럼에도 Kira의 온도지수 속성을 규정하는 월평균기온 5°C가 식생대 분포와의 상호관계를 보여주기 위해 최적의 특정 온도 값이라는 것을 입증하는 분석 결과는 여태 발견되지 않는다. 이러한 측면에서 본 연구는 “한국의 난온대 식생 분포 북한계는 CI - 10°C 대신에 직접적인 온도요소, 즉 가공하지 않는 AMT 13°C가 더욱 정교하게 특정한다.”는 사실을 결과로 제시하였다. 이는 월평균기온 5°C와 같은 특정 온도 값을 기준으로 가공하여 생성한 특성의 온도지수보다 가공하지 않는 연평균기온이 식생 분포를 해석하기에 충분하다는 결론이다. Kira의 온도지수는 해양성 기후의 일본열도에서 유효할 수도 있으나, 적어도 수분 스트레스를 포함하는 대륙성 기후인 한반도에서의 그 적용은 한계가 있었다. 이미 Chiu *et al.* (2014)은 Kira의 CI - 10°C가 난온대 상록활엽수림의 분포를 규정하는 특정 기후요소로 부적합하다는 연구 결과를 제시한 바도 있다. 아열대기후인 타이완에서 CI - 10°C 등치선이 냉온대 침엽수림에서도 나타난다는 매우 특이한 사태를 발견한 것이다.

한편 Yang (2002)과 Yang and Shim (2007)은 한국에서 현존하는 식물군락과 기후적, 지형적 특성의 연관성을 다중회귀 분석하였는데, 그 결과 AMT 13°C에서 구실

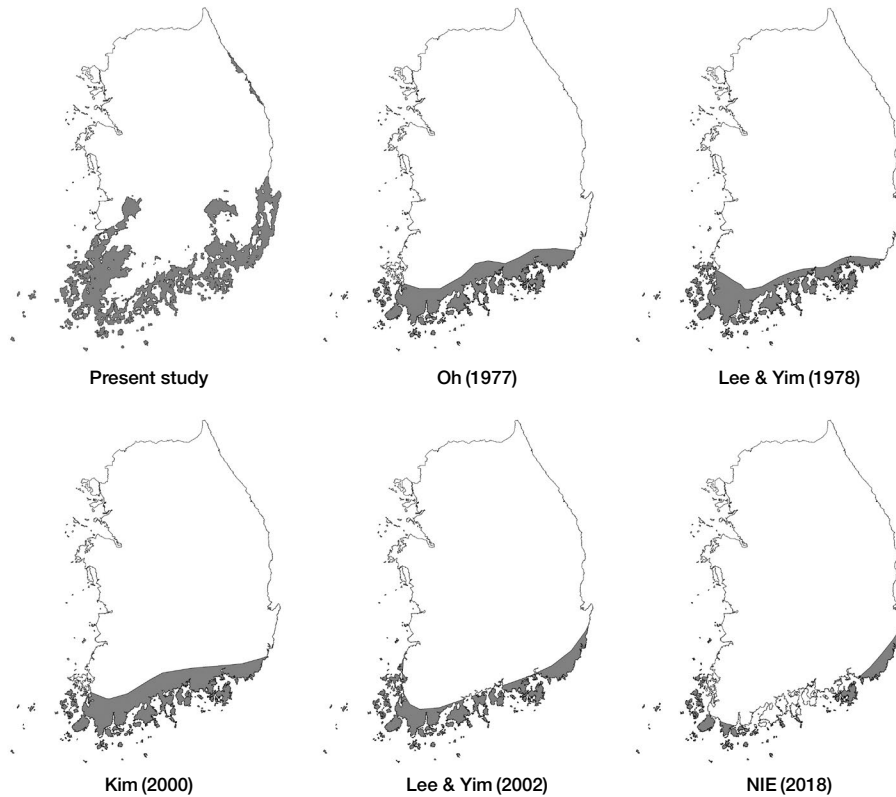


Fig. 4. The warm-temperate zone (grey part) of Korean Peninsula. The map of the present study is distinctive against previous works for floristic region.

잣밤나무림, 동백나무림, 붉가시나무림, 후박나무림이 분포하고 있음을 확인하였다. 더불어 WI 와 CI 의 일차회귀식 ($WI = 116.0133 + 0.9577 \times CI$)을 제시하면서, Yim and Kira (1975)의 $CI - 10^\circ\text{C}$ 상록활엽수림대가 $WI 106.4^\circ\text{C}$ 임을 밝혔다. 하지만 여기에서 제안한 $AMT 13^\circ\text{C}$ 는 상록활엽수림의 분포 범위 속에서 산출된 연평균기온의 “평균값”이 있을 뿐, 분포 한계를 결정짓는 연평균기온의 최저값은 붉가시나무림 11.4°C , 구실잣밤나무림 11.2°C , 동백나무림, 10.5°C , 후박나무림 12.4°C 인 것으로 제시되어 있었다. 즉 제시된 연평균기온 13°C 는 난온대성 식물군락의 “분포 북한계의 온도값”이 아니었다. 게다가 WI 와 CI 는 연평균기온에 따라 그 범위가 한정적으로 결정되기 때문에 두 지수로 회귀분석을 하는 것에는 무리가 있다. WI 와 CI 는 월평균기온 5°C 를 기준으로 높으면 WI , 낮으면 CI 로 구분되고, 이렇게 구분된 월평균기온을 각각 연간 적산한 값 (Formula 3, 4)으로서 다음과 같은 관계가 성립되기 때문이다 (Formula 5).

$$WI = \sum_{m=1}^{12} (T_m - 5), \text{ when } T_m > 5^\circ\text{C} \quad (\text{Formula 4})$$

$$AMT = (WI + CI + 5 \times 12) / 12 = (WI + CI) / 12 + 5 \quad (\text{Formula 5})$$

즉, 선행연구에서 제시한 일차회귀식 ($WI = 116.0133 + 0.9577 \times CI$)처럼 CI (독립변수)에 따라 WI (종속변수)가 영향을 받는 독립-종속 변수로 이해하기 위해서는 AMT 가 이미 결정되어야만 가능하다. 하지만 AMT 는 관측지점마다 상이한 관측값으로 고정된 값이 아니다. CI 와 함께 WI 도 난온대 식생 분포대 구분의 중요한 온도요소로 사용된 바 있다. Park *et al.* (2010)은 난온대 북한계의 기준으로 Yim and Kira (1975)를 근거로 한 $WI 110^\circ\text{C}$ 를 제안하였으나, 제시된 선행연구에서의 결과 ($WI 85^\circ\text{C}$ 또는 $WI 100^\circ\text{C}$)와는 상이한 값이었다.

Oh (1977)는 일찍이 남해안도서분포형의 북한계로 연평균기온 14°C 등온선을 제안한 바 있다. 이 분포형의 특징으로 난대성 상록활엽수와 온대성 식물종 혼생을 제시하였는데, 이는 앞서 언급한 난온대 식생 분포대의 특징을 나타낸 것으로 본 연구의 난온대와 그 의미는 같은 것이었다. Lee and Yim (1978)은 이 기준을 남해안아구의 북한계로 이용하였고, 난대형과 일치하고 상록종의 대부분이 출

현하는 것으로 제시한 바 있다. 이 역시 남해안아구의 북한계선이 본 연구의 난온대 북한계선과 동일한 의미로 사용되었음을 추론할 수 있는 대목이다. 이후 Kim (2000a)은 식물구계학적 특정종의 원형이 되는 환경평가를 위한 식물군(Lee *et al.*, 2005)의 선정 방법론을 처음 제시하면서 그 방법의 기준으로 Lee and Yim (1978)이 구분한 식물구계를 제시하였다. 그런데 Lee and Yim (2002)은 남해안아구의 북한계선(난온대 북한계선)을 다시 수정하였는데, 2018년의 식물구계학적 특정종(Kim *et al.*, 2018)은 이를 기준으로 사용하였다. 즉, 현재 사용되고 있는 식물구계학적 특정종 구분 방법의 기준인 식물구계(Kim *et al.*, 2018)에서 난온대 북한계선의 기준은 Oh (1977)의 북한계선을 보정한 Lee and Yim (2002)에 근거한 것이다. 본 연구 결과를 통해 한국의 난온대 식생 분포대의 북한계로 가장 적합하다고 제안된 연평균기온 13°C 등온선에 따른 난온대의 분포역과 식물구계학적 특정종 선정에 채택된 식물구계 구분에 따른 난온대의 분포역은 상당한 차이가 있음이 드러났다(Fig. 4).

식물구계학적 특정종 목록은 지역 생태계를 평가하기 위한 수단(Kim, 2000a)으로 사용되고, 식생보전등급에서도 중요한 항목(Hyun *et al.*, 2012)으로 제시되고 있다. 하지만 식물구계학적 특정종 선정의 기준이 되는 식물구계 구분의 난온대 경계선에 대한 명확한 학술적 근거는 찾을 수 없었으며(Kim *et al.*, 2019), 본 연구의 고해상도 공간분석 결과와 비교하여서도 큰 차이가 있음이 나타났다. 이러한 결과로부터 식물구계학적 특정종의 선정의 기준인 식물구계구분에서 난온대 경계선에 대한 엄중한 재검토가 향후 과제로 대두되었다.

적 요

난온대 동백나무군강의 한국 내 분포 북한계는 연평균기온 13°C와 14°C, 한랭지수 -10°C 로 제안된 바 있다. 본 연구는 이들 기후요소의 지리적 공간분포 실체를 검토하였다. 세 기후요소의 공간분포 양상은 티센방법과 크리깅법으로 분석하였으며, 세 가지 기후도를 생산하여 난온대 주요 상록활엽수종의 현존분포와 그 대응성을 비교·분석하였다. 결과로 난온대 식생의 분포 북한계는 한랭지수 -10°C 가 연평균기온 14°C보다 일치하였으나, 연평균기온 13°C가 더욱 정교한 일치를 보여주었다. 한반도에서 연평균기온 13°C를 북한계로 한 난온대 식생역의 잠재 분포면적은 20,334 km²로 다른 두 온도요소의 경우보다 넓었다. 본 연구는 가공하지 않은 직접 기후요소인 연평균기온

13°C가 가공으로부터 생겨난 간접 기후요소인 한랭지수 -10°C 보다 난온대 식생 분포 북한계에 대응하는 특정 온도 요소인 것으로 밝혀졌다. 더불어 식물구계학적 특정종의 평가 기준으로 사용되는 난온대 경계선에 대한 학술적 재고의 필요성이 대두되었다.

저자정보 엄병철(계명대학교, 박사후연구원), 김종원(서식처생태학·식물사회학연구소, 에코플래너)

저자기여도 연구설계: 엄병철, 김종원; 자료수집: 엄병철; 자료분석: 엄병철, 김종원; 원고작성: 엄병철, 김종원; 원고수정 및 검토: 엄병철, 김종원

이해관계 저자들은 본 연구에 대한 의견 충돌이 없습니다.

REFERENCES

- Arguez, A. and R.S. Vose. 2011. The definition of the standard WMO climate normal: The key to deriving alternative climate normals. *Bulletin of the American Meteorological Society* **92**(6): 699-704.
- Botti, D. 2018. A phytoclimatic map of Europe. *Cybergeo: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*: document 867.
- Box, E.O. and K. Fujiwara, eds. 2015. Warm-Temperate Deciduous Forests around the Northern Hemisphere. Springer, Cham.
- Chen, D. and H.W. Chen. 2013. Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901~2010. *Environmental Development* **6**: 69-79.
- Chiu, C.A., C.R. Chiou, J.R. Lin, P.H. Lin and C.T. Lin. 2014. Coldness index does not indicate the upper limit of evergreen broad-leaved forest on a subtropical island. *Journal of Forest Research* **19**(1): 115-124.
- Choi, B.K. 2012. Syntaxonomy and synegeography of warm-temperate evergreen broad-leaved forests in Korea. Keimyung University. Ph.D. Thesis.
- Choung, H.L. and S.K. Hong. 2006. Distribution patterns, floristic differentiation and succession of *Pinus densiflora* forest in South Korea: A perspective at nation-wide scale. *Phytocoenologia* **36**(2): 213-229.
- Engelbrecht, C.J. and F.A. Engelbrecht. 2016. Shifts in Köppen-Geiger climate zones over southern Africa in relation to key global temperature goals. *Theoretical and Applied Climatology* **123**(1-2): 247-261.
- Eom, B.C. 2019. Climatically potential natural vegetation and phytoclimatic map of Korea. Keimyung University. Ph.D. Thesis.
- Eom, B.C. and J.W. Kim. 2017. Phytocoenosen and distribution

- of a wild tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) population in South Korea. *Korean Journal of Plant Resources* **30**(2): 176-190.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2005. ArcGIS 9.1. ESRI press, Redlands.
- Forman, R.T.T. 1995. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press, Cambridge.
- Franklin, J. 1995. Predictive vegetation mapping: Geographic modeling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography* **19**(4): 474-499.
- Fukata, H., N. Watanabe, N. Kajihara and J. Tsukamoto. 2005. Altitudinal zoning of understory vegetation in planted Hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) forest from the view of surface soil erosion control. *Japanese Journal of Forest Environment* **47**(2): 77-84.
- Haeckel, E. 1866. Generelle morphologie der organismen: Allgemeine grundzüge der organischen formen-wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte descendenz-theorie. Vol. 2. G. Reimer, Berlin.
- Hong, H.H., J.W. Jang, E.M. Sun, B.A. Kim, S.J. Kim, S.R. Seo and H.T. Im. 2013. Floristic study of Mt. Mudeung. *Korean Journal of Environmental Biology* **31**(2): 121-153.
- Hopkins, A.D. 1938. Bioclimatics: A Science of Life and Climate Relations. U.S. Dept. of Agriculture, Washington D.C.
- Hyun, J.O., H.R. Na, K. Park, J.W. Kim, H.T. Im, J.M. Hwang, Y.B. Jo, H.B. Song, S.C. Lee, O.S. Jung and H.S. Oh. 2012. The 4th Nationwide Survey Guideline for Natural Environment. National Institute of Environmental Research, Incheon.
- Ichter, J., D. Evans and D. Richard. 2014. Terrestrial habitat mapping in Europe: An overview. European Environment Agency, Copenhagen.
- Kang, H.M. 2019. Vegetation characteristics of evergreen broad-leaved forest in the Duryunsan Provincial Park: Focusing on the Daeheungsang (Temple) Area. *Korean Journal of Ecology and Environment* **33**(5): 552-564.
- Kang, J.T., J.H. Jeon and Y.M. Son. 2016. The prediction of the optimal growth site and estimation of carbon stocks for *Castanopsis sieboldii* (Makino) Haus in warm temperate zone by climate change: Focused on Wando island. *The Journal of Korean Island* **28**(2): 273-294.
- KDPA (Korea Database on Protected Areas). 2018. Protected Area. ME (Ministry of Environment). <http://www.kdpa.kr> (accessed Aug. 14, 2018).
- KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency). 2013. Approximate highest high water level. MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2013.
- Kil, B.S. and J.U. Kim. 1999. Syntaxonomy of evergreen broad-leaved forests in Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **17**(3): 233-247.
- Kim, C.H. 2000a. Assessment of natural environment: 1. Selection of plant taxa. *Korean Journal of Environmental Biology* **18**(1): 163-198.
- Kim, C.H., M.O. Moon, J.K. Ahn, I.C. Hwang, S.H. Lee, S.S. Choi, J.H. Lee, et al. 2018. Floristic target species (FT species) in Korea. National Institute of Ecology, Seochon.
- Kim, C.M. 2000b. Forest zone. pp. 26-29. In: Forest & Forestry Technique (Kim, Y.H., ed.). Korea Forest Service, Daejeon.
- Kim, D.C. and Y.J. Chung. 2011. The flora of Mt. Cheongwan. *Korean Journal of Environment and Ecology* **25**(3): 253-266.
- Kim, J.H. and I.S. Jang. 1997. A study on the vegetation of Mokdo Island (Ulsan Metropolitan City). *Natural Science* (Taejon University) **8**(2): 103-113.
- Kim, J.U. and Y.J. Yim. 1987. Actual vegetation and potential natural vegetation of Seonunsan area, Southwestern Korea. *The Korean Journal of Ecology* **10**(4): 159-164.
- Kim, J.W. 1990. A syntaxonomic scheme for the deciduous oak forests of South Korea. *Abstracta Botanica* **14**: 51-81.
- Kim, J.W. 1992. Vegetation of Northeast Asia: On the syntaxonomy and syngéography of the oak and beech forests. University of Vienna. Ph.D. Thesis.
- Kim, J.W. 1993. A review of the current state of green environment in the republic of Korea. Korea Environment Institute, Seoul.
- Kim, J.W. 2004. Vegetation ecology. 1st ed. World Science, Seoul.
- Kim, J.W. and B.K. Choi. 2012. Discovering the essence of the Korean vegetation for field excursion. World Science, Seoul.
- Kim, J.W., B.C. Eom, J.A. Lee, J.S. Park, Y.H. Kim and G.Y. Lee. 2019. A floristically-designated species, i.e. floristic target species: An ecological paradox of what's conservation validity of important plant species. p. 66. In: The 74th Annual Meeting of the Korean Association of Biological Sciences. The Korean Association of Biological Science, Seogwipo.
- Kim, J.W., J.A. Lee, J.C. Lim and S.Y. Hwang. 2011. The origin and preservation of relic forests and confucianism in Korea. *Acta Koreana* **14**: 195-223.
- Kim, J.W. and Y.K. Lee. 2006. Classification and assessment of plant communities. World Science, Seoul.
- Kim, Y.H. and J.W. Kim. 2017. Distributional uniqueness of deciduous oaks (*Quercus* L.) in the Korean Peninsula. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* **20**(2): 37-59.
- Kira, T. 1945. A new classification of climate in Eastern Asia as the basis for agricultural geography. Horticultural Institute Kyoto University, Kyoto.
- Kira, T. 1948. On the altitudinal arrangement of climatic zones in Japan: A contribution to the rational land utilization in cool highlands. *Kanti-Nogaku* **2**: 143-173.
- Kira, T. 1991. Forest ecosystems of East and Southeast Asia in a

- global perspective. *Ecological Research* **6**(2): 185-200.
- Köppen, W. 1918. Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag and jahreslauf. *Petermanns Geographische Mitteilungen* **64**: 193-203.
- Köppen, W. 1936. Das geographische system der klimate. Handbuch der klimatologie. Vol. 1, Part C. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Korznirov, K.A., D.E. Kislov and P.V. Krestov. 2019. Modeling the bioclimatic range of tall herb communities in Northeastern Asia. *Russian Journal of Ecology* **50**(3): 241-248.
- Krestov, P.V. and Y. Nakamura. 2007. Climatic controls of forest vegetation distribution in Northeast Asia. *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* **19**: 131-145.
- Lee, D.K., K.C. Kwon and K.S. Kang. 2017. Contribution of tree plantation, tree breeding and soil erosion control techniques developed during Saemaul Undong periods to the successful forest rehabilitation in the Republic of Korea. *Journal of Korean Forest Society* **106**(4): 371-379.
- Lee, H.W., H.L. Choung, C.H. Kim, J.O. Hyun and I.S. Jang. 2005. Categorization and conservation of the threatened plant species in environmental impact assessment. Korea Environment Institute, Seoul.
- Lee, J.H. and B.H. Choi. 2010. Distribution and northernmost limit on the Korean Peninsula of three evergreen trees. *Korean Journal of Plant Taxonomy* **40**(4): 267-273.
- Lee, W.C. and Y.J. Yim. 1978. Studies on the distribution of vascular plants in the Korean Peninsula. *Korean Journal of Plant Taxonomy* **8**(appendix): 245-277.
- Lee, W.C. and Y.J. Yim. 2002. Phytogeography. Kangwon University Press, Chuncheon.
- Li, C., B. Xiao, Q. Wang, R. Zheng and J. Wu. 2017. Responses of soil seed bank and vegetation to the increasing intensity of human disturbance in a semi-arid region of Northern China. *Sustainability* **9**(10): 1-13.
- Lim, D.O., Y.S. Kim and I.C. Hwang. 2006. Flora and conservation of Weolchulsan National Park. *Korean Journal of Ecology and Environment* **20**(2): 130-142.
- Lim, J.Y. 1965. Soil classification of Korea. *Japanese Society of Pedology* **9**(2): 93-103.
- Microsoft Corporation. 2019. Microsoft Office 365 Excel. Microsoft Corporation, Redmond.
- Miyawaki, A., ed. 1967. Vegetation of Japan. Gakken, Tokyo.
- Miyawaki, A. 1984. A vegetation-ecological view of the Japanese Archipelago. Bulletin of Institute of Environmental Science and Technology, Yokohama National University **11**: 85-101.
- Miyawaki, A. and S. Okuda, eds. 1990. Vegetation of Japan illustrated. Shibundo, Tokyo.
- Miyawaki, A., S. Okuda and R. Fujiwara. 1994. Handbook of Japanese vegetation. Shibundo, Tokyo.
- Mucina, L. 2010. Floristic-phytosociological approach, potential natural vegetation, and survival of prejudice. *LAZAROA* **31**: 173-182.
- Nakanishi, S. and T. Hattori. 1979. A Castanopsis type association of the setouchi district in Southwestern Japan. *Bulletin of the Yokohama Phytosociological Society* **16**: 113-140
- NGII (National Geographic Information Institute). 2017. Digital Map (1 : 5,000). NGII. <http://www.ngii.go.kr/kor> (accessed Apr. 5, 2017).
- NMAJS and UJAST (NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems and U.S./Japan ASTER Science Team). 2009. ASTER Global Digital Elevation Model. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.
- Numata, M. 1984. The relationship between vegetation zones and climatic zones. *Japanese Journal of Biometeorology* **21**(1): 1-10.
- Oh, H.K. and M.S. Beon. 2007. Characteristics distribution of vascular plants of the Moaksan Provincial Park. *Korean Journal of Ecology and Environment* **21**(1): 38-46.
- Oh, J.G. 1995. Comparative studies on evergreen broad-leaved forests of Dadohae National Marine Park in Korea and Nagasakigen in Japan. Mokpo National University. Ph.D. Thesis.
- Oh, K.K. and Y.S. Kim. 1996. Restoration model of evergreen broad-leaved forests in warm temperate region (I): Vegetation structure. *The Korean Journal of Ecology* **10**(1): 87-102.
- Oh, S.Y. 1977. Floral and phytogeographical studies on the vascular plants of Korea. *Nature and Life* **7**(1): 13-39.
- Oliver, M.A. and R. Webster. 1990. Kriging: A method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems* **4**(3): 313-332.
- Park, C.M. 1998. Investigation on the inhabitation environments and growth conditions of *Machilus thunbergii* community in Pyonsanbando. *Korean Journal of Environment and Ecology* **12**(3): 242-252.
- Park, I.H., R.H. Kim and S.H. Lee. 1997. Ecology and morphological characteristics of leaves in natural populations of *Camellia sinensis*. *Journal of the Korean Tea Society* **3**(2): 125-134.
- Park, J.C., K.C. Yang and D.H. Jang. 2010. The movement of evergreen broad-leaved forest zone in the warm temperate region due to climate change in South Korea. *Journal of Climate Research* **5**(1): 29-41.
- Park, S.J. 2014. Generality and specificity of landforms of the Korean Peninsula, and its sustainability. *Journal of the Korean Geographical Society* **49**(5): 656-674.
- Sakai, A. 1975. Freezing resistance of evergreen and deciduous broad-leaf trees in Japan with special reference to their distributions. *Japanese Journal of Ecology* **25**(2): 101-111.
- Shin, J.H., Y.S. Jeon and J.W. Son. 2016. The study of distribution changing and community characteristics of *Daphniphyllum macropodum* (National Monument No. 91) in Naejangan

- National Park. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* **19**(3): 45-57.
- Suzuki, S.I. 2001. A phytosociological classification system of the *Quercus serrata* forests in Japan. *Vegetation Science* **18**(2): 61-74.
- Takeuchi, K., R.D. Brown, I. Washitani, A. Tsunekawa and M. Yokohari, eds. 2003. Satoyama: The traditional rural landscape of Japan. Springer, Tokyo.
- Thiessen, A.H. 1911. Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review* **39**(7): 1082-1084.
- Tüxen, R. 1956. Die heutige potentielle natürliche vegetation als gegenstand der vegetationskartierung. *Angewandte Pflanzensoziologie* **13**: 4-42.
- Warming, E. 1909. Oecology of plants. Clarendon Press, Oxford.
- WMO (World Meteorological Organization). 2017. WMO guidelines on the calculation of climate normals. WMO, Geneva.
- Woo, S.Y. 2016. The development of South Korea in the after-war order and the eco-recovery. *Studies on Life and Culture* **40**: 89-126.
- Yamanaka, T. 1969. The forest and scrub vegetation in limestone areas of Shikoku, Japan. *Vegetatio* **19**(1/6): 286-307.
- Yang, I.S. and W. Kim. 1972. Conspectus relation between the distribution of evergreen broad-leaved trees and the climatic factors in southern area of Korea. *Korean Journal of Plant Taxonomy* **4**(1): 11-18.
- Yang, K.C. 2002. Classification of major habitats based on the climatic conditions and topographic features in Korea. Chung-Ang University. Ph.D. Thesis.
- Yang, K.C. and J.K. Shim. 2007. Distribution of major plant communities based on the climatic conditions and topographic features in South Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **25**(2): 168-177.
- Yasuda, Y. and K. Narita. 1981. Calculated thermal index maps for the reconstruction of past vegetation since the last glacial age in Japan. *Geographical Review of Japan* **54**(7): 369-381.
- Yim, Y.J. 1970. On the distribution of woody plant species in relation to the climatic conditions in Korea. *The Research Journal* **5**(1): 315-336.
- Yim, Y.J. 1977. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula: III. Distribution of tree species along the thermal gradient. *The Ecological Society of Japan* **27**(3): 177-189.
- Yim, Y.J. and T. Kira. 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula: I. Distribution of some indices of thermal climate. *The Ecological Society of Japan* **25**(2): 77-88.
- Yim, Y.J., K.S. Paik and N.J. Lee. 1991. The vegetation of Mt. Halla: A study of flora and vegetation. Chung-Ang University Press, Seoul.
- Yoshino, M.T. 1968. Distribution of evergreen broad-leaved forests in Kanto District, Japan. *Geographical Review of Japan* **41**(11): 674-694.
- Yun, J.H., J.H. Kim, K.H. Oh and B.Y. Lee. 2011a. Distributional change and climate condition of warm-temperate evergreen broad-leaved trees in Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **25**(1): 47-56.
- Yun, J.H., K. Nakao, C.H. Park, B.Y. Lee and K.H. Oh. 2011b. Change prediction for potential habitats of warm-temperate evergreen broad-leaved trees in Korea by climate change. *Korean Journal of Environment and Ecology* **25**(4): 590-600.
- Yun, J.I., J.Y. Choi and J.H. Ahn. 2001. Seasonal trend of elevation effect on daily air temperature in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**(2): 96-104.