

# Space Syntax를 이용한 서울시 버스개편의 접근성 효과 분석

Accessibility (serviceability) of Hierarchical Bus Network in Seoul

이병욱

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정 4학기  
white\_wrold77@hotmail.com)

이승재

(서울시립대학교 교통공학과 부교수  
sjlee@uos.ac.kr)

## 목 차

### I. 서론

- 1. 연구배경 및 목적
- 2. 접근성의 정의

### II. 기존 접근성 지표 고찰

### III. Space Syntax와 통행시간을 이용한 접근성 지표 개발

### 1. Space Syntax 기법

### 2. Inner Product 및 접근성 지표 개발

### IV. 모의 네트워크

### V. 서울시 적용

### VI. 기대효과 및 결론

### 참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구배경 및 목적

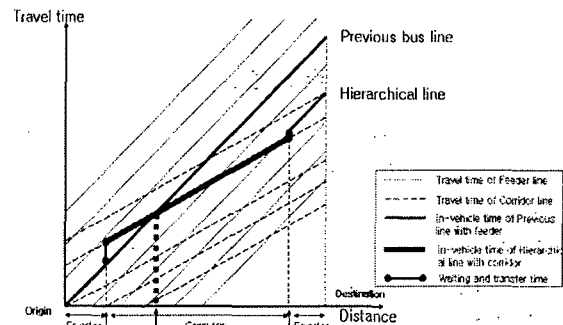
Accessibility(접근성)이란 흔히 어떤 활동이 유발되는 곳으로의 접근할 수 있는 정도를 의미한다. 교통에서는 어느 지역으로 가기 위해 사용되는 교통수단의 접근 정도를 의미하기도 한다. 다시 말해 접근성이 좋다는 뜻은 다른 지역으로 교통수단을 이용하여 얼마만큼 수월한가를 뜻한다. 교통수단의 크게 개인교통과 대중교통으로 나눌 수 있다. 삶의 질이 향상될수록 개인교통 수단 보유는 증가한다. 이로 인하여 한정된 공간에서 혼잡은 통행시간의 증가 및 사회비용의 증가를 발생시켜 사회적으로 큰 문제를 야기한다. 그리하여 한정된 공간의 효율적 사용을 위해 최근의 교통정책의 변화는 개인 교통에서의 대중교통으로의 전환을 꾀하고 있다. 대중교통은 도시교통의 고질적인 혼잡과 환경문제를 해결하는 가장 중요한 수단이 되는 동시에 그 서비스의 유지와 수준은 도시인의 생계 및 생존에 까지 영향을 미쳐 명실공히 하나의 시민 기본권으로 작용하고 있다. 정책집행기관에서는 대중교통의 우선정책을 통하여 정시성을 확보하고 쾌적하고 안전한 교통을 목표로 하고 있다. 이에 서울시에서는 2004년 7월 1일 기존의 복잡하고 불편한 버스체계에서 효율적이고 대중적인 버스체계로 개편하였다.

서울시 버스 개편의 이론적 배경을 살펴보면 그림<1>과 같다.

기존 노선의 속도 통행속도는 Critical Point까지는 우위에 있으나 간선 기능의 회복으로 인하여 통행시간이 짧아져 결국에는 간지선체계가 통행시간이 짧게 걸린다.

버스 우선 정책(버스중앙차로제)과 더불어 노선체계를 개편함으로써 버스의 간선 기능 회복과 버스의 접근성, 신속성, 효율성 및 쾌적성을 향상시켜 편리하고 신속한 대중교통 수단으로

로 탈바꿈하였다는 평가를 받고 있다.



<그림 1> 간지선체계의 이론적 배경

기존의 대중교통 정책의 평가는 대중교통 평가의 정량적 분석 방법의 부재로 계획가 및 정책결정자의 주관적 판단에 의해 실시되고 있다.

본 연구에서는 Space Syntax 이용하여 버스 네트워크에서의 접근성 산출 방법론을 개발하고 서울시 버스 개편 전·후의 접근성 개편 효과 분석에 목적이 있다.

### 2. 접근성의 정의

위에서 언급했듯이 접근성(Accessibility)의 일반적 의미는 한 개인이 원하는 종류의 활동을, 원하는 지역, 원하는 수단 및 원하는 시간에 쉽게 행할 수 있는 정도를 말한다. 다른 말로 CBD 및 주요 지점, 지역까지의 접근할 수 있는 정도를 말할 수도 있다. 본 연구에서는 접근성을 버스 정류장에서 버스 정류장까지의 접근으로 정의하여 사용하였다. 이는 대중교통 수단의 Serviceability와 같은 의미로 사용할 수 있을 것이다.

## II. 기존 접근성 지표 고찰

기존의 접근성 지표는 주로 도시의 접근성 평가에 주로 이용되었다. 접근성 지표는 크게 3가지로 분류할 수 있다. Simple measures, opportunity measures, Value measures)이다.

Simple measures는 계산 방법 및 변수 설정이 단순한 장점이 있다. 단점은 모든 개인이 거리 및 시간에 관계없이 기회를 동일시 한 단점이 있다.

$$A_i = \sum O_j \delta_j$$

$O_j$  = 목적지 j의 접근 기회

$\delta_j$  = 접근 기회가 있으면 1, 없으면 0

두 번째 방법은 Opportunity measures 방법으로 각 접근 기회의 통행시간 및 거리를 고려한 방법이다. 통행시간과 거리는 그 접근 기회에 중요한 영향을 미치는 영향으로 거리 및 통행시간이 많이 걸리면 그 만큼 접근 기회는 적어지게 된다.

$$A_i = \sum O_j \exp(-\lambda t_{ij})$$

$O_j$  = 목적지 j의 접근 기회

$\lambda$  = 경험적인 값

마지막으로 Value measures 방법은 Opportunity 방법에 각 기회별 가중을 고려한 방법이다. 전체 접근 기회의 합에 각 접근 기회를 나눈 값을 사용하였다. 이것을 정리하면 다음과 같다.

$$A_i = \frac{1}{\lambda} \frac{\sum [O_j \exp(\lambda t_{ij})]}{\sum O_j}$$

## III. Space Syntax와 통행시간을 이용한 접근성 지표 개발

### 1. Space syntax

Space Syntax는 1980년대 영국 런던대학교 Hillier 교수 연구팀이 개발하였다. 공간의 물리적인 구조를 분석, 표현할 수 있는 공간분석방법으로 체계적이고 객관적인 분석을 위해 수학적 논리를 이용, 컴퓨터 분석결과에 의해 공간을 재해석할 수 있다. Space Syntax의 공간구조방법은 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 단위선에 의한 분석이고 두 번째는 단위공간에 의한 분석이다.

1) Accessibility : Review of Measuring Techniques and Their Application, Derek Halden, David McGuigan, Andrew Nisbet and Alan Mckinnon, 2000

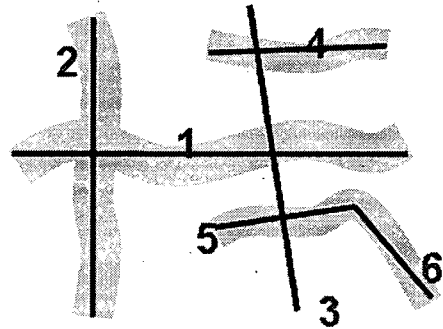
### 1) 단위선에 의한 분석(Axial Analysis)

- 공간의 물리적 구조를 단위선(Axial, 인간의 시각적 최대 점을 설정, 연결한 선)으로 표현하여 그 연결된 정도를 분석하는 방법이다.

### 2) 단위공간에 의한 분석(Convex Analysis)

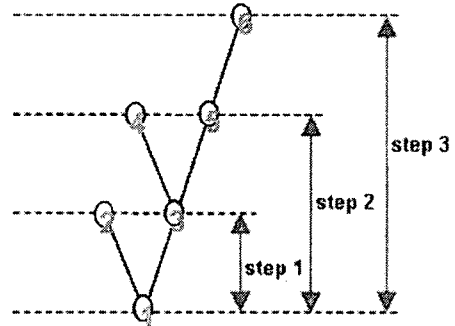
- 공간의 물리적 구조를 단위공간(Convex Space)으로 표현하여 그 연결된 정도를 분석하는 방법이다.

본 연구에서는 교통의 기존 요소가 Node 및 Link 이므로 첫 번째 방법인 단위선에 의한 분석방법을 이용하였다.



<그림 2> Space Syntax Axial Line

Space Syntax에서는 하나의 네트워크를 하나의 Axial Line으로 표현할 수 있다. <그림1>에서는 총 6개의 네트워크가 있으므로 이는 6개의 Axial Line으로 표현할 수 있다. 이를 다시 공간적 구조 그래프로 표현할 수 있는데 이는 다음과 같다.



<그림 3> 공간적 구조 그래프

1번링크에서 바로 2번과 3번 링크로 이용할 수 있다. 이는 Space Syntax에서 1Step에 해당한다. 그러니 4,5번 링크는 1번에서 3번 링크를 거쳐야만 접근할 수 있으므로 1개의 Turn을 포함한 Step2가 된다. 6번 링크는 1번링크에서 총 2번의 Turn을 거쳐야 접근할 수 있다.

이를 그래프로 표현한 것은 그림 2와 같다.

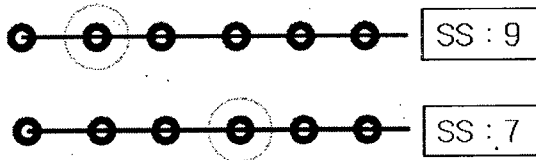
Space Syntax에서는 "Depth"라는 개념을 이용한다. Depth는 두 노드 사이에 포함된 노드와 Steps(또는 Turns)의 개수를 세어 구할 수 있다. 이를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$TD_i = \sum_{s=1}^m s \times N_s$$

, 여기서

- TD<sub>i</sub> : the total depth of node i
- s : the step from node i
- m : the maximum number of steps extended from node i
- N<sub>s</sub> : the number of nodes at step s

이 방법은 계산방법이 간단하여 복잡한 네트워크에서도 쉽게 접근성을 산출할 수 있는 장점이 있다. 하지만 이 방법은 여러 가지 단점을 가지고 있다. 우선 Space Syntax는 기본 구조가 Axial Line이기 때문이다. 교통 특히 버스 네트워크의 기본단위는 정거장과 링크이다. 따라서 링크단위로 Space Syntax값은 표현할 수 없다. 또한 Space Syntax 값은 링크가 기본단위인 버스네트워크에서 Step(교통에서는 Transfer)의 위치에 따라 그 결과는 다르게 나온다.

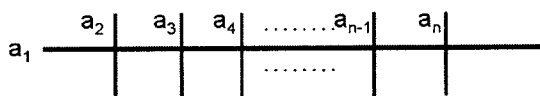


<그림 4> 환승 위치에 따른 Space Syntax 값

교통에서는 환승의 위치보다는 환승의 횟수에 더 민감하다. 따라서 Space Syntax의 값을 링크 단위로 바꾸어줄 필요가 있다. 본 연구에서는 이 문제를 극복하기 위해 Inner Product(내적)을 이용하여 Space Syntax 값을 링크 단위로 변환하였다.

## 2. Inner Product(내적)

Inner Product 두 개의 벡터 값에 의해 다른 벡터 값이 결정되는 이론이다. Space Syntax를 이용하여 링크 내적을 구하기 위해 Space Syntax에서 하나의 Axial Line 은 그 Line 과 교차하는 다른 Axial Line의 영향을 받는다고 가정하였다.



<그림 5> 내적의 예제 네트워크

각각의 Space Syntax 값을 가지는 네트워크를 그림 과 같이 가정하였다. 각 Axial Line은 a<sub>1</sub> ~ a<sub>n</sub>의 Space Syntax 값을 가지고 있다. 두 개의 Axial Line 사이의 링크의 내적값은 전체의 비율로서 구할 수 있다. 이것을 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$IP_{a_i - a_{i+1}} = \frac{\sqrt{a_i^2 + a_{i+1}^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n-1} a_{k+1}^2 \times W_f}} \times a_i$$

여기서,

- IP<sub>a<sub>i</sub> - a<sub>i+1</sub></sub> : Inner product between i & i+1
- a<sub>i</sub> : Value of axial line i
- W<sub>f</sub> : weighting factor
- n : Number of total crossing line

가중치 W<sub>f</sub>는 각 링크 값의 평균이 a<sub>1</sub>이 되게 하는 값으로 정의할 수 있다.

$$W_f = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \sqrt{a_k^2 + a_{k+1}^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n-1} a_{k+1}^2 \times (n-1)}} \quad a_1 = \frac{\sum_{i=2}^{n-1} IP(a_i - a_{i+1})}{n-1}$$

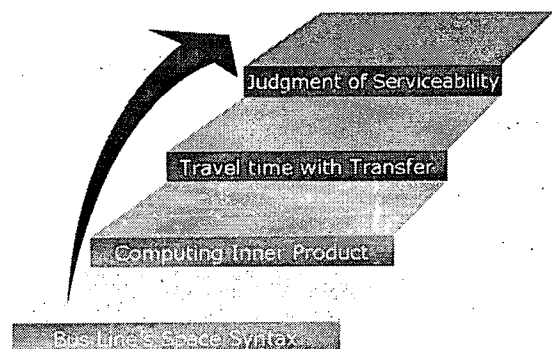
이를 이용하여 각 링크별 Space Syntax의 값을 구할 수 있다. 이와 함께 노드간 통행시간의 값을 이용하여 최종적으로 접근성을 평가할 수 있다.

$$Sb_{i,j} = \alpha(\min IP_{i,j}) + \beta(\min TT_{i,j})$$

여기서,

- Sb<sub>i,j</sub> = serviceability from i to j
- IP<sub>i,j</sub> = Space Syntax value using Inner Product from i to j
- TT<sub>i,j</sub> = Travel Time from i to j

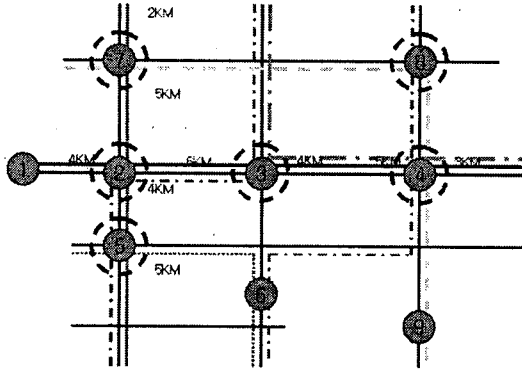
α와 β값은 IP와 TT값의 가중치를 고려하여 산정할 수 있고, 다른 방법으로는 Bi-Criteria방법을 통하여 산출할 수 있다. Bi-criteria는 두 변수의 상관관계를 통하여 서로 다른 단위의 결과값을 하나로 합치는 방법으로서 경험적인 값을 사용한다. 결과적으로 본 연구에서 네트워크의 접근성을 평가하기 위한 산출 순서는 다음과 같다.



<그림 6> 접근성 산출 순서

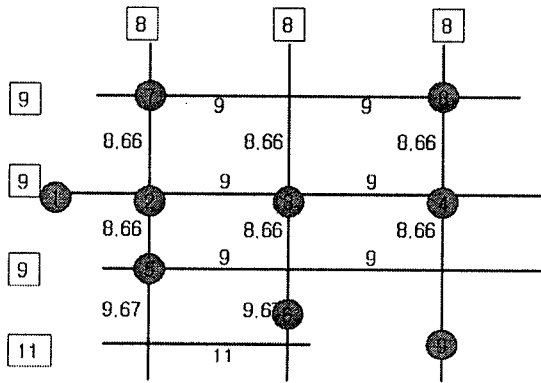
## 3. 모의 네트워크

위에서 개발된 방법론을 적용하기 위해 예제 네트워크를 사용하였으며 그 구조는 다음과 같다.



<그림 7> 모의 네트워크

본 방법론을 적용하기 위해 모의 네트워크를 그림과 같이 구축하였다. 이 네트워크 안에는 총 9개의 버스 정류장이 포함되어 있으며 2, 3, 4, 5, 7, 8번 정류장에서 환승이 이루어진다. 각 버스 노선의 Space Syntax 값과 내적에 의한 값을 구하면 다음과 같다.



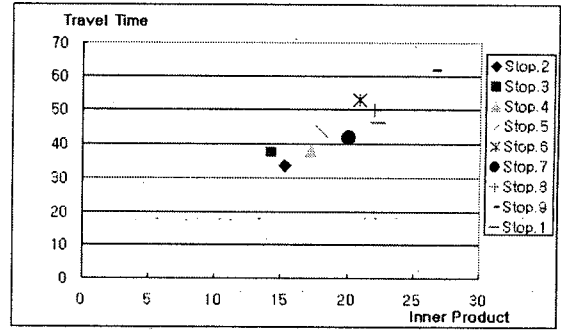
<그림 8> 내적에 의한 링크 Space Syntax 값

접근성은 두 가지 결과값으로 산출할 수 있다. 하나는 하나의 버스정류장에서 모든 버스장으로의 접근성 값을 모두 더한 것으로 하나의 버스정류장의 전체 네트워크에서의 접근성이다. 두 번째는 하나의 정류장에서 하나의 정류장까지의 접근성 평균인데 이는 주요 지점에서 주요 지점까지의 접근성 평가에 이용될 수 있다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 값은 똑같은 비중이라고 가정하여 1을 사용하였고, 통행시간 값을 산출하기 위해 각 링크의 속도를 20km/h로 가정하였다. 첫 번째 방법으로 각 버스 정류장의 접근성 값을 산출하면 다음과 같다.

Point to others	Inner Product	Travel time
Stop.1	22.23	46.16
Stop.2	15.23	35.50
Stop.3	14.23	37.72
Stop.4	17.23	37.94
Stop.5	8.01	49.50
Stop.6	20.68	52.66
Stop.7	20.04	41.83
Stop.8	21.99	49.94
Stop.9	26.34	61.83

\* Average value

<그림 9> 내적과 통행시간에 의한 접근성



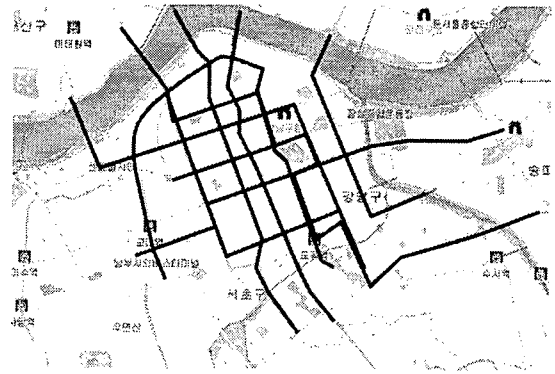
<그림 10> 각 정류장별 내적과 통행시간의 관계

접근성 산출 결과 2번 버스 정류장이 Space Syntax 값과 통행시간 값이 가장 적은 것을 알 수 있다. 이를 다시 표현하면 선택된 네트워크 안에서 2번 정류장이 모든 정류장으로의 접근성이 가장 좋다고 말할 수 있다.

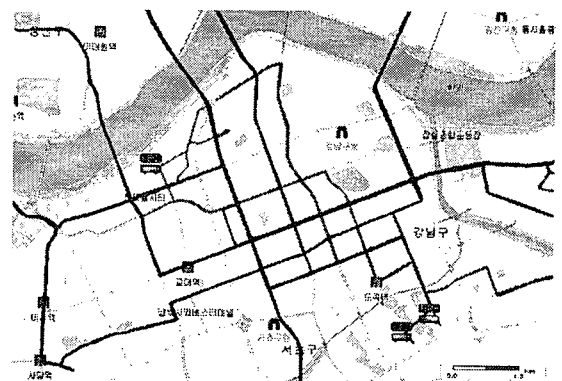
## V. 서울시 네트워크 적용

서울시 버스 개편 효과를 분석하기 위해 본 연구에서 개발된 접근성 지표를 이용하여 버스 개편 전후의 접근성 값을 산출하였다.

지역은 강남지역을 대상으로 하였으며, 서울시 속도 자료를 이용하여 강남 지역의 중앙버스 차선제가 실시중에 있는 강남 대로는 버스 속도를 20km/h, 나머지 링크는 15km/h를 사용하였다.



<그림 11> 개편 전 버스 네트워크



<그림 12> 개편 후 버스 네트워크

서울시 버스 개편 효과를 분석하기 위해 잠실에서 각 주요 지점까지의 접근성 값을 이용하였다. 각 주요 지점은 고속터미널, 강남역, 서울교대, 압구정을 선택하였다. 결과는 다음과 같다.

SS 내적		통행시간	
고속터미널			
시행전	시행후	시행전	시행후
92.35	76.98	30.83	22.71
강남역			
시행전	시행후	시행전	시행후
37.48	35.71	16.93	15.74
서울교대			
시행전	시행후	시행전	시행후
117.81	77.22	29.43	23.42
압구정			
시행전	시행후	시행전	시행후
110.12	100.87	26.50	25.22

<표1> 접근성 산출 결과

## VI. 결과 및 기대효과

Space Syntax와 통행시간을 이용하여 접근성을 산출 할 수 있는 방법론을 개발하였다. 내적값과 통행시간의  $\alpha$ ,  $\beta$ 값은 1로 가정하였다. 내적값과 통행시간 값이 작을수록 접근성은 좋다고 판단할 수 있다.

접근성 분석은 서울시 강남구를 대상으로 실시하였다. 잠실에서 압구정역, 고속터미널, 강남역, 서울교대로의 접근성은 향상된 반면에 남부터미널로의 접근성은 나빠진 것을 알 수 있다. 이는 기존의 직접 접근이 가능한 노선에 비해 개편 후에는 환승에 대한 패널티로 인한 결과로 분석되었다. 결과적으로 간선·지선체계의 접근성 향상과 더불어 버스 우선정책으로 버스의 속도가 향상됨으로 서울시 버스 개편으로 인한 접근성은 전체적으로 향상되었다.

본 방법론을 통하여 현재 교통시스템의 상태를 수치화하여 현재 버스 네트워크의 서비스 개선 효과 및 새로운 교통수단의 도입시 효과를 측정 할 수 있다. 하지만 계산상의 복잡성에 대한 한계를 지니고 있다.

## 참고문헌

1. Accessibility : Review of Measuring Techniques and Their Application, Derek Halden, David McGuigan, Andrew Nisbet and Alan Mckinnon, 2000
2. Measuring Accessibility to Public Transport : concepts, Cick Tyler(1999)
3. Accessing Public Transportation Accessibility Based on Topological Structure, Chulmin Jun, Young-Ook Kim, Seunglae Lee, Seungil Lee, 2005
4. Equity, Accessibility and Transit Use in Large American

- Cities, Murtaza Haider, Ph.D, Timothy Spurr, 2005
5. Measuring Network Connectivity for Bicycling and Walking, Jennefer Dill, Ph.D, 2004
6. Pedestrian Accessibility in the Built Environment in the Context of Feature-Based Digital Mapping, Aidan Slingsby, 2002
7. Measuring Accessibility using GIS, Rui Dedro Juliao, 1999