

# Space Syntax를 이용한 경로탐색 개선 방법에 대한 연구

## Improving Network Search Process using Space Syntax

전철민 · 장민철 · 설재민

Jun, Chulmin · Chang, Min-Chol · Seol, Jaemin

서울시립대학교 부교수 · 서울시립대학교 석사과정 · 서울시립대 도시과학연구원

### Abstract

최적경로문제는 한 지점에서 다른 지점으로 이동할 때, 최소한의 비용으로 이동할 수 있는 경로를 찾는 문제를 의미하며, 최근 인터넷을 이용한 경로 안내 시스템에 적용되어 왔다. 이때, 보통 시간비용을 최소로 하는 경로를 제공하는 것이 일반적이다. 그러나 현실적으로 우리는 타인에게 어떠한 경로를 설명하거나 알려 줄 때, 인지도나 접근성이 높은 경로를 포함하는 경우가 많다. 이에 본 연구에서는 교통경로를 산출할 때 접근성이 높은 경로를 포함하여 경로를 구성하는 방안을 제시하였다. 이를 구현하기 위해 건축, 도시공간에서 접근성 분석에 사용되고 있는 Space Syntax라는 방법론을 적용하였다. GIS 데이터 구조를 이용하기 위해 알고리즘을 일부 수정하였으며, 일반적으로 최단거리 산출에 많이 사용되고 있는 Dijkstra 알고리즘과 결합하여 구축하였다. 이렇게 구축된 알고리즘을 소규모의 교통 네트워크상에 적용하여 테스트하였다.

### 1. 서론

보편적으로 사람들이 이동경로를 찾거나 타인에게 이동경로를 설명하는데 있어서 인지도나 접근성이 높은 경로를 이용하는 경우가 있다. 예를 들어, 『광화문을 찾아오는 길』을 묻는다면 누구나 쉽게 알 수 있는 종각이나 세종로를 경유하여 찾아오는 길을 설명해준다. 이런 방법은 우리가 무의식적으로는 알고 있으나, 지금까지 개발된 최적 경로 안내시스템의 경우에는 이런 사항을 고려하지 않고 각 링크의 통행 비용(시간, 거리)만을 이용하여 교통정보를 제공함에 따라, 매우 생소한 루트를 안내하는 등, 시스템에 대한 신뢰도를 떨어뜨리는 결과를 가져오는 경우가 많다.

한편 Space Syntax는 원래 도시 또는 건축공간을 분석하기 위한 이론으로써 공간간의 상호 관련성을 정량적으로 산출하는데 사용되어 오고 있다. 본 방법론은 1980, 90년대에 걸쳐 영국 런던대학교의 Hillier 교수(1996) 연구팀이 개발하였다. 이 이론은 공간 구조상 중요도를 분석대상 지역의 전체

공간에서의 접근성에 의하여 계산한다.

본 연구에서는 이러한 공간간의 상호관련성을 도로 네트워크에서의 도로간 상호 접근성으로 해석하여 Space Syntax 이론을 적용하였으며, 각 도로 링크들의 접근성을 정량화하는 방안을 제시하였다. 또한 네트워크상에서 이렇게 산출된 접근성이 높은 링크들을 경로안에 포함하여 전체 최적경로를 구성하는 방안을 제시하였다.

### 2. 기존 연구 고찰

최근에 ITS(지능형 교통체계) 및 GIS를 응용한 연구, 개발이 활발히 이루어지면서 현실성을 반영한 최단경로 탐색 알고리즘에 대한 중요성이 부각되고 있다. 최단경로 탐색 알고리즘은 교통 수요 분석이나 경로 안내 시스템에서 사용되는 중요한 핵심 기술로서, 출발지에서 목적지까지의 경로 중에서 가장 경제적인 경로를 탐색하는 기법이다. 이와 같은 최단경로 탐색문제는 이미 1950년대에 활발히 연구되어 왔으며(Bellman 1958, Moore 1959, Dijkstra 1959), 이 중에서 Dijkstra의

알고리즘과 이에 기반한 변형된 알고리즘이 가장 널리 연구, 개발되었다.

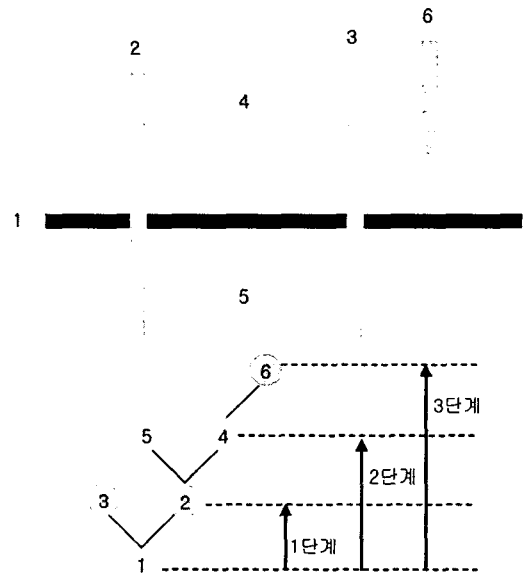
우리나라에서 사용되는 시스템들의 알고리즘도 Dijkstra, 또는 이를 변형한 알고리즘이 대부분을 차지하고 있으며, 이에 기반하여 출발지에서 목적지까지 최단시간으로 이동할 수 있는 경로를 제공하고 있다. 최단시간경로를 제공하기 위해서는 기본적으로 현재의 교통흐름에 대한 정보가 있어야 하는데, 시내 주요 지점에 설치한 비디오 카메라나 비콘(Beacon, 도로변무선중계기), 1)Loop 검지기 시스템(Loop Detection System)과 같은 장비들을 설치하여 실시간으로 교통정보를 수집하고 이를 DB화 하여 사용하고 있다. 그러나 이렇게 통행시간만을 고려하여 최적 경로를 산출할 경우에는, 사용자에게 익숙지 않거나 접근성이 좋지 않은 길이 포함 되어, 경로 탐색 결과에 대한 신뢰를 떨어뜨리는 결과를 가져오기도 한다. 본 연구에서는 시간 비용을 최소로 하는 경로 가운데 인지도, 또는 접근성이 높은 경로를 포함하여 전체 경로를 산출하는 방안을 제시한다.

### 3. Space Syntax이론

Space Syntax 방법론은 공간 상호간의 구조를 분석하여 각 공간의 다른 공간으로의 접근성 정도를 정량적으로 제시하는 이론이며, 이를 토대로 개발된 일련의 컴퓨터 프로그램을 지칭하기도 한다. 본 방법론은 크게 다음의 두 가지 가정에서 출발한다. 첫째, 특정 공간의 접근성을 분석하기 위해서는 단순히 인접한 공간과의 관련성이나 특정한 공간간의 관계가 아니라 전체 대상 공간에서의 상호관련성에 대한 분석을 전제로 한다. 둘째, 인간이 공간을 인지하고 사용하는 행태에 대한 이해에 기반을 두고 있다. Space Syntax 방법론은 공간 구조상의 중요도를 분석대상지역 전체 공간에서의 접근성

을 계산함으로써 산출된다. 이 접근성을 Space Syntax에서는 공간구조 위계상의 중요도를 의미하는 통합도(integration)라 정의한다.

Space Syntax 방법론의 가장 근본적인 변수는 단위 공간의 수(K)이며, TD(Total Depth)는 특정 공간으로부터 다른 모든 공간으로의 깊이의 합을 말한다. 이러한 공간간의 관계는 도로와 같은 네트워크로 확대해 본다면 네트워크 세그먼트들간의 관계로 해석될 수 있다. 즉, 전통적인 Space Syntax이론에서의 단위공간들은 하나의 도로 세그먼트로 전환하여 기본 원리를 그대로 적용해 볼 수 있다. 공간간의 관계에서의 연결성은 '공간 깊이(depth)' 라는 개념으로 나타내어지는데, 이는 하나의 공간이 다른 공간으로 이동할 때 거치게 되는 공간의 수라고 할 수 있다. 이를 네트워크에서 적용한다면, 하나의 도로의 연장에서 몇 번 '꺾임'에 의해 특정 도로에 도달할 수 있는지가 곧 그 도로의 깊이라고 할 수 있다.



$$TD \text{ (Total Depth)} = 2 \times 1 + 2 \times 2 + 1 \times 3 = 9$$

$$MD \text{ (Mean Depth)} = \frac{TD}{(n-1)} = \frac{9}{6-1} = \frac{9}{5}$$

<그림 1> 도로 네트워크와 Total Depth의 산출

1) 루프 차량검지기 시스템은 노면에 차선당 2개의 루프 코일 센서를 매설하여 차량검지기 지역 제어 장치의 루프 검지기과 연결한 후 루프 검지기가 루프 코일 센서 위를 통과하는 차량에 의해 발생하는 미세한 변화량을 검지하고 이를 증폭하여 통과차량의 존재와 속도 등을 측정 및 분석하여 센터에서 요구하는 필요한 교통정보를 전송하는 교통정보 수집 시스템.

예를 들어, <그림 1>에서 1번 도로에서 6번 도로에 도달하기 위해서는 3번 꺾어야 되기 때문에 1번 도로에서 6번 도로까지는 3의 깊이를 가지고 있다고 한다. 1번 도로에서 모든 도로의 이르는 Depth를 합한 것을 1번 도로의 Total Depth(TD)라고 하고, 이를 전체 도로의 개수에서 자기 자신을 뺀 수(6-1)로 나눈 것을 1번 도로의 평균깊이(Mean Depth: MD)라고 한다.

다음은 상대적 비대칭성(Relative Asymmetry : RA)과 이론적인 보정치인(Real Relative Asymmetry : RRA)를 구하는 과정이다. 이에 대한 이론적 설명은 본 연구에서 생략하기로 한다.

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

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

$$RRA_i = \frac{RA_i}{RA(D)_i} \quad (2)$$

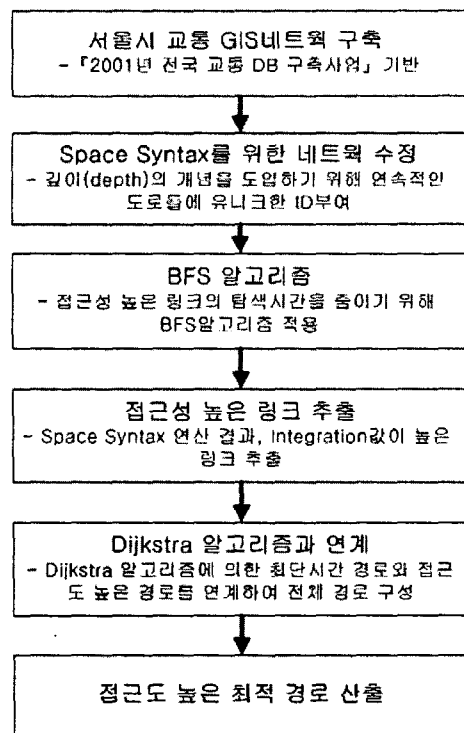
위에서 산출되는 RRA<sub>i</sub>값의 역수를 Integration, 또는 전체 통합도라고 정의한다. 전체 통합도는 분석대상 도로 뿐 아니라 주변도로까지 포함한 모든 네트워크에서의 해당 도로세그먼트의 통합성을 말한다. 즉, 특정 도로의 평균깊이(MD)가 낮은 경우 I값이 높게 나오게 되며, 이 값이 높을 수록, 해당 도로에서 다른 도로로의 접근성이 좋음을 의미한다. 이렇게 도로의 기하학적 구조만으로써 접근성을 정량화할 수 있다는 것은 Space Syntax 방법론의 가장 큰 장점으로써 현재까지는 주로 도시 공간의 보행자 이동문제 등에 이용되어 왔다. Space Syntax를 이용하면, 특정 공간을 분석하기 위해서 단순히 이웃 공간간의 관련성이나 특정한 공간간의 관계가 아니라 거시적인 관점에서 모든 공간간의 상호관련성을 바탕으로 공간의 상호 유기적 결합을 공간분석의 전제로 하므로 공간구조(Spatial configuration)의 상대적 배치의 차이에 대해서 명확하게 설명을 할

수 있다.

<그림 2>는 서울시 전체 공간을 대상으로 Space Syntax를 적용하였을 때 산출된 결과를 표현한 것이다. 이와 같이 integration 값이 높게 나온 지역은 곧, 다른 지역으로의 접근성(accessibility), 또는 연결성(connectivity)이 좋은 지역이라서 인지도 또한 높은 지역이라 할 수 있다.



<그림 2> 서울시 Space Syntax결과 표현



<그림 3> 연구 흐름도

#### 4. 알고리즘 개발 및 구현

본 연구에서는 사용자가 제공한 시종점간의 최종 루트내에 접근성이 우수한 도로를 포함 하는 방안을 모색하였다. 이 과정은 <그림 3>의 연구 흐름도에 나타나 있다. 우선 도로 네트워크를 구축하기 위해 기본적으로 『2001년 전국 교통DB 구축사업』에 의해 구축되어진 교통데이터를 이용하였다. 구축된 교통데이터에서는 도로의 등급이 4단계로 구분되어있는데, 본 연구에서는 그 중에 레벨 2 도로(축척 1:25,000, 양방향 2차선도로)를 이용하여 데이터를 수정하고 본 연구에 적용하였다. Space Syntax를 적용하기 위해, 연속성을 가지는 도로들에 유니크한 ID를 부여하였다.

##### 4.1 접근성 높은 링크 추출

다음으로는 접근성이 높은 도로 세그먼트 추출에 Space Syntax기법을 사용하기 위해 그래프 알고리즘인 BFS알고리즘을 수정하여 적용하였다. BFS는 정점 v에서 시작하여 방문을 표시한 후, v의 인접 리스트에 있는 모든 링크들을 방문한다. 그런 다음 v의 인접 리스트 상의 첫 번째 링크에 인접한 방문이 안된 링크들을 모두 방문하는 식으로 이루어진다. BFS 알고리즘은 Space Syntax이론에서의 각 링크의 Depth를 구하는 알고리즘에 효과적으로 적용할 수 있다. Total Depth가 작은 값이 Integration값이 높게 나와 결국, 접근도가 높은 경로가 되므로, BFS 연산 과정에서 가장 작은 값을 추출하게 된다.

##### 4.2 전체 최적경로 추출

접근성이 높은 경로가 산출되면, 이제는 시점에서 종점까지의 최적경로에 이 경로를 포함시켜 전체 경로를 구축하는 단계를 거친다. 즉, 출발점에서 산출된 접근성 높은 링크까지의 최적경로를 산출하고, 다시 도착점에서 위의 경로의 최종점까지의 이르는 최적경로를 구하여 연결하게 되면, 전체 경로가 구성되게 된다.

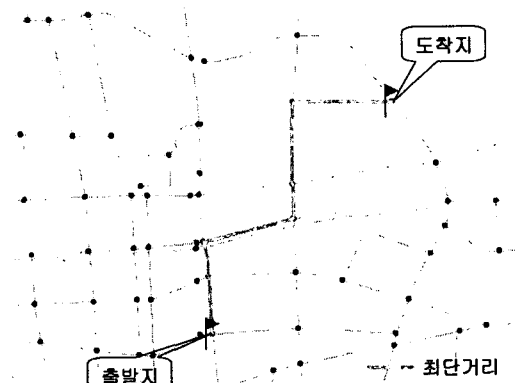
출발점이나 도착점에서 중간의 접근성 높은 도로 세그먼트까지의 최적경로의 산출에

는 Dijkstra 알고리즘을 적용하였다. Dijkstra알고리즘은 이전 노드를 검색하여 순차적으로 경로를 탐색해 가는 수형망 알고리즘(tree building algorithm)의 대표적인 예이다. 이러한 순차적 탐색기법은 - i) 동일한 노드가 최단 경로상에 두 번 이상 포함될 수 없다는 것과, ii)기점으로부터 각 노드까지의 최단경로를 단계적으로 산출하고, 최종적으로 이들을 연결하게 되면 기-종점간의 최종경로가 구축된다.- 는 가정에 기초하고 있다.

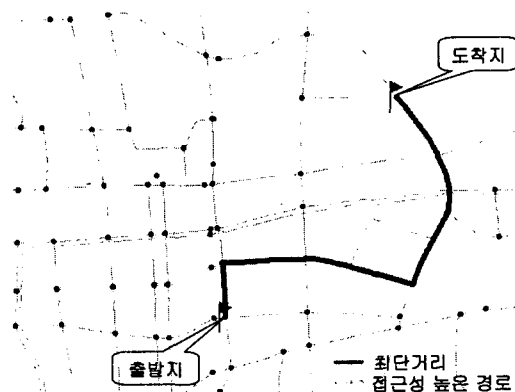
본 연구에서는 도로 링크마다 구축되어 있는 교통흐름 데이터를 Dijkstra알고리즘에 적용하여 최단시간의 경로를 탐색하였다.

#### 5. 적용 및 평가

본 연구의 테스트를 위해 서울시 중구 일대를 선정하였으며, 기존의 단순 최적경로 탐색 방법과 인지도 높은 링크를 고려한 경우의 각각에 대해 산출결과를 비교하였다.



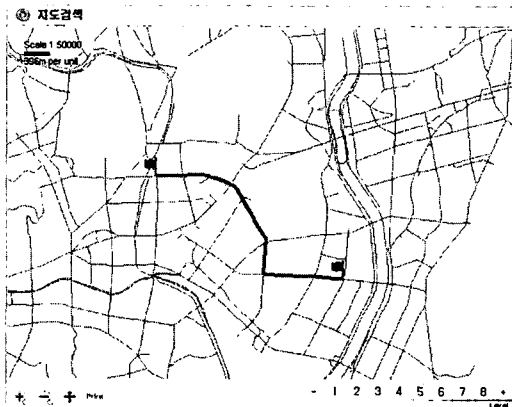
<그림 4> 기존 탐색 방법의 경로



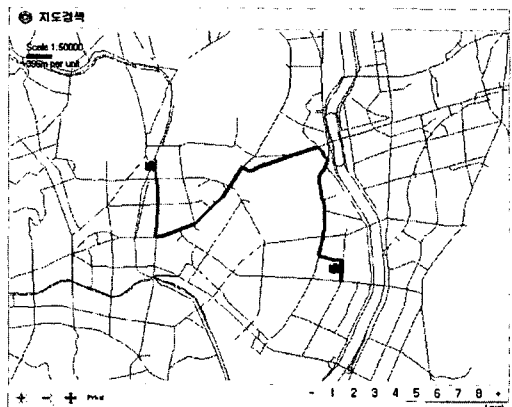
<그림 5> 접근성 높은 경로를 포함한 경로

<그림 4>는 기존 방법으로 탐색한 것으로 총 소요 거리가 1745.182m이었다. <그림 5>는 접근도가 높은 링크를 경유하였을 경우를 보여주며, 총 운행거리가 2106.162m 이었다. 단순히 거리로만 비교 하였을때는 인지도가 높은 링크를 필수적으로 통과하게 되는 두 번째 방법의 경우, 비용(거리)이 다소 많이 나오는 걸로 결과가 나왔다.

아래의 <그림 6>, <그림 7>은 이를 웹으로 구현하여 실행시킨 결과이다.



<그림 6> 단순 최적경로  
(웹을 이용한 구현)



<그림 7> 접근성 높은 경로를 포함한 경로  
(웹을 이용한 구현)

## 6. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 기존 최적경로 탐색에서는 고려하지 않았던, 접근성이 용이한 링크를 운행 경로에 반영하기 위해 Space Syntax 알고리즘을 변형하여 적용해 보았다. 기존

에는 건축, 도시공간의 접근성 분석에 사용 되는 이론이나, 교통네트워크에도 효과적으로 적용될 수 있음을 제시하였다.

미지의 경로를 대상으로 실험한 결과, 비용(거리)만 따졌을 경우, 기존의 방법이 더 효과적이지만 실제로 사용자가 인지도가 높은 경로를 선호하게 되는 점을 감안한다면, 경로 가운데에 접근성이 좋은 경로를 포함하도록 구성하는 것이 현실적일 것이다. 또한 웹으로 서비스를 할 경우에는, 기존의 방법과 본 연구에서 제시한 방법을 모두 구현하고, 사용자로 하여금 선택하게 하는 것도 효과적인 방법이라 판단된다.

본 연구에서 Space Syntax 알고리즘을 적용할 때 기존 알고리즘을 크게 변형시키지 않았으나, 향후에는 신호등, 좌회전, 일방통행 등 실제 교통흐름에 영향을 미치는 요소들을 감안하여 알고리즘을 캘리브레이션하는 단계가 필요할 것이다.

## 참고문헌

1. 김영욱 (2003) "Space Syntax 적용사례 분석을 통한 도시, 단지계획 및 설계의 객관화 방안"에 관한 연구", 토지와 기술 봄호,
2. Hillier, Bill. (1996), Space is the Machine, Cambridge University Press.
3. Horowitz, Sahni & Anderson-Freed. (1993), Fundamentals of Data Structures in C, W.H. Freeman,
4. Bellman, R. (1958), On a routing problem, Quarterly Applied Mathematics. Vol. 16, pp. 87-90.
5. Dijkstra, E. W. (1959), A note on two problems in connection with graphs, Numerische Mathematik I, pp. 269-271.
6. Moore, E. F. (1959), The shortest path through a maze, In Proceedings of the International Symposium on the Theory of Switching, Part II, Harvard University, Cambridge, MA, pp. 285-292.