

GIS 기반 Space Syntax를 이용한 대중교통 접근성[†]

Public Transport Network Connectivity using GIS-based Space Syntax

전 철 민* / Chulmin Jun

요약

교통체증을 줄이고 접근성을 높이기 위해 국내 대도시들은 대중교통 위주의 정책에 중점을 두고 있다. 대중교통망을 개선하기 위해서는 적절한 접근성의 분석방법이 필요하게 된다. 기존의 접근성에 관한 연구들은 대부분 존(zone) 레벨에서 이루어진데 비해 본 연구에서는 버스루트나 정류장과 같이 세부레벨에서의 대안적인 접근성측정 방법을 제시한다. 시종점 경로를 구성하는 수단들의 최적의 조합을 산출하고 이들의 접근성을 토폴로지에 기반한 방법으로 측정한다. 시종점루트와 최적조합을 산출하는데에는 GA(유전자알고리즘)가 사용되었으며, 접근성 산출에는 space syntax 이론이 적용되었다. 본 연구에서는 일반적으로 수작업으로 그려지는 space syntax의 axial line 대신 GIS의 node-link 데이터를 사용하였다. 최종적으로 산출된 접근성은 O-D 데이터를 이용하여 캘리브레이션하였으며, 서울 강남지역에 적용하여 예시하였다.

Abstract

The local governments of major cities in Korea are giving focus on public transportation to reduce congestion and improve accessibility in city areas. In this regards, the proper measurement of accessibility is now a key policy requirement for reorganizing the public transport network. Public transport routing problems, however, are considered to be highly complicated since a multi-mode travel generates different combinations of accessibility. While most of the previous research efforts on measuring transport accessibility are found at zone-levels, an alternative approach at a finer scale such as bus links and stops is presented in this study. We proposes a method to compute the optimal route choice of origin-destination pairs and measure the accessibility of the chosen modes combination based on topological configuration. The genetic algorithm is used for the computation of the journey paths, whereas the space syntax theory is used for the accessibility. This study used node-link data in GIS instead of axial lines which are manually drawn in space syntax. The resulting accessibilities of bus stops are calibrated by O-D survey data and the proposed process is tested on a CBD of Seoul.

주요어 : 대중교통, 접근성, GIS, 유전자알고리즘, space syntax

Keyword : public transport, accessibility, GIS, GA, space syntax

† 본 논문은 2005년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

■ 논문접수 : 2007.6.11 ■ 심사완료 : 2007.10.24

* 교신저자 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수(cmjun@uos.ac.kr)

1. 서론

접근성에 관한 이론은 대체로 존(zone) 기반과 개별(individual) 기반의 두 가지로 구분된다 (e.g., Hanson 2004, Miller 1999, and Kwan 1998). 존 기반은 존간의 접근성을 측정하는데 반해 개별 기반은 통행시간이나 수단과 같이 보다 세밀한 특성에 의한 통행패턴에 기반을 둔다 (Berglund 2001). 그러나 접근성을 '기회들에 대한 접근의 용이성' (Harris 2001)으로 정의한다면, 이 둘은 단지 스케일의 문제일 뿐 동일한 개념이 되며 (Litman 2003), 일반적으로 다음과 같이 정의된다.

$$A_i = \sum_j O_j d_{ij}^{-1} \quad (1)$$

여기에서 A_i 는 사람 i (개별 기반인 경우) 또는 존 i (존 기반인 경우)의 접근성을 의미하고, O_j 는 거리 j (개별 기반) 또는 존 j (존 기반)에 있는 기회들, 그리고 d_{ij} 는 i 와 j 사이의 거리를 의미한다 (Hanson 2004). 이 식에서는 스케일에 상관없이 항상 두 가지 요소가 존재하는데, 일정 거리에 떨어져 있는 기회들과 거리, 또는 광범위하게 보면 교통시간이다 (Berglund 2001, Geertman and Van Eck 1995). 하지만 두 개의 버스정류장 사이와 같이 세밀한 단계에서 접근성이 측정된다면, (양 측에는 하나의 버스정류장만 있으므로) 기회의 개수를 세는 것은 무의미해진다. 또한 자가운전자의 이동과는 달리 대중교통에서는 거리나 교통시간 이외에 환승의 개념이 교통비용으로 추가되어야 한다.

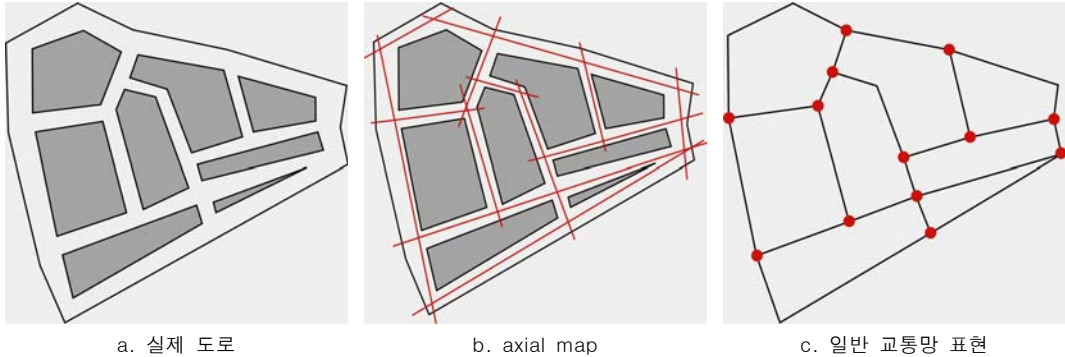
본 연구에서는 대중교통의 개별적 경로기반의 접근성을 측정하는 방법의 하나를 제시한다. 기본적인 개념은, 더 많은 환승이 발생할수록 이동성, 또는 접근성이 어렵거나 '깊어'지며, 그 지역으로의 접근이 불리해진다는 것에 있다. 본 연구에서는 space syntax란 이론에서 도출한, '깊이 기반(depth-based)'의 개념을 사용하였다. Space syntax는 도시공간이나 건축공간에서의 접근성을 측정하는데 사용되어온 이론이다 (Hillier 1996). 중심 이

론은, 공간구조를 '축선(axial lines)'을 이용하여 구성하고, 깊이(depth)에 기반하여 한 공간이 다른 공간들과 갖는 관계를 측정한다는 것이다. 결과로 주어지는 인덱스는, 주어진 공간내에서 '특정 공간의 다른 공간들에 대한 집적도(integration)'로서 표현된다. Space syntax는 본래 교통망에 적용되는 이론은 아니지만, 집적도의 산출과정과 대중교통의 연결성과는 유사성이 있음을 발견할 수 있는데, 이는 space syntax의 공간간의 관계나 대중교통의 환승은 모두 단계적으로 깊어지는 공간의 전이(hierarchical transitions between spaces)라고 볼 수 있기 때문이다. 실내공간간의 전이는 대중교통에서 환승으로 대응시킬 수 있으며, 이 때는 두 개의 서로 다른 루트의 연결이 된다. 본 연구에서는 이와 같은 유사성에 기반하여, 대중교통의 접근성을 측정하는데 있어서 물리적인 거리가 아닌, 위상 구조에 근거하여 측정하는 방법을 제시한다.

본 연구에서는 우선 space syntax 이론을 간략하게 살펴본 후, GIS의 node-link 기반의 데이터를 이용하여 대중교통에 어떻게 적용되는지에 대해 기술하였다. 그리고 본 방법론을 서울 강남구 일대에 적용하여 예시하였으며 여기에는 버스와 지하철을 포함한 GIS 데이터를 이용하였다. 예시에서는 단순히 깊이 기반(depth-based)의 접근성과 O-D 통행량을 이용하여 보정하여 산출한 결과를 비교하였다. 마지막으로 환승 이외의 통행비용을 추가하는 방안을 논의하였다.

2. Space Syntax의 위계적인 네트워크 표현

Space syntax에서 주어진 연속된 공간(그림 1-a)을 이산된 공간단위로 바꿀 때 컨벡스(convex) 공간으로 분할하게 되는데, 이 때는 '가장 적은 수의 가장 큰 공간'들로 이루어진다. 그리고 이러한 컨벡스 공간을 지나는 가장 긴 직선들을 추출하게 되는데 이를 축선 또는 axial line이라고 한다 (그림 1-b). 일반적으로 교통망을 그래프로 나타낼 때는 도로 중심선을 연결하는 직선을 링크(link)나 엣지(edge)로, 교차로를 노드(node)로 표현하지만



<그림 1> 도로 네트워크 표현의 비교

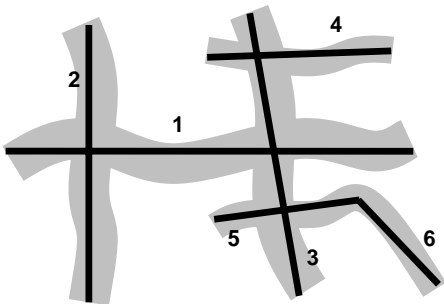
(그림 1-c), space syntax에서 axial line을 이용하여 공간을 나타낼 때는 반대로, axial line들을 node로, axial line의 교차 지점을 엣지(edge)로 표현한다. Space syntax에서는 공간의 전이를 ‘깊이(depth)’라는 변수를 이용하여 표현하며, 경로의 꺾임에 의해 깊이가 달라진다 (Bafna 2003). 경로상의 실제 이동 거리나 이동시간과 같은 비용은 중요한 요소로 간주되지 않는다.

<그림 2>는 도로 네트워크가 몇 개의 분할된 axial line들을 이용하여 위계적으로 구성된 모습을 보여준다. 2번선은 1번에서 한번의 회전에 의해 접근이 가능하지만 4번선에 접근하기 위해서는 두 번의 회전이 필요하다. 이때 2번이나 3번선은 1번선에 대해 동일한 꺾임을 가졌기에 symmetrical하다고 하며 4번선은 asymmetrical하다고 한다. 이러한 위계적인 구조를 노드(axial lines)와 링크(axial

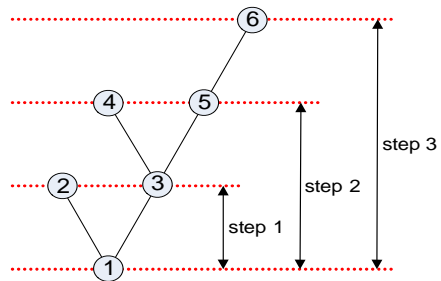
line간의 꺾임)를 이용하여 표현하면 <그림 3>과 같이 나타낼 수 있다.

하나의 노드에서 다른 노드까지의 깊이(depth)는 이 두 노드간의 회전(꺾임)을 세는 것으로 계산될 수 있으며 두 노드간의 깊이가 클수록 위계적인 단계의 차이가 커진다. 특정 단계에 있는 노드들까지의 깊이는 (단계의 수) × (해당 단계에 있는 노드 수)로 정의된다. 예를 들어, 1번 노드(1번 axial line)와 인접한(1단계의) 노드들까지의 깊이는 1 (단계) × 2 (노드수) = 2가 되며, 2단계에 있는 노드들의 깊이는 2 × 2 = 4가 된다. 따라서 특정 노드의 총 깊이(total depth)는 다음과 같이 각 단계의 깊이를 더함으로써 산출된다.

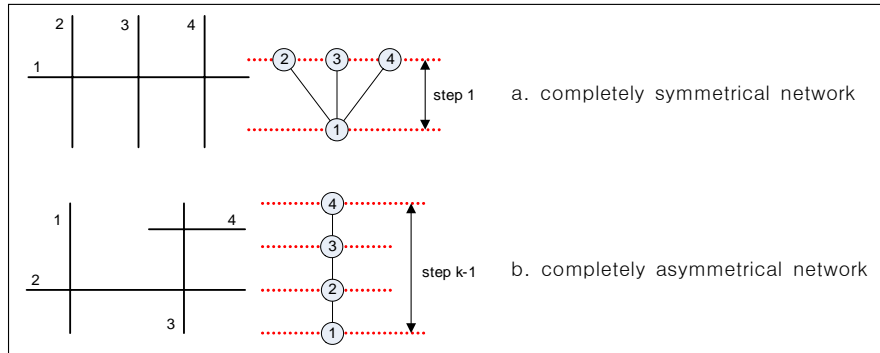
$$TD_i = \sum_s^m s \times N_s \tag{2}$$



<그림 2> Space syntax에서의 네트워크



<그림 3> 도로1의 위계적인 표현



〈그림 4〉 두가지 상반된 도로 레이아웃에서의 깊이의 비교

이 때, TD_i 는 노드 i 의 total depth, s_n 는 i 노드로부터의 단계수, m 은 i 로 부터의 최대 단계수, N_s 는 단계 s 에 존재하는 노드의 개수이다. 또한 평균 깊이(Mean depth, MD)는 TD 를 $k - 1$ (k 는 graph의 총 노드수)로 나눈 값이다 (Hillier 1996).

〈그림 4〉는 동일한 개수의 노드로 구성된 네트워크의 두 가지 양 극단의 상반된 구성을 보여준다. 'a'는 1번 노드로부터 모두 인접한 노드들로부터 구성된 경우이고, 'b'는 1번에서 4번 노드까지 최대 개수의 단계를 갖는 경우이다. 'a'는 완전 symmetrical한 경우($MD_i = 1$)이고, 'b'는 완전 asymmetrical한 경우($MD_i = k/2$)라 할 수 있다. 따라서 특정 노드의 MD 는 이 두 값 사이에 존재하며 ($1 \leq MD \leq k/2$) 식 (3)과 같이 정규화 될 수 있다.

$$0 \leq ND_i := \frac{2(MD_i - 1)}{k - 2} \leq 1 \quad (3)$$

이렇게 되면 노드 수에 관계없이 모든 네트워크를 0과 1사이의 값을 갖는 normalized depth (ND)를 이용하여 표현할 수 있어서 서로 다른 네트워크에서의 depth의 비교가 가능해진다. Space syntax에서는 보통 이의 역수를 이용해서 직관적인 느낌을 주도록 하고 있고, 이를 Integration value(I)라고 칭한다.¹⁾ 즉, 깊이가 커질수록 더 공간으로의 집

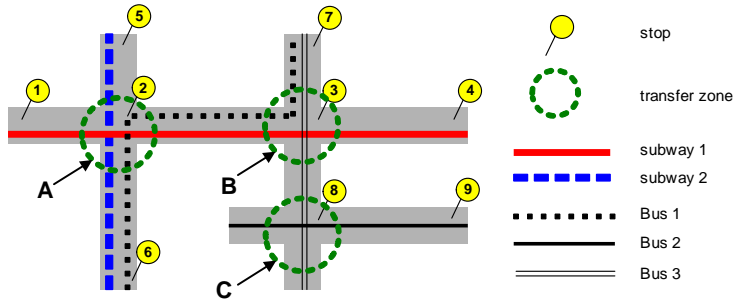
적도 또는 접근성이 높은 공간이라고 할 수 있다.

3. GIS node-link를 이용한 대중교통 문제에서의 적용

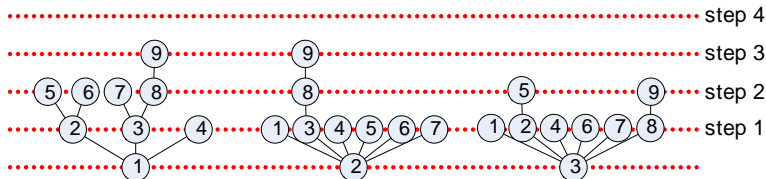
Space syntax의 위계적인 네트워크 구성과 접근성 산출방법은 대중교통망의 분석에도 적용시킬 수 있다. 대중교통에서는 다른 수단간의 환승이 수반되므로 space syntax의 공간간의 전이를 수단간 환승으로 맵핑시켜 볼 수 있다. 대중교통에서는 환승수가 증가할수록 대체로 비용이 증가한다. 이 때의 비용은 직접적으로는 총 환승수 및 시간, 금전적 총 비용이지만, 환승시 이동 및 대기에 수반되는 통행자의 심적 부담 등도 포함될 수 있다. 이전 절에서 소개된 노드와 링크를 이용한 표현을 사용한다면, 〈그림 2〉의 노드는 버스나 지하철의 정류장으로 보고 노드간 링크는 수단간의 환승으로 대응시킬 수 있다. 대중교통망은 〈그림 5〉와 같이 표현되며, 이들간의 위계적인 연결 관계가 〈그림 6〉과 같이 나타내어 질 수 있다.

통행자가 1번 정류장에서 2, 3 또는 4번 정류장으로 이동 시에는 동일 루트상에 이들 정류장들이 존재하므로 환승이 필요하지 않다. 하지만 1번 정류장에서 5번이나 6번 정류장으로 가고자 할 때는 'A' 환승구역에서 환승을 한번 해야 한다. 마찬가지로

1) 엄밀히는 네트워크의 크기에 의한 효과를 보정해 주는 계수를 곱한 값이나 여기에서는 단순 역수만을 사용함. 자세한 사항은 Hillier and Hanson(1984)의 pp.108-113 참고바람.



<그림 5> 대중교통망의 예



<그림 6> 정류장의 위계적인 관계의 예 (stops 1, 2 and 3)

지로, 7번이나 8번으로 이동할 때에도 'B' 환승구역에서 환승을 해야 하며, 목적지가 9번 정류장일 때에는 'B'와 'C'에서의 환승, 즉, 두 번의 환승이 필요하게 된다. 하나의 수단에서 다른 수단으로의 환승은 space syntax에서의 '공간적 전이'라고 볼 수 있으며 한 단계의 깊이(depth)가 된다. 만약 <그림 5>의 사례가 자가운전자나 보행자의 네트워크 이라면 6번 정류장에서 7번 정류장으로 이동시에 두번의 굴절이 필요하며, 서로 두 단계의 깊이(two depths)만큼 서로 떨어져 있게 된다. 하지만 정해진 루트상을 움직이는 대중교통망에서는 도로 형태의 회전, 또는 굴절보다는 두 지점간을 연결하는 직접적인 루트의 존재 여부로 깊이가 정해진다. 그러므로 6번과 7번 정류장의 경우에는 두 지점을 직접 연결하는 루트가 존재하므로 환승이 필요 없게 된다.

<그림 6>과 같은 그래프를 산출하는 과정은 반복적으로 이루어지게 된다. 특정 정류장에서 시작하여 환승이 필요 없는 인접 정류장들을 찾고, 다시 이들 각각의 정류장에서의 인접 정류장을 찾아서 결국 전체 정류장들이 포함될 때까지 진행된다. 그

런 다음에는 <표 1>에서 예시된 바와 같이 TD, MD 그리고 ND를 산출한다. 전술한 바와 같이 직관적인 느낌을 주기 위해 ND의 역수도 산출한다. 우리가 쉽게 예상할 수 있듯이 3번 정류장이 14.0으로 가장 접근성이 높게 나왔으며, 다음으로는 2번 정류장의 값이 9.33으로 산출되었다. 7번 정류장이 세번째로 높게 나온 것은 주목할 만한데, 이는 7번 정류장을 지나는 노선이 'A', 'B' 환승구역을 지나기 때문이다.

<표 1> 그림 5의 각 정류장의 접근성 산출결과

Stop No.	TD_i	MD_i	ND_i	$I(ND_i^{-1})$
1	14	1.750	0.214	4.67
2	11	1.375	0.107	9.33
3	10	1.250	0.071	14.00
4	14	1.750	0.214	4.67
5	17	2.125	0.321	3.11
6	13	1.625	0.179	5.60
7	12	1.500	0.143	7.00
8	14	1.750	0.214	4.67
9	21	2.625	0.464	2.15

<그림 1>에서 소개된 바와 같이 Space syntax는 상대적으로 소규모의 공간에서 적용되어온 이론이며, 수작업에 의해서 시선축 또는 axial-line으로 공간을 구성하는 과정이 수반된다. 이는 node-link 기반의 GIS 데이터 구조와는 다르나, 도시 규모의 교통망의 경우에는 시선축 보다는 도로중심선을 이용하는 것이 타당하며, 데이터 구축의 측면에서 볼 때에도 기존의 GIS 데이터를 이용하는 것이 효율적이다. 단, Space syntax의 axial line을 GIS 데이터에 적용하기 위해, 본 연구에서는 동일 축선에 해당하는 링크들에 대해서 동일한 인덱스를 부여하는 방법으로 axial map과 유사하도록 하였다.

4. 적용 사례

본 절에서는 현재까지 소개한 방법론을 서울시의 강남구 일대에 적용한 사례를 소개한다. 특정 정류장의 depth 또는 접근성을 산출하기 위해서는 그 정류장에서 대상지의 다른 모든 정류장까지의 각 depth들을 구하는 과정이 수반되며, 이 때 각 정류장간 루트는 최적 비용의 경로가 되어야 한다. 본 연구에서는 최적 비용 경로를 시종점간의 최단 또는 최소시간 경로 중 환승 수가 최소인 경로로 정의하였다. 대중교통에서 최적 경로를 구하는 과정은 자가운전자의 네트워크의 경우보다 복잡한데, 이는 네트워크이 루트가 정해진 여러 수단들의 조합으로 이루어지며, 환승시에는 이동시간, 대기시간과 같은 시간 제약들이 존재하기 때문이다. 운송 수단이 미리 정해진 운행시간이 있을 경우에는 그 수단으로의 환승은 정해진 출발시간에 의해 제약되어지며, 최소 시간의 경로를 찾기 위해서 이들 출발시간들을 비교해야 한다 (Desrochers *et al.* 1988). 유전자 알고리즘(GA)은 이와 같이 미리 정해진 값에 의해 최적해를 산출할 수 없는 복잡한 경우에 적용될 수 있다. 본 연구에서는 정류장간의 최적 루트 조합을 산출하는데에 유전자 알고리즘을 사용하였다. 유전자 알고리즘에 관해서는 다수의 문헌에 소개되어 있으므로 여기에서는 생략하고자 한다. 유전자 알고리즘의 대중교통에의 적용에 관해서는 저

자의 글(Jun 2005) 등을 참고하기 바란다.

<그림 7>은 서울시 강남구 일대의 주요 대중교통망을 보여준다. 지하철, 버스 등이 복잡하게 얽혀 있어서 본 연구의 대상지로 적합한 것으로 판단되었다. 도보로 이동하여 환승이 가능한 정류장들의 그룹은 환승존으로 묶였으며, $I-값(ND^I)$ 도 본 환승존별로 산출하였다. <그림 8>은 이렇게 산출된 값을 표현한 그림으로서, 진한 색일수록 높은 접근성을 나타낸다.



<그림 7> 사례적용지역 (서울시 강남구 일대)

산출된 정류장의 접근성은 네트워크 구조의 측면에서 볼 때, 전반적인 이동의 용이성을 나타낸다. 다시 말해, 교통망의 공급적인 측면에서의 접근성을 측정하는 것이지 수요 측면을 고려하지는 않는다. 동일한 접근성을 갖는 두 지역은 동일한 '서비스 수준'을 나타내지는 않는다고 할 수 있는데, 이는 두 지역의 대중교통 이용객 수가 다를 수 있기 때문이다. 이러한 비현실성을 극복하기 위해서 본 연구에서는 O-D 서베이 데이터를 이용하여 깊이 기반의 접근성 산출값을 보정하였다.

2002년 서울시 O-D 서베이는 서베이존별로 수단마다의 통행량을 수록하고 있다 (Seoul Development Institute 2003). 이러한 통행 데이터 중 본 연구에서는 버스, 마을버스, 좌석버스, 리무진버스 등의 버스와 지하철 데이터만을 추출하여 사용하였다. 강남구 26개 존의 평균크기는 약

1.17km²이고 인구는 약 2만명 정도이다. O-D 행렬을 이용하면 특정 존에서 다른 25개 존으로의 값을 모두 더함으로써 이 존에서 발발하는 대중교통 이용량을 구할 수 있다. 그 다음으로는 환승구역의 깊이 기반 접근성을, 그 구역이 속해 있는 존의 대중교통 이용수로 나눔으로써 실제 이용객수로 보정된 접근성을 산출할 수 있다. 식 (4)는 O-D 값으로 보정된 정류장의 가장 접근성을 나타낸다.

$$A_i^s = \frac{I_s}{\sum_j T_{ij}} = \frac{I_s}{O_i} \quad (4)$$

여기에서 A_i^s 는 zone i 의 정류장 s 의 접근성을, I_s 는 정류장 s 의 값(ND^{-1})을, T_{ij} 는 시점 i 와 종점 j 간의 대중교통을 이용한 통행량을, 그리고 O_i 는 zone i 에서 발생하는 총 대중교통 통행량을 의미한다.

<그림 9>는 식 (4)를 이용하여 산출된 가장 접근성값으로서, 0과 1사이의 값을 갖도록 정규화한 결과를 표현한 것이다.

5. 깊이 기반 접근성의 개선 가능성에 대한 고찰

접근성의 비용으로서 본 연구에서는 깊이에 의한 비용(depth-penalty)만을 고려했으며, 이를 대중

교통의 환승으로 대응시켜 해석하였다. 하지만 이렇게 space syntax에 근거한 방법론은 바로 대중교통에 적용하기에는 한계점이 있는데, 이는 교통에서 전통적으로 고려하고 있는 통행거리나 시간과 같은 통행비용을 고려하지 않기 때문이다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 우리는 깊이 기반의 접근성 산출과 전통적 방법을 조합해 볼 수 있다. 일반적인 접근성 산출방법은 식 (1)에서 소개된 바와 같이 목적지 d 들의 존재와 i 지점에서 이들 목적지에 도달하기 위한 비용들의 balance로서 측정된다. 이때, 환승과 통행비용을 동시에 고려한다면, 노드 i 에서 다른 노드들로의 접근성은 식 (5)와 같이 나타내어질 수 있다.

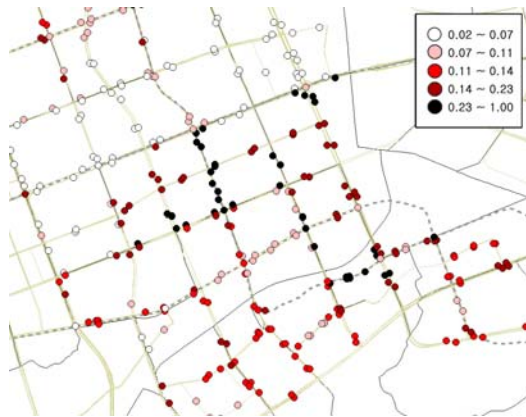
$$A_i = \sum_d^{D_i} f(w_d) \left(\sum_n^{N_d} f(t_n) \right) \quad (5)$$

여기에서 D_i 는 노드 i 로 부터의 최대 깊이를, N_d 는 깊이 d 에 있는 목적 노드들을, t_n 은 i 와 n 사이의 통행비용을, w_d 는 깊이 d 에서의 가중치를 나타낸다.

여기에서 가중치 w_d 는 깊이가 깊어짐에 따라 증가하는 값으로서, w_d 의 함수(eg. w_d^{-1})가 각 깊이에서 계산된 접근성에 곱해진다. 하지만, 실제로는 통행비용은 동일 깊이에 있다고 해서 같은 것이 아니라 거리나 시간에 따라 달라진다. 즉, 같은 깊이에



<그림 8> 깊이기반 접근성 (ND^{-1})



<그림 9> O-D 데이터로 보정된 가장 접근성

있다고 해서 동일 가중치를 적용하는 것은 비현실적이라 할 수 있다. Space syntax에서는 모든 회전이나 굴절은 동일한 크기의 값이 적용된다. 그러나 대중교통에서는 환승시의 상황에 따라 비용을 다르게 주어야 함이 바람직하다. 다음 정류장까지의 이동거리나 대기시간 등이 다르기 때문이다. 따라서 정류장에 관한 비용을 식 (6)과 같이 수단 선택에 따라 분해할 필요가 있다.

$$A_i = \sum_d \sum_p \sum_m f(t_m, w_m) \quad (6)$$

여기에서 D_i 는 노드 i 로 부터의 최대 깊이를, P_d 는 깊이 c 에서의 경로의 수를, M_c 는 경로 p 를 구성하는 통행수단의 수를, t_m 은 수단 m 에 의한 통행비용을, 그리고 w_m 은 수단 m 을 선택하는 데에 따른 비용을 의미한다. 또한 가중치의 집합 $W\{w_m \mid m=1, 2, \dots, n\}$ 는 경로이동에 따른 비용을 제외하여 어떠한 비용도 포함된다. 일반적으로는 환승시간, 즉, 이동시간과 대기시간을 의미하지만 그 이외에 통행자가 가질 수 있는 부담 등이 포함될 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 대중교통의 접근성을 산출하는 대안적인 접근법을 제시하였다. Space syntax의 깊이 개념과 대중교통의 환승간에는 토폴로지적인 유사성이 있음에 중점을 두었다. 정류장을 단위로 하여 깊이 기반의 접근성을 산출하기 위하여 본 연구에서는 Space Syntax의 axial line대신 GIS의 node-link 데이터를 사용하였다. 본 연구에서 제시한 접근성 산출에는 최적의 O-D 쌍을 도출하는 과정이 포함되는데, 여기에는 유전자 알고리즘이 사용되었다. 제시된 방법은 대중교통망의 공급적인 측면에서만 측정을 하고 수요 측면은 고려되지 않기 때문에, 이를 보정하기 위하여 O-D 서베이 데이터의 대중교통량을 이용하였다. 제시된 방법은 서울시 강남구 일대에 적용하여 예시하였고, 단순 깊이 기반 접근성과 O-D 서베이를 캘리브레이트된

결과를 비교하였다. 또한 마지막절에서는 본 연구에서 제시한 방법론의 한계점을 분석하였다. 즉, 차량 승차중에 수반되는 통행시간이나 거리와 같은 비용이 고려되지 않는다는 것인데, 이를 극복하기 위하여 깊이 뿐 아니라 통행비용을 고려한 일반화된 모델을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 결과는 이러한 부분이 고려되지 않았으므로 현 단계에서 존 기반의 기존의 방법들과의 비교는 불가능하나, 대중교통 접근성을 정류장 단위의 세부 스케일에서 산출하는 대안적 방법을 제시했다는 점이 의의가 있을 것이다. 개별기반의 접근성 산출방법은, 다수의 수단이 존재하는 멀티모달 네트워크를 세밀한 범위에서 평가하고 조정하는데에 이용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Bafna, S., "Space syntax: a brief introduction to its logic and analytical techniques," Environment and Behavior, Vol.35 No.1, 2003, pp. 17-29.
2. Berglund, S., "Path-based accessibility," Journal of Transportation and Statistics, Vol.4 No.2/3, 2001, pp. 79-91.
3. Desrochers, M. and Soumis, F., "A Reoptimization Algorithm for the Shortest Path Problem with Time Windows," European Journal of Operational Research, Vol.35, 1988, pp. 242-254.
4. Geertman, S.C.M. and Van Eck, J.R.R., "GIS and models of accessibility potential: an application in planning," International Journal of Geographical Information Systems, Vol.9, 1995, pp. 67-80.

5. Hanson, S., The context of urban travel. The Geography of Urban Transportation. Ed. by S. Hanson and G. Giuliano. The Guilford Press, New York, NY, 2004, pp. 3-29.
6. Harris, B., "Accessibility: concepts and applications," Journal of Transportation and Statistics, Vol.4 No.2/3, 2001, pp. 15-30.
7. Hillier, B., Space is the Machine, Cambridge University Press. 1996.
8. Hillier, B and Hanson J., The Social Logic of Space. Cambridge University Press. 1984, pp. 108-113.
9. Jun, C., "Route selection in public transport network using GA," In: Proc. 2005 ESRI International User Conference, San Diego, California, July 25-29, 2005.
10. Kwan, M.-P., "Space-time and integral measures of individual accessibility," Geographical Analysis, Vol.30 No.3, 1998, pp. 191-216.
11. Litman, T., "Measuring transportation: traffic, mobility and accessibility," ITE Journal, Vol.73 No.10, 2003, pp.28-32.
12. Miller, H. J., "Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks: basic theory and computational procedures," Geographical Analysis, Vol.31, 1999, pp. 187-212.
13. Seoul Development Institute, Seoul O-D Survey 2002., 2003.

전철민

1988년 서울대학교 도시공학과 (공학사)
 1990년 서울대학교 도시공학과 (공학석사)
 1997년 Texas A&M University (공학박사)
 1997년~1999년 North Carolina RTI GIS전문요원
 1999년~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수
 관심분야 : GIS, 공간DB, 3D GIS, network algorithm
 등