

접근성을 고려한 보행경로탐색 알고리즘

김혜영¹⁾ · 류근원²⁾ · 박인혜³⁾ · 전철민⁴⁾

An Accessibility-incorporated Pedestrian Routing Algorithm

Hyeyoung Kim¹⁾, Keunwon Ryu²⁾, Inhye Park³⁾, Chulmin Jun⁴⁾

Abstract

With the increase of ubiquitous computing applications, personal navigators are also getting attention recently. Although most navigation systems are developed for vehicles, their methodology can also be applied to pedestrians using cell phones or PDAs with some modifications. However, not like vehicle streets, pedestrians neither move along fixed paths nor get significantly influenced by traffic flow. They also tend to prefer familiar paths with high accessibility. In this paper, we used space syntax theory for computing paths of high accessibility. Space syntax is a technique that has been used to derive the connectivity of urban or architectural spaces. This paper presents a method to compute the shortest pedestrian paths that include high space syntax index values.

1. 서 론

최근 대중교통 이용 장려 및 환경오염을 줄이는 녹색교통에 관한 관심이 늘어나면서 보행자를 위한 네비게이터에 대한 필요성이 거론되고 있다. 특히, 휴대폰 등 개인 단말기의 발달과 더불어 유비쿼터스 컴퓨팅의 응용분야가 늘어나면서 개인 기반 네비게이터를 이용한 보행로 안내나 대중교통과의 연계를 위한 응용시스템이 관심의 대상이 되고 있다. 최근 확산되고 있는 네비게이션 시스템은 GPS에 의한 위치인식에 기반하여 경로를 안내해 주는, 차량을 위한 응용시스템이지만 개인 단말기에 적용할 경우 보행로를 안내해 주는데 적용할 수 있다. 그러나 보행로의 경우는 차량과 달리 일정한 통행노선을 갖지 않고 보행자의 자유로운 판단에 의해 움직이며 통행흐름에 크게 영향

¹⁾ 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정(E-mail: mhw3n@uos.ac.kr)

²⁾ 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정(E-mail: ryuwin@uos.ac.kr)

³⁾ 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정(E-mail: ihpsm@uos.ac.kr)

⁴⁾ 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 부교수(E-mail: cmjun@uos.ac.kr)

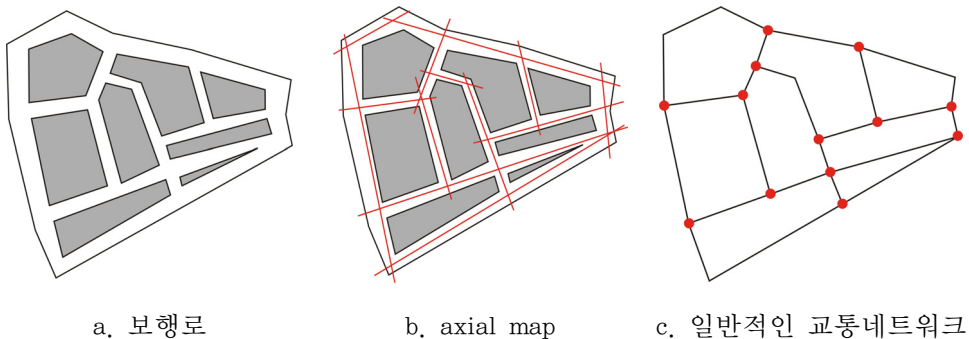
받지도 않는다. 보행자의 이러한 특성으로 인해 경로를 산출할 때 차량의 경우보다 자유롭게 경로를 구성할 수 있으나 보행자에게 보다 인식성이 높은 길 위주로 경로를 안내해 줄 필요가 있다.

공간적인 인식성, 또는 접근성에 관한 이론의 하나로서 Space Syntax를 들 수 있다. Space Syntax 이론은 도시공간이나 건축공간의 접근성을 공간의 기하학적인 연결구조에 기반 하여 정량적으로 산출해주는 이론이다(Hillier 1996). Hillier 등(1993)은 런던을 대상으로 한 보행자와 공간구조의 상관성에 관한 연구에서, Space Syntax의 산출방법에 기반 한 높은 접근성의 보행로와 이의 실제 이용 빈도는 상관성이 높음을 입증하였다. 그 외의 연구에서도 공간적인 접근성과 보행자의 통행패턴 간에는 높은 상관성이 있음을 보여준다 (김영옥 2003, 이규인 1995, 최윤경 외 2003, 임현식 2003). 본 연구에서는 보행자들은 이와 같이 접근성, 또는 인식성이 높은 길을 선호한다는 점에 근거하여, 보행자를 대상으로 한 경로안내에서 경로 내에 인식성이 높은 길 위주로 안내해주는 알고리즘을 제안한다. 본 연구에서는 최단거리 경로탐색 알고리즘의 산출과정에 Space Syntax 이론에 근거한 접근성이 높은 경로를 포함하는 방법을 제시하며, 이를 서울시 데이터에 적용하여 예시한다.

2. Space Syntax기반 공간 접근성

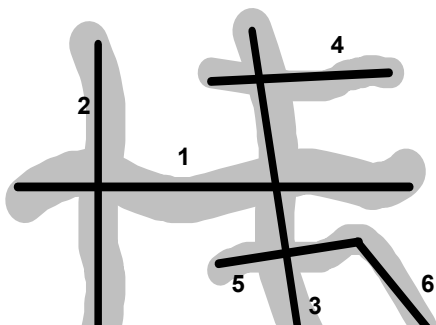
Space Syntax는 공간 상호간의 구조를 분석하여 각 공간의 다른 공간으로의 접근성 정도를 정량적으로 산출해주는 방법론이다. 본 이론은 공간구조상 중요도를 분석 대상지역의 전체 공간에서의 접근성에 의하여 계산한다. 현재까지는 주로 건축이나 보행 공간에 적용되어 각 공간의 접근성을 정량적으로 산출하고 이를 시각적으로 표현하는 분야에서 연구되어 왔다 (Bafna 2003, Hillier 1984, 1996, Penn *et al.* 1998). 또한 최근에는 Space Syntax 이론을 GIS 공간데이터에 적용하여 접근성의 산출과정을 자동화시키는 연구도 시도되고 있다 (Jiang 1999, 2002).

Space Syntax에서는 보행로와 같은 연속된 공간을 분할할 때 가장 적은 수의 Convex space들로 나누어지도록 구성하게 되며, 최종적으로 이러한 convex space를 지나는 가장 긴 라인들로서 공간을 추상화한다. 이를 Axial Line이라 하며, 모든 공간을 직선으로 연결하였을 때 최대 길이와 최소 개수로 구성되는 직선들로서 공간구조를 정의한다 (그림 1-b). 한편, 교통네트워크에서는 일반적으로 도로의 중심선의 연결로서 선형공간을 표현하는데, 두 개의 라인이 만나는 곳에 노드를 생성함으로써 교차지점을 나타낸다 (그림 1-c).

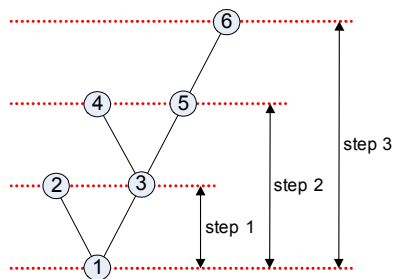


〈그림 1〉 보행공간 구성에 있어 Space Syntax와 교통네트워크의 비교

Space Syntax 이론에서는 공간의 전이를 ‘깊이(Depth)’라는 변수를 사용하여 나타내며, 실제 도로의 길이보다는 도로가 시각적으로 꺾임에 의해 깊이가 깊어간다고 본다. 즉, 거리나 통행시간과 같은 비용은 중요한 요소로 다루어지지 않는다. 모든 공간에서 특정 공간까지 도달하기 위해 몇 번의 단계를 거쳐야 도달할 수 있는지를 나타내는 지표를 Total Depth(TD)라고 한다. 예를 들어, 넓이와 굴곡을 가진 보행공간의 경우 Axial Line을 그려서 나타내면 그림 2와 같이 표현할 수 있으며, 도로 1에서 다른 도로로의 위계적인 관계는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.



〈그림 2〉 보행공간과 Axial Line



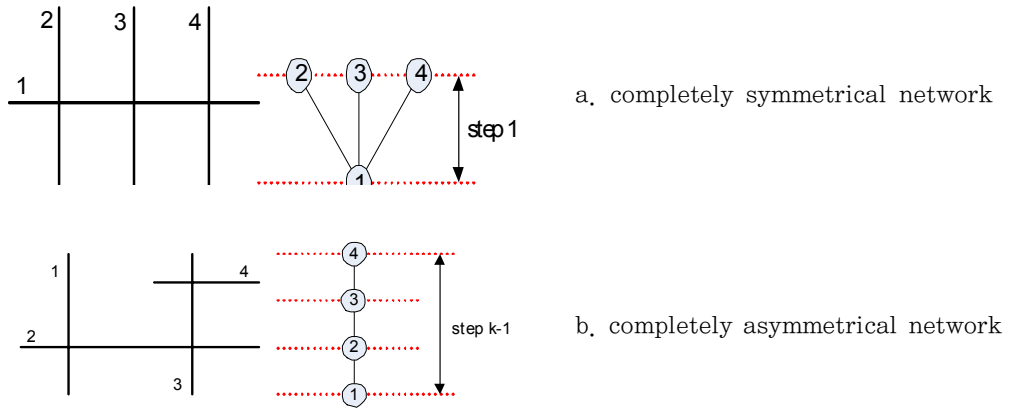
〈그림 3〉 그림 2에서 도로①의 위계구조

그림 2의 1번 도로의 경우, 2번과 3번 도로로 가기 위해서는 한 번의 공간적인 전환이 필요하게 되고, 1번 도로에서 4번과 5번 도로로 가기 위해서는 두 번의 공간적인 전환이 필요하며, 1번에서 6번 도로로 가기 위해서는 세 번의 공간적인 전환이 필요하게 된다. 이러한 공간적인 전환을 위계적인 깊이로 볼 수 있다. 1번 도로에서 다른 모든 도로로의 경로를 살펴보면 그림 3과 같이 세 단계까지 진행됨을 볼 수 있다. 1번 도로

에서의 Total Depth를 구해보면, $TD_i = 1 \times 2 + 2 \times 2 + 3 \times 1 = 9$ 가 되며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

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

여기에서 TD_i 는 공간 i 의 Total Depth, S 는 공간 i 에서부터 거치게 되는 단계의 수, m 은 공간 i 에서 가장 깊은 공간까지 거치게 되는 단계의 수, 그리고 N_s 은 S 단계에서의 공간의 개수를 의미한다.



〈그림 4〉 공간 레이아웃의 두 가지 극단적인 경우

이렇게 계산된 TD 값이 다른 공간들에 비해 상대적으로 큰 값을 가질 경우, 그 공간은 다른 공간으로부터 접근하기 힘들다는 것을 알 수 있다. 그리고 이 수치를 공간 간 비교에 이용하기 위해 TD 를 측정대상공간을 제외한 나머지 공간의 수($K-1$)로 나누어 평균 깊이 (MD , Mean Depth)를 구한다. 이는 특정 공간에 대한 평균적인 깊이를 의미한다. 그림 4는 동일한 수의 도로를 갖는 도로망에서 1번 도로로 부터 시작되는 두 가지의 극단적인 경우를 나타낸 것이다. 첫 번째 경우, 1번 도로와 나머지 도로들이 모두 이웃하고 있어 한 번의 공간적 전이만 필요한 반면 (그림 4의 a), 1번 도로에서 4번 도로로 이동시 2번과 3번 도로 모두를 차례로 거쳐야 하는 경우가 존재한다 (그림 3의 b). 그림 4의 a의 경우는 MD 가 1이 되며, b의 경우는 $k/2$ 를 갖는다. 따라서 MD 는 $1 \leq MD \leq k/2$ 의 영역을 갖게 되며, 이는 다음 식과 같이 normalize될 수 있으며 이를 상대적 비대칭성(RA , Relative Asymmetry)이라고 한다.

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

보통 RA 는 전체 공간의 수에 영향을 받기 때문에 실질적 상대적 비대칭성(RR_A , Real Relative Asymmetry)이라는 개념을 이용하여 공간 전체크기에 의한 영향을 최소화한다. RR_A 는 RA 를 동일한 수의 이론적인 다이아몬드 형태 공간의 $RA(D)$ 로 나눔으로써 산출된다.

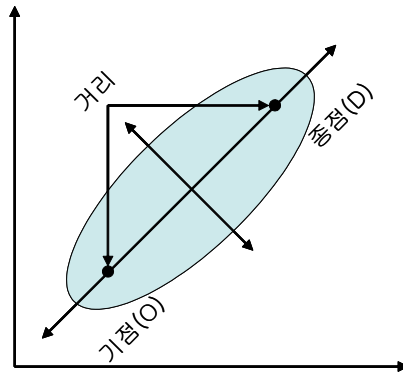
$$RR_A = \frac{RA_i}{RA(D)} \quad (3)$$

RR_A 는 접근성에 반비례하기 때문에 이를 직관적인 수치로 나타내기 위해 역수를 사용하게 되는데 이를 해당 공간의 통합도(I , Integration)라 한다.

3. Space Syntax를 적용한 A-Star 경로탐색

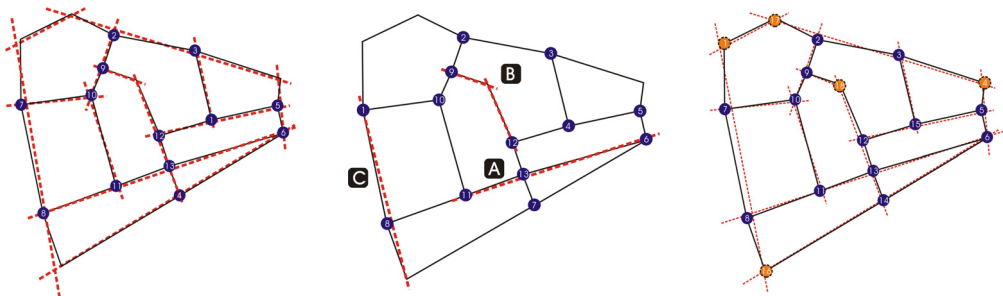
A* (A-Star) 알고리즘은 경로탐색 알고리즘 중에서 빠른 속도를 보이는 알고리즘으로서 네비게이션 시스템에 적용되어 그 효과가 인정되고 있다. 최초로 소개된 논문(Hart *et al.*, 1968)에서 허용성(admissibility)과 최적성(optimalty)이 증명되었으며, Dijkstra's algorithm이나 Best-First Search (BFS) 보다도 빠른 탐색 알고리즘으로 알려져 있다. 일반적으로 경로탐색에 흔히 사용하는 Dijkstra 알고리즘은 현재까지 탐색된 비용을 최소화 하면서 최단거리를 산출해가는 데 반해, A* 알고리즘은 현재까지 비용의 최소화와 함께 목표지점까지 거리도 최소화 한다. 이 때, 목표에 얼마나 근접한 것인지를 평가하는데 휴리스틱 함수를 사용한다. 본 연구에서는 현재 노드에서 목표지점까지의 직선거리를 휴리스틱 함수로 사용하였다. A* 탐색 알고리즘에 관해서는 다수의 논문에서 소개되어 있으므로 여기에서는 생략하기로 한다.

최적 경로 알고리즘은 네트워크의 크기가 커지면 탐색노드의 증가로 인해 탐색시간이 증가한다. 그러나 현실적으로 모든 출발점과 도착점을 찾기 위해서 대상지역 네트워크의 모든 지점을 탐색을 할 필요는 없다. 특히, 도로망이나 보행로와 같이 유사한 도로 밀도를 가지고 대체로 균일하게 놓여져 있는 네트워크에서 최적경로는 일반적으로 시종점간 직선 연결을 중심으로 하여 크게 돌아가지 않는 경우가 대부분이다. 그러므로 일반적인 도로망에서는 탐색 영역을 제한하여 연산속도를 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 시종점을 기준으로 한 타원영역을 탐색영역으로 제한하는 방법을 사용하였다 (그림 5).



〈그림 5〉 경로탐색 범위의 설정

본 연구에서 사용하는 데이터는 보행로의 네트워크 데이터이다. 이때의 데이터 형식은 Link-Node 기반의 토폴로지 구조를 가진 일반 GIS 네트워크 형식이다. 그러나 Space Syntax의 Axial line에 기반 한 인지도 높은 길, 즉 Integration 값이 높은 길을 경로에 포함시키기 위해서는 GIS형식의 데이터로부터 Axial line을 추출할 수 있어야 한다. 두 모델의 Link-Node 체계는 다르지만 GIS 네트워크의 보행로, 즉 링크(link)를 Space Syntax의 Axial line과 연계시켜 두 모델의 통합의 가능성을 검토할 수 있다. 그림 6의 a는 GIS 네트워크와 Axial Map의 대응 관계를 Graph로 추상화 한 것이다. 여기에서, 시선축의 전환에 따라 깊이가 다른 공간으로 인식되는 Axial line 방식과, 두 라인이 만날 때에만 노드를 부여하는 GIS 도로 링크와의 대응관계를 알 수 있다.



a. GIS 네트워크와 Axial Map의 대응관계 b. Axial Line과 GIS 네트워크의 세가지 대응 유형 c. 가상의 노드(node)를 추가한 Axial Map의 구성

〈그림 6〉 GIS기반 네트워크로부터 Axial Map의 구성

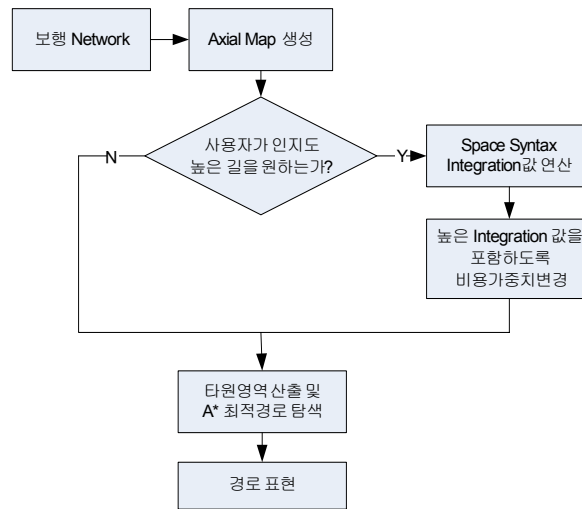
이러한 대응관계는 그림 6의 b에 나타난 바와 같이 세 가지로 분류할 수 있다. 즉, 첫째, 다수의 링크가 하나의 Axial line을 구성하는 경우(A), 둘째, 하나의 링크에 다수

의 Axial line이 있는 경우(B), 셋째, 인접한 링크들의 부분이 서로 모여 하나의 Axial Line을 구성하는 경우(C)이다. 본 연구에서는 이러한 대응관계를 분석하여 GIS 네트워크로부터 Axial Line을 구성하는방법을 표 1과 같이 세 가지로 제시하였다.

〈표 1〉 GIS 네트워크와 Axial Line간 대응 유형과 Axial Line 구성방법

유형	대응관계	Axial Line 구성방법
A	다수의 링크가 하나에 Axial line으로 구성되는 경우	링크 속성에 동일한 고유 ID를 부여함으로 이 링크는 특정 Axial line의 일부라는 정보를 알 수 있다
B	하나의 링크가 다수의 Axial line으로 구성되는 경우로	링크 속성에 Axial line의 개수를 저장함으로 이 링크는 여러 개의 Axial line을 갖는 곡선링크임을 알 수 있다
C	인접한 링크의 일부분들이 서로 모여 하나의 Axial line으로 구성되는 경우	현 GIS 링크 체계에서는 직접적인 구현이 불가능하여 그림 6의 c와 같이 링크의 기울기가 급변하는 부분에 가상의 노드를 추가하여 Axial line의 형태를 재현할 수 있다

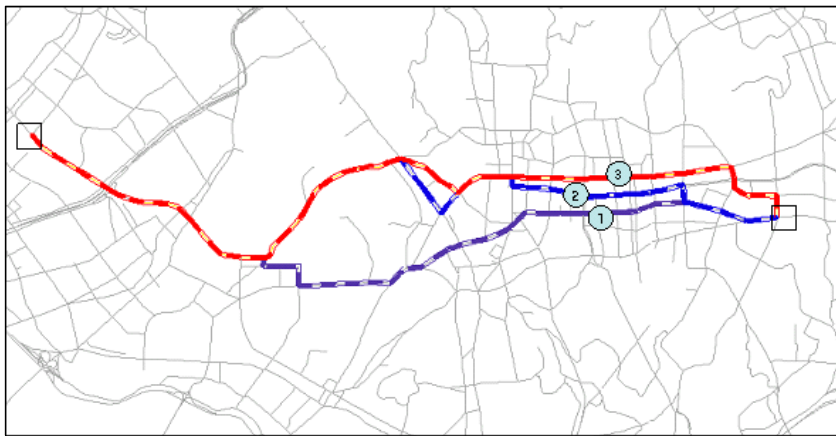
그림 7은 본 연구에서 제안하는 보행로 경로탐색과정의 전체 흐름을 보여준다. 우선 GIS 보행로 네트워크 데이터가 입력 데이터로 주어지면, 위에서 제안한 방법으로 Axial Map을 생성한다. 다음으로는 사용자가 인터페이스에서 시-종점을 입력한다. 개인용 네비게이터 시스템이라면 GPS에 의해 현재 위치가 자동으로 산출되므로, 그 경우에는 목적지만 입력하면 될 것이다. 그 다음으로는 사용자가 보행경로의 옵션을 지정하는 단계이다. 만약, 옵션의 지정 없이 단순 경로의 산출을 원할 경우에는 A* 알고리즘에 의해 최단경로를 산출한다. 사용자가 인지도 높은 경로, 즉 Space Syntax의 Integration 값이 높은 경로를 원할 경우에는 대상 지역에서 Integration값을 구한다. 그 다음으로는 Integration값이 높은 길이 경로에 포함될 수 있도록 경로의 가중치 값을 보정한다. 본 연구에서는 Integration값에 비례하여 축소된 링크의 길이를 A*과정에서 비용으로 사용하는 방식으로 Integration값을 반영하였다. 최종적으로 산출된 경로가 사용자 인터페이스에 랜더링된다.



〈그림 7〉 경로탐색 과정

4. 사례적용

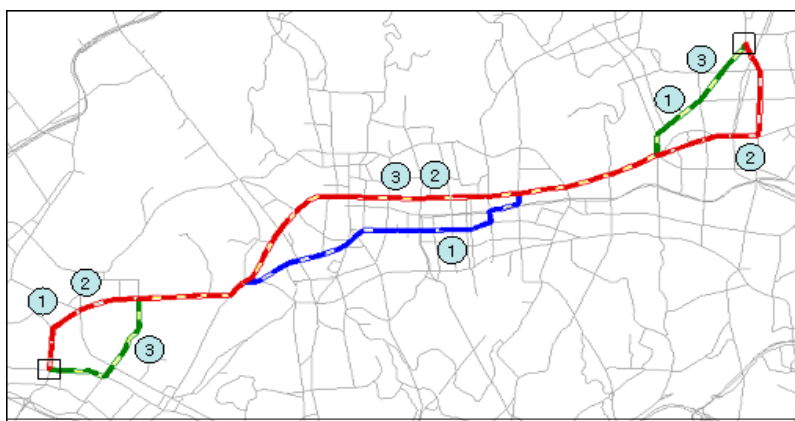
본 연구에서 제시한 방법을 실제데이터에 적용하여 예시하기 위해 서울시 GIS 데이터를 사용하였다. 프로그래밍은 C#을 이용하였으며, 지도 데이터의 랜더링은 ESRI사의 MapObjects를 이용하였다. 본 테스트는 ① 단순 최단경로, ② 경유지를 지정한 최단경로, ③ Space Syntax 기반 인지도가 높은 경로의 세 가지를 사용자가 옵션으로 지정하는 방식으로 실시하였다. 본 테스트는 Space Syntax 기반의 인지도가 높은 길의 산출과정을 명확하게 나타내기 위해 보행로임에도 불구하고 충분히 긴 거리를 시-종점으로 부여하였다. 또한 탐색결과 세 가지를 동시에 한 화면에 표현하여 상이한 결과를 육안으로 구분하기 쉽도록 하였다.



〈그림 8〉 마포구 상암동~성동구 마장동 경로탐색

그림 8은 마포구상암동~성동구 마장동을 시-종점으로 한 경로탐색 결과를 보여준다. 여기에서는 Space Syntax를 이용한 인지도 높은 최단경로가 종로를 경유해서 통행하는 것으로 나타나서, 거리상 최단 경로인 1번 경로와 확연히 다른 것으로 분석되었다.

그림 9는 동대문구 전농동~마포구 합정동을 시-종점으로 입력하였을 때의 탐색결과를 보여준다. 탐색 결과 단순 거리상 최단경로와 인지도 높은 경로가 비슷했으나 앞의 결과와 마찬가지로 Space Syntax 기반 경로는 종로를 경유하는 것으로 나타났다. Space syntax의 통합도를 독립적으로 산출해 보더라도 종로는 주변으로의 접근성, 또는 통합도가 좋은 것으로 나타남으로, 테스트 결과가 양호하게 나타나는 것을 알 수 있다.



〈그림 9〉 동대문구 전농동~마포구 합정동 경로탐색

5. 결 론

본 연구에서는 보행자를 위한 경로탐색 시뮬레이터를 개발할 때 인지도가 높은 길을 포함시켜 제공하는 방법을 제시하였다. 대상 지역에서의 인지도, 또는 접근성을 산출하기 위하여 Space Syntax 기법을 이용하였다. 본 연구에서는 Space Syntax 산출과정을 자동화하기 위하여 GIS 기반 네트워크 데이터로부터 Space Syntax의 Axial Line을 자동적으로 추출하는 방법을 제시하였다. 도로 폭과 형태를 고려하여 Convex space로 분할하는, Space Syntax의 전통적인 단계를 거치지는 않지만 수 십 미터 정도의 매우 가까운 거리를 보행하는 경우가 아니라면 크게 차이가 없을 것으로 판단된다. 이에 대한 명확한 차이점에 대한 분석은 추후 연구로 미루고자 한다. 본 연구에서는 사용자가 직접 시-종점을 입력하는 방식으로 알고리즘을 테스트 하였으나, GPS기반 네비게이션으로 개발될 경우에는 현재 위치를 GPS를 통해 확인할 수 있으므로 목표지점만 입력함으로써 경로탐색을 할 수 있을 것이다.

References

- 김영옥, 2003. Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구, *대한국토도시계획학회지*, 38(4): 7-17.
- 이규인, 1995. 공동주택단지 동선의 사회적 특성과 통행량의 상관성에 관한 연구, *대한건축학회논문집 계획계*, 11(1): 113-121.
- 임현식, 2003. Space Syntax를 활용한 보행공간체계 분석에 관한 연구: 서울시 시청주변의 보행환경을 중심으로, 석사학위논문, 세종대학교 대학원.
- 최윤경, 권영환, 2003. 도시공간구조와 보행자의 움직임에 관한 연구, *대한건축학회논문집 계획계*, 19(1): 89-96.
- Bafna, S., 2003. Space syntax: a brief introduction to its logic and analytical techniques, *Environment and Behavior*, 35(1): 17-29.
- Hart, P., N. Nilsson and B. Raphael, 1968. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths, *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC-4*, 2(July): 100-107.
- Hillier, B. and J. Hanson, 1984. *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press.
- Hillier, B., 1996. *Space is the Machine*, Cambridge University Press.
- Hillier, B., A. Penn, J. Hanson, T. Grajewski and J. Xu, 1993. Natural movement: configuration and attraction in urban pedestrian movement, *Environment and Planning B*, 20: 29-66.
- Jiang, B. and C. Claramunt, 2002. Integration of Space Syntax into GIS: new perspectives for urban morphology, *Transactions in GIS*, 6(3): 295-309.
- Jiang, B., C. Claramunt and M. Batty, 1999. Geometric accessibility and geographic information: extending desktop GIS to space syntax, *Computers, Environment and Urban Systems*, 23: 127-146.