

# 3차원 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 이용한 3차원 인접성 공간질의

## 3D Adjacency Spatial Query using 3D Topological Network Data Model

이 석 호\*  
Seok Ho Lee

박 세 호\*\*  
Se Ho Park

이 지 영\*\*\*  
Ji Yeong Lee

**요약** 근린 공간(Spatial Neighborhoods)이란 특정 공간과 상호 관계성을 가지는 주위의 공간들이다. 공간 관계성이 있는 근린 지역을 찾는 3차원 공간질의는 공간을 분석함에 있어서 기본적인 기능이다. 이와 관련하여 다양한 공간 관계성을 갖는 근린 공간을 찾는 연구 방법들이 제안되어 왔으며, 본 연구에서는 인접성에 기반을 둔 근린 지역을 찾는 연구 방법을 제안한다. 제안된 방법은 인접성을 표현하는 위상학적 데이터를 다양한 위상학적 데이터 모델 중 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 적용하여 구축하고, 이에 Dijkstra 알고리즘을 기반으로 한 3차원 인접성 공간질의 알고리즘을 적용하여 하여 인접성 기반의 근린 공간을 찾는 방법이다. 이를 토대로 특정 공간으로부터 인접성에 관한 순차 분석 (Order Analysis) 결과를 가시화 하고 활용 방안을 모색하였다. 본 연구는 3차원 공간에서 인접성에 관한 특정 공간객체를 찾기 위한 3차원 인접성 공간질의(3D Spatial Query) 연산자를 구현하는데 목적이 있으며, 연구의 목표는 효율적인 3차원 인접성 공간질을 위해 1) 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 이용하여 인접성을 표현한 3차원 네트워크 데이터를 구축하고, 이에 2) 3차원 인접성 공간질의 알고리즘을 적용하여 인접성 기반 근린 공간을 찾는 3차원 공간질의 연산자를 구현하는 것이다.

**키워드** : 근린 공간, 3차원 공간질의, 네트워크 데이터 모델, 3차원 위상학적 데이터 모델

**Abstract** Spatial neighborhoods are spaces which are relate to target space. A 3D spatial query which is a function for searching spatial neighborhoods is a significant function in spatial analysis. Various methodologies have been proposed in related these studies, this study suggests an adjacent based methodology. The methodology of this paper implements topological data for represent a adjacency via using network based topological data model, then apply modifiable Dijkstra's algorithm to each topological data. Results of ordering analysis about an adjacent space from a target space were visualized and considered ways to take advantage of. Object of this paper is to implement a 3D spatial query for searching a target space with a adjacent relationship in 3D space. And purposes of this study are to 1)generate adjacency based 3D network data via network based topological data model and to 2)implement a 3D spatial query for searching spatial neighborhoods by applying Dijkstra's algorithms to these data.

**Keywords** : Spatial Neighborhoods, 3D Spatial Query, Network Data Mode, 3D Topological Data Model

## 1. 서론

인간은 철학, 인문학, 건축학 등 다양한 학문에 걸쳐 공간에 관한 관심을 지속적으로 이어왔다 [1][2]. 공간의 이해, 인지, 분석 등에 대한 관심은

공간의 가시화 문제와 더불어 공간들의 관계성 분석의 문제와 연관된다. 공간들 간의 관계성 분석의 문제는, 1736년 오일러가 Königsberg Bridge Problem을 해결하기 위해 공간들 간의 관계성을 그래프를 이용하여 표현한 방법이 시초가 되었고, 현재

\*이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임. (20100012941)

\*\* 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정, shlee627@uos.ac.kr

\*\*\* (주)케이티네트웍스, seho@ktn.co.kr(공동저자)

서울시립대학교 공간정보공학과 부교수, jlee@uos.ac.kr(교신저자)

에도 공간을 이해하는데 있어서 공간의 관계성에 관한 연구들이 진행되고 있다[7][11].

공간은 지리학 제1법칙[26]인 ‘인접하거나 거리상 가까운 공간일수록 공간의 속성들의 상호 관계성이 크다’의 특징을 가지며, 특정 공간으로부터 주변 공간의 속성은 자연스레 연관성(Spatial Autocorrelation) [8][17]을 가진다. 다시 말해, 특정 공간을 이해하기 위해 관계성이 큰 인접한 공간들의 특징을 파악하는 것이 중요하고, 이를 위해 가장 먼저 해야 할 일은 특정 공간의 인접한 공간(이하, 근린 공간(Spatial Neighborhoods))을 정의하는 것이다. 그렇다면 ‘어디까지를 근린 공간으로 정의할 것인가?’하는 문제는 매우 중요한 문제가 되고, 근린 공간의 공간적 범위에 따라 공간적 연관성의 유무 판단에 영향을 미치게 된다. 근린 공간을 정의하기 위해서는 공간 질의(Spatial Query)가 필수적으로 수행되어야 한다. 공간질의는 공간 분석을 하기 위한 기본적인 분석 기능이다. 일반적으로 상용 데이터베이스의 공간 질의는 다음을 포함하고 있다[18][20].

- 인접한 공간객체들은 무엇인가?
- 일정 범위 안에 있는 어떤 공간객체들이 있는가?
- 공간객체들 간의 거리가 얼마인가?
- 공간객체들 간에 교차가 있는가?
- 공간객체들 간에 포함관계가 있는가?

이러한 공간질의를 통한 공간 분석 기능을 기반으로 하는 활용시스템들을 보면, 기본적으로 특정 지역을 찾는 공간질의가 전제가 된다. 그 예로, 실내 공간에서 화재나 긴급 상황이 발생하였을 시에, 먼저 긴급 상황이 발생한 특정 공간을 찾고, 사람들이 안전하게 대피하도록 길을 안내[3][23]하고, 피해 지역의 신속한 대처를 위한 구조자에게 최단경로를 제공하는 시스템[21]등이 있다. 그리고 최근 이러한 공간 분석 시스템은 2차원뿐만 아니라, 3차원 공간 분석이 가능한 시스템으로 수요가 증가하고 있다. 특히 대규모의 복잡한 실내공간이 늘어나고 있고, 유사시(有事時) 이러한 실내공간에서의 3차원 피해 상황 분석 및 대피경로 안내와 같은 분석 시스템의 필요성이 증가하고 있다. 이에 따라 이러한 3차원 공간 분석 시스템 위해서는, 위에 기 언급했던 공간 질의 기능의 3차원 확장이 요구된다. 최근의 상용 공간 데이터베이스들은 3차원으로 확장하여 기하학적 요소, 위상학적 요소, 공간 인덱싱(Spatial In-

dexing), 네트워크 모델 등을 제공하고 있다. 하지만 2차원 상에서 수행되었던 다양한 공간질의 기능 모두가 3차원 상에서 동일하게 제공되고 있지는 않다[18][20].

따라서 본 논문에서는 ‘3차원 가상공간에서 특정 공간객체를 중심으로 인접해 있는 공간객체들을 찾는’ 3차원 인접성 공간질의에 관해 연구한다. 3차원 공간에서 인접성을 비롯한 위상학적 공간질의를 구현하기 위해서는, 3차원 공간 분석에 용이한 위상학적 데이터 모델이 필요하다. 본 연구는 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 바탕으로, 3차원 공간에서 인접성에 관해 특정 공간객체를 찾는, 즉 근린공간을 정의하는, 3차원 인접성 공간질의(3D Spatial Query)연산자를 구현하는데 목적이 있으며, 연구의 목표는 효율적인 3차원 공간질의를 위해 1)네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 이용하여 인접성을 표현한 3차원 네트워크 데이터를 구축하고, 이에 2)3차원 인접성 공간질의 알고리즘 적용하여 인접성 기반 근린 공간을 찾는 3차원 인접성 공간질의 연산자를 구현하는 것이다.

본 논문의 구성은 2장에서는 관련 연구를 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 3차원 공간질의 알고리즘을 설명하고, 4장에서는 제안하는 알고리즘을 구현하고 결과를 분석 및 활용 방안을 모색하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후연구를 제시한다.

## 2. 관련연구

지난 15년간 3차원 공간객체들 간의 위상학적 관계를 표현하고 분석하고자 하는 연구는 매우 다양하게 있어왔다[16].

Rijkers 외 2명(1994)은 3DFDS(3D Formal Data Structure)[19]를 기반으로 하여 관계형 데이터베이스에 실제로 간단한 샘플 데이터를 저장시키고 공간질의를 구현을 하였다[22]. 공간객체를 노드(Node), 아크(Arc), 면(Face), 에지(Edge)의 기본요소 데이터로 데이터베이스 테이블에 기하 정보와 위상관계 정보를 위상학적 규칙을 기반으로 하여 저장을 하였다. 그리고 질의어(SQL)를 이용하여 위상관계정보 질의를 테스트 하였다. 이 연구에서는 B-rep기반의 데이터 구축에 따라 나타나는 데이터 저장 용량문제와 데이터의 중복 문제, 시스템의 질의 반응

속도 등이 해결해야 할 문제로 제기 되었다.

Kim 외 3명(2003)은 'Well-Known Binary(WKB)'를 이용하여 도로 및 빌딩을 포함한 가상 도시를 시공간적으로 가시화할 수 있는 통합 가시화 시스템을 만들었다[25]. 이 연구에서는 가시화뿐만 아니라 특정 공간객체에 3차원 구형태의 버퍼를 하여 버퍼 안에 포함되는 객체를 찾는 기능을 구현하였다(그림 1 참조). 이 연구에서는 3차원 공간객체에 대한 공간 질의를 실제 구현하였지만, 복잡한 실내공간은 다루지 않고 있다.

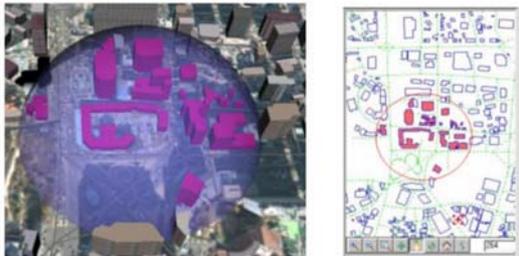


그림 1. 버퍼 기능의 가시화

Borrmann과 Rank(2009)는 3차원 빌딩 모델에서 공간 질의를 이용하여 공간객체들 간의 위상관계 분석에 관한 연구를 수행하였다[5]. 이 연구에서는 옥 트리(octree) 기반 알고리즘을 이용하여 공간객체들 간의 위상관계를 '9-intersection'을 이용하여 파악하였다. 이 연구 역시 데이터 저장의 복잡성이 높은 한계점을 갖는다.

이동현 외 2명(2005) 3차원 기하모델에 대하여 공간 관계에 대한 연산을 설계하였다[3]. DBMS제공하는 3차원 연산자가 2차원에서 제공하는 것과 같이 다양하게 제공되지 않고, 이를 보완하고자 공간관계연산을 설계하였다. 이 연구는 공간객체의 기하기본요소들을 이용하여 공간데이터 베이스 상에서 공간 관계 연산자를 개발하였다.

데이터의 저장의 복잡성과, 용량, 질의 속도 개선을 위해 등장한 것이 바로 그래프 기반의 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델[13]이다. Lee(2005)는 복잡한 실내공간을 노드와 에지의 위상학적 네트워크 데이터로 표현하여, 공간객체의 인접성 및 연결성분석에 관해 연구하였다[14](그림 2 참조).

공간객체를 네트워크 형태로 저장하여 k-최근접 이웃(k-Nearest Neighbor)알고리즘을 적용하는 연구는 도로 네트워크에 관한 연구에서 많이 볼 수

있다. 2003년 Papadias와 Tao는 기존의 유클리디언(Euclidean) 공간기반의 질의연구를 유클리디언 공간과 실제 도로 네트워크공간을 고려한 질의에 관한 연구로 확장시켜, 공간질의의 현실성을 높였다. 이 연구에서는 특정 하나의 포인트에서부터 시작하여 인접한 포인트들을 찾아 거리를 계산하여, 인접순서에 따라 거리를 갱신하는 알고리즘을 사용하였다[9]. 그리고 이 연구는 본 연구와 같이 네트워크 상의 분석이라는 면에서 유사한 점이 많다. 본 연구에서는 실내공간을 다루고 있고, 따라서 이와 같은 2차원 상의 분석을 3차원상의 분석으로 확장시킨다.

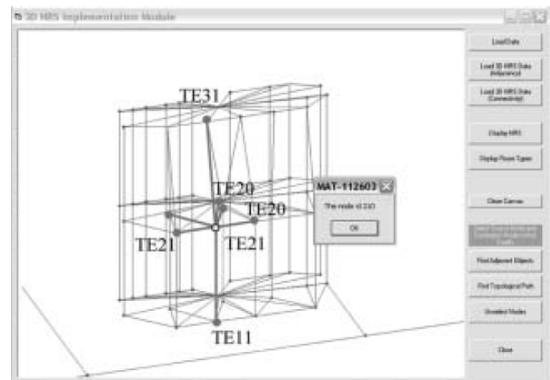


그림 2. 특정 방에 인접한 공간 질의[14]

2009년에 출시된 상용 공간데이터 베이스인 Oracle Spatial 11g[20]를 살펴보면 위상학적 관계를 찾는 11가지의 연산자를 제공해주고 있다. 총 11가지의 연산자 중에 3차원을 지원하는 것은 5가지 연산자이다. 그 중에 인접성과 관련한 것은 특정개수의 인접객체를 찾는 SDO\_NN, 일정 거리 범위 내에 존재하는 모든 인접객체를 찾는 SDO\_WITHIN\_DISTANCE연산자가 있다. 하지만 이 두 가지 연산자는 3차원 객체의 높이 값을 고려하지 않는 객체의 풋프린트(footprint)에서 이루어지는 연산자로서, 상하 방향의 인접성 정의에는 부족하다.

이 외에, 그래프를 기반으로 한 연구는 건물 구조를 그래프로 표현한 연구[27], 캐드 데이터를 NRS로 변환 연구[24] 등이 있다.

본 연구에서는 기존의 연구들의 한계점을 보완하여, 3차원의 복잡한 실내공간에서 데이터의 저장 용량을 줄이고 데이터의 복잡성을 낮추며 공간질의 효율성을 높이는 인접성 기반의 근린 공간을 찾는 3차원 인접성 공간질의 연산자를 구현한다. 기본적인

으로 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 이용하여 데이터를 구축하여 데이터의 복잡성을 낮추고, Lee(2005)의 연구에 대해 인접성 부분에서 확장하여 특정 공간에서 순차적으로 인접해 있는 근린 공간을 파악하는 연구를 수행한다.

### 3. 방법론

근린 공간을 찾는 3차원 공간질의는 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 기반으로 한 네트워크 데이터에 Dijkstra 알고리즘을 적용한 방법을 제안한다. 그림 3은 이를 묘사한 전체적인 개념도이다. 그림 3을 살펴보면, 실세계(Real World)를 의미하는 주 공간(Primary Space)을 3차원 공간객체를 분석의 효율성을 위해, 위상학적 데이터 모델을 적용하여 이원 공간(Dual Space)으로 변환한다. 변환된 이원 공간의 데이터에 본 연구에서 제시하는 3차원 인접성 공간질의 알고리즘을 적용하여 근린 공간을 정의한다. 이에 따라, 3장 방법론에서는 3차원 근린 공간의 정의, 3차원 네트워크 데이터 표현 방법, 3차원 인접성 공간질의 알고리즘 적용 방안에 대해 제안한다.

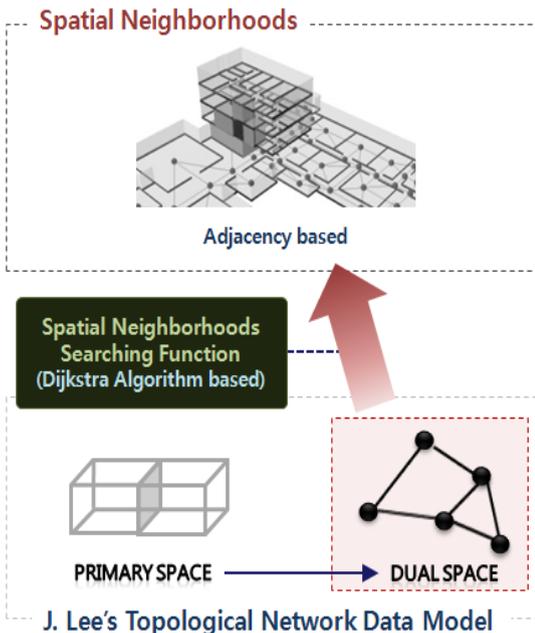


그림 3. 3차원 인접성 공간질의 알고리즘 (Dijkstra 알고리즘 기반)을 이용한 3차원 공간질의

### 3.1 근린 공간(Spatial Neighborhoods)

근린 공간은 특정 공간객체와 상호관계성(Interaction)을 가지는 주위의 공간들로 정의된다[15]. 이러한 근린공간은 인접성(Adjacency) 및 거리를 기반으로 하여 정의 될 수 있는데, 이는 다시 연속적인(Continuous) 공간과 이산적인(Discrete) 공간을 기준으로 정의된다[6]. 그림 4는 인접성 기반, 거리기반에 따라 연속공간과 이산공간에서 근린공간을 어떻게 정의하고 있는지 보여준다.

본 연구에서의 근린공간은 그림 4의 2차원 근린공간에서 3차원으로 확장한, 3차원 실내 연속공간에서의 근린공간으로 정의한다. 즉 다시 말해, 3차원 실내공간에서의 근린공간은, 인접성을 기반으로 하여, 특정 3차원 공간객체(예, 방)에 사주(四周) 및 상하(上下)에 접해있는 공간들을 의미한다.

	인접성 기반	거리 기반
연속공간		
이산공간	-	

그림 4. 근린 공간의 분류[28]

### 3.2 3차원 네트워크 데이터

본 연구에서 3차원 네트워크 데이터는 기본적으로 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델(Graph based approach)을 바탕으로 정의 및 표현한다.

위상학적 기본요소 기반(Topological primitive based)과 매트릭스 기반(Matrix based approach)의 데이터 모델의 데이터는 복잡하고 용량이 커서 3차원 공간에서 공간객체간의 위상학적 공간 분석을 구현하기에는 데이터 처리에 대한 복잡성, 처리 속도 등의 한계점들이 존재한다[16]. 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델은 이와 같은 한계점들을 보완하고자 공간객체와 관계성을 노드와 에지의 네트워크 형태로 단순화하여 표현한 방법이다. 따라서

본 연구에서는 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 기반으로 하여 네트워크 데이터를 생성하여 분석에 이용한다.

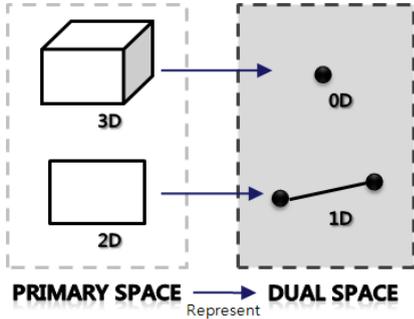


그림 5. 이원성 그래프 구성요소

네트워크 기반 위상학적 데이터 모델은 3차원 공간객체의 관계성 표현을 위해, 3차원 공간객체를 노드로 표현하고 위상학적 관계는 에지로 변환하는 방법을 이용한다. 이를 위해, 이원성 그래프(Duality Graphy)를 이용한다. 이는 입방체(3차원)는 노드(0차원)로, 면(2차원)은 선(1차원)으로 변환하는 것이며, 그림 5에서 이원성의 예를 보여준다. 이원성 그래프를 이용하여 3차원 공간객체는 네트워크상에 노드로 표현을 하며, 3차원 공간객체 간에 접하는 부분(공유하고 있는 면), 즉 객체간의 관계는 에지로 표현하여, 인접성에 대한 객체간의 위상학적 관계를 네트워크로 표현한다(그림6 참조).

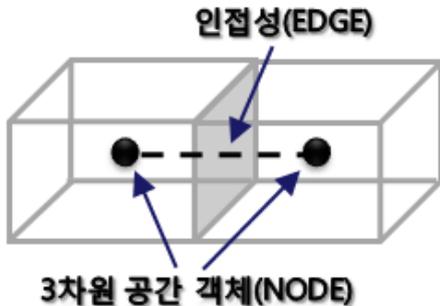


그림 6. 3차원 위상학적 관계 표현 예

이에 따라 주 공간의 방은 노드로 표현하고, 방과 방이 공유하고 있는 벽면은 에지로 표현하여 네트워크 데이터를 구성한다. 단, 복도의 경우 방과 같

이 하나의 노드로만 표현한다면 인접성 기반의 위상학적 분석을 하기에 있어서 분석결과에 대한 타당성이 떨어지게 된다. 복도를 하나의 노드로 표현한다면, 특정 방과 멀리 떨어져있는 여러 방들과의 관계가 복도를 거쳐 단 두 단계 만에 모두 인접하다는 결과가 얻어질 수 있다.

이러한 이유로 긴 복도는 방을 기준으로 여러 공간으로 나누어 표현하는, 미디얼 액시스(Medial Axis) [12]를 이용한다. 그림 7은 방과 복도로 이루어진 주 공간에 대해 방과 단위 복도는 노드로, 인접관계는 에지로 표현한 네트워크 데이터를 보여준다.

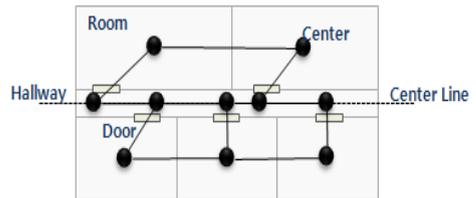


그림 7. 인접성 기반 네트워크 구축 방법

3차원 수직적 인접성의 관계에 대해서는 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 따라 3차원 공간객체가 접하는 부분(층간 공유하고 있는 천장 또는 바닥)이 발생할 경우 에지로 표현하도록 한다.

노드와 에지를 저장하기 위해 그림 8과 같은 데이터 구조를 제안한다. 노드 데이터의 구조는 ID, 좌표 값(X, Y, Z), 주 공간(Primary Space)에서의 용도정보를 포함하고 있다. 주 공간에서 용도는 방, 복도, 계단 등이다. 에지 데이터는 ID와 에지를 구성하는 시작 노드ID, 도착 노드 ID, 그리고 에지의 값(weight)으로 구조화한다.

<pre>Node{   int NodeID;   double X;   double Y;   double Z;   string type; }</pre>	<pre>Edge{   int EdgeID;   int startNodeID;   int endNodeID;   double weight; }</pre>
---	---

그림 8. Node와 Edge의 데이터 구조

### 3.3 3차원 인접성 공간질의 알고리즘

본 연구에서는 네트워크 데이터 모델을 기반으로 한 3차원 인접성 공간질의 알고리즘을 구현하였다.

3차원 인접성 공간질의 알고리즘은 Dijkstra 알고리즘을 기반으로 하여 이를 3차원 네트워크 데이터에 적용한 알고리즘으로써, 특정 객체에서 순차적으로 인접한 객체들을 찾기 위해 구현한 알고리즘이다.

3.3.1 Dijkstra 알고리즘

Dijkstra 알고리즘[10]은 네트워크에서 한 노드로부터 다른 노드까지 이르는 비용(Cost)의 합이 최소가 되는 경로를 찾는 가장 잘 알려진 최단경로(Shortest Path) 알고리즘이다[28]. 이를 이용하면 특정 공간에서 타 공간까지 거리 또는 비용이 최소인 경로 효율적으로 탐색할 수 있고, 에지 값의 설정에 따라 특정 공간으로부터 인접한 공간들을 찾는 분석 또한 가능하다.

Dijkstra 알고리즘을 구현하기 위해 다음과 같은 연산들이 필요하다.

- 한 노드를 시작으로 시작노드와 연결된 에지들 중 에지의 비용을 비교하여, 비용이 가장 작은 에지에 연결된 노드를 추가 : (a)
- 추가된 노드에 비용을 할당하고, 추가된 노드로부터 (a)연산 수행 후 새롭게 추가되는 노드에 임시최소비용 할당 : (b)
- (b)연산에서 새롭게 추가된 노드로 오는 다른 경로가 있는 확인하고, 다른 경로의 비용과 할당되어 있던 임시최소비용과 비교하여 작은 비용을 최소비용으로 재 할당 : (c)
- (c)연산에서 새롭게 추가된 노드로의 경로는 최소비용의 경로로 할당 : (d)
- (a), (b), (c), (d) 연산을 설정된 특정노드까지 반복 수행하여, 최종 노드의 최소비용 산출 : (e)

그림 9는 5개의 노드와 7개의 에지로 구성된 네트워크데이터에 Dijkstra 알고리즘을 적용한 사례를 보여준다. 아래의 다섯 과정을 거쳐 시작 노드 A부터  $\overline{AB}$ ,  $\overline{BE}$ ,  $\overline{ED}$  순으로 값을 가지는 에지가 선택되며 이에 따라 A, B, E, D 순으로 노드가 추가된다.

- ① 시작 노드는 'A'이며, 연산(a)를 이용하여 에지비용이 최소인 C노드에 비용 '2'를 할당
- ② 연산(b)를 이용하여 노드B에 비용 '5'를 할당하고,  $\overline{AB}$  경로 비용과 비교하여, 최소비용인 '4'를 노드 B에 할당
- ③ 연산(c)를 이용하여  $\overline{AB}$  경로로 확정
- ④ 연산(b)를 이용하여 노드 D에 도달할 때까지

과정 반복

- ⑤ 노드 A에서 노드 D까지 최소비용(7)이 드는 경로 ' $\overline{AB} \rightarrow \overline{BE} \rightarrow \overline{ED}$ ' 산출

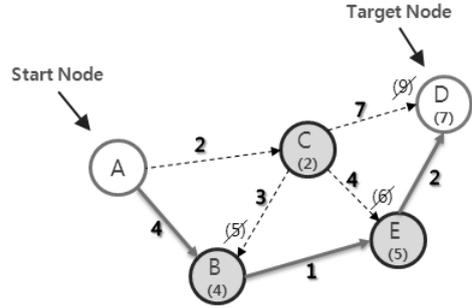


그림 9. Dijkstra 알고리즘의 예

그림 10은 이러한 연산들과 과정을 고려한 Dijkstra 알고리즘의 Pseudo Code 이다. 다음과 같은 순서로 알고리즘을 적용한다.

- ㉑ Dijkstra 알고리즘 최단경로 (dijkAlPath)와 선택 노드의 값을 초기화
- ㉒ 시작 노드에 연결된 모든 에지를 찾는 메소드 (Method) 적용
- ㉓ 연결된 에지들 중에 최솟값을 가지는 에지를 찾는 메소드 적용
- ㉔ 최솟값을 가지는 에지에 연결된 노드가 이미 검색된 기존 노드인지 아닌지를 판단하여 최솟값을 가지는 에지의 노드를 추가함.

```
// Dijkstra's algorithms
// ㉑
dijkAlPath[0]=0
chosenNode
chosenNode = startNode
while dijkAlPath.length < numOfNodes do
begin
    findConnectedEdges(chosenNode) //㉒
    selectMinimumEdges(connectedEdges) //㉓
    if nodeOfMinimumEdge exist in dijkAlPath[] //㉔
        dijkAlPath.add(compareCostOfEdge())
    else
        dijkAlPath.add(nodeOfMinimumEdge)
    chosenNode = addedNodeTodijkAl
end
```

그림 10. Dijkstra 알고리즘 Pseudo Code

위와 같은 Dijkstra 알고리즘 네트워크 데이터에 응용, 적용한다.

3.3.2 3차원 인접성 공간질의 기능(3D Spatial Query)

3차원 인접성 공간질의 기능은 3차원 네트워크 데이터에 Dijkstra 알고리즘을 적용한다. 3차원 공간질의 기능은 인접성을 기반으로 한 것과 거리를 기반으로 한 것으로 나뉜다. 두 기능 모두 Dijkstra 알고리즘을 적용하는 것은 동일하나, 적용 시에 예지의 값을 정하는 기준을 달리하여 적용한다.

그림 11은 주 공간(Primary Space)의 공간객체와 이들의 관계를 이원 공간(Dual Space)에서 네트워크로 표현한 데이터에 예지의 값을 인접성을 기반으로 한 경우는 '1'을, 거리를 기반으로 한 경우는 노드 간의 '거리 값'을 적용한 예이다. '거리 값' 적용의 경우, 그림 9에서 이미 설명했던 것과 같이, 시작 노드에서 특정노드까지의 최단 경로를 알아낼 수 있다. 한편, 예지의 값에 '1'을 적용하면, 시작 노드에서 순차적으로 인접한 노드 파악이 가능하다. Dijkstra 알고리즘 적용 시 각 노드에 이르는 예지의 최솟값을 지닌다. 이에 따라, 거리 기반의 Dijkstra 알고리즘이 적용된 네트워크는 시작 노드로부터 각 노드에 이르는 최솟값을 유지하며, 인접성 기반의 Dijkstra 알고리즘이 적용된 네트워크는 시작 노드로부터 인접한 노드의 최소 순차(Order) 값이 된다. 이를 통해 '특정 Node로부터 일정거리내의 공간인지?', '몇 번째 인접한 공간인지?' 대한 공간질의 기능이 지원 가능해진다.

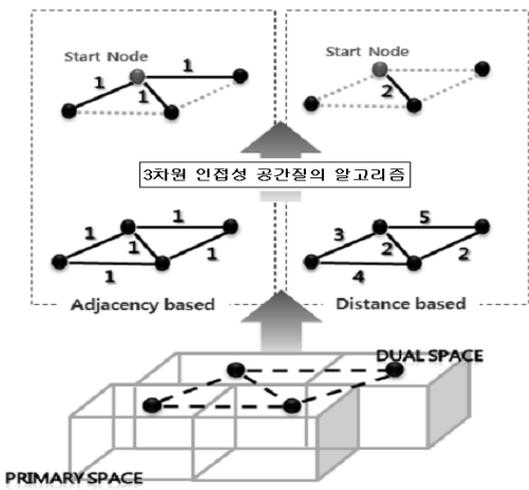


그림 11. 인접성 및 거리기반의 3차원 공간질의 알고리즘의 예

본 연구에서는 인접성을 기반으로 하여 특정 공간객체의 순차적 인접 공간을 찾는 3차원 인접성 공간질의 알고리즘을 구현한다. 그림 12는 본 연구의 대상인 인접성 기반 공간질의의 단순한 예제이며, 예지의 최솟값을 각 노드에 유지하는 방법을 보여주고 있다. 노드 'C'가 시작 노드이며, 3차원 공간질의 알고리즘을 적용함에 따라  $\overline{CA}$ ,  $\overline{CB}$ ,  $\overline{CE}$ ,  $\overline{CD}$  이 선택되고, 선택된 예지들의 도착노드인 'A', 'B', 'D', 'E' 는 최솟값으로 1을 가진다.  $\overline{CF}$ 의 도착노드인 'F'의 최솟값은 노드 'B'의 값(1)에  $\overline{BF}$ 의 예지 값(1)이 누적되어 2를 가진다. 이 때, 노드의 값(노드 안의 숫자)이 1인 것은 C노드를 기준으로, 인접의 순차적 값이 1을 의미하며, 이는 특정 공간으로부터 첫 번째로 인접한 근린 공간을 의미한다. 또한 특정 공간에 직접적으로 접해 있는 공간객체들이다. 값이 2인 것은 두 번째로 인접한 근린 공간을 의미한다. 이와 같은 방법을 이용하여 본 연구의 순차 분석기능을 지원하는 3차원 공간질의 연산자를 구현한다.

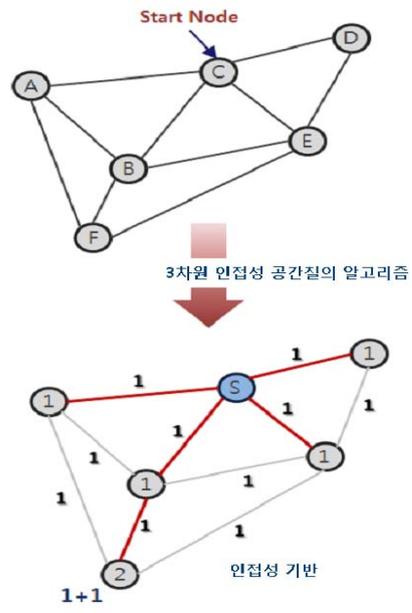


그림 12. 인접성 기반 공간질의 예

4. 구현

본 장에서는 3차원 네트워크 데이터 구축과 근린 공간을 순차적으로 찾는 3차원 공간질의 연산자를

구현하였으며, 구현된 기능에 대한 반환된 결과 값의 분석과 구현된 기능의 활용 방안에 대해 모색하였다. 기능 구현 및 네트워크 데이터 가시화 프로그램 구축을 위해 JAVA 언어를 사용하였으며, 분석 결과 및 데이터의 3차원 가시화를 위해서는 ArcScene을 이용하였다.

4.1 데이터 구축

이번 연구에서 사용되는 예제 데이터로서 North Carolina 대학의 McEnery Building을 활용하였다. 이 건물은 4층 높이의 건물이며, 각 층의 평면도와 각 층의 높이 값을 이용하여 3차원으로 가시화하였다. 평면도의 데이터는 ESRI 사의 데이터 포맷인 Shapefile로 구현되었으며, ESRI사의 3차원 프로그램인 ArcScene을 이용하여 그림 13과 같이 가시화하였다.

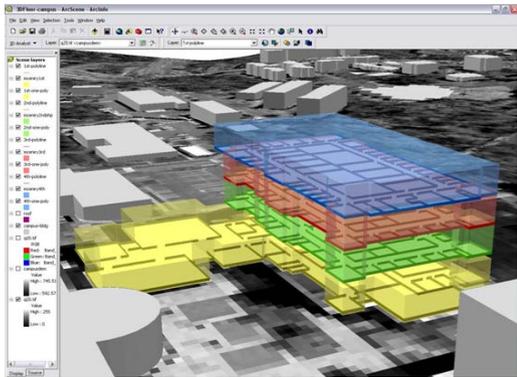


그림 13. McEnery Building(예제 데이터)

그림 14(a)는 3.2장에서 제시한 네트워크 구축 방법을 토대로 1층의 평면도 데이터를 이용하여 구축한 네트워크 데이터를 보여준다. 이와 같이 방법으로 1층 외에 다른 층들의 네트워크 데이터도 구축하였다. 공간객체간의 수직적 관계는 평면도를 중첩하고, 수직적 관계를 고려해 네트워크 데이터를 구축하였다. 다시 말해, 평면도를 중첩하여 면 모양의 겹치는 부분(층간 공유하고 있는 천장 또는 바닥)이 발생할 때 네트워크의 에지 데이터를 생성하였다. 생성된 노드와 에지는 그림 8의 데이터 구조에 따라 표 1과 표 2와 같이 생성하였다. 표1은 노드 데이터 예시이며, 표 2는 에지 데이터의 예시이다. 1층 노드 데이터의 경우 노드의 Z 값을 0으로 하였다. 다른 층의 노드 데이터의 Z 값은 층간의 높이

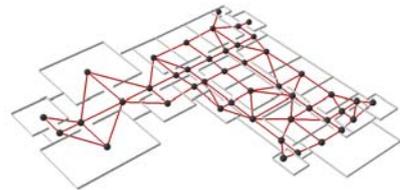
값을 저장하였다. 에지 데이터의 weight 값은 3.4장의 설명에 따라, 본 연구에서는 인접성을 기반으로 한 3차원 공간질의 기능 구현을 위해 '1'로 저장하였다. 이와 같은 방법으로 노드 데이터 133개, 에지 데이터 304개를 구축하였다.

표 1. 노드 데이터 예시

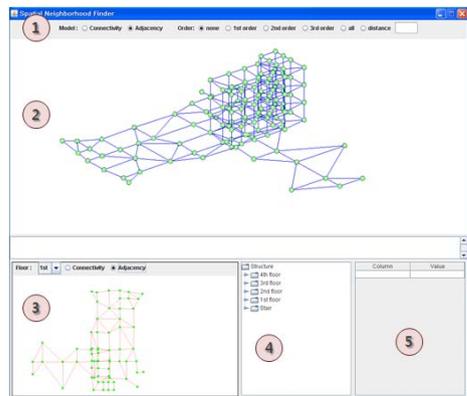
nodeID	x	y	z	type
10001	449613.5209	173110.2146	0	Room
10002	449618.8493	173093.3108	0	Room
...	...	...	...	...

표 2. 에지 데이터 예시

edgeID	prevNodeID	lastNodeID	weight
10001	10001	10019	1
10002	10002	10020	1
...	...	...	...



(a) 네트워크 구축 예(1층)



(b) 네트워크 데이터 뷰어 프로그램

그림 14. 네트워크 데이터 구축(a) 및 가시화(b)

본 연구에서는 구축된 네트워크 데이터를 가시화하기 위해 그림 14(b)와 같은 프로그램을 개발하였다. 개발한 프로그램에서는 '네트워크 데이터의 가

시화'와 4.2장에서 구축하는 알고리즘을 수행하는 '인터페이스(그림14(b)의 ①)'를 제공한다. 프로그램의 기본적인 구성은 3차원 가시화 부분의 패널(그림14(b)의 ②), 각 층별로 평면으로 가시화 해주는 패널(그림14(b)의 ③), 각 층별로 구성된 노드와 에지를 선택할 수 있는 트리 구조의 패널(그림14(b)의 ④), 마지막으로 각 데이터 속성을 확인하는 패널(그림14(b)의 ⑤)로 이루어졌으며, JAVA언어와 JOGL(Java OpenGL)을 이용하여 구현하였다.

#### 4.2 3차원 인접성 공간질의 연산자 구현

3차원 인접성 공간질의 연산자는 4.1장에서 구축된 네트워크 데이터에 Dijkstra 알고리즘을 적용하여, 인접성 기반의 순차적 근린 공간을 찾도록 구현하였다. 그림 15는 3차원 인접성 공간질의 기능의 데이터 흐름도이며, 데이터 흐름도에 따라 3차원 공간질의 기능을 구현하였다. 그림 15는 Dijkstra 알고리즘을 적용하는 부분과 순차 분석 기능 구현 부분으로 나누어 구성된다. Dijkstra 트리 구현 방법에 필요한 데이터 셋은 네트워크를 구성하는 '네트워크노드데이터(Nodes)', '네트워크에지데이터(Edges)', 특정노드와 추가로 정의되는 노드와 연결된 '연결에지데이터(Connected\_Edge)', Dijkstra 트리를 구성하는 'Dijkstra노드데이터(Dijkstra\_Nodes)', 'Dijkstra에지데이터(Dijkstra\_Edges)'이다. 그리고 필요 변수로는 선택된 노드, 즉 시작 시에는 시작노드이며 알고리즘 계산에 의해 새로이 추가된 노드를 저장하는 '선택노드(Chosen\_Node)'와 '연결에지데이터(Connected\_Edge)' 중 가장 최솟값을 가지는 에지를 저장하는 '최솟값에지(Chosen\_Minimum\_Edge)', 새로이 추가되는 에지들의 값을 기준에 연결된 에지의 값과 연계하여 값을 유지하는 '누적값(cumulatedWeight)' 등이다. 구현하기에 앞서 데이터 셋과 필수변수를 초기화 하였다. 그 후, 시작 노드로부터 연결된 에지를 찾고 이 중 최솟값을 가지는 에지를 선택하였다. 선택된 에지는 'Dijkstra에지데이터'에 존재 유무에 따라 'Dijkstra에지데이터'에 추가한다. 만약, 존재 시에는 기존의 것과 비교하여 최솟값을 가지는 것으로 대체하였으며, 부재 시에는 새로이 선택된 에지데이터를 'Dijkstra에지데이터'에 추가하였다. 특히 부재 시에는 'Dijkstra노드데이터'에도 추가되는 에지의 도착노드를 추가하였다. 'Dijkstra노드데이터'에 추가된 노드데이터의 개수가 '네트워크

노드데이터'의 개수가 동일 할 때까지 알고리즘을 반복하였다.

알고리즘 순환이 끝났을 때, Dijkstra트리의 결과 데이터인 'Dijkstra노드데이터'와 'Dijkstra에지데이터'를 이용하여 순차분석 기능 구현에 사용하였다. 순차분석 흐름도(Order Analysis Flow Chart)를 살펴보면, 우선 Dijkstra에지데이터'를 사용하였다. 이를 기반으로 순차분석에 조건에 따라 '순차 값(OrderValue)'과 동일한 에지를 반환하거나 이하인 에지를 반환하여, '순차분석에지데이터(Ordered\_Edges)'에 저장하였다. 이에 따라 반환된 에지의 연결된 노드를 찾아 '순차분석노드데이터(Ordered\_Nodes)'에 저장하였다. 분석 결과는 '순차분석에지데이터'와 '순차분석노드데이터'를 이용하여 4.3장에서 가시화하였다.

#### 4.3 3차원 인접성 공간질의 결과

3차원 인접성 공간질의 기능에 대한 결과는 순차적 조건에 따른 근린 공간을 네트워크 데이터와 3차원 데이터로 가시화 하였다. 순차적 값은 1, 2, 3으로 구분하여 분석하였으며, 결과는 그림 16과 같다. 순차적 값이 1인, 즉 특정 공간(그림 상에 적색 부분)에 가장 인접한 근린 공간(녹색)은 방 4개와 복도 1개였으며, 두 번째 인접한 근린 공간(담홍색)은 방6개, 복도 1개, 계단 1개였다. 마지막으로 세 번째 인접한 근린 공간(청색)은 방 11개, 복도 9개, 계단 1개였다. 이 때, 복도에 대해 반환된 값은 분할된 복도 공간이다. 복도 전체로 보았을 때는 첫 번째 인접한 근린 공간은 2층 복도, 두 번째 인접한 근린 공간은 1, 2, 3층 복도, 세 번째 인접한 근린 공간은 1, 2, 3, 4 층 복도였다.

#### 4.4. 3차원 공간질의의 활용

이러한 인접한 근린 공간의 분석은 다양한 3차원 공간 분석 시스템에서 활용될 수 있다. 예를 들어,

- 실내 공간에서 화재가 발생할 경우 : 화재 지역에 접한 지역을 우선으로 하여 화재 경보, 구조 등 조속한 대처가 가능해진다.
- 소음 공해가 발생할 경우 : 특정 실내 공간에서 부터 순차적으로 인접한 공간을 분석하여, 순차 값에 따른 공간에 따라 소음 공해에 달리 대처하는데 도움을 줄 수 있다.
- 건물 내에 실내 공기 오염이 발생하였을 경우 :

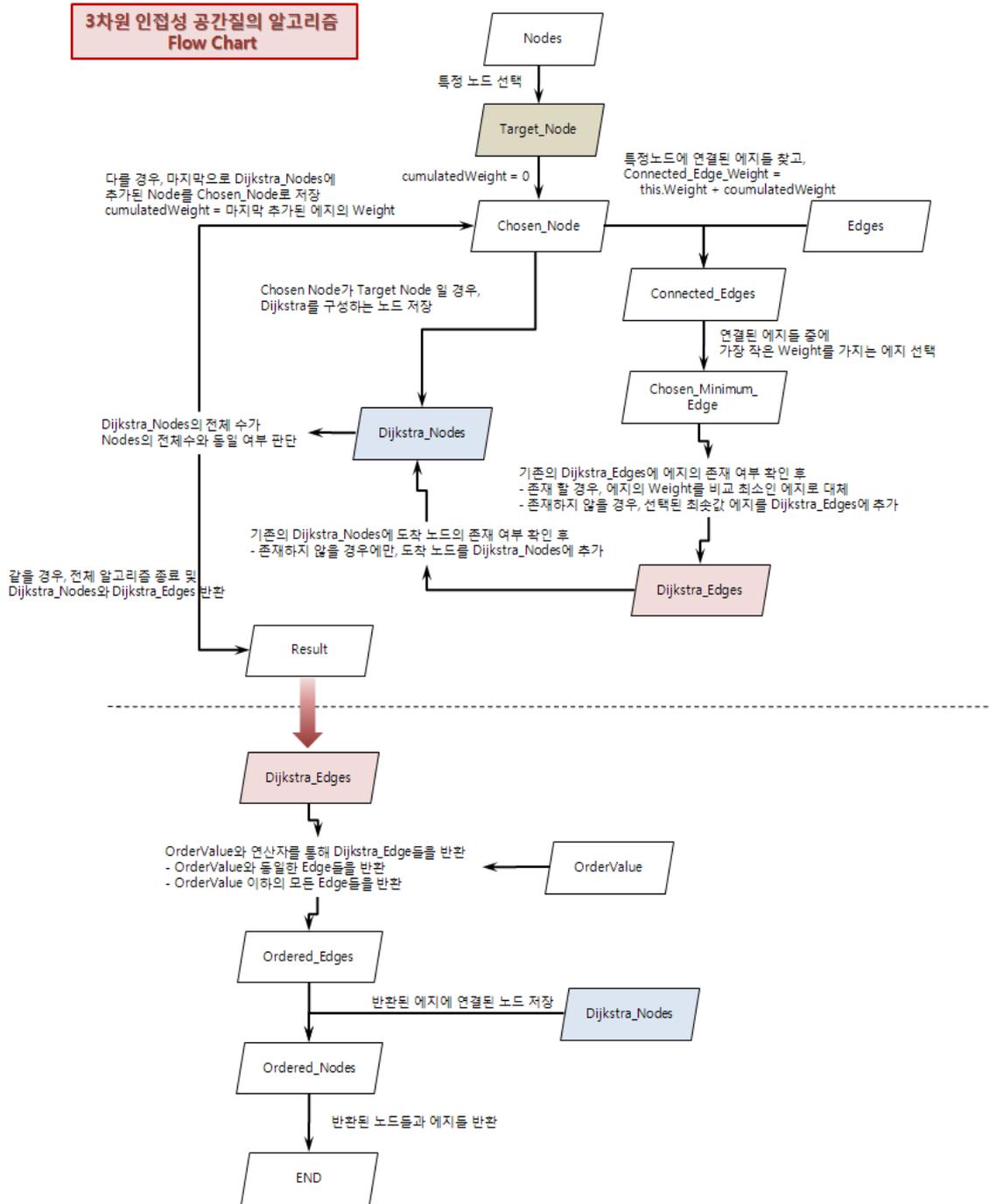


그림 15. 3차원 인접성 공간질의 기능 구현을 위한 데이터 흐름도(Data Flow Chart)

공기 오염이 발생한 특정 공간으로부터 시간에 따라 오염된 공기가 퍼지는 공간들을 유추할 수 있고, 이에 따라 빠르게 대처해야하는 실내 공간의 우선순위 등의 정보를 제공해 줄 수 있다.

이와 같이 순차적 근린공간을 분석하는 인접성에 관한 3차원 공간질의 기능은 3차원 공간분석에 있어 가장 기본적이고 필수적인 요소로써 여러 공간 분석에 활용이 가능하다.

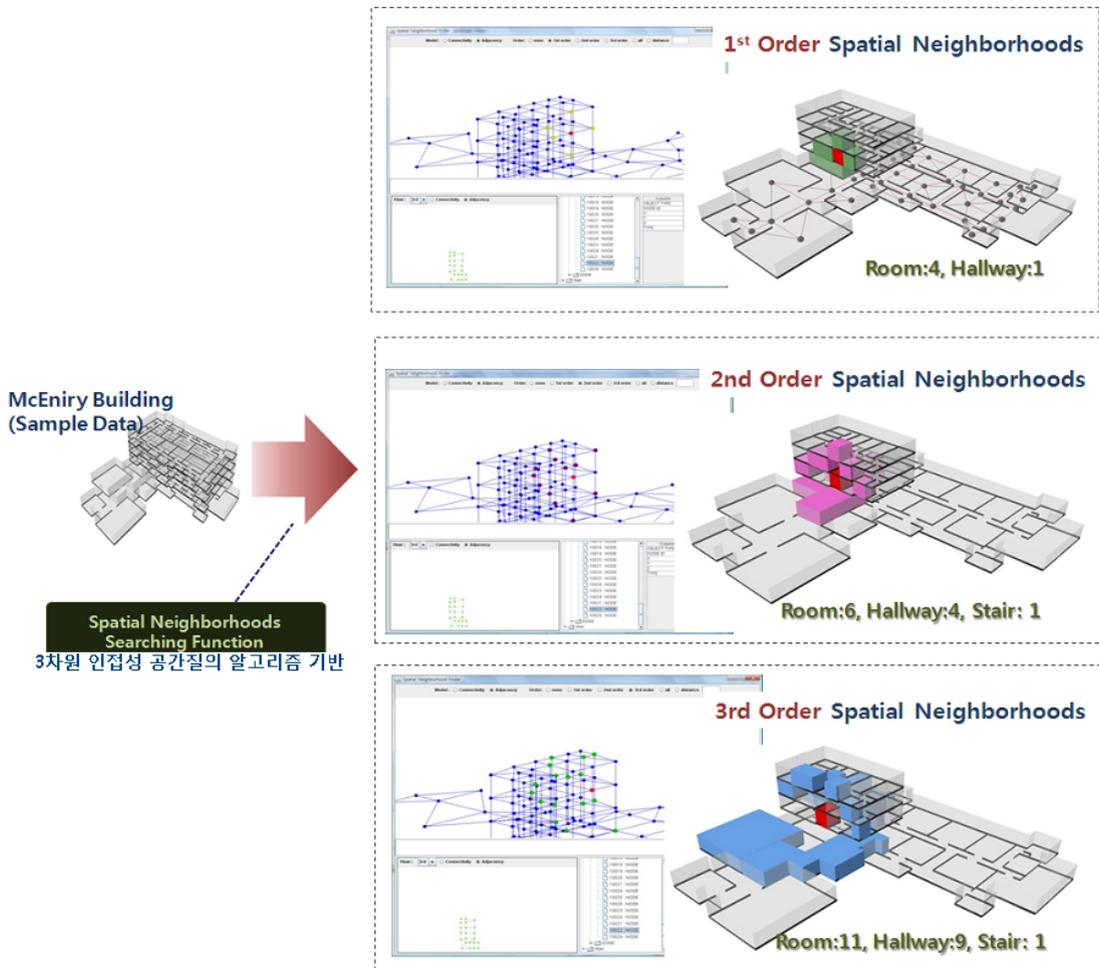


그림 16. 3차원 인접성 공간 질의의 순차 분석 결과

## 5. 결론

기존에는 공간의 관계성을 파악하는 연구가 주로 실외공간을 대상으로 이루어 졌다. 하지만, 최근 들어 대규모 실내공간이 많이 생겨나고 사람들이 이러한 실내 공간에 머무르는 시간이 많아짐에 따라 3차원 실내공간에 대한 분석의 필요성이 대두되었고, 3차원 실내공간에서 공간의 관계성을 파악하는 연구가 많이 진행되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 실내공간의 관계성 파악의 한 부분으로, 네트워크 기반의 위상학적 데이터 모델을 기반으로 하는 3차원 인접성 공간질의 알고리즘을 적용하여 3차원 근린 공간 순차적으로 찾는 연산자를 구현하였다.

대규모의 3차원 실내공간은 한 층에서만 보더라도 많은 공간객체들(방, 사무실, 가게, 복도 등)이

존재하여 인접성 관계가 매우 복잡할 수 있다. 여러 층으로 구성된 실내공간이라면 층과 층사이의 관계 까지 더해져 공간객체들의 인접성은 더욱 복잡해진다. 이러한 복잡한 공간에서 인접한 관계를 파악할 때에 기존에 널리 사용하던 방법, 즉 인접해 있는 공간객체들이 함께 공유하고 있는 기하학적 기본요소들을 이용한 방법(예, 특정 방에서 인접한 방들을 찾을 경우, 그 특정 방들을 구성하는 벽(face)들을 찾고 다시 그 벽들을 공유하고 있는 인접한 방들을 검색)은 연산의 복잡성이 높아서 상황에 따라 효율성이 떨어질 수 있다. 특히 첫 번째 인접 공간객체들을 찾은 후에 순차적으로 인접한 객체들을 찾아나아갈 때에, 복잡한 3차원 실내공간임을 고려하면 상하좌우로 인접객체들의 수가 기하급수적으로 늘어나고 그에 따라 체크를 해야 하는 face들의 수 또

한 엄청나게 늘어남에 따라 연산의 효율성이 낮아질 수 있다.

이에 본 연구에서는 인접한 공간을 파악하는데 있어서 연산의 복잡성을 낮추고 효율적으로 결과를 도출하기 위해 네트워크 데이터 모델을 이용하였다. 노드와 에지로 이루어진 네트워크 구조의 데이터에서는 특정객체에 인접한 공간객체를 찾을 때, 특정객체에 에지로 연결된 공간객체만 검색하면 되기 매우 간단하게 찾을 수 있다. 특히, 순차적으로 인접객체들을 찾아 나아갈 때, 인접한 객체들은 에지를 이용하여 바로 찾아 나아가면 되기 때문에 기존의 방법과 비교하여 연산의 깊이가 매우 낮고 좀 더 효율적으로 인접객체를 찾을 수 있다.

본 연구에서 구현한 3차원 인접성 공간질의 연산자는 인접성을 기반으로 한 공간질의 기능으로 국한되어 있다. 이는 향후 3차원 공간질의 기능의 확장의 필요성이 대두된다.

먼저, 인접성 외에도 네트워크에 다양한 weight 값을 적용한 연구가 필요하다. weight를 객체간의 거리 값으로 적용하면, 객체 중심 간의 거리를 이용하여 거리 기반의 근린 공간을 찾는 공간질의가 가능해지며 및 중심 거리 외에 일정 거리 내에 완전히 포함되거나 접하기만 하는 부분에 대한 기능의 구현도 가능하다. 네트워크에 다양한 weight를 적용하여 3차원 공간질의의 확장을 고려할 필요가 있다.

그리고 다양한 3차원 공간 분석을 지원하기 위해 인접성 외에 다른 위상학적 관계에 대해 확장할 필요성이 있다. 예를 들어 연결성(Connectivity), 방향성(Direction)등의 위상학적 관계의 기능적 확장이 필요하다.

마지막으로 위와 같은 위상학적 관계를 파악하는 질의의 연산자를 구현할 때, 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 이용하는 방법과 공유하고 있는 기하학적 기본요소를 이용하는 방법의 정량적인 효율성비교에 관한 연구도 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김부곤, 2004, “인간,공간, 커뮤니케이션”, *대한건축학회*, pp. 8-12.
- [2] 김재경, 2007, “인간에게 공간이란 무엇인가?”, *새한영어영문학회*, pp. 1-8.
- [3] 박인혜, 전철민, 이지영, 2008, “CA 모델을 이용한 GIS 기반 화재 대피 시뮬레이션”, *한국GIS학회지*, vol.16(2) pp. 57-171.
- [4] 이동현, 홍성언, 박수홍, 2005, “3차원 기하모델에 대한 공간 관계 연산 설계”, *한국GIS학회지*, vol.13(2), pp. 119-128.
- [5] Andre Borrmann, Ernst Rank, 2009, “Topological analysis of 3D building models using a spatial query language”, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 23, Issue 4, October 2009, pp. 370-385.
- [6] Andy Mitchell, 2005, “GIS Analysis: Spatial Measurements & statistics”, *ESRI Press*, vol.2 pp. 135-145.
- [7] Claire, R. and Guptill, S. 1982, “Spatial Operators for Selected Data Structure” *In: Auto-Carto V*, pp. 189-200.
- [8] Cliff, A. and J. Ord., 1993, “Spatial autocorrelation”, *Pion*, London, England.
- [9] D. Papadias, J. Zhang, N. Mamoulis, and Y. Tao, 2003, “Query Processing in Spatial Network Databases.” *In VLDB*, pp802 - 813.
- [10] Dijkstra, E.W, 1959, “A Note on Two Problems in Commexion with Graphs”, *Numerische Mathematik 1: 269 - 271*.
- [11] Freeman, J., 1975, “The Modelling of Spatial Relations”, *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 4 pp. 156-171.
- [12] Lee J, 2001a, “A spatial access oriented implementation of a topological data model for 3D urban entities”, *Paper presented at University Consortium for Geographic Information Science Summer Assembly, Buffalo, New York*.
- [13] Lee J, 2001b, “A 3D data model for representing topological relationships between Spatial Entities in built environments”, *Ph.D dissertation, Department of Geography, The Ohio State University*.
- [14] Lee J, 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
- [15] Lee J, 2008, "Spatial Neighborhood-based Data Query using a 3D Network-Based Topological Model", *5th International conference, GIScience 2008*, pp. 118-120.
- [16] Lee J, Kwan M-P, 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.
- [17] Legendre P, 1993, "Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm?", *Ecological Society of America, London, England*.
- [18] Microsoft, "SQL Server Books Online", 2008.
- [19] Molenaar, M, 1990, "A formal data structure for 3D vector maps", *In: Proceedings of EGIS'90*
- [20] Oracle, "Spatial Developer's Guide", 2009, pp. 1-866.
- [21] Park I, Jang G. U, Park S, Lee J, 2009, "Time-Dependent Optimal routing in Micro-scale Emergency Situation", *10th International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware*, pp. 714-719.
- [22] Rene Rijkers, Martien Molenaar, John Stuiiver, 1994, "Query Oriented Implementation of a Topologic Data Structure for 3-Dimensional Vector Maps", *International Journal of Geographical Information Systems*, Volume 8, No. 3.
- [23] Shi pu, 2005, "Evacuation Route Calculation of Inner Building", *Geo-information for disaster management*, pp. 1143-1161.
- [24] Stevens M. and Choi J, 2006 "CAD Data Conversion to a Node-Relation Structure for 3D Sub-Unit Topological Representation", *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 41, pp. 188-194.
- [25] Sung-Soo Kim, Seong-Ho Lee, Kyong-Ho Kim, long-Hun. Lee, 2003, "A unified visualization framework for spatial and temporal analysis in 4D GIS", *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International*. 6:3715-3717 vol.6..
- [26] Tobler W, 1970, "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region", *Economic Geography*, vol.46, pp. 234-240.
- [27] Treeck C. and Rank E, 2004, "Analysis of Building Structure and Topology Based on Graph Theory", *Conference on Computing in Civil and Building*.
- [28] Worboys, M.F. and Duckham, M. 2004, "GIS: A Computing Perspective", Second Edition, CRC Press, ISBN: 0415283752.

---

논문접수 : 2010.07.06

수정일 : 2010.10.26

심사완료 : 2010.11.01



이 석 호

2009년 서울시립대학교 공간정보공학  
공학사

2009년~현재 서울시립대학교 대학원  
공간정보공학 석사과정

관심분야는 3차원 GIS, 공간데이터분석



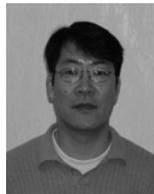
박 세 호

2008년 서울시립대학교 공간정보공학  
공학사

2010년 서울시립대학교 공간정보공학  
공학석사

2010년~현재 (주)케이티네트웍스

관심분야는 3차원 GIS, 네트워크 모델



이 지 영

2001년 The Ohio State Univ. 지리학  
이학박사

2001년~2004년 Minnesota State  
University 조교수

2004년~2007년 University of North  
Carolina at Charlotte 조교수

2007년~현재 기술표준원 지리정보전문위원

2008년~현재 ISPRS WG IV/8 부조직위원장

2010년~현재 한국공간정보학회 학술이사

2007년~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수

관심분야는 3차원 GIS, 공간데이터분석, 데이터모델링