

네트워크 과학 관점에서 바라본 산줄기 연결망 체계의 구조적 특성과 의미

장효진* · 박수진**

Structural Characteristics and Meaning of the *Sanjulgi* (mountain ridge) Network System based on Network Science

Hyo Jin Jang* · Soo Jin Park**

요약: 본 연구는 네트워크 과학 관점에서 산줄기 연결망의 구조적 특성과 중요성을 파악하여 그에 따른 산지 관리 원칙을 제언하고자 하였다. 네트워크 과학이란 복잡계 구성요소들의 상호작용을 노드(node)와 링크(link)로 단순화하여 네트워크로 연구하는 방법론으로써, 백두대간, 정맥, 기맥, 지맥의 산줄기들을 노드와 링크로 설정하여 네트워크 분석을 실시하였다. 이를 통해 전체 산줄기 구조적 특성과 의미를 도출하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 첫째, 산줄기 연결망의 전체 구조는 멱함수 분포를 보이는 복잡계 네트워크임을 확인하였다. 이는 비선형적 구조 안에서 일정 확률을 가진 프랙탈(fractal) 구조와 수많은 선들을 관할하는 허브의 존재를 의미한다. 둘째, 산줄기의 핵심 허브는 백두대간이라는 통념을 네트워크 과학 관점에서도 증명하였고, 낮게 평가되어오던 일부 지맥 산줄기의 중요성을 도출하였다. 지맥은 정책적으로 주요 산줄기에서 제외되어 산지 관리 시 보전보다 이용의 대상으로 여겨져 왔다. 그러나, 분석 결과를 통해 그동안의 산지 관리 정책에서 산줄기 연결망의 구조적 특성을 종합적으로 반영하지 못하고 있었다는 한계점을 밝혀냈다. 본 연구는 실질적인 산줄기의 구조적 특성을 고려하지 않은 일괄적인 관리 정책을 보완하는 근거를 제공할 것으로 보인다.

주요어: 산줄기, 네트워크분석, 복잡계, 산지관리, 산지체계

Abstract: The purpose of this study is to identify the structural characteristics and significance of the *Sanjulgi* (mountain ridge) in terms of network science, and to propose the mountain management principles based on the results. Network science is a network method that simplifies interaction of complex components into node and link. In this study, the network analysis was performed by setting individual *Sanjulgi* of *Baekdudaegan*, *Jeongmak*, *Gimaek*, and *Jimaek* as nodes and links. The results of this study carried out structural characteristics and meaning of *Sanjulgi*. The main results are summarized as follows. First, the structure of the mountain ridge is a complex system network that follows a Power-law distribution. This implies the existence of a fractal structure which is a nonlinear structure that has constant probabilities and a hub that controls a large number of lines. Second, this study proved that the core hub of the mountain is *Baekdudaegan* in terms of the network science, and the importance of some *Jimaek*. *Jimaek* has been excluded from the main mountain ridge management system, and tends to be considered more strongly on development than conservation in the mountain management in general. However, the results of the analysis pointed out that the mountain

이 연구는 서울대학교 아시아연구소 아시아기반구조 사업의 지원(#SNUAC2018-011)을 받아 이루어졌음을 밝힙니다.

* 교신저자, 서울대학교 지리학과 박사과정(Ph.D. Student, Dept. of Geography, Seoul National University), janghj317@snu.ac.kr

** 서울대학교 지리학과 교수/아시아연구소 소장(Professor, Dept. of Geography/Director, Asia Center, Seoul National University), catena@snu.ac.kr

management policy has not comprehensively reflected the structural characteristics of the mountain ridge. This study could provide theoretical support for the management policy that does not take account the structural characteristics of the actual mountain ridge.

Key Words: *Sanjulgi* (mountain ridge) map, Network analysis, Complex system, Mountain management, Mountain system

1. 서론

우리나라 국토의 약 70%는 산지로 구성되고, 그 내부에는 다양한 지형 체계와 생태계 양상이 존재하고 있다. 이러한 특성을 종합적으로 고려하기 위해 산줄기 체계를 산지의 공간 단위로 설정하여 산지를 관리해오고 있다(신준환, 2004; 산림청, 2013). 우리나라의 주요 산줄기 체계는 조선 후기에 산지를 대간, 정간, 정맥으로 체계화하는데서 출발하였으며, 현재는 산지 관리의 기본 체계로 활용되고 있다(국토연구원, 2017). 이는 백두대간과 10대강의 유역분수계들을 연결한 것으로, 자연과 인문환경을 파악하기 위한 산지 개념으로도 인식되어 왔으며(양보경, 1993), 이것을 DB화하여 산지관리의 기본 틀로 활용하고 있다(이양주 외, 2008).

실제로 환경관련 정부 부처는 주요 산줄기인 백두대간, 정맥, 기맥을 중심으로 주변 산지지형과 생태계 관리를 하고 있다. 백두대간은 역사적으로 중요한 지형 요소이자 우리나라의 생태계 핵심축으로, 「백두대간 보호에 관한 법률」이라는 최상위 법으로 보호되고 있으며, 주요 산줄기인 백두대간, 정맥, 기맥은 「산지관리법」에 근거하여 보호되고 있다. 한반도의 산지체계를 나타내는 대표성과 소유역 단위의 산줄기를 고려하기 위해 대규모부터 소규모까지 포괄할 수 있는 세부적이고 계층적인 산줄기가 필요하다(박수진·손일, 2005b). 이를 위해 2013년부터 제1차산지기본계획에 따라 ‘백두대간에서 우리 집 뒷동산까지’의 산줄기 연결망 실현을 위해 산을 개별적인 요소로 인식하지 않고 통합된 하나의 산줄기 체계로 인지하고 관리하려는 노력을 시도해오고 있다(산림청, 2013). 2013~2015년에는 기존 산경표의 산줄기 체계보다 더욱

구체적인 작은 단위의 산줄기를 추가로 구축하였고, 백두대간부터 말단부 산줄기까지 산줄기를 연결하고자 통합된 하나의 ‘산줄기 연결망(network) 체계’로 구축한 바 있다(국토연구원, 2016).

선행 연구와 정책들의 산줄기 연결망 체계 구축과 통합 관리의 궁극적인 목적을 요약하면 다음과 같다. 1) 산줄기는 동식물 종의 서식처와 이동통로가 되고, 2) 우리나라 국토의 기틀이며, 3) 특히 백두대간은 국토 전체의 산줄기로 연결시켜주는 공간이므로 생태계 가치가 높다는 측면에서 보전 및 관리가 필요하다. 특히, 산줄기 단절은 생태계를 파괴하고 동식물의 이동통로 단절과 지형훼손을 야기시키므로 산줄기체계의 통합 관리와 보호의 필요성이 제기되고 있다(환경부·국립환경과학원, 2011; 산림청 2013; 이명진·이수재, 2013).

이와 같은 산줄기의 중요성에 대한 정책과 연구들을 통해 산줄기가 생태적으로 중요한 공간이라는 합의점을 찾을 수 있지만, 산줄기를 하나의 통합 체계로 인식해야 하는 이유와 소규모 산줄기의 관리 필요성에 대한 궁극적인 이유를 과학적으로 밝혀내지 못하고 있다(박수진·손일, 2005b). 또한, 이러한 주요 산줄기에 치중한 지형관리는 소규모 단위의 산줄기와 유역체계가 지닌 세부적인 지형학적 특성을 반영하지 못한 산지지형 관리를 하고 있다는 평가를 받고 있다(이도원 외, 2003; 손학기 외, 2010). 현재 산줄기의 관리 적용 대상은 산지관리법상 주요 산줄기인 백두대간, 정맥, 기맥에 제한되고 있다. 이러한 산줄기 위계에 따르는 이유는 국가에서 사용하는 산줄기 DB를 산경표에 근거하기 때문이다. 산경표는 조선후기 신경준이 산줄기를 1대간, 1정간, 13정맥으로 위계화하면서 현재까지 그 인식체계가 전해져오고 있다(양보경, 1993; 현진상, 2000). 그러나 과학적인 근거

에 의해 산줄기를 위계화 했다고 언급하기 어려우므로 산줄기의 위계별 의미를 과학적으로 점검해 볼 필요가 있다. 또한, 아직까지 지맥 이하의 산줄기에 대한 관리 방안이나 연구에 대해서는 부재한 실정이고, 전체 산줄기 연결망 역시 단순히 선적 연결에 그친 채 산줄기마다 다른 관리 원칙을 적용하고 있다. 본질적인 산줄기 연결망 관리를 위해서는 정책적으로 활용하고 있는 전체 산줄기 연결망의 구조적 특성을 밝히는 연구가 선행되고, 그에 따른 정책 실현이 필요하다.

본 연구는 네트워크 과학(network science) 관점에서 산줄기 네트워크의 구조적 특성을 파악하여 산줄기 네트워크의 전반적인 의미와 중요성, 그리고 산줄기 관리의 방향을 제안하고자 하였다. 네트워크 과학은 네트워크 구성 요소들의 상호작용을 노드(node)와 링크(link)로 구조화하여 연구하는 것으로, 네트워크의 구조적 특성과 형태를 파악하기에 용이한 학문이다(정하웅·강병남, 2007).¹⁾ 이를 위해 네트워크 구성요소의 분포를 분석하여 산줄기 네트워크의 일반적인 특성을 파악하고, 산줄기별 구체적인 의미는 중심성 분석을 실시하여 살펴보고자 하였다.

2. 연구 방법

1) 네트워크의 구조적 특성 분석

인간이 거주하는 지표공간은 다양한 형태의 요소들로 구성되고 유역은 지표공간의 틀로써 이들을 포괄하고 있다. 본 연구에서는 유역의 경계가 되는 산줄기의 구조적 특성을 파악하고자 전국 산줄기 연결망의 특성을 보다 과학적으로 살펴보고자 하였다.

네트워크의 구조와 형태는 노드들이 만나는 결절점이 링크가 되는데, 이들의 분포 양상에 따라 파악할 수 있다. 본 연구에서는 산줄기를 노드로, 산줄기와 산줄기가 만나는 지점을 링크로 설정하여 네트워크 분석을 수행하였다. 네트워크 과학 측면에서의 산줄기 연결망 분석은 우리나라에 분포하는 개별적인

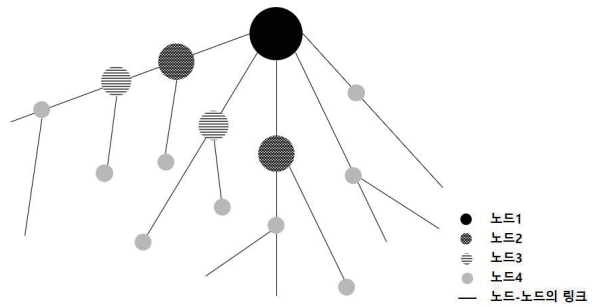


그림 1. 산줄기 노드와 링크 개념도

산들을 잇는 산의 능선들을 구조화함으로써 국토를 형성하는 전반적인 지형 특성을 파악하는데 용이하다. 네트워크의 특성을 통계물리학적 측면에서 살펴볼 수 있는데, 가우시안 법칙을 따르는 무작위 네트워크(random network) 및 좁은 세상 네트워크(small-world network), 멱함수 법칙을 따르는 척도 없는 네트워크(scale-free network) 등이 대표적이다(윤병수·채승병, 2005).²⁾

이처럼 우리 주변 환경은 그들만의 특성에 따라 네트워크 형태를 갖추고 있고, 그 특성에 따라 이용과 관리 원칙이 달라진다. 본 연구에서는 산줄기의 네트워크의 구조적 특성을 Netminer 4.0 프로그램을 통해 통계물리학적 분포 특성에 따라 네트워크의 구조적 특성을 확인하고자 하였다. 통계적 유의성은 Kolmogorov-Smirnov test(이하 K-S 검정)와 적합도 검정(goodness-of-fit tests)을 시행하였다(Clauset *et al.*, 2009). 기존 연구들에서는 정규분포 여부를 판단하기 위해 K-S 검정에서 0.05보다 크면 정규분포이고 그렇지 않으면 정규분포가 아닌 멱함수로 정의하며, 이에 대한 적합도 검정에서는 p -value가 0.01 이상이면 멱함수로써 유의한 수준으로 파악하고 있다(Agostino and Stephens, 1986; Clauset *et al.*, 2009; 최명제·김민숙, 2015). 또는 네트워크 구성 개체들의 규모-순위의 Log-Log 그래프를 작성하여 육안상 직선에 가깝거나 회귀분석 결과 결정계수(R^2)가 0.9 이상을 멱함수로 판단하기도 한다(장세은·이수호, 2014; 이상봉, 2015). 본 연구에서는 통계적 유의성과 네트워크 분석 논문들의 경향을 보다 정량적으로 평가하기 위해 전자의 방법을 택하여 네트워크의

구조적 특성을 파악하고자 하였다.

2) 네트워크의 중심성 분석

네트워크 내 수많은 산줄기 노드들이 어떤 소수의 산줄기 노드에 집중되는지 그 정도를 파악함으로써 이들의 중요도와 위계를 파악해보고자 하였다. 중요도가 집중되는 노드는 가치가 높거나 허브 역할이 될 것이다. 그 외의 노드들은 이웃이라고 정의하며, 노드의 이웃인 모든 노드들의 합을 그 노드의 연결정도라고 말한다(Freeman, 1979; Annalisa, 1999; 배현준 외, 2017). 본 연구에서는 연결중심성(Degree Centrality), 근접중심성(Closeness Centrality), 매개중심성(Betweenness Centrality), 그리고 위세중심성(Eigenvector Centrality) 분석을 통해 산줄기별 위계를 파악하였다.

각 중심성 분석에 대한 설명은 다음과 같다. 첫째, 연결중심성($C_p(n_i)$)은 네트워크의 노드들의 직접적인 연결 수를 측정하는 방법으로 국지적인 연결분포 특성을 반영하며, 연결 수가 많은 노드일수록 중심성이 높은 것을 의미한다(식 1). 둘째, 근접중심성($C_c(n_i)$)은 노드들 간의 직접적·간접적으로 연결된 다른 노드들과의 거리를 산정하여 중심성을 나타내는 것으로, 거리가 짧을수록 중심성이 높은 것을 의미한다(식 2). 셋째, 매개중심성($C_b(n_i)$)은 한 노드가 네트워크 내의 다른 노드들 사이에서 매개체(중개자)로서 얼마나 역할을 하는지 나타내는 방법이다(식 3). 한 노드가 다른 결점들 사이의 최단거리를 연결하는 최단 경로에 위치할수록 그 결점의 사이 중심성은 높아지며, 복잡한 네트워크 내 보편성을 찾기에 용이하다(Kim *et al.*, 2004; 정하웅·강병남, 2007). 그리고 마지막 위세중심성(C_i)은 자신의 노드 연결정도 중심성으로부터 발생하는 영향력뿐만 아니라 자신과 연결된 다른 노드의 중심성 영향력까지 합한 것을 말한다(식 4). 따라서 해당 노드의 중심성이 낮더라도 연결된 다른 노드들의 중심성이 높을 경우, 자신의 노드 중심성은 높아진다.

3) 연구 자료

(1) 연구자료 소개

기본적으로 우리나라 산줄기 체계는 전통적으로 산경표에 따라 1대간, 1정간, 13정맥으로 구분하였다. 이후 신산경표에서 ‘산은 물을 가르는 경계’라는 원칙하에 현대의 지형을 반영하면서 기존 산경표에서 제시한 산줄기 외에 기맥과 지맥을 추가하여 최종 1대간, 12정맥, 12기맥, 20지맥으로 구획하였다(박성태, 2010). 여기서 대간은 기존 산경표에 근거하여 대간을 백두산부터 지리산까지의 산줄기를 지칭하고, 정맥은 10대강을 구획하는 산줄기, 기맥은 대간과 정맥에서 분기한 100km 이상의 산줄기로, 지맥은 대간, 정맥, 기맥을 제외한 30km 이상의 산줄기를 의미한다. 그리고 정책적으로 산줄기의 보호가치 중요도를 대간, 정맥, 기맥, 지맥의 순서로 인식하고 관리하고 있다.

$$C_p(n_i) = \frac{\sum_{j=1}^g a(n_i, n_j)}{g-1} \quad \text{식 (1)}$$

g : 네트워크에 참여하는 전체노드의 수

a : 노드의 연결정도. n_i 와 n_j 가 링크로 연결되어 있으면 $a(n_i, n_j)=1$, 그렇지 않으면 $a(n_i, n_j)=0$

$$C_c(n_i) = \frac{g-1}{\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)} \quad \text{식 (2)}$$

g : 네트워크에 참여하는 전체 노드 수

$d(n_i, n_j)$: 노드 i 에서 j 까지의 거리

$$C_b(n_i) = \frac{\sum_{j>k}^g \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}}}{[(g-1)(g-2)/2]} \quad \text{식 (3)}$$

g_{jk} : 노드 j 에서 k 를 연결하는 최단 경로의 개수

$g_{jk}(n_i)$: 노드 j 에서 k 를 연결하는 최단 경로 중에서 노드 i 를 거치는 경로의 수

$$C_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in N(i)} A_{ij} C_j \quad \text{식 (4)}$$

λ : i 와 j 간 관계 매트릭스의 가장 큰 고유벡터의 고유값, 즉 노드 i 의 아에겐 값(eigen value)
 $N(i)$: 노드 i 의 이웃 노드들의 합
 A_{ij} : $n \times n$ 방향 인접 행렬 A 에서 노드 i 와 j 의 연결정도. 연결되어 있으면 1, 그렇지 않으면 0
 C_i 와 C_j : i 와 j 의 중심성

최근 많은 산줄기 연구에서 지형적·관리적·전통적 특성에 따라 산줄기 체계를 달리하면서 새로운 산줄기 지도 제안을 시도하고 있다(김영표 외, 2004; 박수진·손일, 2005a; 국토연구원, 2016). 그러나 각 연구마다 산줄기 체계와 특징이 상이하여, 실제 산지관리 시 정책에 반영하기 어렵다는 한계가 있었다. 본 연구에서는 네트워크 관점에서의 산줄기를 분석하여 정책적 활용으로의 함의를 도출하는 것이 목적이므로, 실제로 산림청에서 활용하는 남한을 대상으로 구축한 신산경표 기반의 산줄기 DB를 분석 도구로 활용하였다. 해당 산줄기 DB는 2012년 산림청에서 박성태(2010)의 신산경표를 기본으로 하면서 수치고도 모델(Digital Elevation Model, DEM)을 활용하여 능선을 추출한 것이다.³⁾ 이 지도는 신산경표보다 상세하게 산줄기를 표현하여, 대간 1개, 정맥 7개, 기맥 6

개, 지맥 149개, 그리고 700개의 세맥으로 구성되어 있다. 세맥은 기존 신산경표에는 없는 산줄기이지만, 보다 면밀한 산줄기와 주변 지형 관리를 위해 대간, 정맥, 기맥, 지맥으로부터 추가로 분기하는 세부적인 산줄기를 지칭한 것이다. 표 1과 그림 2는 한반도의 남한을 대상으로 대간, 정맥, 기맥, 지맥을 표시한 것이고, 산줄기 길이는 ArcMap 10.3에서 산줄기 DB를 활용하여 산정하였다. 세맥의 명칭은 분기된 지점의 산줄기에 따르므로 상세한 명칭의 정리는 생략하였다.

(2) 연구자료 활용 방법

본 연구는 기존 대간, 정맥, 기맥, 지맥의 4단계의 산줄기 체계가 어떤 네트워크 구조를 보이고 어떻게 상호작용하는지 파악한 후 그 의미를 찾고자 하였다. 이를 위해 각 위계의 산줄기를 노드로, 다른 위계의 산줄기들(노드)과의 연결 지점을 링크로 설정하여 산줄기 위계별 네트워크의 구조 특성을 파악하고자 하였다. 산줄기 노드별 링크는 ArcMap 10.3을 활용하여 ‘대간-정맥’, ‘대간-기맥’, ‘대간-지맥’, ‘정맥-기맥’, ‘정맥-지맥’, ‘기맥-지맥’로 구축하였다. 그리고 같은 위계의 산줄기들간 중복 산정(예: 부용지맥-각

표 1. 한국의 산줄기 개요

산줄기		길이(km)	산줄기		길이(km)	산줄기		길이(km)
위계	명칭		위계	명칭		위계	명칭	
대간	백두대간	753.9	40	부용지맥	42.4	96	기룡지맥	31.6
정맥		2,003.1	41	만뢰지맥	45.8	97	팔공지맥	126.2
	금강정맥	133.2	42	영인지맥	43.6	98	갈라지맥	49.5
	낙남정맥	195.1	43	봉수지맥	47.6	99	구암지맥	56.5
	낙동정맥	419.1	44	석문지맥	49.8	100	내연지맥	38.0
	한남정맥	178.5	45	망일지맥	34.1	101	비슬지맥	140.3
	한북정맥	166.6	46	성주지맥	32.3	102	거제지맥	48.3
	호남정맥	525.9	47	원진지맥	36.1	103	강화지맥	32.7
	호서정맥	384.8	48	병풍지맥	64.1	104	보개지맥	30.5
기맥		837.5	49	장암지맥	34.1	105	어은지맥	5.0
	영산지맥	159.6	40	봉대지맥	43.7	106	성골지맥	28.6
	진양기맥	155.0	51	흑석지맥	43.3	107	천마지맥	47.1
	땅끝기맥	121.9	52	백룡지맥	28.0	108	백덕지맥	56.1

	금남기맥	110.3	53	사자지맥	43.3	109	주왕지맥	77.5
	금북기맥	125.7	54	친황지맥	70.8	110	태행지맥	44.7
	한강기맥	165.0	55	통명지맥	37.5	111	오두지맥	37.2
지맥	6,963.5		56	무이지맥	35.5	112	해룡지맥	35.2
1	도솔지맥	91.5	57	삼신지맥	29.5	113	오갑지맥	30.0
2	감악지맥	40.3	58	팔봉지맥	51.2	114	모악지맥	65.0
3	도봉지맥	61.5	59	칠갑지맥	28.4	115	변산지맥	53.4
4	춘천지맥	124.8	60	안평지맥	32.8	116	옥룡지맥	47.5
5	영월지맥	129.9	61	신선지맥	30.8	117	화원지맥	80.7
6	관악지맥	37.2	62	등곡지맥	32.0	118	역불지맥	31.5
7	김단지맥	47.4	63	우봉지맥	26.5	119	성수지맥	56.7
8	두승지맥	38.8	64	작약지맥	47.6	120	모후지맥	28.4
9	경수지맥	35.1	65	운달지맥	51.1	121	팔음지맥	53.6
10	고흥지맥	71.0	66	자구지맥	34.8	122	전월지맥	33.0
11	견두지맥	36.0	67	자개지맥	49.7	123	장령지맥	46.4
12	덕유지맥	31.4	68	육백지맥	45.8	124	식장지맥	58.9
13	각호지맥	49.5	69	안일지맥	29.9	125	백운지맥	45.0
14	관암지맥	41.3	70	화림지맥	33.2	126	천등지맥	43.9
15	계명지맥	33.3	71	비학지맥	43.8	127	웅석지맥	44.9
16	금대지맥	57.4	72	성치지맥	41.7	128	연비지맥	37.1
17	수도지맥	102.7	73	운문지맥	33.4	129	양각지맥	31.6
18	국사지맥	39.6	74	영축지맥	43.8	130	칠봉지맥	56.9
19	각화지맥	32.7	75	무척지맥	39.7	131	영암지맥	39.8
20	덕산지맥	72.3	76	화개지맥	30.9	132	승덕지맥	44.9
21	보현지맥	167.2	77	정수지맥	34.7	133	일월지맥	31.6
22	호미지맥	101.5	78	후망지맥	28.0	134	영등지맥	34.2
23	남암지맥	35.3	79	통영지맥	43.3	135	황학지맥	45.0
24	기양지맥	50.5	80	태청지맥	49.9	136	유봉지맥	33.4
25	왕재지맥	55.7	81	대득지맥	29.9	137	선암지맥	56.5
26	삼송지맥	19.6	82	갑산지맥	32.3	138	청룡지맥	37.3
27	화장지맥	15.6	83	독조지맥	60.1	139	열왕지맥	28.9
28	향로지맥	36.8	84	가섭지맥	34.4	140	화왕지맥	31.5
29	적근지맥	33.5	85	고산지맥	33.7	141	왕령지맥	31.7
30	화악지맥	41.5	86	노성지맥	31.7	142	삼태지맥	33.1
31	명지지맥	38.8	87	여수지맥	79.8	143	용천지맥	40.0
32	수락지맥	39.1	88	금적지맥	46.1	144	북거제지맥	32.8
33	왕방지맥	39.6	89	두위지맥	47.3	145	안면지맥	33.1
34	명성지맥	55.8	90	노목지맥	37.2	146	용암지맥	34.0
35	만월지맥	44.9	91	금수지맥	30.3	147	진도지맥	48.1
36	황병지맥	47.0	92	남해지맥	45.9	148	장계지맥	27.0
37	앵자지맥	60.7	93	금오지맥	80.2	149	죽림지맥	33.3
38	서봉지맥	62.0	94	문수지맥	109.5	세맥	8,238.3	
39	쌍령지맥	41.2	95	금장지맥	34.6			

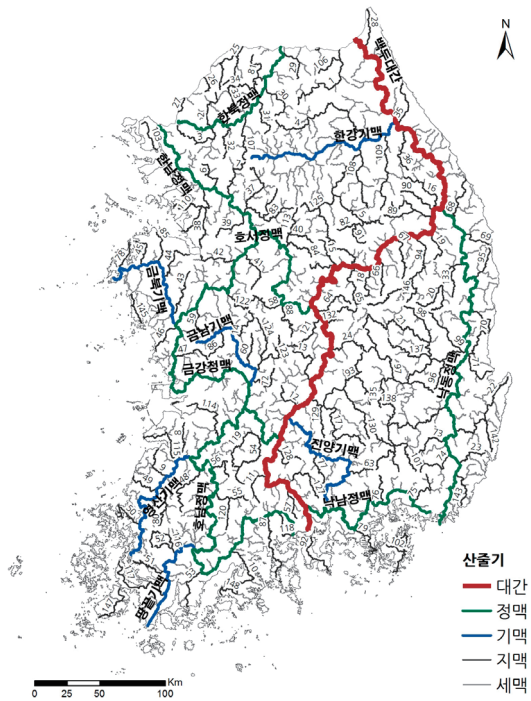


그림 2. 한국의 산줄기 구조와 분포

주: 지맥의 숫자는 표 1의 지맥 연번을 참조
출처: 산림청의 산줄기 자료를 저자가 수정

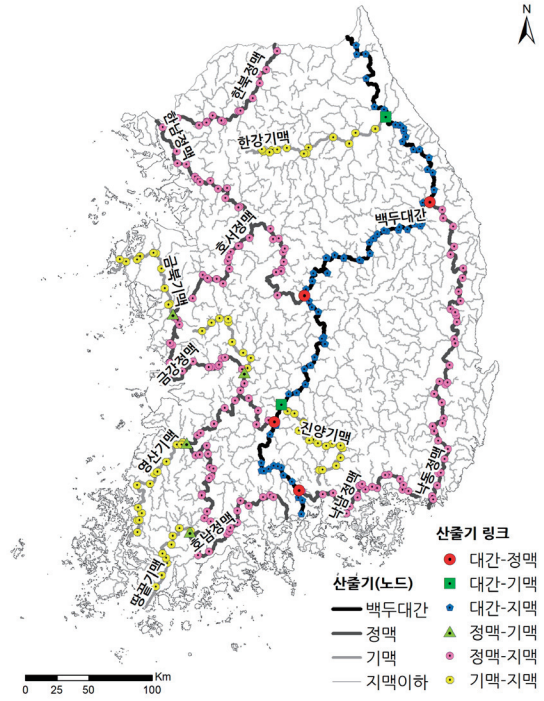


그림 3. 산줄기 노드와 링크

호지맥)을 피하기 위해 동등한 위계 산줄기 링크 설정은 제외하였다(그림 3).

3. 연구 결과

1) 산줄기 네트워크의 구조 특성과 의미

산줄기 네트워크의 전체 구조적 특성을 살펴보기 위해 산줄기 네트워크의 노드별 링크에 대해 K-S 검정을 실시했다. 그 결과, p -value는 0.011로 역함수 분포를 나타냈고, 적합도 검정에서 검정의 유의성을 확보하였다. 산줄기 네트워크의 산줄기별 규모(X축) - 산줄기 빈도(Y축) Log-Log 그래프를 보면 직선형으로, 육안으로도 역함수 분포를 확인할 수 있었다(그림 4).

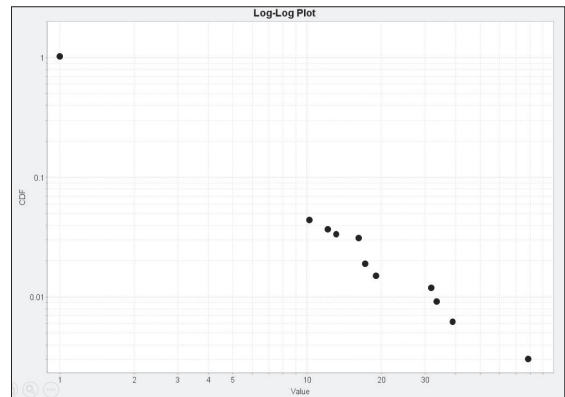


그림 4. 산줄기 네트워크의 규모-빈도 로그그래프

x: 산줄기에 연결되는 링크 수, y: 링크에 연결되는 산줄기의 수

역함수 분포는 복잡계 네트워크에서 나타나는 질서현상 중 하나이다(Barabasi *et al.*, 2000). 복잡계 구조는 비선형적 상호작용을 나타내는데, 수십 개의 연결선으로만 이뤄진 단순한 구조처럼 보이지만 전체

적으로 살펴보면 수 만개의 연결선들이 일정 확률을 가진 형태로 존재한다는 것이 특징이다. 이들의 특징은 네트워크 시스템이 임계점(critical point)을 넘어서는 순간 작은 변화에도 민감하게 반응한다는 것이다. 하지만 비선형 현상에서도 나름대로의 같은 구조가 반복되는 질서가 있는데 이를 자기유사성(self-similarity)라고 하고, 이러한 구조를 프랙탈(fractal)이라고 한다(Lam and Cola, 1992). 개별 요소들의 에너지가 상호작용 하면서 스스로 새로운 조직을 구성하는데, 이러한 창발적인 질서 형성 과정인 자기조직화(self-organization)의 특징을 보인다. 이러한 네트워크 특성은 지진, 산불, 도시 규모 등 지리적 현상에서 설명되는 경우가 많다(Barabasi, 2002; Chin and Phillips, 2007; 윤영수·채승병, 2005).

그리고 복잡계 특성을 보이는 네트워크의 또 하나의 특징은 수많은 노드 중 연결이 집중되는 노드, 즉 하나의 허브가 존재한다는 것이다. 그림 4의 Log-Log 그래프 결과는 가장 우측에 해당하는 링크는 가장 많은 노드가 연결된, 즉 가장 큰 영향력을 가진 허브가 되고 좌측으로 갈수록 규모는 낮아지면서 빈도는 높아지는 것으로 해석된다.

2) 네트워크 중심성 분석을 통한 산줄기 연결망의 의미 도출

앞서 역함수 분포 발견을 통해 산줄기의 허브뿐만

아니라 위계의 존재도 발견할 수 있었다. 전체 네트워크를 구성하는 개별 산줄기들의 중요도를 연결중심성, 근접중심성, 매개중심성, 그리고 위세중심성 분석을 통해 산줄기 연결망 내의 허브와 영향력을 도출하였다(표 2, 그림 5). 중심성 지수는 0~1 사이로, 각 산줄기를 지수의 내림차순으로 나열하였고 동등한 순위의 산줄기들은 A~M으로 그룹화하여 나타냈다.

연결중심성 분석 결과, 백두대간(0.2469), 호남정맥(0.1219), 낙동정맥(0.1031), 호서정맥(0.1000), 낙남정맥(0.0563), 진양기맥(0.0531) 등으로 대간, 정맥, 기맥이 1위부터 10위까지 차지하였다. 백두대간은 상위 10위 내의 산줄기보다 2배 이상의 직접적인 산줄기들을 연결하고 있음을 확인할 수 있었다. 11위부터는 지맥과 각 대간, 정맥, 기맥으로부터 뻗어 나온 세맥으로, 이웃과 직접적으로 연결된 노드의 수가 같아 모두 동등한 지수로 나타났다(0.0031). 결과를 통해 백두대간이 모든 산줄기를 직접적으로 관할하는 중요도 1순위의 산줄기로 나타났고, 정책적으로 기맥보다 중요하게 여겨져 왔던 정맥 중 일부는 기맥보다 그 위계가 낮게 나타났다.

근접중심성에서는 백두대간(0.4485), 호남정맥(0.3486), 호서정맥(0.3275), 낙동정맥(0.3179), 낙남정맥(0.3044) 등으로 나타났고 연결중심성과는 다르게 한남정맥, 한북정맥, 금강정맥, 금남기맥이 하위권으로 포함되었다. 근접중심성은 허브에 직접 연결된 만큼 그 위계가 높아지는데, 한남정맥, 한북정맥, 금

표 2. 산줄기 네트워크의 중심성 분석 결과

a. 연결중심성			b. 근접중심성 ¹⁾			c. 매개중심성			d. 위세중심성 ²⁾		
순위	산줄기	Degree	순위	산줄기	Degree	순위	산줄기	Degree	순위	산줄기	Degree
1	백두대간	0.2469	1	백두대간	0.4485	1	백두대간	0.6007	1	백두대간	0.6868
2	호남정맥	0.1219	2	호남정맥	0.3486	2	호남정맥	0.2780	2	호남정맥	0.1426
3	낙동정맥	0.1031	3	호서정맥	0.3275	3	호서정맥	0.1974	3	낙동정맥	0.1325
4	호서정맥	0.1000	4	낙동정맥	0.3179	4	낙동정맥	0.1545	4	호서정맥	0.1226
5	낙남정맥	0.0563	5	낙남정맥	0.3044	5	낙남정맥	0.0846	5	낙남정맥	0.0958
6	진양기맥	0.0531	6	진양기맥	0.3036	6	진양기맥	0.0798	6	진양기맥	0.0943
7	한강/영산기맥 한남/한북정맥	0.0500	7	한강기맥	0.3027	7	한강기맥	0.0749	7	한강기맥	0.0929

8	금강정맥	0.0406	8	A	0.2905	7	영산기맥	0.0749	8	A	0.0759
9	금북기맥	0.0375	9	영산기맥	0.2537	8	금북기맥	0.0554	9	낙동정맥 세맥	0.0292
10	땅끝기맥	0.0313	10	땅끝기맥	0.2502	9	땅끝기맥	0.0455	10	영산기맥	0.0193
10	금남기맥	0.0313	11	B	0.2451	10	금강정맥	0.0036	11	땅끝기맥	0.0177
11	지맥이하 307개	0.0031	12	금북기맥	0.2402	11	금남기맥	0.0030	12	금북기맥	0.0163
			13	C	0.2344	12	한남/한북 정맥	0.0024	13	B	0.0157
			14	D	0.2295	13	지맥이하 307개	0.0000	14	C	0.0146
			15	E	0.2224				15	D	0.0135
			16	F	0.2219				16	E	0.0106
			17	G	0.2215				17	F	0.0104
			18	H	0.1940				18	G	0.0103
			19	I	0.1920				19	금북기맥 세맥	0.0036
			20	J	0.1860				20	H	0.0021
			21	한남/한북 정맥	0.0500				21	I	0.0020
			22	금강정맥	0.0488				22	J	0.0018
			23	금남기맥	0.0445				23	M	0.0000
			24	K	0.0291						
			25	L	0.0275						
26	M	0.0258									

1) 근접중심성

- A: 백두대간세맥 모두, 견두지맥, 덕유지맥, 각호지맥, 계명지맥, 금대지맥 등 총 73개
- B: 호남정맥세맥 모두, 고흥지맥, 여수지맥, 병풍지맥, 사자지맥, 천황지맥 등 총 36개
- C: 호서정맥세맥 모두, 부용지맥, 만뢰지맥, 영인지맥, 성주지맥, 원진지맥 등 총 30개
- D: 낙동정맥세맥 모두, 덕산지맥, 용천지맥, 보현지맥, 호미지맥, 옥백지맥 등 총 32개
- E: 낙남정맥세맥 모두, 무척지맥, 화개지맥, 통영지맥 등 총 17개
- F: 진양기맥세맥 모두, 우봉지맥, 정수지맥 등 총 16개
- G: 한강기맥세맥 모두, 춘천지맥, 주왕지맥, 영월지맥, 성지시지맥세맥 등 총 15개
- H: 영산기맥세맥 모두, 두승지맥, 장암지맥, 봉대지맥, 태청지맥 등 총 15개
- I: 땅끝기맥세맥 모두, 흑석지맥, 백룡지맥, 화원지맥 등 총 9개
- J: 금북기맥세맥 모두, 봉수지맥, 석문지맥, 망일지맥, 후망지맥, 고산지맥 등 총 11개
- K: 금강정맥세맥 모두 12개
- L: 금남기맥세맥 모두, 관암지맥, 안평지맥, 성치지맥, 식장지맥 등 총 9개
- M: 한남정맥세맥 모두, 한북정맥세맥 모두, 관악지맥, 앵자지맥, 서봉지맥, 쌍령지맥, 감악지맥, 도봉지맥 등 총 32개

2) 위세중심성

- A: 백두대간세맥 모두, 견두지맥, 덕유지맥, 각호지맥, 계명지맥, 금대지맥, 수도지맥 등 총 73개
- B: 호남정맥세맥 모두, 고흥지맥, 여수지맥, 병풍지맥, 사자지맥, 천황지맥 등 총 36개
- C: 낙동정맥세맥 모두, 덕산지맥, 용천지맥, 보현지맥, 호미지맥, 남암지맥, 운문지맥 등 총 31개
- D: 호서정맥세맥 모두, 부용지맥, 만뢰지맥, 영인지맥, 성주지맥, 원진지맥 등 총 30개
- E: 낙남정맥세맥 모두, 무척지맥, 화개지맥, 통영지맥 등 총 17개
- F: 진양기맥세맥 모두, 우봉지맥, 정수지맥 등 총 16개
- G: 한강기맥세맥 모두, 춘천지맥, 주왕지맥, 영월지맥, 성지시지맥세맥 등 총 15개
- H: 영산기맥세맥 모두, 두승지맥, 장암지맥, 봉대지맥, 태청지맥 등 총 15개
- I: 땅끝기맥세맥 모두, 흑석지맥, 백룡지맥, 화원지맥 등 총 9개
- J: 금북기맥세맥 모두, 봉수지맥, 석문지맥, 망일지맥, 후망지맥, 고산지맥 등 총 10개
- M: 한남정맥, 한북정맥, 금강정맥, 관악지맥, 한남정맥세맥 모두, 한북정맥세맥 모두, 금강정맥세맥 모두, 앵자지맥, 서봉지맥 등 총 57개

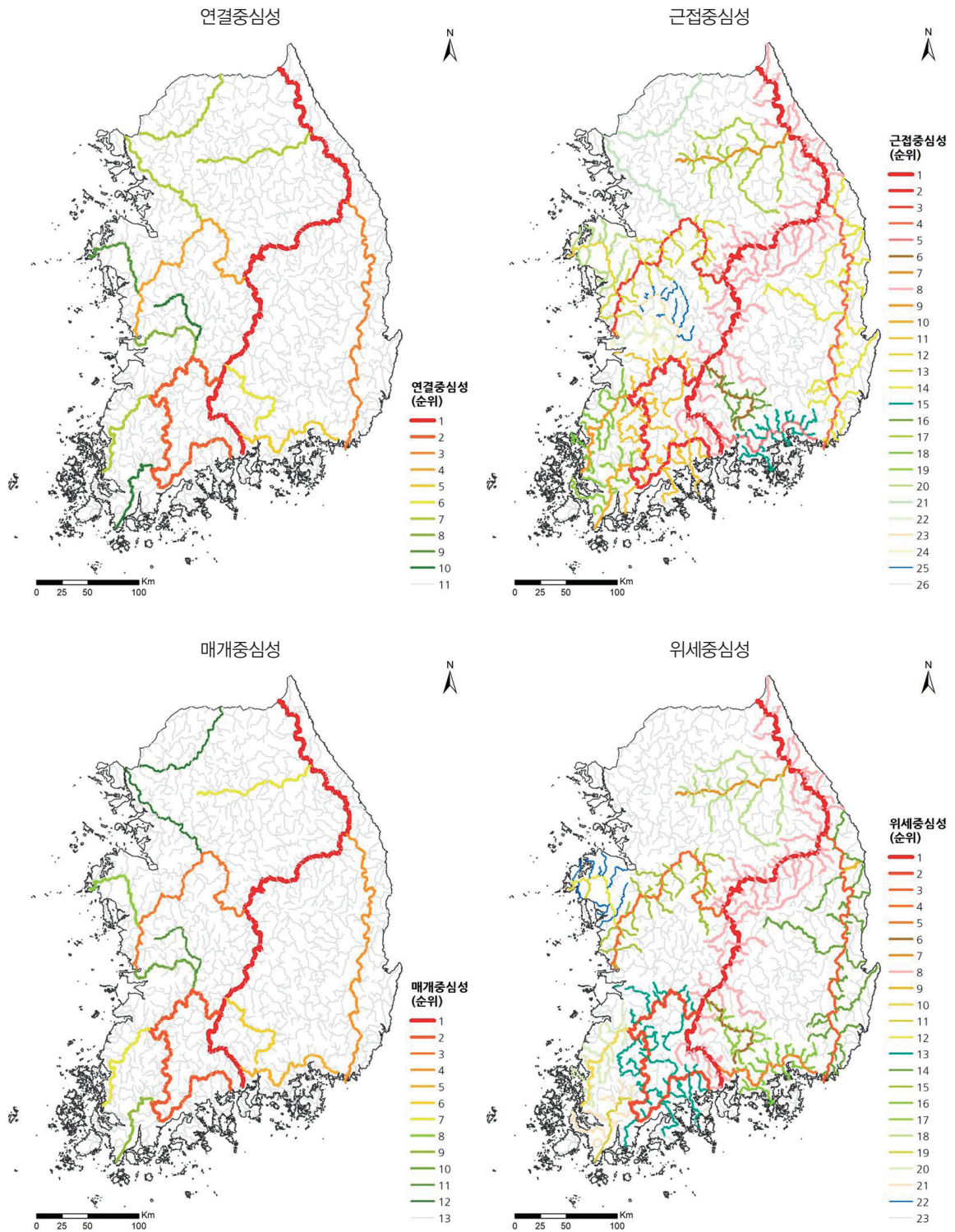


그림 5. 산줄기 네트워크 중심성 분석 결과

강정맥, 금남기맥은 백두대간과 직접 연결이 되지 않았기 때문에 그 위계가 낮아진 것으로 파악된다. 반면, 표 2에 해당하는 근접중심성의 A에 해당하는 지맥과 세맥들은 연결중심성을 통해 직접적인 산출기 노드들의 연결 영향력이 낮은 위계로 나타난 반면, 근접중심성에서는 지리적으로 백두대간과 직접적으로 연결되어 그 위계가 상승하였다.

매개중심성에서는 연결중심성과 유사한 순위로 나타났고, 백두대간의 연결성 지수가 0.6007로 도출되었고, 그 다음으로 호남정맥(0.2780), 호서정맥(0.1947), 낙동정맥(0.1545), 낙남정맥(0.0846), 진양기맥(0.0798) 등으로 나타났다. 앞서 2.2에서 언급했듯이, 매개중심성은 어느 노드에서 네트워크가 형성되고 영향을 받는지 파악할 수 있게 해주기 때문에 복잡한 네트워크 구조 속의 보편적 특징을 찾는 데 용이하다. 백두대간의 매개중심성 지수가 다른 산출기보다 약 3배 이상 높다는 의미는 다른 산출기들과 비교했을 때 산출기와 산출기를 연결하는 매개체로서 3배 이상의 역할을 한다는 것이다. 즉, 산출기의 보편적인 물리적 특성을 파악할 때 백두대간이 전국 산출기를 관할하는 요소로 파악할 수 있다는 것을 시사한다.

마지막 위세중심성은 근접중심성과 유사한 순위로 백두대간(0.6868), 호남정맥(0.1426), 낙동정맥(0.1325), 호서정맥(0.1226) 등으로 나타났고 견두지맥을 포함한 기타 지맥과 세맥들이 영산기맥, 땅끝기맥, 금북기맥, 한남정맥, 금강정맥보다 높은 순위권으로 진입하였다. 특히, 백두대간 주변의 지맥과 세맥들은 이웃 산출기들과의 연결 정도는 낮지만, 백두대간의 높은 중심성의 영향을 받아 높은 지수로 나타났다.

분석 결과를 종합하면 다음과 같다. 첫째, 4가지의 중심성 분석에서 모두 백두대간이 가장 높은 연결중심성을 보였고, 이로써 백두대간을 산출기 네트워크의 허브로 결론내릴 수 있었다. 그리고 직접적 연결을 통해 정맥이 기맥보다 전반적으로 더 높은 위계로, 지맥은 하위 산출기로 나타나 기존 산출기 체계의 위계와 비슷함을 알 수 있었다. 이 결과는 그림 4와 함께 볼 필요가 있다. 그림 4의 최우측 링크는 허브, 즉 백두대간으로 가장 많은 링크를 점유하는 영향력 높은 산출기 노드가 된다. 즉, 백두대간은 가장 영향력 있

고 산지를 포함한 전반적인 국토 관리에 있어 높은 보호가치를 지녔다는 통념을 네트워크 과학 관점에서도 추가로 입증한 것이다. 그리고 좌측으로 갈수록 정맥, 기맥, 지맥 순으로, 점유한 링크 수와 영향력이 감소한다는 것을 확인할 수 있었다.

앞서 3.1에서 산출기 네트워크의 전체적인 구조 특성 분석을 통해 먹힘수 분포를 보이는 척도 없는 네트워크임을 밝힌 바 있다. 이 네트워크 구조는 프랙탈 구조로, 자기유사성이라는 특징으로 인해 허브로부터 유사한 구조가 창발되는 현상을 볼 수 있다. 그러므로 허브인 백두대간의 특징만 파악해도 모든 산출기의 보편적인 구조적 특성을 알 수 있어, 지형관리 시 일반화된 동일한 원칙을 수립하는데 매우 용이할 것이다.

둘째, 직·간접적으로 연결된 노드들의 연결성을 고려한 근접중심성과 주변 노드들의 중심성 영향을 반영한 위세중심성 결과를 통해 네트워크 위계상 일부 지맥들이 상위 계층의 산출기에 포함되는 것을 확인하였다. 이들을 지도로 확인한 결과, 지리적으로 최상위 계층인 백두대간과 직접적으로 연결된 산출기임을 확인할 수 있었고, 이것의 영향을 받아 주변 지맥들의 위계도 상승한 것으로 파악되었다(표 2, 그림 5). 특히 표 2에 해당하는 근접중심성의 A 산출기인 견두지맥, 덕유지맥, 각호지맥, 계명지맥 등은 백두대간과의 차이가 크지 않은 0.2905로 나타난 것으로 보아, 백두대간과 기타 산출기들 사이에서 많은 환경적 요소와 상호작용하는 민감하고 영향력이 큰 상위 산출기로 판단되었다.

그동안 지맥 이하의 산출기는 백두대간, 정맥, 기맥이 아니라는 이유로 보호 측면에서 소홀히 관리되어 왔다. 이러한 측면에서 지맥 이하 산출기 중요성의 발견은 국토관리 차원에서 의미가 있다.

4. 토의: 산출기와 국토 관리의 정책적 시사점

산출기 네트워크에서 먹힘수 분포의 발견은 국토

관리 차원에서 중요한 의미를 지닌다. 멱함수를 보이는 네트워크는 산줄기의 위계와 관계없이 같은 원리에 의해 네트워크가 형성되는 척도 없는 네트워크를 의미한다. 즉, 네트워크에 척도의 기준이 없어 규모에 상관없이 고유 특성은 변하지 않으며, 구조적으로도 쉽게 붕괴되지 않는 견고함을 지닌 복잡계적 특성을 지녔음을 의미한다(Barabasi, 2002). 복잡계 네트워크의 창발현상 중 대표적인 특징은 어느 특정 임계점을 초과하면 그 영향이 다른 요소들에게 전파되는 증폭현상을 나타낸다는 것이다.

산줄기를 골격으로 하는 유역은 과거부터 현재까지 각종 풍수해를 겪으며 다양한 프로세스를 진행해 왔음에도 불구하고, 안정적인 인간 생활권을 유지할 수 있는 이유는 이러한 산줄기의 물리적 구조가 복잡계 시스템에 근거하기 때문이다. 그렇다면 산줄기 내부 유역에도 복잡계 시스템이 나타나야 할 것이다. 그 예를 동역학계(dynamics) 연구에서 제시하는 공간 위의 끌개(attractor)와 끌림영역(basin of attraction)에 관한 정의와 함께 들 수 있다. 유역경계, 즉 능선에 떨어진 빗방울은 능선을 기준으로 어느 한 쪽으로 흘러내려가게 되면 강줄기가 능선을 가로지르는 것은 불가능하다. 여기서 산줄기는 빗방울의 방향을 결정짓는 기준이 된다. 즉, 강줄기가 빗물의 끌개라면 유역은 끌림영역이 되고 이 유역들 사이의 경계, 즉 산줄기는 물질의 방향을 결정하는 틀이 되는 것이다.

이러한 개념은 우리나라 지형 특성과 생활공간을 반영하는 국토관리의 기본 단위로 인식되었던 전통 지식과도 연결된다(양보경, 1993; 이도원 외, 2003; 신준환, 2004; 박수진·손일, 2005b). 지역마다 인간 생활권의 행태, 언어, 문화 등이 다르고 유사한 성격들이 군집화 되는 현상은 빗방울이 산줄기를 기준으로 다른 방향성을 지니지만 유사한 방향을 가진 빗방울끼리 모인 강에 비유할 수 있다. 그러나 이들을 전체적으로 보면 개별적인 요소들이었던 것들이 하나의 큰 강줄기와 하나의 유역이 된다. 이것이 앞서 언급했던 복잡계의 대표적 현상인 척도 없는 네트워크의 구조가 지닌 프랙탈 특성이다. 이러한 특성은 산줄기가 지닌 복잡계적 특성은 우리나라의 다양하고 복잡한 지형적, 인문사회적 특성을 거시적인 관점에서

의 일반적인 특성으로 반영할 수 있다는 장점을 지니고 있다(Gao and Xia, 1996; Peng *et al.*, 2014).

그동안 수많은 연구에서 산지의 통합관리를 위한 산줄기 연결망에 대해 언급해왔다(산림청, 2013; 국토연구원, 2016). 이를 위해 국가적인 차원에서 전체 산줄기에 적용할 수 있는 공통된 기본 원칙이 필요하다. 그러나 산줄기를 포함한 지형요소들이 연결되었다는 현황만으로 통합관리로의 방향을 제시했을 뿐, 궁극적인 산줄기 구조의 특성을 반영한 정책 마련은 미비하였다. 또한, 주요 산줄기인 백두대간, 정맥, 기맥의 개별 산줄기 관리에 그치고 있고, 심지어 지맥은 관리에서 제외되는 실정이다. 관리부서 체계에 있어서도 백두대간은 산림청과 환경부에서 관련 계획을 수립하고 정맥과 기맥은 각 지자체에서 별도 관리계획을 수립하고 있어 산줄기의 통합관리 목표와는 거리가 먼 정책 수행을 하고 있다.

올바른 국토 관리의 방향을 모색하기 위해 정책적 제안을 하고자 한다. 먼저, 국가 차원에서의 관리를 위해 전국에 공통적으로 적용할 수 있는 일반적인 원칙이 필요하다. 먼저, 국가 차원에서의 관리를 위해 전국에 공통적으로 적용할 수 있는 일반적인 원칙이 필요하다. 모든 지형은 사면을 따라 침식-이동-퇴적의 연결성이 존재하며, 선행 연구에서도 이러한 공간적인 연결성은 공간 스케일과 관련 없이 모든 지역에 동일하게 적용되는 지형의 일반성을 제안한 바 있다(박수진, 2014). 본 연구의 첫 번째 결과에서 밝힌 산줄기 연결망에서의 멱함수 분포의 발견은 이러한 지형의 동일 형성 원칙을 뒷받침한다. 이는 강원도 산악지대 산줄기와 전라도의 평야지대 산줄기의 형태, 지리적으로 형성된 위치, 주변 환경이 다를지라도 복잡계 측면에서는 산줄기가 형성하는 작용과 구조적인 원칙이 동일하기 때문에 전국에 걸친 산줄기들에 공통된 일반적인 관리 원칙을 적용할 수 있음을 시사한다.

그러므로 국가 차원에서의 지속가능한 지형 관리를 위해서는 각 사면의 골격에 해당되는 산줄기가 지닌 일반성을 고려한 통합적인 토지이용 및 지형관리 정책 마련이 이루어져야 할 것이다. 그리고 허브인 백두대간은 가장 많은 산줄기를 관할하여 물리적으로

이격되어 있어도 수많은 산줄기들이 직간접적으로 상호작용하여 그 영향력의 폭이 넓다는 특수성을 지녔다. 전국 산줄기에 동일하게 적용할 수 있는 관리 원칙을 수립한 후에 기존의 획일적인 백두대간보호 지역에 대한 절대적인 보호가 아닌 허브가 지닌 특수성을 고려한 정책도 마련해야 한다.

관리 원칙과 더불어 관리 범위에 대해서도 살펴볼 필요가 있다. 선행 연구에서 우리나라의 백두대간-정맥-기맥-지맥 전반에 걸친 산줄기 연결망의 통합 관리의 필요성과 산지지형 관리의 최적 공간 스케일에 관한 논의가 있었음에도 불구하고(산림청, 2013; 국토연구원, 2017), 아직까지 하위 산줄기의 중요도가 백두대간보다 낮다는 인식과 정책이 남아 있다. 또한, 우리나라 유역 체계 중 중권역이 백두대간부터 지맥까지 가장 많은 산줄기를 포괄하는 공간 단위로 추출하였고 지맥까지의 관리를 언급했지만(국토연구원, 2017), 지맥의 중요성을 찾지 못했기 때문에 법적 산줄기 관리 범위를 백두대간, 정맥, 기맥에 한정하고 있다. 실제로 현행법상 산줄기 주변 지역의 보호제도는 대간, 정맥, 기맥의 보호를 위한 백두대간보호지역과 산지전용일시사용제한지역뿐이다. 백두대간보호지역의 관리범위는 백두대간 보호에 관한 법률 제6조에 따라 능선으로부터 300m 이내 지역과 주변 생태계 환경을 고려하여 구획하고 절대적으로 보호를 하고, 산지전용일시사용제한지역은 산지관리법 시행령 제8조에 의해 산줄기로부터 양안 1km 지역을 보호하고 있다. 이러한 획일적인 공간구획으로 인해 사면의 프로세스를 고려하지 못한다는 문제가 제기되고 있다.

그림 6은 백두대간보호지역 일대의 강원도 강릉시 안반데기 지역으로, 위에서 언급한 문제점을 대표적으로 보여주고 있다. 보호지역 내외로 통과하고 있는 지맥들은 모두 근접중심성과 위세중심성에서 8위를 차지한 중요한 산줄기임에도 불구하고 백두대간보호 지역에 포함되지 않아 개발의 대상이 되고 있다. 그림 6의 1번은 백두대간보호지역으로 설정되기 이전인 1965년에 고랭지농업이 시작되어 보호지역에서 제외되었고, 그 후에 농경지 경계에 풍력발전단지가 입지하였다. 이로 인해 토양유출과 침식 등의 문제가 야기되어 산줄기와 산지 사면뿐만 아니라 남서측에 위치

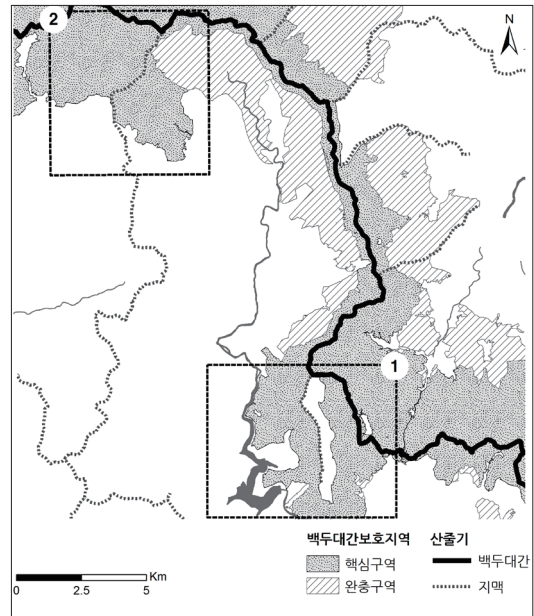


그림 6. 강원도 백두대간보호지역 일대 현황

한 도암호와 주변 수계도 오염문제를 겪고 있다(환경부, 2004). 2번은 황병산 일대로, 하나의 지맥이지만 백두대간보호지역 내에 속한 산줄기는 보호하고 그렇지 않은 산줄기는 보호하지 않고 있다. 이는 향후 개발의 대상이 될 가능성이 있어 훼손의 잠재성이 있다고 할 수 있다.

지형 회복탄력성 측면에서도 지금까지 현행법에 따르면 그림 6의 1번 지역은 관리 범위에서 벗어나 지속적인 훼손 영향이 증가할 것이다. 본 연구에서는 중심성 분석 결과를 통해 백두대간 주변의 수많은 지맥의 중요성을 도출하였다. 중심성 분석 결과에서 도출된 상위의 지맥들은 이웃의 동등한 또는 다른 위계의 산줄기들을 허브인 백두대간과 연결시켜주는 매개체 역할을 하기 때문에 이러한 지맥의 중요성을 인정하고 관리 범위를 지맥까지 확장해야 한다. 지맥으로의 관리 범위 확장은 지맥과 그 능선부 사면이 보호됨에 따라 훼손 지형의 회복에 기여할 것이고, 이로 인해 해당 지역의 지맥과 연결된 다른 산줄기들과 사면, 주변 수계도 함께 회복력을 찾아갈 것이다. 이 결과는 산지 보호측면에서 소외되고 풍력발전단지 등으로 이용의 대상이 되고 있는 지맥에 대한 새로운 시

각 전환의 시도가 될 수 있다고 판단된다.⁴⁾

지역 사회는 지역마다의 문화와 특색이 있기 때문에 인문사회적 특성 관리의 주체와 단위로 지방자치 단체와 각 행정구역이 적절할 것이다. 그러나 사면의 프로세스와 이것의 골격이 되는 산줄기는 지역의 구분 없이 모두 같은 형성 원칙과 공간적 연결성을 보이므로 국가 차원에서 전국을 대상으로 한 거시적이고 일반화된 통합관리 원칙이 필요하다. 아직까지 현재의 국가 정책은 개발과 보전이 양립하는 토지관리 패러다임에 있기 때문에 백두대간부터 지맥까지 전반적인 산줄기 보호에 대한 포괄적인 정책의 수립과 적용은 이루어지지 못하고 있다. 국토와 인간이 장기적으로 공존하기 위해서는 지속가능하고 체계적인 정책 마련이 이루어져야 할 것이다.

5. 결론

본 연구는 네트워크 관점에서 산줄기 연결망의 구조적 특성과 의미를 모색하고, 정책적 제언을 하고자 하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 산줄기 네트워크의 구조적 특성을 분석한 결과 멱함수 분포를 보이는 척도 없는 네트워크, 즉 복잡계 네트워크임을 확인하였다. 복잡계 네트워크는 비선형적 상호작용을 나타내는데, 비선형 현상 안에서 나뉠대로의 같은 구조가 반복되는 질서를 보이는 자기유사성의 프랙탈 구조를 나타낸다. 이를 통해 일반화된 동일 원칙을 산지 전반에 걸쳐 공통적으로 적용하여 관리할 수 있을 것이라는 결론을 도출하였다.

둘째, 중심성 분석을 통해 백두대간이 가장 많은 산줄기를 관할하는 영향력 높은 허브 산줄기라는 것을 다시 한 번 증명하고, 정맥, 기맥, 지맥 순으로 산줄기 점유율과 영향력이 감소한다는 것을 확인하였다. 이는 '설악산의 환경이 지리산까지 영향을 미칠 수 있을까?'에 대한 질문에 '직·간접적으로 영향을 줄 수 있다.'라는 해답을 제안할 수 있다. 모든 산줄기들에서 나타나는 일반적인 특성과 더불어 백두대간이라는 산지 지형과 환경은 가장 많은 산줄기와 연결되어 그

영향 범위가 넓다는 특수성을 밝혀냈다.

마지막으로 그동안 낮은 위계에 속해 관리에 소홀했던 일부 지맥들의 중요성도 밝혀냈다. 견두지맥, 덕유지맥, 각호지맥 등 총 73개의 지맥과 세맥이 이에 속하는데, 지리적으로 백두대간과 근접하여 직접적으로 상호작용하는 것을 확인하였다. 이들은 현 관리제도에서 지맥보다 중요시 여기던 한남정맥, 금강정맥, 영산기맥, 땅끝기맥, 금북기맥보다 영향력 있는 산줄기로 밝혀졌다. 산줄기 중심성분석 결과를 통해 제1차산지기본계획에서 제안하는 '백두대간에서 우리 집 뒷동산까지'에 대한 관리 목표에 왜 뒷동산까지, 즉 지맥 이하의 하위 산줄기까지 관리를 해야 하는지에 대해 입증할 수 있었다.

산줄기 연결망은 물리적으로 동일한 형성 원칙에 구조화되었음을 과학적으로 입증하였다. 그리고 산줄기 연결망 내에서도 산줄기마다의 영향력을 파악하여 백두대간의 특수성과 중요성을 다시 한 번 입증하였고, 그동안 산줄기 위계에서 다소 낮게 평가되었던 지맥 이하의 산줄기를 재평가하였다는데 의의가 있다. 본 연구에서 밝힌 전체 산줄기 연결망의 구조적 원칙은 산정부에서 하천까지의 사면 프로세스가 지역에 구분 없는 공간적 연결성을 뒷받침하고, 국가 차원에서 전국토에 대해 지속가능하고 일반화된 지형 관리 정책을 수립해야 한다는 시사점을 제공한다.

주

- 1) link는 구성요소들을 선으로 표현한 것이고 node는 이 선들이 만나는 결절점을 말한다. 네트워크 과학 분야에서는 국문 표현보다 노드와 링크라는 영어 표현을 사용하므로, 본 연구에서도 영어 표현을 차용하였다.
- 2) 가우시안 법칙을 따르는 무작위 네트워크와 좁은 세상 네트워크는 평균적 성향들이 분포하는 정규분포 특성을 보인다. 무작위 네트워크는 노드가 특정 확률에 따라 서로 무작위로 연결된 형태이고, 좁은 세상 네트워크도 무작위 네트워크와 비슷하면서도 노드들 사이에 그들만의 경로가 있다. 이와 같은 네트워크의 구조 특성은 개별적인 개체들의 집합 형태를 나타낸다. 그리고 멱함수 법칙(Power-law)을 따르는 척도 없는 네트워크는 네트워크에 특징적인 척

- 도 기준이 없다는 것이 특징이다. 이는 어느 사건 발생의 크기에 관계없이 같은 원리에 의해 형성되고, 발생 확률상 규모가 큰 사건은 드물게 나타나고 작은 것은 매우 빈번하게 발생하며 허브가 존재하는 것이 특징이다(Albert *et al.*, 1999; Barabasi, 2002).
- 3) 2012년 한국산지보전협회는 박성태(2010)의 산산경표를 기본으로 수치고도모델(Digital Elevation Model)의 능선을 추출하여 산줄기 DB를 구축하였다. 이는 산림청 내부 자료로 활용되고 있다.
- 4) 산지 개발은 지역사회에 기여하는 이점을 기여하기도 하지만, 지형과 생태계 훼손이라는 역효과도 야기하고 있다. 특히, 주요 산줄기인 백두대간, 정맥, 기맥은 법적으로 보호를 받고 있어서 주로 지맥 산줄기가 풍력발전단지개발의 대상이 됨에 따라 지맥 훼손문제가 대두되고 있다(환경부 국토환경정책과, 2014).

참고문헌

- 김영표·임은선·김연준, 2004, 한반도 산맥 체계 재정립 연구: 산줄기 분석을 중심으로, 국토연구원, 국토연구원, 2016, 산줄기연결망체계 구축 및 산지관리방안연구 최종보고서, 산림청.
- 국토연구원, 2017, 2017 산지이용 실태조사(별책) -지형·인문적 산지이용관리를 위한 실태조사 및 공간구축-, 산림청.
- 박성태, 2010, 산산경표, 조선매거진, 서울.
- 박수진·손일, 2005a, “한국 산맥론(I) : DEM을 이용한 산맥의 확인과 현행산맥도의 문제점 및 대안의 모색,” *대한지리학회지*, 40(1), 126-152.
- 박수진·손일, 2005b, “한국 산맥론(II): 한반도 ‘산줄기 지도’의 제안,” *대한지리학회지*, 40(3), 253-273.
- 박수진, 2014, “한반도 지형의 일반성과 특수성, 그리고 지속가능성,” *대한지리학회지*, 49(5), 656-674.
- 배현준·박용화·김영인, 2017, “아시아 주요공항의 저비용항공사 네트워크 분석,” *대한교통학회지*, 35(3), 247-259.
- 산림청, 2013, 제1차 산지관리기본계획(2013~2017), 산림청.
- 손학기·정희남·최수·이동근·서창완, 2010, 산줄기·물줄기를 고려한 산지구분 및 합리적 관리방향 연구, 국토연구원 보고서.
- 신준환, 2004, “백두대간 개념의 형성 과정과 복원 방향,” *한국의 전통생태학*(이도원 엮음), 사이언스 북스, 서울.
- 양보경, 1993, “조선시대의 자연인식체계,” *한국사 시민강좌*, 14, 70-97.
- 윤병수·채승병, 2005, 복잡계개론, 삼성경제연구소, 서울.
- 이도원·신준환·강신규, 2003, “백두대간 체계 안에 내포된 유역개념과 문제점,” *한국생태학회지*, 24, 215-221.
- 이상봉, 2015, 디지털 기록 증거에서 멱함수를 이용한 범 죄특성 도출 사례 연구, 서울대학교 석사학위논문.
- 이명진·이수재, 2013, “GIS를 활용한 백두대간·정맥 추출 및 환경성평가 방안 연구,” *한국지리정보학회지*, 16(3), 136-146.
- 이양주·강상준·윤은주·염인석·박나영, 2008, 경기도 한북정맥 보전방안 연구, 경기개발연구원.
- 장세은·이수호, 2014, “키워드 네트워크 분석을 활용한 세계 크루즈산업 연구동향,” *한국항해항만학회지*, 38(6), 607-614.
- 정하웅·강병남, 2007, “복잡계 네트워크에 대한 최근 연구 동향,” *물리학과 첨단기술*, 16(10), 7-9.
- 최명제·김민숙, 2015, “학술지 ‘신경정신의학’의 연구 네트워크 특성 분석,” *신경정신의학*, 54(4), 418-426.
- 현진상, 2000, 한글산경표, 풀빛, 서울.
- 환경부, 2004, 고랭지밭 비점오염 저감을 위한 종합대책, 환경부.
- 환경부·국립환경과학원, 2011, 백두대간보호지역 생태계 조사 종합보고서, 환경부.
- 환경부 국토환경정책과, 2014.10.6. “육상풍력, 환경은 지키면서 보급 활로 연다,” 보도자료.
- Agostino, R.B.D. and Stephens., M.A., 1986, *Goodness-of-Fit Techniques*, Marcel Dekker, New York.
- Albert, R., Jeong, H. and Barabasi, A.L., 1999, The diameter of the World Wide Web, *Nature*, 401, 130-131.
- Annalisa, C., 1999, Measures of Optimal Centrality: Indicators of City Effect and Urban Overloading, *Social Indicators Research*, 46(3), 273-299.
- Barabasi, A.L., Albert, R., Jeong, H. and Bianconi, G., 2000, Power-Law Distribution of the World Wide

- Web, *Science*, 287(5461), 2115.
- Barabasi, A.L., 2002, *Linked: The New Science of Networks*, Basic Books, New York.
- Chin, A. and Phillips, J.D., 2007, The self-organization of step-pools in mountain streams, *Geomorphology*, 83 (2007), 346-358.
- Cluaset, A., Shalizi, C.R. and Newman, M.E.J., 2009, Power-Law Distributions in Empirical Data, *SIAM Review*, 51(4), 661-703.
- Freeman, L.C., 1979, Centrality in social networks conceptual clarification, *Social networks*, 1(3), 215-239.
- Gao, J. and Xia, Z., 1996, Fractals in physical geography, *Progress in Physical Geography*, 20(2), 178-191.
- Kim, D.H., Noh, J.D. and Jeong, H., 2004, Scale-free trees: The skeletons of complex networks, *Physical Review E*, 70(2004), 046126.
- Lam, N.S. and Cola, L.D., 1992, *Fractals in Geography*, Prentice Hall, New Jersey.
- Peng, G., Xiang, N., Lv, S. and Zhang, G., 2014, Fractal characterization of soil particle-size distribution under different land-use patterns in the Yellow River Delta Wetland in China, *Journal of Soils and Sediments*, 14(6), 1116-1122.
- 교신: 장효진, 08826, 서울특별시 관악구 관악로 1, 서울대학교 사회과학대학 지리학과(이메일: janghj317@snu.ac.kr, 전화: 02-880-6444)
- Correspondence: Hyo Jin Jang, 08826, Department of Geography, College of Social Sciences, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, Korea (e-mail: janghj317@snu.ac.kr, phone: +82-2-880-6444)

최초투고일 2018. 4. 11

수정일 2018. 8. 8

최종접수일 2018. 8. 23