

GIS 도로 데이터의 일반화를 이용한 Axial map 구현 방법에 관한 연구

Axial map Implementation Using Linear Generalization of GIS data

권 순 일* 박 수 흥** 주 용 진***
Soon Il Kwon Soo Hong Park Yong Jin Joo

요 약 방향전환의 횟수를 변인으로 공간구조를 정량적으로 산출하고 분석 할 수 있는 Space Syntax 방법론은 안전한 길, 활기 있는 길 등 인간의 '심리적 거리' 특성을 반영 할 수 있어 기존의 GIS 기반 공간정보 서비스에서의 '물리적 최단 거리'에 기반 한 공간정보 서비스에 교통사고 및 야간의 범죄로부터의 안전성 등을 훨씬 증시하는 결과를 보여줄 수 있다. 이처럼 Space Syntax 방법론을 이용한 방법을 위해 기본적으로 Axial map(축선도)을 구축해 작업하여야 하는데, 실제 축선도를 구현하는데 시간적, 물리적 제한을 많이 갖게 된다. 따라서 본 연구에서는 GIS 도로 데이터를 이용하여 축선도를 구현하는데 있어, 선형 사상의 일반화 원리를 이용하여 전통적인 축선도를 구축함에 있어 객관적인 근거를 바탕으로 알아보고, Space Syntax의 주요인자인 전체통합도와 실제 통행량 사이의 상관관계를 통해 결과를 비교하여 본다. 이러한 방법을 통하여 실제 통행량과 $R^2=0.5387$ 수준까지의 상관관계의 결과를 얻을 수 있었다.

키워드 : GIS 도로 데이터, Space Syntax, Axial Map, 축선도, 선형 단순화

Abstract Space Syntax methodology can be quantitatively calculated spatial cognitive analysis by number of turns. In the existing GIS-based spatial information service provide 'physical distance' due to the shortest distance as a priority, but pedestrians tends to choose the path with concerned a lot of emphasis of safety, more vitality way from the crime at night, traffic accidents, and comfort on a road. Human's 'psychological distance' may reflect the spatial information services and provided path should be. In this study, using GIS Road Data implements the axial map with idea of the linear simplification principles. Traditional axial map of the Space Syntax get the assumption from the actual traffic values by comparing the results of correlation relationship. Through these methods, the actual relationship between traffic and test values have the correlation value($R^2= 0.5387$) 50% level and was able to get the results.

Keywords : GIS Road Data, Space Syntax, Axial Map, Linear Generalization

1. 서 론

친 환경, 친 보행자 중심의 사회 분위기와 향상된 GPS, 이동통신 기술의 발달과 휴대용 통신 기기의 보급 확산으로 일명 '뚜벅이'용 보행자 전용 경로안내 서비스, 보행자용 위치정보 시스템 또한 주목받고 있다. 하지만 현재 보행자를 위한 공간 정보 서

비스는 일반적으로 차량용 경로제공을 대상으로 개발된 교통주제도를 기본으로 보행자 경로안내에 사용하고 있다. 그러나 차를 타고 넓은 범위를 짧은 시간에 고속으로 이동하는 차량 경로제공용 수치지도로 인간의 두 발걸음으로 좁은 범위를 느리게 이동하는 보행 경로의 데이터의 표현과 저장량에는 현저한 차이가 있다. 또한 현재 보행자를 위한 경로

† 본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(06국토정보-B01)에 의해 수행되었습니다.

* 인하대학교 지리정보공학과 석사 soonileo@inha.ac.kr, soonileo.kwon@kict.re.kr

** 인하대학교 지리정보공학과 부교수 shpark@inha.ac.kr

*** 서울시립대학교 도시과학연구원 융합도시연구센터 연구교수 yjjoo75@uos.ac.kr(교신저자)

안내 서비스는 기존의 '최단거리'에 기반 한 차량용 경로안내를 기반으로 하고 있지만 보행자를 위한 경로안내의 표현에는 최단거리, 최소시간 등의 물리적인 양의 제공뿐 아니라 익숙한 길, 활기 있는 길, 안전한 길, 아는 길 등 '심리적 요인'의 적용과 이를 반영한 보행자 특성을 설명할 수 있는 기능이 제공되어야 하겠다(김혜영 2006).

이인성·김현옥(1998)은 보행거리는 보행환경 만족도에 있어서 중요한 변수이기는 하지만 보행 가능거리이내에서는 '거리'가 가장 중요한 환경인자는 아님을 밝혔다. 보행자의 경로선택에 있어서 최단거리 통행보다는 조명과 횡단보도 수 등 야간의 범죄 및 교통사고로부터의 안전을 훨씬 중시하고 있음을 보여준다. 또한 윤용우·김영옥·박영기(2005)는 물리적인 거리(Distance)뿐만 아니라 심리적인 거리(Depth), 두 인자 모두 이용자의 공간인식에 매우 높은 관련성이 있으나, Depth가 Distance보다 공간인식에 더 높은 영향력을 나타내고 있다. 이는 Depth가 공간인식에 중요한 역할을 하며 이러한 심리적인 거리의 패러다임에서 환경을 인식하는 중요한 인자로서 설명할 수 있다. 따라서 Depth를 기본 인자로 이용하여 인간이 공간을 인지하고 공간을 사용하는 행태 사이에서 그 공간적 특질을 정량적으로 계산 할 수 있는 공간구조분석 방법인 Space Syntax 이론을 이용하여 인간의 '심리적 거리'의 인자에 대한 속성을 이용할 수 있다.

이러한 Space Syntax 방법을 이용하기 위해서는 실제도로망의 인간의 시각적 특성에 기반 한 단위 공간(축)으로 구현한 Axial map(축선도)를 작성하여야 한다. 하지만 축선도 구축 시 같은 연구지역이라 하여도 서로 다른 축선도를 구축할 주관적인 구축 작업의 과정을 거친다(Turner, Penn and Hillier, 2005). 따라서 본 연구는 GIS 도로데이터를 이용하여 이 같은 문제를 해결하는 것에 있다. 그러기 위해 첫째, 공간을 구성하는 개념이 다른 Space Syntax의 축선(axial line)과 GIS의 도로(link)의 구성요소를 파악, 유형을 분류하여 두 모델의 문제, 해결 방안을 모색하고, 둘째, GIS 데이터의 선형 데이터의 단순화 기법을 이용하여 전통적인 축선도를 구현함에 있어 구축의 객관적인 근거를 알아보고, 셋째, Space Syntax의 주요 지수인 전체통합도(Global Integration)를 입력함으로써 GIS 도로 네트워크를 이용한 축선도와 실제 통행량과의 상관관계

를 통해 적용된 결과에 대한 검증방법을 검토한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 Space Syntax 이론과 GIS 데이터를 이용한 축선도 구현 관련 연구들을 살펴보고, 3장에서는 축선도 구현을 위한 대응관계 및 연계방안을 알아본다. 4장에서는 GIS 선형자료의 선형 단순화를 통해 축선도 구현에 관한 방법을 알아보고 5장에서는 실험에 대한 결과 및 성능 평가를 비교해본다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 추후 연구해야 할 방향에 대해 언급한다.

2. 관련 연구

2.1 Space Syntax

Space Syntax 방법론은 공간구조를 분석하여 각 공간의 중요도를 정량적으로 제시하는 이론이자, 이를 토대로 개발된 일련의 컴퓨터 프로그램을 지칭하는 것으로, 공간구조와 상호연관성을 지니게 되는 공간 구조에 대한 이해와 이를 분석하는데 필요한 기본적인 근거를 제시하여 준다(Hillier and Hanson, 1984, 1993 김승제 1988, 김영옥 2000) 이를테면 공간구조에 따라 형성되는 공간 이용의 패턴은 건물 이용자들의 사회적 관계와 커뮤니케이션 정도에 따라 큰 영향을 끼치게 되는데, Hillier(1984, 1996)는 이를 공간구조가 지닌 사회적 속성이라 정의하고 공간구조가 사람들의 공간이용패턴을 규정하는 가장 기본적인 인자임을 제시하고 있다.

Space Syntax적 개념에서 공간의 깊이는 어떤 공간에서 다른 공간으로 이동할 때 거쳐야 하는 공간들의 수인 상대적 거리를 나타내며, 일반적인 물리적 거리의 개념과는 다른 것이다. Space Syntax 방법론의 가장 근본적인 변수는 공간의 수(K)와 공간과 공간사이의 깊이(depth)를 통해 한 특정한 공간으로부터 다른 모든 공간으로의 깊이의 합인 전체깊이(Total depth, TD)를 구하고, 이런 공간의 수와 전체깊이를 기본으로 공간구조상 중요도는 분석대상지역의 전체 공간에서의 접근성에 의하여 계산하며 이 접근성을 Space Syntax에서는 전체 공간을 통합하여 주는 통합성 혹은 공간구조 위계상의 중요도를 의미하는 'Integration'(통합도)¹⁾라 정의한다.

1) 통합도는 분석 대상 범위 내에 축선도에 표현된 모든 축선(공간)들을 대상으로 기점이자 종점으로 가정하여 한 축선에서 다른 모든 축선으로까지의 공간깊이를 계산한 공간의 위계성의 정도를 수치로 나타낸 값으로

2.2 Axial map(축선도) 구축

Space Syntax를 활용하여 공간형태를 분석하기 위한 방법으로는 단위공간에 의한 분석(Convex Analysis)과 단위 축에 의한 분석(Axial Analysis)이 있다. 이를 위해서 분석대상 지역의 오픈 스페이스체계를 바탕으로 시각적으로 공간내의 모든 곳을 볼 수 있고 경험할 수 있는 공간인 가시 영역도(convex space)와 단위 공간 내에서 인간의 시각적으로 최대한 보일 수 있는 정도를 설정하여 한 직선으로 연결한 축인 축선(axial line) 기반의 축선도(Axial maps)가 필요하다. 이 가시 영역도를 이용한 단위공간에 의한 분석은 공간의 물리적 구조를 단위 공간(convexity)으로 표현하여 그 연결된 정도를 분석할 수 있고 단위 축에 의한 분석 방법 또한, 공간의 물리적 구조를 단위 축(Axial)으로 표현하여 그 연결된 정도를 분석하는 방법이다.

이때 가시 영역도는 분석대상인 건물이나 도시를 모두 포함하는 최소한의 개수의 최대크기의 가시 영역도로 구성되고 축선도는 모든 가시 영역도를 포함하는 최소한의 개수의 최대한 긴 직선으로 구성된다(Hillier and Hanson, 1984, Turner, Penn and Hillier, 2005). 이 축선도는 정적인 단위공간들로 구성되는 가시 영역도를 바탕으로 그려지며, 접근성을 의미하는 동적인 개념을 내포한다. 축선도가 완성되면 분석대상 공간의 공간 구문적 특성을 계산할 수 있고, 공간 구문적 특성치는 공간형태의 특성을 정량화하여 객관적인 수치를 비교할 수 있고 결과를 시각적으로 표현할 수 있다.

2.3 선형 데이터 단순화

단순화(simplification)는 일반화의 여러 가지 방법 중의 하나로서, 선형 사상의 특성을 유지하되 새로운 축척이나 표현수단에 적합하게끔 불필요한 사상이나 세부적인 사항을 제거하는 것이다(Barber et al., 1995). 단순화의 목적으로는 Deveau(1985)는 첫째는 자료 저장량의 최소화이다. 둘째로 단순화되는 사상이 주어진 조건 내에서 가능한 한 원래 선형 사상의 형태를 유지하도록 함으로써 단순화 과정에서 손실되는 정보의 양을 최소화할 수 있다.

마지막으로는 계산 시간의 최소화를 들 수 있다. 단순화 알고리즘의 개발은 수치지도의 발달에 따라 지도 자료의 양이 많아지면서 이들을 처리하기 위하여 1960년대부터 시작되었고 1970년대 이후 활발하게 연구되었다. 단순화 알고리즘의 개발에 관한 연구로는 대표적으로 Lang, Douglas and Peucker, Oheim, 등의 연구가 있다(김두일, 김종석, 1985, 박우진 2008). 본 연구에서는 우선 단순화의 결과가 정성적으로 우수한 형태를 보여주고 최소한의 개수로 최대한의 긴 직선으로 구성하게끔 일정한 너비의 임계영역을 형성하여 영역 내에서 점들을 삭제하는 방식인 Reumann-Witkam 알고리즘과 일정 너비와 거리를 동시에 단순화를 진행하는 Oheim 알고리즘을 사용한다. 이런 GIS 선형 데이터의 단순화 알고리즘은 임계영역 내에서 최대 길이의 선형을 구하는 것으로 축선도 작성 방식의 기본원리인 최소개수의 최대길이의 축선의 의미와 동일한 의미를 가진다.

3. GIS 도로 데이터를 이용한 축선도 구현방안

3.1 Space Syntax와 GIS 모델의 구성방식

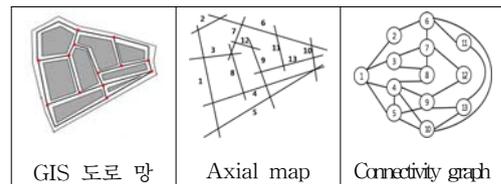


그림 1. 실제도로망, GIS 도로망, Axial map의 차이

Space Syntax의 Axial Map과 GIS 도로 망은 모두 수학적인 Graph로 모델을 추상화 할 수 있으나(그림 1) 이 두 개의 모델에서 노드와 링크가 의미하는 바는 표 1과 같이 서로 다르다. Space Syntax는 도로 망을 연속시킨 공간의 집합으로 가정하며 모든 공간을 대상으로 최소한의 긴 직선으로 디지털이정한다. 그리고 이를 축선도(Axial map)라 정의하고 각 축선은 Connectivity graph에서 이벤트가 발생하는 노드가 되고 축선의 교차점은 단순 연결만을 의미하는 링크가 되어 각 노드의 공간의 깊이(depth)에 대한 네트워크 분석을 통하여 공간(축선)의 위계성의 정도(통합도), 접근성을 나타내게 된다. 이와 같이 Space Syntax의 공간구조 모델은 표 1과 같이 전통적인 GIS 네트워크 개념의 역으로 구성됨을 알 수 있다.

Space Syntax 모델에서 특정 공간의 통합도는 접근성을 계산하는 하나의 지표가 된다.

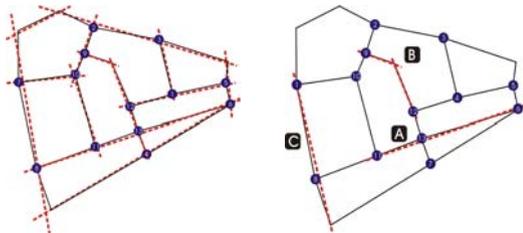
따라서 GIS의 교통네트워크의 도로망과 Space Syntax의 모델의 Axial line은 서로 공간을 구성하는 방식이 다르므로 이러한 대상 모델의 특성을 고려하여 대응하는 방식을 모색해야 한다.

표 1. GIS 네트워크와 축선도 대상의 차이

대상	GIS 네트워크	Axial map
이벤트 발생 대상	Node (대안 노선 선택)	Axial line (depth 계산)
연결 대상	Link (Node-Node간 연결)	교차점 (Axial line간 연결)

3.2 축선(axial line)과 링크(link)의 대응관계 및 구현방안

그림 2는 GIS 도로망 데이터와 축선도의 대응관계를 수학적인 그래프로 모델을 추상화한 그림(이경로, 2005)이며 축선과 링크와의 대응관계 데이터 구조를 알 수 있다.



도로 네트워크와 축선도의 대응관계

축선(axial line)과 링크(link)의 대응 유형

그림 2. 기존 축선과 링크의 대응문제 (이경로, 2005)

축선과 링크 데이터는 곡선과 굴절된 하나의 링크에 다수의 축선이 있는 경우(1:n)와 다수의 직선 링크가 하나의 축선으로 구성되는 경우(n:1)의 구조로 되어 있으며, 이러한 축선과 링크의 대응관계는 3가지 유형으로 분류할 수 있다. 이를 위한 축선과 링크의 대응관계를 해결하기 위한 방법으로는 표 2에서 요약한 바와 같이 첫 번째 A유형은 다수의 직선 링크가 하나의 축선(axial line)으로 구성되는 경우로 GIS 도로 네트워크를 축선도로 구현 할 때 가장 많이 발생하는 경우 이다. 이 같은 경우, GIS 도로 네트워크의 속성 값을 이용하여 하나의 도로명

혹은 필드를 추가하여 동일한 축선의 ID를 부여함으로써 직선의 링크를 특정 축선의 일보라는 정보를 입력 할 수 있다. 두 번째, B유형으로 하나의 링크가 다수의 축선으로 구성되는 경우로, 보통 곡선의 링크 혹은 굴절된 링크의 경우 여러 개의 축선으로 표현된다. 선형 단순화 효과가 잘 얻을 수 있는 유형이다. 세 번째, C유형으로 인접한 링크의 일부분이 서로 인접하여 하나의 축선으로 구성되는 경우로, 인접 링크를 대상으로 하나의 링크로 병합 후, 링크 내 버텍스를 재 노드화 하여 A 유형으로 단순화 시키는 작업을 수행할 수 있다. 이러한 방법을 통하여 세 가지 유형에 대한 해결방법을 통하여 본 연구에서 제안하는 GIS 선형자료의 선형단순화의 적용 결과들을 비교, 분석하여 본다.

표 2. 축선과 링크의 대응관계 문제의 해결

유형	문제	해결
A	다수의 링크(link)가 하나의 축선으로 구성되는 경우	GIS도로망 속성 이용 도로 명 혹은 동일 필드로 통합
B	하나의 링크(link)가 다수의 축선으로 구성되는 경우	링크의 선형 단순화를 통한 곡선의 직선화
C	인접 링크(link)의 일부분이 서로 모여 축선으로 구성되는 경우	Dissolve - Divide를 통한 인접링크의 A 유형화

4. 선형 단순화를 통한 축선도의 구현과 결과

이 장에서는 3장에서 다루는 축선과 링크의 대응관계에 대한 유형과 해결방법에 대해 선형단순화의 방법을 그림 3과 같은 방법을 제안해 본다.

4.1 곡선링크에서의 Axial line 판단 방법

GIS 데이터의 구조를 살펴보면 곡선 링크는 도로의 중심선을 따라 굴곡이 심할 경우 버텍스들을 통하여 곡선을 표현한다. 즉 곡선링크는 사실상 연속된 점들과 이웃한 두 점들 간의 직선으로 구성됨을 알 수 있다. 그러나 곡선링크를 어디에서부터 어디까지가 하나의 Axial line으로 볼 것인가 하는 문제가 제기된다. 하지만 곡선 링크를 몇 개의 Axial line으로 구성되었는가를 판단하는 것은 사람의 주관적인 판단에 의해 다소 변할 수 있으므로 동일한

기준의 Axial line 개수를 구하기 위해서는 적절한 파라미터(Parameter) 조정을 통한 프로그램의 구축이 필요한 것이다.

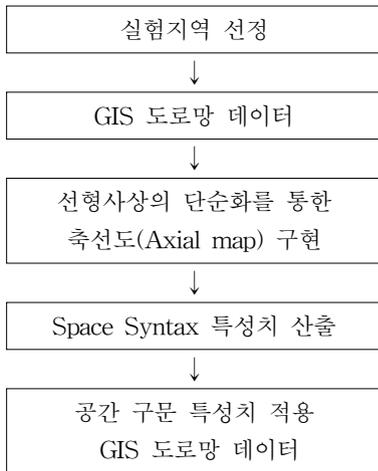


그림 3. 도로망 데이터를 이용한 축선도 구현

4.2 Reumann-Witkam 단순화 알고리즘을 이용한 곡선링크의 단순화

Reumann-Witkam 단순화 원리는 Axial map 구축의 가장 기본적인 조건인 “최대길이의 최소 개수의 axial line으로 구성함”을 GIS 선형 데이터를 이용하여 구성할 수 있다. 그림 4를 보면, 선형 개체의 첫 점과 두 번째 점을 연결한 선을 둘러싼 일정한 너비의 임계영역을 형성하여 임계영역 내에 포함된 점들은 삭제하는 방식이다. 그 후 처음으로 임계 폭을 벗어나는 점을 목표로 다시 임계영역을 형성하여 앞의 과정을 순차적으로 진행한다.

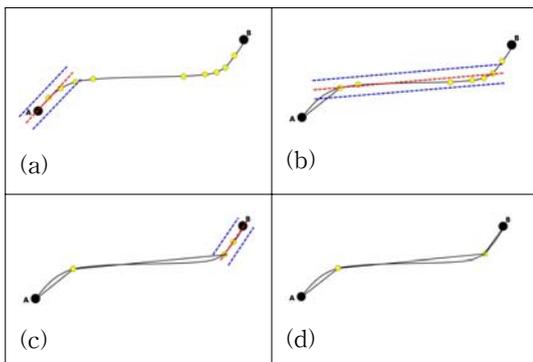


그림 4. Reumann-Witkam 선형 단순화 원리

Reumann-Witkam 단순화 네트워크의 평가는 도로 설계 지침 기준을 반영한 최소 유효 도로 폭 2m, 3m, 5m, 7m, 10m 반경을 임계치(tolerance)로 하여 그 값들을 변경하면서 결과를 살펴보았다.

4.3 Opheim 단순화 알고리즘을 이용한 곡선링크의 단순화

Opheim 단순화 알고리즘을 이용한 네트워크 평가는 Reumann-Witkam 알고리즘의 방법이 폭의 너비만 정해졌을 뿐 그 길이에는 제한을 두지 않았다. 따라서 그림 5와 같이 Opheim 알고리즘을 이용하여 두 개의 기준, 너비와 길이에 의해 탐색구역을 정하여 단순화 방법을 수행한다.

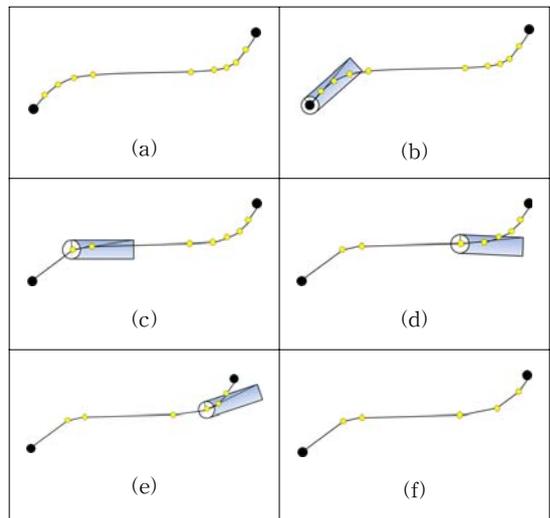


그림 5. Opheim 알고리즘의 선형 단순화 원리

이런 Opheim 알고리즘의 임계영역은 보행자의 최소한의 안전거리 반경과 최대한의 가시거리를 직관적으로 표현하는 것과 동일한 의미를 주기 때문에 곡선의 굴곡을 제거하고 최소한의 직선으로 표현되는 도로 네트워크에서 장점으로 사용할 수 있다.

5. 선형 단순화 축선도의 실험 및 평가

5.1 실험 지역의 선정 및 실험 데이터

연구지역의 공간적 범위를 선정하기 위해서 서울시내의 공간적 특성과 성격을 가지고 있다고 생각되는 주요 중심 업무 지구를 선정 후, 공간구조와 통행량과의 상관관계는 상업·업무 시설 지역에서

그 특성이 가장 잘 나타나며 발생하는 통행량의 특성을 잘 파악하기 쉬운 조건을 만족시키는 지역으로 서울시의 시청주변 업무지역을 연구 실험 지역으로 삼았다.

실험을 위해 연구지역을 GIS 도로 네트워크를 확보하고, 1:5000의 국가지리정보원의 수치 지형도를 기본으로 건물 레이어와 도로 경계 레이어와 한국교통연구원에서 작성된 레벨 2의 교통주제도를 이용하여 기존 도로 링크와의 위치정보를 확인하고, 도로의 연결성, 도로의 차선 수, 도로 명 등이 나타나 있는 속성정보를 확인하였다. 교통주제도의 속성에 나와 있지 않은 도로 시설의 위치 및 속성에 관한 정보는 1:20,000 항공사진을 중첩 시켜 GIS 도로망에 추가시켰다.

5.2 실험평가

5.2.1 Reumann-Witkam 단순화 결과 비교

유기적인 도로의 형태를 보이는 서울시청주변의 보행네트워크를 대상으로 Reumann-Witkam의 선형사상 단순화 알고리즘을 진행해 보면, 그림 6과 같다. 최소 안전반경 폭을 도로 설계 지침 기준으로 반영한 최소 유효 반경을 2m(청색), 3m(보라색), 5m(녹색), 7m(청녹색), 10m(적색)로 변경하면서 단순화의 결과를 살펴보았다.

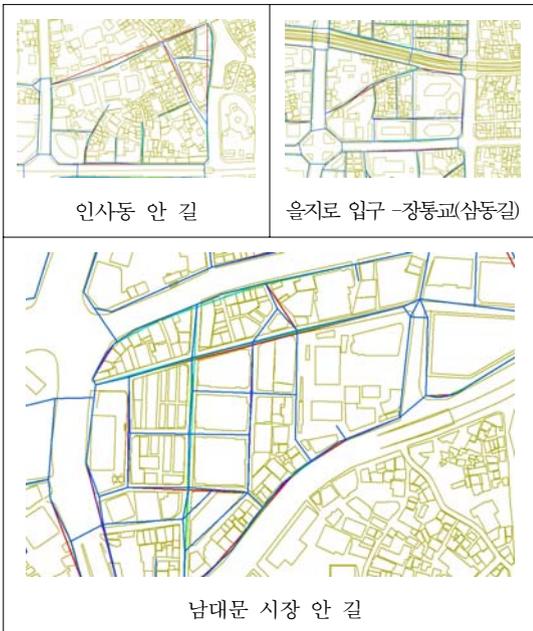


그림 6. Reumann-Witkam 알고리즘의 정성적 평가

반경 7m, 10m의 경우 생성되는 axial line의 개수는 적었지만, 물리적인 도로의 폭을 넘어가거나, 건물군을 뚫고 지나가는 모습을 보인다. 5m 반경의 경우 보도의 폭의 따라 선형의 불가가 판명된다. 따라서 Reumann-Witkam 방법을 이용한 GIS 네트워크의 단순화를 진행하였을 경우 7m, 10m는 반경은 탐색에 적합하지 않으며, 2m, 3m, 5m 반경이 유효하고 도로 폭에 따라 5m의 반경을 고려해볼 만하다. 표 3의 값을 살펴보면, 반경이 커질수록 생성되는 축선 수는 적어지고 축선들의 통합도의 평균값이 커지는 것을 알 수 있다.

표 3. Reumann-Witkam 단순화 공간 구문특성 값의 비교

반경	총 축선수	전체통합도		국부통합도		연결도
		평균	표준편차	평균	표준편차	
2m	863	0.419	0.077	1.385	0.387	3.117
3m	766	0.421	0.077	1.418	0.378	3.183
5m	666	0.473	0.082	1.443	0.388	3.192

5.2.2 Opheim 단순화 결과 비교

Opheim 알고리즘을 이용하여 두 개의 기준, 너비와 길이에 의해 탐색구역을 정하여 단순화 방법을 수행하면 그림 7과 같다.

이는 인간의 시각적 능력과 경로선택에 있어서 심리적 거리의 한계 거리인 150m, 500m, 1200m²⁾를 종속변수로 두고 도로 설계 지침 기준을 반영한 도로 폭 2m, 3m, 5m, 7m, 10m 반경으로 변경하면서 그 결과를 살펴보았다. 보행반경이 5m로 같은 경우 통합도의 값들이 같음을 알 수 있다. 또한 이전의 Reumann-Witkam 방법을 통한 결과 값과 비교해 보면, 전체 통합도(0.550:0.417)와 총 축선 수의 값(606:906)은 Reumann-Witkam의 값이 더 우수한 반면, 보행자 특성과 더 밀접한 관계를 보이는 국부 통합도의 값은 Opheim 알고리즘 값이 더욱 큰 값을 보였다(1.447:1.544).

2) 보행자와 가시거리에 관한 최대 길이로써, 도시공간에서의 건물인식의 최대 한계거리 150m, 인간의 심리적 보행선택 최대 거리 500m, 인간의 인식의 건물군 인식의 한계 최대 거리 1200m로 설정하였다.

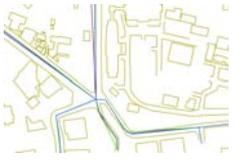
 <p>서울시립미술관 앞 거리 150m, 최소반경 2m</p>	<p>가시거리 150m 설정의 경우, 최소반경을 2m의 반경으로 단순화 한 경우가 최소의 개수로 선형사상의 단순화가 이루어진다.</p>
 <p>명동 길 거리 500m, 최소반경 5m</p>	<p>가시거리 500m 설정의 경우, 최소반경을 5m의 반경으로 단순화 한 경우가 최소의 개수로 선형사상의 단순화가 이루어진다.</p>
 <p>을지로 입구 - 삼동길 거리 1200m, 반경 3m, 5m</p>	<p>가시거리 1200m 설정의 경우, 최소반경을 3m 한 경우가 최소의 개수로 선형사상의 단순화가 이루어지지만 아주 좁은 골목이 아닌 경우 5m값도 우수한 결과를 보인다.</p>

그림 7. Opheim 알고리즘의 정성적 평가

표 4. Opheim 단순화 공간 구문특성 값의 비교

보행반경	총 축선수	전체통합도		국부통합도		연결도
		평균	표준편차	평균	표준편차	
2m, 150m	1033	0.394	0.069	1.466	0.359	3.435
5m, 500m	906	0.417	0.070	1.544	0.327	3.635
3m, 1200m	972	0.404	0.069	1.500	0.347	3.523
5m, 1200m	906	0.417	0.070	1.544	0.327	3.635

5.2.3 선형 단순화 네트워크의 평가

GIS기반의 도로 네트워크 데이터의 도로 중심선을 이용하여 공간구조분석방법의 하나인 Space Syntax의 공간 구문 특성치를 산출하는 방안에 대하여 알아보았다. GIS 네트워크의 단순화는 각 도로 형태별로 다른 값을 가졌다. 보행량과 밀접한 관계를 가지는 국부통합도의 양으로 표현한 그림 8에서 보는것 처럼 Reumann-Witkam 방법과 Opheim 방법으로 인한 결과가 동일하게 남대문시장 1, 2길, 명동 중앙길, 청계천로(무교동 사거리~ 청계2가 사거리), 종로 2가 안쪽 길 등에서 높은 결과 값을 보여주고 있다. 이는 전통적인 축선도 작성기법으로

구축한 축선도와 비교해보아도 비슷한 결과를 나타낸다. 하지만 전통적 기법의 축선도를 육안으로 직접 축선을 판단해 수기로 그려 그 기준이 상당히 주관적이었고, 실제로 도로와 보도의 경계가 명확하지 않은 지점이 다수인 도시 중심지 지역에서 Convex 공간을 구성하여 All-line map을 구성하여 Fewest-line 맵으로 통합도를 구하는 전통적인 축선도의 결과를 얻기가 쉽지 않았다. 반면에 GIS 도로망 데이터는 보도 혹은 도로 중심선을 기본으로 node-link 네트워크를 구성하고 이를 바탕으로 링크를 탐색, 계산하기 때문에 그 구축과 계산과정이 상대적으로 빠르고, 일정한 규칙을 갖고 작업할 수 있었다. 실제 구축한 축선도의 결과 값 표 5. 또한 GIS 단순화 네트워크의 전체통합도, 국부통합도 평균값이 더욱 큰 값을 보이는 것을 알 수 있다. 이 같은 결과로보아 선형 단순화 알고리즘을 이용하여 전체 통합도를 활용하기 위해서는 Reumann-

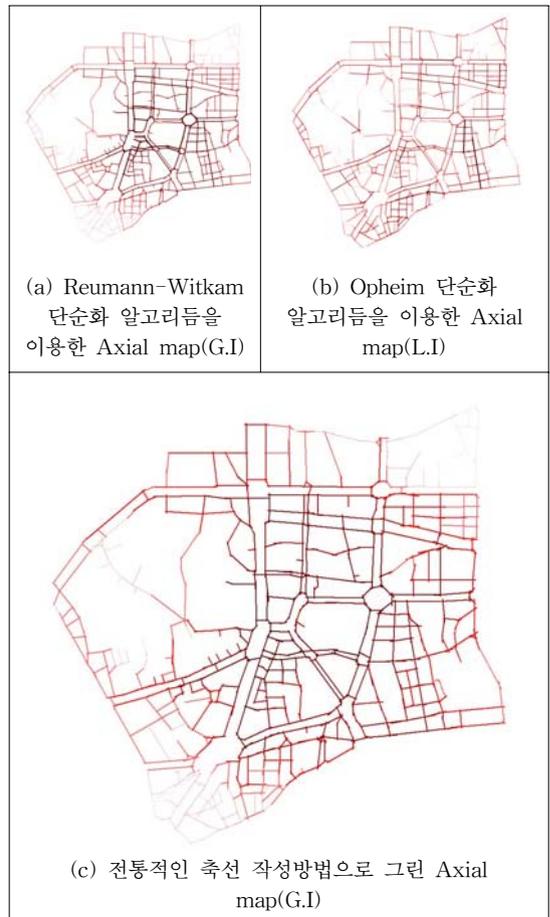


그림 8. 구축된 서울시청 주변 축선도의 비교

Witkam 알고리즘을 이용하고, 국부 통합도를 활용하기 위해서는 Opheim 알고리즘을 통하여 통합도와 실제 통행량과의 상관관계를 파악할 수 있겠다.

표 5. 서울시청주변 공간 구문 특성 값의 비교

반경	총 축선수	전체통합도		국부통합도		연결도
		평균	표준편차	평균	표준편차	
Reumann-Witkam 알고리즘						
5m	666	0.473	0.082	1.443	0.388	3.192
Opheim 알고리즘						
5m, 1200m	908	0.417	0.069	1.548	0.310	3.640
전통적 축선기법						
Hillier & Hanson	536	0.493	0.072	1.416	0.368	2.985

5.2 선형 단순화 축선도의 결과 평가

단순화된 GIS 도로 네트워크를 검증하는 방법으로써는 실제로 임의로 선택한 지점에 대한 각 링크별 실제 통행량을 종속변수로 설정하고 독립변수로는 통행량을 가장 잘 설명할 수 있는(전체, 국부)통합도, 도로 폭, 연결도, 공간의 깊이 등을 설정하여 회귀분석에 의한 변수 간 상관관계를 분석한다.

따라서 본 연구에서 실험을 통한 선형 단순화 축선도 결과에서 전체통합도의 값이 큰 결과를 보인 서울 시내지역 교통주제도를 폭을 5m 한 Reumann-Witkam 알고리즘을 통한 공간 구문 특성값과 실제 교통주제도와 통행량을 사례연구에 대한 검증을 시행하였다. 실험에 쓰인 데이터는 2009년도 서울시 도시교통본부에서 수집한 도심부 14개 지역 시내교통량의 평균 일일통행량을 비교하였다.

구현한 임계 폭 5m의 선형 단순화 네트워크에서의 전체 통합도와 실제 통행량과 비교한 결과, $R^2=0.1546$ 이란 낮은 상관 지수를 나타낸다. 하지만, 통행량의 조사 시점이 1월(1곳), 4월(3곳), 10월(10곳) 그림 9.a에서 표시한 곳 과 같이 서로 다른 것을 확인할 수 있었다. 또한 분석지역의 외곽에 위치한 동묘역 앞, 염천교 길, 주 분포와는 떨어진 이상점의 형태로 보이는데, 이는 실험 지역의 외곽 지점들 로써 실제 도로망은 서울 동-서로 연결된 지점임에도 불구하고 실험 도로망에서는 연결도가 낮게 계

산됨으로써 오는 Axial map의 중심화 경향과 외곽 효과(Edge Effect)의 문제를 보인다. 이런 시계열적인 문제와 지역적인 문제로 발생하는 이상점을 제거한 후의 선형 단순화 네트워크의 전체 통합도와 실제 통행량과의 상관관계 지수는 $R^2=0.5315$ 수준까지 높아짐을 알 수 있었다. 또한 을지로 3가 지점에 대한 일일 평균 통행량(42952)이 다른 인근 서울 시청 앞(103495), 종로 3가(77566), 퇴계로 입구(71103)에 비하면 낮은 것을 미루어 을지로 3가 지점을 이상점으로 제거한 후 선형 단순화 네트워크의 전체 통합도와 실제 통행량과의 상관관계 지수는 그림 9. b에서 보는 것과 같이 $R^2=0.5387$ 수준까지 높아짐을 알 수 있었다.

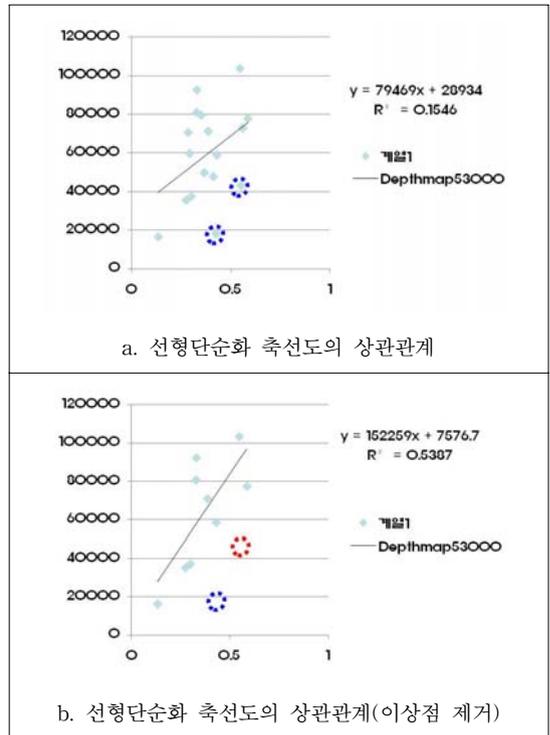


그림 9. 선형 단순화 축선도의 상관관계 분석

실제 Space Syntax 방법에서 Axial map을 이용한 분석을 수행할 시에도 이와 같은 중심지역으로부터의 외곽 지점에 대한 문제(Edge Effect)³⁾를 해

3) Edge Effect(외곽효과)는 외곽지역에 가까울수록 외곽 지역을 중심으로 한 분석이 이루어지지 않는 영향으로 분석에 미치는 영향이 커짐으로써 발생한다. 따라서 연구지역을 분석하기 위해서는 분석지역을 외곽효과가 발생하는 것이 최소한이 될 수 있게끔 충분한 범위를

결하기 위해서 일반적으로 연구지역의 중심에서 30분에 다다르는 범위를 경계로 삼는 30분 규칙을 따른다. 따라서 보행자의 움직임만을 고려한다면, 분석지역을 걸음으로 30분에 이르는 지역 혹은 2km 반경을 가지는 지역을 버퍼 존으로 삼고 차량을 대상으로 하는 지역에서는 차량이동으로 30분에 이르는 지역을 대상으로 삼는다. 따라서 분석지역이 보다 커지고 도시지역 규모의 수준의 지역을 분석할 시 GIS 도로망을 이용하여 분석하는 것이 데이터 구축과 활용의 측면에서 볼 때 그 효율성과 필요성을 가진다(전철민 2006).

6. 결론

Space Syntax는 지난 10여 년간 학술 및 실무적으로 전 세계적으로 세계 주요 도시의 도시개발 및 교통계획, 보행자를 위한 공간 조성 등 여러 분야에 걸쳐 폭넓게 사용되어왔다. 그러나 도시규모의 공간 분석을 위한 축선도 구축 시 같은 연구지역이라 하여도 서로 다른 축선도를 구축할 주관적인 구축 작업의 과정을 거친다. 따라서 본 연구에서는 객관적인 자료를 갖는 GIS 도로 데이터와 Space Syntax 모델의 Axial map(축선도) 구현방안을 시도하였으며 이를 선형자료의 단순화 방법을 통하여 적절한 변수를 이용하여 객관적인 자료를 바탕으로 객관적인 분석을 가능하게 하여 향후 GIS 데이터를 이용한 Space Syntax 공간구조분석방법에 활용도를 높이고자 하였다.

하지만 본 실험에서 현재 한국교통연구원에서 제공하는 표준 교통주제도 level-2 수준의 교통주제도를 사용하였지만, 상용되는 국내 교통주제도는 기관별로 회사별로 구축 지침과 조사 대상이 다를 수 있으며 이에 대한 표준화된 도로망 데이터의 사용이 필요하다. 또한 상관관계를 비교하기 위한 비교 조사 지점의 수가 매우 적어 향후 실제 통행량의 더 많은 조사지점이 필요하다.

이번 연구에서의 실험지역을 서울시청주변만을 대상으로 실험하였기에 향후 다른 지역-격자형 도로를 대상으로 한 실험을 통하여 GIS 도로망 데이터

의 선형사상의 단순화 조건을 달리하면서 구현되는 축선도와 격자형 도로망에서의 상관관계를 통한 축선의 적절한 파라미터 도출과 도로망의 유기적 형태와 격자형 형태사이에서의 나타나는 도로망의 격자율에 따른 선형 단순화 알고리즘 적용 결과의 유의미한 값의 도출을 모색해 볼 수 있겠다.

참고 문헌

- [1] Barber. C., Cromly. R, and Andre. R., 1995, Evaluating alternative line simplification strategies for multiple representation of cartographic lines, *Catography and Geographic Information Systems*. 22(4), pp. 276-290.
- [2] Deveau. T. J., 1985, Reducing the number of points in a plane curve representation, *AUTOCARTO*. 7, pp. 152-160.
- [3] Hillier, B. and Hanson, J., 1984, *The Social logic of Space*, Cambridge University Press, pp 90-92.
- [4] Hillier, B., Penn, A., Hanson, J., Grajewski, T., Xu, J., 1993, *Natural Movement: Or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement*. *Environment and Planning B: Planning and design*, Vol. 20, pp. 29-66.
- [5] Hillier, B., 1996, *Space is the Machine*. Cambridge University Press.
- [6] Hillier B., *Trafalgar Square A World for All*, Trafalgar profile, www.spacesyntax.com.
- [7] Peponis, J., C. Zimring & Y. K. Choi, 1990, Finding the building in way-finding. *Environment and Behavior* 22: 555-590.
- [8] Turner, A., Penn, A. and Hillier, B., 2005, An algorithmic definition of the axial map. *Environment and Planning B: Planning and Design* 32(3):425 - 444
- [9] 김두일, 김종석, 1998, “선형사상에 따른 단순화 알고리즘의 반응 특성 연구,” 대한지리학회, 대한지리학회지 제33권 제4호, pp. 623-634.
- [10] 김승제, 1988, “Space Syntax에 관한 기초적 연구,” 대한건축학회, 대한건축학회 논문집 제4권 제3호, pp. 149-155.
- [11] 김영옥, 2000, “공간형태와 공간인식의 상호관련

선정한다. 분석지역을 선정하기 위해서는 최대한 컨벡스 공간을 만들 수 있도록 하며 원형 또는 사각형이 되도록 한다. 들쭉날쭉한 분석지역의 모양은 분석의 왜곡을 가져올 수 있다. www.spacesyntax.com

성 연구,” 대한건축학회, 대한건축학회논문집 : 계획계, 제16권 제10호, pp. 37-44.

- [12] 김혜영, 류근원, 박인혜, 전철민, 2006, “접근성을 고려한 보행경로탐색 알고리즘”, 한국GIS학회, 한국GIS학회 2006 추계학술대회, pp. 87-96.
- [13] 박우진, 2008, 건설도면의 GIS데이터 변환을 위한 건물외곽선 단순화기법 비교 연구, 한국GIS학회 2008년도 공동추계학술대회, 한국GIS학회.
- [14] 윤용우, 김영욱, 박영기, 2005, “물리적인 거리와 공간깊이가 공간인식에 미치는 영향”, 대한건축학회, 대한건축학회 논문집 - 계획계 대한건축학회논문집 - 계획계 제21권 제5호, pp. 77-84.
- [15] 이경로, 2005, “공간분석을 위한 GIS와 Space Syntax의 통합 모델 개발 - GIS 데이터기반 축선도 자동화 방안 연구를 중심으로”, 세종대학 석사학위논문.
- [16] 이인성, 김현욱, 1998, “도시주거지 보행경로 선택 행동에 관한 연구”, 대한국토·도시계획학회지: 국토계획, pp. 117-129.
- [17] 전철민, 2006, “GIS 기반 Space Syntax를 이용한 대중교통 접근성”, 한국공간정보시스템학회, 한국공간정보시스템학회 논문지, 제8권 제3호, pp. 25-33.

논문접수 : 2010.07.05

수정일 : 2010.09.30

심사완료 : 2010.10.04



권 순 일

2008년 인하대학교 지리정보공학과 졸업(공학 학사)

2010년 인하대학교 대학원 지리정보공학과 졸업(공학 석사)

2010.11월 한국건설기술연구원 U-국토연구실 석사 후 과정 연구원
관심분야는 Spatial Analysis, Spatial Database, Space Syntax, u-GIS Service Model



박 수 홍

1989년 서울대학교 지리학과 졸업(학사)

1991년 서울대학교 지리학과 졸업(석사)

1996년 Univ. of South Carolina at Columbia 졸업(지리학박사)

1998~2000 서울시정개발연구원/연구위원

2000년~현재 인하대학교 지리정보공학과 부교수
관심분야는 u-GIS Service Model, Spatial Database, Spatial Data Models



주 용 진

2003년 인하대학교 지리정보공학과 공학 졸업(공학 석사)

2004년 한국교통연구원 국가교통DB센터 연구원

2009년 인하대학교 대학원 졸업(공학박사)

2009년~현재 서울시립대학교 도시과학연구원 융합도시연구센터 연구교수

관심분야는 도시-교통 통합모형, 공간DB, 상황인지 및 공간 온톨로지, 위치기반서비스