

# Space Syntax를 이용한 대중교통 접근성 분석에 관한 연구

## Connectivity analysis for the public transportation network using the Space Syntax

민보라<sup>1)</sup> · 전철민<sup>2)</sup>

Bo-Ra Min · Chulmin Jun

<sup>1)</sup> 서울시립대학교 대학원 지적정보학과 석사과정(E-mail : angel@uos.ac.kr)

<sup>2)</sup> 서울시립대학교 도시과학대학 지적정보학과 교수(E-mail : cmjun@uos.ac.kr)

### Abstract

Due to the traffic congestion of the city and public transportation-oriented policies, public transportation is receiving more attention and being used increasingly. However, relatively less research on the design and distribution of public transportation network and limitations in quantitative approaches have made implementation and operation practically difficult. Over- or under-supply of transportation routes caused unbalanced connectivity among areas and differences in time, expenses and metal burden of users. On the other hand, the Space Syntax theory, designed to calculate the connectivity of urban or architectural space, helps generate quantitative connectivity of whole space simply based on the spacial structure. This study modified the original Space Syntax algorithm to fit the public transportation problem and showed how it is applied to a network by creating an artificial network using the GIS.

## 1. 서 론

도심 정체나 대중교통 장려책과 같은 요소로 인해 대중교통에 대한 관심과 이용도가 증가하고 있다. 그러나 노선의 설계나 배분에 관한 연구가 미흡하고 정량적인 방법론이 구축되어 있지 않아서 설계, 운영에 어려움을 겪고 있다. 노선의 공급과잉이나 공급부족으로 인해 접근성이 지역간에 편중되어 나타나며, 도시 각 구역의 정류장은 다른 지역으로 이동하는 시간과 비용, 심적 부담에 있어 큰 편차를 보이고 있다. 한편, Space Syntax이론은 도시공간이나 건축공간의 접근성을 공간의 기하학적인 연결구조에 기반하여 정량적으로 산출해주는 이론이다. 본 연구는 Space Syntax이론을 대중교통 문제에 효과적으로 적용하기 위해 알고리즘을 수정하였으며, GIS를 이용하여 간략한 가상의 네트워크를 구축한 후 이를 적용하는 과정을 예시하였다.

## 2. 기존연구고찰

기존연구로는 Space Syntax에 관한 연구와 대중교통이론에 관한 연구로 나뉘볼 수 있다. Space Syntax분야에서는 보행공간체계의 분석(임헌식(2003), 조용진(2000)), 건물의 공간적 특성(황윤철(2000), 황재영(2000)), 가로배치(강성래(2002)) 등에 관한 연구가 있다. 한편 대중교통분야에서는 환승경로 결정(임승용(2003)), 보행접근성의 영향(김성희(2002)), 노선결정(안병훈(1999)) 등에 관한 연구가 있다. 그러나 이들 연구를 전반적으로 살펴볼 때 지하철, 버스 등 모든 대중교통망에서의 정량적인 접근성 분석은 미흡하다고 할 수 있다. 특히 Space Syntax를 대중교통에 적용한 연구는 현재까지 시도되지 않고 있다. 본 연구는 Space Syntax 이론을 대중교통망에 적용하여 기하학적 연결성만으로 대중교통의 접근성을 분석해 보고자 한다.

### 3. Space Syntax

Space Syntax는 런던의 Bill Hillier 와 Julienne Hanson 등에 의해 80, 90년대 연구되어 왔으며, 공간 상호간의 구조를 분석하여 각 공간의 다른 공간으로의 접근성 정도를 정량적으로 제시하는 연구방법론이다. Space Syntax 방법론은 공간구조상 중요도를 분석대상지역의 전체 공간에서의 접근성에 의하여 계산하는 것으로서, 다음의 두 가지 가정에서 출발한다. 첫째, 공간의 접근성을 분석하기 위해서는 전체 대상 공간에서의 상호관련성에 대한 분석을 전제로 하고 있다는 것과 둘째, 인간이 공간을 인지하고 사용하는 행태에 대한 이해에 기반을 두고 있다는 것이다. 접근성을 Space Syntax에서는 Integration이라 정의하며, 이는 전체 공간의 통합성 혹은 공간구조 위계상의 중요도를 의미한다. Space Syntax의 응용 예로서 60년대와 현재의 서울의 접근성을 분석한 연구도 있다 <그림 1>. 이와 같이 Space Syntax는 공간의 구조적 형태에 만 근거하여 접근성을 정량적으로 제시할 수 있는 것으로 알려져 있다.

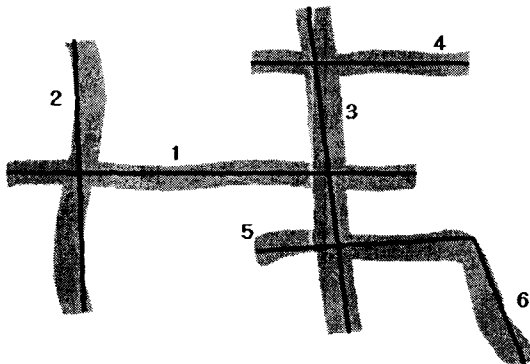


<그림 1> Space Syntax의 적용 예

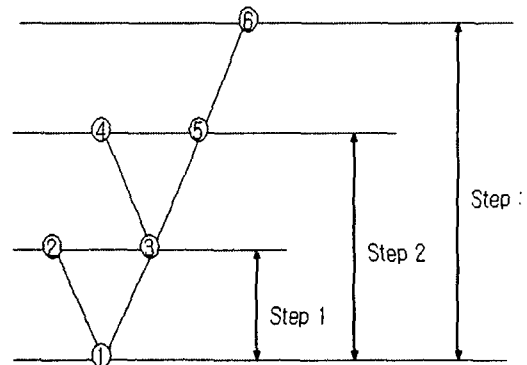
Space Syntax의 계산과정에 가장 기본이 되는 것은 Axial Line과 Total Depth 값이다. Axial Line은 모든 공간을 직선으로 연결하였을 때, 최대 길이와 최소 개수로 구성되는 직선들의 구조를 의미한다. 넓이와 굴곡을 가진 보행공간의 경우 Axial Line을 그려서 나타내면 <그림 2>과 같이 표현할 수 있다. TD(Total Depth)는 한 특정한 공간으로부터 다른 모든 공간으로의 깊이의 합을 말한다.

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

- TD<sub>i</sub> : 공간 i의 Total Depth
- S : 공간 i에서부터 거치게 되는 단계의 수
- m : 공간 i에서 가장 깊은 공간까지 거치게 되는 단계의 수
- K<sub>s</sub> : S단계에서의 공간의 개수



<그림 2> 보행 공간



<그림 3> ①번 공간에서의 Depth의 표현

공간의 깊이(Depth)는 특정 공간에서 다른 공간으로 이동할 때 거치게 되는 최소한의 공간의 수를 의미하므로 인접한 공간간의 깊이는 1이 된다. <그림 2>의 1번 Line의 경우 2번과 3번 Line으로 가기 위해서는 한 번의 공간적인 전환이 필요하게 되고, 1번 Line에서 4번과 5번 Line으로 가기 위해서는 두 번의 공간적인 전환이 필요하며, 1번 Line에서 6번 Line으로 가기 위해서는 세 번의 공간적인 전환이 필요하게 된다. 이러한 공간적인 전환을 하나의 Step(Depth)으로 볼 수 있다. 1번 Line에서 다른 모든 Line으로의 경로를 살펴보면 <그림 3>과 같이 Step(Depth) 3까지 진행됨을 볼 수 있다. 식(1)을 적용하여 1번 Line에서의 TD를 구해보면,  $TD_1 = 1 \times 2 + 2 \times 2 + 3 \times 1 = 9$ 가 된다.

평균 깊이는 다른 모든 공간으로부터 어떤 특정한 공간으로의 이동을 고려했을 때 얼마나 접근하기 어려운가의 정도를 말해준다. 평균 깊이(MD)는 특정한 공간으로부터 모든 공간들로의 깊이(TD)를 측정대상공간을 제외한 나머지 공간의 수(K)로 나누어서 구한다( $MD_i = TD_i / (K-1)$ ). 평균 깊이를 공간의 수와 관계없이 0과 1사이의 값을 가지도록 변환시킨 값을 상대적 비대칭성(RA) 값이라고 한다.

$$RA_i = 2 \times \frac{(MD_i - 1)}{(K - 2)} \quad (2)$$

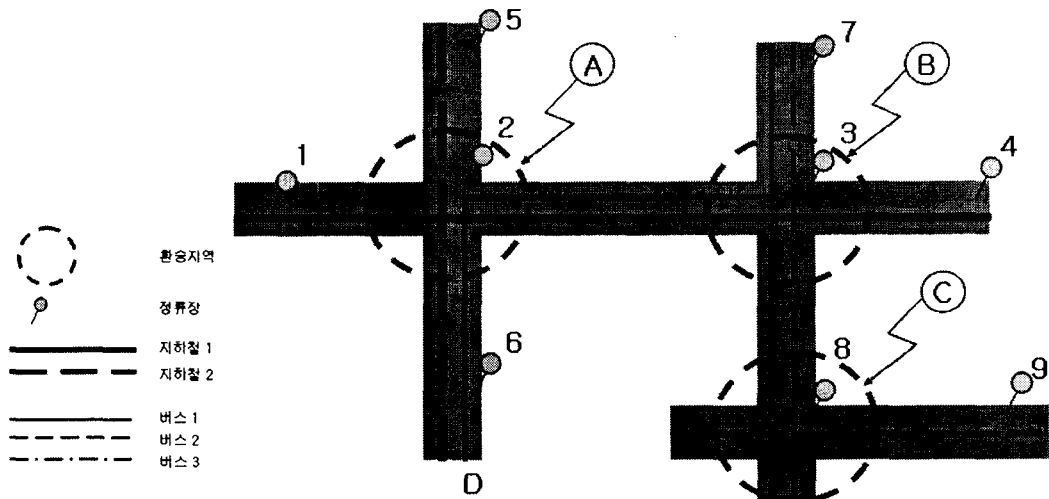
RA<sub>i</sub> : 상대적 비대칭성  
 MD<sub>i</sub> : 공간의 평균 깊이  
 K : 분석대상 공간의 총 개수

보통 RA는 접근성에 반비례함으로 직관적인 수치로 나타내기 위해 RA의 역수를 사용하게 되는데 이를 해당 공간의 Integration이라 한다. 즉, TD와 Integration 값은 반비례의 관계를 갖게 된다. <그림 2>에서의 1번 Line을 Space Syntax이론에 따라 계산한다면, 다음과 같다.

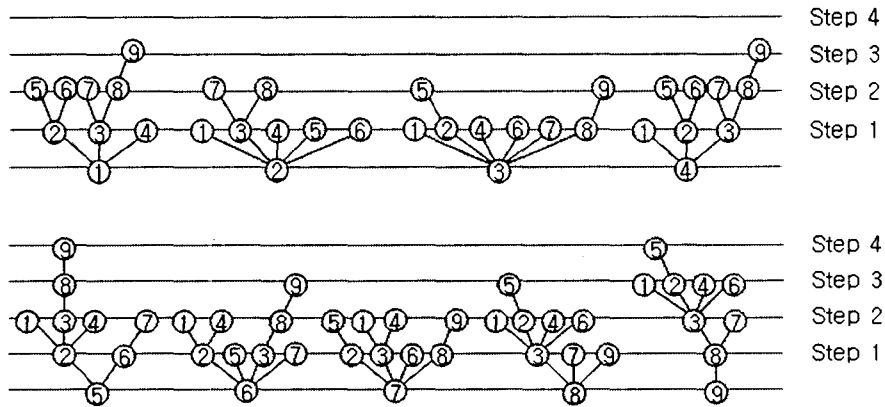
$$\begin{aligned} TD &= \sum(S \times K_s) = 1 \times 2 + 2 \times 2 + 3 \times 1 = 9 \\ MD &= TD / (K-1) = 9 / (6-1) = 9 / 5 = 1.8 \\ RA &= 2(MD-1) / (K-2) = 2(1.8-1) / (6-2) = 0.4 \\ Integration &= 1 / RA = 1/0.4 = 2.5 \end{aligned}$$

#### 4. 대중교통망에서의 적용

보행공간에서의 Axial Line을 대중교통 공간에 적용하면 <그림 2>의 Axial Line은 하나의 정류장으로 볼 수 있으며, 이들의 관계가 <그림 4>에 표현되어 있다. <그림 4>의 1번 정류장에서 2번, 3번, 4번 정류장으로 갈 경우 이들 정류장은 동일한 지하철1 노선 상에 있기 때문에 환승이 필요 없다. 하지만 5번과 6번 정류장으로 가기 위해서는 같은 노선 상에 있지 않기 때문에 A지역에서의 환승이 필요하다. 마찬가지로 7번과 8번 정류장으로 가기 위해서는 B지역에서의 환승이 필요하고, 9번 정류장으로 가려면 B지역에서 환승한 다음 다시 C지역에서 환승해야 한다. Space Syntax 이론을 따르면 '공간적인 전이'가 발생한 것이라고 볼 수 있으며 환승이 하나의 Step(Depth)이 되는 것이다. 이동시에는 직접 연결되는 노선이 존재하기 때문에 환승이 필요하지 않게 되고 따라서 '공간적인 전이'가 발생하지 않는다. 각각의 정류장에서 다른 모든 정류장으로의 경로를 살펴보면 <그림 5>와 같이 표현된다. 즉, 버스 네트워크에서는 시점에서 종점까지의 연결 노선과 환승지에 대한 고려가 동시에 필요하다.



<그림 4> 정류장과 환승지를 포함한 대중교통 노선 네트워크



<그림 5> 정류장별 Depth Graph

<그림 5>의 결과를 바탕으로 Integration의 값을 구하는 과정이 <표 1>에 정리되어 있다.

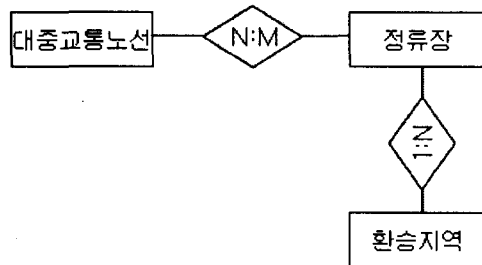
<표 1> Integration 값의 산출 예

정류장번호	TD	MD	RD	Integration
1	$1 \times 3 + 2 \times 4 + 3 \times 1 = 14$	1.750	0.214	4.673
2	$1 \times 5 + 2 \times 2 = 9$	1.125	0.036	27.778
3	$1 \times 6 + 2 \times 2 = 10$	1.250	0.071	14.085
4	$1 \times 3 + 2 \times 4 + 3 \times 1 = 14$	1.750	0.214	4.673
5	$1 \times 2 + 2 \times 4 + 3 \times 1 + 4 \times 1 = 17$	2.125	0.321	3.115
6	$1 \times 4 + 2 \times 3 + 3 \times 1 = 13$	1.625	0.179	5.587
7	$1 \times 4 + 2 \times 4 = 12$	1.500	0.143	6.993
8	$1 \times 3 + 2 \times 4 + 3 \times 1 = 13$	1.625	0.179	5.587
9	$1 \times 1 + 2 \times 2 + 3 \times 4 + 4 \times 1 = 21$	2.625	0.464	2.155

<표 1>의 결과에서 Integration 값을 보면 2번과 3번 정류장의 Integration 값이 가장 큰 것을 알 수 있다. <그림 5>에서도 2번과 3번 정류장에서 다른 정류장으로의 접근성이 가장 좋다는 것을 쉽게 판단할 수 있다. 그에 반해 9번 정류장에서 다른 정류장으로의 접근성은 낮게 산출된다. 이와 같은 방법을 실제 대중교통 네트워크에 적용한다면 도시 전체의 각 지역마다 대중교통노선에 의해 접근성이 얼마나 좋은지 정량적으로 표현할 수 있다.

## 5. 구현방안

대중교통노선과 정류장, 환승지역의 관계를 보면, 하나의 노선은 여러 개의 정류장을 포함할 수 있고, 마찬가지로 하나의 정류장은 여러 개의 노선이 공유할 수 있다. 또한 하나의 환승지역은 그들의 환승여부와 인접성에 따라 한 개 이상의 정류장을 포함할 수 있다. 이러한 관계를 개체관계도(Entity Relation Diagram : ERD)로 표현하면 <그림 6>과 같다.



<그림 6> ERD Modeling

<그림 6>에서 1번 정류장의 Total Depth를 구하는 예를 본다면, 먼저 대중교통노선 Table에서 1번 정류장이 속한 노선을 알아내고, 그 각각의 노선에서 1번 정류장을 제외한 다른 정류장들을 Step1에 위치시키고, 이들 정류장 중에 환승지역에 속하는 정류장이 있는지 본다. 만약 환승지역에 속하는 정류장이 있다면 그 정류장 값을 새로운 값으로 가지고 해당 값이 속한 대중교통노선을 찾는다. 그런 다음 다시 그 각각의 노선에서 해당 값이 아닌 다른 정류장들이 있으면 Step2에 위치시키고, 이들 정류장들 중 환승지역에 속하는 정류장이 있는지 본다. 모든 정류장이 포함될 때까지 이상의 작업을 반복하면 Depth값을 구할 수 있다. 이를 의사코드(Pseudo Code)로 나타내면 다음과 같다.

1. 모든 n개의 정류장에 대해
  - 1.1 현재 정류장 *i*가 속한 모든 노선에 대해
    - 1.1.1 Step = 1
    - 1.1.2 자신을 제외한 정류장을 찾고, TD를 누적
    - 1.1.3 환승지역을 찾고, 각 환승지역에 대해
      - 1.1.3.1 환승지역에 속한 정류장들을 찾음
      - 1.1.3.2 각 정류장별로 (산정에 포함된 노선을 제외한) 연결 노선에 대해 Step++하고 1.1.2로 감
2. 접근성을 구함

## 6. 결론

대중교통노선 선정을 위한 적절한 분석기법에 관한 연구가 현재까지 미흡했다고 할 수 있다. 모든 대중교통 노선을 고려하여 전체 네트워크에서의 접근성을 산출하기 위해 본 연구에서는 Space Syntax 기법을 수정하여 적용해 보았다. 간단한 가상의 네트워크를 이용하여 분석해 본 결과 정류장의 접근성 정도가 실제와 부합하여 적절히 산출되는 것을 알 수 있었다. 이 방법론을 도시 전체의 실제 대중교통망의 접근성 분석에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 현재의 알고리즘을 그대로 적용하기는 어렵겠지만 여러 가지 결정요소들 즉, 지상교통수단인 경우 차량의 이동속도, 환승지역에서의 이동시간, 환승지역에서의 대기시간, 도보이동거리 등의 요소가 고려될 경우 보다 현실적인 방법들이 될 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 강성래 (2002), 공간구문론에 의한 가로배치형태와 상업분포패턴의 상관성 연구 :창원시 단독주택지를 중심으로, 석사학위논문, 경상대학교 대학원
- 김성희 (2002), 주거지에서 대중교통수단으로의 보행접근성이 대중교통이용에 미치는 영향, 석사학위논문, 서울대학교 대학원
- 김영욱 (2003) Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구, 대한민국토·도시계획학회지 「국토계획」, 제38권, 제4호
- 안병훈 (2000) 시내버스 노선조정체계의 합리화 방안에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교 교통대학원
- 임승용 (2003), 첨단대중교통시스템(APTS)을 위한 환승경로 결정 알고리즘 연구, 석사학위논문, 성균관대학교 대학원
- 임현식, (2003), Space Syntax를 활용한 보행공간체계 분석에 관한 연구: 서울시 시청주변의 보행환경을 중심으로, 석사학위논문, 세종대학교 대학원
- 조용진 (2000), 공간구문론(Space Syntax Theory)을 활용한 보행공간체계 분석에 관한 연구 :서울시 도심부(명동지구)를 중심으로, 석사학위논문, 홍익대학교 대학원
- 황윤철 (2000), 중부산간마을의 공간적 특성에 관한 연구 :충북 영동의 마을을 중심으로, 석사학위논문, 한양대학교 대학원
- 황재영 (2000), 1990년대 이후 한국 중정형 주택의 형태와 공간구성에 관한 유형분석 연구, 석사학위논문, 홍익대학교 대학원
- Hiller, B · Penn, A · Hanson, J · Grajewski, T · Xu , J (1993), "National Movement: Or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement". *Environment and Planning B: Planning and Design* 20 : 29-66
- Hillier, Bill. (1996), *Space is the Machine*, Cambridge University Press.
- Penn, A et al(1998). "Configuration Modeling of Urban Movement Networks", *Environment and Planning B: Planning and Design* 25: 59-84