

식재설계에 활용 가능한 식물사회네트워크 시각화 및 분석 방법에 관한 연구¹

- 부산광역시 산림식생지역을 중심으로 -

이상철² · 최송현^{3*} · 조우⁴

A Study of Visualization and Analysis Method about Plants Social Network Used for Planting Design¹

- Focusing on Forest Vegetation Area in Busan Metropolitan City -

Sang-Cheol Lee², Song-Hyun Choi^{3*}, Woo Cho⁴

요약

식물사회네트워크란 식물사회를 이해하기 위한 기존의 식물사회학적 방법과 사회과학에서 최근에 주목받고 있는 사회연결망 분석 방법을 접목하여 식물사회연결망을 시각화하고 분석하는 것을 말한다. 구축 및 분석 과정은 조사구 설정 및 출현 수종 조사, 중간결합분석, 소시오그램 작성, 네트워크 구조 및 중심성 분석 순으로 진행된다. 식물사회네트워크를 구축하기 위해 본 연구는 해안식생과 내륙식생을 동시에 볼 수 있는 부산광역시를 중심으로 다양한 상관우점식생이 포함되도록 708개 조사구를 설치하여 출현 수종을 조사하였다. 조사 결과, 출현한 수종은 모두 195종이었으며, 상록수 42종, 낙엽수 151종, 반상록수 2종으로 나뉘었으며, 전체 출현수종을 중심으로 중간결합분석을 실시하였다. 중간결합 분석 결과, 친화종수는 사스레피나무(47종), 마삭줄(46종), 감태나무(44종), 팔배나무(44종), 광나무(41종) 순으로 나타났으며, 이를 바탕으로 gephi 0.9.2. program을 활용하여 소시오그램을 작성하였다. 작성된 소시오그램은 해안에서 주로 출현하는 그룹과 그렇지 않은 그룹으로 나뉘어져 있어 부산광역시 산림식생의 지리적 분포특성을 반영하고 있었다. 네트워크 구조를 분석한 결과, 1,709개의 연결선(link)이 나타났고, 한 수종과 중간결합을 갖는 종수의 평균은 약 17.5개였다. 밀도는 0.09, 지름은 5, 평균 경로거리는 2.268로 분석되었는데, 사회과학분야의 네트워크 특성과 정밀한 비교 분석을 위해 앞으로 다양한 식물사회네트워크 구축이 진행되어야 할 것으로 판단되었다. 부산광역시 식물사회네트워크에서는 사스레피나무, 감태나무, 광나무, 마삭줄 등이 중심성이 높은 것으로 나타났다.

주요어: 중간결합, 소시오그램, 네트워크 중심성 분석, 종 조합

ABSTRACT

Plants Social Network (PSN) was first used in recent studies to incorporate the plant sociology methods for the understanding of plant society with the social network analysis methods that have recently attracted attention in the social science and visualize and analyze a PSN. The process of construction and analysis on PSN proceeds

1 접수 2020년 5월 4일, 수정 (1차: 2020년 5월 25일), 게재확정 2020년 5월 29일
Received 4 May 2020; Revised (1st: 25 May 2020); Accepted 29 May 2020

2 부산대학교 응용생태연구실 연구원 Applied Ecology Lab., Pusan National Univ., Miryang 50463, Republic of Korea

3 부산대학교 조경학과 교수 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National Univ., Miryang 50463, Republic of Korea

4 상지대학교 환경조경학과 교수 Dept. of Environmental Science and Landscape Architecture, Sangji Univ., Wonju 26339, Republic of Korea

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-055-350-5401, Fax: +82-055-350-5409, E-mail: songchoi@pusan.ac.kr

in the order of setting up the survey area, investigating the appearance plants species on plots of 100m², analyzing the interspecific association, building the sociogram, and analyzing the network structure and centrality. This study established a PSN by investigating the appearance species after installing 708 plots to include various dominant vegetational physiognomies in Busan Metropolitan City, where coastal and inland vegetation could be observed simultaneously. The survey found a total of 195 species, including 42 species of evergreen, 151 species of deciduous trees, and 2 species of semi-evergreen trees. The interspecies binding analysis was performed with the focus on the total number of species. It showed the number of friendly species in the order of *Eurya japonica* (47 species), *Trachelospermum asiaticum* (46 species), *Linder glauca* (44 species), *Sorbus alnifolia* (44 species), and *Ligustrum japonicum* (41 species). Based on it, we generated a sociogram using Gephi 0.9.2 program. The sociogram was divided into groups that appeared mostly on the coast and those that did not, reflecting the geographical distribution characteristics of forest vegetation in Busan. The analysis of the network structured showed 1,709 links and an average of 17.5 species having interspecies binding with a species. The density was 0.09, the diameter was 5, and the average path distance was 2.268. We concluded that various PSNs should be established in the future for precise comparative analysis of network characteristics in the social science field. In the PSN of Busan Metropolitan City, *Eurya japonica*, *Linder glauca*, *Ligustrum japonicum*, and *Trachelospermum asiaticum* showed high centrality.

KEY WORDS: INTERSPECIFIC ASSOCIATION, SOCIOGRAM, CENTRALITY ANALYSIS OF NETWORK, SPECIES COMBINATION

서론

네트워크 과학은 사회나 자연에서 존재하는 각종 현상들을 네트워크로 모델링하고, 분석하고, 해석하는 일련의 과학적인 방법이나 지식으로 구성된 새로운 학문 영역이다. 또한 네트워크 과학은 네트워크를 구성하는 정보를 과학적으로 분석하는 방법론적 학문이며, 다양한 영역에서 활용하는 복합적 사고의 과학이자 고도의 학제적 연구영역으로 볼 수 있다.

네트워크 이론은 1736년 수학자 L. Euler가 쾨니히스베르크(Königsberg)의 다리 문제에 관한 증명에서 노드(node)와 링크(link)라는 개념을 사용함으로써 그래프 이론(graph theory)이라는 이름으로 처음 연구가 시작되었다고 볼 수 있다. 그 후 Moreno(1934)는 점과 선을 이용한 소시오그램(sociogram)을 고안하여 사회 요소의 집합들과 요소 사이의 특정한 연결들 간의 관계를 정의하였으며, Albert *et al.*(1999; 2000)은 World Wide Web(WWW)의 웹페이지 링크 데이터 분석과 인터넷 기간망 분석을 통해 Scale-Free Network 개념을 정의하고, 멱함수를 통해 허브 노드의 존재를 입증하였다.

이처럼 사회 연결망 분석(Social Network Analysis)이라는 접근과 방법론의 잠재적인 가능성에 대한 관심은 최근 들어 꾸준히 증가되고 있다. 사회 연결망 분석은 객체(node)의 특성보다는 서로간의 관계적 특성(link)에 초점을 맞춰 사회현상을 설명하는 것으로 사회에 구성되어 있는 연결망이 가지는 관계

성에 주목한다.

식물도 사회를 형성한다. 식물사회는 동물과 달리 정주생활을 선택하여 진화해 왔다. 즉 식물 개체가 발아한 그 장소에서 하나의 생명환(life cycle)을 완성하기까지 이웃하는 다른 개체 또는 다른 종들과의 경쟁(competition)과 적응(adaptation)을 통한 공존을 선택한다. 따라서 입지의 주어진 생물적, 비생물적 환경조건에 따라 각기 독특한 종조성을 가지고 있는 식물사회가 발달하고 있는 것이다.

식물들도 햇빛, 토양양분 등 환경자원을 공유하며 무리를 이루며 살아가고 있으며, 우리는 이러한 무리를 식물군락(plant community)이라 부른다. 식물군락이란 다양한 식물종으로 이루어진 식물사회학적 단위로 정량화 및 정성화를 통하여 명명된 식물사회의 총칭이다. 즉 식물도 서로 연결된 관계에 의해 영향을 주고받으며 구성된 사회구조를 형성하고 있다고 볼 수 있다. 다시 말하자면, 식물 집단이라고 하는 것은 곧 식물사회인 것이며, 사회 연결망 분석을 통해 식물사회의 구조와 특성을 명료하게 파악할 수 있을 것으로 예상되어 진다.

Moreno는 도식화를 이용하여 사회형태 내의 리더들과 고립된 개인들을 살필 수 있고, 그 사회형태가 균형 혹은 불균형적인지를 밝힐 수 있으며, 각 개인의 연결사슬(chains of connection)을 시각화할 수 있다고 주장했다(Scott, 2000). 사회 연결망의 시각화는 그 시작부터 사회 연결망 분석의 이해를 돕는데 사용되었다(Freeman, 1978; Peter & Shneiderman, 2006). 즉 사

회 연결망에 그래프 이론을 도입한 시각화는 사용자에게 관계의 성격과 특징을 직관적이고 용이하게 파악할 수 있게 해 준다 (Jang and Jang, 2009).

식물군락은 자연 속에 실제로 존재하는 식물사회(식물종들의 집단)의 구조, 즉 생물적 그리고 비생물적 조건에 따른 식물사회의 종조성 방식에 대한 통계적 다변량(multivariate)의 산물이다 (Braun-Blanquet, 1965; Kim, 2004). 식물사회학 분야에서도 각 종간 관계성에 주목하여 결합관계를 분석하였으며, 분석된 결과를 토대로 성좌표(constellation)를 작성하여 연결성을 파악해 왔다. 하지만 자료의 양이 방대해짐에 따라 수작업의 한계를 가져왔으며, 네트워크 과학에 대한 개념들이 적용되지 못하고 있다.

식물사회네트워크(Plants Social Network)는 본 연구에서 처음 사용되는 용어이다. 식물사회네트워크는 ‘식물사회(phytocoenosen; plants social)’와 ‘사회연결망(social network)’의 합성어로 복잡한 식물사회의 관계성에 주목하여 네트워크를 시각화하고 그 구조를 파악하는 것으로 정의될 수 있다. 구축된 식물사회네트워크를 활용하여 도시환경 개선을 위한 식재관리지

역의 이론적 식재모델을 제시할 수 있을 것으로 판단된다(Lee, 2018). 또한 토착생태계의 안정성을 이끌어내고자 자연식생의 생태적 특성을 고려한 생태적 군락식재(Oh, 1986; Miyawaki, 1999)가 요구되고 있는 현 시점을 고려하고, 성공적인 식재를 위한 동일 기후대의 자연식생군락 분석을 통한 기본적인 정보 수집이 중요하다(Jabu, 1987)는 점을 고려한다면 식물사회네트워크의 활용범위는 더 늘어날 것으로 예상된다.

세상의 수많은 식물군락은 그 속에서 보이지 않는 식물간의 관계를 가지고 있으며, 이러한 관계 구조의 파악을 통해서 우리는 식물사회의 또 다른 성격과 특징을 파악할 수 있을 것이다. 본 연구는 식물사회학적 방법과 사회과학적 방법을 융합한 식물사회네트워크 구축은 현존하는 식물사회의 본질을 이해하기 위한 진일보적인 새로운 시도를 할 수 있으며, 지속적인 추가 보완 연구를 통해 식물사회를 해석할 수 있는 새로운 방법론을 모색하기 위한 시작점으로써의 의미가 있다. 또한 본 연구 결과는 지속가능하고 자연친화적인 식재모델 제시와 식생관리 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

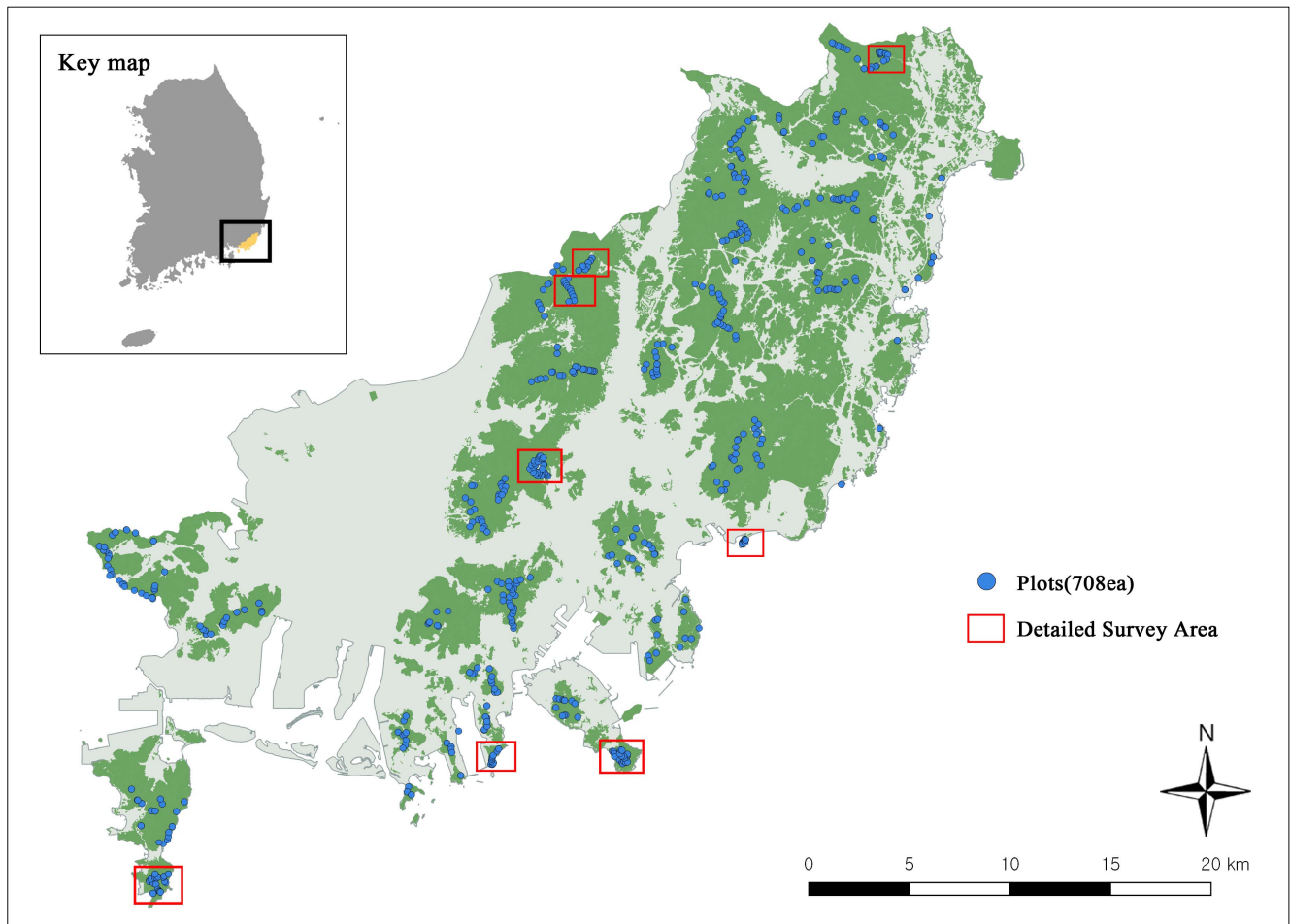


Figure 1. Map of the survey sites in the Busan Metropolitan City

연구방법

1. 현장조사 및 데이터 전처리

본 연구는 한반도 남동부에 위치하고 있으며, 해안성 기후특성과 대륙성 기후특성을 동시에 보이고 있는 부산광역시 내 산림지역을 중심으로 식생자료를 수집하였다. 부산광역시는 한반도 내에서도 ‘남해안경남동부 기후지역’이라는 별도 기후대로 구분되는 위치적 특성을 지니고 있으며, 기후변화로 인해 한반도 남동부지역 기후대의 분포역과 난온대림 식생이 확대될 것으로 예상된다.

조사구를 선정하기 위해 우선 실내에서 임상도, 현존식생도와 항공영상을 참고하여 식생분포현황을 검토하였으며, 다양한 임상을 확인할 수 있고 지리적 위치를 고려하여 해안에서 내륙까지 골고루 분포될 수 있도록 하였다. 또한 조사구까지의 접근 용이성과 지역적 분배를 고려하여 현장에서 10m × 10m 방형구(quadrat)를 설치하였고 조사구 내 출현 수종을 조사하였다. 식물사회네트워크 시각화 및 분석을 위한 총 조사구 수는 708개로 부산광역시의 현존식생도(Busan Metropolitan City, 2016)를 참고하여 부산광역시에 분포하고 있는 대표 식생군락이 고르게 포함될 수 있도록 선정하였다.

사회과학자들은 물리학에서 사용되는 데이터와는 달리 사회과학적 판단 또는 해석에 기초하여 독특한 유형의 데이터와 그 분석방법에 대해 연구해 왔으며, 대표적인 데이터 유형으로는 속성형 데이터(attribute data)와 관계형 데이터(relational data)로 구분하고 있다. 속성형 데이터는 사람들의 속성, 의견, 행동 등으로 해당 개인 및 단체에 귀속되는 특성, 본질, 특징 등으로 여겨지는 반면, 관계형 데이터는 연락, 유대, 관련, 단체 귀속, 만남 등을 기록하여 얻을 수 있다고 보았다(Scott, 2000).

이러한 사회과학적 측면을 고려하여 본 연구에서는 식물사회네트워크 시각화 및 분석을 위해 속성형 데이터와 관계형 데이터 유형으로 구분하여 자료를 수집하였다. 속성형 데이터는 각 수종의 성상(상록/낙엽/반상록), 출현빈도, 연결선 수(degree)를 우선 적용하여 시각화하였으며, 네트워크 구조 분석 과정을 통해 연결중심성, 근접중심성, 매개중심성, 위세중심성 등을 적용하여 최종 식물사회네트워크 구조를 나타내었다. 관계형 데이터는 중간결합 분석에 가장 많이 사용되고 있는 방법으로 자료행렬을 작성한 후 모든 중간 쌍에 대한 2×2 분할표(Table 1)를 작성하여 χ^2 검정(Chi-square statistic)을 실시하였고(formula 1), 정(상관관계(++), +)를 나타내는 것과 그렇지 않은 것으로 구분하였다.

$$\chi^2 = \frac{n[ad - bc - (n/2)]^2}{(a+c)(b+d)(a+b)(c+d)} \dots\dots (Formula 1)$$

Table 1. Contingency table(2×2) about correlation between Species(A) and Species(B)

		Species(A)		
		arrival	non-arrival	
Species (B)	arrival	a	b	a+b
	non-arrival	c	d	c+d
		a+c	b+d	n=a+b+c+d

2. 식물사회네트워크 시각화 및 구조 분석

사회연결망에 그래프 이론을 적용한 네트워크 시각화를 활용하면 그 사회가 가지는 관계의 성격과 특징을 직관적이면서 용이하게 파악할 수 있다(Lee, 2018). 본 연구에서는 모든 종에 대한 연관성 분석 결과를 활용하여 중간 관계를 가지고 있는 양성결합의 χ^2 값을 기초로 하여 식물사회네트워크의 시각화를 시도하였으며, 소시오그램(sociogram) 요소를 설계하였다(Table 2).










속성형 데이터를 활용하여 노드, 노드의 크기, 노드의 색과 글자크기를 나타내었다. 노드는 수종을 나타내며, 노드의 크기는 연결정도를 적용하였다. 다시 말해, 노드의 크기가 크다는 것은 중간결합 분석 결과 해당수종과 양성결합을 가지는 수종의 수가 많다는 것을 의미한다. 노드의 색으로는 식물성상 중겨울철 잎의 탈락여부를 나타내는 상록, 낙엽, 반상록을 적용하였다. 글자 크기는 매개 중심성(betweenness centrality)을 적용하였으며, 글자의 크기가 커질수록 해당수종의 네트워크 내 매개 중심성이 높다는 것을 의미한다.

χ^2 검정(Chi-square statistic)을 실시(Agnew, 1961; Brower & Zar, 1977)한 결과를 활용하여 노드간 관계를 나타내는 연결선을 굵고 선의 굵기를 표현하였다. 다시 말해, 양성결합을 보이는 수종들을 선으로 이어주고, 유의확률이 99% 이상이면 선을 굵게, 95% 이상이면 선을 얇게 표시하였다.

Gephi 0.9.2 프로그램은 다양한 네트워크 형식 구현이 가능하고 사용자 인터페이스와 네트워크 시각화가 용이하다고 알려져 있다. 한글지원이 취약한 단점이 있지만, 오픈소스(<https://gephi.org/>)로 무료로 사용 가능하다는 장점이 있어, 본 연구에서는 Gephi 0.9.2 프로그램을 활용하여 식물사회네트워크를 시각화하고 구조를 분석하였다.

시각화된 소시오그램을 활용하여 노드와 링크로 구성되어 있는 네트워크 구조의 특성을 파악하는 것은 여러 지표를 통해 이루어질 수 있다(Lee, 2018). 네트워크의 형태는 링크의 연결정도(degree), 밀도(density) 등을 통해 네트워크가 어떻게 얼마나 결속되어 있는지를 알아볼 수 있다(Park et al., 2014). 연결정도는 노드에 연결된 연결선 수로 판단할 수 있으며, 본 연구에서는 각 수종과 관련된 친화종 수로 나타난다. 밀도는

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	Plant Group (Deciduous, Evergreen, Semi-Evergreen)	attribute data
PIDE  PIDE	Size of text	Betweenness Centrality	attribute data
 	line and thickness	Interspecific association (Chi-square statistic; p<0.01, p<0.05)	relational data

네트워크에서 나올 수 있는 모든 링크의 개수와 실제 링크 수의 비를 의미하며, 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$PC = \frac{n(n-1)}{2} \dots\dots\dots \text{(Formula 2)}$$

$$D = \frac{RL}{PC} \dots\dots\dots \text{(Formula 3)}$$

n: Number of Node, PC: Possible Connections, RL: Real Link, D: Network Density

3. 식물사회네트워크 중심성 분석

네트워크 분석에서 활용되는 여러 지표 중에서 가장 중요한 개념이자 많이 쓰이는 측정방법 중 하나는 중심성(centrality)이다(Kim, 2015). 중심성은 전체 연결망 내에서 노드가 얼마나 중심에 위치해 있는가의 정도를 정량화하기 위한 지표로 사용되며(Sohn, 2002; Kim and Jang, 2010), 중심성의 측정 지표로는 연결중심성, 근접중심성, 매개중심성, 위세중심성 등이 있다(Freeman, 1978; Bonacich, 1987).

연결중심성(Degree centrality)은 한 노드에 직접적으로 연결되어 있는 다른 노드들의 개수로 다른 연결점과의 연결 정도를 중시하며 네트워크 내에서 연결된 결점의 수의 합을 의미한다(Kim et al., 2016). 본 연구에서는 수종간 χ^2 검정을 통해 $p < 1.0\%$ 일 때 1.0, $p < 5.0\%$ 일 때 0.5의 연결중심성 값을 적용하였으므로 이들의 합으로 연결중심성 값을 분석하였다.

근접중심성(Closeness centrality)은 한 노드가 얼마나 네트워크의 중앙에 위치하고 있는지를 측정하여 네트워크 전역에서 가장 일반적인 영향력을 가지는 노드가 무엇인지를 파악할 수 있도록 해준다(Lee, 2010). 근접중심성이 높은 노드는 자신이 가진 정보를 가장 빠르게 전체 네트워크에 확산시킬 수 있으며, 다음과 같은 식으로 계산될 수 있다(Freeman, 1978).

$$C'c(p_k) = \frac{n-1}{\sum_{i=1}^n d(p_i, p_k)} \dots\dots\dots \text{(Formula 4)}$$

d(pi, pk) = pi와 pk에 연결되어 있는 결점의 수

매개중심성(Betweenness centrality)은 한 노드가 다른 노드와 네트워크를 구축하는데 있어 중개자 혹은 다리 역할을 얼마나 수행하느냐를 측정하는 개념으로 중개 역할을 중심으로 간주할 때 사용한다. 매개중심성은 한 노드가 네트워크 내의 다른 노드들 사이에 위치하는 정도를 측정하는 것으로 이 위치에 있는 객체는 네트워크 흐름에 있어 큰 영향력을 가질 수 있으며, 다음과 같은 식으로 계산될 수 있다(Freeman, 1978).

$$C'_B = \frac{2 \sum_{i < j}^n \sum_{k}^n \frac{g_{ij}(p_k)}{g_{ij}}}{n^2 - 3n + 2} \dots\dots\dots \text{(Formula 5)}$$

gij: pi와 pj에 연결된 결점의 수

gij(pk): pk를 포함하는 pi와 pj에 연결된 결점의 수

위세중심성(Eigenvector centrality)은 해당 노드의 중심성과 연결된 다른 노드의 중심성 지표를 함께 고려한 것이다. 다시 말해, 연결중심성은 결점에 연결된 수를 중시하지만 위세중심성은 연결된 상대 결점의 연결중심성에 가중치를 두는 것이다. 즉 강한 영향력을 지닌 단 하나의 결점과의 연결이 다른 여러 평범한 결점과 연결된 경우보다 자신의 영향력을 증가시킨다는 개념이다. 위세중심성은 다음과 같은 계산방법을 통해 구할 수 있다(Bonacich, 1987).

$$C_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in N(i)} A_{ij} C_j \quad \dots\dots\dots \text{(Formula 6)}$$

λ : 노드 i 의 아이젠 값이며, 알고리즘으로 측정이 되는 상수
 N(i): 노드 i 의 이웃노드들의 집합
 Aij: n × n 방향 인접행렬에서 A에서 노드 i와 j에 연결이 있으면 1, 연결되어 있지 않으면 0
 Cj: 노드 i 의 이웃노드들인 노드 j의 아이젠벡터 중심성 값

결과 및 고찰

1. 출현 수종의 구분과 빈도 분석

708개 조사구에서 출현한 수종의 수는 모두 195종이었으며, 낙엽성 수종이 151종으로 전체의 76.9%를 차지하였고, 상록

침엽수와 상록활엽수가 포함된 상록성 수종은 42종으로 전체의 22.1%로 나타났다. 반상록성 수종으로는 돌가시나무와 인동덩굴 2종이 출현하였다. 우리나라 자생식물의 생육형은 상록성이 약 20%, 낙엽성이 약 80%로 알려져 있다(Kim and Kim, 2018). 본 연구결과도 이와 비슷한 수치로 나타났으며, 상록성이 다소 높은 이유는 연구 대상지가 우리나라 난온대림에 속하여 상록활엽수가 다수 출현하였기 때문으로 판단된다.

부산광역시 산림지역에서 출현한 총 195종에서 전체 조사구 수의 약 10%이상인 70개소 이상의 조사구에서 출현한 주요 수종의 출현 빈도와 비율은 다음과 같다(Table 4). 가장 많이 출현한 수종은 비목나무(403개소, 56.9%)였으며, 청미래덩굴(370개소, 52.3%), 졸참나무(351개소, 49.6%), 때죽나무(321개소, 45.3%), 곶솔(265개소, 37.4%), 개울나무(236개소, 33.3%) 순으로 분석되었다.

비목나무(*Lindera erythrocarpa*)는 인위적 간섭에 따른 휘

Table 3. Classification of all species that appeared in the survey 708 plots

Division	Evergreen	Deciduous	Semi-evergreen	Total
Number of species	42	151	2	195
Ratio(%)	22.1	76.9	1.0	100.0

F: frequency of appearance
 R: ratio of appearance

Table 4. Frequency and ratio of appearance of major species

Species	F (plots)	R (%)	Species	F (plots)	R (%)
<i>Lindera erythrocarpa</i>	403	56.9	<i>Pinus densiflora</i>	123	17.4
<i>Smilax china</i>	370	52.3	<i>Quercus mongolica</i>	123	17.4
<i>Quercus serrata</i>	351	49.6	<i>Platycarya strobilacea</i>	122	17.2
<i>Styrax japonicus</i>	321	45.3	<i>Sorbus alnifolia</i>	122	17.2
<i>Pinus thunbergii</i>	265	37.4	<i>Rhus sylvestris</i>	117	16.5
<i>Rhus trichocarpa</i>	236	33.3	<i>Trachelospermum asiaticum</i>	111	15.7
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	200	28.2	<i>Carpinus tschonoskii</i>	101	14.3
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	185	26.1	<i>Ampelopsis heterophylla</i>	101	14.3
<i>Lindera obtusiloba</i>	182	25.7	<i>Callicarpa japonica</i>	101	14.3
<i>Quercus acutissima</i>	160	22.6	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	98	13.8
<i>Quercus dentata</i>	149	21.0	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	89	12.6
<i>Eurya japonica</i>	146	20.6	<i>Pueraria lobata</i>	87	12.3
<i>Prunus sargentii</i>	141	19.9	<i>Symplocos chinensis</i> f. <i>pilosa</i>	87	12.3
<i>Lindera glauca</i>	135	19.1	<i>Paederia scandens</i>	86	12.1
<i>Quercus variabilis</i>	135	19.1	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	85	12.0
<i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i>	135	19.1	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	79	11.2
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	126	17.8	<i>Ligustrum japonicum</i>	78	11.0
<i>Viburnum erosum</i>	125	17.7	<i>Celtis sinensis</i>	71	10.0
<i>Stephanandra incisa</i>	124	17.5	Total Survey plots: 708(100.0%)		

손지에 우점을 이루는 사례가 보고되고 있고(Lee *et al.*, 1994), 비목나무군락을 대상식생(substitute vegetation)으로 보는 견해가 있다(Chang, 1991). 비목나무가 부산광역시 산림에 폭 넓게 분포하고 있다는 것은 도시 부근에 있는 산림지역으로 인위적 간섭이 지속적으로 이루어져 왔다는 것을 의미한다. 또한 청미래덩굴(*Smilax china*)을 비롯한 덩굴식물의 우점현상은 생태계 교란 현상(Park *et al.*, 2004)으로 상층 식생 훼손으로 인한 광조건의 변화로 타 식물보다 환경내성이 강한 청미래덩굴의 생육지가 확대되어 있는 것으로 판단된다.

졸참나무(*Quercus serrata*)는 참나무과에 속하는 낙엽활엽 교목으로 특별히 적지를 가리지 않고 우리나라 산야에 흔히 자라는 나무로 신갈나무에 비해 해발고도가 낮은 곳에서 분포하는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2010). 일반적으로 우리나라 산림지역에서 신갈나무가 우점종으로 예측되지만 부산광역시의 경우(Busan Metropolitan City, 2016), 해발고도가 낮으며 해안의 영향을 받는 산림지역이 넓게 분포하고 있어 잠재 자연식생의 면적을 분석한 결과 신갈나무(12.4%)와 대등한 수치(12.3%)로 나타난 것을 볼 때, 추후 졸참나무를 중심으로

한 부산광역시 참나무류의 분포 및 군락구조 특성을 살펴볼 필요가 있다고 판단된다.

2. 중간결합 분석

708개의 조사구로부터 기록된 195종을 중심으로 각각 중간결합 분석을 실시한 결과를 Figure 2와 Table 5로 나타내었다. 그 결과, 사스레피나무의 친화종 수가 47종으로 가장 많았으며, 마삭줄 46종, 감태나무와 팔배나무는 각 44종, 광나무 41종, 굴참나무 38종으로 친화종의 개수가 나타났다.

특히, 부산광역시는 해안에 접하고 있어 곰솔군락이 폭 넓게 분포하고 있으며(Shin *et al.*, 2019), 곰솔군락 식재모델 연구가 꾸준히 이루어져 왔지만, 아직까지 명확한 종조성적 연구는 미흡했다(Lee *et al.*, 2018). 본 연구의 중간결합 분석 결과를 살펴보면, 곰솔의 친화종으로 사스레피나무, 광나무, 돈나무, 팔손이, 송악, 동백나무, 사철나무, 쇠물푸레나무, 천선과나무, 마삭줄 등이 나타났다.

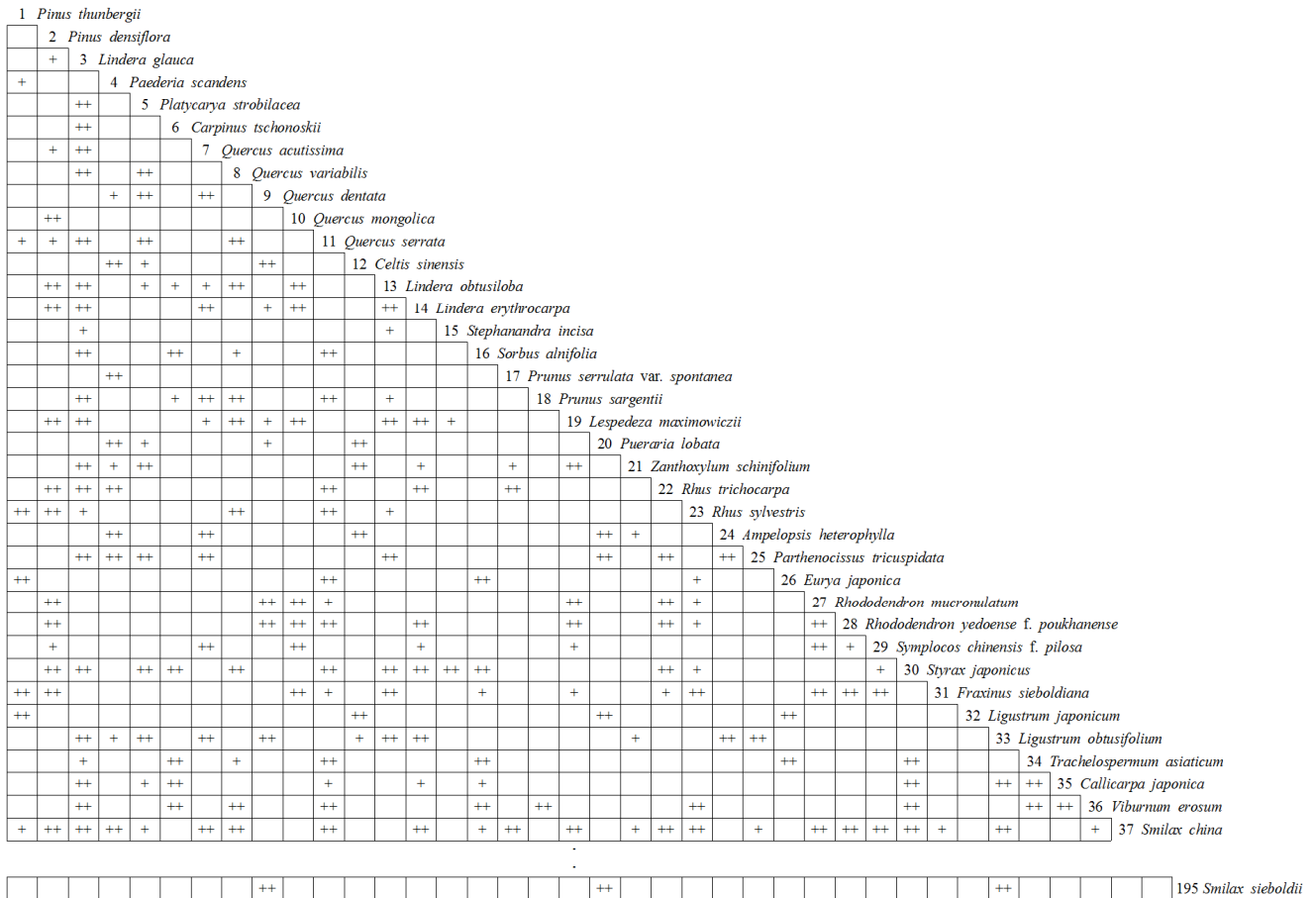


Figure 2. Chi-square matrix for major species in study area

Table 5. Results of interspecific association

Species	Number of friendly Species	Species	Number of friendly Species
<i>Eurya japonica</i>	47	<i>Pinus thunbergii</i>	31
<i>Trachelospermum asiaticum</i>	46	<i>Prunus sargentii</i>	31
<i>Lindera glauca</i>	44	<i>Rosa multiflora</i>	31
<i>Sorbus alnifolia</i>	44	<i>Hedera rhombea</i>	31
<i>Ligustrum japonicum</i>	41	<i>Rhus sylvestris</i>	30
<i>Quercus variabilis</i>	38	<i>Ampelopsis heterophylla</i>	30
<i>Celtis sinensis</i>	38	<i>Elaeagnus macrophylla</i>	30
<i>Paederia scandens</i>	37	<i>Quercus dentata</i>	29
<i>Smilax china</i>	36	<i>Pinus densiflora</i>	29
<i>Viburnum erosum</i>	35	<i>Platycarya strobilacea</i>	29
<i>Carpinus tschonoskii</i>	35	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	29
<i>Pueraria lobata</i>	34	<i>Meliosma oldhamii</i>	29
<i>Morus bombycis</i>	34	<i>Symplocos tanakana</i>	29
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	33	<i>Akebia quinata</i>	29
<i>Fatsia japonica</i>	33	<i>Quercus serrata</i>	28

3. 식물사회네트워크 시각화 및 구조 분석

부산시 산림지역 내 708개 조사구에서 출현한 종을 중심으로 χ^2 검정(Chi-square statistic)을 실시하였고, 종간 관계를 가지고 있는 양성결합의 χ^2 값을 기초로 하여 식물사회네트워크 구조를 시각화하였다(Figure 3). 기존 종간결합 분석은 전체 방형구수 중 5% 이하에 출현하는 희소종은 무시하고 성좌표(constellation)를 작성하였다면, 본 연구에서는 모든 출현 종에 대해 종간결합을 분석하고 그 결과값을 토대로 식물사회네트워크 소시오그램을 Gephi 0.9.2 program을 활용하여 구현하였다.

부산은 내륙형 식생과 해안형 식생이 동시에 나타나는 지역이다(Kim, 2004; Lee, 2018). 소시오그램을 살펴보면, 해안에서 주로 분포하는 상록활엽수들이 곰솔과 사스레피나무를 중심으로 우측하단에 분포하고 있었다. 다시 말해, 식물 분포특성이 식물사회네트워크 분석 결과인 소시오그램으로 표현이 되었고 보여진다. 이는 식물사회에 사회연결망 분석을 차용하여 실시한 식물사회네트워크 분석이 식물사회 구조를 설명할 수 있다는 것을 의미하며 본 연구의 시도가 적절했다고 판단된다.

시각화된 식물사회네트워크의 구조를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 6). 출현한 수종은 모두 195종이었고, 연결선 수는 1,709개로 나타났다. 1개의 연결선 수는 쌍방 종간결합 관계를 나타내고 있으므로 그 2배인 3,418개의 관계망이 형성되어 있는 것을 알 수 있었다. 하나의 수종(node)에 연결되어 있는 선의 개수는 평균 17.528개로 이는 부산광역시 식물사회에서 출현하는 한 수종은 약 17.5종과 종간결합을 가지고 있다는

것을 의미한다.

사회과학분야에서는 연결선 수와 네트워크 밀도 값을 기준으로 ‘좁은 세상’의 구조를 설명하기도 한다(Erdos & Renyi, 1959; Moody, 2004; Kim *et al.*, 2007). 네트워크 밀도는 네트워크에서 나올 수 있는 모든 연결선의 개수와 실제 연결선 수의 비를 의미하는데, 본 식물사회네트워크의 밀도는 0.09로 나타났다. 이 수치는 사회과학분야에서 구축된 네트워크의 밀도(0.01미만)보다 다소 높았다.

그 이유는 두 가지 측면에서 생각해 볼 수 있다. 우선 식물사회가 각 종간 서로 영향을 주고 받는 더 복잡한 구조로 네트워크가 구성되어 있다는 측면이고, 또 다른 측면은 본 연구는 부산광역시라는 제한된 공간과 그 속에서 출현한 195종의 수목만을 대상으로 네트워크를 구축했다는 점이다. 이 부분은 향후 다양한 환경적 특성을 가진 대상지의 데이터를 기반으로 다양한 형태의 식물사회네트워크가 구축이 되고나면 비교 분석이 가능할 것으로 판단된다.

네트워크 구조적 속성 중 지름은 한 노드에서 가장 멀리 떨어져 있는 노드까지의 거리를 의미하는데, 본 식물사회네트워크에서는 그 값이 5였다. 평균 경로거리는 2.268이었는데, 이는 한 수종을 중심으로 평균 2.268단계만에 서로간 연결된다는 것을 의미한다. 이와 같은 수치는 아직 국내는 물론 국외에서 식물사회네트워크가 구축되지 않아, 추후 타지역을 대상으로 식물사회네트워크를 구축한 뒤 결과값을 비교하여 추가적으로 논의되어야 할 것으로 판단된다.

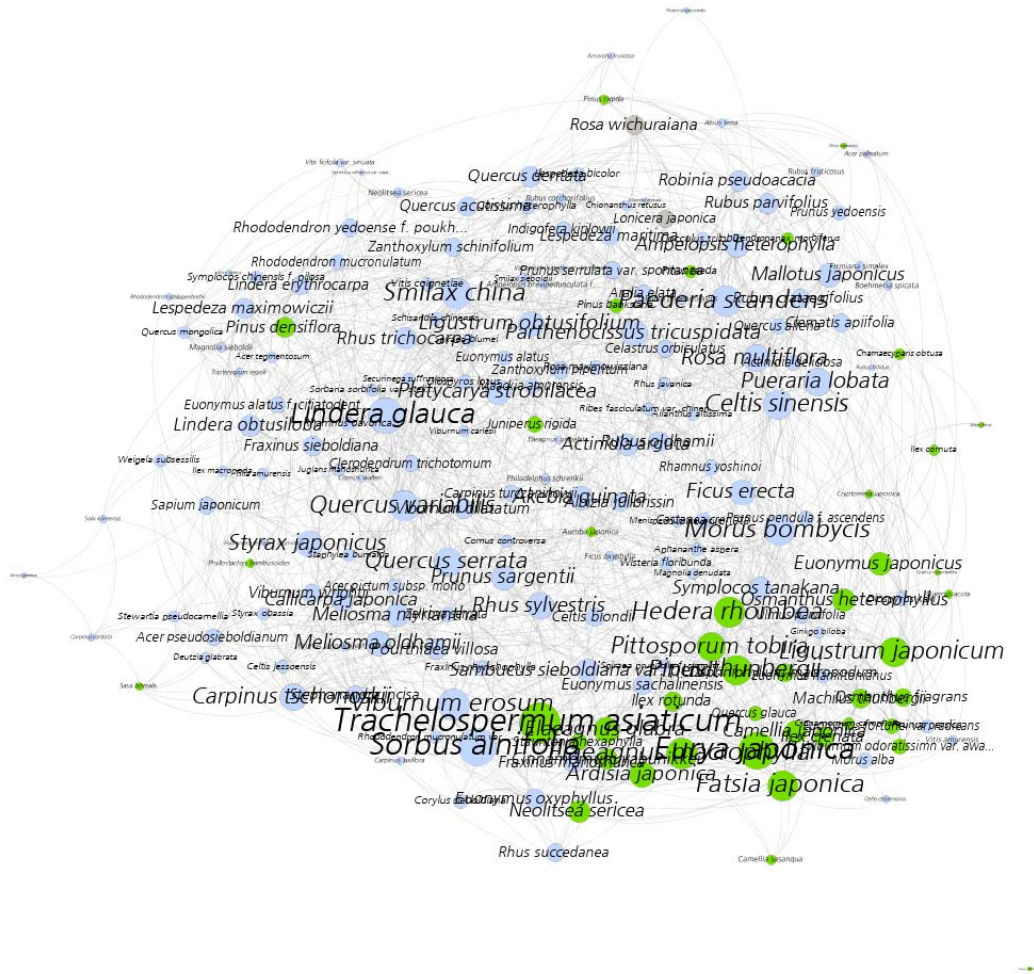


Figure 3. Sociogram of Plant Social Network on Busan Metropolitan City

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

Network Properties	Plants Social Network of Busan Metropolitan City
Nodes	195
Degree	1,709
Average Degree	17.528
Graph Density	0.09
Network Diameter	5
Average Path Length	2.268

4. 식물사회네트워크 중심성 분석

부산광역시 산림식생지역을 대상으로 구축된 식물사회네트워크 소시오그램의 주요 수종별 중심성 분석을 실시한 결과는 다음과 같다(Table 7). 연결중심성은 사스레피나무, 마삭줄, 감태나

무, 광나무, 팔매나무 순으로 나타났다. 연결중심성은 해당 수종에 직접 연결되어 있는 다른 수종들의 수와 중간결합 중 양성결합의 유의수준 가중치에 관련된 값이며, 연결중심성 값이 크다는 것은 해당 수종은 식물사회네트워크에서 많은 수종과 잘 어울린다는 뜻이다. 실제 사스레피나무는 부산 산림식생지역에 폭넓게

Table 7. Result of centrality analysis on major species

Species	Degree centrality	Closeness centrality	Betweenness centrality	Eigenvector centrality
<i>Lindera erythrocarpa</i>	18.5	0.463	100.128	0.432
<i>Smilax china</i>	30.0	0.526	368.755	0.772
<i>Quercus serrata</i>	21.5	0.497	211.812	0.674
<i>Styrax japonicus</i>	23.5	0.484	109.362	0.629
<i>Pinus thunbergii</i>	26.0	0.499	269.250	0.709
<i>Rhus trichocarpa</i>	21.5	0.473	162.230	0.518
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	28.0	0.503	343.778	0.640
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	16.0	0.448	97.657	0.331
<i>Lindera obtusiloba</i>	20.5	0.492	163.803	0.511
<i>Quercus acutissima</i>	17.0	0.478	131.394	0.445
<i>Quercus dentata</i>	23.5	0.481	339.852	0.498
<i>Eurya japonica</i>	42.0	0.504	506.983	0.902
<i>Prunus sargentii</i>	22.5	0.503	487.055	0.570
<i>Lindera glauca</i>	38.0	0.538	522.982	0.899
<i>Quercus variabilis</i>	28.5	0.515	449.279	0.742
<i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i>	20.0	0.462	254.372	0.410
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	20.0	0.480	214.224	0.466
<i>Viburnum erosum</i>	30.5	0.495	273.645	0.746
<i>Stephanandra incisa</i>	16.5	0.464	356.494	0.383
<i>Pinus densiflora</i>	22.5	0.465	259.131	0.473
<i>Quercus mongolica</i>	17.0	0.420	123.707	0.274
<i>Platycarya strobilacea</i>	21.0	0.507	250.915	0.614
<i>Sorbus alnifolia</i>	36.5	0.522	506.561	0.928
<i>Rhus sylvestris</i>	22.5	0.490	255.009	0.617
<i>Trachelospermum asiaticum</i>	38.5	0.527	554.017	1.000
<i>Carpinus tschonoskii</i>	29.5	0.479	415.440	0.625
<i>Ampelopsis heterophylla</i>	26.0	0.478	278.025	0.554
<i>Callicarpa japonica</i>	20.0	0.480	243.651	0.517
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	16.5	0.475	335.305	0.407
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	21.0	0.475	261.163	0.455
<i>Pueraria lobata</i>	29.5	0.503	397.274	0.668
<i>Symplocos chinensis</i> f. <i>pilosa</i>	15.5	0.425	97.026	0.292
<i>Paederia scandens</i>	33.5	0.511	298.231	0.756
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	19.0	0.465	259.046	0.369
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	24.5	0.503	335.060	0.614
<i>Ligustrum japonicum</i>	36.5	0.492	614.273	0.718
<i>Celtis sinensis</i>	34.5	0.513	430.881	0.736

분포하고 있는 곰솔, 졸참나무 등과 중간결합이 높았으며, 해안에서 출현하는 다수의 상록활엽수와 양성결합을 보였다.

근접중심성은 감태나무, 마삭줄, 청미래덩굴, 팔배나무, 굴참나무 순으로 나타났다. 이 값은 한 수종이 얼마나 식물사회네트워크 중앙에 위치하고 있는지를 측정하여 네트워크 전역에서 가장 일반적인 영향력을 가지는 수종이 무엇인지를 파악이 가능하도록 한다.

매개중심성은 해당 수종이 다른 수종과 네트워크를 구축하는데 있어 가교 역할을 얼마나 수행하는지에 대한 수치로 네트워크 흐름에 있어 큰 영향력을 가질 수 있다. 부산 산림식생지역 식물사회네트워크에서 매개중심성은 광나무, 마삭줄, 감태나무, 사스레피나무, 팔배나무가 높은 것으로 나타났다.

위세중심성은 해당 수종의 중심성과 연결된 다른 수종의 중심성 지표를 함께 고려한 것으로 다시 말해, 중심성이 높은 수종과의 결합이 이뤄지고 있음을 의미한다. 본 연구에서는 마삭줄, 팔배나무, 사스레피나무, 감태나무, 청미래덩굴 등의 위세중심성 값이 높게 나타났다.

5. 종합고찰

식물사회네트워크 시각화 및 분석의 과정은 다음과 같다. 우선 연구대상지의 임상도 및 현존식생도를 참고하여 다양한 식생군락이 포함될 수 있도록 조사구를 설정하고 각 조사구별 출현식물의 목록을 작성한다. 다음으로 출현식물을 중심으로 각 종간 출현유무에 따른 2×2 분할표를 작성하고 χ^2 검정을 통해 중간결합 분석한 후 행렬표를 작성한다. 행렬표를 토대로 Gephi 0.9.2 또는 네트워크 연결망 구축 프로그램을 활용하여 소시오그램을 작성한 후, 네트워크 구조를 분석하고 중심성을 살펴보는 것으로 마무리 된다.

본 연구의 중간결합 분석 결과를 살펴보면, 곰솔의 친화종으로 사스레피나무, 광나무, 돈나무, 팔손이, 송악, 동백나무, 사철나무, 쇠물푸레나무, 천선과나무, 마삭줄 등이 나타났는데, 향후 식물사회네트워크를 활용하여 다양한 목표군락 식재모델의 수반종으로 제시가 가능할 것으로 판단된다.

부산광역시 식물사회네트워크 구조를 분석한 결과, 1,709개의 연결선이 나타났고 한 수종과 중간결합을 갖는 종수의 평균은 약 17.5개였다. 밀도는 0.09로 나타났는데, 이는 사회과학분야에서 구축된 네트워크의 밀도 0.01미만보다 다소 높은 수치였다. 구축된 네트워크의 지름은 5, 평균 경로거리는 2.268이었는데, 사회과학분야의 네트워크와 정밀한 비교 분석을 위해서 앞으로 다양한 식물사회네트워크 구축이 진행되어야 할 것으로 판단된다.

네트워크 중심성 분석 결과, 부산광역시에서는 사스레피나무, 감태나무, 광나무, 마삭줄이 연결중심성, 근접중심성, 매개중심성, 위세중심성이 높게 나타났다. 이 또한 지속적인 추가 보완

연구를 통해 식물간의 관계를 중심으로 식물사회의 네트워크 구조를 해석할 수 있는 자료가 축적되어야 할 것으로 보인다.

사회 연결망 분석(Social Network Analysis)이라는 접근과 방법론의 잠재적인 가능성에 대한 관심은 근래에 꾸준히 증가되고 있다. 사회 연결망은 사회에 구성되어 있는 연결망이 가지는 관계성에 주목하고, 이를 식물사회에 적용하여 본 연구는 각 수종이 가지는 특성보다는 서로간의 관계적 특성에 주목하여 식물사회현상을 설명하고자 하였다. 식물사회분야의 빅데이터를 활용한 식물사회네트워크 시각화 및 분석 방법에 대한 중요한 이론적 함의를 도출하기 위해서는 추가적인 식물사회네트워크 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Albert, R., H. Jeong and A.L. Barabási(1999) Diameter of the World Wide Web. *Nature* 401: 130-131. (in English)
- Albert, R., H. Jeong and A.L. Barabási(2000) Error and attack tolerance of complex networks. *Nature* 406: 378-382. (in English)
- Bonacich, P.(1987) Power and centrality: A family of measures. *American Journal of Sociology* 92: 1170-1182. (in English)
- Braun-Blanquet, J.(1964) *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*(3rd ed). Springer, Wien-New York. 865pp.
- Busan Metropolitan City(2016) *Busan natural environment survey* (2nd ed). Busan Metropolitan City. 430pp. (in Korean)
- Chang, S.M.(1991) Ecological studies on the forest vegetation in Mt. Joghe. *Jour. Korean For. Soc.* 80(1): 54-71. (in Korean with English abstract)
- Erdos, P. and A. Renyi(1959) On random graphs. *Publ. Math. Debrecen* 6: 209-297. (in English)
- Freeman, L.C.(1978) Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks* 1(3): 215-239. (in English)
- Gephy(2020) <https://gephi.org/>
- Jabu, S.(1987) Restoration of a kaolin clay strip mine for wildlife habitat using biotechnical and revegetation methods. Master Dissertation, Univ. of Georgia, Athens. 226pp. (in English)
- 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.W.(2006) *Vegetation ecology*. Worldscience Publications, Seoul. 340pp. (in Korean)
- Kim, M.M.(2015) Analysis of research trend on R&D performance using social network analysis. Master Dissertation, Hanyang Univ., 63pp. (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, T.Y. and J.S. Kim(2018) Woody plants of Korean Peninsula. Dolbegae Publications, Paju. 716pp. (in Korean)
- Kim, Y.H., J.R. Yoon, H.S. Cho and Y.J. Kim(2007) Structure of collaboration network among Korean scientists-‘Small world’ and position effect-. *Korean Journal of Sociology* 41(4): 68-103. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.J., J.E. Lee and Y.R. Lee(2016) Analysis of properties of fashion trading areas using network analysis technique. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles* 40(2): 209-220. (in Korean with English abstract)
- Lee, D.C., K.K. Shim, S.H. Choi and K.J. Lee(1994) Plants community structure analysis of *Lindera erythrocarpa* native forest in the Central Korea(I). *J. KILA* 22(2): 133-157. (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, H.M. Kang, H.S. Cho and J.W. Cho(2010) The change and structure of altitudinal vegetation on the east side of Hallasan National Park. *Kor. J. Env. Eco.* 24(1): 26-36. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.C., S.H. Hong, D.P. Kim, S.H. Choi and M.Y. Ahn(2018) A study for growth density on the *Pinus thunbergii* and *Pinus densiflora* communities in area of Busan, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 32(2): 215-224. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.S.(2010) Network analysis methodology. Nonhyung Publications, Seoul. 370pp. (in Korean)
- Moody, J.(2004) The structure of a social science collaboration network: Disciplinary cohesion from 1963 to 1999. *American Sociological Review* 69: 213-238. (in English)
- Moreno, J.(1934) Who shall survive? New York, Beacon Press. 755pp. (in English)
- Oh, K.K.(1986) A study on the planting design criteria considering ecological characteristics of natural vegetation. Master Dissertation, Seoul Nat. Univ., 159pp. (in Korean with English abstract)
- Park, E.H., J.K. Kim, J.H. Lee, H.S. Cho and J.K. Min(2004) Vegetation of liana dominating in the vicinity of Onsan industrial complex. *Korean J. Ecol.* 27(6): 335-345. (in Korean with English abstract)
- Park, H.Y., H.R. Lee, D.K. Kim and S.Y. Song(2014) Analyzing newspaper editorials on a mega-event by using semantic network analysis-Focus on the EXPO 2012 Yeosu Korea-. *Journal of Tourism Sciences* 38(1): 179-199. (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)
- Scott, J.(2000) Social network analysis: A hand book. SAGE Publications, London. 208pp. (in English)
- 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)