공간구문분석을 위한 공간형상 인식 및 관리 방법

Methods to Recognize and Manage Spatial Shapes for Space Syntax Analysis

정 상 규* 반 영 운**
Jeong, Sang-Kyu Ban, Yong-Un

Abstract

Although Space Syntax is a well-known technique for spatial analysis, debates have taken place among some researchers because the Space Syntax discards geometric information as both shapes and sizes of spaces, and hence may cause some inconsistencies.

Therefore, this study aims at developing methods to recognize and manage spatial shapes for more precise space syntax analysis. To reach this goal, this study employed both a graph theory and binary spatial partitioning (BSP) tree to recognize and manage spatial information.

As a result, spatial shapes and sizes could be recognized by checking loops in graph converted from spatial shapes of built environment. Each spatial shape could be managed sequentially by BSP tree with hierarchical structure. Through such recognition and management processes, convex maps composed of the fattest and fewest convex spaces could be drawn.

In conclusion, we hope that the methods developed here will be useful for urban planning to find appropriate purposes of spaces to satisfy the sustainability of built environment on the basis of the spatial and social relationships in urban spaces.

키워드 : 공간구문론, 그래프 이론, 이진 공간분할 (BSP) 트리, 볼록공간도, 지속가능성
Keywords : Space Syntax, Graph theory, Binary Spatial Partitioning (BSP) tree, Convex map, Sustainability

1. 서 론

1.1 연구배경 및 필요성

공간구문론(Space Syntax)은 도시와 건축 공간을 정량적으로 분석하기 위해 1984년에 영국의 힐리어(Hillier)와 그의 동료들에 의해 개발된 기법으로 한국에서도 이미 잘 알려진 이론이다. 공간구문론의 축선도(Axial map)에서 얻어진 측정값들은 도시 구역에서 보행자의 이동(Hillier 외, 1993), 범죄 지역 분포(Hillier & Shu, 2000), 토지가격(Desyllas, 2000) 등에 대한 공간 형상의 효과를 분석하는데 이용되었다.

하지만, 공간구문론은 위상학(topology)에 기초한 축선도 위주로 공간을 해석하여 공간에 대한 중요한 기하학적 정보를 제대로 다루지 못하여 일부 특정 공간에 대해서는 모순된 결과를 도출할 수 있다는 지적들이 라티(Ratti, 2004)와 같은 연구자들에 의해 강조된 바 있다. 이러한 문제점들은 공간구문론이 공간의 기하학적 형태와 크기를 면밀히 고려하지 않고 공간 분석을 수행하기 때문에 나타난다. 이에 인간 사회를 구성하는 건물과 도시와 같은 건축환경(built environment)의 지속가능성을 확보하고 그에 따른 적절한 용도를 찾아내기 위해 공간구문론의 효과와 한계에 대해서 분석하고 공간의 기하학적 특성을 다루지 못하는 취약점을 해결할 수 있는 보다 정교한 방법을 모색할 필요가 있다.

1.2 연구목적 및 내용

이 연구의 목적은 공간구문론에서 많이 사용되는 기법인 축선도 분석에 초점을 두어 축선도가 갖는 문제점에 대해 논쟁한 연구 사례들을 고찰하여 축선도의 한계를 규명하고, 이를 보완하기 위해 위상학적 속성 이외에도 기하학적 속성을 함께 고려할 수 있도록 공간의 기하학적 형상을 인식하고 관리할 수 있는 방법을 제시하는 것이다. 이를 위해, 2004년에 라티에 의해 제기된 공간구문론의 여러 모순들 중에서 축선도와 관련된 논쟁들과 이에 대해 반박하는 힐리어와 그의 동료들의 논쟁들을 고찰하여 문제점들을 찾아내고자 한다. 또한, 발견된 문제점들 중에서 축선에 의한 공간구조 측정값들의 오류를 최소화할 수 있도록 공간형상 인식을 통해 최적의 볼록공간을 탐색할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

* 충북대학교 BK21사업단 연구원, 공학박사
(neoshaky@hanmail.net)
** 교신저자, 충북대학교 도시공학과 부교수, 공학박사
(byubyu@cbnu.ac.kr)
이 논문은 한국연구재단 기본연구지원사업(유형II)의 연구비 지원에 의해 수행된 연구내용의 일부임. (과제번호: 2011-0026959)

1.3 선행연구 고찰

공간구문론을 보완한 선행연구들을 살펴보면, 최재필과 그의 동료들(2003, 2004)은 공간의 연결관계에 따른 '깊이(depth)' 개념에 기초하여 공간의 통합도를 나타내는 공간구문론과는 달리 공간의 연결관계에 따른 이동의 확률적 분포로 공간속성을 분석할 수 있는 ERAM(Eigenvector Ratio of Adjacency Matrix) 모델을 개발한 바 있다. 그들은 이 기법이 공간구문론의 기본틀은 수용하되 공간의 연결상태에 따라 인접행렬의 고유벡터 성분비를 이용해 단위공간에 가중치를 부여하여 공간구문론에 비해 공간특성을 더 정교하게 표현할 수 있다고 주장했다. 그러나, 이 기법 또한 공간의 크기와 형상에 대해서는 고려하지 않는다. 터너(Turner)와 그의 동료들(2001)은 공간을 잘게 구획한 격자의 각 지점에서 가시선(lines of sight)들을 연결하여 그려질 수 있는 모든 축선들(axial lines)을 표현하여 공간을 분석하는 가시성 그래프 분석(VGA; Visibility Graph Analysis) 모델을 제시하였다.[1] 이 모델은 복잡한 도시 구조에서의 가시 거리를 고려하여 공간분석결과를 디지털 이미지로 표현하는 공간구문론의 진화된 알고리즘이라는데 의의가 있다. 터너(2005, 2007)는 기존 공간구문론의 불연속적 깊이를 단편적/연속적 깊이로 다루기 위해 축선도를 잘게 분해하여 일반적으로 도로 중심선에서 생성되는, 분해된 축선도에 이동거리와 각도를 고려한 깊이 개념을 적용한 각도 세그먼트 분석(ASA; Angular segment analysis) 방법론을 제안하였고 김민석과 최재필(2009)은 이동행태의 관점에서 각도와 거리를 좀 더 정확히 다룰수 있도록 원형에 가까운 벌집형 그리드를 이용하여 ASA 모델을 보완하는 방법론을 제안했다.[2] 조형규, 김민석, 최재필(2010)은 ERAM 모델에 VGA 기법을 적용하여 가시성을 고려한 가중치 ERAM 모델을 제안한 바 있다. VGA 모델의 표현은 축선의 집합체로 공간구문 분석결과를 표현하는데 비해 이 연구에서는 공간 영역 내의 가시선들이 만들어 낼 수 있는 면(面)으로서의 루프(loop) 구조로 공간 형상과 크기를 인식할 수 있는 방법을 제안하는데 이 연구의 의의와 차별성이 있다.

2. 공간구문론 고찰

2.1 축선과 볼록공간

공간구문론은 그래프 이론에 기초하고 있는데, 그래프 이론의 개념은 18세기에 수학자 오일러(Euler)에 의해 정립되어 발전하다가 1970, 80년대에는 마치(March)와 스테드먼(Steadman)과 같은 학자들에 의해 건축분야에서 적용되기도 했다.[3] 힐리어와 핸슨(1984)은 공간구문론에서 가장 길고 적은 수의 '*축선(axial line)*'들로 이루어지고 모두 서로 연결된 상태를 유지하는 *축선도(axial map)*로 건축환경을 표현했다.[4] 이러한 표현은 공간을 그래프로 변환시킬 수 있고 그 구조에 따라 공간의 위상학적 측정값을 도출한다. 공간구문론에서는 연속적인 공간을 불연속적인 단위공간들로 연결된 집합체로 변환하기 위해 그 단위공간으로 볼록공간*(convex space)*'의 개념을 사용한다. 볼록공간은 공간 내부의 두 지점 사이에 그려진 선들이 그 공간 밖으로 나가지 않는 공간이고, 오목공간은 공간 내부의 두지점 사이에 그려진 선들이 그 공간의 바깥쪽을 지나는 공간이다.[5] 이러한 원칙은 그림 1에서 보여지는 바와 같이 공간을 구성하는 도형의 꼭지점을 잇는 선 (그림 1에서 보여지는 파선)에도 적용된다.

(a) 볼록 공간 (b) 오목 공간

그림 1. 볼록공간과 오목공간의 개념도

다른 말로 *볼록공간*은 공간의 한 지점의 주위를 가장 크게 에워싸는 경계가 만들어낸 볼록 다각형[6]으로 축선들은 볼록공간들을 모두 관통하면서 서로 교차되어 연결되고 각 공간 상호 간의 '*깊이(depth)*'로 언급되는 측정값들을 갖는다. 따라서, 축선도는 공간체계에서 단위공간들에 대한 모든 깊이들의 상호 관계로 공간의 사회적 속성을 찾아내기 위한 공간구문론의 핵심 도구들 중 하나다.

2.2 문제점과 논쟁

축선도에 의해 표현되는 공간구조는 도시나 대형 건물의 복잡한 공간을 매우 간결하게 표현할 수 있기에 힐리어와 펜은 축선도는 단순하지만 도시 등의 다양한 기능들에 관한 놀라운 결과물들을 가져왔고 도시의 교통, 토지이용, 도심 형성과 연계된 도시 공간 이론 개발을 이끌었다고 주장하였다. 하지만, 라티(Ratti, 2004)는 그림 2에서 나타나는 바와 같이 2개의 서로 유사한 형상의 공간에서 다르게 나타나는 축선도의 사례를 제시하면서 공간구문론의 모순을 지적했다. 공간 형상의 미세한 변화에 대해 축선도가 갑자기 바뀌는 불연속성이 나타난다고 주장했다.[7] 즉, 부분적 미세 변화가 전체 도시 공간 체계에 큰 변화를 초래할 수 있다는 것이다.

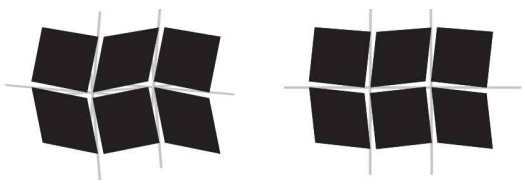
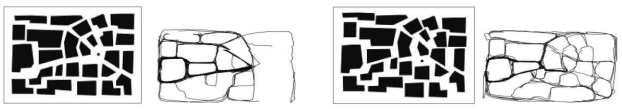


그림 2. 서로 유사한 형상의 공간에서 다르게 나타난 축선
그림 출처: 참고문헌 [10], p. 495.

이에 대해 힐리어(Hillier)와 펜(Penn)은 그림 2에서 보여지는 2개의 공간 형상은 구문적으로 다르고 그렇게 미

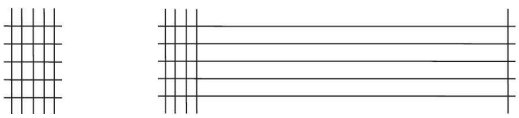
1) 참고문헌 [13] 참조
2) 참고문헌 [15] 참조
3) 참고문헌 [3, 5] 참조
4) 참고문헌 [6], pp. 91-92.
5) 앞의 책, p. 98.
6) 참고문헌 [14], p. 426.
7) 참고문헌 [10], p. 495.

묘한 변화를 감지할 수 있을 정도로 축선분석은 정교한 것이라고 반박하였다. 게다가, 그들은 그림 3에서 보여지는 바와 같이 달톤(Dalton, 2001)의 연구 내용[8]을 바탕으로 유사한 공간 구조를 갖는다고 할지라도 공간형상의 뒤틀림과 같은 명료도가 공간의 길찾기 행태에 영향을 주는 요인이 되므로 서로 다른 결과가 나타날 수 있다고 라티가 주장한 내용에 반박했다. 또한, 그들은 축선도는 단순한 방법으로 도시의 복잡성에 대한 핵심 속성들을 잡아내기 때문에 유용한 것이고 이러한 속성들은 도시 공간과 이동이 본질적으로 선형적 현상일 뿐만 아니라 선형성(線形性)은 우리가 도시 공간을 인식하는 방법의 핵심적 특징일 것이라고 주장했다.[9]



(a) 명료한 공간 (b) 명료하지 않는 공간
그림 3. 공간 형상의 명료도에 따른 이동 행태
그림 출처: 참고문헌 [11], p. 503.

이러한 반박에 대해 라티는 그림 4에서와 같이 전술한 뒤틀림이 없이 축선도의 위상이 동일한 공간 구조를 갖고 있는 2개의 격자형 거리 사례를 통해 공간구문론의 모순을 재차 지적한다. 라티는 5×5로 균등한 영역으로 분할된 직교형 거리 (그림 4(a))와 길게 늘어난 미개발 영역이 추가된 직교형 거리 (그림 4(b))는 공간구문론에서 위상적으로 서로 같아 동일한 분석값을 갖지만 실제 도시에서 보행자의 이동패턴은 동일하지 않을 것이라고 주장했다.[10] 두 공간의 위상은 변하지 않지만 기하학적 형상은 근본적으로 다르다.



(a) 직교형 거리 (b) 미개발 영역이 삽입된 거리
그림 4. 위상이 동일하고 비례가 다른 직교형 거리
그림 출처: 참고문헌 [12], p. 515.

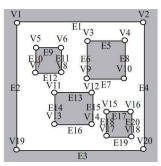
이외에도 볼록공간도 작성에 대한 논쟁이 있다. 처음에 힐리어와 핸슨은 볼록공간에 대한 문제를 명확히 설명하지 않고 볼록공간도는 가장 큰 면적을 가진 볼록공간들의 최소 집합체이고 축선도의 축선들은 각각의 볼록공간을 관통해야 한다고만 설명했다. 이에 배티와 라나(Batty & Rana, 2004)는 가장 큰 볼록 다각형의 최소 집합을 도출할 수 있는 알고리즘이 없으므로 볼록공간도(convex map)를 만들 수 없다고 지적했다. 또한, 도시공간의 축선도를 작성할 경우에 복잡한 다각형의 변들과 복잡한 건물군들 때문에 문제 해결을 위한 시간이 기하급수적으로 늘어나 전산 처리한다고 해도 자원(resources)이 부족해질 수 있다는 지적도 있었다.[11] 이에 2005년에 터너(Turner)는 펜(Penn)과 힐리어와 함께 임의로 작성될 수 있는 축선에 대해 좀더 엄격하고 명확한 기준과 형식으로 이전의 내용을 보완하여 "축선도는 시스템을 전부 감시할 수 있는 축선들의 최소 집합이고 두 개의 서로 다른 연결되지 않은 선들을 연결할 수 있는 모든 축선들이 포함되어야 한다"고 재진술했다. 또한, 그들은 볼록공간이 축선과 관련이 있다고 해도 볼록공간도 작성의 어려움이 축선도를 작성하는데 문제가 되지 않는다고 주장하며 공간 전체에 그려질 수 있는 모든 축선들을 긋고 그들의 관계에 따라 개방 공간에서 방향 전환이 가장 적은 최단거리를 도출하면서 전체 공간 체계에서 서로 마주 볼 수 있는 축선을 제외한 나머지 불필요한 축선들을 제거하는 식으로 축선도를 작성하는 알고리즘을 제안하였다.

전술한 논쟁들의 원인은 공간구문론이 그래프 이론에 기반한 위상학에 초점을 두어 공간 크기와 기하학적 형상과 같은 상세 정보를 구체적으로 다루지 않는데 있다. 이 연구는 이러한 논쟁 사이에서 어느 한쪽 주장에 치우치지 않는 중립적 입장에서 수행되었다. 다만, 공간형상 인식 방법을 개발함으로써 도시와 건축공간의 기하학적 속성을 탐색할 수 있는 가능성의 제안으로 위의 논쟁에 대한 새로운 절충안을 모색하고자 한다.

3. 공간 정보의 관리 방법

3.1 공간의 그래프화

지(Zhi)와 그의 동료들(2003)은 2차원 평면으로부터 피난 시뮬레이션에 이용 가능한 기하학적·위상학적 정보를 추출하기 위해 그래프 이론을 차용하였다. 그들은 그래프의 교점(node)과 변(edge)이 이루는 루프(loop)를 검토하여 건물 평면에서 벽체, 개구부, 단위 공간을 인식할 수 있는 방법을 개발하였다. 이 연구에서는 건축환경이 만들어내는 공간을 그래프화하고 그 공간의 형상과 크기를 인식하기 위해 루프의 개념을 이용하였다. 이 연구에서 개발하는 공간형상 인식 방법을 설명하기 위해 터너와 그의 동료들이 축선도 작성 알고리즘을 설명하기 위해 작성했던 간단한 사각형들로 이루어진 가상의 건축환경을 차용하였다. 이 공간은 각각 20개씩의 교점과 변으로 이루어진 그래프로 간주된다 (그림 5 참조). 이 그래프에서 바깥쪽의 가장 큰 사각형 루프는 공간구문분석 대상이 되는 공간 체계의 경계를 의미하고 내부의 사각형 루프들은 건물들을 의미한다.



여기서, Vn: 교점, En: 변
그림 5. 건축환경을 그래프로 변환한 사례

8) 달톤(2001)은 3차원 모델을 이용하여 명료한 공간과 명료하지 않은 공간 내에서 피험자들의 동선을 기록하여 그들의 이동 행태를 조사하여 피험자들이 명료하지 않은 공간에서 아주 어렵게 이동한다는 사실을 밝혀냈다.

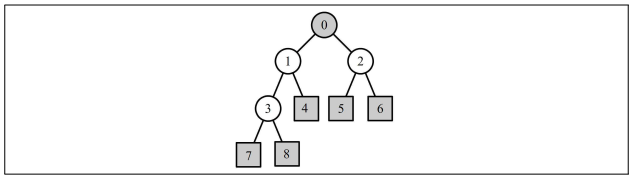
9) 참고문헌 [11], pp. 501-503.

10) 참고문헌 [12], pp. 514-515.

11) 참고문헌 [14], pp. 427-429.

3.2 이진 공간 분할 트리의 활용

자료의 저장과 검색 과정에서 효율적으로 정보를 처리하기 위해 트리형 자료 구조가 사용된다. 트리를 구성하는 기본 단위인 교점들(nodes) 중에서 어떤 교점의 상위 교점은 *'부모 교점(parent node)'*, 하위 교점은 *'자녀 교점(childeren node)'*이라고 부른다. 여기서, 더 이상의 부모 교점을 갖지 않는 트리의 최상위 교점은 *'뿌리 교점(root node)'*이라고 부르고 더 이상의 자녀 교점을 갖지 않는 최하위 교점을 *'잎새 교점(leaf node)'*이라고 부른다 (그림 6 참조).[12)]



여기서, 0번 교점: 뿌리 교점
1번 교점: 4번 교점의 부모 교점이자 뿌리 교점의 자녀 교점
2번 교점: 5, 6번 교점의 부모 교점이자 뿌리 교점의 자녀 교점
3번 교점: 1번 교점의 자녀 교점이자 7, 8번 교점의 부모 교점
4, 5, 6, 7, 8번 교점: 잎새 교점

그림 6. 트리 자료 구조

이 연구에서는 복잡한 공간 형상을 관리하기 위한 문제를 이진 공간 분할 트리 (Binary Space Partitioning tree: 이하, BSP 트리) 기법을 차용하여 해결하고자 했다. 이 기법은 원래 컴퓨터 그래픽 분야에서 복잡한 공간의 렌더링 효율을 높이기 위해 푹스(Fuchs)와 그의 동료들에 의해 1980년대에 개발되었다. 이러한 BSP 트리는 자료 구조의 위계에 따라 순차적으로 도형을 다루는 위계적인 다각형 데이터베이스를 이용하는 트리 자료 구조(tree data structure)[13)]로서 복잡한 도형이나 이미지를 처리하여 컴퓨터의 연산 부하와 메모리 사용량을 줄이기 위해 사용된다. 그림 7은 도시 내 도로 주변 환경의 장면들을 분할하여 관리하기 위해 작성한 BSP 트리의 사례이다. 이 연구에서는 BSP 트리를 복잡한 공간의 형상을 인식하여 공간구문 분석을 위한 볼록공간들로 해체하기 위한 수단으로 활용하였다.

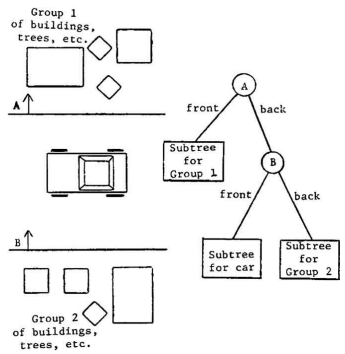


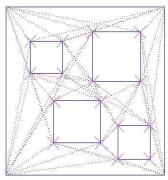
그림 7. 도로 주변 환경을 분할하기 위한 BSP 트리
그림 출처: 참고문헌 [4], p. 68.

12) 참고문헌 [8] pp. 105-108.
13) 트리 데이터 구조는 전산 알고리즘에서 데이터 관리를 위해 중요한 비선형 구조(nonlinear structure)로 널리 인정받고 있다.

4. 공간 형상 인식 방법 개발

4.1 볼록공간의 인식

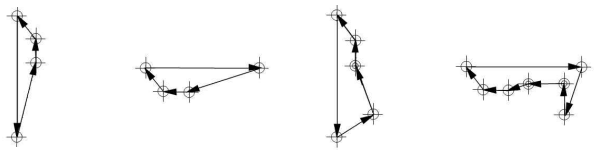
이 연구에서는 도시와 마을과 같은 건축 환경의 형상이 만들어내는 도형을 그래프로 간주하고 그 도형에서 180도 보다 큰 내각을 가진 교점(그림 8의 가위표)들과 도형 내부에서 연결될 수 있는 모든 분할선(그림 8의 점선)들이 기존 도형의 외곽선과 연결되어 만들어낼 수 있는 루프들을 검토하여 공간 형상과 크기를 인식할 수 있는 방법을 개발하였다.



여기서, 점선: 분할선, 가위표: 내각이 180도 이상인 교점

그림 8. 볼록공간 분해를 위해 가능한 분할선들

그림 9에서 보여지는 바와 같이 루프를 이루는 그래프의 교점들 중에서 특정 교점과 연결된 두 변이 180도를 초과한 내각을 이루는 경우가 나타날 때에는 오목공간으로 간주하고 그렇지 않은 경우에는 볼록공간으로 간주하는 방식으로 루프를 시계방향과 반시계방향으로 순환시키면서 루프들의 형상을 인식하여 공간구문 분석을 위한 볼록공간들을 만들어내는 루프들을 선별해낼 수 있다.



(a) 볼록공간 (b) 오목공간

여기서, ⊕: 루프의 두변이 180도 이하의 내각을 이루는 교점
⊕: 루프의 두변이 180도를 초과한 내각을 이루는 교점

그림 9. 루프의 형상 검토

4.2 최대 볼록공간의 최소 집합 도출

3.1절에서 소개한 그림 5에서 정의된 그래프에서 5번 교점(V5)을 기준으로 만들어질 수 있는 루프들의 사례를 나열하면 그림 10과 같다. 이러한 루프들을 형성하는 선의 진행방향에 따라 시계방향과 반시계 방향으로 이루어진 루프들로 구분할 수 있다. 공간구문 분석을 위해서 건축환경의 오목공간은 볼록공간들로 분해되어야 한다. 이러한 볼록공간도를 생성하는 과정에는 주어진 공간구조를 "가장 면적이 크고 적은 개수를 갖는(Fattest and Fewest)"[14)] 볼록공간들로 분할하는 일이 수반된다. 따라서, 시계방향 루프들과 반시계 방향 루프들 중에서 볼록공간의 형상을 가진 루프를 먼저 선별하고 그 중에서 가장 큰 면적을 가진 볼록공간을 최종 선별한다. 이러한 방법으로 최대 볼록공간의 최소집합을 도출할 수 있다.

14) 힐리어는 그의 저서(참고문헌 [7])에서 "Fattest and Fewest"라는 표현으로 공간구문분석을 위해 볼록공간이 갖춰야할 조건을 명시했다.

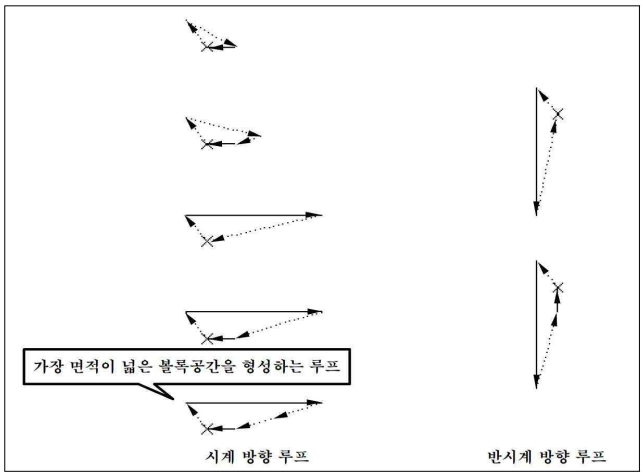
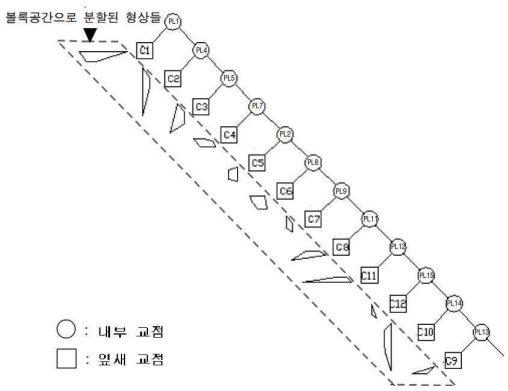


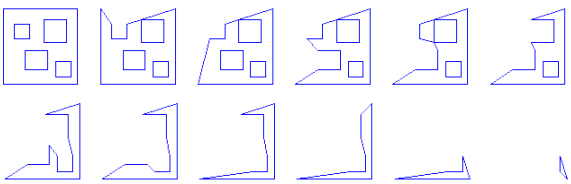
그림 10. 루프의 크기 검토

4.3 인식된 공간정보의 관리

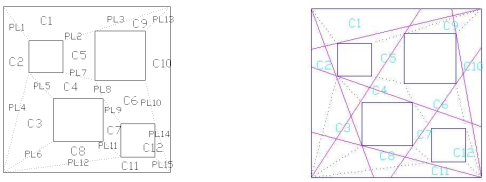
오목공간 형상이 매우 복잡할 경우에 루프들을 만들어 내기 위한 후보선분들이 무수히 많아질 수 있으므로 볼록공간들로 분할하는 과정은 매우 복잡하고 어려워질 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 3.2절에서 언급한 바와 같이 BSP 트리 기법을 차용하여 분할된 볼록공간들을 효과적으로 관리할 수 있도록 하였다. 그림 11과 같이 BSP 트리의 내부 교점에 분할선의 정보를 저장하고 잎새 교점에 해체된 볼록공간의 정보를 저장할 수 있다.



(a) BSP 트리를 이용한 공간 정보저장



(b) 분할 대상 공간을 줄여가는 과정



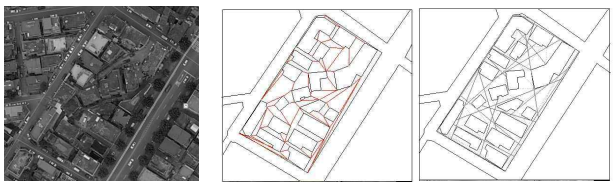
(c) 볼록공간으로 인식된 공간 (d) 축선도

그림 11. 최적 볼록공간의 인식

따라서, BSP 트리를 활용하여 각각의 잎새 교점에 먼저 결정된 볼록공간 형상을 상위에 두고 나머지 분할 대상 공간을 하위로 내려보내는 방식으로 위계에 따라서 순차적으로 볼록공간 정보를 기록하면서 더 이상 분할할 공간이 없을 때까지 오목공간을 볼록한 단위공간들로 분할할 수 있었다. 이러한 자료 구조를 통해 분할된 볼록공간들을 효과적으로 관리할 수 있었다.

4.4 연구결과 적용 및 한계

그림 12는 이 연구에서 개발된 공간 인식 방법을 적용하여 분할된 공간 사례를 보여주기 위해 충북 청주시에서 임의로 선별한 지구를 대상으로 지구 경계 내부의 외부공간을 볼록공간으로 분할한 사례이다. 볼록 공간들이 결정된 후에는 볼록 공간들을 구성하는 도형들의 변들이 서로 인접한 상태를 검토하여 각각의 볼록 단위공간들의 연결여부를 파악하여 이에 따른 축선도 작성 및 공간구문 분석을 수행할 수 있다.



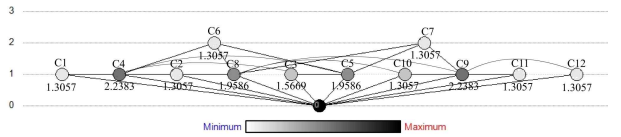
(a) 대상지 위성사진 (b) 볼록공간도(좌)와 축선도(우)

그림 12. 지구 내 공간 분할 사례

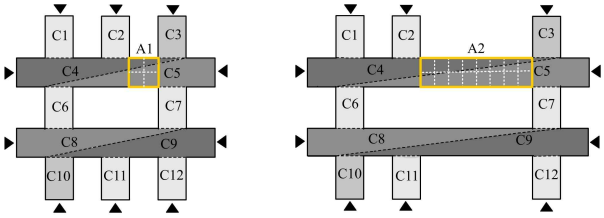
같은 방법으로 라티가 제시한 격자형 공간구조(그림 4 참조)의 문제에 대한 해법을 찾고자 했다. 격자형 공간을 볼록공간들로 분할하고 볼록공간들의 인접상태에 따른 공간구문분석으로 얻어진 통합도(integration value)[15]를 그레이스케일(gray scale)로 변환하여 각각의 j-그래프(justified graph)[16]의 노드(그림 13(a) 참조)와 격자형 공간 평면의 볼록공간의 면 위(그림 13(b), (c) 참조)에 표현하였다. 여기서 굵은선으로 표시된 A1과 A2 영역을 검토해보면 C4와 C5 볼록공간의 인접경계선이 만들어내는 길이와 각도가 각각 다르므로 두 영역의 통합도 분포 면적이 파선으로 이루어진 그리드의 각 구간별로 달리 나타난다. 이러한 표현 특성은 특정 영역에서 통합도에 대한 가중치를 구간별로 적용하여 공간 속성을 지점에 따라 좀 더 세분하여 해석할 수 있는 가능성을 보여준다. 후속 연구에서 이러한 특징들을 역학(力學)적 원리를 이용하여 해석하면 좀 더 정밀한 공간 분석이 가능할 것으로 판단된다. 이 연구의 한계는 개발된 방법으로 공간구문 분석을 위한 볼록공간들을 인식할 경우에 최초의 공간분할 시작점이 되는 교점 위치에 따라 그래프의 루프 점검 과정에서 인식된 볼록공간 형상들이 다르게 나타날 수도 있다는 것이다.

15) 공간의 연결상태에 따라 공간의 접근성과 공적·사적 수준을 나타내는 공간구문론의 지표로서 통합도가 높은 공간은 접근성과 공적 수준이 높은 공간으로 해석된다.

16) 공간의 특정 지점에 대한 패턴으로 볼록공간들의 깊이와 연결 상태를 정열하여 표현한 그래프를 일컫는다.



(a) j-그래프와 통합도

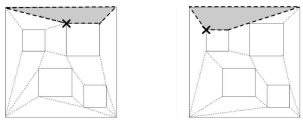


(b) 격자형 공간 (c) 길이 방향으로 긴 공간

여기서, C1~Cn: 볼록공간, 삼각형: 공간의 경계지점 (출입공간)
A1, A2: 검토 영역

그림 13. 비례가 다른 격자형 공간에 대한 공간 분석

이 경우에 볼록공간들을 관통하는 축선들은 동일하게 나타나지만 기하학적 속성을 좀더 자세하게 표현해주는 볼록공간도는 일정하게 나타나지 않을 수 있다 (그림 14).



여기서, 가위표: 최초의 공간분할 시작점

그림 14. 서로 다른 공간분할 시작점에 의한 볼록공간도의 차이

5. 결 론

기존의 공간구문론이 갖고 있는 모순에 대한 논쟁을 조사한 결과, 도시 공간의 복잡한 기하학적 구조를 위상 공간으로 변환하여 해석하면 불연속성에 의해 분석 결과에 모순이 발생할 수 있다는 부정적인 견해와 그에 맞서서 공간구문론은 위상 구조의 해석으로 복잡한 공간을 단순·명쾌하게 해석할 수 있다는 주장이 있었다.

이 연구에서는 이러한 논쟁 사이에서 중립적인 자세를 취하였지만, 전술한 논쟁은 복잡한 도시 공간 구조를 해석할 때에 공간의 기하학적 속성을 면밀히 고려하지 않는 문제에서 비롯되어 VGA와 같은 보완모델이 나타나기도 했다. 이 연구는 도시의 기하학적 속성인 공간형상을 인식하고 관리할 수 있는 기법을 개발함으로써 위상적 속성 위주로 공간을 분석하는 공간구문론에서 기하학적 정보를 효과적으로 관리할 수 있는 가능성을 제안하였다.

분석 또는 계획 대상의 도시 공간을 그래프로 변환하고 그래프의 루프에서 교점과 연결된 변의 순환방향과 각도를 검토하여 경계 영역 내에서 분할될 수 있는 공간들의 형상과 크기를 인식할 수 있었다. 또한, BSP 트리 기법을 이용하여 복잡한 공간 형상들의 정보를 관리하여 대상 공간을 공간구문 분석에 필요한 볼록공간들로 분할할 수 있었다. 이러한 볼록공간들과 그들의 관계는 도시의 사회적·공간적 속성들을 규명해내는 공간구문론에 기초한 공간형상의 측정값을 얻어내는데 사용될 수 있다.

이러한 결과들을 토대로 이 연구에서 개발된 공간 인식 기법은 도시 건축의 공간 체계 속에서 공간적·사회적 관계에 기초한 공간 속성과 행태 분석으로 지속가능한 건축환경의 합리적이고 경제적인 공간 이용과 행태를 유도할 수 있는 보조 수단으로 활용되기를 기대한다.

이 연구에서 개발된 방법으로 작성된 볼록공간도는 그래프 루프의 점검 순서에 따라 달라질 수 있는 바, 향후 연구에서는 좀 더 정교한 알고리즘으로 표준화된 볼록공간도를 만들어낼 수 있는 기법이 개발되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 최재필, 조형규, 최현철, 황용하 (2003), 인접행렬 고유벡터 성분비를 이용한 공간 분석, 대한건축학회 논문집 계획계, 19권 11호, pp. 61-69.
2. 조형규, 김민석, 최재필 (2010), 공간의 가시성을 고려한 가중치 ERAM 모델의 적용, 대한건축학회 논문집 계획계, 26권 8호, pp. 55-62.
3. March L, Steadman P (1974), *The Geometry of Environmnet*, Methuen.
4. Fuchs H, Abram GD, Grant ED (1983), *Near real-time shaped display of rigid objects,* Computer Graphics, Vol. 17(3), pp. 65-72.
5. Steadman P (1983), *Architectural Morphology*, Pion.
6. Hillier B, Hanson J (1984), *The social logic of space*, Cambridge University Press.
7. Hillier B (1996), *Space is the machine*, Cambridge University Press.
8. Weiss MA (2002), *Data structures and problem solving using Java,* Addison Wesley, pp. 105-108.
9. Zhi GS, Lo SM, Fang Z (2003), *A graph-based algorithm for extracting units and loops from architectural floor plans for a building evacuation model*, Computer Aided Design, Vol. 35, pp. 1-14.
10. Ratti C (2004), *Space syntax: some inconsistencies*, Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 31, pp. 487-499.
11. Hillier B, Penn A (2004), *Rejoinder to Carlo Ratti*, Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 31, pp. 501-511.
12. Ratti C (2004), *Rejoinder to Hillier and Penn*, Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 31, pp. 513-516.
13. Turner A, Doxa M, O'Sullivan D and Penn A (2001), From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space, Environment and Planning B, Vol. 28(1), pp. 103 - 121.
14. Turner A, Penn A, Hillier B (2005), *An algorithmic definition of the axial map*, Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 32, pp. 425-444.
15. Minseok K, Jaepil C (2009), Angular VGA and Cellular VGA, Proceedings of 7th international space syntax symposium.

투고(접수)일자: 2011년 9월 14일
수정일자: (1차) 2011년 11월 10일
(2차) 2011년 12월 8일
(3차) 2011년 12월 15일
게재확정일자: 2011년 12월 16일