

실내공간을 위한 Syntax 기반 접근성 분석 알고리즘

Syntax-based Accessibility Analysis Algorithm for Indoor Spaces

김혜영¹ · 전철민²

Abstract

접근성은 주로 2차원 네트워크를 기반으로 도시나 교통문제 등에 적용되어왔다. 그러나 대규모 복합 건물들이 생겨나면서 접근성과 같은 계량적인 측정이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 3차원 공간에서의 접근성을 산출하는 방법을 제안하고 기존의 전통적인 Space Syntax에서의 접근성 산출방법과 이를 3차원 공간 내에 적용하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 본래 Space syntax는 거리나 시간과 같은 비용을 고려하지 않은 토폴로지 기반의 이론이지만, 본 연구에서는 공간간 거리, 층간 이동 등의 부하를 고려함으로써 공간의 깊이를 산출하였다. 개발된 방법은 캠퍼스 건물모델에 적용하여 비교 분석하였다.

핵심용어 : 접근성, 3차원 GIS, 3차원 모델, Space Syntax

Accessibility is a field of study that has primarily been applied to urban or transportation problems two dimensionally. However, in large complex buildings as shopping centers or hospitals, inter-spatial accessibility among compartments has to be taken into account such as in building layouts or evacuation planning. This study expands space syntax theory, one of accessibility-related methodologies used for computing connectivity in urban or architectural spaces, into 3D indoor spaces. Although space syntax is basically a topology-based theory that does not consider general costs such as distance or time, this study suggests modification that incorporates different types of impedances in moving between places including distances, turns and transfers between floors. The proposed method is applied to a 3D campus building model in computing and displaying the accessibility to exit doors or cohesive accessibility among similar functions.

Keywords : accessibility, 3D GIS, 3D models, Space Syntax

1. 서 론

접근성은 교통체계와 같은 2차원 네트워크를 기반으로 공간 구조 위계상의 중요도,

이동의 용이함 등을 가늠하는 척도로 이용된다. 상가나 병원과 같은 대규모의 복합건물이 점차 증가하면서 실내공간배치나 대피로 산출 등과 같은 3차원 건물 내부에서

¹ 서울시립대학교 도시과학대학 공간정보공학과 석사과정(E-mail : mhw3n@uos.ac.kr)

² 서울시립대학교 도시과학대학 공간정보공학과 교수(E-mail : cmjun@uos.ac.kr)

의 공간간의 접근성에 계량적인 분석 방법이 요구되고 있다.

한편 Space Syntax는 공간 상호간의 접근성(Connectivity) 또는 통합도(Integration)를 구하는 데에 사용되어 온 기법으로 주로 도시·건축·보행 공간에 대해 각 공간의 연결성을 정량적으로 산출하고 이를 시각적으로 표현하는 분야에서 집중적으로 연구되어 왔다(Bafna, 2003; Hillier, 1984, 1996; Penn *et al.*, 1998). 최근에는 Space Syntax 이론을 GIS 공간데이터에 적용하여 접근성의 산출과정을 자동화시키는 연구도 시도되고 있다(Jiang, 1999, 2002).

기존의 연구를 살펴보면, 2차원 네트워크를 이용한 접근성 분석은 이루어진 사례가 있으나(이종용, 1997; 이희연 외, 1997; 허우궁, 2004) 3차원 공간상에서의 접근성 분석에 관한 연구는 사례가 극히 드물다. 지금까지의 3차원 모델은 시각화에 초점을 맞춰 발전되어왔기 때문에 건물내부의 위상구조 정보가 결여되어 있다. 즉 3차원 객체들이 분리되어 있지 않아 공간간의 연계가 특별히 정의되어 있지 않고 속성정보의 저장에 어렵기 때문에 3차원 모델에서의 공간 분석과 쿼리는 한계를 가지고 있다.

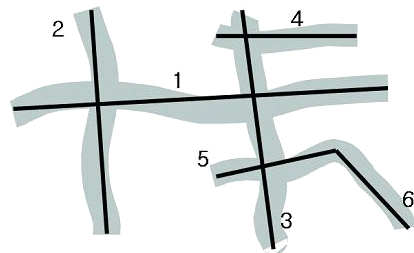
따라서 본 연구에서는 3차원 공간에서의 접근성을 산출하는 방법을 제안하고 기존의 전통적인 Space Syntax에서의 접근성 산출방법과 이를 3차원 공간 내에 적용하기 위한 새로운 방법을 제시하고 실제 모델을 구현하여 양측의 값을 비교, 분석하였다.

II. Space Syntax

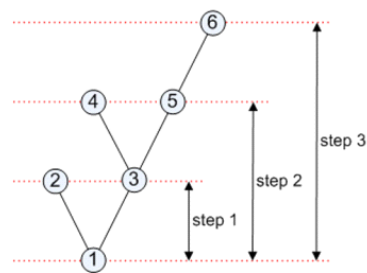
건축공간이나 보행공간에서 공간간의 연결체계를 분석하는 도구로 사용되는 Space Syntax는 공간의 접근성을 분석하기 위해서는 전체 대상 공간에서의 상호관련성에 대

한 분석과 인간이 공간을 인지하고 사용하는 행태에 대한 이해에 기반을 둔다는 전제에서 출발하여 각 공간간의 상대적인 접근성을 표현하고 이를 정량화하여 해석하는 방법이다.

Space Syntax에서 가장 기본이 되는 것은 Axial Line과 Total Depth 값으로 Axial Line은 모든 공간을 직선으로 연결하였을 때 최대 길이와 최소 개수로 구성되는 직선들의 구조를 의미한다. 넓이와 굴곡을 가진 보행공간의 경우 Axial Line을 그려서 나타내면 그림 1과 같이 표현할 수 있고 모든 공간에서 특정 공간까지 도달하기 위해 몇 번의 단계를 거쳐야 도달할 수 있는지를 나타내는 지표가 Total Depth가 된다.



[그림 1] 보행공간과 Axial Line



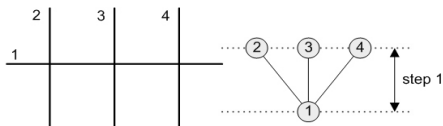
[그림 2] 그림 1의 위계구조

$$TD_i = \sum_{S=1}^m S \times K_S \quad (1)$$

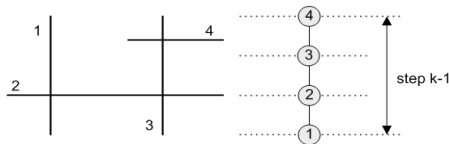
TD_i : 공간 i 의 Total Depth

S : 공간 i 에서부터 거치게 되는 단계의 수
 m : 공간 i 에서 가장 깊은 공간까지 거치게 되는 단계의 수
 K_s : s 단계에서의 공간의 개수

위의 수식에 의해 계산된 TD 값이 다른 공간들에 비해 상대적으로 큰 값을 가질 경우 그 공간은 접근하기 힘들다는 것을 알 수 있다. 그리고 이 수치를 공간 간 비교에 이용하기 위해 TD 를 측정대상공간을 제외한 나머지 공간의 수($K-1$)로 나누어 평균깊이 (MD , Mean Depth)를 구한다. 이는 특정 공간에 대한 평균적인 깊이를 의미한다. 그림 3은 동일한 수의 노드(node)를 갖는 교통망에서 1번 노드로부터 시작되는 두개의 극단적인 경우를 나타낸 것이다. 첫 번째 경우, 1번 노드와 나머지 노드들이 모두 이웃하고 있어 한 번의 공간적 전이만 필요한 반면(그림 3(a)), 1번 노드에서 4번 노드로 이동 시 2번과 3번 노드 모두를 차례로 거쳐야 하는 경우가 존재한다(그림 3(b)).



a. Symmetrical connectivity



b. Asymmetrical connectivity

[그림 3] 상반되는 경우의 Depth

위의 두 경우에 대해 MD 값을 구해보면

다음과 같다.

$$MD_a = \frac{1+2+\dots+(k-1)}{k-1} = \frac{(k-1)k/2}{k-1} = \frac{k}{2},$$

$$MD_b = \frac{k-1}{k-1} = 1$$

여기서 MD 는 $1 \leq MD \leq k/2$ 로 유도되고, 이를 공간의 수와 관계없이 (0-1) 사이의 값을 갖도록 정규화 시켜 Normalized Depth (ND)를 구하면 다음과 같다. 보통 ND 는 접근성에 반비례함으로 직관적인 수치로 나타내기 위해 ND 의 역수를 사용하게 되는데 이를 해당 공간의 Integration이라 한다. 즉, TD 와 Integration 값은 반비례의 관계를 갖게 된다.

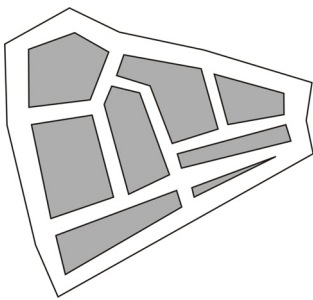
$$0 \leq \frac{2(MD-1)}{k-2} \leq 1. \quad (2)$$

III. Syntax-based Accessibility

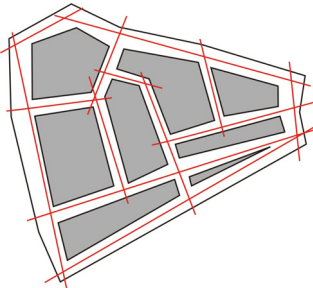
실제 공간분포를 표현하는 데에 있어서 Space Syntax 모델의 Axial Line과 네트워크 모델은 서로 공간을 구성하는 방식이 다르다. 즉 Space Syntax의 Axial Map과 전통적인 네트워크 모델 모두 수학적인 Graph로 모델을 추상화 할 수 있으나 이 두개의 모델에서 노드(node)와 링크(link)가 의미하는 바는 서로 다르다. Space Syntax는 도로망을 연속된 공간의 집합으로 가정하고, 모든 공간을 대상으로 최소한의 긴 직선으로 디지털화하고 이를 축선도(axial map)라 정의 한다. 각 축선은 네트워크에서 노드가 되고 축선의 교차점은 링크가 된다(그림 4(b)). 반면 전통적인 네트워크 모델에서의

추상화 과정은 Space Syntax와는 달리 축선의 교차점이 노드가 되고, 링크는 노드와 노드를 연결한 것을 의미한다(그림 4(c)).

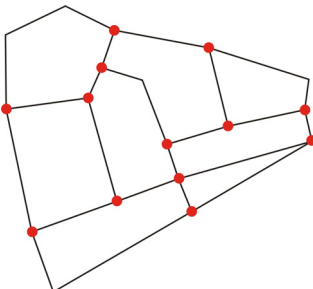
축선(Axial Line)은 모든 공간을 지나는 시선에 의해 최대한 긴 직선으로 구성되는 최소한의 개수의 직선으로써, 축선도 상에서 기점과 종점이 주어지면 기점에서 종점까지 가기위해 거치게 되는 축선의 수를 깊이(depth)라 한다.



a. 실제 공간분포



b. Space Syntax의 Axial Map



c. 전통적인 네트워크

[그림 4] 네트워크 표현 비교

Space Syntax에서는 굴절의 회수만을 이용하여 깊이를 계산하기 때문에 탐색 시간과 같은 비용은 고려되지 않는다. 그러므로 깊이의 개념은 공간의 접근성으로 설명될 수 없고, 오히려 연결성(connectivity)에 더 가깝다. 비록 접근성이 연결성과 혼용하여 사용되기도 하나, 일반적으로 네트워크 분석에서 접근성은 한 장소에서 다른 장소까지의 근접성을 측정하는 지수로써 이용된다. 반면 연결성은 두 공간이 인접해 있는지를 판단하는 지표가 된다. 접근성은 공간 이동시 요구되는 거리나 시간과 같은 비용의 개념을 통합한 것으로 일부 연구(Jiang *et al.*, 1999)에서는 공간의 연결성에 기초한 깊이를 참조한 지리적 접근성이란 용어를 사용하기도 한다.

전통적인 네트워크 모델은 그것의 graph $G(V, E)$ 를 이용하여 정의되는데, 이때 V 는 노드의 집합 $\{v_i \mid i=1, 2, \dots, n\}$ 으로 구성되고, E 는 노드가 서로 연결된 edge 또는 링크의 집합 $\{v_i, v_j \mid e_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n\}$ 이다. 여기서 edge 또는 링크 e_{ij} 는 다음과 같이 정의된다.

$$e_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } v_i v_j \in E \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (3)$$

각 edge는 물리적인 거리 d_{ij} 를 갖게 되는데, 연결성에만 초점을 둔다면, 거리는 단위 edge $e_{ij}=1$ 또는 0으로 간주된다. 이때 한 step에서의 연결성 C_{ij} 는 i 노드에 직접적으로 연결된 edge들의 개수로 정의될 수 있다.

$$C_{ij} = \sum_j e_{ij}. \quad (4)$$

여기서, 간단한 그래프 이론을 이용하여

higher-order 연결성을 정의해볼 수 있다. 노드 사이에 직접적으로 연결된 것 외에, i 노드에서 j 노드까지의 경로를 셀 수 있고 이를 S_{ij} 로 정의한다. 이 값은 한 노드에서 다른 노드로의 깊이를 측정하고, 구조적인 측정은 Space Syntax 이론에서의 깊이에 기초한다. depth S_{ij}^z 에서의 z 는 i 노드에서 j 노드까지의 깊이이고 이는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{Let } S_{ij}^1 &= e_{ij}, \text{ then,} \\ 1, & \text{ if } \sum_k S_{ik}^{z-1} e_{jk} > 0 \quad (k \neq i, k \neq j) \\ S_{ij}^z &= \quad \text{and } \sum_t S_{ij}^t = 0 \\ 0, & \text{ otherwise.} \end{aligned} \quad (5)$$

이때 i 에서 j 까지의 총 깊이는 $S_{ij}^2=1$ 이라고 가정할 때 $S_{ij}^2=z$ 로 정의할 수 있다. 그런데 Space Syntax에서는 보다 직관적인 판단을 위해서 깊이 값의 역수를 취하기 때문에 전체적인 구조적 연결성은 다음과 같다.

$$A_i = \sum_j S_{ij}^{-1}. \quad (6)$$

본 연구에서는 공간에서의 접근성을 산출할 때 Space Syntax 이론과 네트워크에서의 깊이 계산 방법을 조합하기로 한다. Space Syntax와 조합한다는 의미는, 일반적으로 Space Syntax에서 축선에서 벗어날 때 깊이가 깊어진다는 사실을 적용하여 어떤 공간에서 다른 공간으로 굴절할 때 특정 패널티 또는 impedance가 추가 된다고 보았다.

보통 접근성은 공간 이동시 수반되는 비용을 포함하는 총 이점을 가늠할 수 있는

지표로 사용된다. 일반적으로 전통적인 도시 및 토지이용계획 등에서의 접근성은 중력이론에 기초하고, 다음과 같이 정의된다.

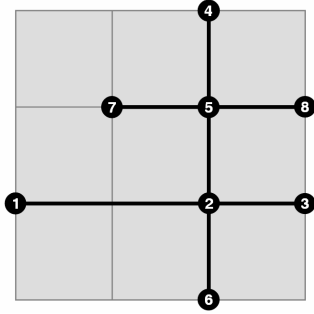
$$A_i = K \sum_j P_j d_{ij}^{-\alpha}. \quad (7)$$

이때 P_j 는 공간 j 의 인구이고, K 는 중력 측정 계수, α 는 거리에 대한 마찰력이 된다. 일반적으로 접근성은 도시 규모에서 공간 간 상호작용을 목적으로 다루어진다. 그러나 소규모 네트워크나 내부공간과 같은 협소한 공간에서는 인력 요소인 P_j 가 매우 작기 때문에 무시할 수 있다. 또한 거리에 대한 마찰계수 α 는 공간 간 상호작용의 강도가 단지 사물간 거리에 비례하는 것보다 더 많이 감소함을 의미한다. 즉, α 는 거리가 증가함에 따라 상호관련성이 얼마나 빨리 감소하는지를 결정짓는다.

$$A_i = \sum_j A_{ij} = \sum_j f(d_{ij}) = \sum_j d_{ij}^{-\alpha}. \quad (8)$$

아래 그림에서 제시된 네트워크에서 Space Syntax의 integration과 수식 8에 의한 접근성을 산출해 보았다. 그림 5는 한 셀의 크기가 1×1로 구성된 네트워크를 보여준다. 만약 Space Syntax 과정을 따른다면, 이 때 노드 1과 노드 3의 TD는 14(1×2 + 2×3 + 3×2)로 동일한 깊이 값을 갖는다. 반면 접근성은 각각 2.25와 3.33으로 계산된다. 표 1은 모든 노드에 대한 계산 값을 나열해 놓은 것으로, 노드(1, 3, 7, 8)과 (2, 5), (4, 6)의 integration 값은 각각 동일한 반면 거리에 기초한 접근성은 거리가 가까울수록, 또

한 연결된 노드가 많을수록 더 큰 값을 갖는 것을 알 수 있다.



[그림 5] 네트워크
(each cell is 1×1 dist.)

〈표 1〉 Space Syntax와 접근성 비교

node #	ND_i^{-1} in Space Syntax	$A_i = d_i^{-1}$
1	0.50	2.25
2	0.78	5.00
3	0.50	3.33
4	0.64	3.42
5	0.78	5.33
6	0.64	3.33
7	0.50	3.42
8	0.50	3.42

깊이에 근거한 접근성과 이동시 발생하는 비용을 포함한 가중치를 고려함으로써, 한 공간에서 모든 공간으로의 접근성은 다음과 같이 산출 될 수 있다.

$$A_i = \sum_{k=1}^{D_i} w_k^{-1} \left(\sum_{j=1}^{M_k} d_{ij}^{-1} \right) \quad (9)$$

D_i : i 노드에서 최대 깊이 수

M_k : k 깊이에서의 총 노드 수

d_{ij} : i 와 j 사이의 거리

w_k : k 깊이에서의 가중치

가중치 w_k 는 깊이가 증가함에 따라 점차 커지게 되고, 이는 곧 깊이에 대한 패널티로 생각할 수 있다. 그리고 이의 역수는 각 깊이에서 산출된 접근성에 곱해진다. 그러나 모든 깊이에 대해 동일한 가중을 적용한다면, 비현실적일수밖에 없다. Space Syntax에서는 굴절이 발생 할 때마다 깊이를 추가 하였지만, 실 상황에서는 경우에 따라 체감하는 정도가 달라진다. 예를 들어, 굴절 각도가 다르거나, 혹은 좌회전, 우회전과 같은 회전 방향이 달라지고, 또한 계단이나 엘리베이터를 이용한 층간이동도 발생하기 때문에 각 경우에 맞는 가중을 고려해야한다. 그러므로 ‘깊이’와는 독립적으로 ‘impedances’를 적용해 볼 필요가 있다. 수식 9를 수정하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

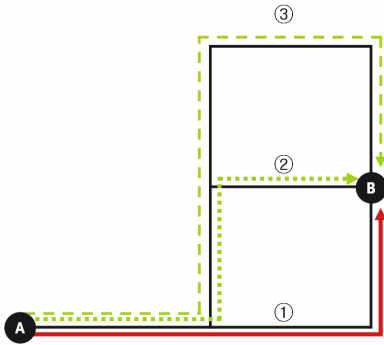
$$A_i = \sum_{j=1}^{N_i} \left(d_{ij} + \sum_{r=1}^{R_j} e_r \right)^{-1} \quad (10)$$

R_j : i 부터 j 까지 가는데 걸리는 부하 수
 e_r : 부하

이때 impedance들의 집합 $E\{e_r \mid r=1, 2, \dots, n\}$ 은 사람이 i 에서 j 로 이동하는데 직면하게 되는 edge들 간의 거리를 제외한 모든 비용으로 생각해 볼 수 있다. 여기에는 굴절 또는 층간 이동 등이 포함되고, 이는 또한 $E\{E_L, E_R, E_S, \dots\}$ 등으로 세분화 할 수 있다.

일반적으로 i 부터 j 까지의 경로 탐색 시, d_{ij} 와 발생하는 모든 impedance를 포함하여 산출된 하나의 최적경로가 존재한다. 그림 6은 공간 이동 시 최적경로탐색과정을 보여주는 예이다. 공간 A에서 공간 B까지의 이동 시 세 가지 경로를 생각해 볼 수 있는데, 각 경로의 거리를 살펴보면, 경로 ①과 경

로 ②는 거리가 서로 같고, $d_1 = d_2 < d_3$ 이므로 경로 ③은 최적 루트에서 제외된다. 또한 $d_1 = d_2$ 이기는 하지만,



[그림 6] A에서 B까지의 최적경로

굴절 회수가 경로 ①은 한번인 반면 경로 ②는 두 번 발생하므로 최적 경로는 ①이 된다.

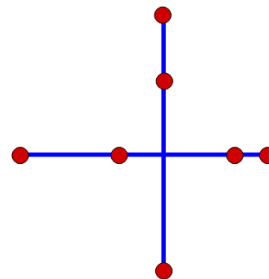
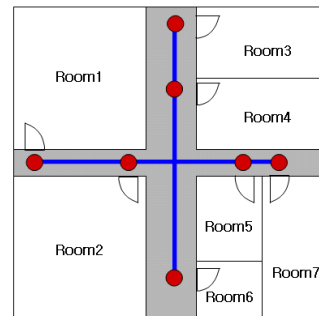
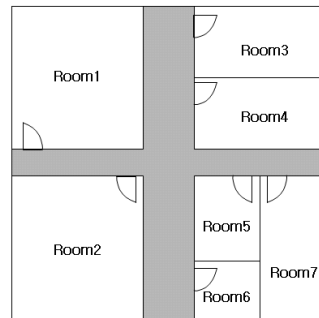
최적화된 경로를 산출해내기 위해서 다익스트라에 의해 고안된 최단경로 알고리즘을 사용하였다(Dijkstra, 1959). 다익스트라 알고리즘은 노드 선택 과정과 거리 갱신 과정으로 구성된다. 노드 i 와 j 의 현재 라벨에서 $d(j) > d(i) + c_{ij}$ 를 만족하는지를 검사하고, 만일 그렇다면 현재의 라벨을 $d(j) = d(i) + c_{ij}$ 으로 수정하게 된다(Ahuja et al., 1993). 거리 갱신 과정에서, 일반적인 다익스트라 알고리즘은 c_{ij} 항을 거리 또는 탐색 시간으로써 edge i - j 간의 비용으로 정의한다. 여기서 우리는 d_{ij} 에 impedance $\sum e_{ij}$ 를 포함한 c_{ij} 를 사용하였다.

$$c_{ij} = d_{ij} + \sum e_{ij} \quad (11)$$

IV. 알고리즘 적용

4.1 데이터 생성

개발된 알고리즘을 적용해 보기 위해 캠퍼스 중 규모가 크고 내부구조가 복잡한 건물로서 본 연구에 적합하다고 판단되는 건물을 선정하였다. 대상 건물은 7개의 출구를 포함하고 있고, 또한 강의실, 교수연구실을 비롯하여, 회의장, 전자도서관, 학생라운지 등 다양한 특성을 갖는 공간으로 구성되어 있기 때문에 본 연구에 적용하기 적합하다.



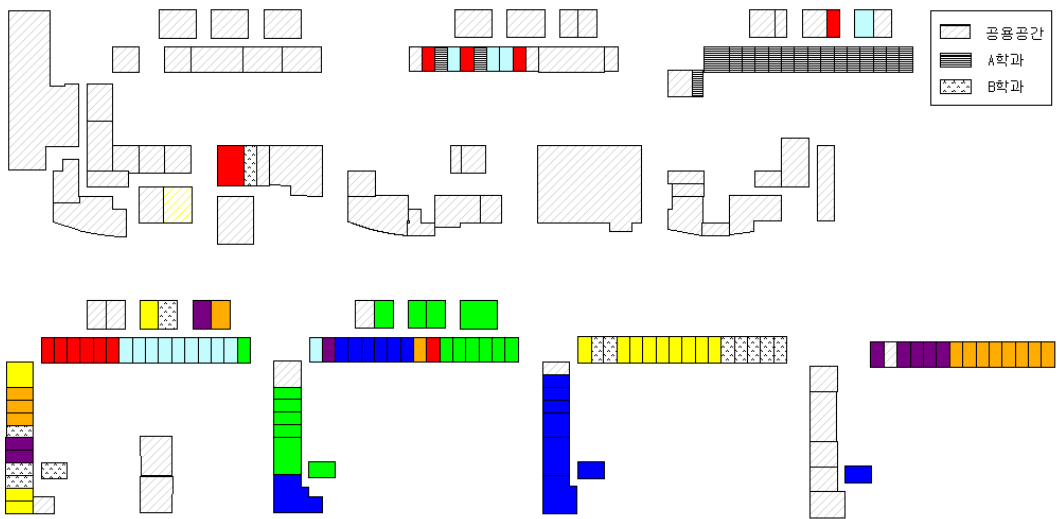
[그림 7] 내부공간에서 노드, 링크의 생성 예

일반적으로 내부공간은 폴리곤으로 구성 되어있는데, 이때 각 공간간의 연계가 정의 되어 있지 않기 때문에 위의 이론을 복합건물 내에 적용하기에는 몇 가지 제한 조건이 따른다. 따라서 분석의 용이함을 위한 새로운 데이터 구조가 구축되어야 하며, 그 방법으로 각각의 독립된 공간마다 하나의 노드를 부여한다. 또한 복도 중심선을 따라 노드를 연결해주는 링크를 구성함으로써 건물 전체를 연결하는 네트워크를 구성하게 된다. 그림 7은 내부공간에서 네트워크를 구성하는 예를 보여준다. 각 방의 출입구마다 노드를 부여하고 각 노드를 연결해주는 링크를 생성한다.

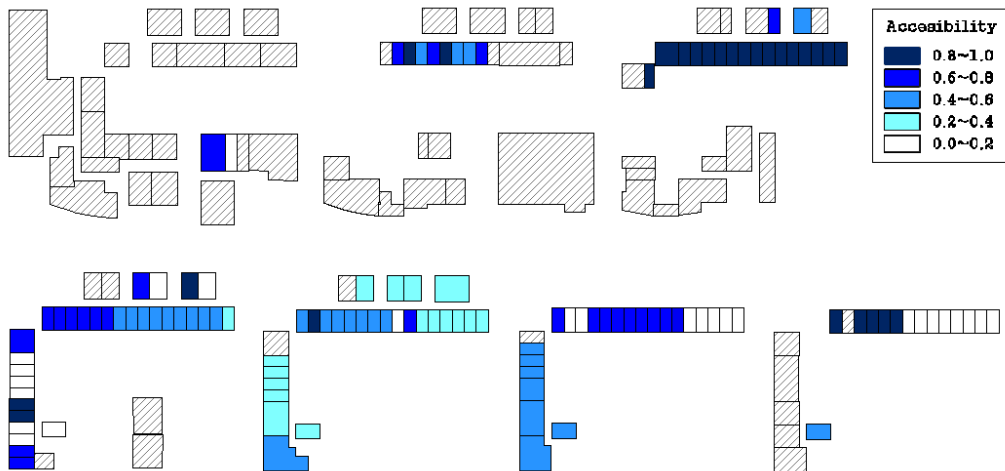
4.2 공간 속성별 응집도 분석

실내공간을 배치하는 데에 있어서 실내 공간의 위치에 따라 활용도는 달라지게 된다. 관련 부서나 기관 등을 층별로 분산되어 배치하게 되면, 기능적인 연계가 잘 이루어지지 않거나, 이로 인해 동선이 길어짐

에 따라 불편함을 느끼게 된다. 따라서 각각의 공간에서 발생하는 다양한 상황에 따라 서로 다른 동선이 상호 방해되지 않도록 고유의 동선이 유지되어야하고, 유사 성격의 공간별로 접근도가 좋아야 한다. 그림 8은 본 연구의 실험대상 건물에 위치하고 있는 학과들을 구분지어 나타낸 그림이다. 공용공간을 제외한 나머지 공간을 9개 학과가 사용하고 있는데, 각 학과마다 소속되어있는 공간들 간의 접근성이 얼마나 좋은지를 평가하여 5단계로 구분지어 그림 9에 나타내었다. A학과의 경우 거의 대부분 한 층에 인접하여 위치함으로써 높은 접근도를 보였고, B 학과의 경우 1, 4, 5층에 분포하고, 또한 동일 층 내에서도 인접공간에 배치되지 않음으로써 상대적으로 매우 낮은 접근도를 나타냈다. 공간 이용계획 및 설계 시 동선계획 뿐만 아니라 공간 별 접근도를 고려해봄으로써 보다 편리하고 효율적으로 공간을 활용할 수 있을 것이다.



[그림 8] 공간의 속성(소속)에 따른 분류



[그림 9] 공간의 속성(소속)에 따른 접근성

5. 결 론

Space Syntax이론은 건축공간이나 보행 공간에서 공간간의 연결체계를 분석하는 도구로 사용되는 이론이다. 선행연구에서는 Space Syntax의 integration값과 사람의 움직임 간의 관계에 대해 연구하였고, 그 둘의 관계는 일반적으로 밀집된 공간에서 보다 깊게 상호작용함을 보였다(Hillier *et al.*, 1993). 그러나 Space Syntax는 넓은 공간에서의 움직임 등을 시험하는데 적합하기 때문에 소규모 또는 내부 공간에 적용하기에는 몇 가지 한계가 존재한다. 이는 선형으로 배열된 공간은 모두 동일한 깊이 값을 갖게 되기 때문이며 이러한 불합리함을 수정하기 위해 방향 전환뿐만 아니라 층간이동, 공간 간 거리 등을 고려하여 접근성을 산출하는 방법을 제안하였다. 실험을 통해 부서 상호간의 접근성을 알아 볼 수 있었고, 보다 현실적인 조건의 부하를 고려한다면, 건축 설계나 공간배치, 방재 등에 효율적으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 연구지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] 이종용, 1997, GIS기법을 활용한 종합접근성 분석 : 서울시 강남구를 사례로, 석사학위논문, 건국대학교 대학원.
- [2] 이희연, 이종용, 1997, “교통망체계의 종합 접근성 분석에 관한 연구 : 강남구를 사례로 하여”, *국토계획*, 91, pp. 119-135.
- [3] 허우궁, 2004. “교통지리정보시스템(GIS-T)에 기반한 접근성 분석”, *지리학논총*, 43, pp. 1-31.
- [4] Ahuja, R. K., T. L. Magnanti and J. B. Orlin, 1993, *Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications*, Prentice Hall.
- [5] Bafna, S., 2003, “Space syntax: a brief introduction to its logic and analytical techniques”, *Environment and Behavior*, Vol. 35, No. 1, pp. 17-29.
- [6] Dijkstra, E. W., 1959, “A note on two

- problems in connection with graphs”, *Numer. Math.* I, pp. 269-271.
- [7] Hillier, B., 1996, *Space is the Machine*, Cambridge University Press.
- [8] Hillier, B. and J. Hanson, 1984, *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press.
- [9] Jiang, B., C. Claramunt and M. Batty, 1999, “Geometric accessibility and geographic information: extending desktop GIS to space syntax”, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 23, pp. 127-146.
- [10] Jiang, B. and C. Claramunt, 2002, “Integration of Space Syntax into GIS: new perspectives for urban morphology”, *Transactions in GIS*, Vol. 6, No. 3, pp. 295-309.
- [11] Wilson, G., D. Coelho, M. Macgill and L. Williams, 1981, *Optimization in locational and transport analysis*. Chichester, UK: John Wiley.