

연구논문

Space Syntax 기법의 대중교통망 적용 방안에 관한 연구 Applying the Space Syntax Technique to the Network of Public Transportation

전철민*

Chulmin Jun

요 旨

대도시의 도심 정체나 대중교통 장려책과 같은 요소로 인해 대중교통에 대한 관심과 이용도가 증가하고 있다. 그러나 노선의 설계나 배분에 관한 연구가 미흡하고 적절한 정량적인 방법론이 구축되어 있지 않기 때문에 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 Syntax 이론은 도시공간이나 건축공간의 접근성을 공간의 기하학적인 연결구조에 기반하여 정량적으로 산출하는데 사용되는 이론이다. 본 연구는 Space Syntax 이론을 대중교통 문제에 효과적으로 적용하기 위해 알고리즘을 수정하였으며, GIS를 이용하여 간략한 가상의 네트워크를 구축한 후 이를 적용하는 과정을 제시하였다.

핵심어 : Space Syntax, GIS, 대중교통, 접근성, 환승

Abstract

Due to the traffic congestion of the city and public transportation-oriented policies in large cities, public transportation is receiving 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, thus, differences in time, expenses and mental burden of users traveling the same distances. On the other hand, the Space Syntax theory, originally designed to calculate the connectivity of urban or architectural spaces, 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 transportation network by creating an artificial GIS network.

Keywords : Space Syntax, GIS, public transportation, connectivity, transfer

1. 서 론

최근 들어 도심 정체나 대중교통 장려책과 같은 요소로 인해 대중교통의 이용도가 지속적으로 상승하고 있다. 그럼에도 불구하고 적절치 못한 노선 설계와 운영의 결과로써 노선공급의 과잉 또는 부족의 현상을 일으키고 있다. 이로써 도시 각 구역에서는 정류장마다 접근성에 있어서 차이를 보임으로 인하여, 어떤 정류장은 도시 각 구역으로 쉽게 갈 수 있는가 하면, 어떤 경우에는 이동하기 위해서 상대적으로 더 많은 수고와 시간 및 비용을 들일 수밖에 없는 양상이 발생한다.

한편 Space Syntax는 공간 상호간의 접근성(Connectivity) 또는 통합도(Integration)를 구하는 데에 사용되어 온 기법이다. 본 이론은 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, 김영욱 2001, 2003, 류상규 2003). 최근에는 Space Syntax 이론을 GIS 공간데이터에 적용하여 접근성의 산출과정을 자동화시키는 연구도 시도되고 있으나(Jiang 1999, 2002), 아직까지 교통문제 분석에 현실적으로 적용된 사례는 찾아보기 어렵다. 이는 Space Syntax 이론이 네트워크가

2004년 6월 5일 접수, 2004년 6월 20일 채택

* 서울시립대학교 지적정보학과 부교수 (cmjun@uos.ac.kr)

아닌, 건축이나 보행공간 상호간의 위상적 구조에 기반하고 있으며, 교통네트워크에서는 회전문제, 방향문제, 신호처리 문제 등 각종 제약 요소들로 인해 직접적으로 적용이 어렵기 때문이다. 그러나 대중교통에 적용할 경우에 Space Syntax 이론의 공간의 전이단계와 접근성간의 관계는, 대중교통의 환승에 근거한 이동의 용이성으로 해석해 볼 수 있다. 따라서 대중교통망에 본 이론을 적용하여 정류장마다 타 지역으로의 접근성을 산출할 경우, 도시 각 구역마다 대중교통에 의한 접근성 또는 편의성의 차이를 정량적으로 표현할 수 있게 된다. 본 연구에서는 Space Syntax 이론을 GIS로 구축된 대중교통망에 적용하여 접근성을 산출하는 방안을 제시하였다.

2. Space Syntax

Space Syntax는 런던의 Bill Hillier와 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 것으로, 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. 접근성을 보여주는 예로서 60년대 서울의 접근성을 나타낸 그림 1과 최근의 서울의 접근성을 나타낸 그림 2를 보면, 60년대에는 종로

일대가 높은 값을 가졌지만, 현재는 강남지역 또한 타 지역으로의 접근성이 높아졌음을 알 수 있다. 이와 같이 Space Syntax를 이용하면 공간적인 접근성을 정량적으로 제시할 수 있으며, 이를 시각적으로 표현할 수 있게 된다.

Space Syntax의 계산과정에 있어서 가장 기본이 되는 것은 Axial Line과 Total Depth 값이다. Axial Line은 모든 공간을 직선으로 연결하였을 때, 최대 길이와 최소 개수로 구성되는 직선들을 의미한다. 넓이와 굴곡을 가진 보행공간의 경우 Axial Line을 그려서 나타내면 그림 3과 같이 표현할 수 있다. TD(Total Depth)는 한 특정한 공간으로부터 다른 모든 공간으로의 깊이의 합을 말하며 다음과 같이 표현된다.

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

여기서 TD_i : 공간 i의 Total Depth

S : 공간 i에서부터 거치게 되는 단계의 수

m : 공간 i에서 가장 깊은 공간까지 거치게 되는 단계의 수

K_s : S단계에서의 공간의 개수

공간의 깊이(Depth)는 특정 공간에서 다른 공간으로 이동할 때 거치게 되는 최소한의 공간의 수를 의미하므로 인접한 공간간의 깊이는 1이 된다. 그림 3의 1번 Line의 경우 2번과 3번 Line으로 가기 위해서는 한 번의 공간적인 전환이 필요하게 되고, 4번과 5번 Line으로 가기 위해서는 두 번의 전환이 필요하며, 1번 Line에서 6번 Line으로 가기 위해서는 세 번의 전환이 필요하게 된다. 이러한 공간적인 전환을 하나의 Step(Depth)으로 볼 수

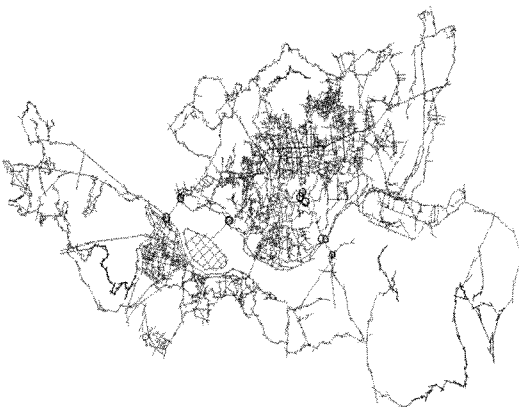


그림 1. 60년대 서울의 접근성 분석



그림 2. 현재 서울의 접근성 분석

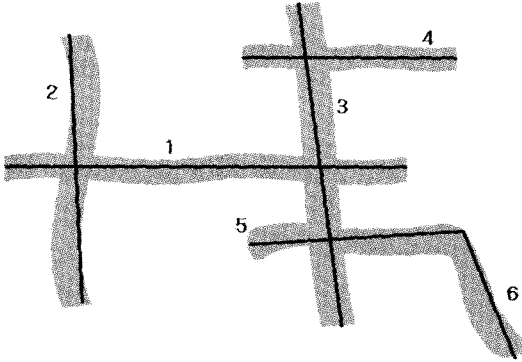


그림 3. 보행 공간과 Axial Line의 표현

보통 RA는 접근성에 반비례하므로 직관적인 수치로 나타내기 위해 RA의 역수를 사용하게 되는데 이를 해당 공간의 Integration이라 한다. 즉, TD와 Integration 값은 반비례의 관계를 갖게 된다. 그림 3에서의 1번 Line을 Space Syntax 이론에 따라 계산한다면, 다음과 같다.

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

3. 대중교통망에서의 적용

보행공간에서의 Axial Line을 대중교통 공간에 적용하면 그림 3의 Axial Line은 하나의 정류장으로 볼 수 있으며, 이들의 관계가 그림 5에 표현되어 있다. 그림 5의 1번 정류장에서 2번, 3번, 4번 정류장으로 갈 경우, 이들 정류장은 동일한 지하철 1호선 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 발생했 것이라고 볼 수 있으며 환승이 하나의 Step(Depth)이 되는 것이다. 그림 5의 7번 정류장에서 6번 정류장으로 이동시 Space Syntax 이론의 공간상에서는 ‘전이’가 발생하지만 직접 접근이 가능한 버스 노선이 있으므로 대중교통 Network에서는 ‘공간적인 전이’가 발생하지 않은 것으로 본다. 즉, 대중교통 Network에 적용할 때에는 시점에서 종점까지의 연결 노선과 환승지에 대한 고려가 필요해진다. 각각의 정류장에서 다른 모든 정류장으로의 경로를 살펴보면 그림 6과 같이 Step(Depth) 4까지 진행됨을 볼 수 있다. 시점이 되는 정류장을 제외한 동일한 노선 상에 존재하고 있는 정류장들은 환승이 발생하지 않았더라도 시점이 되는 정류장과 같은 레벨에 존재한다고 보지 않는다. 즉, 시점에서 한 번 이동했으므로 Step(Depth) 1이 된다.

그림 6의 결과를 바탕으로 Integration 값을 산출하는 과정을 정리하면 표 1과 같다.

표 1의 결과에서 Integration 값을 보면 2번과 3번 정류장의 Integration 값이 가장 큰 것을 알 수 있다. 그림 6에서도 2번과 3번 정류장에서 다른 정류장으로의 접근성이 가장 좋다는 것을 쉽게 판단할 수 있다. 그에 반해 9번 정류장에서 다른 정류장으로의 접근성은 낮게 산출

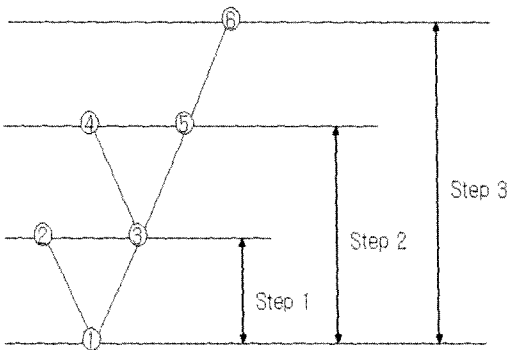


그림 4. ①번 공간에서의 Depth의 표현

있다. 1번 Line에서 다른 모든 Line으로의 경로를 살펴 보면 그림 4와 같이 Step(Depth) 3까지 진행됨을 볼 수 있다. 식 (1)을 적용하여 1번 Line에서의 TD를 구해 보면, $TD_1 = 1 \times 2 + 2 \times 2 + 3 \times 1 = 9$ 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 1 사이의 값을 가지도록 변환시킨 값을 상대적 비대칭성(RA) 값이라고 한다.

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

- 여기서 RA_i : 상대적 비대칭성
- MD_i : 공간의 평균 깊이
- K : 분석대상 공간의 총 개수

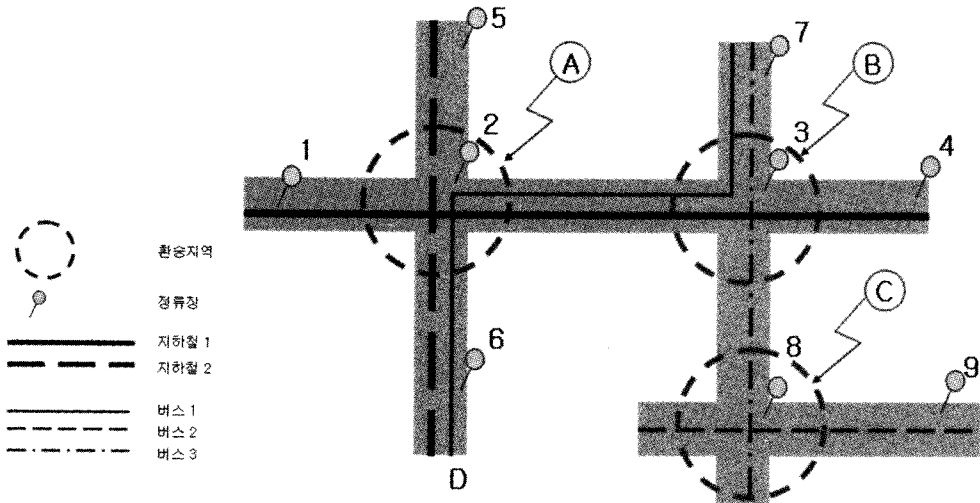


그림 5. 정류장과 환승지를 포함한 대중교통 노선 네트워크

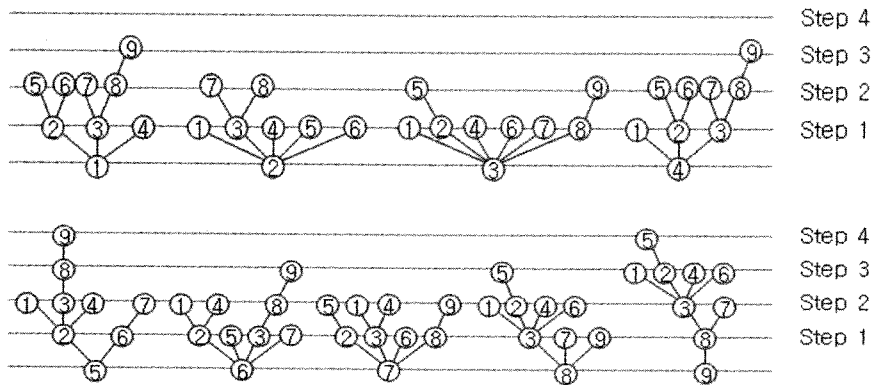


그림 6. 정류장별 Depth Graph

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

된다. 이와 같은 방법을 실제 대중교통 네트워크에 적용한다면 도시 전체의 각 지역마다 대중교통노선에 의해 접근성이 얼마나 좋은지 정량적으로 표현할 수 있다.

4. 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. 그 관계를 개체관계도(Entity Relationship Diagram : ERD)로 표현하면 그림 7과 같다.

그림 7에 근거하여 1번 정류장의 Total Depth를 구하는 예를 들어 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 반

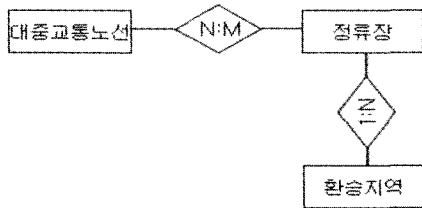


그림 7. 대중교통 네트워크의 ERD Modeling

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 모든 n개의 정류장에 대해 <ol style="list-style-type: none"> 1.1 현재 정류장 i가 속한 모든 노선에 대해 <ol style="list-style-type: none"> 1.1.1 Step=1 1.1.2 자신을 제외한 정류장을 찾고, TD를 누적 1.1.3 환승지역을 찾고, 각 환승지역에 대해 <ol style="list-style-type: none"> 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 |
|--|

그림 8. 대중교통 네트워크에서 Depth 값을 구하기 위한 의사코드

복하면 Depth값을 구할 수 있다. 이를 의사코드(Pseudo Code)로 나타내면 그림 8과 같다.

5. 결 론

대중교통노선 선정을 위한 적절한 분석기법에 관한 연구가 현재까지는 미흡했다고 할 수 있다. 대중교통 노선에 기반하여 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 대중교통망에 적용할 수 있을 것으로 판단되나, 보다 현실적인 방법으로 개선하기 위해서는 차량의 이동 속도, 환승지역에서의 이동시간, 환승지에서의 대기시간, 도보이동거리 등을 고려하여야 할 것이다. 이와 같은 팩터들을 반영하여 방법론을 보정하고 자동화하는 연구를 현재 진행 중이다. 이와 같이 캘리브레이션이 적절히 이루어질 경우, 대중교통의 설계 및 분석 뿐 아니라 토지 이용이나 부지 선정과 같은 계획부문에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김영욱, 2001, "공간구문론을 활용한 도시설계의 객관화", 2001 한국도시계획학회 춘계학술대회, pp. 1-7.
2. 김영욱, 2003, "Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구", 대한국토·도시계획학회지, 제 38권, 제4호, pp. 7-17.
3. 류상규, 2003, "캠퍼스내의 보행공간 확보 방안에 관한 연구", 대한국토·도시계획학회지, 제38권, 제6호, pp. 99-111.
4. Bafna, S., 2003, "Space Syntax: A brief introduction to its logic and analytical techniques", Environment and Behavior, Vol. 35, No. 1, pp. 17-29.
5. Hillier, B., 1984, The Social Logic of Space, Cambridge University Press.
6. Hillier, B., 1996, Space is the Machine, Cambridge University Press.
7. 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.
8. 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.
9. Penn, A., B. Hillier, D. Banister and J. Xu, 1998, "Configurational modeling of urban movement networks", Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 25, pp. 59-84.