

# 실내위치기반서비스를 위한 공간데이터베이스 활용기법 Using a Spatial Databases for Indoor Location Based Services

조용주\* · 김혜영\*\* · 전철민\*\*\*

Cho, Yong Joo · Kim, Hye Young · Jun, Chul Min

## 要 旨

최근 유비쿼터스 관련 연구가 활발히 이루어지고 있으며 이를 활용한 응용분야들이 확대되고 있다. 대표적인 응용 분야로는 GPS를 이용한 실외측위기술을 기반으로 발전한 위치기반서비스(LBS)가 있으며, 현재 많은 서비스들이 상용화 되어 있다. 최근 들어서는 대규모 실내공간과 실내에서의 사고의 증가와 함께 실내 공간을 대상으로 하는 서비스에 대한 관심이 증가하고 있으며 관련된 연구들이 진행되고 있다. 실내 공간 응용기술의 핵심은 3차원 실내 공간데이터의 모델링 기법과 이와 연동 가능한 센서기술이다. 하지만 아직은 실내위치기반서비스를 위한 측위기술 및 공간데이터에 대한 표준과 활용방안이 미비한 상태이다. 본 연구에서는 실내 위치기반서비스에서 사용 가능한 간단한 3차원 실내 공간 데이터 모델의 구축방법과 이를 활용할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다. 본 연구에서 제시하는 모델은 2차원 기반의 multi-layered 구조를 가지며, 2차원 및 3차원으로 가시화가 가능하도록 하였다. 또한 제시한 3차원 실내 공간 모델의 실내 기반 서비스로의 적용을 테스트하기 위하여 CA(cellular automata)기반의 대피 시뮬레이터와 대피 경로 안내 시스템 그리고 실내센서(카메라)와의 연동 등 몇 가지 응용분야에 대한 테스트를 수행하였다.

**핵심용어** : 공간 데이터베이스, 실내위치기반서비스, 3차원 데이터모델, 대피 시뮬레이션

## Abstract

There is a growing interest in ubiquitous-related research and applications. Among them, GPS-based LBS have been developed and used actively. Recently, with the increase of large size buildings and disastrous events, indoor spaces are getting attention and related research activities are being carried out. Core technologies regarding indoor applications may include 3D indoor data modeling and localization sensor techniques that can integrate with indoor data. However, these technologies have not been standardized and established enough to be applied to indoor implementation. Thus, in this paper, we propose a method to build a relatively simple 3D indoor data modeling technique that can be applied to indoor location based applications. The proposed model takes the form of 2D-based multi-layered structure and has capability for 2D and 3D visualization. We tested three prototype applications using the proposed model; CA(cellular automata)-based 3D evacuation simulation, network-based routing, and indoor moving objects tracking using a stereo camera.

**Keywords** : Spatial databases, indoor LBS, 3D data model, evacuation simulator

## 1. 서 론

현재 유비쿼터스 관련 연구 분야는 정보 기술 분야 전반에 걸쳐 활발하게 진행되고 있으며 특히 응용분야에서는 실내에서의 위치기반서비스에 대한 관심이 확대하고 있다. 기존의 위치기반서비스(Location Based Services)의 관련 연구 분야는 GPS(Global Positioning System)를

기반으로 한 위치정보 측위기술과 2차원 GIS 레이어를 기반으로 한 응용분야가 주를 이루고 있다. 하지만 유비쿼터스 환경 내에서 실내위치기반서비스를 위한 연구와 응용사례는 미비한 상태이다. 이는 실내 응용시스템을 위해서는 실내 데이터모델과 센서기술 등이 핵심을 이루는데, 이들에 대한 표준과 응용기술이 아직 정립이 되지 않았기 때문이라고 할 수 있다.

2009년 2월 25일 접수, 2009년 3월 20일 채택

\* 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정 (anytime611@uos.ac.kr)

\*\* 정회원·서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 박사과정 (mhw3n@uos.ac.kr)

\*\*\* 교신저자·정회원·서울시립대학교 공간정보공학과 교수 (cmjun@uos.ac.kr)

본 연구에서는 실내위치기반서비스에서 사용가능한 공간 DBMS(Database Management System)기반의 간단한 3차원 실내 공간 데이터 모델의 구축방법과 이를 활용할 수 있는 방법론을 제시하였다. 또한 제안된 방법론을 통하여 구축된 실내 공간 데이터를 활용할 수 있는 응용 분야에 대한 테스트를 수행하였다.

테스트를 수행한 응용분야는 실내 공간 시뮬레이션 분야이며, 우선, CA(cellular automata)기반으로 micro한 실내의 움직임을 시뮬레이션 할 수 있는 3차원 실내 대피 시뮬레이터이며, 다음으로는 네트워크 기반의 macro한 움직임을 시뮬레이션 할 수 있는 실내 대피 경로 시스템이다. 마지막으로 카메라 센서를 이용하여 실내 공간 내 이동객체 위치 및 트래킹(tracking) 정보의 맵핑 시스템을 구축하여 제안된 데이터 모델링 방법론을 통해 구축된 실내 공간 데이터의 실내위치기반서비스로의 활용 가능성을 테스트하였다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 3차원 솔리드 모델링

기존의 3차원 공간 모델링에 대한 연구를 살펴보면, B-rep(Boundary Representation) 방법을 이용하여 3차원 솔리드 객체 데이터를 구성하기 위한 모델링 기법(Gröger 2004, Zlatanova 2000, Stoter 2003)들이 주를 이루고 있으며 다음의 세 가지 정도로 분류해 볼 수 있다.

- **Body-Face-Edge-Node** : 다면체를 이루고 있는 면, 면을 이루는 선, 그리고 선을 이루고 있는 점의 완전한 토폴로지 관계를 정의함(Gröger 2004)
- **Body-Face-Node** : 다면체를 이루고 있는 면과 면을 이루고 있는 점의 관계를 정의함(Zlatanova 2000)
- **Body-Face** : 다면체와 다면체를 이루고 있는 면들로 구성하여 관계를 정의(Stoter 2003)

대부분 B-rep을 이용한 이론적인 관계에 관한 연구들이나, 이들 중 실제 공간 DBMS를 이용하여 모델링한 사례는 Body-Face-Node 모델과 Body-Face 모델이며, 이에

대하여 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

#### 2.1.1 Body-Face-Node 모델

Body-Face-Node 모델은 3차원 토폴로지를 구현하기 위해서 다면체와 면 그리고 점의 관계가 그림 1과 같이 정의된다. 이 모델을 Oracle DBMS에 적용한 연구들도 있다(Stoter 2002, Arens 2003, Chen 2008).

위 연구에서 적용된 방법을 이용하여 객체들의 관계를 정의하면 가시화를 위한 질의 수행 시, 면을 구성하는 점들의 정보를 얻기 위해 면과 면을 구성하는 점들의 조인을 다단계로 하게 됨으로서 질의 결과의 획득이 늦어져 3차원 가시화 성능의 저하를 가져올 수 있다(김근한 등 2008). 또한 실내 공간 데이터를 공간 데이터베이스에 저장하는 과정에서도 면과 점들 간의 관계를 고려하여 공간 데이터를 저장해야 하는 복잡함이 있다.

#### 2.1.2 Body-Face 모델

DBMS를 이용한 3차원 객체들의 가시화(Stoter 2003)의 연구를 살펴보면 그림 2와 같이 하나의 다면체는 다면체를 이루고 있는 면 들 간의 관계를 통해 3차원 공간을 정의한다. 하나의 면에는 면을 구성하는 점의 좌표값을 포함한 지오메트리가 함께 포함되어 있으므로 복잡한 다단계의 조인 쿼리가 상대적으로 줄어들어 연산속도가 향상되는 이점이 있다. 하지만 공간 객체 간의 토폴로지 정보가 결여되어 공간 분석 및 공간 안내에 대한 응용분야에 적용하는데 있어 한계성을 가지게 된다.

### 2.2 3차원 실내 공간 모델링

최근 들어 3차원 GIS 분야의 연구의 대상은 실외 공간 뿐만 아니라 실내 공간 데이터 모델링기법에 대한 연구로 발전하고 있다. 건축 설계 분야에서는 IFC(Industry Foundation Classes)을 활용하여 실내공간에 대한 설계, 시공 등의 작업에 사용되고 있다. 또한 최근 OGC(Open Geospatial Consortium) 표준으로 채택된 CityGML의 경우 건축 모델 뿐 아니라 도시 스케일에도 적용이 가능한 3차원 공간정보의 표준을 중점으로 개발된 모델이다(CityGML 2008). CityGML은 공간의 표현을 효과적으로

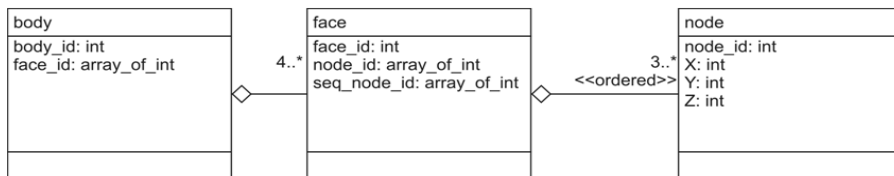


그림 1. Solid-Face-Node 모델의 UML 클래스 다이어그램(Zlatanova 2000)

하기 위해 총 5단계의 LoD(Level of Detail)를 제공하며 LoD 4단계에서 실내에 대한 공간 객체 및 객체 간의 토폴로지 정보를 내포하고 있다. 하지만, IFC나 CityGML은 실내를 표현하기 위한 다양한 데이터 프리미티브(primitive)와 의미적(semantic) 정보를 저장하는 방안을 제공하고 있으나, 파일이나 XML(extensible markup language)기반으로 제공되고 있으며, 현재까지는 DBMS의 적용이 정립된 상태는 아니다.

위에서 살펴본 바와 같이 실외 공간 객체의 모델링 기법의 경우 이론적인 볼륨(Volume)간의 토폴로지에 중점

을 두고 있어 실내로 확장하기에는 복잡도와 연산시간의 증가라는 한계성을 가지고 있으며, IFC나 CityGML의 경우에도 지나치게 많은 공간 객체들의 정보를 담고 있거나 DBMS로의 직접적인 적용이 어려운 상태이다.

본 연구에서는 실내위치기반 서비스에서 이용 가능한 DBMS 기반의 간단한 3차원 실내 데이터 모델을 제안하고자 한다. 실내위치기반서비스의 경우 실내에서의 보행자들의 위치 및 움직임에 기반을 둔다. 실제로 보행자들의 움직임은 그림 6과 같이 공간의 바닥(floor surface)에서 이루어지게 된다. 이는 실내 보행자의 움직임을 시물

BODY table		FACE table	
BID	FID	FID	sdo_ordinate_array
1	1	1 (lower face)	(x4, y4, z4, , x3, y3, z3, x2, y2, z2, x1, y1, z1, x4, y4, z4)
1	2	2 (side 1)	(x3, y3, z3, , x4, y4, z4, x8, y8, z8, x7, y7, z7, x3, y3, z3)
1	3	3 (side 2)	(x4, y4, z4, , x1, y1, z1, x5, y5, z5, x8, y8, z8, x4, y4, z4)
1	4	4 (side 3)	(x1, y1, z1, , x2, y2, z2, x6, y6, z6, z5, y5, z5, x1, y1, z1)
1	5	5 (side 4)	(x3, y3, z3, , x2, y2, z2, x6, y6, z6, z7, y7, z7, x3, y3, z3)
1	6	6 (upper face)	(x5, y5, z5, , x6, y6, z6, x7, y7, z7, z8, y8, z8, x5, y5, z5)

그림 2. 폴리곤 집합으로 저장된 다면체 테이블(Stoter 2003)

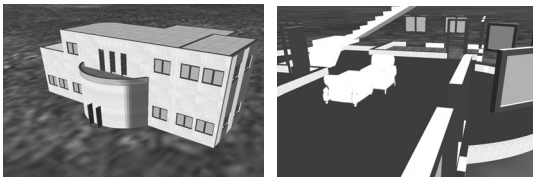


그림 3. IFC를 이용한 공간 모델링

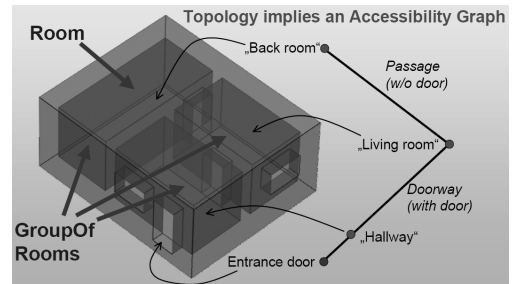


그림 5. CityGML LoD4에서의 실내 모델(Kolbe 2005)

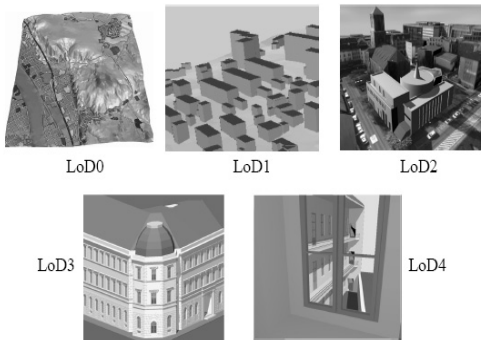


그림 4. CityGML의 5단계 LoD

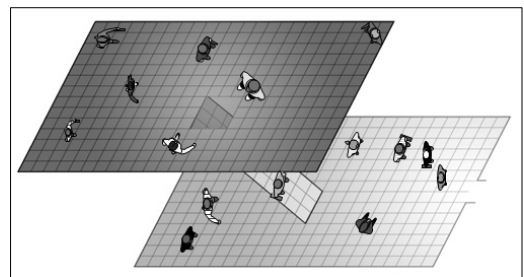


그림 6. floor surface내의 보행자의 움직임

레이션 하거나 보행자의 위치를 기반으로 한 공간 안내 서비스의 경우, 건물의 floor surface 데이터만으로도 의미적(semantic) 정보의 제공 및 공간 연산이 가능함을 의미한다.

이러한 점에 착안하여 본 연구에서는 각 층별 2차원 floor surface 레이어가 기반이 되고 여기에 층간 연결부분을 추가한 실내데이터 구조를 제시한다. 이를 통해 2차원 분석과 연산이 가능하며, 3차원 가시화의 경우 DBMS에 저장된 2차원 레이어(layer)의 지오메트리(geometry)를 이용하게 된다. 2차원 레이어 폴리곤을 구성하는 2차원 점들에 높이 값을 부여하여 벽면 및 윗면을 생성하여 3차원 공간을 구성하고 이를 OpenGL(Open Graphic Library)을 통해 가시화한다. 보행자의 위치 기반의 공간 안내 및 공간 연산의 경우 2차원 floor surface 데이터를 기반으로 수행하게 된다.

### 3. 다중 2차원 레이어 기반 실내 데이터 모델

#### 3.1 파일 기반 2D-3D Hybrid 데이터 모델

본 저자가 속해있는 연구팀에서는 앞서 3차원 실내 공간 안내를 위한 파일기반의 2D-3D Hybrid 데이터 모델을 개발한 바 있다(박인혜 등 2007). 모델의 구조는 그림 7과 같이 2차원 GIS 레이어의 속성데이터 테이블에 존재하는 각각의 공간의 ID(RoomID) 값을 3D MAX를 이용하여 구축된 3차원 모델의 공간 객체에 동일한 ID를 부

여하여 공유 테이블을 통해 2차원 레이어와 3차원 모델이 연동 될 수 있도록 구성되어진다. 이와 같은 파일 기반의 데이터 구조는 일관된 최신의 정보를 유지하기 어려우며 2차원 GIS 레이어와 3차원 데이터 모델이 독립적으로 이원화 되어 있어 관리하기에 비효율적이다. 또한 3차원 모델의 경우 제작의 시간 및 비용이 증가하는 단점을 가지고 있다.

#### 3.2 공간 DBMS 기반 실내 데이터 모델

앞서 언급한 파일기반의 2D-3D Hybrid 데이터 모델은 파일 기반으로써 갖는 정보의 일관성 및 3차원 데이터 모델의 구축의 시간 및 비용의 문제점을 가지고 있다. 또한 실내위치기반서비스의 개발을 위해서는 실내 센서와의 연동이 필수적이며 이를 위해서는 C/S(Client/Server) 기반의 시스템 환경 내에서 공간 데이터와 실내 센서데이터와의 유기적인 상호 연동이 가능해야 한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 2차원 GIS 토폴로지와 공간 DBMS를 이용한, 다중 2차원 레이어기반의 실내 데이터 모델을 제안한다. DBMS 기반 응용의 이점으로는 이미 알려진 바와 같이 대량의 데이터를 저장할 수 있다는 점이 파일 기반과 큰 차이점이라 할 수 있고, 그 밖에 데이터의 다중 사용, 일관성, 보안성 그리고 데이터 백업의 원활함 등이다. 또한, 응용시스템에서 연산시간의 효율성도 기대할 수 있다.

본 연구에서는 DBMS 기반의 개발에서 오는 이점을 활용하여 실내공간데이터 모델을 구축하기 위하여 오픈소스 기반 DBMS인 PostgreSQL과 이의 공간 DBMS extension인 PostGIS를 사용하였다. PostGIS를 이용하여 3차원 실내 공간데이터를 구축할 경우, 기존 2D-3D Hybrid 모델에서처럼 공유 테이블을 통한 각각의 파일 기반의 공간 데이터를 연동하는 방식에서 벗어나 하나의 DB를 통해 각각의 객체를 저장할 수 있기 때문에 데이터의 일관성이 유지되며 쿼리(query) 및 연산 속도의 향상을 가져온다. 또한 pgRouting과 같은 DBMS내에서 수행되는 라우팅 함수의 이용이 가능하여 실내위치기반서비스로의 개발에 있어 매우 효율적이다.

데이터의 DBMS 저장은 건물의 2차원 CAD 데이터를 이용하였으며, 이를 QuantumGIS(<http://www.qgis.org>)의 변환 툴을 이용하여, shapefile로 변환하고 다시 PostGIS에 저장하는 과정을 거쳤다.

저장되어진 2차원 실내공간 객체는 그림 9와 같이 테이블의 형태로 저장되어지며, geometry type의 the\_geom이라는 이름의 어트리뷰트를 생성하게 된다. 이는 2차원 GIS 레이어의 지오메트리 정보를 담고 있는 바이너리 형태의 데이터이며, PostGIS에서 제공하는 함수인 ST\_AsEWKT

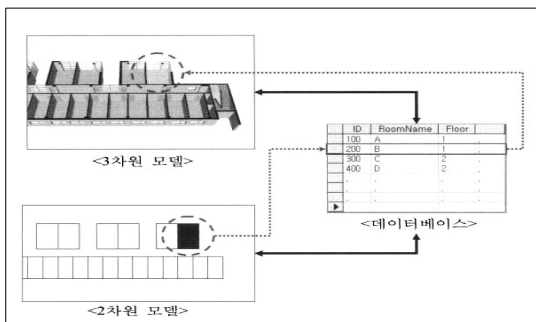


그림 7. 2차원 GIS와 3차원 모델의 연동(박인혜 등 2007)

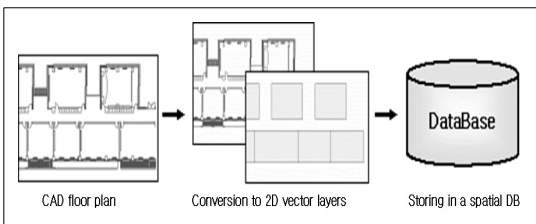


그림 8. 공간 데이터 변환 및 저장

를 이용하면 그림 10과 같이 좌표의 형태로 정보를 검색할 수 있다. 일단 DBMS에 데이터를 저장한 후에는 다음과 같은 과정으로 가시화가 이루어지게 된다.

- ① 쿼리를 통한 2차원 floor surface 지오메트리 정보 추출
- ② 각 층별 room을 이루고 있는 각각의 폴리곤의 지오메트리 정보 추출
- ③ OpenGL을 통해 추출된 지오메트리 정보를 이용하여 3차원 가시화
- ④ 위의 과정을 층별로 반복하여 전체 건물을 가시화

이와 같은 과정을 통해 2차원 floor surface 및 공간을 구성하는 room 객체를 이루는 폴리곤의 좌표를 이용하여 공간을 구성하고 OpenGL을 통해 부여된 높이 값을 3차원으로 가시화 하게 된다.

	gid integer	RoomID character va	the_geom geometry
1	0	060013	0103000000010000001D000000E0FFFFFFF85B<
2	1	060012	0103000000010000000D000000F0FFFFFFF6A<
3	2	060011	01030000000100000015000000F8FFFFFFF17D<
4	3	060010	01030000000100000015000000F8FFFFFFFADD<
5	4	060001	0103000000010000001A000000E0FFFFFFF85B<
6	5	060002	0103000000010000000D000000E0FFFFFFF81B<
7	6	060003	01030000000100000007000000F0FFFFFFF4BC<
8	7		01030000000100000005000000F8FFFFFFF7F04D<
9	8		01030000000100000005000000FAFFFFFFF7F04D<

그림 9. 공간 DBMS에 저장된 실내공간데이터

```
select ST_ASEWKT(the_geom)
from beabong_1_poly;
```

출력항	st_asewkt text
1	POLYGON((7349.9999999997 21600.7349.9999999997 15000.7199.9999999997 15000.
2	POLYGON((14550 15000,14400 15000,14400 14850,7799.9999999997 14850,7799.999999
3	POLYGON((21600 14850,15000 14850,15000 15000,14850 15000,14850 21600,15000 2160
4	POLYGON((22200 14850,22200 15000,22050 15000,22050 21600,22200 21600,22200 2220
5	POLYGON((7349.9999999997 12150,7349.9999999997 7800.00000000003,7199.99999999
6	POLYGON((7649.9999999997 12150,14550 12150,14550 7800.00000000003,14400 7800.0
7	POLYGON((15000 7350.0000000003,18150.0000000008 7350.0000000003,18150 1800.0
8	POLYGON((18450 7350.0000000003,21600 7350.0000000003,21600 3860.07669680935,
9	POLYGON((18450 3660.07669680935,21750 3660.07669680934,21750 1800.00000000001,

그림 10. 지오메트리 정보의 쿼리

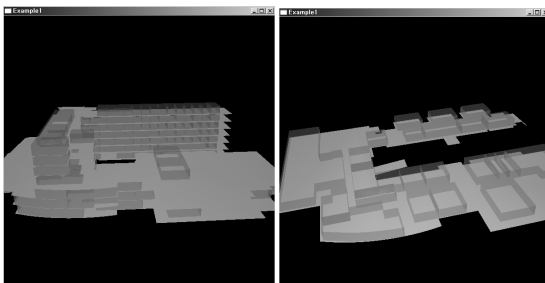


그림 11. 공간 DBMS를 활용한 3차원 가시화 결과

## 4. 적용사례

본 장에서는 앞에서 제시한 데이터 모델을 이용한 세 가지 응용 프로그램의 사례를 보여준다. 이는 그리드 셀 기반의 마이크로 시뮬레이션, 네트워크 기반의 라우팅, 그리고 센서와의 연동 가능성테스트를 위한 카메라 센서 테스트 등이다.

### 4.1 CA기반 대피 시뮬레이션 시스템

#### 4.1.1 Evacuation Model

Evacuation 모델은 network flow 및 traffic assignments, simulation 등 다양한 분야에서 연구되고 있다. Evacuation 모델은 데이터의 구조 및 활용방안에 따라 다음과 같이 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다.

- **Macroscopic 모델:** 최적화를 목적으로 개별 보행자가 아닌 동질의 그룹을 대상으로 하는 Graph 기반의 모델
- **Microscopic 모델:** 개별 대피자의 상호작용을 기반으로 군집의 움직임을 시뮬레이션하기 위한 모델로서 social force 모델과 floor field 모델로 구분할 수 있음

이들 모델 중 여기에서는 보행자 개개인의 특성 및 보행자간의 상호 작용을 시뮬레이션 할 수 있는 microscopic 모델을 이용하고자 한다. 이 중 social force 모델

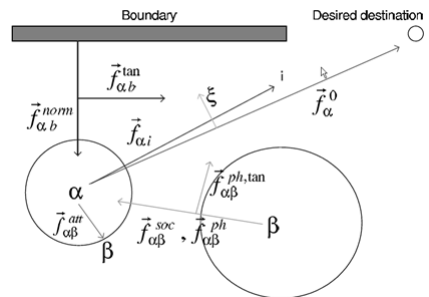


그림 12. Social force model(Helbing 2000)

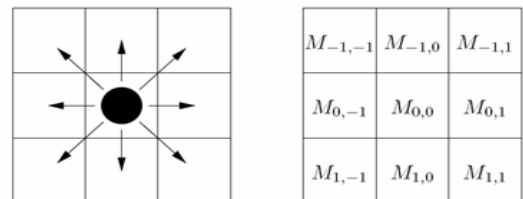


그림 13. floor field 모델에서의 보행자의 이동방향 (Burstedde 2001, Schadschneider 2001)

(Helbing 2000)은 실내 공간 내의 다른 모든 보행자나 물리적 환경과의 관계를 모두 고려한 모델이다. 공간 내 agent들의 관계를 물리학적으로 매우 정밀하게 다루고 있지만 공간이 넓고 보행자 수가 많을수록 그 연산속도는 매우 떨어지므로 응용분야에 활용하기에 비효율적이다(Song 2005). floor field 모델(Kirchner 2002, Bustdede 2001)은 CA(cellular automata)기반이며 모든 보행자간의 영향을 고려하는 대신 인접한 공간의 보행자 및 주변 환경과의 영향(local interaction)만을 고려함으로써 전체 연산을 수행한다. social force 모델에서 문제시 된 연산의 비효율성을 극복하면서도 유사한 결과를 보여 최근 많은 연구자들이 채택하는 방법이다.

floor field 모델은 다음과 같이 static field와 dynamic field로 구성되어지며 각각의 특징은 다음과 같다.

- **static field** : 대피 출구까지의 물리적 거리를 기반으로 모든 grid cell에 연속적으로 할당된 값
- **dynamic field** : 시뮬레이션이 동작하는 단위 시간(time-step) 마다의 보행자의 움직임에 영향을 미치는 가변적 요소

각각 단위 시간마다 인접한 셀로의 방향 및 이동 유무를 판가름하며 이는 static field 및 dynamic field를 기반으로 한 score와 이를 normalize한 확률값(score)으로 표현된다(Colins 2005).

$$Score(i) = exp(kdDi) \times exp(ksSi) \times \xi \times \eta$$

Score(i): 하나의 셀 I의 Score

Di: 셀 i의 dynamic field 값

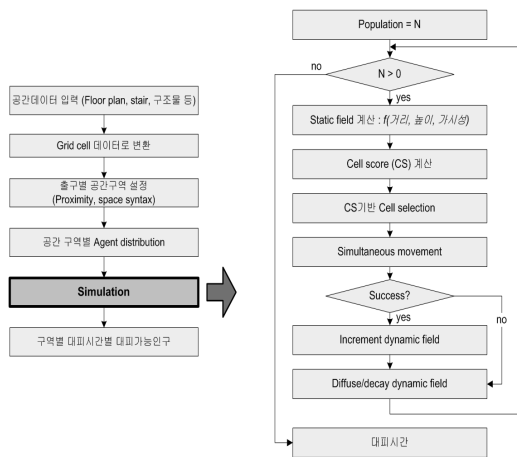


그림 14. 대피 시뮬레이션 프로세스

Si: 셀 i의 static field 값

kd,, ks: 출구와의 거리와 다른 보행자와 상호작용으로 인해 영향을 미칠 수 있는 요소에 대한 파라미터

ξ: 이동할 인접셀의 물리적 환경요인을 나타냄, 1인 경우 이동가능하며 0인 경우 이동 불가함

η: 인접셀의 다른 보행자의 점유 상태를 나타냄 1인 경우 이동가능하여 0인 경우 이동 불가함

#### 4.1.2 시스템 테스트

본 연구에서의 대피 시뮬레이션은 앞에서 소개한 Floor field 이론을 이용하였으며, CA 기반으로 개발하였다. 시뮬레이션의 전체 처리 과정은 그림 14와 같이 이루어진다.

먼저 DB에 저장된 층별 레이아웃과 층간 연결 계단부분의 폴리곤 데이터를 쿼리를 통해 추출한다. 다음으로는 CA 연산을 적용하기 위해 폴리곤 데이터를 그리드 셀로 변환하게 된다(그림 15).

이렇게 데이터가 준비된 다음에는 시뮬레이션을 수행한다. 먼저 그리드 셀로 나누어진 각각의 셀에 출구와의 물리적 거리를 기반으로 한 static value값을 부여한다. 다음으로는 다른 보행자와의 관계를 고려하여 dynamic value를 포함한 셀 score가 정해지면, 이를 이용한 확률값에 따라 한 time-step에 모든 보행자가 동시에 움직이게 된다. 이에 대한 이론적 설명은 몇 개의 논문에서 자세히 소개되어 있으므로(Schadschneider 2001, Colins 2005) 여기에서는 생략하도록 하겠다.

그림 16은 본 시뮬레이터의 인터페이스이다. OpenGL을 기반으로 실내 공간 및 보행자를 3차원으로 가시화 하였으며 공간의 확대, 축소, 이동, 정지가 가능하도록 하여 보다 자세한 보행자의 움직임을 확인할 수 있도록 하였다. 또한 2차원 뷰(view)를 함께 제공하여 층별 보행자의 대피 움직임을 보다 명확하게 확인할 수 있도록 하였다.

구축된 3차원 대피 시뮬레이션 시스템의 최종 목적은 실내공간을 이루는 각각의 공간(room)별 인구 분포(distribution)에 따른 출구의 대피 용량(capacity)을 측정하여 출구별 대피 시간을 도출하는 것이다. 도출된 결과 값은 대피 상황에서의 대피 관련 응용분야에 융합이 가능하도록 DB의 형태로 저장하게 된다(그림 17).

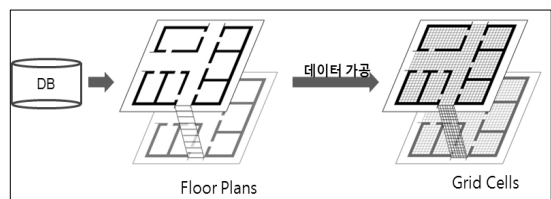


그림 15. 대피 시뮬레이션을 위한 실내공간데이터의 가공

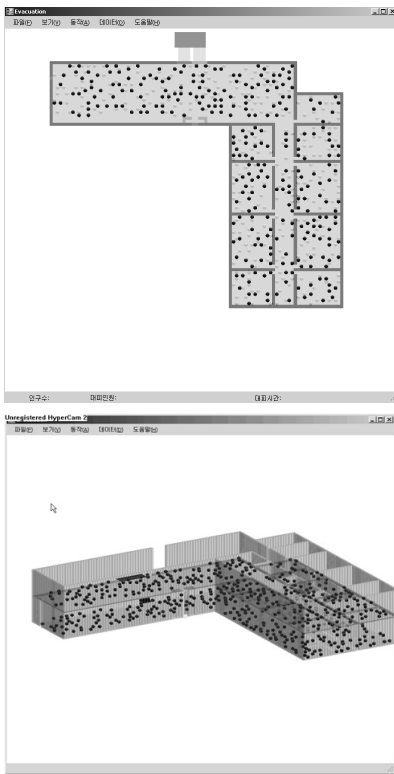


그림 16. 3차원 대피 시뮬레이션의 예

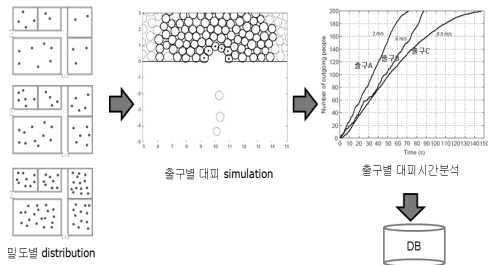


그림 17. 유형별 시뮬레이션 결과의 DB저장

## 4.2 실내 공간 대피 Routing 시스템

### 4.2.1 실내 네트워크 데이터의 구축 및 연산

기존의 공간안내에 관한 연구에서는 링크(link) 노드(node) 기반의 네트워크 데이터를 이용하여 최단 경로 알고리즘을 어플리케이션 내에서 구현하여 경로를 연산하는 경우가 대부분이었다. 이러한 방식은 어플리케이션과 DBMS와의 빈번한 교류를 야기함으로써 연산 속도의 저하를 일으키게 된다. 반면, 데이터베이스 테이블에 저장된 네트워크 정보를 이용하여 DBMS내의 함수를 이용할 경우, 클라이언트 프로그램에서 DB와의 교류를 통해 연

산을 하는 방식보다는 속도와 메모리 사용 면에서 훨씬 효과적이다.

본 연구에서는 PostGIS에 적용할 수 있는 경로 관련 함수(예: Dijkstra, A\*, TSP 등)를 포함하고 있는 pgRouting을 사용하여 실내 대피 안내 시스템을 구축하였다. 본 테스트 시스템을 위해서는 먼저 실내 공간 내에 네트워크 구조의 데이터가 구축되어야 하는데, 여기에서는 그림 18과 같이 구성하였다.

각각의 독립된 공간마다 하나의 노드를 부여하는 방식을 사용하였으며, 구성된 노드들을 복도 중심선으로 연결하고, 층간에도 계단을 따라 링크데이터를 구성하여 건물 전체를 연결하는 네트워크를 구성하였다.

### 4.2.2 시스템 테스트

데이터를 구축한 후에는 PostGIS DBMS에 pgRouting 함수를 호출하여 최단거리를 연산하게 된다. 그림 19에 나타난 바와 같이 시-종점 및 cost로 사용하는 필드값을 부여함으로써 간단한 쿼리문으로 결과값을 얻을 수 있다. 그림 19의 하단은 연산된 루트를 2차원으로 표현한 것이다.

본 테스트 시스템은 DBMS 상에 구축된 실내 네트워크 데이터를 이용하여 이렇게 시-종점 노드와 함께, 화재와 같은 외부 요소로 인해 손실된 노드를 지정하여 대피 경로를 시뮬레이션 하고 연산된 경로를 2차원 및 3차원으로 가시화 한다. 전체 시스템의 인터페이스는 그림 20과 같이 크게 층별 레이아웃을 2차원으로 가시화하는 인터페이스와 3차원 모델로 가시화하는 인터페이스의 두 부분으로 나누어진다. 2D 및 3D manager는 기본적으로 DBMS에 저장된 데이터를 쿼리를 통해 추출하여 가시화하며, 이동, 확대와 같은 컨트롤을 제공한다. 3차원 가시화는 3장에서 언급한 바와 같이 각 레이어에 저장된 벽체의

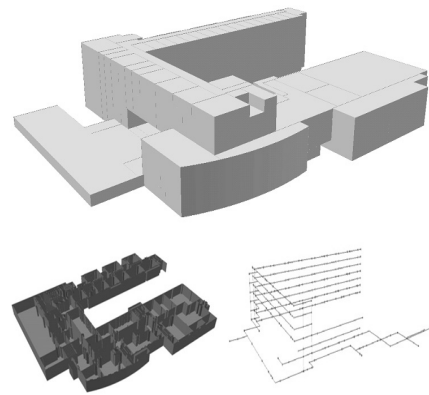


그림 18. 실내 공간의 네트워크 데이터

높이 값을 이용하여 나타내게 된다. 그림 20에서는 화제가 난 지점을 가정하여 이 부분을 피하여 대체 경로를 제공하는 과정을 시뮬레이션한 결과를 보여준다.

### 4.3 카메라 센서와의 연동 테스트

본 연구에서 제시한 공간 DBMS기반 실내 데이터 모델을 실제 실내 위치기반 서비스에의 적용 가능성을 테스트하기 위하여, 실내 카메라 센서와의 연동을 테스트 하였다. 카메라 센서를 활용하여 이동객체의 위치 정보를 획득하는 연구는 이미 국내외에서 몇 차례 수행되었으나

(권혁중 등 2005, 김한성 등 2007, Salinas 2007) 실내 DBMS와의 연동을 실험한 예를 찾아볼 수 없다.

본 연구에서는 실내 이동객체의 위치를 카메라 센서를 이용하여 추출한 후 이 값을 맵 위에 표현하는 어플리케이션을 구축하여 실내 공간데이터와 실내 센서와의 연동을 테스트 하였다. 실험에 이용된 카메라 센서는 두 개의 렌즈를 가지고 있는 스테레오 카메라(bumblebee 2, 그림 21)이며 이를 이용하여 실내에서 이동하는 보행자의 3차원 좌표를 취득하여 2차원 맵 위에 표현하는 테스트를 수행하였다.

전체적인 구성은 Camera Agent Module과 Viewer Module로 나누어진다. Camera Agent Module에서는 카메라를 통해 얻어진 이미지를 통해 이동객체의 위치정보를 추출하고 추출된 트래킹 데이터를 기록하며, Viewer Module에서는 공간 데이터를 가시화하고 이동객체의 위치 및 트래킹 데이터를 그 위에 중첩하여 표현한다. Camera Agent Module에서 생성한 이동객체의 데이터는 좌표변환을 수행하여 텍스트 파일로 각각 저장하며, 이렇게 저장된 데이터를 Viewer Module에서 읽어와 이동객체의 위치를 2차원의 건물 층 레이더 위에 맵핑하게 된다(그림 22).

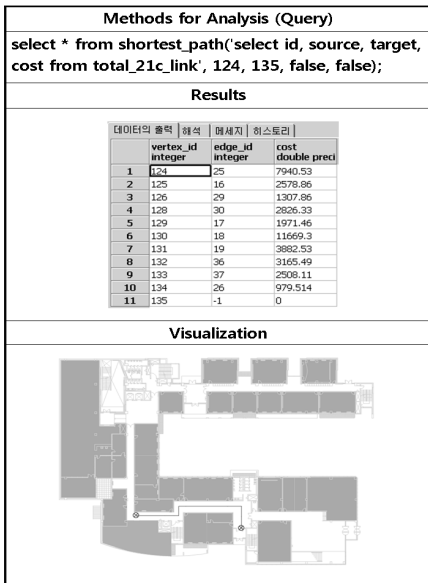


그림 19. pgRouting을 이용한 경로 산출 및 가시화

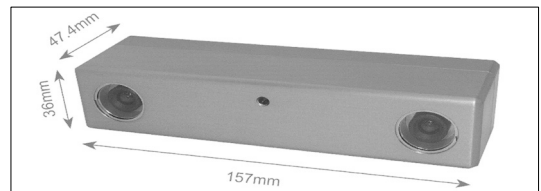


그림 21. 영상 취득에 사용된 카메라 센서

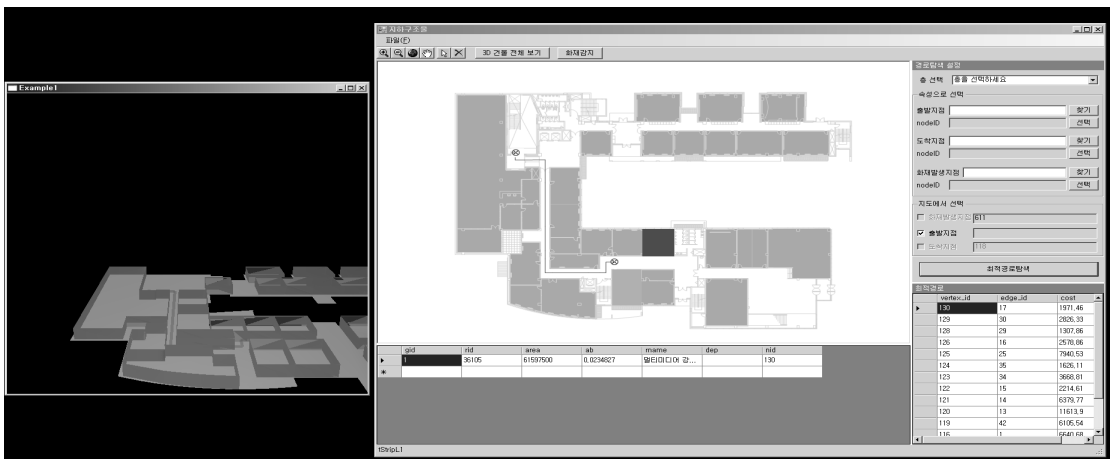


그림 20. 실내 대피 시스템 테스트 결과



위와 같은 과정을 통해 그림 23과 같은 테스트 어플리케이션을 구축하였다. 일정 시간 간격으로 카메라를 통해 얻어진 이동객체의 x, y, z 위치 정보를 읽어온 후 Viewer Module의 Map Viewer를 통해 맵핑된 결과를 가시화 한다.

본 실험에서는 제시한 실내 데이터와 실내 센서와의 연동가능성을 테스트하기 위한 한 예로써 카메라센서를 사용하였는데, 그 밖의 센서(예, RFID, 초음파센서 등)들과의 연동에도 적용될 수 있을 것이다.

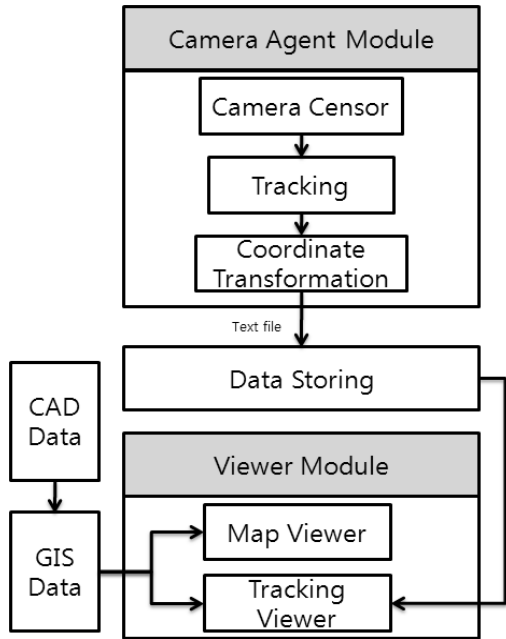


그림 22. 카메라센서 테스트 수행과정

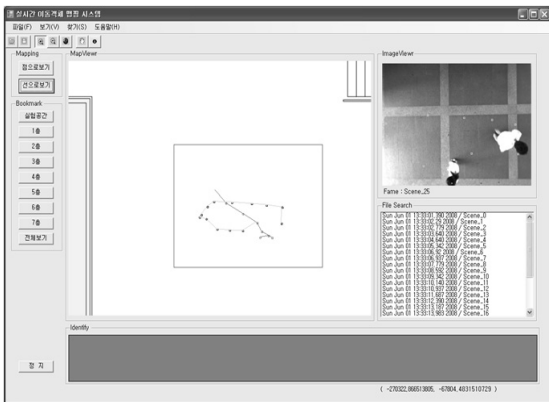


그림 23. 카메라센서로부터 취득한 이동객체의 가시화

## 5. 결 론

본 연구에서는 실내위치기반서비스에 적용할 수 있는 실내 데이터 모델과, 공간 DBMS의 활용기법을 제시하였다. 데이터 모델로서 2차원 GIS 레이어의 토폴로지를 기반으로 하여 공간 DBMS 상에서 2차원과 3차원을 연동한, 다중 2차원 레이어 기반 실내 데이터 모델을 제시하였다. 또한, 제시된 데이터 모델을 활용할 수 있는 대표적인 테스트 시스템으로써 CA기반의 3차원 마이크로 대 피 시뮬레이션 시스템과 네트워크 기반의 실내 대피 안내시스템의 구축 및 실행과정을 제시하였다. 마지막으로 실내센서와 DBMS기반 실내 공간 데이터와의 연동을 테스트 하여 추후 실내 센서 네트워크 기반 공간정보서비스에 대한 활용 가능성을 제시하였다.

본 연구에서는 DBMS기반 실내 데이터모델의 구성 방법과 그 활용 방안에 초점을 두었으며, 각각의 이론적 배경은 생략하였다. 본 연구에서 제시한 실험들은 각각 보다 정밀한 결과를 얻기 위하여 진행 중이다. 본 연구에서 제시한 실내 모델은, 실험에 적용된 바와 같이 floor surface의 실 좌표, semantic 속성, 토폴로지와 같은 정보가 필요한 경우에는 상당히 효과적이라 할 수 있다. 3차원 가시화의 경우, 여기에서는 층별로 2.5차원으로 처리하였으나, 보다 세밀한(예를 들어, 창문, 천정 등) 가시화가 필요할 경우에는 파일 기반의 3차원 모델이 필요해 진다. 대용량처리, 연산속도, 관리 등의 이점을 주는 DBMS방식은 항상 trade-off 관계에 있다고 할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형 국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C04)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 권혁중, 배상근, 김병국, 2005, "스테레오 CCD 카메라를 이용한 이동체의 실시간 3차원 위치추적", 한국GIS학회지 제13권 제2호, pp. 129~138.
2. 김근한, 김혜영, 전철민, 2008, "공간 DBMS를 활용한 3차원 실내 대피 경로 안내 시스템", 한국지형공간정보학회지, 제16권, 제 4호 pp.41-48.
3. 김한성, 손광훈, 2007, "다중 스테레오 카메라를 이용한 3차원 모델링 시스템", 전자공학회논문지 제44권 SP편 제1호, pp.1~9
4. 박인혜, 전철민, 최윤수, 2007, "건물 내부공간의 최적경로 탐색을 위한 3차원 GIS 네트워크 모델링", 한국지형공간정보학회지, 제 15권, 제 3호 pp. 27-32.

5. Allan, A., 2008, "Multicriteria Decision Analysis for Topological Routing Using PostgreSQL/PostGIS and pgRouting", University of Texas at Dallas GIS Workshop – Summer 2008.
6. Arens, C.A., 2003, Maintaining reality: modelling 3D spatial objects in a GeoDBMS using a 3D primitive. M.Sc. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
7. Burstedde C, 2001 "Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton", *Physica A* 295(2001) 507–525.
8. Burstedde, C., Kirchner, A., Klauck, K., Schadschneider, A., Zittartz, J., 2001, "Cellular Automaton Approach to Pedestrian Dynamics – Applications"
9. Chen, T.K, A. Abdul-Rahmana, and S. Zlatanova, 2008, "3D Spatial Operations for geo-DBMS: geometry vs. topology", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B2, Beijing.
10. Colin M., Tony White., 2005, "Agent-Based Modelling of Force in Crowds", *MABS 2004*, LNAI 3415, pp. 173–184
11. Gr ger, G., M. Reuter, and L. Pl mer, 2004, "Representation of a 3-D city model in spatial object-relational databases", In *Proc. of the 20th Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul, Turkey.
12. Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T., 2000, "Simulating dynamical features of escape panic", *Nature* v.407, 2000, pp.487–490.
13. Kirchner, A., Schadschneider, A., 2002, "Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automation model for pedestrian dynamics", *Physica A* 312(2002) 260–276.
14. Kolbe T H, 2005, "A GML3 Application Profile for virtual 3D City Models", *OGC TC Meeting New York City*.
15. Open Geospatial Consortium Inc. , 2008, "City Geography Markup Language(CityGML) Encording Standard", *OGC 08-007r1*, Version 1.0.0.
16. Salinas, R., Aquirre, E., Silvente, M., 2007, "People detection and tracking using stereo vision and color", *Image and Vision Computing* 25, pp. 995–1007.
17. Schadschneider, A., 2001, "Cellular Automaton Approach to Pedestrian Dynamics – Theory".
18. Song, 2006, "Evacuation behaviors at exit in CA model with force essentials: A comparison with social force model", *Physica A* 371(2006) 658–666.
19. Stoter, J.E. and P.J.M. van Oosterom, 2002, "Incorporating 3D geo-objects into a 2D geo-DBMS", *ACSM-ASPRS 2002*
20. Stoter, J.E. and S. Zlatanova, 2003, "Visualising and editing of 3D objects organised in a DBMS", *Proceedings EUROS DR Workshop : Rendering and Visualisation*, pp.14–29.
21. Zlatanova, S., 2000, "3D GIS for urban development", PhD thesis, Institute for Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology, Austria, ITC, the Netherlands.