

# 실내 공간 분석을 위한 보행 공간관계 모델

## Navigable Space-Relation Model for Indoor Space Analysis

이 슬 지\*      이 지 영\*\*  
Seul Ji Lee      Ji Yeong Lee

**요약** 실세계의 도시에 대한 3차원 모델링은 도시계획과 의사결정을 하기 위하여 필수적인 작업이다. 또한 무선인터넷 발달과 함께 이용자의 위치를 파악하여 정보를 제공하는 위치기반서비스에 대한 소비자 증가로 많은 3차원 도시모델이 개발되고 있다. 특히 우리나라 도심지역의 경우에는 초고층 건물의 밀집으로 실외뿐만 아니라 실내공간 모델링에 대한 연구가 필요하며, 공간 모델을 통해서 최단경로 등의 공간 분석이 통한 위치기반서비스가 제공될 수 있어야 한다. 지금까지 많은 연구가 진행된 3차원 도시모델들은 피쳐 모델로, 기본요소들(primitives)을 조합하여 공간을 표현하고, 관계성은 공유하는 기본요소들을 찾아야지만 표현할 수 있기 때문에 복잡한 3차원 공간 객체들 사이에서는 관계성을 정의하기 힘들다. 따라서 최단경로와 같이 공간간의 관계성을 기반으로 도출되는 공간 분석을 하기 위해서는 공간간의 관계성 표현이 필요하다. 본 연구에서는 복잡한 3차원 실내공간간의 관계성을 효율적으로 표현하는 네트워크 기반의 위상학적 데이터 모델인 보행 공간 관계 모델을 개발하였다.

**키워드** : 보행 공간, 네트워크 구조, 공간 분석, 공간 관계

**Abstract** Three-dimensional modeling of cities in the real-world is an essential task for city planning and decision-making. And many three-dimensional city models are being developed with the development of wireless Internet and location-based services that identify the location of users and provide the information increases for consumers. Especially, in case of urban areas of Korea, indoor space modeling as well as outdoor is needed due to the high-rise buildings densities. Also location-based services should be provided through spatial analysis such as the shortest path based on a space model. Many studies of three-dimensional city models are feature models. In a feature model, space is represented by combining primitives, and relationships among spaces are represented only if shared primitives are detected. So relationships between complex three-dimensional objects in space is difficult to be defined through the feature models. In this study, Navigable space-relation model(NSRM) is developed, which is topological data model for efficient representation of spatial relationships between objects based on the network structure

**Keywords** : Navigable Space, Network Structure, Spatial Analysis, Space Relation

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

실세계를 표현하는데 있어서 2차원에서 3차원 표현으로의 요구가 증가하고 있다. 이에 따라 현실 공간에서 일어나는 여러 가지 현상을 표현하고 이해하

기 위해서 현실세계를 가상세계로 가시화하는 3차원 가상 모델이 필요하다. 특히 최근 몇 년 사이 3차원 공간정보뿐만 아니라 위치기반서비스에 대한 소비자 증가로 인하여 여러 3차원 도시모델이 개발되고 있다. 3차원 가상 모델은 현실세계의 공간정보를 가상세계 객체로 표현하는 방법을 정의하고, 이를 응용하여 도시계획, 재난관리, 관광 등의 활용시스템에

\* 이 논문은 2011년도 정부재원(교육과학기술부 학술연구조성사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음. (NRF-201104302023)  
이 논문은 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형 국토공간정보 구축 및 활용 기술개발 사업과제의 연구비지원 (06국토정보B01)에 의해 수행되었음.

\* 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정, lsj228@uos.ac.kr

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

이용되고 있다.

하지만 현재 개발되고 있는 많은 공간 데이터 모델들은 2차원에서 3차원으로 공간표현력은 증가시켰지만 그 대상이 도시의 실외공간으로 한정되어 있다는 한계점이 있다. 즉, 현실세계를 구성하는 여러 지형지물들을 3차원으로 표현하고 있지만, 그 범위는 실외공간을 중심으로 표현되어 있음으로써 실내공간까지의 표현은 이루어지지 않고 있다. 우리나라의 도심지역은 건물을 포함한 여러 지형지물들이 밀집되어 있고, 각 건물들은 점점 복잡하고 거대한 실내공간으로 발전하고 있다. 이러한 환경에서 무선인터넷 발달과 위치기반 서비스의 증가로 실외공간뿐만 아니라 실외공간과 연결된 3차원 실내공간의 위치기반 서비스의 수요가 증가하고 있다. 대표적으로 실내 내비게이션 등 위치기반서비스를 위한 실내 공간 분석을 위하여 실내공간을 표현할 수 있는 모델이 필요하다.

3차원 가상 도시모델의 저장 및 교환 포맷으로써 OGC(Open Geospatial Consortium)의 표준인 CityGML, 건축 및 토목의 목적으로 개발된 BIM (Building Information Model), 구글맵과 구글 어스의 공간정보 데이터를 저장·표현·공유하기 위한 데이터 포맷인 KML(Keyhole Markup Language)등 객체표현의 공간 모델의 대표적인 예들이 있지만 이러한 모델들은 속성정보에 대한 정보가 미비한 피쳐(feature) 표현에 중점을 둔 연구들로서 공간 분석을 하는 데에는 한계가 있다. 따라서 현실세계를 3차원 가상세계로 표현하고 공간에 대한 공간 분석이 가능한 데이터 모델을 개발하였다.

실세계의 공간은 실외공간(open-space)과 실내공간(closed-space)로 크게 2종류로 분류된다. 본 연구에서 개발한 모델은 공간의 관계성을 정의하고, 정의한 관계성을 표현하는 모델이기 때문에 피쳐모델(feature model)에서 표현하는 모든 종류의 실내·외 공간(open-space, closed-space)을 구분 짓지 않고 다룰 수 있다. 또한 공간간의 논리적 관계성뿐만 아니라 공간의 기하요소를 고려한 기하학적 관계성도 함께 정의함으로써 공간간의 관계성과 관련된 다양한 공간 분석이 가능해진다.

이를 실내공간에 적용하여, 접근가능한 공간인 보행 공간(navigable space)의 관계성을 정의함으로써 실내공간을 모델링한다. 예를 들어, <그림 1>에서 나타내고 있는 3차원 실내의 공간 중에서 휠체어로

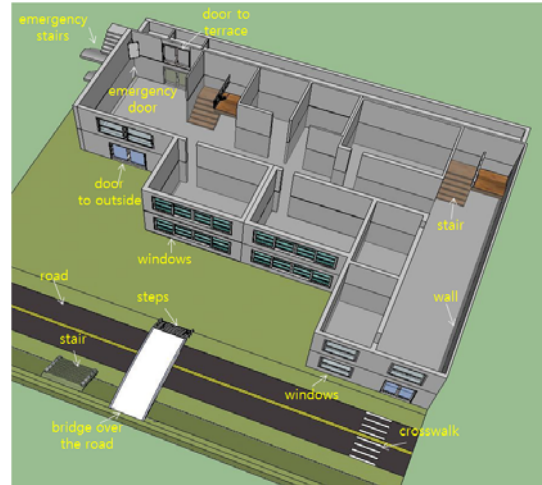


그림 1. 보행자가 이용하는 3차원 실내·외 공간 예시

이동하는 장애인이 접근가능한 공간은 <그림 2>와 같이 1층의 건물과 실외 일부로 한정되어 나타난다. 층간을 연결하는 계단은 휠체어를 이용하는 이동객 체에게는 접근할 수 없는 공간으로 정의되기 때문이다. 이러한 제한요소로 인하여 최단경로라는 공통적인 공간질의를 하였을 때 그 결과는 달라진다. 즉, 실내공간은 의미론적(semantic) 정보에 따라 다르게 정의된다. 그리고 정의된 실내공간에서의 최단경로와 같은 공간질의에 대한 공간 분석을 수행하고 표현하기 위하여 보행 공간간의 관계성(인접성, 연결성)을 표현하는 모델인 보행 공간관계 모델(navi-

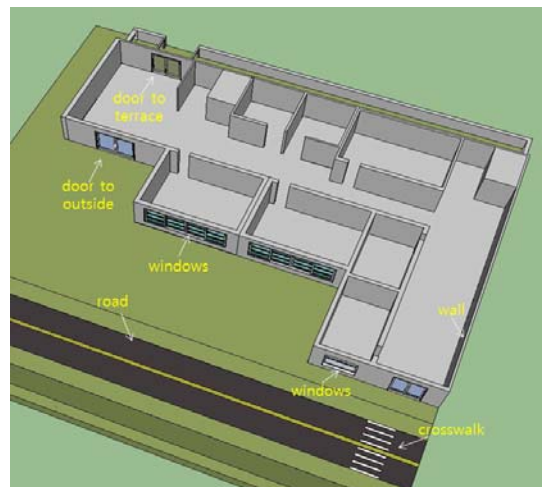


그림 2. 휠체어를 이용하는 장애인의 접근 가능한 3차원 실내·외 공간 예시

nable space-relation model, NSRM) 을 제시한다.

## 1.2 연구 범위

보행 공간관계 모델(NSRM)에서 공간의 구성요소가 되는 공간객체들을 정의하고 공간간의 관계성을 정의한다. 정의된 객체와 그 관계성은 Unified Modeling Language (UML)로 표현한다. UML에서 제공하는 다이어그램 중에서 시스템의 구조를 나타내는 클래스 다이어그램을 사용하여 모델의 구조와 관계를 표현함으로써 본 모델을 이해할 수 있다. 또한 모델을 조직하고 구조화하기 위하여 XML (eXtensible Markup Language) 스키마를 정의한다. 즉, 공간 관계 모델의 데이터 구조를 문서화하여 표현함으로써 다른 공간모델로의 교환포맷으로 활용 가능하게 하였다. 실제적으로 본 모델의 데이터 모델을 교환포맷으로 활용하기 위해서는 XML스키마의 유효성 검사가 필수적이다. 따라서 공간모델의 뷰어를 개발함으로써 본 공간 관계 모델의 XML스키마에 대한 유효성 검사를 수행할 수 있으며, 모델이 유효성을 만족할 때 모델에서 정의하는 공간의 관계성을 가시화하고, 공간간의 공간 분석을 가능하게 한다.

공간 모델에서 공간의 관계성을 정의함으로써 가능한 공간분석으로는 인접성에 기반을 둔 근린 공간 (Spatial Neighborhood)탐색과 연결성에 기반을 둔 최단경로 탐색 등이 있다. 근린 공간 탐색은 화재나 소음이 발생하는 특정 지역으로부터 그 영향이 미치는 인접한 공간의 순차 분석을 가능하게 하는 유용한 공간분석이며, 최단경로는 특정 두 지점간의 최적의 경로를 탐색하는 가장 널리 쓰이는 기초적인 공간분석이다. 이처럼 관계성에 기반을 둔 공간분석은 본 모델을 통해 수행될 수 있다. 본 연구에서는 추가적인 뷰어를 개발함으로써 실내 공간을 표현할 뿐만 아니라, Dijkstra 알고리즘을 적용하여 공간간의 최단경로 분석을 가능하게 하였다.

## 2. 관련 연구

실세계의 도시에 대한 3차원 모델링은 도시계획과 의사결정을 하기 위하여 필수적인 작업이다. 건물의 실외와 실내를 위상학적으로 연결하는 3차원 도시 모델링의 필요성을 인지하고 이를 위한 개념 정립에 대한 연구가 이루어졌다[9]. 연구에 따르면 현재까지

3차원 GIS분야에서 2차원 빌딩영역에서 3차원 기하학적 모델링 연구들은 데이터가 다양하지 못하고, 서로 다른 응용분야(예를 들어 건물의 안정성, 접근성, 모니터링, 계획)로 분리되어있기 때문에 완전한 3차원 모델링은 이루어지지 못하고 있다는 한계점을 지적하였다. 그리고 3차원 도시 모델링의 응용분야를 위하여 빌딩과 외부 공간 사이의 연결성과 보행자의 이동공간의 연결성을 표현하기 위하여 다루어지는 개념으로써 보행 공간(navigable space)을 불연속적인 각각의 공간들을 위상학적으로 연결시킨 하나의 3차원 공간그룹으로 정의하였다. 불연속적인 공간은 이동객체인 보행자의 접근 가능한, 또는 이동 가능한 공간을 의미하며, 공간의 기하학적 요소와 공간과 공간을 접근하는 보행자의 주변상황에 대한 의미론적(semantic) 세부사항 모두가 정의되어야 한다.

본 논문에서 모델링하고자 하는 공간은 위 연구의 보행공간 개념을 비롯하여 정립된 3차원 도시 모델 개념을 이용하여 실제적인 3차원 실내 공간 모델을 개발하였다. 특히 본 모델에서 개발한 3차원 공간 모델은 위상학적으로 연결된 공간간의 관계성을 표현하는 모델로써, 도시모델로 활용될 수 있는 여러 응용분야 중에서 실내 긴급 구조를 원할 수 있는 위상학적모델이 될 수 있겠다.

위상학적 모델은 그 역할에 따라 크게 위상 정의 모델(topology definition model)과 위상 표현 모델(topology representation model)로 분류할 수 있다. 위상 정의 모델은 객체 간에 어떤 관계성이 존재하는지 찾는 모델로써, 대표적인 예로 9-intersection model[3]과 dimensional model(DM)[1]이 있다. 위상 표현 모델은 객체 간에 존재하는 위상학적 관계성을 정립하고 표현하는 모델이며, 3가지로 분류된다. B-rep(Boundary representation)기반의 데이터 모델로써 위상학적 기본요소(topological primitives)들로 관계를 정립하는 방법, 네트워크 기반의 데이터 모델로써 그래프 기반으로 정립하는 방법, 그리고 행렬을 이용한 Matrix기반 접근방법이 있다.

위상학적 관계성을 정립하는 연구는 주로 노드(node), 아크(arc), 에지(edge), 페이스(face), 솔리드(solid)와 같은 기본요소들(primitives)을 이용한 B-rep을 기반으로 하여 이루어졌다. 그 대표적인 모델의 예로, Three-Dimensional Formal Data Structure(3DFDS)[6], Tetrahedral Network(TEN) [8],

Simplified Spatial Model(SSM)[10], Urban Data Model(UDM)[2]이 있으며, 위 3차원 위상학적 모델들의 구조와 특징에 따라 응용분야에 적용하였을 때의 장단점을 비교한 연구 또한 수행되었다[11].

대표적인 B-rep기반의 모델들은 공간객체를 나타낼 때 기본요소들의 조합을 이용하며, 이에 따라 객체간의 위상학적 관계성을 파악하기 위해서는 기본요소 간에 공유하고 있는 모든 기본요소들을 찾아야 한다. 이러한 모델의 구조적 특성 때문에 공간의 기하학적 표현이나 공간객체의 가시화부분에는 적합할 수 있지만 공간 객체가 복잡할수록 객체 사이의 위상관계성을 파악하기에 어려움이 따른다.

따라서 복잡한 3차원 공간 객체들 사이의 위상관계를 간단하게 표현해주기 위하여 NRS(Node-Relation Structure)[4]가 정립되었다. 공간간의 관계성을 Poincaré duality[7]에 따라 버텍스(vertex)와 에지(edge)로 구성되는 그래프로 표현하며, 표현된 각각의 공간을 계층적으로 모델링하는 Combinatorial Data Model(CDM)[5]이 대표적인 네트워크 기반의 위상학적 데이터 모델이다.

본 연구에서는 실내공간의 관계성을 표현하는 위상학적 모델로써, 세 가지 위상학적 정립 방법 중에서 공간간의 관계성(인접성 및 연결성)을 표현할 때 더 효율적이라고 검증한 연구 결과[13]에 따라 네트워크 구조를 기반으로 보행 공간 관계 모델(NSRM)을 개발하였다. 이는 노드, 아크, 에지, 페이스, 솔리드 등의 기본요소들의 조합을 이용하여 실내 공간을 표현하는 B-rep기반의 모델에 비하여 3차원 공간객체 뿐만 아니라 공간 객체 사이의 3차원 공간 객체들의 위상학적 관계를 노드, 에지인 0차원과 1차원으로 표현함으로써 복잡한 공간객체도 보다 간단하고 효율적으로 표현이 가능하게 하였다. 이에 따라 공간간의 관계성(인접성, 연결성)을 기반으로 하는 공간 분석을 보다 효율적으로 가능하게 하였다.

### 3. 연구내용

#### 3.1 시맨틱 정보(Semantic Information)

한 건물 내에 존재하는 각각의 보행 공간들 간의 위상학적 관계성으로 공간을 표현하는 모델을 정의한다. 본 연구에서 다루는 공간인 보행 공간들은 실내공간을 이루는 방, 복도, 엘리베이터, 층계 등의 분할된 공간으로, 분할된 공간 중에서 이동객체가 접

근할 수 있는 공간을 의미한다. 그리고 각 공간의 연결성을 정의함으로써 건물의 실내를 표현한다. 건물의 3차원 실내공간을 이용하는 이동객체의 정보와 건물자체의 정보가 속성으로 주어지면, 이를 만족하는 보행 공간간의 관계를 표현할 수 있다. 예를 들어, 서론에서 제시한 <그림 1>과 같은 건물의 전체 공간 중에서 이동객체가 휠체어를 이용하는 장애인으로 속성이 주어졌을 때 전체 실내공간 중에서 휠체어가 접근할 수 있는 공간은 <그림 2>에서와 같이 정의된다.

본 모델은 실내공간에서 3차원 공간간의 관계성을 정의하기 위한 위상학적 정립방법으로, 기존에 3차원 객체 기반의 위상학적 데이터 모델에서 사용된 B-rep 기반이 아닌, 네트워크 구조를 응용하여 설계한다. 공간의 경로분석과 같이 공간 사이의 관계성을 정의함으로써 도출 가능한 공간 분석 수행에 활용 가능한 본 모델을 정의하기 위하여 네트워크 구조에서 가지는 네 가지의 속성들을 정의하고, 정의한 속성에 따라 보행 공간관계 모델(NSRM)을 설계할 수 있다.

첫 번째로 상징 공간(symbolic space)를 정의해야 한다. 하나의 건물은 여러 실내 공간들의 조합으로 이루어진다. 실내 공간들의 관계성을 정의하기 때문에 각각의 공간들의 기하학적 요소는 고려하지 않고 정성적 표현(qualitative description)만으로 공간을 정의한다. 예를 들어, 방이라는 공간은 방의 고유번호로 정의하고 식별할 수 있다.

두 번째로, Poincaré duality[7]은 3차원 피쳐(feature)나 객체(object)사이의 위상학적 관계를 도출하여 쌍대 그래프(dual graph)로 나타내기 위한 속성이다. 즉, 실내의 각 공간들을 쌍대 그래프(dual graph) 형태로 변환하기 위한 방법으로써, 3-cell로 표현될 수 있는 3차원 객체는 쌍대 공간(dual space)에서 0-cell로 변환되며, 같은 방식으로 2-cell로 표현될 수 있는 2차원 폴리곤 객체는 1-cell로 변환된다. 이에 따라 <그림 3>에서 보듯이, 건물을 구성하는 3차원 실내공간을 상징적 공간(symbolic space)로써  $s_i$ 로 정의하고 Poincaré duality에 따라 0차원 노드인  $s'_i$ 로 변환하여 정의한다. 그리고 두 실내공간의 2차원 폴리곤은 3차원 실내공간들에 의한 공유면으로써, 실세계에서 문, 창문 또는 벽에 상응하고 이는 인접성과 연결성이라는 위상관계를 나타낸다. 이러한 2차원 공유면을  $f_i$ 로 정의하고, 이는 두 공간

$s_1$ 과  $s_2$ 간의 인접이라는 관계성을 의미하며, 쌍대 공간에서 1차원 에지인  $f'_i$ 로 변환하여 정의한다.

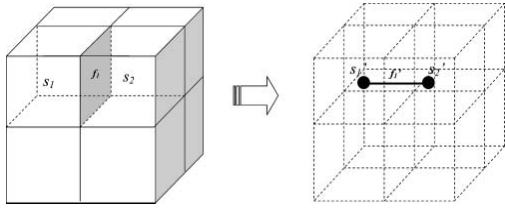


그림 3. Duality in 3-cells[7]

세 번째로, 실내공간의 하위공간분할(sub-spacing)을 정의한다. 공간분할은 크게 두 번의 과정으로 진행된다. 먼저, 전체 건물의 실내는 방, 복도, 층계 등과 같은 상징적 공간들로 공간분할을 한다. 각각의 분할된 공간들은 Poincaré duality에 의하여 0차원 노드로 변환되어 표현하고 그 관계성은 1차원 에지로 표현되는데, 공간상의 연결성을 바탕으로 건물 내에서의 공간 분석을 하기 위해서는 연결성에 기하학적 속성이 필요하다. 이를 위하여 각각의 상징적 공간으로 분할하여 표현된 공간들 간에 실제적으로 연결된 지점을 고려하여 두 번째 공간분할을 수행하여야 한다. 그리고 이를 하위공간분할로 표현한다. 예를 들어, 첫 번째 공간분할로 건물에서 복도(H)가 정의되고, 복도에서 각각의 방과의 실제적인 연결성을 표현하기 위하여 연결지점이 생기는 지점마다 다시 한 번 분할하여 하위공간들(Hi)을 정의한다(그림 4).

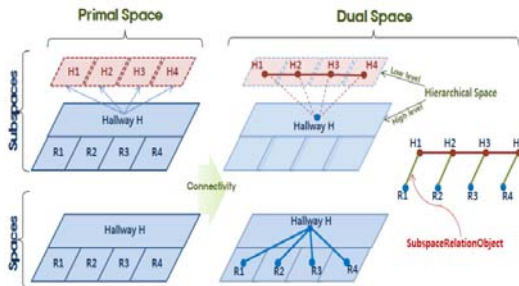


그림 4. 공간분할에 따른 공간 계층 구조

마지막으로 계층구조를 정의한다. 기존의 공간과 이를 하위분할한 공간간의 관계성을 정의한다. <그림 4>에서 실내공간의 방은  $R_i$ 로, 복도는 H로 공간분할이 되고, H는 다시  $H_i$ 로 하위공간들로 분할된다. 그리고 H를 상위수준으로 볼 때  $H_i$ 는 H에 대한

하위 수준으로 정의되고, 점선으로 계층적 공간으로 정의된다. 복도에 대한 최하위 수준의 공간들(Hi)과 최상위 수준에서의 방에 대한 공간들(Ri)간에 연결성 네트워크를 형성한다. 즉, 기존의 상징적 공간간의 관계성뿐만 아니라 기하학적 요소를 추가한 관계성 모두를 정의함으로써 논리적인 관계성을 통한 공간 분석과 기하학적 요소를 결합한 공간 분석이 가능하게 된다.

### 3.2 보행 공간관계 모델(Navigable space-relation model)

3.1 시멘틱 정보에서 제시한 4가지 속성을 이용하여 3차원 실내공간 관계성을 표현하는 모델을 정의한다.

먼저 실내 공간을 벽과 같은 물리적 단위나 센서와 같은 커버리지 단위로 공간분할(sub-spacing)하고, 다음으로 분할된 공간간의 관계성을 정의한다. 여기서 분할되는 공간은 시멘틱 정보에 따라 정의되는 보행 공간을 의미한다.

본 모델은 2가지 관계성 모델로 구성된다. 첫 번째는, 시멘틱 속성 정보를 기초로 하여 공간간의 관계성을 정의한 논리적 공간관계 모델(Logical Space-Relation Model)이다. 두 번째는, 이동객체의 실제적인 공간간의 연결성을 나타내기 위해, 기하학적인 요소를 추가하여 정의한 기하학적 공간관계 모델(Geometric Space-Relation Model)이다. 기하학적 모델에서는 기존의 공간을 이동객체의 이동경로를 고려하고, 문(door) 등의 연결지점에 따라 공간분할을 수행하여 생성되는 하위공간(subspace)간의 관계성을 정의한 모델이다. 따라서 기존의 공간간의 관계성에 분할된 하위공간간의 관계성까지 계층적으로 구조화하고, 기하학적인 요소까지 정의하고 있다.

<그림 5>에서 UML 클래스 다이어그램으로 관계성을 보면, 공간관계표현의 최상위 클래스는 <SpaceRelationship> 클래스이며, 이는 최상위 피쳐(feature) 클래스인 <IndoorObject>를 상속받는다. 공간관계성을 표현하기 위해 적용되는 네트워크 모델에 따라 <Logical\_SpaceRelationship>과 <Geometric\_SpaceRelationship>으로 구체화하였고, 이들은 각각 <SpaceRelationship>클래스를 상속받아 공간과 관계를 표현하는 클래스를 참조한다. 공간의 관계성을 표현하는 그래프에서는 두 관계성 중 하나를 선택하여 정의하게 된다.

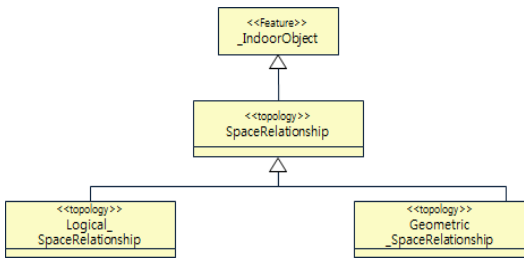


그림 5. 두 가지 공간관계성 UML

3.2.1 논리적 공간관계 모델(Logical Space-Relation Model)

논리적 공간관계 모델은 건물의 실내공간을 벽과 같은 물리적 단위, 또는 센서와 같은 커버리지 단위로 공간을 분할한 상정적 공간에 대하여 공간간의 논리적(또는 개념적) 관계성을 정의한 모델이다. 기하학적 요소가 포함되지 않은 개념적 모델로, 공간간의 관계성을 정의함으로써 공간질에 맞는 공간 분석을 하기 위하여 필요한 모델이다. 접근성이나 인접성과 같은 기하학적 정보가 필요하지 않은 분석에 활용될 수 있고, 기하학적 정보가 고정되어 있지 않기 때문에 여러 응용이 가능하다.

공간간의 관계를 표현하는 여러 가지 방법 중에서

그 효율성이 입증된 네트워크 구조를 이용한 위상학적 접근방법을 응용하여 정의한다. 이동객체가 접근 가능한 공간에 대하여 건물을 분할하고 분할된 각 공간을 Poincaré duality에 따라 그래프로 표현한다. 이는 Lee의 연구[5]에서 공간을 그래프 이론을 적용하여 네트워크 기반으로 표현한 것을 참고하였다.

<그림 6>은 분할된 보행 공간들의 논리적 관계성을 모델링한 논리적 공간관계 모델을 UML 클래스 다이어그램으로 표현한 것이다. 본 모델은 공간들의 논리적인 관계를 정의하는 모델로 위상관계를 대표하는 피처인 <SpaceRelationship>을 상속받음으로써 <Logical\_SpaceRelationship>을 정의한다. 관계성은 크게 <SpaceObject>와 <Logical\_RelationObject> 2가지 클래스를 참조하여 정의한다. 이 때 지리학적 객체들 묘사는 GML(Geography Mark-up Language)를 응용하였다.

첫 번째, <SpaceObject>는 실내의 분할된 각각의 공간이며, <\_IndoorObject>를 상속받아 생성한다. 이를 네트워크로 표현하기 위해서는 3차원의 공간은 0차원 노드인 <Logical\_Node>를 참조하여 표현하며, <Logical\_Node>는 gml에서 정의하는 노드(gml::Node)를 참조하여 정의한다.

두 번째, <Logical\_RelationObject>는 공간객체간

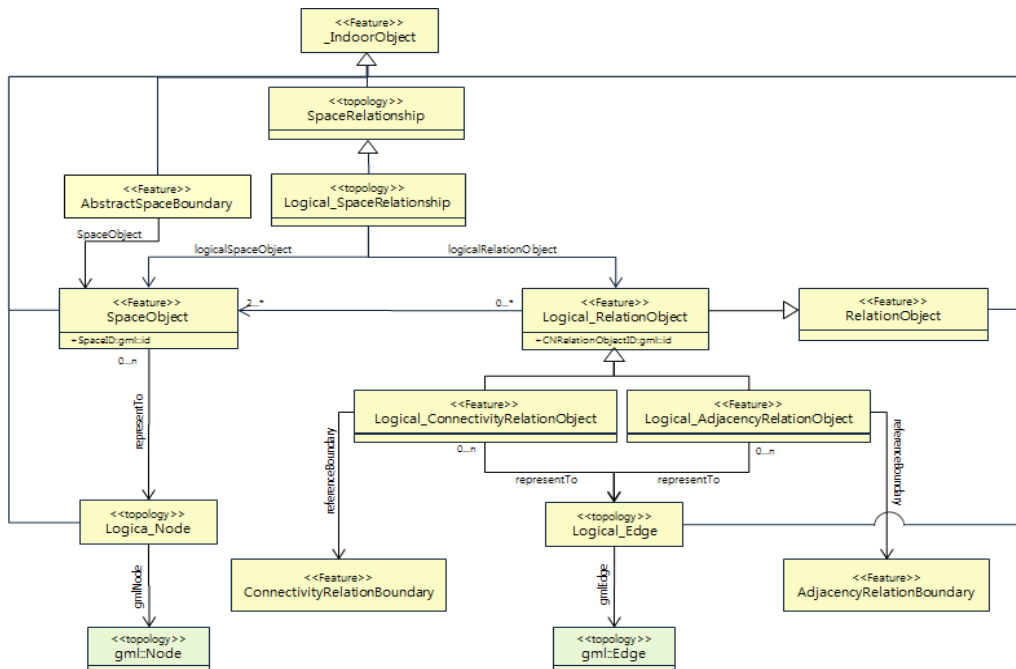


그림 6. 논리적 공간관계 모델의 UML 클래스 다이어그램

의 관계성을 정의하는 피처클래스로써, 2개 이상의 <SpaceObject>와 관계함으로써 생기는 연결성과 인접성의 두 가지 관계성으로 구체화된다. 각 관계성 클래스인 <Logical\_ConnectivityRelationObject>와 <Logical\_AdjacencyRelationObject>는 node를 연결하는 1차원 <Logical\_Edge>로 표현되고, <Logical\_Edge>는 노드와 마찬가지로 gml에서 정의하는 에지(gml::Edge)를 참조하여 정의한다.

### 3.2.2 기하학적 공간관계 모델(Geometric Space-Relation Model)

기하학적 공간관계 모델은 <Logical Space-Relation>에의 관계성 객체에 임피던스 값을 부여한 모델이다. 임피던스 값을 부여한다는 것은 공간 관계성에 가중치를 할당하는 것으로써, 공간질의 종류에 따라 필요한 가중치의 값이 다르며, 가중치가 미치는 결과도 달라진다. 본 연구에서는 가중치로 할당할 수 있는 여러 값들, 예를 들어 거리, 시간, 속력 중에서 기하학적 거리를 사용하였다. 이는 최단거리 등의 기하학적 정보가 필요한 공간 분석을 수행할 수 있게 하기 위함이며, 이동객체의 연결된 공간 사이의 이동거리를 반영한다.

<그림 7>은 공간들의 기하학적 관계성 모델링을 UML 클래스 다이어그램으로 표현한 것이다. 논리

적 모델에 기하학적 요소를 추가한 모델로, 논리적 모델과 마찬가지로 위상관계를 대표하는 피처인 <SpaceRelationship>을 상속받음으로써 <Geometric\_SpaceRelationship>을 정의한다. 관계성은 크게 <Geometric\_SpaceObject>와 <Geometric\_RelationObject> 2가지 피처 클래스를 참조하여 정의한다.

첫 번째, <Geometric\_SpaceObject>는 논리적 공간관계 모델에서 1차원 노드로 표현한 공간객체인 <SpaceObject>를 상속받아 새로운 공간객체로 정의한다. 논리적 모델에서와 마찬가지로 공간객체는 1차원 노드로 표현한다. 3차원 실내공간 객체는 하위공간분할 여부에 따라 계층구조를 갖기 때문에 상위수준의 공간은 <Geometric\_MasterNode>로 표현하고, 하위수준의 공간은 <Geometric\_Node>로 표현하며, 두 노드 모두 gml::Node를 참조하여 정의한다.

두 번째, <Geometric\_SpaceRelationship>도 논리적 모델과 같은 <RelationObject> 피처 클래스를 상속받아 기하학적 관계성을 정의하는 객체 <Geometric\_RelationObject>를 정의한다. 관계성은 연결성 <Geometric\_ConnectivityRelationObject>과 인접성 <Geometric\_AdjacencyRelationObject>이 있으며, 두 관계성 객체 모두 gml에서 정의한 에지(Edge)를 참조하여 1차원 에지로 표현한다. 그리고

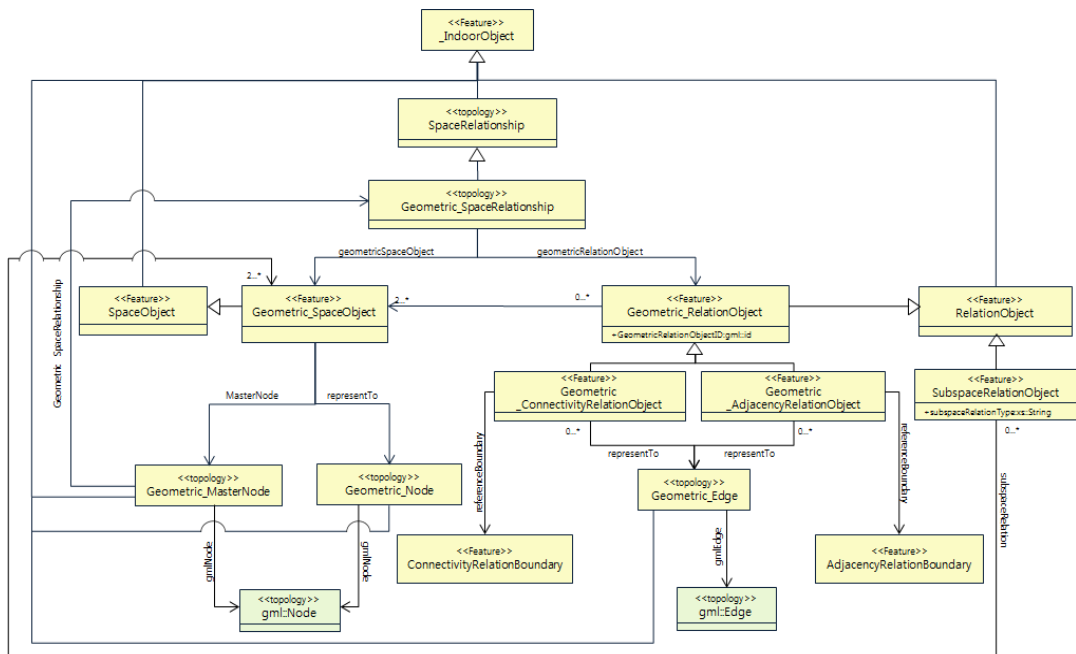


그림 7. 기하학적 공간관계 모델의 UML 클래스 다이어그램

기하학적 모델에는 하위공간분할이 있을 경우에 계층적 구조에 의한 관계성을 정의하는 <Subspace RelationObject>를 정의한다. 하위공간간의 관계성 또한 <RelationObject>를 상속받아 정의하며, 하나의 관계성객체는 둘 이상의 <Geometric\_Space Object>와 관계맺음으로써 정의될 수 있다.

### 3.3 XML 스키마 정의

UML의 클래스 다이어그램을 사용하여 보행 공간 관계 모델의 구조와 구성요소들의 관계를 표현하였다. 그리고 정의한 본 모델을 문서로 조직하고 구조화하기 위하여 XML 표준화 기구인 W3C에서 제공하는 XML 스키마 기술을 바탕으로 본 모델에 대한 XML 스키마를 설계한다.

XML은 확장 가능한 마크업 언어(eXtensible Markup Language)로써 텍스트로 이루어져 있어 어떤 시스템든지 읽을 수 있고, 문서 자체가 정보와 구조를 포함하고 있어 그 의미를 쉽게 이해할 수 있다는 장점이 있다. 현재 XML은 데이터베이스, 웹문서 작성 및 개발, 전자문서 교환 등 여러 분야에 적용되고 있고, 본 연구에서는 개발한 모델의 교환문서로 적용을 위하여 XML을 사용하였다.

본 모델의 구조화와 표현을 정의한 스키마는, XML 스키마가 가지는 특징에 따라 여러 데이터 타입과 형식을 지원하고, 확장성을 가짐으로써 다른 스키마의 내용을 사용하거나 본 모델의 스키마를 다른 스키마에서 사용할 수 있게 구조화하였다. 따라서 공간 관계 모델의 XML스키마는 다른 공간모델로의 교환포맷으로 활용가능하다. 그리고 실제적으로 건물에 대한 3차원 공간 모델링은 XML 스키마

를 기반으로 만들어진다.

<그림 8>은 모델을 기반으로 하여 만든 XML스키마 중에서 루트 엘리먼트인 <schema>와 본 모델의 최상위 피쳐 클래스인 엘리먼트 <indoorObject>정의 부분이다. 본 연구는 건물의 실내 공간정보를 바탕으로 생성한 모델이기 때문에 지리학적 객체들을 묘사하기 위해 사용되어 지는 마크업 언어(mark-up language)인 GML(Geography Mark-up Language)를 응용하여 정의하였다.

클래스다이어그램으로 표현한 각 모델의 클래스들은 모델 XML 스키마로 문서화할 시에 스테레오타입에 따라 데이터 타입이 결정된다. 특히 상위클래스를 상속받는 클래스의 경우에는 자신의 상위클래스의 데이터타입을 기반으로 확장하여 정의한다. 상위 클래스일 경우에는 스테레오타입에 따라 GML에서 정의한타입을 따르게 된다. 본 모델에 대한 UML에서는 두 가지 스테레오타입을 정의하고 있다. 《feature》는 ISO 19109의 정의에 따라 시멘틱 피처를 표현하는 클래스이며, 추상 GML 형식(abstract GML type)인 <AbstractTopologyType>을 기반으로 한다. 《topology》는 객체간의 위상관계를 표현하는 클래스를 나타내는 스테레오타입으로, 추상 GML 형식인 <AbstractTopologyType>을 기반으로 한다.

<그림 8>을 보면, 최상위 피쳐 클래스인 <indoorObject>는 XML스키마에서 복합데이터형(complextype)인 <AbstractIndoorObjectType> 엘리먼트를 새로 정의하고, 정의한 타입의 content는 gml의 <AbstractFeatureType>을 기반으로 하였다. 그리고 <AbstractIndoorObjectType>에서 어떤 중

```

1  <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2  <xs:schema xmlns="http://www.u-indoor.org/indoorgml/0.1" xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
3    xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:ns1="http://www.u-indoor.org/indoorml/0.1"
4    targetNamespace="http://www.u-indoor.org/indoorml/0.1" elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="unqualified">
5    <xs:import namespace="http://www.opengis.net/gml" schemaLocation="3.1.1/base/gml.xsd"/>
6    <!------->
7    <xs:complexType name="AbstractIndoorObjectType">
8      <xs:complexContent>
9        <xs:extension base="gml:AbstractFeatureType">
10         <xs:sequence>
11           <xs:element name="creationDate" type="xs:date" minOccurs="0"/>
12           <xs:element name="terminationDate" type="xs:date" minOccurs="0"/>
13           <xs:element ref="ns1:GenericApplicationPropertyOfCityObject" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
14         </xs:sequence>
15       </xs:extension>
16     </xs:complexContent>
17   </xs:complexType>
18   <!------->
19   <xs:element name="_IndoorObject" type="AbstractIndoorObjectType" substitutionGroup="gml:_Feature"/>
20   <!------->
21   <xs:element name="GenericApplicationPropertyOfIndoorObject" type="xs:anyType" abstract="true"/>
22   <!------->

```

그림 8. XML 스키마 부분에서



류든 상관없이 속성값을 가질 수 있는 <Generic ApplicationPropertyOfIndoorObject >엘리먼트를 정의하고, 이를 참조함으로써 데이터에 맞게 확장 가능한 <\_indoorObject>를 정의하였다. 예시에서 보듯이 최상위 클래스인 <\_indoorObject>를 기준으로 UML 클래스 다이어그램으로 표현한 본 모델의 모든 클래스는 XML스키마에서 GML을 응용하여 정의하였다.

## 4. 적용 및 결과

### 4.1 XML Instance 적용

보행 공간관계 모델을 UML로 표현하였고, 이를 기반으로 XML 스키마를 정의하였다. 연구내용에서 공간의 관계성을 표현하는 모델을 문서화하였고, 적용에서는 실제적인 건물의 3차원 실내공간 관계성을 표현해보기 위하여 XML 스키마를 기반으로 XML 데이터 문서를 작성하였다. 대상 건물로 서울시립대학교 21세기관 건물을 적용하였다.

<그림 9>는 대상 건물의 1층부터 4층까지의 실내 공간에 대한 관계성을 정의한 xml 문서의 일부분이다. 건물의 3차원 실내공간을 방, 복도, 층계 등으로 공간분할하고, 필요에 따라 하위 공간 분할된 각 공간객체(예: 복도)에 ID를 부여하였다. 이 때 보행 공간관계 모델을 구성하는 2가지 모델 중에서 논리적 관계성을 나타내는 모델에서의 공간객체는 cn, 기하학적 요소를 포함하는 관계성을 나타내는 모델에서의 공간객체는 gn으로 구분하여 각 모델에서의 공간 관계성을 정의한다. 그리고 본 모델에서 정의하는 관계성은 연결성과 인접성으로 각각 con과 adj로 구분하여 그 종류를 명시한다. 아이디 값으로 식별되는 각 공간객체는 네트워크 구조를 기반으로 하기 때문에 1차원 노드로 표현되고, 좌표값을 명시한다. 관계성을 정의하는 모델에서 좌표값을 명시하는 이유는 본 모델을 구성하는 두 가지 모델 중 기하학적 모델에서 관계성을 표현하는 2차원 에지에 기하학적 요소로 거리값을 부여하기 때문이다. 따라서 좌표값은 두 노드사이의 거리를 도출하기 위한 기본정보로 사용된다. 그리고 관계성을 나타내는 객체는 2차원 에지로 표현되고, 에지의 양 끝 버텍스(vertices)의 공간객체 정보를 함께 명시한다.

공간 데이터를 적용하기 위해서 기반이 되는 XML 스키마는 그 유효성이 검증이 된 것이어야 한

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<n-partiteGraph xmlns="http://3dgis.uos.ac.kr/indoorml"
  xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
  xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <spaceRelationshipMember>
    <genericSpace>
      <spaceRelationship gml:id="space_topo1">
        <name>SpaceRelation_Sample</name>
        <SpaceBoundary gml:id="g400100g403801">
          <BoundaryType>gn</BoundaryType>
          <RelationType>con</RelationType>
        </SpaceBoundary>
      </spaceRelationship>
    </genericSpace>
  </spaceRelationshipMember>
  ...
  <GN_SpaceObject gml:id="space_g400100">
    <representTo href="#representNode_g400100"/>
    <gml:Node gml:id="representNode_g400100">
      <gml:pointProperty>
        <gml:point>
          <gml:pos> 1052667 170966 9000 </gml:pos>
        </gml:point>
      </gml:pointProperty>
    </gml:Node>
  </GN_SpaceObject>
  ...
  <GN_ConnectivityRelationObject gml:id="conRelation4053">
    <GN_SpaceObject xlink:href="#g402000"/></GN_SpaceObject>
    <GN_SpaceObject xlink:href="#g403807"/></GN_SpaceObject>
    <referenceBoundary xlink:href="g402000g403807"/></referenceBoundary>
    <representTo xlink:href="#gnrepresentEdge_4053"/>
    <gml:Edge gml:id="representEdge_4053">
      <gml:Node xlink:href="#g402000"/>
      <gml:Node xlink:href="#g403807"/>
      <gml:curveProperty>
        <gml:LineString>
          <gml:posList> 1057079 211633 9000 1062697 215983 9000</gml:posList>
        </gml:LineString>
      </gml:curveProperty>
    </gml:Edge>
  </GN_ConnectivityRelationObject>
```

그림 9. 예시 데이터 적용

다. 그리고 유효성이 검증된 XML 스키마를 기반으로 네트워크 구조로 표현된 공간 관계성을 가시화함으로써 예시 데이터 적용 결과를 확인한다. 이를 위하여 작성된 샘플 데이터를 가시화하기 위한 뷰어를 개발하였다. 뷰어는 기본적인 건물에 대한 네트워크 데이터를 가시화하여 관계성을 표현하여 실내공간에 공간들이 어떠한 관계성을 가지고 있는지 확인할 수 있게 한다. 뿐만 아니라, 관계성을 정의함으로써 수행할 수 있는 공간 분석 중에서 임의의 두 공간사이의 최단경로를 분석할 수 있다.

<그림 10>은 대상 건물에 대한 XML 문서를 개발한 뷰어로 열었을 때를 나타낸다. 대상 건물의 공간정보 데이터를 가시화하고, 임의의 두 공간을 나타내는 두 노드간의 최단경로를 도출한 결과를 보여준다. 뷰어에서 XML 스키마를 따르는 예시 데이터를 불러왔을 시에 데이터를 가시화하기에 앞서 유효성을 먼저 검증한 후에 노드와 에지 데이터를 가시화하여 관계성을 보여주게 된다. 각 층별로 네트워크 데이터를 가시화하고, 각 노드에 해당하는 공간

의 정보를 속성값으로 보여준다. 그리고 공간간의 관계성을 의미하는 에지 또한 가시화함으로써, 어떤 공간사이에 연결성이 존재하는지 확인할 수 있다. 개발한 뷰어에서는 이동객체의 이동경로를 가시화하기 위하여 인접성은 표현하지 않고, 이동 가능한 연결성만을 표현하고 있다.

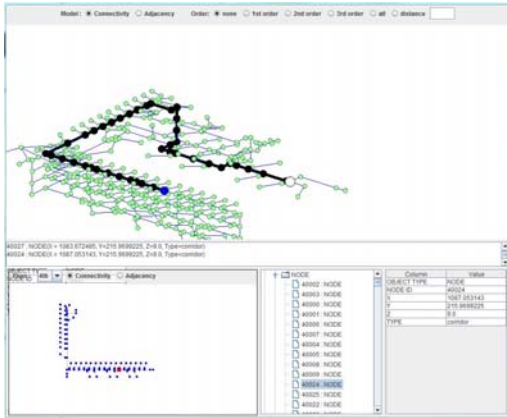


그림 10. 공간 관계 뷰어

4.2 다른 모델로의 확장

본 모델은 공간의 관계성 자체를 표현하고 있고, 이에 따라 최단경로 등의 공간 분석이 가능하다. 하지만 B-rep기반의 데이터 모델처럼 대상건물의 실제적인 방, 복도, 층계 등의 물리적인 형태는 표현하지 않는다. 이는 공간의 관계성을 좀 더 간단하고 효율적으로 표현하기 위함이다. 따라서 실내와 실외와 상관없이 공간 자체를 정의하고, 공간 사이의 관계성을 표현할 수 있었다. 본 모델은 공간 관계성을 XML 스키마로 문서화하였기 때문에 XML스키마가 가지는 호환성 특징에 따라 다른 XML 스키마에서 본 XML스키마를 가져다가 쓸 수 있다는 장점이 있다. 따라서 다른 공간 모델에서 본 연구 결과로 나온 스키마를 가져오기(importing)하여 공간을 모델링한다면, 물리적 공간 형태를 표현함과 동시에 본 모델에서 표현해주는 공간간의 관계성까지 정의가 가능하게 된다.

예를 들어, <그림 11>은 대상건물의 1층의 출구에서부터 4층의 특정 방까지의 최단경로를 산출한 결과이다. 경로에 해당하는 공간들을 실제 공간의 물리적 형태를 표현하고, 물리적 관계성까지 확인할 수 있다. 즉, 공간 표현모델인 피처 모델에 본 모델

을 가져와서 사용한다면, 공간을 실제모습과 같이 기하학적으로 표현할 뿐만 아니라 공간 분석까지 가능한 모델로 확장시킬 수 있다.



그림 11. 기하학적 공간에서의 최단경로 분석 결과 예시

5. 결론

이동통신의 발달로 단말기를 통한 무선인터넷 기술을 이용함으로써, 이용자의 위치를 파악하여 정보를 제공하는 위치기반 서비스는 발전하고 있고, 위치기반 서비스에 대한 수요도 증가하고 있다. 이에 따라 공간정보를 활용한 여러 3차원 도시모델이 개발되고 있다. 특히 우리나라 도심지역의 경우에는 초고층 건물들의 밀집으로 인해 실내공간에 대한 모델링에 대한 연구가 필요하며, 공간 모델을 통해서 최단경로 등의 공간 분석을 통한 서비스가 제공될 수 있어야 한다.

공간 분석이 가능한 공간 모델에서는 공간의 위상학적 관계성이 정의되어야 한다. 하지만 현재 많은 3차원 도시모델들은 피처 모델로써 기본요소들(primitives)을 조합하여 공간을 표현하고, 관계성은 공유하는 기본요소들을 찾아야지만 표현할 수 있기 때문에 복잡한 3차원 공간 객체들 사이에서는 관계성을 정의하기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 공간 객체들 사이의 관계를 네트워크 구조로 모델링하는 네트워크 기반의 위상학적 데이터 모델로써 보행 공간관계 모델(NSRM)을 개발하였다. 본 모델에서는 이동객체가 접근할 수 있는 실내공간에 대하여, 3차원 공간 관계성을 표현한다.

보행 공간관계 모델은 시멘틱 정보를 기반으로 하여 공간간의 논리적 관계성을 정의한 논리적 공간관계 모델(Logical Space-Relation Model)과 이동객체의 실제적인 공간간의 연결성을 나타내기 위해 임피던스 값을 기하학적 거리로 할당하여 기하학적 관계성을 정의한 기하학적 공간관계 모델(Geometric Space-Relation)로 구분되어 정의하였다. 정의된 본 모델은 UML 클래스 다이어그램으로 표현하고, 이를 기반으로 XML 스키마를 작성하였다.

본 모델을 기반으로 설계한 XML 스키마는 XML 스키마의 호환성 특징에 따라, 다른 공간 모델과 호환가능하다. 따라서 본 모델을 CityGML과 같은 공간 표현 모델인 기하학적 모델에 가져왔을 때 (importing), 기하학적 모델에서 제공하는 기하학적 기본요소들의 조합으로 실세계의 3차원 실내공간을 가상모델로 표현할 수 있음과 동시에 본 모델의 공간 관계성 정의로 인한 공간 분석까지 가능하게 된다. 이는 실내 내비게이션에 응용될 수 있겠다.

본 모델에서 정의한 공간은 실내, 또는 실내공간으로 제약되지 않는 통합적인 공간을 의미한다. 따라서 현재 수행한 연구에서는 건물의 실내공간을 모델링하고, 임의의 건물을 대상으로 예시 데이터(XML instance)를 작성하였지만, 향후연구에서는 모델의 네트워크 개념을 확장하여 실내와 실외를 모두 표현하는 하나의 3차원 공간 통합 모델을 만들 수 있겠다. 또한 XML 스키마를 기반으로 실제 건물의 실내공간의 관계성을 표현하는 XML 문서를 생성할 때, 방, 복도, 층계 등의 분할된 공간을 개발자가 모두 정의하였지만, 향후 연구를 통해서 건물 데이터에서 자동적으로 벽과 같은 물리적 단위로 공간을 분할하여 정의하고, 정의된 공간에 따라 관계성까지 일련의 자동화 과정을 통해 도출함으로써 본 모델을 보완해야 하겠다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Billen, S. Zlatanova, P. Mathonet, F. Boniver, 2002, The dimensional model: a framework to distinguish spatial relationships. In: Richardson, D., van Oosterom, P. (Eds.), *Advances in Spatial Data handling*, 10th International Symposium on Spatial Data Handling. Springer, Berlin, pp. 285 - 298.
- [2] V. Coors, 2003, 3D GIS in Networking environments, *Computer, Environment and Urban Systems*, Vol. 27, no. 4, pp. 345 - 357.
- [3] M. J. Egenhofer, J. R Herring, 1990, A mathematical framework for the definition of topological relationships, In: *Proceedings of Fourth International Symposium on Spatial Data Handling*, Zurich, Switzerland, pp. 803 - 813.
- [4] J. Lee, M-P. Kwan, 2000, A 3-D Object-Oriented Data Model for Representing Geographic Entities in Built-Environments, presented in 96th AAG at Pitts, PA, USA.
- [5] J. Lee, M-P. Kwan, 2005, A Combinatorial Data Model for Representing Topological Relations among 3D Geographic Features in Micro-spatial Environments. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19, no. 10, pp. 1039-1056.
- [6] M. Molenaar, 1990, A formal data structure for 3D vector maps. In: *Proceedings of EGIS'90*, vol. 2. Amsterdam, The Netherlands, pp. 770 - 781.
- [7] J. R Munkres, 1984. *Elements of Algebraic Topology*, Addison-Wesley, Menlo Park, CA
- [8] M. Pilouk, 1996, *Integrated modelling for 3D GIS*, Ph. D. Dissertation, ITC, The Netherlands. pp. 200
- [9] A. Slingsby, J. Raper, 2008, *Navigable Space in 3D City Models for Pedestrians*, *Advances in 3D Geoinformation Systems*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 49-64.
- [10] S. Zlatanova, 2000, *3D GIS for urban development*, Ph. D. Dissertation, ITC, The Netherlands, pp.222.
- [11] S. Zlatanova, A. Rahman, W. Shi, 2004, Topological models and frameworks for 3D spatial objects, *Journal of Computers & Geosciences*, vol. 30, no. 4, pp. 419-428.
- [12] 이석호, 박세호, 이지영, 2010, 3차원 네트워크 기반 위상학적 데이터 모델을 이용한 3차원 인접성 공간질의, *한국공간정보학회지*, 제18권, 제5호, pp.93-105
- [13] 이석호, 이지영, 2011, 3차원 공간 질의를 위한 위

상학적 데이터 모델의 검증, 한국공간정보학회지,  
제19권, 제1호, pp. 93-105

---

논문접수 : 2011.08.08

수정일 : 2011.10.04

심사완료 : 2011.10.24

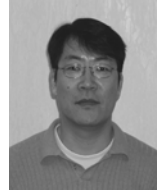


이 슬 지

2010년 서울시립대학교 공간정보공학  
공학사

2010년~현재 서울시립대학교 대학원  
공간정보공학 석사과정

관심분야는 3차원 GIS, 데이터모델링



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

2007년~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수

관심분야는 3차원 GIS, 공간데이터분석, 데이터모델링