

# 3차원 공간질의를 위한 효율적인 위상학적 데이터 모델의 검증

## Validation of Efficient Topological Data Model for 3D Spatial Queries

이 석 호<sup>\*</sup>이 지 영<sup>\*\*</sup>

Seokho Lee

Jiyeong Lee

**요약** 최근 들어 건축과 IT기술이 발전함에 따라서 대규모의 복잡한 3차원 공간이 증가하고 있고, 사람들 또한 이러한 공간에서 생활하는 시간이 늘어나고 있는 추세이다. 이에 따라 복잡한 3차원 공간 내에서 유사시를 대비한 또는 편의 정보를 제공하기 위한 서비스가 필요하게 되었고, 이러한 서비스를 제공하기 위해서는 복잡한 공간에서의 효율적인 위상학적 관계성 파악이 기본적으로 뒷받침이 되어야 한다. 공간의 관계성 파악은 위상학적 관계를 저장하고 표현하는 각각의 데이터 모델에 따라 그 방법과 효율성이 달라진다. 위상학적 관계성 저장과 표현에 있어서 가장 널리 사용되어 왔던 데이터 모델은 B-rep 기반의 데이터 모델이고, 2000년대 초반에 들어서는 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 관한 연구가 많이 진행되었다. 본 연구에서는 데이터 저장 용량 및 공간질의에 대하여 두 데이터 모델의 효율성을 검증한다. 효율성은 데이터의 저장용량, 인접성 및 연결성 질의 응답속도를 기준으로 하여 수행한다. 효율성 검증의 결과로써 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델이 3차원 공간질의에 있어서 B-rep 기반 데이터 모델 보다 효율성이 높음을 제시한다.

**키워드** : 3차원 GIS, 위상학적 데이터 모델, 공간질의, 효율성

**Abstract** In recent years, large and complex three-dimensional building has been constructed by the development of building technology and advanced IT skills, and people have lived there and spent a considerable time so far. Accordingly, in this sophisticated three-dimensional space, emergencies services or convenient information services have been in demand. In order to provide these services efficiently, understanding of topological relationships among the complex space should be supported naturally. Not only each method of understanding the topological relationships but also its efficiency can be different depending on different topological data models. B-rep based data model is the most widely used for storaging and representing of topological relationships. And from early 2000s, many reseraches on a network-based topological data model have been conducted. The purpose of this study is to verify the efficiency of performance on spatial queries. As a result, Network-based topological data model is more efficient than B-rep based data model for determining the spatial relationship.

**Keywords** : 3D GIS, Topological Data Model, Spatial Query, Performance

### 1. 서론

기존 GIS의 공간분석 기능은 2차원 공간을 다루는 것에 초점이 맞춰져 있었다. 하지만 우리가 사는 공간은 3차원 공간이며 이제는 실세계를 반영한 3

차원공간분석에 요구가 증가함에 따라[16] 3차원 GIS에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다. 이와 더불어 건축기술과 IT기술이 발전함에 따라서 코엑스 및 킨텍스와 같은 대규모의 복잡한 실내공간이 증가하고 있다. 이와 같은 공간은 대표적인 대규모 3

<sup>†</sup> 이 논문은 2010년도 정부재원(교육과학기술부 학술연구조성사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음.(NRF-20100012941)

<sup>†</sup> 이 논문은 저자의 석사학위논문을 기반으로 작성되었음.

<sup>\*</sup> 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정 shlee627@uos.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 서울시립대학교 공간정보공학과 교수 jlee@uos.ac.kr(교신저자)

차원 공간으로써 사람들의 활동 및 거주가 늘어나고 있고, 이에 따라 편의정보 제공 및 유사시에 대비한 서비스가 요구된다. 이러한 서비스를 위해서는 3차원 공간에 대한 효율적인 공간분석 기술이 요구되는데, 이는 공간과 공간의 관계성을 파악하는 것이 기본이 된다. 2차원 공간과는 달리 3차원 공간에서의 관계성 파악은 공간의 수평적 관계성뿐만 아니라 수직적 관계성을 고려해야 하기 때문에 효율성 측면의 고려가 중요하다.

공간의 효율적인 관계성 파악은 공간을 표현하고, 그들의 관계성을 정의하는 데이터 모델과 밀접한 관련이 있다. 지금까지 공간의 관계성을 파악하기 위해서 즉, 공간의 위상학적 관계성을 정의하고 파악하기 위해서 B-rep(Boundary representation) 기반의 데이터 모델이 널리 사용되어 왔다. B-rep 기반의 데이터 모델은 공간객체의 기하학적 표현과 위상학적 표현을 동시에 정의하는 데이터 모델이다. 하지만 이러한 B-rep 기반의 데이터 모델의 구조 때문에, 데이터 저장용량이 많이 요구된다. 또한 복잡한 기하학적 표현을 포함한 위상학적 관계성 정의에 의해서 위상관계 파악에 있어 비효율적이며, 3차원 객체간의 연결성 관계 정의가 명확하지 않다는 점 등이 단점으로 알려져 왔다[5]. 이에 위상학적 관계성 정의의 관점에서 이를 보완하고자 2000년대 초반부터 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델이 연구되었다. 이 데이터 모델에서는 공간객체와 그 관계성을 Node와 Edge를 이용하는 네트워크 구조로 간단히 표현함으로써, B-rep 기반 데이터 모델보다 3차원 공간의 위상학적 표현을 위한 데이터 저장용량을 줄이고 인접성 및 연결성의 위상학적 관계 파악에 매우 효율적인 모델로 여겨져 왔다. 이러한 가정 하에 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

하지만 ‘공간객체의 위상학적 관계성 파악에 관하여 네트워크 기반 데이터 모델이 B-rep 기반 데이터 모델 보다 효율적일 것이다’라는 가정에 대한 실험적 근거가 부족하였다. 이에 본 연구에서는 이 일반적 가정에 대하여, 실제적으로 두 데이터 모델에 대하여 데이터 구축과 위상학적 관계성 질의를 수행함으로써 3차원 공간질의에 효율적인 데이터 모델을 검증한다.

## 2. 관련연구

공간질의를 위한 공간객체의 위상학적 관계성 정의는 크게 두 가지 관점에서 접근할 수 있는데, 첫 번째는 두 공간객체의 관계성에 대한 정보가 필요할 때에 연산을 통해 정의를 하는 방법이고, 두 번째는 먼저 공간 객체들 간의 관계성을 모두 정의해 놓는 방법이다. 후자의 방법은 구체적으로 아래와 같은 세 가지 접근방법이 있다[3].

- 1) Topological Primitives 기반 접근방법
- 2) Graph 기반 접근방법
- 3) Matrix 기반 접근방법

첫 번째, Topological Primitives 기반 접근 방법은 지금까지 가장 널리 사용되어 왔던 방법으로 위상학적 기본요소들을 정의하고, 이들을 이용하여 공간객체의 기하학적인 표현뿐만 아니라 위상학적 관계성을 함께 표현하는 방법이다. 두 번째, Graph 기반 접근방법은 Node는 공간객체를 나타내고 Edge를 이용하여 공간객체들의 인접성을 표현하는 방법으로 이미 1987년도에 Carlson[1]이 이를 적용한 연구를 수행하였고, 특히 2000년대 초부터 지금까지 많이 연구되어온 접근 방법이다. Matrix 기반 접근 방법은 공간객체들 간의 관계성을 행렬을 이용하여 정의하는 방법이다. 이미 언급했듯이 Topological Primitives 기반 접근방법이 가장 널리 사용되어 왔던 방법이며, 구체적으로는 B-rep 기반의 데이터 모델이다. 하지만 이와 같은 방법은 위상학적 관계성 파악의 효율성 측면에서 보완할 점이 존재하였고, 이를 고려하여 2000년대 초반부터 Graph기반 접근방법인 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 관한 연구가 많이 진행되어 왔다.

### 2.1 B-rep 기반 데이터 모델에 관한 연구

B-rep 기반 데이터 모델은 Node, Edge, Face와 같은 위상학적 기본요소(topological primitives)를 이용하는 Topological primitives 기반 접근방법의 데이터 모델로써, 대표적으로 Three-Dimensional Formal Data Structure(3DFDS)[11], Tetrahedral Network(TEN)[13], Simplified Spatial Model(SSM)[15], Urban Data Model(UDM)[2]등이 있다[16]. 3DFDS는 공간객체의 기하학적(geometric)인 속성과 주제적(thematic)인 속성을 통합적으로 고려

한 데이터 모델로써, Node, Arc, Edge, Face를 위상학적 기본요소로 정의한다. TEN은 지형, 공기요업의 범위, 숲과 같이 경계 표현이 어려운 공간객체들의 표현에 유리한 데이터 모델로써, Node, Arc, Triangle, Tetrahedron을 위상학적 기본 요소로 정의한다. SSM은 질의의 가시화 측면에 초점을 맞추어 웹 지향적 응용 프로그램에서 사용하기 쉽도록 모델링된 데이터 모델로써, Node와 Face의 오직 두 가지 위상학적 기본요소만을 정의한다. UDM은 SSM과 비슷하게 Node와 Face의 두 가지 위상학적 기본요소를 정의하고 공간객체를 표현하지만, UDM에서의 Face는 각각의 내각이 180도가 넘지 않는 컨벡스(convex) 평면으로만 정의된다.

이와 같이 각각의 B-rep 기반 데이터 모델은 사용 용도와 목적에 따라 각기 다른 위상학적 기본요소들을 정의하여, 공간객체의 기하학적·위상학적 표현을 정의한다. 이들이 각기 다른 위상학적 기본요소들을 정의하지만, 이 모델들의 공통점은 상위차원의 위상학적 기본요소들은 그 보다 낮은 차원의 위상학적 기본요소들의 조합으로 구성된다는 점이다. 이러한 구조적인 특징에 의해서 공간객체들이 서로 인접해 있을 경우, 그들 공간객체를 구성하는 하위차원의 위상학적 기본요소를 서로 공유하게 되고, 공간객체들 간의 위상학적 관계성을 파악할 수 있게 된다.

### 2.2 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 관한 연구

B-rep 기반 데이터 모델은 공간객체를 표현하는 구조적인 특성 때문에 공간객체들의 위상학적 관계성을 파악하는 데에 있어 효율성 문제가 있다고 여겨졌고, 이를 보완하고자 Graph 기반 접근방법인 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델이 2000년대에 들어서 많이 연구되어 왔다. 대표적으로 Lee와 Kwan(2005)[5]의 CDM(Combinatorial Data Model)에 관한 연구가 있다. CDM은 NRS(Node-Relation Structure)[6]를 기반으로 정립된 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델이다. NRS는 Poincaré duality[12], Graph Theory, Hierarchical Data Structure라는 이 세 특성을 갖는다. Poincaré duality 는 3차원 객체를 0차원 객체로 치환하고, 2차원 객체를 1차원 객체로 치환하고, 1차원 객체는 2차원 객체로, 0차원 객체는 3차원 객체로 치환하여 공간을 표현하는 방

법이다. Graph Theory는 공간과 그 관계성을 그래프로 표현하는 Vertex와 Edge로 표현하는 방법으로써, 하나의 그래프 G는 Vertex와 Edge로 구성된다( $G = (V, E)$ ). 그리고 Edge는 두 개의 Vertex로 구성된다( $e = (v, w)$ ). 마지막 Hierarchical Data Structure는 공간과 공간의 관계성을 계층적으로 표현하는 것으로써, 단위 공간의 정의에 따라 계층적으로 관계성이 정립될 수 있다. 예를 들어 도시의 건물을 단위공간으로 정의한다면 건물과 건물과의 관계성을 생각할 수 있고, 그 보다 자세한 스케일로 건물의 층을 단위 공간이라고 정의한다면 그때는 하나의 건물 안의 층과 층사이의 관계성까지도 고려할 수 있다. 이러한 NRS를 기반으로 한 CDM은 공간객체와 그 관계성을 Node와 Edge를 이용하여 표현한 데이터 모델이다. 그리고 더 나아가 공간의 논리적 관계성만 고려하는 CDM에서 실제 공간의 기하학적인 구조까지 고려한 GNM(Geometric Network Model)을 응용한 많은 연구가 진행되었다 [7][8][9][10][14][17][18].

### 3. 방법론

네트워크 기반 위상학적 데이터 모델이 B-rep 기반의 데이터 모델 보다 위상학적 관계파악에 보다 효율적이라고 알려져 왔고, 이러한 가정을 바탕으로 많은 연구가 진행되어 왔으나 이에 대한 실제적인 실험적 검증은 아직까지 미비하였다. 이에 따라 본

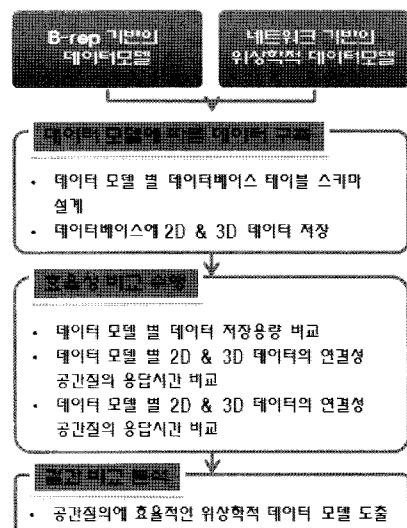


그림 1. 연구의 방법

연구에서는 그림 1과 같은 방법으로 두 데이터 모델의 공간질의 효율성을 실험적으로 검증한다.

먼저 B-rep 기반 데이터 모델과, 네트워크 기반의 위상학적 데이터 모델에 따라 데이터를 구축·저장하기 위해 데이터베이스의 테이블 스키마를 설계하고, 이에 따라 데이터를 구축한다. 본 연구에서는 데이터를 저장하기 위하여 오라클 데이터베이스 11g(Oracle Database 11g)를 사용하였다. 그리고 데이터베이스 상에서 두 데이터 모델의 데이터 저장 용량, 인접성 및 연결성에 따른 질의응답 시간 비교를 통해 효율성을 비교·검증한다.

**3.1 3차원 B-rep 기반 데이터 모델**

본 연구에서 사용하는 B-rep 기반의 데이터 모델은 ISO 19107 공간 스키마를 따르는 데이터 모델로써 공간객체를 표현함에 있어서 Node, Edge, Face, Solid의 네 가지의 위상학적 기본요소를 사용한다. 하나의 Solid는 여러 개의 Face들을 이용하여 구성되며, Face는 다시 여러 개의 Edge들의 조합으로 구성된다. 그리고 하나의 Edge는 두 개의 Node로 구성된다. 기하학적 표현을 위한 좌표 값은 Node 기본요소에서 정의된다.

그림 2는 3차원 B-rep의 구조를 보여준다. Node에 저장된 좌표 값을 바탕으로 기하학 표현이 가능하며, 다른 두 개의 공간객체들의 위상학적 관계는 서로가 공유하고 있는 하위 기본요소들로 파악될 수 있다. 그림 2에서 자세히 살펴보면 Solid 1은 Face 1, 2, 3, 4로 구성되며, Solid 2는 Face 4, 5, 6, 7로 구성된다. 그리고 두 개의 Solid는 Face 4를 공유하고 있다. Face 4가 두 Solid에 공통적인 구성요소라는 정보로써 Solid 1과 2는 서로가 인접하여 있다는 것을 파악할 수 있다.

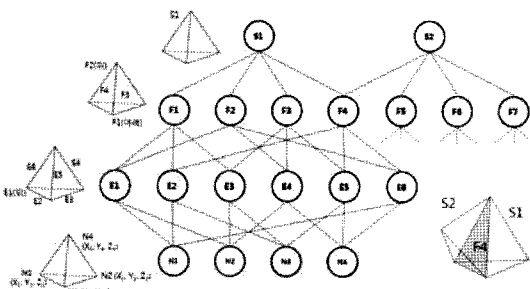


그림 2. 3D B-rep 구조

본 연구에서는 이러한 3차원 B-rep 데이터 모델을 바탕으로 만들어지는 데이터를 관계형 데이터베이스에 저장한다. 데이터베이스 상에서 효율성 비교 검증을 하기 위함이다. <그림 3>은 3차원 B-rep 데이터 모델의 데이터를 저장하기 위한 관계형 데이터베이스의 테이블 스키마이다. Node테이블은 X, Y, Z의 3차원 좌표정보를 저장하고 있으며, Edge테이블은 각 Edge를 구성하는 시작 Node와 끝 Node로 구성된다. 그리고 Face테이블은 각 Face를 구성하는 Edge들로 구성되며, Solid테이블은 Face테이블과 마찬가지로 각 Solid를 구성하는 Face들로 구성된다. Solid테이블은 또한 Room Type테이블과 관계성을 갖는데 이는 각 Solid가 어떤 용도로 쓰이는 공간인가를 알기 위함이다.

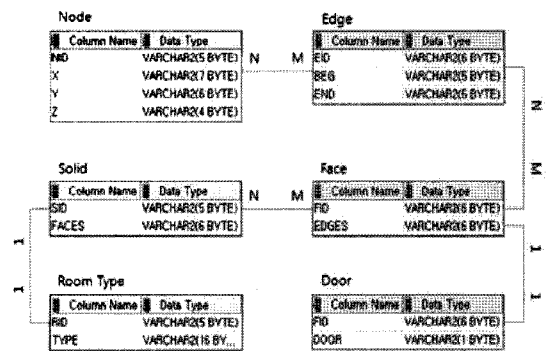


그림 3. 3차원 B-rep 데이터 모델의 데이터베이스 테이블 스키마

그리고 Face테이블은 Door테이블과 관계를 갖는데 이는 B-rep 구조의 데이터에서 연결성을 확인하기 위한 방법으로, 인접해 있는 Solid들을 이루는 Face들 중에 문이 있는 Face들을 확인함으로써 인접한 Solid들 간의 연결성을 확인할 수 있다.

**3.2 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델**

본 연구에서 사용되는 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델은 B-rep 기반 데이터 모델과는 다르게 공간객체와 그들 간의 관계를 Node와 Edge로 단순화 하여 표현한다. 3차원 공간객체는 Node로 치환하고 공간객체들이 공유하고 있는 면은 Edge로 치환하여 공간객체들의 관계를 네트워크 구조로 매우 간단하게 표현한다. 이 방법은 공간객체들의 위상학적 관계를 파악하는데 매우 명확하고 직관적이다.

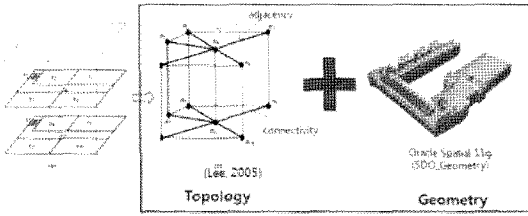


그림 4. 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 구조

그림 4는 3차원 공간의 위상학적 관계 표현을 네트워크 구조로 표현한 예이다. 계단, 복도, 방의 공간들은 각각을 나타내는 Node로 치환되고 그들 간의 위상학적 관계는 Edge로 표현된다. 단, B-rep 기반의 데이터 모델이 위상학적 관계뿐만 아니라 기하학적 표현을 동시에 하는 것과 달리, 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델은 공간들 간의 위상학적 관계성(그림 4의 Topology부분)만을 표현하고 있다. 이에 따라 본 데이터 모델에서는 기하학적 표현을 보완하기 위해 공간데이터베이스(Oracle Spatial 11g)의 SDO\_Geometry 데이터 타입을 이용하였다(그림 4의 Geometry부분). Oracle의 기하학적 데이터 타입은 OGC의 Simple Feature Geometry를 기본으로 하고 있고, 여기에 3차원 공간객체를 저장하고 표현하기 위해 Solid 기본요소를 추가하였다. 표 1은 Oracle SDO\_Geometry 데이터 타입의 속성정의를 보여준다. SDO\_GTYPE은 공간객체의 형태(예, Point, Line, Polygon)를 정의하고 SDO\_SRID는 좌표체계를 정의하며, SDO\_POINT는 기하학적 타입이 Point일 때의 좌표 값을 정의한다. 그리고 SDO\_ORDINATES에는 공간객체의 기하학적 모양을 정의하기 위한 좌표 값들이 나열되어 있고, SDO\_ELEM\_INFO는 SDO\_ORDINATES에 저장된 좌표 값들에 대해 구분을 해주어 각 구분된 좌표 값들이 어떤 기하학적 기본요소를 표현하고 있는지 정의한다[4].

표 1. SDO\_Geometry 데이터 타입의 속성[4]

Attribute	Type
SDO_GTYPE	NUMBER
SDO_SRID	NUMBER
SDO_POINT	SDO_POINT_TYPE
SDO_ELEM_INFO	SDO_ELEM_INFO_ARRAY
SDO_ORDINATES	SDO_ORDINATE_ARRAY

그림 5는 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 데이터를 관계형 데이터베이스에 저장시키기 위한 테이블 스키마이다. Node테이블은 각각의 공간을 대표하는 Node의 좌표 값이 저장되는 테이블이다. 네트워크를 구성하는 Edge 테이블에는 Adjacency 테이블과 Connectivity테이블이 있다. Adjacency테이블은 각각의 공간(Room)을 기준으로 수평방향 및 수직방향대하여 물리적으로 인접해 있는 공간과의 관계를 저장하기 위해 사용되며, Connectivity테이블은 이렇게 인접해 있는 공간들 중에 문, 계단, 엘리베이터를 통하여 사람이 이동 가능한 공간들만을 저장하기 위한 테이블이다. 이 두 개의 Edge테이블은 시작 Node와 끝 Node로 구성된다. Room Type테이블은 각각의 공간을 대표하는 Node가 어떤 용도로 쓰이는 공간인지를 저장한다. 그리고 기하학적 표현을 위해 Geometry테이블을 만들어주고, Node의 아이디와 Geometry의 아이디로써 기하학적 표현과 위상학적 표현을 연결시켜 준다.

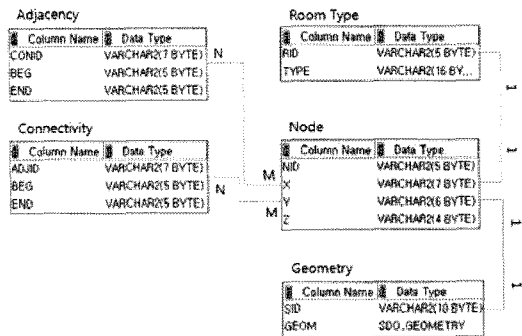


그림 5. 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 데이터베이스 테이블 스키마

### 3.3 효율성 비교 분석 기준

B-rep 기반의 데이터 모델과 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 위상학적 공간질의의 효율성을 테스트하기 위해 아래와 같은 세 가지 기준을 설정한다.

- 1) 데이터 용량
- 2) 인접성 질의의 응답시간
- 3) 연결성 질의의 응답시간

첫 번째 기준은 데이터 용량이다. 우선 데이터의 용량은 위상학적 질의를 수행할 때에 질의의 응답 시간에 영향을 미칠 수 있는 요소이다. 같은 구조의

공간객체라도 데이터를 구축하는 방법에 따라 데이터의 용량에 차이가 날 수 있고, 이것은 바로 질의 응답시간과 밀접한 관계를 갖는다. B-rep 기반의 데이터 모델에 따른 데이터는 기하학적 표현과 위상학적 표현을 동시에 하고 있는 반면, 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따른 데이터는 위상학적 표현을 위한 데이터만 저장되기 때문에 기하학적 표현을 따로 해주어야 한다. 따라서 본 연구에서는 Oracle의 기하학적 타입을 이용하여 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 기하학적 표현을 따로 해주었다. 이에 따라서 두 데이터 모델에 따라 구축된 데이터의 용량을 비교해 볼 필요가 있다. 그리고 다음은 위상학적 질의에 대한 응답시간비교이다. 두 데이터 모델에 따라서 데이터의 구조가 다르게 저장되어 있기 때문에 질의에 응답하는 시간을 테스트 해봄으로써 효율성을 검증할 수 있다. 마지막으로 이러한 효율성 검증은 2차원 데이터와 3차원 데이터에서 모두 수행하여 본다.

본 연구에서의 수행하는 위상학적 질의는 인접성과 연결성 질의 두 가지이고, 이에 대하여 순차적 인접성과 순차적 연결성 질의를 수행한다.

표 2는 순차적 인접성 질의의 의미를 설명하고 있다. Target Room을 기준으로 첫 번째 인접한 방은 Target Room과 벽면을 공유하고 있는 방이다. 두 번째 인접한 방은 Target Room에서 첫 번째 인접한 방을 기준으로 그 방들과 벽면을 공유하고 있는 방을 의미한다. 이와 같이 인접성 질의에서 순차적이라는 의미는 Target Room에서부터 첫 번째,

두 번째, 세 번째 인접한 방을 찾는 것을 의미한다. 순차적 연결성 질의도 인접성 질의와 같이 Target Room에서부터 순차적으로 연결성이 있는 방들을 찾아 나아가는 것을 의미하며, 여기서 연결성은 인접한 방들 중에 문이나 계단을 통하여 사람이 이동할 수 있는 방과의 관계를 의미한다.

#### 4. 실험 및 결과 분석






실험 및 결과 분석에서는 위상학적 네트워크 데이터의 효율성을 실험적으로 비교 검증한다. 따라서 B-rep 기반 데이터 모델과 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따른 실험 대상의 데이터를 구축하고 공간질의를 수행한다. B-rep기반의 데이터 모델과 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 위상학적 질의의 효율성을 검증하기 위해 실제 건물을 기반으로 하는 2차원 및 3차원 데이터를 데이터베이스에 구축한다. 모든 효율성 검증은 데이터베이스 상에서 수행한다.

##### 4.1 데이터 구축

먼저 B-rep 기반 데이터 모델에 따른 데이터는 '3.1 B-rep 기반 데이터 모델'에서 제시한 B-rep 기반 데이터 모델의 데이터베이스 테이블 스키마에 따라 구축한다(그림 6 참고). 공간객체를 표현하는 Solid테이블을 살펴보면, 하나의 Solid에 대하여 이를 구성하는 여러 개의 Face데이터를 Face테이블의 Face아이디(FID)를 사용하여 구축한다. Face테이블도 이와 마찬가지로 하나의 Face에 대하여 이를 구성하는 여러 개의 Edge데이터를 저장한다. Edge데이터는 Edge테이블의 Edge아이디(EID)를 사용한다. Edge테이블은 Edge를 구성하는 시작 Node와 끝 Node의 ID를 사용하여 구축된다. 하나의 Solid 공간객체는 Room Type테이블의 방아이디(RID)와 Solid의 아이디(SID)를 이용하여 연결되고, 이를 통하여 각각의 Solid가 어떤 용도의 공간이지를 알 수 있게 하였다. Door테이블에는 Face들에 대하여 문의 유·무(y·n)를 저장하였다. 이는 Solid 간의 연결성 관계를 확인할 때 사용된다.

다음은 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 데이터 구축이다. 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 데이터는 위상학적 부분과 기하학적 부분으로 나뉘어 구축한다.

표 2. 순차적으로 인접한 방의 질의 결과 예

 Target Room	
 첫 번째 인접한 방	 두 번째 인접한 방
 세 번째 인접한 방	 네 번째 인접한 방

Door		Node				Edge		
FID	DOOR	NID	X	Y	Z	EID	BEG	END
f3025	n	n1001	1041054	224683	0	e2135	n2005	n2006
f3026	n	n1002	1043210	218833	0	e2136	n2005	n2083
f3027	n	n1003	1042904	218833	0	e2137	n2082	n2083
f3028	n	n1004	1042904	214833	0	e2138	n2072	n2073
f3029	n	n1005	1042904	212233	0	e2139	n2132	n2072

Face		Solid		Room Type	
FID	EDGES	SID	FACES	RID	TYPE
f2030	e2076	s1001	f12004	s1001	laboratory
f2030	e2102	s1001	f12034	s1002	stairway
f2031	e2076	s1001	f12001	s1003	elevator
f2031	e2075	s1001	f12003	s1004	laboratory
f2031	e2078	s1001	f12122	s1005	lecture_room

그림 6. B-rep 기반 데이터 모델에 따라 구축한 데이터베이스 상의 데이터 구조

그림 7에서 보던 위상학적 부분에서는 인접성 네트워크 데이터와 연결성 네트워크 데이터를 구축하였고, 기하학적 부분에서는 그와 별도로 기하학적 데이터를 공간데이터베이스(Oracle Spatial 11g) 기하학적 타입을 이용하여 구축하였다. 다음은 데이터베이스 테이블 스키마에 따라 저장되는 데이터의 구조이다(그림 8 참고).

Node 아이디(NID) 값을 이용하여 구축하였다. 그리고 기하학적 데이터는 Oracle의 기하학적 타입을 이용하여 구축하였으며, Node아이디(NID)로 연결하여 위상학적 데이터와 기하학적 데이터를 연결하였다. Room Type 테이블은 Node테이블과 아이디를 통하여 연결되어 해당 Node가 어떤 용도의 방을 대표하는지 알 수 있도록 하였다.

Connectivity Network			Adjacency Network			Node			
CONID	BEG	END	ADRID	BEG	END	NID	X	Y	Z
con11010	n1010	n1013	adj11010	n1036	n1020	n1001	1041054	224683	0
con11011	n1013	n1010	adj11011	n1020	n1036	n1002	1043210	218833	0
con11020	n1010	n1011	adj11020	n1020	n1021	n1003	1042904	218833	0
con11021	n1011	n1010	adj11021	n1021	n1020	n1004	1042904	214833	0
con11030	n1005	n1011	adj11030	n1021	n1022	n1005	1042904	212233	0

Oracle SDO_Geometry		Room Type	
SID	GEOM	RID	TYPE
n1008	MDSYS.SDO_GEOMETRY(3008,null,MDSYS.S...	n1001	laboratory
n1009	MDSYS.SDO_GEOMETRY(3008,null,MDSYS.S...	n1002	stairway
n1010	MDSYS.SDO_GEOMETRY(3008,null,MDSYS.S...	n1003	elevator
n1011	MDSYS.SDO_GEOMETRY(3008,null,MDSYS.S...	n1004	laboratory
n1012	MDSYS.SDO_GEOMETRY(3008,null,MDSYS.S...	n1005	lecture_room

그림 8. 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따라 구축한 데이터베이스 상의 데이터 구조

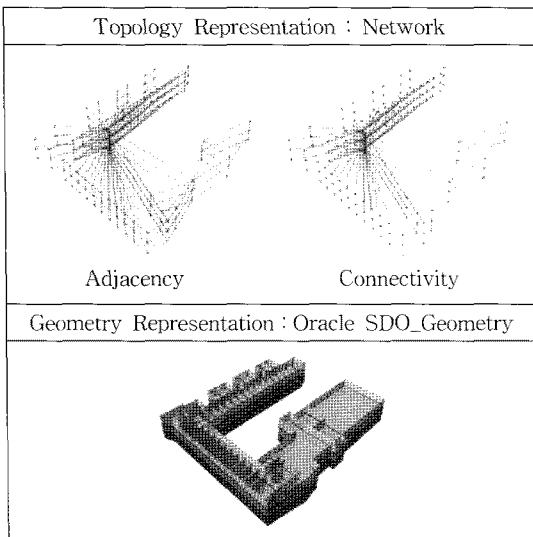


그림 7. 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 위상학적 부분과 기하학적 부분

Node테이블은 각각의 방을 대표하는 데이터로써 기하학적 중심좌표를 이용하여 구축하였고, 방과 방의 인접성을 표현하는 인접성 테이블(Adjacency Network)과 연결성을 표현하는 연결성 테이블(Connectivity Network)은 시작 Node와 끝 Node의

#### 4.2 데이터 모델별 위상학적 질의

다음은 이와 같이 데이터 모델별로 저장된 데이터를 이용하여 공간질의의 효율성 검증을 하기 위한 위상학적 질의의 과정과 SQL문이다. 먼저 모델별 순차적 인접성 질의에 대해 살펴본다.

B-rep 기반 데이터 모델에서의 3차원 순차적 인접성 질의는 다음과 같다.

- 1) 먼저 특정 방 하나(Solid)를 선택한 후에 그 방을 구성하고 있는 Face들을 찾는다.
- 2) 과정1)에서 찾은 Face들이 구성요소가 되는 방들(Solid)을 찾는다. : 첫 번째 인접한 방 검색
- 3) 첫 번째 인접한 방들을 구성하는 Face들을 찾는다.
- 4) 과정3)에서 찾은 Face들이 구성요소가 되는 방들(Solid)을 찾는다. (단, 기존에 찾아진 방들은 결과에서 제외) : 두 번째 인접한 방 검색
- 5) 위의 과정을 반복하여 마지막 순서까지 인접한 방들을 검색한다.

그림 9는 B-rep 기반 데이터 모델에서 이러한 과정을 바탕으로 특정 공간객체를 기준으로 순차적 3차원 인접객체를 검색하는 SQL문이다.

```

- 3D Brep adjacency_ordering

DECLARE
V$SID VARCHAR2(10);
V$TYPE VARCHAR2(16);
RANSID VARCHAR2(10) := 's'||TO_CHAR(ROUND(DBMS_RANDOM.VALUE
(1001, 1046),0));

CURSOR C1 IS
SELECT RID, TYPE FROM BREP_3D_ROOMTYPE WHERE SID IN (SELECT
DISTINCT SID FROM BREP_3D_SOLID WHERE FACES IN (SELECT FACES
FROM BREP_3D_SOLID WHERE SID IN (RANSID)) AND SID <> ALL (RANSID));

CURSOR C2 IS
SELECT RID, TYPE FROM BREP_3D_ROOMTYPE WHERE SID IN (SELECT
DISTINCT SID FROM BREP_3D_SOLID WHERE FACES IN (SELECT FACES
FROM BREP_3D_SOLID WHERE SID IN (SELECT ID FROM
BREP_ORDER_1)) AND SID <> ALL (SELECT ID FROM BREP_ORDER_1 )
AND SID <> ALL (SELECT ID FROM BREP_ORDER_0 ));

..... <중략> .....

CURSOR C6 IS
SELECT RID, TYPE FROM BREP_3D_ROOMTYPE WHERE SID IN (SELECT
DISTINCT SID FROM BREP_3D_SOLID WHERE FACES IN (SELECT FACES
FROM BREP_3D_SOLID WHERE SID IN (SELECT ID FROM
BREP_ORDER_5)) AND SID <> ALL (SELECT ID FROM BREP_ORDER_5)
AND SID <> ALL (SELECT ID FROM BREP_ORDER_4 ));

BEGIN
FOR y IN 1..300 LOOP
FOR x IN 1..6 LOOP
IF (x=1) THEN
OPEN C1;
LOOP
FETCH C1 INTO V$SID, V$TYPE;
EXIT WHEN C1%notfound;
INSERT INTO BREP_ORDER_1 (ID, BREP_ORDER, TYPE) VALUES
(V$SID, x, V$TYPE);
END LOOP;
CLOSE C1;
INSERT INTO BREP_ORDER_0 (ID, BREP_ORDER) VALUES (RANSID, 0);
ELSIF (x=2) THEN
OPEN C2;
LOOP
FETCH C2 INTO V$SID, V$TYPE;
EXIT WHEN C2%notfound;
INSERT INTO BREP_ORDER_2 (ID, BREP_ORDER, TYPE) VALUES
(V$SID, x, V$TYPE);
END LOOP;
CLOSE C2;
..... <중략> .....

END LOOP;
END LOOP;
END;

```

그림 9. B-rep 데이터 모델에 따른 데이터에서의 3차원 순차적 인접객체 검색 SQL문

순차적 인접객체를 검색하기 위하여 인접한 순서에 따라서 커서(Cursor)를 구성하였다. 예를 들어 설명하며, 첫 번째 커서 C1은 특정객체로부터 첫 번째 인접객체를 찾는 SQL문의며, 두 번째 커서 C2는 첫 번째 인접한 객체를 기준으로 특정객체로부터 두 번째 인접객체를 찾는 SQL문이다. 삽입문(IN 구문)은 특정객체로부터 순차적으로 찾아진 결과를 저장한다. 그리고 이 결과는 다음 차수의 인접객체를 찾는데 사용된다.

다음은 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따른 인접성 네트워크 데이터에서 3차원 순차적 인접성 질의에 대하여 살펴본다. 3차원으로 인접한 객체를 검색하는 과정은 다음과 같다.

- 1) 먼저 특정한 방 하나(Solid)를 선택한 후에 인접성 테이블을 이용하여 그 방에 인접한 방을 바로 찾는다. : 첫 번째 인접한 방 검색

- 2) 과정1)에서 찾은 방들을 기준으로 다시 인접성 테이블을 이용하여 그 방들에 인접한 방들을 바로 찾는다(단, 기존에 찾아진 방들은 결과에서 제외). : 두 번째 인접한 방 검색
- 3) 위의 과정을 반복하여 마지막 순서까지 인접한 방들을 검색한다.

그림 10은 이러한 과정으로 작성된 SQL문이다. 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따른 인접성 네트워크 데이터에서의 특정 공간객체를 기준으로 순차적 3차원 인접객체를 검색한다.

```

- 3D NET adjacency_ordering

DECLARE
V$SID VARCHAR2(10);
V$TYPE VARCHAR2(16);
RANSID VARCHAR2(5) := 's'||TO_CHAR(ROUND(DBMS_RANDOM.VALUE
(1001, 1046),0));

CURSOR C1 IS
SELECT SID, TYPE FROM NET_3D_ROOMTYPE WHERE SID IN
(SELECT BEG FROM NET_3D_ADJACENCY2 WHERE END = RANSID);

CURSOR C2 IS
SELECT SID, TYPE FROM NET_3D_ROOMTYPE WHERE SID IN
(SELECT BEG FROM NET_3D_ADJACENCY2 WHERE END IN (SELECT ID
FROM NET_ORDER_1) AND SID<>ALL(SELECT ID FROM NET_ORDER_1)
AND SID<>ALL(SELECT ID FROM NET_ORDER_0);

..... <중략> .....

CURSOR C6 IS
SELECT SID, TYPE FROM NET_3D_ROOMTYPE WHERE SID IN (SELECT
BEG FROM NET_3D_ADJACENCY2 WHERE END IN (SELECT ID FROM
NET_ORDER_5)) AND SID<>ALL(SELECT ID FROM NET_ORDER_5) AND
SID<>ALL(SELECT ID FROM NET_ORDER_4);

BEGIN
FOR y IN 1..1 LOOP
FOR x IN 1..6 LOOP
IF (x=1) THEN
OPEN C1;
LOOP
FETCH C1 INTO V$SID, V$TYPE;
EXIT WHEN C1%notfound;
INSERT INTO NET_ORDER_1 (ID, NET_ORDER, TYPE) VALUES (V$SID,
x, V$TYPE);
END LOOP;
CLOSE C1;
INSERT INTO NET_ORDER_0 (ID, NET_ORDER) VALUES (RANSID, 0);
ELSIF (x=2) THEN
OPEN C2;
LOOP
FETCH C2 INTO V$SID, V$TYPE;
EXIT WHEN C2%notfound;
INSERT INTO NET_ORDER_2 (ID, NET_ORDER, TYPE) VALUES (V$SID,
x, V$TYPE);
END LOOP;
CLOSE C2;
..... <중략> .....

END LOOP;
END LOOP;
END;

```

그림 10. 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따른 데이터에서의 3차원 순차적 인접객체 검색 SQL문

각각의 커서 구성은 B-rep 기반 데이터 모델에서 설명한 것과 같다.

인접성 질의에 대하여 B-rep 기반 데이터 모델의 WHERE 조건문은 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 WHERE 조건문과 비교하여 상대적으로 복



잡하다. 이는 B-rep 기반 데이터 모델에서는 특정 객체 선택 후에 이를 기준으로 인접한 객체를 찾기 위해 두 단계의 과정이 필요한데 비해, 네트워크 기반 데이터 모델에서는 한 단계의 과정만 필요하기 때문이다. 이는 데이터 모델별 효율성 측면에 영향을 끼치는 요소가 된다.

다음은 인접성 질의에 이어서 순차적 연결성 질의에 대하여 살펴본다. 먼저 B-rep 기반 데이터 모델에서의 3차원 순차적 연결성 질의이다. 3차원 공간객체에 대해 연결성 있는 객체를 검색하는 과정은 다음과 같다.

- 1) 먼저 특정한 방 하나(Solid)를 선택한 후에 그 방을 구성하고 있는 Face들을 찾는다. 단, 여기서는 문(Door)이 있는 Face들만을 찾는다.
- 2) 과정1)에서 찾은 Face들이 구성요소가 되는 방들(Solid)을 찾는다. : 첫 번째 연결된 방 검색
- 3) 첫 번째 연결된 방들을 구성하는 Face들을 찾는다. 여기서도 마찬가지로 문이 있는 Face들만을 찾는다.
- 4) 과정3)에서 찾은 Face들이 구성요소가 되는 방들(Solid)을 찾는다. (단, 기존에 찾아진 방들은 결과에서 제외) : 두 번째 연결된 방 검색
- 5) 위의 과정을 반복하여 마지막 순서까지 연결된 방들을 검색한다.

그림 11은 이러한 과정으로 작성된 SQL문이다. B-rep 기반 데이터 모델에 따른 데이터에서의 특정 공간객체를 기준으로 순차적 3차원 연결객체를 검색한다.

다음은 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따른 연결성 네트워크 데이터에서 3차원 순차적 연결성 질의이다. 3차원으로 연결성 있는 객체를 검색하는 과정은 다음과 같다.

- 1) 먼저 특정한 방 하나(Solid)를 선택한 후에 연결성 테이블을 이용하여 그 방에 연결된 방을 바로 찾는다. : 첫 번째 연결된 방 검색
- 2) 과정1)에서 찾은 방들을 기준으로 다시 연결성 테이블을 이용하여 그 방들에 연결된 방들을 바로 찾는다(단, 기존에 찾아진 방들은 결과에서 제외). : 두 번째 연결된 방 검색
- 3) 위의 과정을 반복하여 마지막 순서까지 연결된 방들을 검색한다.

그림 12는 이러한 과정으로 작성된 SQL문이다. 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따른 연결

```

- 3D Brep connectivity_ordering
DECLARE
VSID VARCHAR2(5);
RANSID VARCHAR2(10) := 's'|TO_CHAR(ROUND(DBMS_RANDOM.VALUE
(1001, 1046),0));

CURSOR C1 IS
SELECT DISTINCT SID FROM BREP_3D_SOLID WHERE FACES IN (SELECT
FID FROM BREP_3D_DOOR, BREP_3D_SOLID WHERE BREP_3D_DOOR.FID
= BREP_3D_SOLID.FACES AND SID = RANSID AND DOOR = 'y') AND
SID <> RANSID;

CURSOR C2 IS
SELECT DISTINCT SID FROM BREP_3D_SOLID WHERE FACES IN (SELECT
FID FROM BREP_3D_DOOR, BREP_3D_SOLID WHERE BREP_3D_
DOOR.FID = BREP_3D_SOLID.FACES AND SID IN (SELECT ID FROM
BREP_ORDER_1) AND DOOR = 'y') AND SID <> ALL(SELECT ID FROM
BREP_ORDER_1) AND SID <> all(SELECT ID FROM BREP_ORDER_0);
..... <중략> .....

CURSOR C10 IS
SELECT DISTINCT SID FROM BREP_3D_SOLID WHERE FACES IN
(SELECT FID FROM BREP_3D_DOOR, BREP_3D_SOLID WHERE
BREP_3D_DOOR.FID = BREP_3D_SOLID.FACES AND SID IN (SELECT ID
FROM BREP_ORDER_9) AND DOOR = 'y') AND SID <> ALL(SELECT ID
FROM BREP_ORDER_9) AND SID <> all(SELECT ID FROM
BREP_ORDER_8);

BEGIN
FOR y IN 1..10 LOOP
FOR x IN 1..10 LOOP
IF (x=1) THEN
OPEN C1;
LOOP
FETCH C1 INTO VSID;
EXIT WHEN C1%notfound;
INSERT INTO BREP_ORDER_1 (ID, BREP_ORDER) VALUES (VSID, x);
END LOOP;
CLOSE C1;
INSERT INTO BREP_ORDER_0 (ID, BREP_ORDER) VALUES ('s1011', 0);

ELSIF (x=2) THEN
OPEN C2;
LOOP
FETCH C2 INTO VSID;
EXIT WHEN C2%notfound;
INSERT INTO BREP_ORDER_2 (ID, BREP_ORDER) VALUES (VSID, x);
END LOOP;
CLOSE C2;
..... <중략> .....

END LOOP;
END;
/
    
```

그림 11. B-rep 기반 데이터 모델에 따른 데이터에서의 3차원 순차적 연결객체 검색 SQL문

성 네트워크 데이터에서의 특정 공간객체를 기준으로 순차적 3차원 연결객체를 검색한다.

순차적 연결성 질의의 커서 구성은 인접성 질의에서 설명한 의미와 같다. 연결성에서도 상대적으로 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 WHERE 조건절이 단순하다. 이는 B-rep 기반의 데이터 모델에서 특정객체를 기준으로 연결객체를 찾기 위해서는 세 단계의 과정(Door 확인 추가)이 필요한 반면, 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에서는 한 단계의 과정만 필요하기 때문이다. 이 역시 인접성 질의와 같이 질의 효율성에 영향을 끼치는 요소가 된다.

이와 같은 데이터 모델별 순차적 연결성 및 인접성 질의는 2차원 데이터에서도 수행하여, 2차원 데이터와 3차원 데이터에서의 공간질의에 대한 효율성에 대하여 분석한다.

```

- 3D NET connectivity_ordering

DECLARE
V$ID VARCHAR2(10);
V$TYPE VARCHAR2(16);
RANSID VARCHAR2(10) := 'S' || TO_CHAR(ROUND(DBMS_RANDOM.VALUE
(1001, 1046),0));

CURSOR C1 IS
SELECT SID, TYPE FROM NET_3D_ROOMTYPE WHERE SID IN
(SELECT BEG FROM NET_3D_CONNECTIVITY2 WHERE END = RANSID);

CURSOR C2 IS
SELECT SID, TYPE FROM NET_3D_ROOMTYPE WHERE SID IN
(SELECT BEG FROM NET_3D_CONNECTIVITY2 WHERE END IN (SELECT
ID FROM NET_ORDER_1) AND SID<>ALL(SELECT ID FROM
NET_ORDER_1) AND SID<>ALL(SELECT ID FROM NET_ORDER_0);
..... <중략> .....

CURSOR C10 IS
SELECT SID, TYPE FROM NET_3D_ROOMTYPE WHERE SID IN
(SELECT BEG FROM NET_3D_CONNECTIVITY2 WHERE END IN (SELECT
ID FROM NET_ORDER_9) AND SID<>ALL(SELECT ID FROM
NET_ORDER_9) AND SID<>ALL(SELECT ID FROM NET_ORDER_8);
..... <중략> .....

BEGIN
FOR y IN 1..10 LOOP
FOR x IN 1..10 LOOP
IF (x=1) THEN
OPEN C1;
LOOP
FETCH C1 INTO V$ID, V$TYPE;
EXIT WHEN C1%notfound;
INSERT INTO NET_ORDER_1 (ID, NET_ORDER, TYPE) VALUES (V$ID,
x, V$TYPE);
END LOOP;
CLOSE C1;
INSERT INTO NET_ORDER_0 (ID, NET_ORDER) VALUES (RANSID, 0);

ELSIF (x=2) THEN
OPEN C2;
LOOP
FETCH C2 INTO V$ID, V$TYPE;
EXIT WHEN C2%notfound;
INSERT INTO NET_ORDER_2 (ID, NET_ORDER, TYPE) VALUES (V$ID,
x, V$TYPE);
END LOOP;
CLOSE C2;
..... <중략> .....

END LOOP;
END;
/
    
```

그림 12. 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따른 데이터에서의 3차원 순차적 연결객체 검색 SQL문

4.3 데이터 모델별 위상학적 질의 효율성 분석 결과

다음은 B-rep 기반 데이터 모델과 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따른 데이터 저장용량 및 공간질의 효율성 분석 결과이다. 먼저 B-rep 기반의 데이터 모델에 따른 데이터와 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에 따른 데이터의 용량을 살펴보면 그림 13과 같다.

우선 데이터의 총 용량을 살펴보면, 2차원 데이터와 3차원 데이터 모두 네트워크 기반의 데이터가 많은 것을 알 수 있다. 2차원의 B-rep 기반 데이터는 약196kbytes인 반면 2차원 네트워크 데이터는 약327kbytes이고, 3차원 데이터의 경우도 3차원 B-rep 기반 데이터는 약328kbytes인 반면 3차원 네트워크 데이터는 약590kbytes로 네트워크 데이터가 모두 많은 저장용량을 필요로 함을 알 수 있다. 이

는 자세히 살펴보면 네트워크 데이터가 듀얼 데이터로써 기하학 표현을 위한 데이터를 따로 구축해야하기 때문이다. 네트워크 데이터에서 공간객체의 기하학적 표현을 위해 어떠한 기하학적 데이터 모델을 사용하느냐에 따라 결과는 달라질 수 있다. 위상학적 측면에서 살펴보면, 기하학적 표현과 위상학적 표현이 함께 저장되는 형태인 B-rep 기반의 데이터는 2차원 데이터보다 3차원 데이터가 많은 데이터 저장용량을 필요로 함을 알 수 있다. 반면 네트워크 데이터의 경우 데이터베이스 상에서 차지하는 2차원 데이터와 3차원 데이터의 저장용량은 별 차이를 보이지 않는다. 이는 위상학적 질의를 수행하고 결과를 도출하는데 있어서 효율성에 영향을 미치는 요소로 작용 할 수 있다.

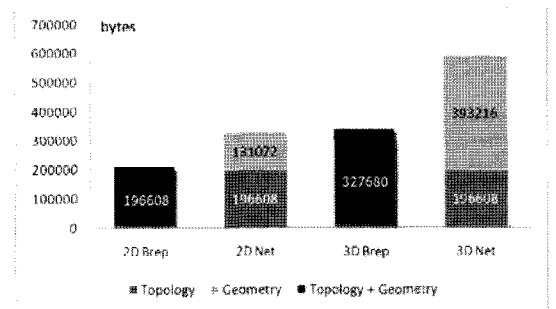


그림 13. 두 데이터 모델에 따른 데이터의 용량 비교

다음은 2차원 및 3차원 데이터에서 순차적 인접성 질의와 순차적 연결성 질의에 대한 결과이다. 먼저 2차원 데이터에서의 공간질의 응답시간비교 결과이다. 그림 14는 2차원 인접성 질의의 결과를 보여준다.

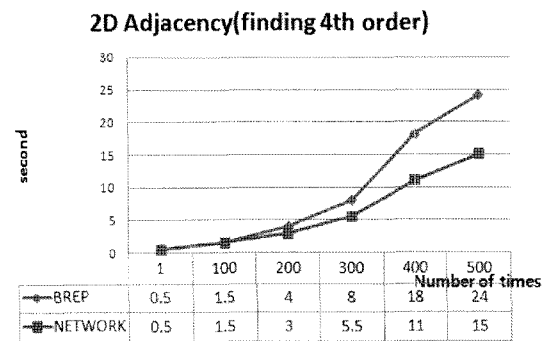


그림 14. 2차원 인접성 질의 결과

가로축은 질의의 반복 횟수 이고 세로축은 질의 응답에 소요된 시간이다. 1회의 질의는 특정 방에서 4번째 인접한 방까지를 찾는 것으로 하였다. 질의 응답시간은 200회 질의 전까지는 큰 차이를 보이지 않다가 200회를 넘어서부터 차이가 나기 시작하였고, 500회에 이르러서는 네트워크 기반의 위상학적 데이터 모델의 인접성 네트워크 데이터에서는 약15초가 걸린 반면 B-rep기반 데이터 모델의 데이터에서는 약24초가 걸려 약 2배정도의 응답시간 차이가 났다.

2차원 연결성 질의를 살펴보면 2차원 인접성의 결과와 비슷한 결과를 보인다(그림 15 참고). 200회의 질의 횟수를 초과하기 시작할 때부터 두 데이터 모델간의 질의 응답시간의 차이가 눈에 띄게 발생하였고, 500회에 이르러서는 B-rep기반 데이터 모델의 데이터에서 12초, 연결성 네트워크 데이터에서 8.5초의 시간이 걸려 약 1.4배의 질의 응답시간이 차이가 났다. 이 결과 역시 질의의 횟수가 많아질수록 네트워크 기반의 위상학적 데이터 모델이 공간 질의에 효율적임을 알 수 있다.

2D Connctivity(finding 4th order)

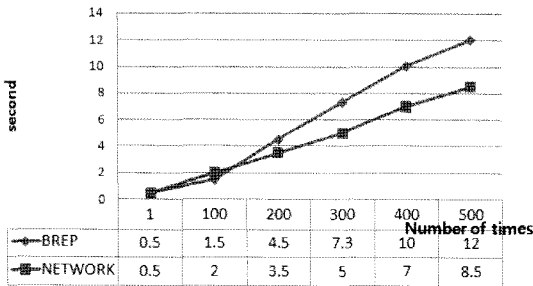


그림 15. 2차원 연결성 질의의 결과

다음은 3차원 데이터에서의 위상학적 공간질의의 결과이다. 3차원 데이터에서의 인접성 질의의 결과는 2차원 데이터에서의 공간질의 결과보다 확연한 차이를 나타낸다(그림 16 참고). 질의의 반복 횟수가 20회를 넘어서자 B-rep기반 데이터와 네트워크 기반 데이터의 질의 응답시간은 매우 큰 차이를 보였으며, 60회를 넘어서자 B-rep 기반의 데이터에서의 질의 응답시간은 네트워크 기반 데이터보다 무려 약40배가 더 걸린 결과를 보였다. 질의의 횟수가 80회를 넘어서자 B-rep 기반의 데이터에서는 시간의 측정이 불가 하였다. 응답시간 상승의 패턴을 살펴보

면 질의 횟수에 따른 질의 응답시간이 B-rep 기반의 데이터에서는 매우 가파르게 상승되는 양상을 보인다. 그 반면 네트워크 기반 데이터에서는 질의 횟수가 늘어남에 따라 응답시간의 상승정도가 매우 완만함을 알 수 있다.

3D Adjacency(finding 9th order)

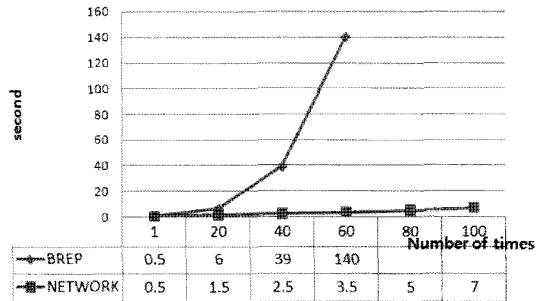


그림 16. 3차원 인접성 질의의 결과

다음 그림 17은 3차원 연결성 질의의 결과이다. 이 역시도 3차원 인접성 질의의 결과와 비슷한 결과를 보여준다.

3D Connctivity(finding 9th order)

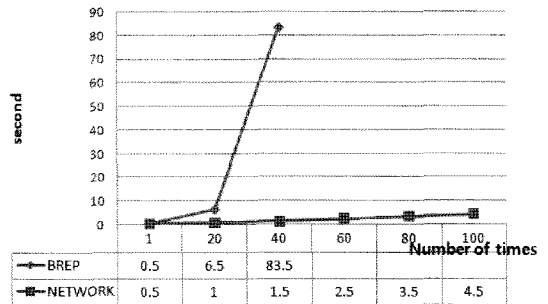


그림 17. 3차원 연결성 질의의 결과

3차원 연결성 질의의 경우 B-rep기반 데이터에서는 단 40회의 질의 횟수 만에 네트워크 기반 데이터보다 약55배 높은 질의 응답시간을 보였다. 이는 인접성 질의에서 보다 높은 응답시간의 차이를 보여 주는데 B-rep기반 데이터에서는 인접성연산과 비교하여 Door의 유무를 확인하기 위한 질의를 한 번 더 수행하여, 연산의 복잡도가 높아진 반면, 네트워크 기반의 데이터에서는 연결성 네트워크 데이터가 인접성 네트워크 데이터의 부분으로써 데이터의 수가 적어 연산의 복잡도가 오히려 낮아진다. 이러한

이유로 3차원 연결성 질의에 있어서 네트워크 기반 데이터의 효율성이 훨씬 높은 것으로 판단된다.

또한 전체적으로 3차원 데이터에서의 질의 응답 시간 결과를 2차원 데이터의 질의 응답시간 결과와 비교하였을 때, B-rep기반의 데이터는 3차원 데이터에서의 질의 응답시간이 2차원 데이터에서의 질의 응답시간 보다 월등히 많이 걸리는 것을 알 수 있다. 반면 네트워크 기반 데이터에서는 B-rep기반의 데이터와 비교하여 3차원 데이터에서도 2차원 데이터에서의 응답시간보다 그리 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 데이터의 복잡성이 2차원에서 3차원으로 보다 늘어남에 있어서 네트워크 기반 데이터 모델의 공간질의 효율성이 보다 높다는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델이 B-rep 기반 데이터 모델보다 공간질의 효율성이 높을 것이라는 일반적 가정에 대해 실험적 근거를 제시하고자 효율성을 비교 검증을 수행하였다. 비교 검증결과 전체적으로 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델이 B-rep 기반 데이터 모델보다 2차원과 3차원 공간 모두 공간질의 측면에서 효율성이 높은 결과를 보여주었다. 특히 2차원 공간보다 3차원 공간에서 B-rep 기반 데이터 모델보다 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델에서의 질의 응답시간이 월등히 짧은 결과를 보여 복잡한 3차원 공간에서 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델의 활용이 더욱 효율적이라는 것을 알 수 있었다. 데이터 용량의 측면에서 살펴보면, 본 연구에서는 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델이 B-rep 기반 데이터 모델보다 많은 데이터 저장 용량이 요구되었다. 이는 B-rep 기반 데이터 모델이 위상학적 표현과 기하학적 표현을 데이터 모델측면에서 함께 하고 있는 반면, 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델은 기본적으로 공간간의 위상학적인 관계만을 표현하는 모델로써, 기하학적 표현을 위하여 기하학적 데이터를 별도로 구축해주는 과정이 필요했기 때문이다. 하지만 이는 어떠한 타입의 기하학적 데이터를 사용하느냐에 따라 결과가 달라질 수 있다.

이와 같은 실험 결과는 '네트워크 기반 위상학적 데이터 모델이 B-rep 기반의 데이터 모델보다 공간

질의에 있어서 효율적일 것이다'라는 가정을 뒷받침하는 실험적 기초를 정립하는 데에 의의가 있다. 본 연구에서 수행된 공간질의 효율성을 검증은 공간의 기하학적 형태 고려를 제외한 논리적인 관계성 측면에서만 이루어졌다. 앞으로의 연구에서는 공간의 기하학적 형태를 고려한 위상학적 네트워크 데이터에서의 효율성 검증의 연구도 필요하다. 이와 함께 인접성 및 연결성뿐만 아니라 포함성까지도 고려한 비교분석의 연구도 필요하다. 본 연구는 두 데이터 모델의 질의 효율성을 비교하는 기초연구로써, 실제 활용단계에 생길 수 있는 여러 가지 사항들을 고려하지 못한 한계점이 있다. 데이터베이스 상에서 뿐만 아니라 어플리케이션을 고려하고, 실제 실내공간의 위상학적 질의에서 생길 수 있는 의미적 질의(semantic query)등을 고려한다면 활용에 따라서 효율성은 달라질 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

- [1] Carlson, E., 1987, "Three-dimensional conceptual modelling of subsurface structures", In Technical Papers of the ACSM-ASPRS Annual Convention, Baltimore, Maryland: 188-200.
- [2] Coors, V., 2003, "3D GIS in Networking environments", Computer, Environment and Urban Systems, Vol. 27 (4), pp. 345-357.
- [3] Ellul, C., Haklay M., 2006, "Requirements for Topology in 3D GIS", Transactions in GIS, Vol.10(2), pp.157-175.
- [4] Kothuri, Ravi., Godfrind, Albert and Beinat, Euro., 2007, "Pro Oracle Spatial for Oracle-Database 11g", Springer-Verlag New York, Inc., USA.
- [5] 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.
- [6] Lee, J., 2001, "A 3D Data Model for Representing Topological Relationships Between Spatial Entities in Built-Environments", unpublished Ph.D.Dissertation, Department of Geography,

The Ohio State University.

- [7] Lee, J., 2004a, "A Spatial Access Oriented Implementation of a Topological Data Model for 3D Urban Entities", *GeoInformatica* 8:3, pp. 235-262.
- [8] Lee, J., 2004b, "3D GIS for Geo-coding Human Activity in Micro-scale Urban Environments", In: M.J. Egenhofer, C. Freksa, and H.J. Miller (Eds.): *GIScience 2004*, Springer, Berlin, Germany
- [9] Li, Y and He, Z., 2008, "3D Indoor Navigation: A Framework of Combining BIM with 3D GIS," in *Proc. of 44th ISOCARP. Congress.*
- [10] Meijers, M., Zlatanova, S. and Preifer, N., 2005, "3D Geoinformation Indoors: Structuring for Evacuation", *Proceedings of Next generation 3D city models*, Bonn, Germany.
- [11] Molenaar, M., 1990, "A formal data structure for 3D vector maps", In: *Proceedings of EGIS'90.*
- [12] Munkres, J. R., 1984, "Elements of Algebraic Topology", Addison-Wesley, Menlo Park, CA
- [13] Pilouk, M., 1996, "Integrated modelling for 3D GIS", Ph.D. Dissertation, ITC.
- [14] Pu, S., Zlatanova, S., 2005, "Evacuation Route Calculation of Inner Buildings in Geo-Information for disaster management", Eds P. van Oosterom, S.Zlatanova and E.M.Fendel (Springer Verlag, Heidelberg) pp. 1143-1161.
- [15] Zlatanova, S., 2000, "On 3D topological relationships", In: *proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert System Applications*, Greenwich, London, UK, pp. 913-919.
- [16] Zlatanova, S., A. Rahman and W. Shi, 2004. "Topological models and frameworks for 3D spatial objects", *Journal of Computers & Geosciences*, 30(4): 419-428.
- [17] 박인혜, 이지영, 2009, "실내공간에서의 시간 가변적 최적경로 탐색", *한국GIS학회*, 제17권, 제3호, pp. 251-406.
- [18] 이석호, 박세호, 이지영, 2010, "3차원 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 이용한 3차원 인접성 공간질의", *한국공간정보학회*, 제18권, 제5호, pp. 93-105.

논문접수 : 2011.01.09

수정일 : 2011.02.23

심사완료 : 2011.02.24



이 석 호

2009년 서울시립대학교 공간정보공학  
공학사

2011년 서울시립대학교 대학원 공간정  
보공학 공학석사

관심분야는 3차원 GIS, 공간데이터분석



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