

SMAT 알고리즘을 이용한 위상학적 모델 추출 방법

The Research on Extraction of Topology Model Using Straight Medial Axis Transformation Algorithm

박 소 영* 이 지 영**
So Young Park Ji Yeong Lee

요약 본 연구는 실내 GIS 모델을 구축하기 위한 위상학적 모델이 객체의 기하학적 특징을 반영할 필요성에 의해, 기하적 정보를 갖는 위상학적 모델인 기하 네트워크 모델을 자동 구축하는 알고리즘을 개발하는 것을 목적으로 한다. GNM의 요소 중 기하 정보를 갖는 요소를 자동 추출하기 위한 중심 알고리즘으로서 직선 중심축 추출 알고리즘을 개발하였다. 개발된 SMAT 알고리즘은 기존의 S-MAT 알고리즘을 활용하여 일반화되었고, 해당되는 객체의 범위를 단순 폴리곤에서 내부 폐색 구역을 갖는 폴리곤으로 확장하였다. 자동 구축된 GNM은 타 시스템에서의 활용 및 용이한 접근을 위해 최종적으로 .csv 파일로 출력된다. GNM 자동 추출 알고리즘은 최단 경로 탐색, 위급 상황 발생 시 대피로 안내, 상황에 따른 차별적 분석 등 다양한 경우에 효율적으로 활용될 수 있다.

키워드 : 기하 네트워크 모델, 직선 중심축 추출 알고리즘

Abstract The purpose of this study is to develop the auto-building algorithm of the Geometric Network Model(GNM), a topology model including geometric information because of the need to reflect the features' geometric characteristic into the topology model, which is for development of indoor 3D virtual model enabling queries. As the critical algorithm, the Straight Medial Axis Transformation(SMAT) algorithm is proposed in order to automatically extract the medial axis of features. The SMAT algorithm is generalized from the existing S-MAT algorithm and a range of target features where applicable is extended from simple polygons to weakly simple polygons which mean the polygons containing the inner ring inside. The GNM built automatically is finally printed out as the .csv file for easy access and wide application in other systems. This auto-building algorithm of the GNM is available for plenty of cases such as finding a shortest path, guiding a route in emergency situation, and semantic analysis.

Keywords : Geometric Network Model, Straight Medial Axis Transformation Algorithm

1. 서론

공간기술의 발달로 인해 생활구조가 수직적으로 발달하고 건축물의 실내 구조가 복잡해지고 있다. 이러한 생활공간은 토지이용의 효율성 증대, 건축물의 미적 기능 극대화 등의 장점도 있지만, 실내 이동체의 직관적 판단을 어렵게 하여 목적지로의 경로를 찾을 시 복잡한 정도나 위급 상황에 대한 위

험도가 높음 등의 단점이 있다. 최근 이러한 상황에서 이동체에게 실내 구조에 대한 정보를 효과적으로 전달하여 의사결정에 도움을 주기 위하여, 실제 계를 시각적으로 보여주고 분석을 가능하게 해주는 3차원 가상 모델 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

많은 시스템들의 구축 목적은 객체를 화면상에 단순히 보여주는 것이 아니라 가시화된 객체를 통

* 이 논문은 2011년도 정부재원(교육과학기술부 학술연구조성사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음.
(NRF-201104302023)

† 본 논문은 '직선 중심축 추출을 이용한 위상학적 모델 자동 추출 알고리즘 개발'(서울시립대학교 석사학위 논문, 2012)을 기반으로 작성되었음.

* 국토지리정보원 기획정책과 시설서기 soyoung331@korea.kr(교신저자)

** 서울시립대학교 공간정보공학과 교수 jlee@uos.ac.kr

하여 어떠한 질의에 대한 결과를 보여주기 위함이기 때문에 객체들 간의 관계성을 정의하여 요구된 질의 처리를 가능하게 해주는 위상학적 모델은 중요하다. 특히 그래프 기반 접근 방법의 위상학적 모델은 노드(Node)와 에지(Edge)로의 변환을 통하여 공간 객체와 객체 간의 관계성을 표현하는 모델[7]로, 기존에 널리 사용되어 지던 B-rep 기반의 모델보다 위상 관계 분석의 효율성이 증명되어 많은 연구가 진행 중이다[8].

하지만 변환 과정 중 복도와 같은 기하학적 특징을 갖는 객체를 단순히 하나의 노드로 변환할 경우 기하학적 특징을 반영해야 하는 질의의 한계를 갖게 된다. 예를 들어 서로 다른 방에서 끝 방으로의 최단 이동 거리 비교 시, 복도가 하나의 노드로 표현될 경우 분석이 불가하다. 또한 시각화된 결과에 대해 사용자의 즉각적인 이해를 저해하는 요인이 되기도 한다. 따라서 기하학적 특징을 반영해야 하는 객체에 대해서는 위상학적 모델에서 노드가 아닌 그 특징을 보여줄 수 있는 에지 형태로의 변환이 고려되어야 하고 이러한 모델을 기하 네트워크 모델(Geometric Network Model)이라 한다.

객체를 노드가 아닌 에지로 변환하기 위해서는 객체의 형상을 잘 반영한 선형 중심축을 추출하는 방법이 있다. 객체의 선형 중심축을 추출하기 위한 방법 중 하나로 계산 기하학 분야에서 연구되고 있는 중심축 추출(MAT)을 활용한 직선 중심축 추출(Straight Medial Axis Transformation) 알고리즘이 제안되었다[6]. 기존의 MAT 알고리즘은 객체의 정확한 형태를 보다 잘 표현함으로써 객체를 간략화하는 것이 목적이었다면, S-MAT 알고리즘은 GIS 분야에서의 효율적인 질의처리를 위한 위상학적 모델 생성이 목적으로 MAT에 의해 추출된 중심축의 곡선을 직선화한다. 이러한 원리에 의해

S-MAT 알고리즘을 이용하여 보다 효율적인 질의 수행이 가능한 위상학적 모델을 구축할 수 있으나, 현재까지 수행된 관련 연구에서는 정의된 3가지 객체의 형태에 대해서만 그에 해당하는 중심축 추출 방법을 적용할 수 있다. 이는 미리 정의된 경우의 수에 대해서만 중심축을 추출하기 때문에 다양한 형태의 객체에 적용하기에는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 S-MAT 알고리즘을 확장하여 직선 중심축 추출 알고리즘을 일반화하고, 이를 이용하여 특정 객체의 기하적 특성을 반영한 기하 네트워크 모델을 자동 구축하는 알고리즘(SMAT)을 제안한다. 여기서 제안하는 SMAT 알고리즘은 MAT 알고리즘과 같이 복도와 같은 특성의 객체의 중심축을 추출할 경우 폴리곤의 정확한 형태의 중심축을 추출하는 것에 중점을 두기 보다는, GIS 질의에 효율적인 위상학적 모델을 만들기 위해 대략적인 형상을 반영하는 중심선을 만드는 S-MAT 알고리즘의 특징을 갖는다. 허나 SMAT 알고리즘은 S-MAT 알고리즘에 비해 적용할 수 있는 데이터의 범위를 건축물의 단순 실내 공간(Simple polygon)에서 내부에 폐색된 외부 공간(Inner ring)을 갖는 실내 공간객체로 확장한 것에 의의가 있다. 기존 연구에서 제안된 MAT 알고리즘과 S-MAT 알고리즘에 의해 추출된 중심축, 본 연구에서 제안하는 SMAT 알고리즘에 의한 중심축의 모양 차이는 <그림 1>과 같다.

2. 선행연구 분석

2.1 기하 네트워크 모델(Geometric Network Model)

위상학적 관계를 나타내는 위상학적 모델을 표현하는 방법으로는 크게 위상학적 모델 요소(Topological Primitives) 기반과 그래프(Graph) 기반, 행

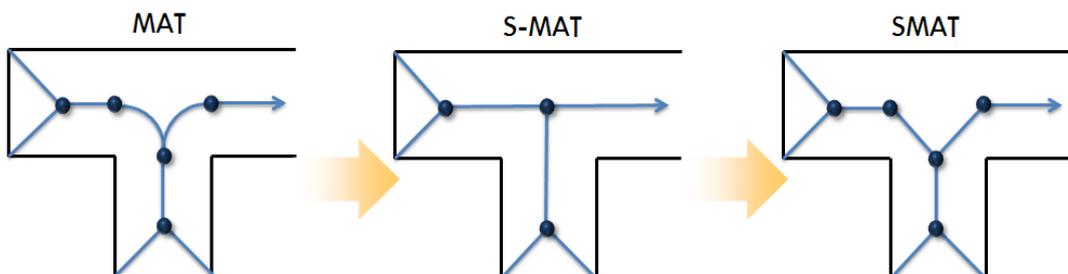


그림 1. 중심축 추출 알고리즘의 비교

렬(Matrix) 기반으로 나뉜다[4]. 그 중 그래프 기반 네트워크 모델은 그동안 위상학적 모델로서 널리 사용되어 왔던 B-rep 모델의 관계 분석에 대한 효율성을 보완하기 위한 모델로, 대표적인 예로는 Combinatorial Data Model (CDM)이 있다.

CDM은 많은 양의 객체를 다루어야 하는 3D GIS에서 위급상황에 대해 빠른 분석 처리를 요하거나 또는 하나의 객체가 필요에 의해 여러 개의 부분으로 분할되어야 할 때, 기존의 데이터모델에서 오는 한계점을 해결하고자 제안되었다[5]. 이 모델은 복잡한 객체 구조의 위상학적 모델을 노드 관계 구조[5]를 기반으로 정립되는 간단하고 추상적인 논리적 데이터모델이다.

CDM은 두 가지 면에서 확장을 필요로 한다[7]. 첫째, CDM은 3차원 객체들의 인접성이나 연결성만을 나타내는 논리적 데이터모델로 객체 간의 최단거리 찾기와 같이 객체들 사이의 기하학적 속성을 기반으로 하는 분석에는 한계가 있다. 둘째, 객체를 노드로 표현하기 때문에 원래의 객체가 갖는 기하학적 속성을 표현하지 못한다. 예를 들면, 노드는 객체의 부피나 면적 등을 표현하지 않기 때문에 두 객체 간의 교차 여부와 같은 분석에는 한계가 있다. 즉, CDM은 3차원 객체의 연결성과 인접성 분석에 대해서는 효율적이나 기하학적 특징에 기반한 분석에 대해서는 한계를 보인다.

이러한 두 가지의 한계 중 첫 번째 문제점을 보완하기 위해 CDM에 기하학적 특징을 갖는 기하 네트워크 모델(Geometric Network Model)이 제안되었다. 이 모델은 기존의 CDM에 직선 중심축 추출 알고리즘(Straight Medial Axis Transformation)을 접목하여 개발되었다[6](<그림 2> 참조). S-

MAT 알고리즘은 계산 기하학 분야에서 사용되는 중심축 추출 알고리즘(Medial Axis Transformation)을 GIS 분야에 적합하도록 수정한 알고리즘으로, 기존의 MAT 알고리즘에 의한 중심축에서 곡선이 나타남으로써 생기는 문제점을 해결하기 위해 곡선이 생기는 부분을 직선화하였다. S-MAT 알고리즘으로 인해 곡선이 직선화된 중심축은 빠른 질의 분석을 위한 네트워크 기반 위상학적 모델의 요소로서 보다 적합하다.

GNM은 3차원 GIS가 다룰 수 있는 영역을 확대한 것이 의의가 있다. 기존의 위상학적 모델이 데이터의 용량으로 인한 분석의 어려움에 의해 실내 공간에 대한 데이터모델 구축에 한계가 있었지만, GNM에 의해 질의 처리 시 고려해야 할 데이터의 용량을 대폭 줄이며 3차원 실내 공간의 효율적인 분석 가능성을 제시하였다. 특히 기하학적 특징을 갖기 때문에 최단거리 검색이나 위급상황 시 대피로와 같은 실제 응용에서도 적용가능하다.

2.2 직선 중심축 추출 알고리즘(Straight Medial Axis Transformation)

도형의 중심축 추출(Medial Axis Transformation)에 대한 이론은 1967년 Blum에 의해 처음으로 소개되었다[3]. 비록 크기와 같은 실제에 대한 본질적인 정보는 갖고 있지 않더라도 형태의 대략적인 모양을 보여주는 가장 기본적인 구조를 얻는다는데 의의를 두고 있다. 중심축을 추출하는 방법은 크게 벡터 기반 데이터에 대한 알고리즘과 래스터 기반 데이터에 대한 알고리즘으로 나뉜다. 벡터 기반 데이터를 위한 알고리즘으로는 Delaunay Triangulation based Transformation, Voronoi-Diagram

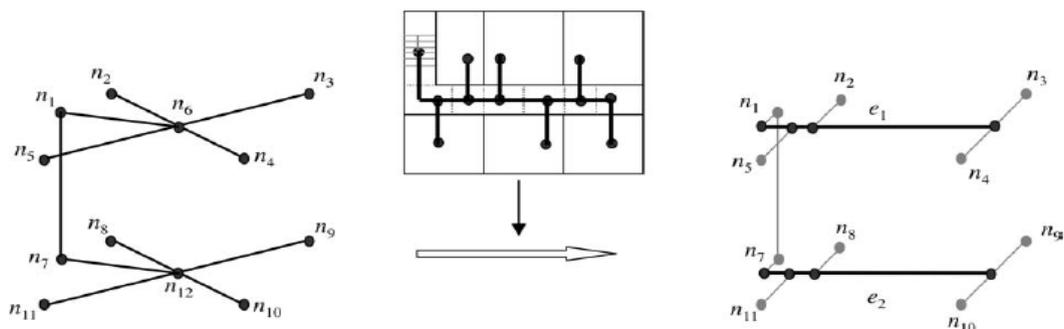


그림 2. CDM에서 GNM으로의 변환

based MAT 등이 있고, 래스터 기반 데이터를 위한 알고리즘으로는 Voronoi diagram-based thinning, Mathematical operator-based thinning, Boundary peeling method 등이 있다.

직선 중심축 추출 알고리즘(S-MAT)은 기존의 계산 기하학 분야에서 사용되는 MAT 알고리즘을 사용할 경우 추출된 중심축에서 나타나는 곡선으로부터 야기되는 분석의 효율성 저하와 불필요한 요소의 저장, 다른 차원 요소로의 변환 어려움 등에 대한 문제점을 해결하기 위해 제안되었다. 대표적인 연구인 ‘A Spatial Access-Oriented Implementation of a 3D GIS Topological Data Model for Urban Entities’[6]에서 제안하는 이 알고리즘은 MAT에서 추출되는 중심축의 곡선 부분을 직선화함으로써 문제점을 해결하고자 하였다. 그 방법으로는 이웃하는 내각의 경우를 볼록각(Convex) - 볼록각(Convex), 볼록각(Convex) - 오목각(Reflex), 오목각(Reflex) - 오목각(Reflex)인 경우로 구분하고, 3가지의 경우에 대해 그에 해당하는 미리 정의된 추출 방법을 적용하였다.

S-MAT 알고리즘은 GIS의 분석 과정에서 곡선이 직선화되면서 불필요한 요소를 줄이고 이로 인하여 질의 처리의 효율성을 높일 수 있으나, 현재까지 S-MAT 구현에 대한 연구는 매우 미비한 상태로 이론에 대한 정확한 정의뿐만 아니라 구현에 대한 연구도 절실히 필요하다.

3. 연구 방법

본 연구는 연구의 목적과 선행연구들을 분석한 후, JAVA 언어로 Netbeans IDE 7.0.1을 통해 구현되었다.

알고리즘의 전체 동작원리는 <그림 3>과 같다. 기하학적 데이터를 이용하여 기하학적 특징을 반영한 위상학적 모델을 자동 추출하기 위해, 객체의 기하학적 값을 갖는 .csv 데이터 파일이 입력 데이터로 이용된다. 입력 데이터는 총 3단계로 구성된 기하 네트워크 모델(Geometric Network Model) 구축 알고리즘을 거쳐 객체에 대한 위상학적 모델이 구축되고 이 모델은 CSV 파일 형태로 출력된다. 이때 GNM 구축 알고리즘을 구성하는 3단계는 1) 입력된 객체 데이터의 2차원 지오메트리 객체를 위상학적 모델의 0차원 요소로 변환, 2) 복도와 같은 타입을 갖는 기하학적 특징을 표현할 필요가 있는 0차원의 요소를 SMAT 알고리즘을 이용하여 기하학적 특징을 반영한 1차원의 요소로 변환, 3) 복도 외의 타입을 갖는 0차원의 요소를 2단계에서 구축된 1차원 요소로 투영·연결함으로써, 최종적으로 입력된 실내 공간의 기하학적 특징을 반영하는 위상학적 모델을 구축하는 단계이다.

우선, 알고리즘 수행을 위해 입력되는 데이터는 위상학적 모델을 구축하고자 하는 실내 공간의 기하학적 모델에 대한 데이터이다. 대상으로 하는 실내 구조에 대한 셰이프 파일에서 네트워크 기반 위

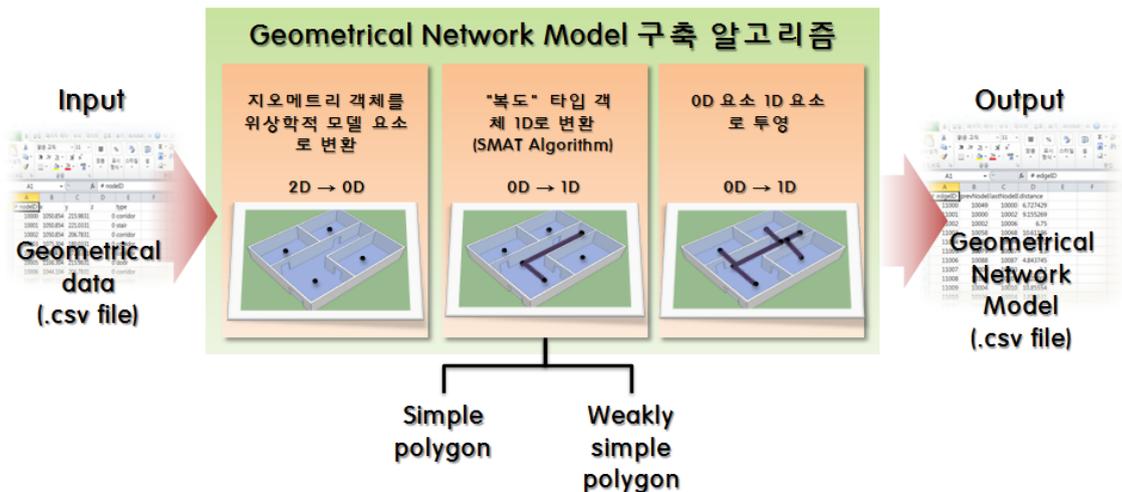


그림 3. 연구 흐름도

상학적 모델을 구축하기 위해 필요한 객체들(방, 복도, 계단 등)의 점, 선, 면만을 추출하여 1차 가공된 데이터를 만들었고, 이에 대한 데이터구조는 다음과 같다.

```

Vertex{
    Long nodeID;
    Double x, y, z;
    String type;
}

Line{
    Long lineID;
    Node prev;
    Node next;
    Double distance;
}

Surface{
    Long surfaceID;
    ArrayList<Edge> lineList;
    String type;
}
    
```

3.1 Convert 단계 알고리즘

본 연구의 GNM 구축 알고리즘 중 처음 실행되는 단계로서 입력된 실내 공간 객체의 지오메트리 데이터를 이용하여 네트워크 기반의 위상학적 모델을 구축하기 위해 2차원 객체들을 OD 요소(Point)로 변환하는 단계이다. 이 단계에 대한 순서도는 <그림 4>와 같다.

입력 데이터 중 type이 "Hallway"가 아닌 모든 면 데이터에 대해 면을 구성하는 버텍스의 좌표를

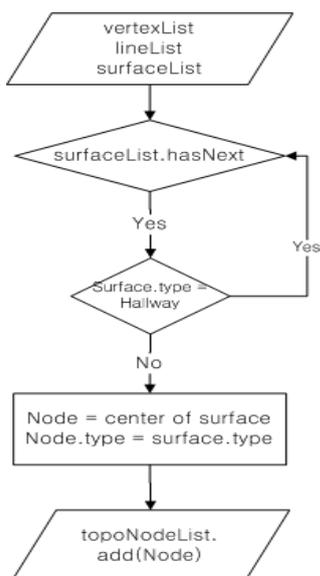


그림 4. Convert 단계 순서도

이용하여 면의 중심점을 추출한다. 이 때 객체의 무게중심 수식을 이용하여 중심점을 계산한다. 이 중심점은 위상학적 모델에서 면을 대표하는 노드 요소로 사용되기 때문에 면의 타입을 노드의 타입으로 갖는다. 모든 면에 대해 추출된 노드를 기하 네트워크 모델을 구성하는 노드요소(topoNode)로 저장한다.

폴리곤을 대표하기 위하여 포인트는 폴리곤의 무게중심을 이용하였고 이에 대한 수식은 <그림 5>와 같다.

$$Cx = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$Cy = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

그림 5. 다각형의 무게중심 구하기

3.2 SMAT 단계 알고리즘

SMAT 단계는 본 연구의 가장 핵심이 되는 알고리즘으로 기존의 계산 기하학 분야에서 사용되던 중심축 추출 알고리즘(Medial Axis Transformation)을 응용하여 곡선대신 직선만으로 중심축을 추출하는 알고리즘이다. 본 장에서는 기존의 MAT 알고리즘을 SMAT로 수정한 방법뿐만 아니라 Simple polygon으로 한정되어 있던 SMAT 입력 데이터를 내부 폐색 구역을 포함하는 폴리곤으로 확장한 부분까지 고려되었다. 이 단계에 대한 순서도는 <그림 6>와 같다.

다양한 용도의 면 데이터에서 복도와 같이 기하학적 특징을 반영해야 하는 면에 SMAT 알고리즘을 적용해야 하므로, 면의 type이 "Hallway" 값을 갖는 면과 이 면을 구성하는 선과 점을 찾는다. 면에서 추출된 점들은 속성값으로 노드의 ID와 x, y, z 좌표값, 그리고 대표하는 면의 용도를 의미하는 type값을 갖고, 선들은 ID와 선을 구성하는 시작 노드, 끝 노드, 그리고 길이 값을 갖는다. 찾은 점과 선은 복도를 구성하는 요소로 SMAT 알고리즘 수행을 위해 각각 nodeList와 edgeList에 저장한다.

본 연구는 기존 Simple polygon만을 범위로 하던

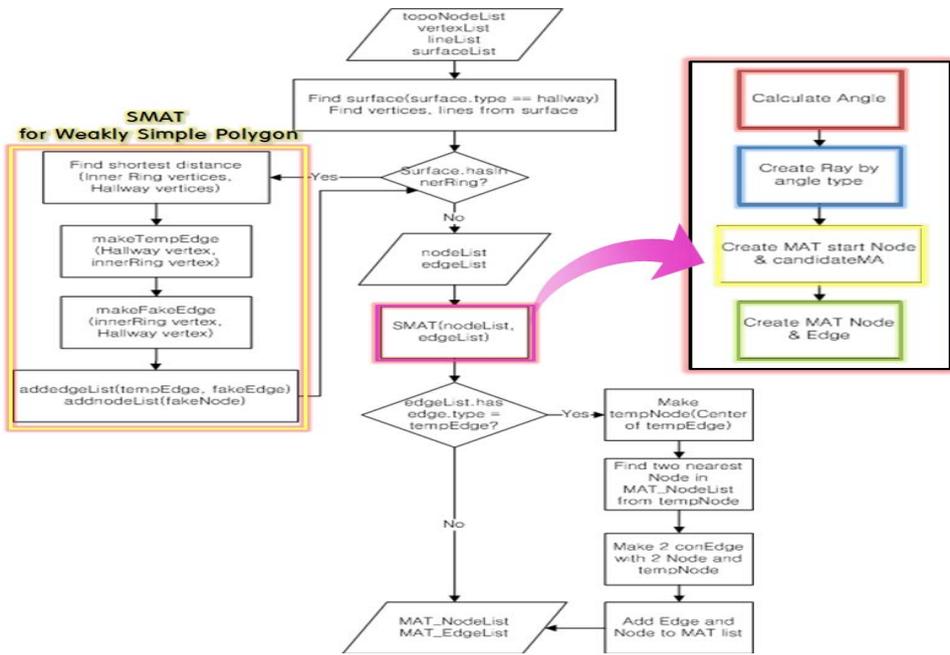


그림 6. SMAT 단계 순서도

연구에서 현실 추세를 반영하여 내부에 폐색 구역을 갖는 Weakly simple polygon으로 범위를 확장하였기에, 면 내부에 폐색 구역의 여부를 확인한다. 만약 폐색 구역이 없다면 저장된 nodeList와 edgeList가 최종 SMAT 알고리즘 수행을 위한 입력 데이터가 된다. 하지만 면 내부에 폐색 구역이 존재한다면 weakly simple polygon을 simple polygon화하기 위한 단계가 필요하다.

본 연구에서는 폐색 구역을 구성하는 점들과 복도를 구성하는 점들 중 가장 가까운 두 점을 연결하는 에지를 만들고, 이와 근소한 차이를 갖는 임의의 에지를 하나 더 만든다. 이 2 에지를 복도를 구성하는 선분으로 저장함으로써 폐색 구역을 임의로 없앤 simple polygon으로 재구성하는 방법을 이용하였다. 이는 폴리곤이 갖는 폐색 구역의 수에 따라 만들어 지는 에지의 수 2배수로 증가한다.

SMAT 알고리즘을 통해 복도의 모양을 보여주는 중심축을 구성하는 SMA_Node들과 SMA_Edge들을 얻는다. 이때 최종 중심축 리스트는 원래의 폴리곤에 내부 폐색 구역이 있었는지 여부에 따라 달라진다. 만약 폐색 구역을 갖는 weakly simple polygon이었을 경우 simple polygon으로 만들어 주기 위해 임의로 생성한 tempEdge를 이용하여 끊어

진 SMA_EdgeList를 연결하는 SMA_Edge를 만들어야 한다. 이를 위한 방법으로 tempEdge의 중심점을 추출 후 이와 가까운 2개의 SMA_Node를 찾는다. 이 두 SMA_Node를 tempEdge의 중심점과 연결한 후 새로 생성한 노드와 에지를 SMA_NodeList와 SMA_EdgeList에 추가로 저장함으로써 원래의 weakly simple polygon에 해당하는 중심축 리스트를 생성하게 된다.

전체 SMAT 단계의 알고리즘 중에서 본 연구의 핵심 알고리즘인 SMAT 알고리즘은 크게 1) 폴리곤의 내각 구하기, 2) 내각의 타입에 따라 선(ray) 생성하기, 3) 중심축의 시작 노드와 에지 생성하기, 4) 시작 노드와 에지를 이용하여 완성된 중심축 만들기로 구성된다. 이때 입력 데이터는 복도 타입을 갖는 simple polygon을 구성하는 edgeList와 이에 대한 nodeList이고, 출력 데이터는 복도 객체의 형태를 나타내는 중심축을 구성하는 SMA_NodeList와 SMA_EdgeList이다.

3.2.1 폴리곤의 내각 계산

폴리곤의 내각을 구하는 단계는 SMAT를 수행하기 위한 기반 데이터를 마련하는 단계이다. 이 단계에서 계산된 내각에 의해 직선화될 부분이 결정된다. 왜냐하면 MAT 알고리즘에서 중심축의 곡선이

나타나는 경우는 주로 오목각에 대한 중심축을 추출할 때이기 때문이다. 오목각 양 옆의 변에 수직인 직선을 그어 대응하는 변을 생성한 후 남은 중간 변이 점과 대응하기에 때문에 앞서 설명한 바와 같이 중심축에 곡선이 생성된다. 따라서 내각을 계산하는 첫 단계는 각을 이등분하는 ray를 만들기 위함뿐만 아니라 곡선으로 생성될 오목각을 계산하여 직선화하기 위함이기도 하다.

이를 위하여 사용된 수식은 <그림 7>과 같다.

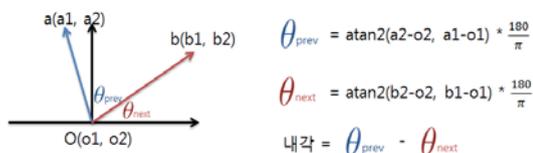


그림 7. 두 직선의 사이각 구하기

3.2.2 내각 타입에 따른 선 생성

내각의 타입에 따라 선(ray)을 생성하는 단계에서는 볼록각(convex angle)의 경우 각을 이등분하는 이등분선(bisector)을, 오목각(reflex angle)의 경우 양변에 수직인 2개의 법선을 생성한다. 볼록각에서 이등분선을 생성하는 이유는 주변의 2개의 이등분선이 교차함으로써 생성되는 노드를 중심축의 시작 또는 끝 점으로 활용하기 위함이다. 오목각에서 법선을 생성하는 이유는 첫째, 서로 다른 두 변이 공통된 대응변을 갖거나 명확한 대응변을 갖지 않는 양 변에 적절한 대응변을 부여함으로써 두 대응변간의 중심점들을 용이하게 추출하기 위함이다. 둘째는 점과 직선에 대한 중심축을 곡선이 아닌 직선으로 추출하기 위함이다. 중심축을 계산할 시 곡선이 생성되는 부분은 한 점과 직선과의 중심점을 추

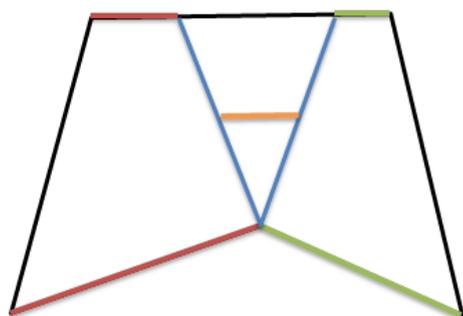


그림 8. 오목각에 대한 중심축의 곡선 생성(SMAT)

출하는 경우인데 오목각에서 이와 같은 현상이 일어난다. 오목각에 법선을 생성하는 과정은 실제 MAT 알고리즘에서 점과 선분과의 대응에 대한 중심축을 추출하기 위해 사용되는 방법으로, MAT 알고리즘에서는 곡선으로 생성하나 본 연구에서는 직선으로 생성함으로써 SMAT 알고리즘을 구현하였다.<그림 8> 참조)

이를 위하여 사용된 수식은 다음과 같다. 볼록각의 경우 각을 이등분하는 벡터는 <그림 9>의 수식에 의해 생성된다. 이 이등분선은 시작점은 O, 끝점은 무한한 직선이다.

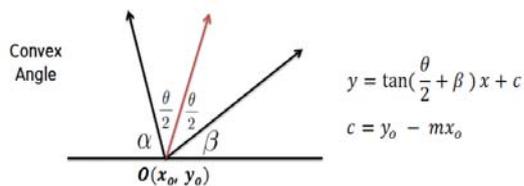


그림 9. 이등분선 생성

오목각의 경우 각을 구성하는 두 에지에 수직인 두 법선이 <그림 10>의 수식에 의해 생성된다.

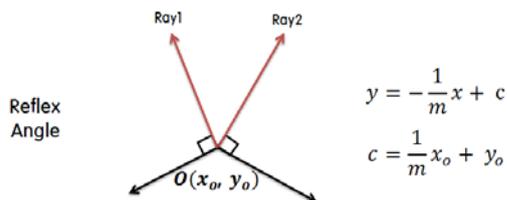


그림 10. 법선 생성

3.2.3 중심축의 시작 노드와 에지 생성

중심축을 생성하기 위해 우선 SMAT 알고리즘을 시작하는 시작 노드부터 생성하여야 한다. 시작 노드는 하나의 에지를 이루는 양 노드의 내각이 모두 볼록각일 경우 내각에 해당하는 선의 교차점을 시작 노드로 저장한다. 이는 본 연구 대상을 실내 공간으로 한정 지었을 때 볼록각을 갖는 두 버텍스에 의해 복도의 끝부분이 특징지어 지는 것을 이용하여 복도의 끝부분을 알고리즘을 시작하거나 끝내기 위한 부분으로 추출하기 위함이다.

두 개의 볼록각을 이등분하는 이등분선의 교차점을 생성하여 시작 노드 리스트에 저장한다. 교차 여

부 및 교차점을 추출할 시 사용되는 수식은 <그림 11>과 같다. 그 후 각 노드에 연결된 다음 두 변을 시작 노드에서부터 시작될 중심축에 대응하는 두 변으로 지정 후 두 변의 중심을 잇는 Candidate-MARay를 생성한다. 두 대응변의 중심을 잇는 선은 볼록각의 이등분선을 구하는 방법과 동일하다. 이 CandidateMARay는 시작 노드는 대응하는 시작 노드이고 끝 노드는 현재까지는 정해지지 않은 한쪽 끝이 무한한 선이다. 마지막 단계에서 다른 선과 교차할 경우 끝 노드는 그 교차점으로 저장될 예정의 임시 선으로 SMAT 알고리즘의 입력 데이터이다.

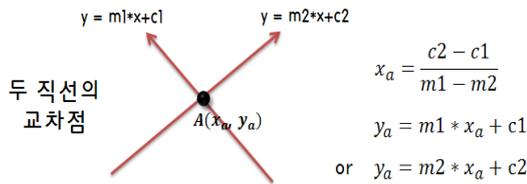


그림 11. 두 직선의 교차점 생성

3.2.4 직선 중심축 생성

앞서 구축된 데이터를 이용하여 SMAT 알고리즘의 최종 결과물인 직선 중심축(Straight Medial Axis)을 구축하는 마지막 단계이다. 앞서 저장된 CandidateMARay들이 모두 끝 노드를 가질 때까지 본 단계의 알고리즘은 반복된다. 큐(Queue)에 저장되어 있는 CandidateMARay들은 대응하는 두 에지에 대한 정보를 저장하고 있다. 이 정보를 이용하여 연결되어 있는 노드에서 생성된 이등분선 또는 법선과 만나는 교차점을 생성, 시작 노드로 저장하고 있는 SMA_Node와 거리를 비교하여 더 가까운 교차점을 끝 노드로 취한다. CandidateMARay 리스트에서 끝 노드가 지정된 선은 SMA_EdgeList로 옮겨가 최종 중심축을 이루는 축으로 저장된다. 끝 노드에서 연결되는 중심축을 다시 추출하기 위해 ray를 취한 노드와 연결된 다음 에지를 사용하지 않은 에지의 대응 에지로 저장하고 생성된 교차점을 시작 노드로 하는 CandidateMARay를 다시 생성하여 큐에 저장한다.

생성된 교차점이 이미 SMA_NodeList에 저장되어 있는 경우에는 CandidateMARay를 생성하지 않고, 선의 끝 노드로 교차점을 취한 후 큐의 다음 선으로 넘어간다. 위의 과정을 계속 반복하다 큐에 더 이상 남은 선이 없을 경우 알고리즘은 종료된다.

SMAT 알고리즘을 통해 최종 출력되는 SMA_NodeList와 SMA_EdgeList는 입력된 simple polygon에 대한 중심축을 구성하는 노드와 에지의 집합이다. 처음 입력 폴리곤에 내부 폐색 구역의 유무에 따라 출력되는 데이터는 weakly simple polygon을 반영한 중심축의 처리과정이 수행되거나, 또는 그 자체로 입력 폴리곤을 표현하는 직선 중심축이 된다.

3.3 GNM 단계 알고리즘

마지막 GNM 단계에서는 연구의 최종 성과물인 기하 네트워크 모델(Geometric Network Model)이 완성되어 출력되는 단계로, 첫 번째 단계에서 추출되었던 topoNodeList의 모든 노드 데이터를 두 번째 단계에서 생성된 직선 중심축에 투영함으로써 GNM을 구축한다. 생성된 GNM_NodeList와 GNM_EdgeList는 사용자가 입력한 실내 객체에 대한 기하 네트워크 모델을 구성하는 노드와 에지의 집합이다. 이 단계에 대한 순서도는 <그림 12>과 같다.

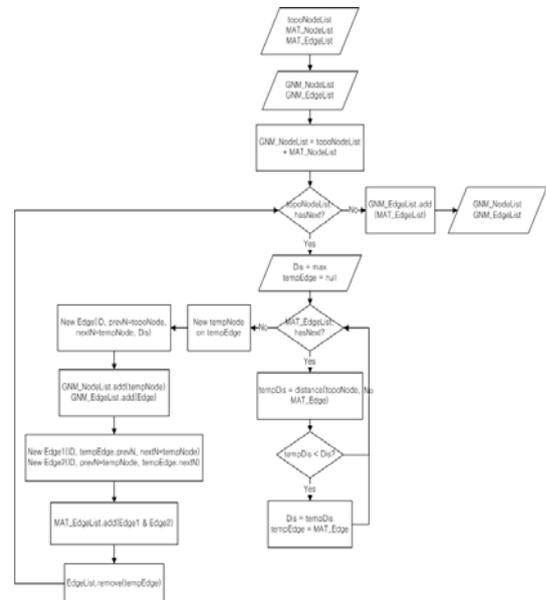


그림 12. GNM 단계 순서도

GNM 단계를 실행하기 위한 입력 데이터는 Convert 단계에서 생성된 topoNodeList와 SMAT 단계에서 생성된 SMA_NodeList, SMA_EdgeList이다. topoNodeList 내의 모든 topoNode에 대해 SMA_EdgeList의 에지들과의 최소 거리를 구한다.

최소 거리를 갖는 노드와 에지를 연결하는 선분을 생성하여 GNM_EdgeList에 저장한다.

이 과정에서 에지와 만나는 경우는 에지의 시작 또는 끝 노드와 만나는 경우와 에지의 중간에서 만나는 경우로 나뉜다[1]. 첫 번째 경우는 에지의 범위 내에 topoNode가 있지 않아 에지와의 최단 거리가 시작 또는 끝 노드와인 경우이다. 이 경우 만나는 점에 대한 노드를 생성할 필요가 없으며 에지가 분할되지 않는다. 두 번째 경우는 topoNode가 에지의 범위 내에 있어 에지와의 최단 거리가 topoNode로부터 에지까지의 수직 거리인 경우이다. 이 경우에는 에지와의 만나는 점에 대한 노드를 생성해야 하고, 노드를 기준으로 에지를 분할함으로써 중심축의 연결성을 보장해야 한다. 이에 대한 수식은 <그림 13>과 같다. 생성된 노드는 GNM_NodeList에 저장된다. 모든 topoNode에 대해 위의 과정을 수행한 후 GNM_EdgeList에 SMA_EdgeList의 데이터를 업데이트한다. GNM_Edge는 방과 복도와의 연결성을 의미하는 기하 네트워크 모델의 요소이다.

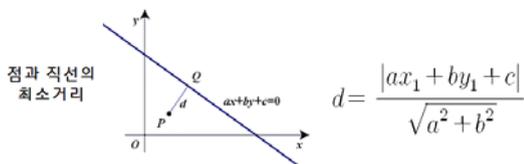


그림 13. 점과 직선의 최소거리 계산

4. 연구 결과

알고리즘이 구현되어 출력되는 SMAT 알고리즘을 이용한 기하 네트워크 모델 뷰어의 화면은 <그림 14>와 같다.

처음 실행 시 입력 데이터가 자동으로 화면에 출력된다. 알고리즘 수행을 위한 버튼은 Convert, SMAT, GNM, Print 총 4개로 구성된다. Convert 버튼은 본 연구의 알고리즘 수행 단계 중 첫 번째 단계인 Convert 단계를 위한 버튼으로, 입력 데이터 중 방 타입에 해당하는 면들의 무게 중심을 계산하고 화면에 출력한다. SMAT 버튼은 두 번째 단계인 SMAT 알고리즘 수행을 위한 버튼으로, 입력 데이터 중 복도 타입에 해당하는 면의 중심축을 추출하고 화면에 출력한다. GNM 버튼은 마지막 세 번째 단계를 위한 버튼으로, Convert 단계에서 계

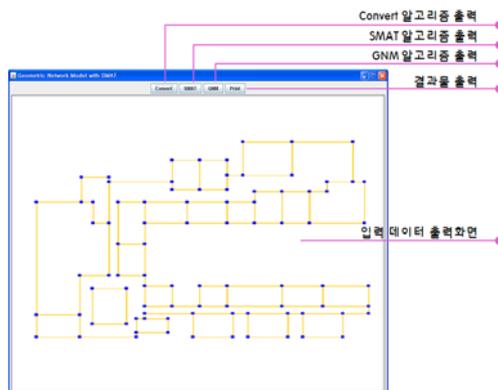


그림 14. Geometric Network Model with SMAT 뷰어

산된 무게중심 점들과 SMAT 단계에서 추출된 중심축을 최소거리로 연결하고 이를 화면에 출력한다. Print 버튼은 최종결과물을 문서로 출력하는 버튼으로, 수행된 알고리즘에 대한 결과값인 기하 네트워크 모델의 타 시스템에서의 활용성을 높이기 위해 .csv 파일로 출력한다. 각 버튼에 대한 출력 화면은 다음과 같다.

Convert 버튼 수행화면에서 분홍색 점은 폴리곤의 무게중심을 의미한다. SMAT 버튼 수행화면에서 검은색 점은 SMA를 구성하는 노드, 빨간색 선은 SMA를 구성하는 에지를 의미한다. 마지막으로 GNM 버튼 수행화면에 출력된 모든 점, 선은 GNM을 구성하는 요소를 의미한다. 이러한 결과는 Print 버튼을 실행함으로써 파일로 출력된다. 이 때 출력되는 파일은 총 2개로 GNM을 이루는 노드에 대한 리스트와 에지에 대한 리스트이다.

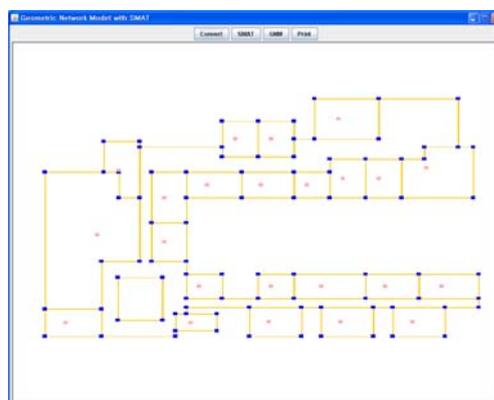


그림 15. Convert 버튼 수행화면

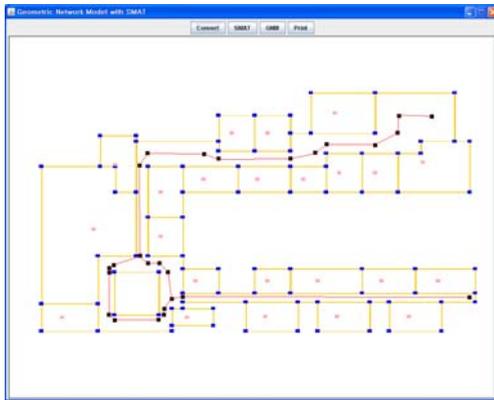


그림 16. SMAT 버튼 수행화면

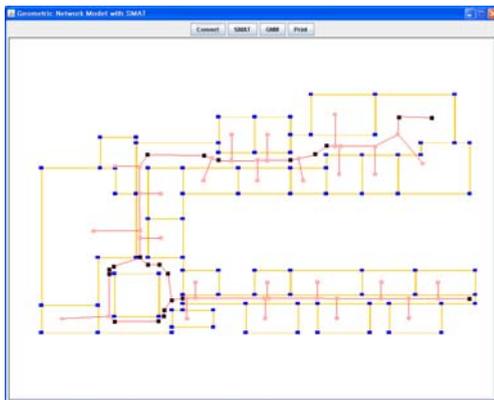


그림 17. GNM 버튼 수행화면

5. 활용 방안 및 한계점

SMAT를 기반으로 한 기하 네트워크 모델 자동 구축 알고리즘은 현실 세계의 다양한 환경에 적용될 수 있다. 예를 들면 복잡한 실내공간에서 목적지까지의 최단 거리를 찾고자 할 때, 객체간의 관계뿐만 아니라 거리에 대한 값을 갖고 있기 때문에 활용가능하다. 이는 위급상황에 대한 대피로 안내의 경우에도 마찬가지이다. 화재나 구조물의 붕괴 등으로 인해 최단 경로에 지장이 있더라도 장애물로서 고려 후 차안을 탐색하여 최적의 대피로를 제안할 수 있다. 이 밖에도 일반인과 장애인 또는 노약자와의 경로 안내 차별 등과 같이 의미론적(Semantic) 분석에 대해서도 활용 가능하다.

이는 대부분의 분석들이 객체간의 관계가 정의된 데이터를 기반 데이터로 하여 분석을 수행하고, 특히 내비게이션, 버스와 지하철 도착 알람 등 거리를

기반으로 하는 응용 분야가 많이 발전한 우리나라에서는 관계 정의뿐만 아니라 기하학적 정보를 갖는 위상학적 모델이 매우 중요하다. 현재 관련 업체들이 이와 같은 프로그램에 사용될 데이터를 구축하기 위해 많은 시간과 인력·비용을 투자하고 있다. 따라서 GNM 자동 구축 알고리즘을 활용하게 된다면 이러한 데이터를 구축하는데 소요되는 비용을 줄일 수 있을 것이라 생각한다.

현재 SMAT 알고리즘뿐만 아니라 기하 네트워크 모델에 대한 연구는 매우 미비한 실정이다. 관련 분야에서 실제 데이터 구축에 활용하기 위해서는 앞으로 많은 연구가 필요하다. 본 연구에서 개발된 알고리즘 역시 앞으로 다음과 같은 제안을 고려하여 보완이 필요하다. 첫째, 대상으로 하는 객체는 3차원이기 때문에 3차원에서의 확장이 고려되어야 한다. 둘째, 자동 추출 알고리즘에 입력되는 데이터는 알고리즘에 적합한 데이터가 되기 위해 1차 가공을 필요로 한다. 하나 경우에 따라 1차 가공된 데이터를 얻기 위해 많은 시간과 노력을 소요해야 할 수도 있다. 따라서 입력 데이터로서 상용 포맷인 셰이프 파일이나 캐드 파일을 가공 과정없이 바로 사용하도록 보완될 필요성이 있다. 셋째, 현재의 구축된 모델은 최단 거리만을 고려하여 노드에서 중심축으로 바로 투영되었다. 하지만 이동체의 이동 가능성을 의미하는 객체간의 연결성을 표현하기 위해선 최단 거리 외에도 문의 위치와 같이 실질적으로 이동에 영향을 미치는 요소를 고려하여 모델을 구축해야 한다. 넷째, SMAT 알고리즘은 MAT 알고리즘으로 추출된 중심축의 곡선이 객체의 효율적인 연결성 분석에 지장을 줄 것이라는 보편적 인식에 기반하여 개발되었다. 따라서 두 알고리즘으로 구축된 모델의 성능 비교를 통하여 이를 입증할 필요가 있다. 마지막으로 알고리즘의 성능면은 저장되는 데이터와 직접적인 연관이 있기에 중심축을 추출할 시 생성되는 불필요한 노드를 보다 줄이는 방법이 고안되어야 한다.

이와 같이 현재의 알고리즘에 제안된 향후 연구가 보완된다면 보다 효과적인 GNM 자동 구축 알고리즘이 될 것이고, 이를 이용한 분석 결과는 현 상황을 더욱 적합하게 반영할 것이다. 이는 관련 업체들의 비효율적인 데이터 구축 업무에도 많은 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] B. Paul, 1988, "Minimum Distance between a Point and a Line", [Online] Available: paulbourke.net/geometry/pointline.
- [2] C. Ellul and M. Haklay, 2006, "Requirements for Topology in 3D GIS", Transactions in GIS, vol.10, no. 2, pp.157-175.
- [3] H. Blum, 1967, A Transformation for Extracting New Descriptors of Shape, Symposium Models for Speech and Visual Form, Weiant Whaten-Dunn Ed., Cambridge, MA: MIT Press, United Kingdom.
- [4] J. Choi, and J. Lee, 2009, "3D Geo-Network for Agent-based Building Evacuation Simulation", 3D GEO-INFORMATION SCIENCES, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Part II, pp. 283-299.
- [5] J. Lee, 2001, "A 3D Data Model for Representing Topological Relationships Between Spatial Entities in Built-Environments", unpublished Ph.D. Dissertation, Department of Geoinformatics, The Ohio State University.
- [6] J. Lee, 2004, "A Spatial Access Oriented Implementation of a Topological Data Model for 3D Urban Entities", GeoInformatica, vol. 8, no. 3, pp 235-262.
- [7] J. Lee and M.-P. Kwan, 2005, "A combinatorial data model for representing topological relations among 3D geographical features in micro-spatial environments", International Journal of Geographical Information Science, vol. 19, no. 10, pp. 1039-1056.
- [8] M. Stevens and J. Choi, 2006, "CAD Data Conversion to a Node-Relation Structure for 3D Sub-Unit Topological Representation", Journal of the Korean Geographical Society, vol. 41, no. 2, pp. 188-194.
- [9] 박세호, 이지영, 2009, "3차원 공간정보 데이터 모델 비교 분석", 한국GIS학회지, 제17권, 제3호, pp. 277-285
- [10] 이석호, 2011, 3차원 공간 질의를 위한 위상학적 인 네트워크 데이터 자동생성 및 효율성 분석,

서울시립대학교

- [11] 황정래, 강혜영, 이기준, 2006, "도로 네트워크 상의 이동 객체 궤적의 간략화", 한국공간정보시스템학회 논문지, 제8권, 제3호, pp. 51-65

논문접수 : 2012.02.23

수정일 : 2012.04.22

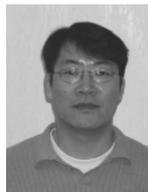
심사완료 : 2012.04.26



박 소 영

2009년 서울시립대학교 공간정보공학
공학사2012년 서울시립대학교 공간정보공학
공학석사

관심분야는 3차원 GIS, 데이터모델링



이 지 영

2001년 The Ohio State Univ. 지리학
이학박사2001년~2004년 Minnesota State
Univ. 조교수2004년~2007년 Univ. of North Caro-
lina at Charlotte 조교수2007년~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수
관심분야는 3차원 GIS, 공간데이터분석, 데이터모델링