

부산 태종대 식생관리를 위한 식물사회네트워크 분석^{1a}

이상철² · 강현미³ · 박석곤⁴ · 백재봉⁵ · 유찬열⁶ · 황인천⁷ · 최송현^{8*}

Analysis of Plants Social Network for Vegetation Management on Taejongdae in Busan Metropolitan City^{1a}

Sang-Cheol Lee², Hyun-Mi Kang³, Seok-Gon Park⁴, Jae-Bong Baek⁵, Chan-Yeol Yu⁶, In-Chun Hwang⁷,
Song-Hyun Choi^{8*}

요약

식물사회를 이해하기 위한 새로운 방법으로 식물사회와 사회 연결망 분석을 결합한 식물사회네트워크 분석이 시도되고 있다. 본 연구는 부산 태종대를 대상으로 식물사회네트워크 분석을 활용하여 종간 관계를 살펴보고 이를 관리에 활용하기 위한 기초자료 구축의 목적으로 수행하였다. 우리나라 난온대림에 위치한 태종대는 부산광역시의 대표적인 해안림으로 곰솔-사스레피나무군락이 폭넓게 분포하고 있다. 태종대를 대상으로 100m² 크기의 방형구 100개소를 설치하여 출현 수종을 조사하였고, 주요 종을 중심으로 종간결합 분석을 실시하였다. 그 결과를 바탕으로 Gephi 0.9.2를 활용하여 소시오그램을 작성하였으며, 네트워크 중심성 및 구조를 분석하였다. 연구결과, 곰솔, 사스레피나무, 졸참나무, 팔배나무, 팽나무, 때죽나무 순으로 출현빈도가 높았으며, 대상지의 환경적 특성상 상록활엽수가 다수 출현하였다. 태종대 식물사회네트워크는 노드수가 50개, 연결정도가 172개의 소규모 네트워크로 구축되었으며, 모듈화를 통해 4개그룹으로 나누어졌다. 구축된 소시오그램을 통해 천이계열을 살펴보면, 현재 곰솔, 사스레피나무가 포함된 그룹은 벗나무, 개웃나무를 매개자로 하여 졸참나무, 개서어나마가 우점하는 낙엽활엽수군락으로, 후박나무를 매개자로 하여 후박나무, 참식나무가 우점하는 상록활엽수군락으로 천이될 가능성이 높았고, 일부지역에서는 생강나무, 팽나무를 매개자로 하여 팽나무, 굴참나무, 느티나무가 우점하는 낙엽활엽수군락으로 천이가 예상된다.

주요어: 해안림, 곰솔, 소시오그램, 천화종, 중심성, 식생천이

1 접수 2022년 9월 6일, 수정 (1차: 2022년 11월 4일), 게재확정 2022년 11월 8일

Received 6 September 2022; Revised (1st: 4 November 2022); Accepted 8 November 2022

2 부산대학교 응용생태연구실 연구원 Applied Ecology Lab., Pusan National Univ., Miryang 50463, Korea (enula@pusan.ac.kr)

3 국립목포대학교 조경학과 조교수 Dept. of Landscape Architecture, Mokpo National Univ., Muan 58554, Korea (kang@mokpo.ac.kr)

4 국립순천대학교 산림자원·조경학과 교수 Sunchon National Univ., Suncheon 57922, Korea (sgpark@scun.ac.kr)

5 부산대학교 조경학과 교수 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National Univ., Miryang 50463, Korea (jbbak@pusan.ac.kr)

6 경남산림환경연구원 산림연구과 Forest Research Department, Gyeongsangnam-do Forest Environment Research Institute, Jinju 52615, Korea (duf2002@korea.kr)

7 한국환경기술개발(주) 이사 Korea Environmental Research (plant836@nate.com)

8 부산대학교 조경학과 교수 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National Univ., Miryang 50463, Korea (songchoi@pusan.ac.kr)

a 이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-55-350-5401, Fax: +82-55-350-5409, E-mail: songchoi@pusan.ac.kr

ABSTRACT

Plants social network analysis, which combines plants society and social network analyses, is a new research method for understanding plants society. This study was conducted to investigate the relationship between species, using plant social network analysis targeting Taejongdae in Busan, and build basic data for management. Taejongdae, located in the warm temperate forest in Korea, is a representative coastal forest of Busan Metropolitan City, and the *Pinus thunbergii*-*Eurya japonica* community is widely distributed. This study set up 100 quadrats (size of 100m²each) in Taejongdae to investigate the species that emerged and analyzed the interspecies association focusing on major species. Based on the results, a sociogram was created using the Gephi 0.9.2, and the network centrality and structure were analyzed. The results showed that the frequency of appearance was high in the order of *P. thunbergii*, *E. japonica*, *Quercus serrata*, *Sorbus alnifolia*, *Ligustrum japonicum*, and *Styrax japonicus* and that many evergreen broad-leaved trees appeared due to the environmental characteristics of the site. The plants social network of Taejongdae was composed of a small-scale network with 50 nodes and 172 links and was divided into 4 groups through modularization. The succession sere identified through a sociogram confirmed that the group that include *P. thunbergii* and *E. japonica* would progress to a deciduous broadleaf community dominated by *Q. serrata* and *Carpinus tschonoskii*, using hub nodes such as *Prunus serrulata*, *spontanea* and *Toxicodendron trichocarpum*. Another succession sere was highly likely to progress to an evergreen broad-leaved community dominated by *Machilus thunbergii* and *Neolitsea sericea*, using *M. thunbergii* as a medium. In some areas, a transition to a deciduous broad-leaved community dominated by *Celtis sinensis*, *Q. variabilis* and *Zelkova serrata* using *Lindera obtusiloba* and *C. sinensis* as hub nodes was expected.

KEY WORDS: COASTAL FOREST, *Pinus thunbergii*, SOCIOGRAM, FRIENDLY SPECIES, CENTRALITY, VEGETATION SUCCESSION

서론

부산광역시 영도구에 위치한 태종대(太宗臺)는 1972년 6월 부산기념물 제28호로 지정되었다가 2005년 11월 국가 지정문화재(명승 제17호)로 지정되었고, 2013년 12월에는 국가지질공원으로 지정되었다. 태종대는 태종산을 중심으로 형성된 구릉지역으로 남해안에 접하고 있으며, 현재 유원지로 지정되어 이용되고 있다. 이곳은 해안의 직접적인 영향을 받아 곰솔림을 중심으로 독특한 해안성 목본 식생군락이 형성된 지역으로 우수한 식생자원이 보전되어 왔다(Kim, 2012).

태종대는 백악기말에 호수에 쌓인 퇴적층이 해수면 상승으로 파도에 의해 침식되어 만들어진 파식지대, 해식에, 해안동굴 등의 암벽해안으로 명성이 높고 부산을 대표하는 해안 경관지역으로 많은 탐방객들이 방문하고 있다. 부산광역시에는 해안선을 따라 해안림이 폭넓게 분포하고 있는데, 그 중 태종대는 문화재보호구역(명승)과 유원지라는 특수성

때문에 부산시설공단 태종대유원지사업소에서 관리하고 있어 타 지역에 비해 인위적 훼손없이 보전되어 온 부산을 대표하는 해안림이다.

해안림을 대상으로 한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. Lee *et al.*(2016)은 우리나라 해안 식생을 대상으로 식물사회학적 유형화를 시도하였다. 다만, 부산광역시가 위치하고 있는 남동부지역 해안 식생에 대한 조사가 이뤄지지 않았다. Kim and Kim(2017)은 한반도 해안림의 가치와 중요성을 인식하기 위한 연구를 진행하였는데, 이론적 고찰에 국한된 것으로 해안림의 실태를 면밀하게 파악하기에는 한계가 있었다.

부산광역시 해안림 관리방안을 위한 기초자료를 구축하기 위한 연구(Shin *et al.*, 2019)를 살펴보면, 부산 해안림의 교목층에서는 곰솔이 우점하고, 하층식생에서는 사스레피나무와 동백나무가 우점하는 것으로 나타났다. 또한 해안림의 환경 특성상 내염성이 강한 수종들이 군락을 이루고 있기 때문에 급격한 환경변화가 발생하지 않으면 현 상태의 군락

구조를 유지할 것으로 판단했다. 태종대를 대상으로 진행된 연구(Kim and Choi, 2007; Kim, 2012) 결과에 따르면, 태종대는 부산지역의 다른 해안림에 비해 사스레피나무가 다수 관찰되었고, 난온대 기후대 천이계열 초기단계에 있는 것으로 추정되었다.

하지만, 태종대의 입지특성상 타 지역의 해안 곰솔림처럼 해풍에 의한 염분피해가 수시로 발생하고, 소나무재선충병 등 병해충 피해와 토양 비옥화, 기후변화 등에 따른 피해가 누적됨에 따라 태종대에 폭넓게 분포하고 있는 곰솔림의 쇠퇴현상이 발생되고 있다. 특히 곰솔이 고밀도로 생육하고 있는 지역에서는 광양부족으로 인한 아랫가지 고사, 내음성 수종의 번성, 토양수분의 축적, 토양비옥화, 활엽수 우점도 상승 등으로 인해 천이가 예상됨에 따라 체계적인 식생관리를 위한 기초자료 구축이 필요한 실정이다. 생태적 식생관리의 기초자료는 모델이 되는 자연림을 중심으로 해당 식물사회를 이해함으로써 구축될 수 있다. 식물사회를 이해하기 위한 연구는 지속적으로 이루어져 왔으며, 최근에는 사회 네트워크 분석을 바탕으로 새로운 분석 방법인 식물사회네트워크를 활용하여 식물사회구조를 쉽게 이해할 수 있도록 시각화하기도 한다(Lee *et al.*, 2020).

사회 네트워크 분석은 1960년대와 1970년대에 걸쳐서 사회학과 사회심리학 분야의 연구자들이 개발한 학제적인 방법론이다(Lee, 2006). 1970년대 이후 수학, 통계학, 전산학 분야 연구자들이 가세하여 분석 기법을 체계화함에 따라서 경제학, 마케팅, 산업공학 등의 여타 분야에 유용한 분석 기법으로 자리잡게 되었다(Scott, 2000). 최근에는 네트워크 분석방법론을 토대로 빅데이터를 기반으로 복잡계에 대한 연구로 그 영역과 한계를 점차 넓혀가고 있다.

식물도 사회를 형성하고 있으며, 주어진 환경조건에 따른 각기 다른 종조성을 가지고 있다(Kim, 2006). De Vries *et al.*(1954)은 쌍을 이루는 두 종의 출현양상에 관련된 지수를 통해 상관계수를 산출하여 네덜란드 초지의 식물 관계망을 표현하였다. 우리나라 식물사회학 분야에서도 각 종간 관계성에 주목하여 결합관계를 분석하고 성좌표를 그려 연결성을 파악하기도 하였다(Ko *et al.*, 2014; Byeon and Yun, 2017). 하지만 네트워크 구조를 파악하지 못했고, 데이터가 많아짐에 따라 대규모 네트워크 구축에 한계가 있었다. 이를 극복하기 위해 네트워크 분석방법론을 접목한 식물사회네트워크 분석은 비교적 최근에 연구가 시작되었다(Lee, 2018; Lee *et al.*, 2020; Jang *et al.*, 2021).

이에 식물사회네트워크와 관련한 연구사례도 부족한 실정이지만, 본 연구를 통해 기존 연구 결과와 비교 검토함으로써 식물사회네트워크 분석의 고도화와 활용성을 증진해 나갈 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구는 기존 연구를 통해 구축되어 있는 식물사회학 자료의 수준에서 한 걸음

더 나아가, 식물사회학적 방법과 사회연결망 분석을 결합한 식물사회네트워크 분석을 활용하여 태종대 식물사회를 이해하고자 하였다. 이를 바탕으로 태종대 식생의 체계적인 관리를 위한 기초자료를 제공하고 천이계열을 고찰하고자 하였다.

연구방법

1. 연구 대상지

한반도 남동부에 위치한 부산광역시는 식물구계학적으로 남해안아구로 분류되며, 온난한 기후 특성과 지리적 특성으로 인해 일부 난온대 및 아열대지역 분포종심종의 북한계 분포지역으로 고려되기도 한다(Lee and Yim, 2002). 기상청 과거자료(1960~2021년)를 분석한 결과, 부산의 연평균 기온은 14.5°C이며, 온량지수(WI) 117.1, 한랭지수(CI) -2.1로 수평적 산림대로는 난온대림에 속하고, 상록활엽수 중 비교적 내한성이 강한 동백나무, 후박나무, 붉가시나무, 가시나무, 줄가시나무 등이 생육 가능한 지역이다. 특히 태종대가 위치한 영도구는 대한해협에 접하고 있어 해양성기후의 특징이 잘 나타나며, 연간 기온차가 비교적 적은 지역이다.

태종대에는 곰솔림이 폭넓게 분포하고 있으며, 난온대 기후대 천이계열 초기단계로 곰솔의 세력이 적은 곳에서는 졸참나무, 개서어나무 등이 우점하고 있다(Kim, 2012). 태종대는 부산광역시 해안림 중 체계적 관리로 인해 인위적 훼손이 비교적 적은 곳이다. 또한 한반도 남동부에 위치하여 기후변화로 인한 식생 천이가 빠르게 나타나고 있는 지역이므로 현 단계에서 식물사회네트워크를 구축해 놓는다면, 추후 비교, 고찰 등 활용성이 높다고 판단된다.

따라서 본 연구는 한반도 남동부 해안림의 특성이 잘 나타나고 있는 태종대를 연구 대상지로 선정하여 식물사회네트워크를 구축하고자 하였다. 태종대 문화재보호구역(명승)을 경계로 현장조사가 가능한 범위 내에서 상관식생유형, 지형, 교란정도 등을 고려하여 10m×10m(100m²) 방형구 100개소를 설치하여 출현 수종을 조사하였다(Figure 1).

2. 조사 및 분석방법

1) 현장조사 및 데이터 전처리

현장조사는 2022년 2월부터 8월까지 실시하였다. 식물사회네트워크 분석을 위한 전처리 분석인 중간결합 분석(Lee *et al.*, 2020)을 위해 기존 문헌 및 임상도 등을 사전에 파악하여 태종대의 식생유형이 반영되도록 조사구(10m×10m)를

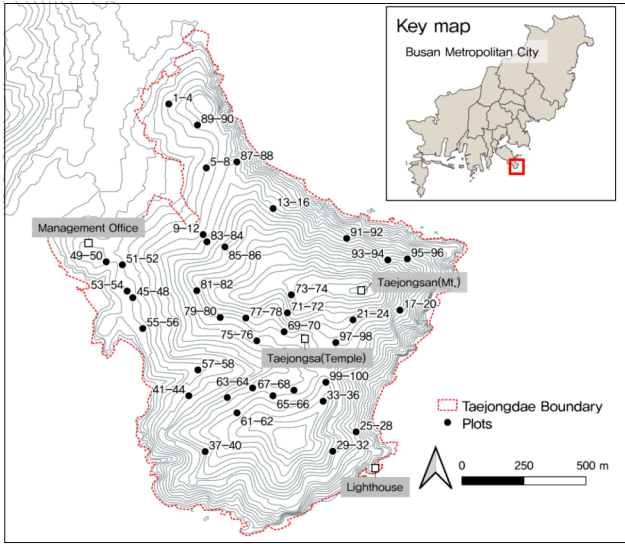


Figure 1. Map of the survey plots in the Taejongdae.

100개 설치하였다. 설치된 각 방형구(100m²) 내 출현하는 목본 수종을 모두 기록하였으며, 현장에서 동정이 불가능한 수종은 사진촬영하여 실내에서 문헌 등을 참고하여 분류하였다.

식물사회네트워크 분석을 위한 데이터는 속성형 데이터(attribute data)와 관계형 데이터(relational data)가 있다. 속성형 데이터는 출현한 수종의 성상, 출현빈도 등을 적용하였다. 관계형 데이터는 종간결합(interspecies association) 분석 결과를 활용하여 정의 상관관계(++ , +)를 나타내는 것과 그렇지 않는 것으로 구분하여 활용하였다.

종간결합 분석은 식물종간의 연관성을 가장 잘 나타내 주며, 유의적인 연관성을 가지는 종들을 도형으로 나타낼 수 있어 종간의 분포상태와 유연성에 대한 이해도를 증진시킬 수 있다(Agnew, 1961; Park and Kim, 1979). 종간결합 분석을 실시하기 위해 기존 문헌들(Cole, 1949; Ko et al., 2014; Lee et al., 2014; Lee et al., 2020)을 참고하여 100개의 방형구로부터 기록된 종을 중심으로 5% 이상의 빈도를 갖는 종수×조사방형구수, 종의 존재유무 자료행렬(presence-absence data matrix)에서 모든 종간의 쌍에 대하여 2×2 분할표(Table 1)를 이용하여 χ^2 검정(Chi-square test statistic)을 하였다(Formula 1). 종간결합은 양성결합, 음성결합, 기회결합의 3가지 유형의 결합관계로 나타난다(Pielou, 1977; Greig-Smith, 1983; Schluter, 1984; Ludwig and Reynolds, 1988). 다만, Gephi 0.9.2 프로그램을 활용한 식물사회네트워크 구현은 종간결합 중 양성결합을 우선적으로 사용한다(Lee et al., 2020; Jang et al., 2021)는 점을 고려하여, 본 연구에서는 99%의 확률 수준에서 양성결합(++)과 95%의 확률 수준에서 양성결합(+)을 추출하여 활용하였다.

Table 1. 2×2 contingency table for association between two species, A and B(Cole, 1949)

		species B		
		Present	Absent	
species A	Present	a	b	m=a+b
	Absent	c	d	n=c+d
		r=a+c	s=b+d	N=a+b+c+d

*a=The number of SUs where both species occur
 b=The number of SUs where species A occurs, but not B
 c=The number of SUs where species B occurs, but not A
 d=The number of SUs where neither A nor B are found

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{observed} - \text{expected})^2}{\text{expected}} = \frac{N[|ad - bc| - (N/2)]^2}{mnr s} \quad (\text{Formula 1})$$










2) 소시오그램 작성 및 네트워크 구조 분석

Moreno(1934)에 의해 고안된 소시오그램(Sociogram)은 사회 집단에서 개인(노드)간의 관계를 나타낸 도표로, 관계의 성격과 특징을 직관적이고 용이하게 파악할 수 있게 해준다(Jang and Jang, 2009). 식물사회학 분야에서는 각 종간 관계성에 주목하여 결합관계를 분석하였고, 이를 토대로 성좌표(constellation)을 작성하여 왔다(De vries et al., 1954; Ko et al., 2014; Byeon and Yun, 2017). 하지만, 기존 방법으로 작성된 성좌표를 토대로 네트워크 구조를 분석하기에는 한계가 있었다.

최근 고안된 식물사회네트워크 시각화 및 구조 분석(Lee et al., 2020)은 Gephi 0.9.2를 활용하여 다양한 네트워크 형식 구현이 가능하고 많은 양의 데이터(노드, 링크) 처리를 용이하게 한다. 본 연구에서는 기존 연구방법을 차용하여(Lee et al., 2020; Jang et al., 2021) 종간결합 분석 결과 중 양성결합을 기초로 소시오그램 요소를 설계하였다(Table 2). 다만, 곰솔림이 폭넓게 분포하고 있는 본 연구 대상지의 균락분포 특성상 조사구 내 곰솔, 사스레피나무 등이 빈번하게 출현하였는데, 빈번 출현종의 양성결합이 잘 나타나지 않았다. 해당 지역에서 폭넓게 분포하고 있다는 것은 주어진 환경에 적응하여 구성된 식물사회이므로 이점을 감안하여, 출현 빈도를 기준으로 글자 크기를 나타내었다. 또한 작성된 소시오그램을 중심으로 그룹별로 모듈화하여 각 그룹별로 노드의 색을 달리 표현하였다.

네트워크 구조의 특성을 파악하는 것은 여러 지표들 통해 이루어질 수 있다. 본 연구에서는 노드 개수(Node), 연결정도(Degree), 평균 연결정도(Average Degree), 그래프 밀도(Graph density), 네트워크 크기(Network diameter), 평균 경로 거리(Average path length)를 분석하였다.

Table 2. Design for sociogram elements of Plants Social Network

Classification		Content	Data Type
	Node	Species	attribute data
  	Size of node	Degree	attribute data
   	Color of node	Modularity (Plant Group)	attribute data
PIDE	PIDE	Frequency of appearance	attribute data
	line and thickness	Interspecific association (Chi-square statistic; $p < 0.01$, $p < 0.05$)	relational data

3) 중심성 분석

중심성(centrality)은 사회 네트워크에서 노드가 가지는 영향력이라는 개념으로 개발되었으며, 네트워크 분석에서 활용되는 여러 지표 중에서 중요한 개념이자 많이 쓰이는 측정방법이다(Kim, 2015). 중심성은 전체 연결망 내에서 노드가 얼마나 중심에 위치해 있는가의 정도를 정량화하기 위한 지표로 사용되며(Sohn, 2002; Kim and Chang, 2010), 네트워크 내에서 핵심노드가 무엇인지를 확인하는데 사용된다(Lee, 2010). 중심성의 측정지표로는 연결중심성, 근접중심성, 매개중심성, 위세중심성 등이 있는데, 기존 계산 방법(Freeman, 1978; Bonacich, 1987)을 활용하여 분석하였다.

연결중심성(degree centrality)은 다른 노드와의 연결된 정도를 중시하며, 연결망 내에서 한 노드에 연결되어 있는 노드들의 합을 말한다. 연결중심성이 높다는 것은 다양한 수종과 관계를 맺고 있는 것이며, 식물사회 내에서 세력을 유지하거나 확장되기 좋은 조건을 가지고 있다는 것을 의미한다.

근접중심성(closeness centrality)은 인접중심성이라고도 하는데, 한 노드가 다른 노드에 얼마만큼 가깝게 있는가를 말하는 개념이다(Kim and Chang, 2010). 근접중심성이 높다는 것은 연결망 내에서 핵심이 되는 수종과 가까운 거리에 위치하고 있어 핵심 수종이 세력을 확장해나감에 따라 동시에 세력을 확보해나갈 수 있는 조건을 가지고 있음을 의미한다.

매개중심성(betweenness centrality)은 사이중심성이라고도 하며, 한 노드가 다른 노드와 네트워크를 구축하는데 있어 중개자 혹은 다리 역할을 얼마나 수행하느냐를 측정하는 개념이다. 다시 말해, 대표적인 그룹을 이어주는 위치에 있는 수종으로 식생 변화의 흐름에 있어서 지속적으로 생육할 수 있는 조건이 높다고 볼 수 있다.

위세중심성(prestige centrality)은 해당 노드의 중심성과 연결된 다른 노드의 중심성 지표를 함께 고려한 것이다. 즉 강한 영향력을 지닌 단 하나의 노드와의 연결이 다른 여러

평범한 노드와 연결된 경우보다 자신의 영향력을 증가시킨다는 개념이다. 다시 말해, 중심성이 높은 수종과의 결합이 이뤄지고 있음을 의미한다.

결과 및 고찰

1. 대상지 개황 및 출현 수종

태종대 식물사회네트워크 분석을 위한 현장조사 방형구의 일반적 개황은 다음과 같다(Table 3, Figure 2). 조사구는 해발 35~204m, 경사도 5~43°에 입지하였으며, 주로 북서향, 남서향 사면의 비율이 높았다. 태종대는 태종산이 최고봉이고 서쪽으로 완만한 경사가 넓은 면적을 차지하고 있는 반면, 동쪽으로는 급격한 경사로 해안과 마주하고 있어 현장에서의 조사의 용이성 등 대상지의 지형적 특성이 고려되었다. 100m² 조사구 내 출현수종은 최소 4종에서 최대 24종이 출현하였으며, 평균 14.7종이 생육하고 있었다.

식생층위별 특성을 살펴보면, 교목층의 수고는 10.8~17.0m, 식피율은 40~90%로 나타났고, 아교목층 수고는 3.3~10.0m, 식피율은 40~90%로 나타났다. 관목층의 수고는 0.1~2.0m, 식피율은 10~90%로 관목층 식피율의 편차가 크게 나타났다.

100개 조사구에서 출현한 수종의 출현빈도와 특성은 다음과 같다(Table 4). 출현빈도는 곰솔(84개소), 사스레피나무(79개소), 졸참나무(74개소), 팔배나무(71개소), 광나무(60개소), 때죽나무(55개소), 청미래덩굴(55개소), 털팽나무(54개소), 자금우(50개소) 순으로 나타났다. 이는 곰솔-사스레피나무가 폭넓게 분포하고 저지대 해양성기후의 영향과 더불어 도심인근에 위치한 대상지의 특성이 반영된 결과로 판단된다. 출현한 89종 중 32.6%인 29종은 상록수였고, 67.4%인 60종은 낙엽수였다. 대상지와 비슷한 위도의 무등산 국립공원은 상록수 4.8%, 낙엽수 95.2%로 나타났는데(Jang et al., 2021), 본 연구 대상지에서는 해양성기후와

Table 3. General description of physical and vegetation of the surveyed plots

	Min.	Max.	Mean
Altitude(m)	35	204	110.3±42.4
Slope(°)	5	43	18.5±8.8
Number of Species	4	24	14.7±4.2
Canopy	Height(m)	10.8	17.0
	Coverage(%)	40	90
Understory	Height(m)	3.3	10.0
	Coverage(%)	40	85
Shrub	Height(m)	0.1	2.0
	Coverage(%)	10	90

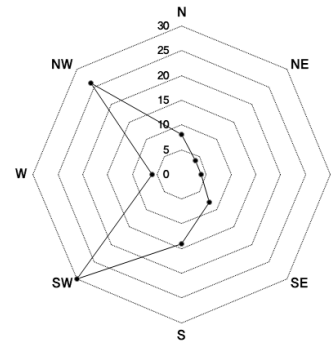


Figure 2. Ratio(%) of aspect on the surveyed areas.

Table 4. Classification of all species that appeared in the 100 plots surveyed

Species	Label	F.A.*	E.D.**	Species	Label	F.A.	E.D.
<i>Actinidia arguta</i> (다래)	Acar	3	D	<i>Lespedeza maximowiczii</i> (조록싸리)	Lema	1	D
<i>Akebia quinata</i> (으름덩굴)	Akqu	3	D	<i>Ligustrum japonicum</i> (광나무)	Ligj	60	E
<i>Alangium platanifolium</i> var. <i>trilobum</i> (박쥐나무)	Alpl	2	D	<i>Ligustrum obtusifolium</i> (쥐똥나무)	Ligob	10	D
<i>Alnus firma</i> (사방오리)	Alfi	1	D	<i>Lindera erythrocarpa</i> (비목나무)	Lier	40	D
<i>Ampelopsis glandulosa</i> var. <i>heterophylla</i> (개머루)	Amgl	7	D	<i>Lindera glauca</i> (감태나무)	Ligl	10	E
<i>Aralia elata</i> (두릅나무)	Arel	1	D	<i>Lindera obtusiloba</i> (생강나무)	Liob	11	D
<i>Ardisia japonica</i> (자금우)	Arja	50	E	<i>Machilus thunbergii</i> (후박나무)	Math	24	E
<i>Aria alnifolia</i> (팔배나무)	Aral	71	D	<i>Magnolia denudata</i> (백목련)	Made	2	D
<i>Aucuba japonica</i> (식나무)	Auja	1	E	<i>Mallotus japonicus</i> (예덕나무)	Maja	4	D
<i>Aucuba japonica</i> f. <i>variegata</i> (금식나무)	Aujav	1	E	<i>Meliosma pinnata</i> subsp. <i>arnottiana</i> (합다리나무)	Mepi	12	D
<i>Callicarpa japonica</i> (작살나무)	Calja	15	D	<i>Morus bombycis</i> (산뽕나무)	Mobo	22	D
<i>Camellia japonica</i> (동백나무)	Caja	15	E	<i>Neolitsea sericea</i> (참식나무)	Nese	38	E
<i>Carpinus tschonoskii</i> (개서어나무)	Cats	27	D	<i>Osmanthus heterophyllus</i> (구골나무)	Oshe	22	E
<i>Carpinus turczaninowii</i> (소사나무)	Catu	32	D	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (담쟁이덩굴)	Patr	10	D
<i>Castanea crenata</i> (밤나무)	Cacr	1	D	<i>Picrasma quassioides</i> (소태나무)	Piqu	1	D
<i>Celastrus orbiculatus</i> (노박덩굴)	Ceor	1	D	<i>Pinus thunbergii</i> (곰솔)	Pith	84	E
<i>Celtis sinensis</i> (팽나무)	Cesi	12	D	<i>Pittosporum tobira</i> (돈나무)	Pito	18	E
<i>Chionanthus retusus</i> (이팝나무)	Chre	1	D	<i>Platycarya strobilacea</i> (굴피나무)	Plst	22	D
<i>Cinnamomum camphora</i> (녹나무)	Cica	1	E	<i>Pourthiaea villosa</i> (윤노리나무)	Povi	9	D
<i>Cinnamomum yabunikkei</i> (생달나무)	Ciya	25	E	<i>Prunus serrulata</i> f. <i>spontanea</i> (벚나무)	Prse	41	D
<i>Clerodendrum trichotomum</i> (누리장나무)	Cltr	3	D	<i>Pueraria lobata</i> (칠향)	Pulo	2	D
<i>Corylus heterophylla</i> (개암나무)	Cohe	2	D	<i>Quercus acuta</i> (붉가시나무)	Quacuta	1	E
<i>Corylus sieboldiana</i> (참개암나무)	Cosi	10	D	<i>Quercus acutissima</i> (상수리나무)	Quac	3	D
<i>Daphniphyllum macropodum</i> (굴겨리나무)	Dama	2	E	<i>Quercus glauca</i> (종가시나무)	Qugl	1	E
<i>Dendropanax trifidum</i> (황칠나무)	Detr	1	E	<i>Quercus serrata</i> (졸참나무)	Quse	74	D
<i>Diospyros lotus</i> (고욤나무)	Dilo	2	D	<i>Quercus variabilis</i> (굴참나무)	Quva	16	D
<i>Elaeagnus glabra</i> (보리장나무)	Elgl	4	E	<i>Rhus chinensis</i> (붉나무)	Rhch	1	D
<i>Elaeagnus macrophylla</i> (보리밥나무)	Eualci	1	E	<i>Rosa multiflora</i> (찔레꽃)	Romu	6	D
<i>Euonymus alatus</i> (화살나무)	Eual	2	D	<i>Rhododendron mucronulatum</i> (진달래)	Rhmu	10	D
<i>Euonymus alatus</i> f. <i>ciliato-dentatus</i> (회잎나무)	Elma	49	D	<i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i> (산철쭉)	Rhye	2	D
<i>Euonymus japonicus</i> (사철나무)	Euja	9	E	<i>Rubus pungens</i> (줄딸기)	Rupu	6	D
<i>Euonymus oxyphyllus</i> (참회나무)	Euox	16	D	<i>Smilax china</i> (청미래덩굴)	Smch	55	D
<i>Eurya japonica</i> (사스레피나무)	Eurja	79	E	<i>Spiraea prunifolia</i> f. <i>simpliciflora</i> (조팝나무)	Sppr	1	D
<i>Euscaphis japonica</i> (말오줌떼)	Eusja	15	D	<i>Stauntonia hexaphylla</i> (멸꿀)	Sthe	9	E
<i>Fatsia japonica</i> (팔손이)	Faja	38	E	<i>Stephanandra incisa</i> (국수나무)	Stin	4	D
<i>Ficus erecta</i> (천선과나무)	Fier	6	D	<i>Styrax japonicus</i> (매죽나무)	Stja	55	D
<i>Fraxinus mandshurica</i> (들메나무)	Frma	2	D	<i>Styrax obassia</i> (쪽동백나무)	Stob	10	D
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> (물푸레나무)	Frrh	4	D	<i>Symplocos sawafutagi</i> (노린재나무)	Sysa	10	D
<i>Fraxinus sieboldiana</i> (쇠물푸레나무)	Frsi	15	D	<i>Tetradium daniellii</i> (쉬나무)	Teda	1	D
<i>Hedera rhombea</i> (송악)	Herh	49	E	<i>Toxicodendron trichocarpum</i> (개웃나무)	Totr	49	D
<i>Ilex crenata</i> (괭괭나무)	Ilcr	8	E	<i>Tachelospermum asiaticum</i> (마삭줄)	Tras	47	E
<i>Ilex integra</i> (감탕나무)	Ilin	1	E	<i>Viburnum erosum</i> (털팽나무)	Vier	54	D
<i>Ilex rotunda</i> (면나무)	Ilro	1	E	<i>Viburnum odoratissimum</i> var. <i>awabuki</i> (아왜나무)	Vioid	1	E
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> (참싸리)	Lecy	1	D	<i>Zelkova serrata</i> (느티나무)	Zese	20	D
<i>Lespedeza maritima</i> (해변싸리)	Lemar	1	D				

* F.A.: Frequency of appearance, ** E.D.: Evergreen or Deciduous

Total: 89 species, Evergreen: 29(32.6%), Deciduous: 60(67.4%)

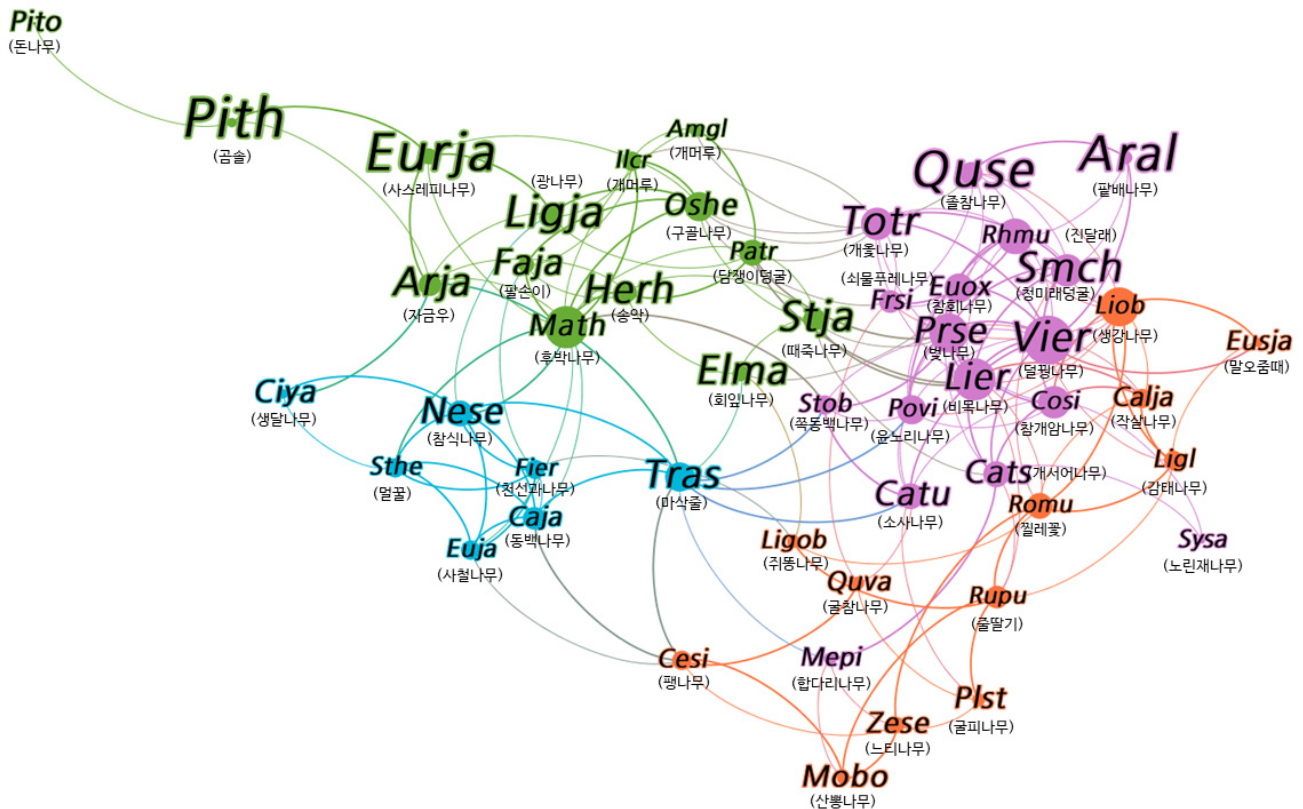


Figure 4. Sociogram of Plants Social Network on Taejongdae (The species labels are the same as in Table 4).

가 전체 연결망에서 중심에 위치하는 정도를 표현한다. 태종대를 대상으로 구축된 식물사회네트워크 소시오그램의 주요 수종별 중심성을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 5). 연결중심성은 털팽나무, 근접중심성은 비목나무, 매개 중심성은 마삭줄, 위세중심성은 털팽나무가 가장 높게 나타났다.

태종대 식물사회네트워크는 노드수가 100개 미만인 소규모 네트워크로 노드의 속성(명칭, 크기, 색깔)과 링크의 속성(링크의 강도) 표현이 가능했다. 소시오그램 상에서 인접 노드간 그룹을 나눠주는 모듈화 분석(Connor and Simberloff, 1983)을 실시한 결과, 태종대에서 출현한 50개의 수종은 4개 그룹으로 나누어졌다.

1그룹은 소시오그램 좌측하단에 표현된 것으로 마삭줄, 참식나무, 동백나무, 사철나무, 생달나무 등 상록활엽수가 주로 속해 있었다. 대부분 엽면에 강한 수종들로 아교목층 혹은 관목층에서 출현하였다. 마삭줄과 참식나무의 중심성이 높았는데, 마삭줄은 2, 4그룹, 참식나무는 3그룹과 연결자 역할을 하는 것으로 나타났다.

2그룹은 소시오그램 우측에 표현된 것으로 생강나무, 찔레꽃, 팽나무, 굴참나무, 굴피나무, 느티나무 등 낙엽활엽수

가 주로 속해 있었다. 해당 수종들은 비교적 엽면의 해가 적고 토심이 얇은 계곡부를 중심으로 자연림 상태로 출현하였다. 생강나무, 찔레꽃, 줄말기, 팽나무의 중심성이 높았는데, 생강나무, 찔레꽃, 줄말기는 4그룹, 팽나무는 1그룹과 연결자 역할을 하였다.

3그룹은 소시오그램 좌측상단에 표현된 것으로 곰솔, 사스레피나무, 후박나무, 자금우, 구골나무 등 1그룹과 마찬가지로 엽면에 강한 상록활엽수 등을 주로 속해 있었다. 곰솔림 하부에 내음성이 강한 수종들의 조합으로 후박나무의 중심성이 높았다. 후박나무는 난온대림을 대표하는 수종으로 한반도 서·남해안에 폭넓게 분포하고 있으며, 울릉도에서도 자생하고 있다(Lee and Choi, 2010). 일본에서는 혼슈(本州)의 최북단 아오모리현(靑森県)까지 후박나무가 자라고 있어(Ohashi *et al.*, 2006), 비교적 내한성이 큰 녹나무과 식물이 알려져 있다. 부산광역시외의 경우, 연구 대상지에서 가까운 동백섬에서도 치수 형태로 다수 분포하고 있으며(Kim *et al.*, 2014), 난온대림의 토지극상으로 알려져 있다(Park *et al.*, 2018). 본 연구결과에서도 후박나무는 치수 형태로 폭넓게 분포하고 있었고 1그룹과 연결자 역할을 하는 등 추후 지속적으로 세력이 확장될 것으로 예상되었다.

Table 5. Analysis of frequency and centrality on species that appeared in Taejongdae.

Group	Species*	D	C	B	E	Group	Species	D	C	B	E
1	<i>Tras</i>	9	0.458	152.711	0.642	3	<i>Herh</i>	6	0.402	28.963	0.316
	<i>Nese</i>	8	0.398	39.249	0.547		<i>Ligja</i>	6	0.395	19.349	0.324
	<i>Caja</i>	7	0.405	25.158	0.525		<i>Eurja</i>	5	0.377	38.608	0.251
	<i>Euja</i>	6	0.371	15.877	0.530		<i>Elma</i>	5	0.422	29.810	0.286
	<i>Fier</i>	6	0.366	30.022	0.444		<i>Faja</i>	5	0.377	13.662	0.288
	<i>Sthe</i>	6	0.360	9.178	0.485		<i>Amgl</i>	4	0.389	2.848	0.548
	<i>Ciya</i>	3	0.304	2.154	0.353		<i>Pith</i>	3	0.301	48.000	0.131
2	<i>Liob</i>	12	0.434	42.266	0.841	<i>Pito</i>	1	0.232	0.000	0.278	
	<i>Romu</i>	8	0.412	50.908	0.739	4	<i>Vier</i>	15	0.467	90.018	1.000
	<i>Rupu</i>	7	0.405	49.069	0.630		<i>Lier</i>	13	0.476	78.942	0.924
	<i>Ligl</i>	6	0.368	9.824	0.503		<i>Prse</i>	12	0.454	44.443	0.921
	<i>Cesi</i>	6	0.392	49.238	0.540		<i>Rhmu</i>	11	0.426	15.522	0.819
	<i>Calja</i>	6	0.374	4.499	0.694		<i>Cosi</i>	10	0.430	40.745	0.818
	<i>Zese</i>	5	0.363	17.842	0.414		<i>Totr</i>	10	0.458	73.347	0.789
	<i>Plst</i>	4	0.363	9.762	0.359		<i>Smch</i>	10	0.412	21.463	0.710
	<i>Quwa</i>	4	0.386	18.855	0.464		<i>Povi</i>	9	0.458	45.615	0.762
	<i>Mobo</i>	4	0.345	7.545	0.333		<i>Euox</i>	9	0.430	26.992	0.805
	<i>Ligob</i>	4	0.389	37.696	0.406		<i>Cats</i>	8	0.434	54.062	0.567
	<i>Eusja</i>	3	0.345	0.000	0.255		<i>Catu</i>	8	0.454	55.461	0.741
3	<i>Math</i>	13	0.462	144.914	0.759		<i>Quse</i>	7	0.419	26.953	0.456
	<i>Oshe</i>	9	0.454	101.698	0.496	<i>Frsi</i>	7	0.441	38.510	0.640	
	<i>Patr</i>	8	0.454	61.822	0.647	<i>Stob</i>	6	0.462	46.420	0.676	
	<i>Arja</i>	7	0.395	88.946	0.342	<i>Aral</i>	4	0.355	0.355	0.278	
	<i>Stja</i>	7	0.454	40.686	0.425	<i>Mepi</i>	4	0.389	25.535	0.329	
	<i>Ilcr</i>	6	0.402	10.460	0.495	<i>Sysa</i>	2	0.327	0.000	0.353	

*The species labels are the same as in Table 4.

**D: Degree centrality, C: Closeness centrality, B: Betweenness centrality, E: Eigenvector centrality, M: Modularity Groups

4그룹은 소시오그램 우측상단에 표현된 것으로 졸참나무, 개서어나무, 팔배나무, 비목나무, 빛나무 등 낙엽활엽수가 주로 속해 있었다. 이들은 곰솔림이 쇠퇴하며 출현하는 종들로 난온대 기후대 천이계열 초기단계로 진행되는 그룹이었다. 털팽나무, 비목나무, 빛나무, 개울나무 등이 중심성이 높았는데, 털팽나무, 비목나무는 그룹 2, 빛나무, 개울나무, 자금우는 그룹 3과 연결자 역할을 하였다.

기존 연구(Kim, 2014; Park et al., 2018; Shin et al., 2019) 등을 바탕으로 구축된 소시오그램을 통해 태종대 식물사회의 천이계열을 살펴보면, 현재 곰솔, 사스레피나무, 졸참나무, 팔배나무 등이 폭넓게 분포하고 있는 상태이지만, 현재 곰솔이 우점하고 있는 식생군락은 빛나무, 개울나무, 자금우를 매개자로 하여 졸참나무, 개서어나무가 우점하는

낙엽활엽수군락으로, 후박나무, 참식나무를 매개자로 하여 후박나무, 참식나무가 우점하는 상록활엽수군락으로 천이될 가능성이 높아 보인다. 다만, 토심이 얇은 계곡부 암반층에서는 생강나무, 팽나무를 매개자로 하여 팽나무, 굴참나무, 느티나무가 우점하는 낙엽활엽수군락으로의 천이가 예상된다.

4. 네트워크 구조

태종대를 중심으로 구축된 식물사회네트워크의 구조를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 6). 태종대에서 출현한 목본 수종은 모두 89종이었지만, 그 중 5% 이상의 출현빈도를 나타내는 종은 50종이었다. 연결선 수는 172개로 나타났는데,

Table 6. Statistics of Plants Social Network on Taejongdae and Busan Metropolitan City

Network Properties	Taejongdae	Busan Metropolitan City*	Mudeungsan National Park**
Nodes	50	195	63
Degree	172	1,709	189
Average Degree	6.880	17.528	6.000
Graph Density	0.14	0.09	0.097
Network Diameter	6	5	7
Average Path Length	2.540	2.268	2.788

*Lee(2018), **Jang *et al.*(2021)

1개의 연결선은 두 종의 종간결합 관계를 나타내고 있으므로 그 2배인 342개의 관계망이 형성되었다는 것을 말한다. 하나의 노드에 연결되어 있는 선의 개수는 평균 6.88개로 이는 태종대에서 출현하는 한 수종이 평균 6.88종과 종간결합을 가지는 것으로 나타났다.

그래프 밀도는 네트워크에서 나올 수 있는 모든 연결선 개수와 실제 연결선 수의 비를 말하는데, 태종대 식물사회 네트워크의 밀도는 0.14로 나타났다. 이는 기존 연구(Lee *et al.*, 2020; Jang *et al.*, 2021)의 그래프 밀도보다 높은 수치이다. 그래프 밀도가 높다는 것은 각 종간 연결된 선의 수가 많다는 것으로, 더 복잡한 구조로 네트워크가 구성되어 있다는 것을 의미한다. 태종대라고 하는 상대적으로 작은 공간 내에 출현한 수종은 비록 적었지만, 주어진 환경조건 속에서 서로 긴밀한 네트워크를 형성하며 종간결합을 구성한다고 해석할 수 있다.

네트워크 속성 중 지름은 한 노드에서 가장 멀리 떨어져 있는 노드까지의 거리를 의미하는데, 태종대 식물사회네트워크에서는 그 값이 6으로 나타났다. 평균 경로거리는 2.54로 평균 2.54단계만에 서로 연결된다는 것을 뜻한다.

REFERENCES

- Agnew, A.D.Q.(1961) The Ecology of *Juncus effusus* L. in North Wales. *Journal of Ecology* 49(1): 83-102. (in English)
- Bonacich, P.(1987) Power and Centrality: A Family of Measures. *American Journal of Sociology* 92: 1170-1182. (in English)
- Brandes, U.(2001) A Faster Algorithm for Betweenness Centrality. *Journal of Mathematical Sociology* 25: 163-1773.
- Byeon, S.Y. and C.W. Yun(2017) Classification of Community Type by Physiognomy Dominant Species, Floristic Composition and Interspecific Association of Forest Vegetation in Mt. Oseosan. *J. Korean For. Soc.* 106(2): 169-185. (in Korean with English abstract)
- Cole, L.C.(1949) The measurement of interspecific association. *Journal of Ecology* 30(4): 411-424.
- Connor, E.F. and D. Simberloff(1983) Interspecific competition and species' co-occurrence patterns on islands: Null models and the evaluation of evidence. *Oikos* 41(3): 455-465. (in English)
- De Vries, D., J. Baretta and G. Hamming(1954) Constellation of frequent herbage plants, based on their correlation in occurrence. *Vegetatio* 105-111.
- Freeman, L.C.(1978) Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks* 1(3): 215-239. (in English)
- Gitay, H. and A.D.Q. Agnew(1989) Plant Community Structure, Connectance, Niche Limitation and Species Guilds within a Dune Slack Grassland. *Vegetatio* 83: 241-248. (in English)
- Greig-Smith, P.(1983) *Quantitative Plant Ecology*(3rd ed.). Blackwell Scientific Pub., Oxford, U.K., 359pp.
- Jang, J.E., S.C. Lee, H.M. Kang, S.B. Yu, H.S. Shin and S.H. Choi(2021) The Plants Social Network through the Analysis of the Plant Community Structure and the Social Network-Conducted in Mudeungdan National Park-. *Korean J. Environ. Ecol.* 35(2): 164-180. (in Korean with English abstract)
- Jang, S.H. and S.H. Jang(2009) A Framework for Visualizing Social Network Influence. *Journal of Korea Multimedia Society* 12(1): 139-146. (in Korean with English abstract)
- Kim J.Y.(2012) Actual Vegetation and Structure of Plant Community of Forest Ecosystem in Taejongdae, Busan City, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 26(3): 426-436. (in Korean with English abstract)
- Kim S.H. and S.H. Choi(2007) The Structure and Ecological Characteristics of Coastal Forest in Busan Metropolitan City. Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 21(1): 67-73. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.W. and B.C. Eom(2017) In the Homotoneity of Species Composition in the Phytosociologically Synthesized Community Tables. *Korean J. Environ. Ecol.* 31(5): 433-443. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.W.(2006) *Vegetation Ecology*. Worldscience Publications, Seoul, 340pp. (in Korean)

- Kim, K.W., K.J. Lee, J.W. Choi, J.H. Yeum and I.S. Ahn(2014) A Study on Vegetation Structure of Cultural Landscape Forest of Dongbaek Island, Busan. Korean J. Environ. Ecol. 28(2): 205-214. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H. and R.S. Chang(2010) The Study on the Research Trend of Social Network Analysis and the its Applicability to Information Science. Journal of the Korean society for Information Management 27(4): 71-87. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.S. and D.G. Kim(2017) A Theoretical Review on the Planting and Management of Coastal Forests in Korea. Korean J. Plant Res. 30(1): 110-123. (in Korean with English abstract)
- Ko, S.Y., S.H. Han, W.H. Lee, S.H. Han, H.S. Shin and C.W. Yun(2014) Forest Vegetation Classification and Quantitative Analysis of *Picea jezoensis* and *Abies hollophylla* stand in Mt. Gyeong. Korean J. Environ. Ecol. 28(2): 182-196. (in Korean with English abstract)
- Lee J.Y.(2006) Centrality Measures for Bibliometric Network Analysis. Journal of the Korean Society for Library and Information Science 40(3): 191-214.
- Lee, H.Y., H.J. Kim, H.S. Shin, S.H. Han, S.Y. Ko, J.H. Song, J.H. Lee, K.H. Jang and C.W. Yun(2014) Community Structure of *Pinus densiflora* and *Quercus mongolica* forest in Jochimryeong to Shinbaeryeong of the Baekdudaegan. J. Korean For. Soc. 103(3): 339-352. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H. and B.H. Choi(2010) Distribution and Northernmost Limit on the Korean Peninsula of Three Evergreen Trees. Korean J. Pl. Taxon. 40(4): 267-273. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.C.(2018) A study of ecological planting model based on vegetation structure and plants social network analysis in urban forest. Ph.D. Dissertation, Pusan National Univ., 267pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.C., S.H. Choi and W. Cho(2020) A Study of Visualization and Analysis Method about Plants Social Network Used for Planting Design-Focusing on Forest Vegetation Area in Busan Metropolitan City-. Korean J. Environ. Ecol. 34(3): 260-271. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.S.(2010) Network Analysis Methodology. Nonhyung Publications, Seoul, 370pp.(in Korean)
- Lee, Y.H., Y.J. Oh, W.J. Lee, C.S. Na, K.O. Kim and S.H. Hong(2016) Phytosociological Classification of Coastal Vegetation in Korea. Korean J. Environ. Biol. 34(1): 41-47. (in Korean with English abstract)
- Losapio, G. and C. Schöb(2017) Resistance of plant-plant networks to biodiversity loss and secondary extinctions following simulated environmental changes. Functional Ecology 31(5): 1145-1152.
- Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds(1988) Statistical Ecology. John Wiley and Sons, New York, 337pp.
- Moreno, J.(1934) Who Shall Survive? New York, Beacon Press, 755pp.
- Ohashi, H., Y. Sasaki and K. Ohashi(2006) The northernmost limit of distribution of *Quercus acuta* Thunb. (Fagaceae). J. Jpn. Bot. 81(3): 173-187. (in Japanese)
- Park, S.G., S.H. Choi and S.C. Lee(2018) A Review of Vegetation Succession in Warm-Temperate Evergreen Broad-Leaved Forests-Focusing on *Actinodaphne lancifolia* Community-. Korean J. Environ. Ecol. 32(1): 77-96. (in Korean with English abstract)
- Peter, A. and B. Shneiderman(2006) Balancing systematic and flexible exploration of social networks. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 12(5): 693-700. (in English)
- Pielou, E.C.(1977) Mathematical Ecology. John Wiley and Sons, New York, 377pp.
- Schluter, D.(1984) A variance test for detecting species associations, with some example applications. Ecology 65: 998-1005.
- Scott, J.(2000) Social Network Analysis: A Hand book. SAGE Publications, London, 208pp.
- Shin, H.S., S.C. Lee, S.H. Choi and H.M. Kang(2019) Ecological Characteristic and Vegetation Structure of *Pinus thunbergii* Community in Coastal Forest of Busan Metropolitan City, Korea. Korean J. Environ. Ecol. 33(5): 539-551. (in Korean with English abstract)
- Sohn, D.W.(2002) Social Network Analysis. Kyungmoonsa Publications, Seoul, 254pp. (in Korean)