

# 동굴관광지의 관계적 입지특성 분석을 위한 그래프이론의 적용(II): 네트워크의 지위분석 기법의 적용을 중심으로

홍 현 철\*

## Application of graph theory for analyzing the relational location features of cave as tourists attraction (II): focused on the analysis of network status

Hyun-Cheol, Hong

Abstract : This study aims to identify the efficiency by applying diverse index to the positions of vertex in the network among the network analysis methods in order to identify the relational location features of caves. The first consideration was about the relational location features according to the linking degree and centrality of cave. The second consideration was about the structural equivalence between caves or between caves and the surrounding tourists attractions. A variety of index examined in this study is very efficient for identifying the positions of caves in the network. Furthermore, the relational location features in consideration of surrounding tourists attractions identified the availability of more objective and quantitative expression. In particular, when there are other caves around a cave, it is also very useful to identify the structural equivalence or comparison with other caves.

Key Words : relational location features, graph theory, network

국문초록 : 동굴의 관계적 입지를 파악하기 위하여, 네트워크분석 기법 중 네트워크의 점의 지위 분석을 중심으로 하는 각종 지수를 적용하여 그 효용성을 파악하는데 목적을 두었다. (1)동굴의 연결 강도 및 중앙성에 따른 관계적 입지특성에 관한 고찰, (2)동굴관광지와 주변관광지 또는 다른 동굴관광지 간의 구조적 등위성에 관한 고찰을 하였다. 본 연구에서 고찰한 각종 지수 들은 네트워크상의 동굴의 지위를 파악하는데 매우 유용하여, 주변 관광지와와의 관계적 입지특성을 보다 객관적이며 수량적으로 표현가능 함을 밝혔다. 특히, 동굴주변에 다 동굴이 위치하는 경우에는 그들 동굴간의 상호 비교나 구조적 우위성을 파악하는데 매우 유용하다.

주요어 : 동굴, 관계적 입지특성, 그래프이론, 네트워크, 동굴의 지위

### 1. 서론

본 논문은 이미 발표된 홍현철(2008)의 후속 논문이다. 앞 동굴관광지의 관계적 입지특성 분석을 위한 그래프이론의 적용 (I)의 서론부에서 동굴관광자원의 파급효과, 동굴관광객의 행태와 동굴관광지의 관계적 입지특성과의 연관성, 이들에 대한 네트워크분석의 필요성을 강조한바 있다. 따라서 이곳에서는 생략하기로 한다.

따라서 본 연구의 목적은, 동굴관광지를 중심으로 주변의 교통결절점이나 타 관광지간의 상호의존 관계를 통해 나타나는 관계적 입지 특성을 분석을 위해 네트워크분석기법의 적용 방법 및 그 효용성을 고찰하는 것을 목적으로 한다. 특히 본 연구는 광범위한 네트워크 분석 기법을 모두 취급할 수 없기 때문에 비교적 기초적이고 손쉬운 기법의 적용을 검토하기로 하며, 네트워크의 분석기법의 두 범주 중, 전체 네트워

\* 건국대학교 지리학과 교수 honghc@konkuk.ac.kr

크에서의 점의 지위를 분석하는 기법의 적용 및 유용성을 고찰 하고자 한다. 즉, 관계적 입지 특성을 네트워크 전체구조 속에 나타나는 관광동굴의 지위를 판단하거나 특성을 분석하는 기법의 적용에 중점을 둔다.

연구의 흐름은 네트워크의 분석기법의 이론적 배경을 살펴보고, 각 분석지표나 지수의 수학적 특성을 살펴본다. 이를 통하여 관광동굴을 대상으로 하였을 때 고려될 수 있는 연구목적별 분류에 따른 각종 지수 및 지표의 유용성을 고찰하기로 한다.

## 2. 네트워크내의 동굴관광지의 지위분석을 위한 기법에 대한 이론적 배경

네트워크의 점들에 대한 평가는 그 점과 연계된 선의 연결정도에 따라 판단할 수 있으며, 이러한 분석을 위한 접근 방법에는 두 가지가 있다. 하나는 관계적 접근법(relational approach)으로 연결망의 직접적인 관계(결속, 연결 유무)를 분석하는 방법이다. 즉, 결절점의 간의 연계 유무, 하나의 결속집단 유무, 이 집단과 타 집단의 관계를 비교하는 관점이다. ‘동굴관광지 A는 BC 관광지와 연계되어 있다’라던가, ‘A와 B는 동일 집단에 속한다’ 라던가, ‘동굴관광지 A의 연결 상태는 강하다 약하다’ 등을 분석 하는 관점이다.

다른 하나는 위치접근법(positional approach)으로, 연결망 간에서의 위치(지위)를 측정하거나, 위치의 효과를 분석하는 방법이다. 주로 결절점간의 관계유형(patterns of relations)을 분석하는 구조적 등위성을 판단하는 지표로 사용된

다. 즉, ‘A동굴관광지와 B동굴관광지는 직접적 상호작용을 맺지 않지만 다른 결절점과의 연계 유형이 유사하므로 구조적 등위성을 갖는다’와 같은 결과를 도출할 수 있다.

여기서는 (1) 동굴관광지의 직접적인 연결강도 측정 방법, (2) 동굴관광지의 간접적 연결강도 측정 방법, (3) 동굴관광지의 구조적 등위성에 대한 판단 방법으로 구분하고, 각 분석기법의 이론적 배경을 살펴보겠다.

### 2-1. 동굴관광지에 대한 직접 연결 강도를 측정하는 지표

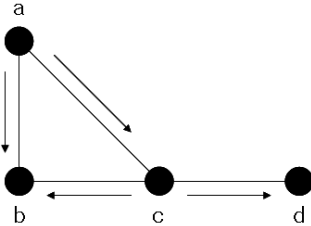
위치접근법의 관점에서 네트워크상의 하나의 점에 대한 연결강도를 그 점과 직접적인 연계관계를 고려하여 측정하는 방법으로 연결정도 중앙성(degree centrality)과 우회도를 들 수 있다. 앞 논문에서 설명한 중심화가 하나의 연결망이 얼마나 중앙 집중적 구조를 갖고 있는가?를 측정하는 지표라면, 중앙성은 결절점이 연결망 내에서 얼마나 중심적 위치에 있는가를 측정하는 방법이다.

#### 1) 연결정도 중앙성

연결정도 중앙성이란 네트워크 상에서 한 결절점이 얼마나 많은 다른 결절점과 연결되어 있는가?를 말한다. 교통지리학에서는 연결정도(degree), 네트워크분석에서는 차수(degree)와 같은 개념이다, 인접행렬의 행 또는 열의 합을 말한다. 즉 네트워크에서 각 결절점에 연결된 선의 상태를 파악하여 부분적 중앙성을 나타낸다. 무향네트워크에서는 연결정도(degree, 차수)를 말한다.

한편, 프리드만은 연결정도 중앙성을 유향네트워크에 적용할 때 내향연결정도(indegree)와 외향연결정도(outdegree)로 구분하고 있다.

	a	b	c	d	Σ
a	0	1	1	0	2
b	0	0	0	0	0
c	0	1	0	1	2
d	0	0	0	0	0
Σ	0	2	1	1	4



( 그림 1 ) 연결정도 계산 사례

외향연결정도  $outdegree_i = \sum Z_{ijk} = Z_{ik}$

내향연결정도  $indegree_j = \sum Z_{jik} = Z_{jk}$

외향중앙성 (out-centrality)과 내향중앙성 (in-centrality)에 의한 연결정도 중앙성(degree centrality)  $C_i = \frac{\sum(Z_{ij} + Z_{ji})}{\sum \sum(Z_{ij})}$  로 나타내며, 전체연결수(분모)에 대한 각 결절점의 내향 및 외향연결정도 합(분자)의 비율이다.

예를 들어 그림1 그래프에서 결절점 a 와 c의 지역 중앙성을 연결정도 중앙성을 통해 계산해보면 다음과 같다.

$$outdegree_a = Z_{ik} = \sum Z_{ajk} = Z_{abk} + Z_{ack} + Z_{adk} = 2$$

$$indegree_a = Z_{jk} = \sum Z_{jak} = Z_{bak} + Z_{cak} + Z_{dak} = 0$$

따라서 연결정도중앙성  $C_a = (2+0)/4 = 0.5$ 이고, 같은 방법으로  $C_c = (2+1)/4 = 0.75$  이다.

동굴을 포함하는 네트워크가 무향 네트워크의 경우는 연결정도를 눈으로 확인하여 쉽게 계산할 수 있다. 단순히 동굴관광지와 주변 관광지 간의 연계만을 분석할 때 사용된다. 그러나 동굴

을 방문하는 관광객의 경우 이동경로에 따른 방향성이 부여되고, 동굴관람 이전과 이후의 다른 관광지와의 연계는 방향성이 존재하므로 연구 목적에 따라 차별하여 사용할 수 있다.

## 2) 우회도

우회도란 네트워크내의 각점의 우회정도를 표현한 값으로 공식은 다음과 같다.

$$C_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [d(i,j) - e(i,j)]^2$$

여기서  $d(i,j)$  는 실 네트워크에서의 임의의 두 점간의 거리,  $e(i,j)$  는 이론적(가상적, 최적, 희망하는) 네트워크에서의 거리이다. 여기서 이론적 네트워크란 경우에 따라 다르게 나타난다.

우회도가 적다는 것은 이론적 네트워크와 비슷한 상태를 의미, 반대로 우회도가 크다는 것은 실제 네트워크와 이론적 네트워크와의 차이가 심해서 개량이 필요한 점을 나타낸다.

## 2-2. 동굴관광지에 대한 간접 연결 강도를 측정하는 지표

### 1) 접근성

접근성(accessibility)이란 네트워크상에 존재하는 다른 점으로부터 대산 점까지의 접근하기 쉬운정도를 나타내며, 사회학에서는 인접 중앙성(closeness)으로 사용하기도 한다. 위상적 네트워크에서는 최단 경로(path)에 의한 각 결절점의 접근하기 쉬운 정도를 사용하고 유치네트워크에서는 선의 길이나 소요시간 등으로 계산된다.

1-1) 위상네트워크에서 접근성 행렬(T)계산 방법

접근성 계산은 일반적으로 2원행렬(binary matrix)을 사용한다. 인접한 접근성만을 취급하여 접근성을 파악하기에는 부족한 행렬이지만, 타점의 연결에 의한 간접적인 연결성의 파악이 필요하다.

따라서 누승(累乘)행렬 (C2, C3, C4), 즉 간접적 연결수, 즉 경로수는 행렬을 승산(乘算, 누승)하면 구할 수 있다. 접근성행렬(accessibility matrix) Tn = C1 + C2 + C3 + ... + Cn (단, n은 직경까지)는 T는 각 누승행렬의 요소 값을 더한 것(단 위상적 직경까지를 기준)으로, 따라서 접근성행렬은 간접 연결을 포함하는 접근 방법의 모동 경우의 수를 요소로 갖는 행렬이다. 각 행의 요소값을 더한 값이 접근도가 되며, 값이 크면 클수록 접근성이 좋은 결절점을 의미하게 된다.

그러나 이러한 접근성행렬은 문제점을 갖고 있다. 접근성 행렬 T는 인접 점과의 직접 연결(C)과 간접 연결된 점들의 간접 연결 상태(Cn)를 동등하게 취급하고 있다. 따라서 한 점을 두 번 이상 통과하게 되는 과잉성을 포함하고 있다. 현실에서도 이러한 경우는 매우 적다.

이러한 접근성 행렬에서 과잉성의 문제 해결하기위하여 Garrison은 간접적 연결의 영향력을 스칼라(s)양으로 조정하는 방법으로 사용하였다.

$$T = sC + s^2C^2 + s^3C^3 + \dots + s^nC^n \quad (0 < s < 1, s=0.3)$$

1-2) 최단경로에 의한 거리행렬 또는 최단경로행렬(D)

최단 경로에 따른 거리행렬의 방법은 Shimbel에 의해 제창되었으며, 앞의 접근성행렬이 여전히 스칼라양의 문제로 남아있음을 고려

하여, 한점을 단 1회만 통과하는 경로 만에 주목하고, 이를 바탕으로 두 결절점 간의 최단 경로 거리의 의미로 계산하고 있다. 여기서 최단 경로행렬의 행렬의 요소는 i와 j 점 간의 위상적 최단 경로거리를 의미 한다.

우선 연결성행렬 C를 구한다. 누승행렬의 누승수를 요소로 하는 행렬 Dn or Cn\*(n은 직경까지) 을 작성해 나아간다. 최단거리에 의한 거리행렬 Dn의 n은 위상적 직경까지 계산하면, 모든 요소가 0이 아닌 다른 숫자가 출현하게 되므로 여기까지 계산 하게된다. 최종적으로 Dn이 최단경로행렬이 되고, 최단 경로행렬의 각 점에 대한 Σ 값을 접근도라 한다. 접근도의 수치가 작을수록 접근성이 좋은 점을 나타낸다.

## 2) 사이 중앙성

사이중앙성이란 한 결절점이 다른 두 점의 최단 path(geodesic) 위에 있는 정도로 표현한다. 즉, 브로커(도매)의 역할 정도를 의미한다.

표준화된 사이 중앙성 C'B(Pm) =  $\frac{\sum \sum (g_{ij}/g_j)}{(N^2-3N+2)/2}$ 으로 표시한다. 여기서 분자의  $\sum \sum g_{ij}$ 는 결절점 i, j를 연결하는 최단 경로의 수를 말하며,  $\sum \sum g_{ij}$ 는 결절점 m 이 i, j 사이의 최단 경로 위에 위치하는 경우의 수이다. 분모는 중앙성을 표준화하기 위하여, 네트워크 내에 결절점 m(자기자신)을 제외한 다른 두 점간의 가질 수 있는 조합의수 즉, n-1C2이다.

즉, (n-1)(n-2)/2 이다. 분모의 경우 최대값을 가질때는 방사선 형태의 스타연결망(중앙에 한 점이 위치하고 다른점이 모두 그 점을 중심으로 방사형태로 연결된 상태)상태이다. 이때 분모의 값은 (N-1)(N-2)/2의 값을 가진다. 따라서 방사연결망에서의 표준화된 사이중앙성은 1 또는 100을 곱한 100이 된다.

### 3) 위세 중앙성

위세 중앙성(prestige index)은 위세지수라고도 불리우며, 자신과 연결된 상대방의 중요도가 가중된 중앙성을 말한다. 즉 사이중앙성이 높은 점들과 가깝게 연결될수록 위세 중앙성의 값은 높아진다. 위세중앙성의 공식은  $P_i = \sum P_j Z_{ji}$   $0 \leq P_i \leq 1$  이다.

### 2-3. 동굴관광지의 구조적 등위성을 측정하는 지표

#### (1) 구조적 등위성(structural equivalence)의 측정 지표

네트워크내의 점들의 연계관계가 서로 어느 정도 같은 유형의 연결 관계를 갖고 있는가를 위치적 접근방법으로 고찰하는 것으로 공식은 다음과 같다.

$$d_{ij} = (\sum_q (Z_{iq} - Z_{jq})^2 + \sum_q (Z_{qi} - Z_{qj})^2) / 2$$

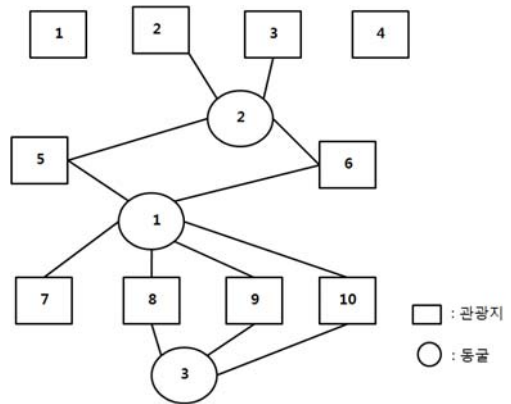
이 식에서  $\sum_q (Z_{iq} - Z_{jq})^2$  는 i와 j(행)가 모든 q(열)에 연결되어있는 관계를 의미하며,  $\sum_q (Z_{qi} - Z_{qj})^2$ 는 모든 q가 i와 j에 연결되어있는 열로부터 행으로의 관계를 나타낸다. 따라서 두 절점의 값이 0 이면 구조적으로 완전히 동일한 위치에 있다고 판단하게 되며, 값이 크면 클수록 구조적으로 다름을 나타낸다.

예를 2개 이상의 동굴관광지와 여러 개의

다른 관광지간의 연계상태로 된 네트워크상에서 두 동굴의 구조적 등위성을 비교 할 수 다. 즉 두 동굴은 다른 관광지와 연계상태가 구조적으로 얼마나 동일한가? 또는 다른가를 지교 분석 할 수 있다.

#### (2) 연결성 이원행렬을 이용한 교차표에 의한 분석

위와 같은 수학적 모델을 이용하지 않고 연결상태의 관계유무에 대한 개수를 파악한 자료로 교차표를 작성하여 간단히 계산하는 방법도 있다. 예를 들어 임의의 지역에 3개의 동굴과 10개의 다른 관광지가 분포 하고 있으며(그림 2), 각 동굴을 방문한 관광객을 태운 단체버스가 주변 지역의 다른 관지를 방문하는가의 여부로 다음과 같은 표 1이 작성되었다면, 동굴 1과 동굴3의 경우, 연계관광의 유무로 가정하여, 표2가 계산된다.



(그림 2) 동굴과 주변관광지네트워크

표 1. 네트워크의 연계관광유무에 의한 연결성행렬

	관광지1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
동굴1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
동굴2	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
동굴3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

표 2. 연계관광유무에 따른 동굴1과 동굴3의 교차표

		동굴3	
		있음	없음
동굴1	있음	a=3	c=3
	없음	b=0	d=4

이를 통해 두 동굴의 구조적 등위성을 계산할 수 있다. 계산방법에는 단순합치법, 재커드법, 러셀과라오법으로 구분되며, 계산 방법 및 결과는 다음과 같다.

- 1) 단순합치      등위성  $(X,Y) = (a+d)/(a+b+c+d) = 7/10$
- 2) 재커드      등위성  $(X,Y) = a/(a+b+c) = 3/6$
- 3) 러셀과라오    등위성  $(X,Y) = a/(a+b+c+d) = 3/10$

### 3. 동굴관광지의 연구목적에 따른 네트워크분석의 차별적 적용

네트워크 분석기법을 적용할 때에는 동굴관광지에 대한 연구목적이 한정될 수밖에 없다. 따라서 연구 목적의 범주를 다음과 같이 나누고 그에 적용되는 네트워크 분석기법의 효용성을 고찰해 보겠다. (1)동굴의 연결 강도 및 중앙성에 따른 관계적 입지특성에 관한 연구, (2) 동굴관광지와 주변관광지 또는 다른 동굴관광지 간의 구조적 등위성에 관한 연구로 나누어 볼 수 있다. 이와 같은 일련의 연구 목적은 일정한 공간적 범위를 어떻게 하느냐에 따라 연구 결과의 많은 차이를 보인다.

전자의 경우, 동굴의 연결 강도 및 중앙성에 따른 관계적 입지특성에 관한 연구는 네트워크 상에서 임의의 한 점이 네트워크 상에서 어떤 지위를 갖고 있는가에 대한 척도와 동일하기 때문에 일종의 네트워크 상에서의 입지 문제에 해당한다고 보겠다. 즉 각점이 네트워크 상에서 얼마나 접근하기 쉬운가의 문제로 이해 할 수 있다. 여기에 유용한 지표로서, 관련수 및 연결 정도 중앙성, 우회도의 척도들이 유용하게 이용될 수 있다. 그러나 이러한 지표는 분석대상 동굴자원과 연결된 타 관광지와와의 관계만을 고려하기 때문에 국지적 분석에는 유용하지만 전체적 간접효과까지는 분석하지 못하는 단점을 가지고 있다.

이러한 간접효과 까지를 포함하는 척도로서 접근성, 사이 중앙성, 위세 중앙성 등의 지표를 활용할 수 있다.

후자의 경우, 동굴관광지와 주변관광지 또는 다른 동굴관광지 간의 구조적 등위성에 관한 연구에 유용한 지표들도 있다. 이것은 하나의 전체적 네트워크상에서 점의 지위간의 특성뿐만 아니라, 점들간, 즉 관광지간에 있어서 연결 상태에 따른 구조적인 측면을 밝힐 수 있다는 장점을 갖고 있다. 이러한 측정 지표로는 구조적 등위성 지표가 가장 널리 사용되고 있으며, 한눈으로 쉽게 파악하기 어려운 구조적 측면의 결과를 제시해준다. 여러 관광지가 복합적으로 구성되어 있는 지역에 2개 이상의 동굴 관광자원이 포함되어 있을 경우, 이들 동굴관광자원에 대

한 상호 비교가 가능한 척도라고 할 수 있다.

#### 4. 결론

동굴의 관계적 입지를 파악하기 위하여, 네트워크분석 기법 중 네트워크의 점의 지위 분석을 중심으로 하는 각종 지수를 적용하여 그 효용성을 파악하는데 목적을 두었다.

네트워크의 전체적 구조를 파악하는 일반 지수의 결과보다 국지적 지역 특성이나 특정 관광지와 주변의 다른 관광지간의 관계 및 구조 비교에 더욱 유용하다는 결과를 얻었다.

이 연구에서 고찰한 지수 들은 네트워크상의 동굴의 지위를 파악하는데 매우 유용하여, 주변 관광지와와의 관계적 입지특성을 보다 객관적이며 수량적으로 표현가능 함을 밝혔다. 특히, 단양군처럼 동굴주변에 여러 개의 동굴이 같이 입지하는 경우에는 그들 동굴간의 상호 비교나 구조적 우위성을 파악하는데 매우 유용하다고 하겠다.

#### 참고문헌

勝間田隆吉, 1978, “제주도의 관광개발에 관하여,” 한국동굴학회지, 3, 48-49.

김동진, 1987, “산호동굴의 개발의 지리적 배경,” 한국동굴학회지, 16, 72-88.

김원진, 2007, “만장굴·협재쌍용굴 주변 관광자원의 유형별 분포 특성,” 한국동굴학회지, 83, 49-52.

변대준, 1992, “영월 옥동굴 지역의 지리환경에 관한 연구,” 한국동굴학회지, 32, 65-81.

변대준, 1992, “성류굴의 주변지역의 환경실태,” 한국동굴학회지, 30, 60-78.

변대준, 1993, “환선굴 주변지역의 인문환경에 관한 연구,” 한국동굴학회지, 35, 61-66.

홍현철, 2008, 군집분석을 이용한 동굴 유형분류의 유용성에 관한 연구, 한국동굴학회지, 84, 1-9.

홍현철, 2008, 동굴관광지의 관계적 입지특성 분석을 위한 그래프이론의 적용(I): 네트워크 분석 기법의 적용을 중심으로, 한국동굴학회지, 86, 10-17.

홍현철·홍충렬, 1994, “고씨동굴 주변지역의 인문 환경,” 한국동굴학회지, 38, 39-45.

홍현철, 1992, “백룡동굴 주변의 인문 및 사회환경에 관한 연구,” 한국동굴학회지, 32, 42-64.