

# 3차원 실내 대피 시뮬레이션 시스템

이현진<sup>1</sup>, 남현우<sup>2</sup>, 곽수영<sup>1</sup>, 전철민<sup>3</sup>

1. 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정

2. 서울시립대학교 공간정보공학과 학사과정

3. 서울시립대학교 공간정보공학과 교수

e-mail : hjyi@uos.ac.kr, nhw612@naver.com, sykwak87@gmail.com,  
cmjun@uos.ac.kr

## 3D Indoor Evacuation Simulation System

Hyunjin Yi, Hyunwoo Nam, Suyeong Kwak, Chulmin Jun  
Dept.of Geoinformatics, University of Seoul

### 요 약

최근 유비쿼터스 관련 연구가 활발히 이루어지고 있으며 이를 활용한 응용분야들이 확대되고 있다. 대표적인 응용분야로는 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 실내공간데이터의 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: 공간DBMS, 실내위치기반서비스, 3차원 데이터모델, 대피 시뮬레이션

### 1. 서론

현재 유비쿼터스 관련 연구 분야는 정보 기술 분야 전반에 걸쳐 활발하게 진행되고 있으며 특히 응용분야에서는 실내에서의 위치기반서비스에 대한 관심이 확대되고 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 정립 되지 않았기

때문이라고 할 수 있다.

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 응용분야에 대한 테스트를 수행하였다.

테스트를 수행한 응용분야는 실내 공간 시뮬레이션 분야이며, 우선, CA(cellular automata)기반으로 micro한 실내의 움직임 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 가능성

을 테스트하였다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 Evacuation Model 분석

Evacuation model은 network flow, traffic assignments, simulation 등 다양한 분야에서 연구되어 왔으며, 대체로 Macroscopic model과 Microscopic model의 두 가지로 분류된다.

#### ● Macroscopic Models

Macroscopic Model은 최적화(optimization) 접근에 기반하며 일반적으로 개인적 차이, 상호작용, 대피로 선택 등은 고려되지 않는다. 이들 모델들에서의 개체들은 동질의 그룹(homogeneous group)으로 다루어지며, 공통된 성질만이 고려된다. 대부분 Graph 기반의 모델링이며 건물 공간을 static network G로 나타내며, Dynamic network flow model에서는 시간 요소를 고려하여 GT로 나타낸다. 건물 공간을 node와 link를 이용하여 위상적인 연결구조로 나타내는데, node는 방, 로비, 교차점 등을, link는 복도나 계단을 통한 통로를 나타낸다. Node는 공급(supply)과 수요(demand)를 할당하며, link는 demand로의 supply의 공급로를 나타낸다.

Macroscopic 모델에서 Evacuation 문제는 multi-source/single sink network flow problem이다. 즉, 다수의 source node들에 대피자(evacuees)들이 할당되며, 출구들은 sink node로써 모든 출구를 하나의 가상의 출구로 가정하고 모든 대피자들이 이 가상출구에의 demand value가 된다. Node capacity는 Node(공간)에 수용 가능한 사람의 수를 의미한다.

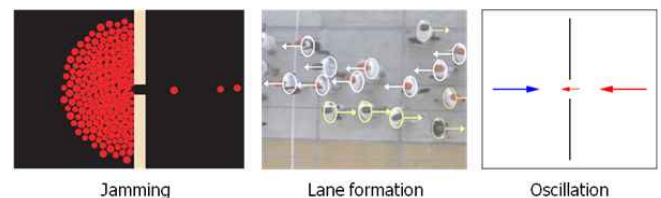
또한 Arc가 가지는 성질로는 flow capacity와 travel time이 있는데, flow capacity는 단위시간에 이동 가능한 최대 대피자수를, travel time은 노드 간 이동시 필요한 시간을 의미한다. Arc는 화재나 연기로 인해 '일정시간' 단절(blocking)될 수도 있다. Network기반의 Macroscopic모델들은 일반적으로 건축 내부공간보다는 큰 교통망과 같은 공간 규모에 적용되어 왔다. 이들 모델들은 대피자들을 동질 그룹으로 보고 Node와 Arc에 매핑시켜 flow를 모델링하므로 대피자의 상호작용(interaction)과 같은 "Behavior"에 대한 사항이 고려되지 않는다.

대피자(보행자)의 interaction은 다음과 같이 요약된다.

- People-people interactions: 타인과의 작용
- People-structure interactions: 건물의 물리적 구조물과의 작용
- People-environment interactions: 화재로 인한 요소(열, 연기, 장애물 등)와의 작용

이러한 보행자의 타인 및 환경과의 작용은 독특한 심리적 요소와 결합되어 다양한 양상을 보이며 보행과 관련된 연구에서 빈번히 다루어지는 주제이다.

- Jamming: 동시에 큰 그룹이 빠져나가려고 할 때 bottleneck(i. e. 출구)에서 다양한 형태로 발생
- Lane formation: 보행자들이 상호 반대방향으로 움직이려 할 때 스스로 선형을 형성하여 상호 마찰을 줄임
- Oscillation: bottleneck에서 oscillation현상으로 인해 빠져나간 사람의 방향으로 뒤의 그룹이 따라가는 것이 유리



(그림 1) 보행자 특성의 예

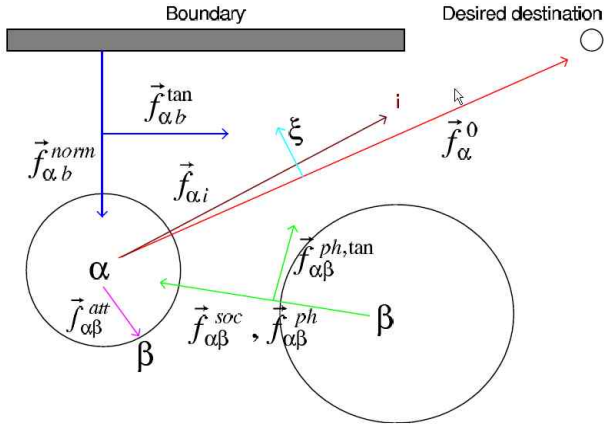
#### ● Microscopic Models

Microscopic 모델들은 개별 대피자의 움직임을 일반적으로 시뮬레이션에 의해 모델링한다. 이들 모델에서는 개별적 파라미터(예: 보행속도, 반응속도, 개인성향), 타인 및 환경(예: 벽, 출구, 장애물, 연기)과의 상호작용을 포함하며, 이러한 Local한 상호작용이 global 현상을 결정짓는다고 보고 있다. Microscopic 모델들은 대체로 social force model과 floor field model 두 가지로 나눌 수 있다.

##### ① Social Force Model

D. Helbing 등에 의해 제안된 이 모델은 보행자

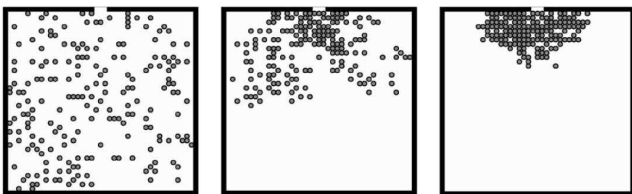
집단을 Gas의 미립자들과 같이 간주하는 Gas-Kinematic model 이다. 개별 보행자의 물리적 요인(어깨폭, 기대속도, 목표지점 등)이 고려되며, 각각의 보행자에게 작용하는 힘(force)이 계산된다. 이 힘(force)은 대상 공간 내의 모든 보행자와 영향을 미칠 수 있는 요인들에 대한 값이며 마찰, 압축 등이 모델링되며, 이를 피하고자 하는 social force가 고려된다.



(그림 2) Social force model에서의 힘의 작용  
Social Force 모델에서 각 보행자의 움직임은 몇 겹의 편미분방정식에 의해서만 연산이 가능하고 매 Time-Step마다의 연산의 복잡도는 이어서 연산에 매우 불리하다는 단점이 있다.

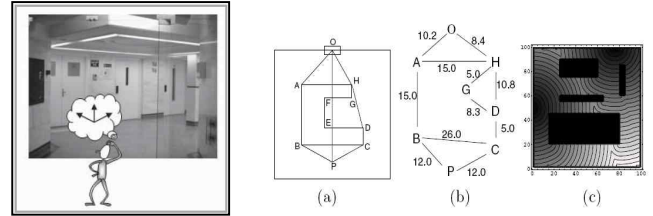
## ② Floor Field Model

Social force model의 힘의 작용을 수학적으로 엄격하게 적용하는데에 따르는 연산의 복잡성을 해결하기 위해서 Cellular Automata(CA)기법이 활용된다. Floor field model에서는 모든 보행자들에 대한 영향을 고려하는 대신 Local interaction만을 고려한다. 이는 각각의 셀을 점유하고 있는 보행자의 Neighborhood Cell 만을 고려하여 매 Time-Step마다의 연산을 수행하므로 앞서 Social force에서 지적되었던 연산의 복잡도 문제가 해결된다. Floor field model은 CA이 기반의 agent-based 모델이다. 또한, 보행자를 하나의 셀에 할당함은 앞서 social force model과 동일하다.



(그림 3) Floor field model의 시뮬레이션 예시

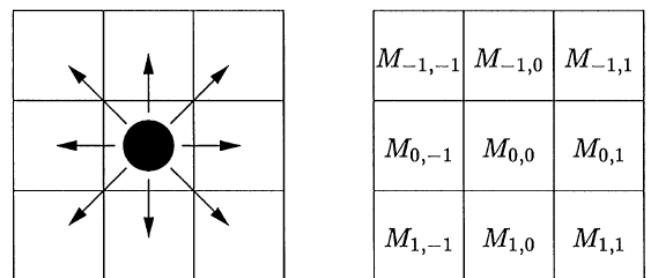
Floor field는 static field와 dynamic field로 나뉘어진다. Static field는 출구까지의 거리, 가시성 등 구조적인 접근성을 각각의 Cell에 연속적으로 할당된 값들을 의미하며, 각각의 보행자는 Cell에 부여된 이 값들에 의해 목표 출구를 결정하고 이동하게 된다.



(그림 4) Static field value 정의

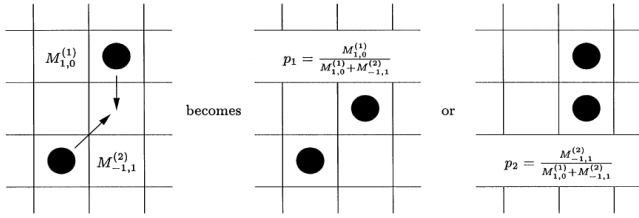
Dynamic field는 보행자들의 단계적 움직임에 영향을 주는 가변적 요소들에 대한 값들을 의미한다. 따라서 보행자는 dynamic field에서 정의된 값들과 static field에서 정의된 값들을 통해서 time-step 별로 어떠한 cell로 움직이며 정체할 것인지를 결정하게 된다. Floor field 내의 민감도(sensitivity) parameter를 조정함으로써 화재 등 여러 상황 별로 시뮬레이션이 가능하다. 예를 들어, 보행자가 군집되어 있을 경우, dynamic field sensitivity를 증가시켜 시뮬레이션을 수행하고, 익숙하지 않는 환경이라는 설정을 static 및 dynamic field의 sensitivity를 감소함으로써 시뮬레이션이 가능하다.

Dynamic field의 경우 일반적으로 보행자와 인접한 보행자들에 대한 관계에 대한 값이다. 이는 보행자 자신을 포함하는 3x3 행렬 값을 형태를 가진다.



(그림 5) Dynamic Field의 개념

또한 하나의 Cell에 1인 이상의 보행자가 점유하려 할 때는 다음과 같은 Conflict resolution에 의해 이를 해결하게 된다.



(그림 6) Conflict Resolution 개념

Floor field 모델에서 보행자의 움직임을 규정하는 update rule은 다음과 같은 단계를 거쳐 결정된다.

Step 1: 선호도를 나타내는 Score가 각각의 Cell에서 연산되며 수식은 다음과 같다.

$$Score(i) = \exp(k_d D_i) \times \exp(k_s S_i) \times \zeta_i \times \eta_i$$

$Score(i)$ : 하나의  $i$ 번째 Cell의 선호도 값

$D_i$ :  $i$ 번째 Cell의 Dynamic Field 값

$S_i$ :  $i$ 번째 Cell의 Static Field 값

$k_d, k_s$ : 보행자 개개인의 움직임과 출구의 위치를 나타내는 Scaling parameter

$\zeta_i$ : 이진값을 가지며, 0은 이동 불가능한 Cell(ex. Wall, obstacles)을 나타내며 1은 그 외의 Cell을 나타냄

$\eta_i$ : 이진값을 가지며, 0은 보행자에 의해 점유된 Cell을, 1은 점유되지 않은 Cell을 나타냄

Step2: 다음 Time-Step에 보행자가 어떻게 움직일 것인가를 확률적으로 연산한다.

$$p_{ij} = Score(j) \left( \sum_{a \in N(i)} Score(a) \right)^{-1}$$

$p_{ij}$ : 선호 확률(desired probability)

$N(i)$ : 자신을 포함한 3x3행렬을 이루는 Neighboring Cell들의 집합

Step3: 같은 공간상의 모든 보행자들의 대한  $p_{ij}$  값들이 구해지면, 이를 토대로 모든 보행자들이 동시에 다음 Cell로 이동하게 된다.

Step4: 위와 같은 연산이 수행되는 도중 하나의 Cell에 1명 이상의 보행자가 이동하려하는 경우, 랜덤하게 하나의 Cell에 하나의 보행자만이 점유할 수 있도록 하고 그 외의 보행자는 움직일 수 없다.

Step5: 위의 과정을 반복하게 된다.

Step6: Static Field Value가 0인 지점(출구)까지 이

동한다.

## 2.2 3차원 실내 공간 모델링

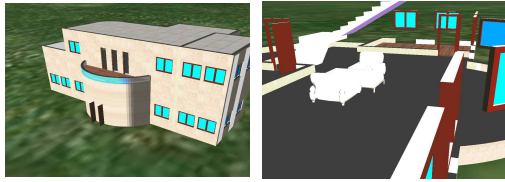
최근 들어 3차원 GIS 분야의 연구의 대상은 실외 공간뿐만 아니라 실내 공간 데이터 모델링기법에 대한 연구로 발전하고 있다. 건축 설계 분야에서는 IFC(Industry Foundation Classes)를 활용하여 실내 공간에 대한 설계, 시공 등의 작업에 사용되고 있다. 또한, 최근 OGC(Open Geo Consortium)표준으로 채택된 CityGML은 건축 모델 뿐 아니라 도시 스케일에도 적용이 가능한 3차원 공간정보의 표준을 중점으로 개발된 모델이다(CityGML 2008). CityGML은 공간의 표현을 효과적으로 하기 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 XML기반으로 제공되어 현재까지는 DBMS의 적용이 정립된 상태는 아니다.

위에서 살펴본 바와 같이 실외 공간 객체의 모델링 기법의 경우, 이론적인 볼륨간의 토폴로지에 중점을 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.

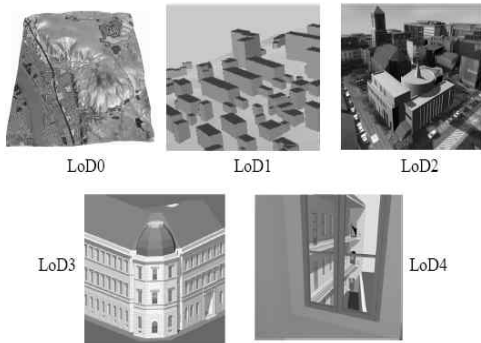
본 연구에서는 실내위치기반 서비스에서 이용 가능한 DBMS 기반의 간단한 3차원 실내 데이터 모델을 제안하고자 한다. 실내위치기반서비스의 경우 실내에서의 보행자들의 위치 및 움직임에 기반을 둔다. 실제로 보행자들의 움직임은 그림 10과 같이 공간의 바닥(floor surface)에서 이루어지게 된다. 이는 실내 보행자의 움직임을 시뮬레이션 하거나 보행자의 위치를 기반으로 한 공간 안내 서비스의 경우, 건물의 floor surface 데이터만으로도 의미적(semantic) 정보의 제공 및 공간 연산이 가능함을 의미한다.

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 레이어의 지오메트리를 이용하게 된다. 2차원 레이어 폴리곤을 구성하는 2차원 점들에 높이 값을 부여하여 벽면 및 윗면을 생성하여 3차원 공간을 구성하고 이를 OpenGL을 통해 가시화한다. 보행자의 위치 기반의 공간 안내 및 공간 연산의 경우 2차원 floor surface 데이터를

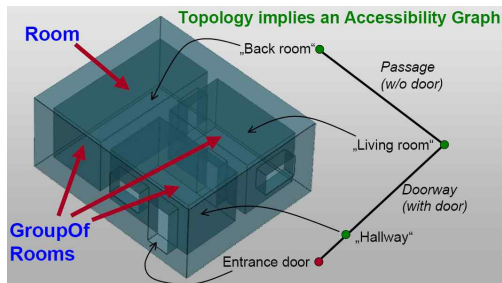
기반으로 수행하게 된다.



(그림 7) IFC를 이용한 공간 모델링



(그림 8) CityGML의 5단계 LoD



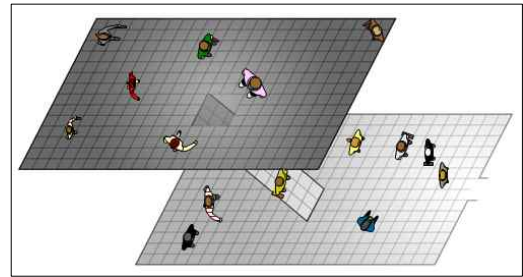
(그림 9) CityGML LoD4에서의 실내 모델  
(Kolbe 2005)

### 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 11과 같이 2차원 GIS Layer의 속성 데이터 테이블에 존재하는 각각의 공간의 ID(RoomID) 값을 3D MAX를 이용하여 구축된 3차원 모델의 공간 객체에 동일한 ID를 부여하여 공유 테이블을 통해 2차원 레이어와 3차원 모델이 연동될 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 3

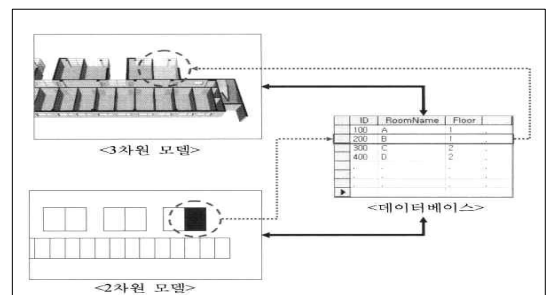
차원 모델의 경우, 제작시간 및 비용이 증가하는 단점을 가지고 있다.



(그림 10) floor surface내의 보행자의 움직임

#### 3.2 공간 DBMS 기반 실내 데이터 모델

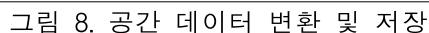
앞서 언급한 파일기반의 2D-3D Hybrid 데이터 모델은 파일 기반으로써 갖는 정보의 일관성 및 3차원 데이터 모델의 구축의 시간 및 비용의 문제점을 가지고 있다. 또한 실내위치기반서비스의 개발을 위해서는 실내 센서와의 연동이 필수적이며 이를 위해서는 C/S(Client/Server)기반의 시스템 환경 내에서 공간 데이터와 실내 센서데이터와의 유기적인 상호 연동이 가능해야 한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 2차원 GIS 토폴로지와 공간 DBMS를 이용한, 다중 2차원 레이어기반의 실내 데이터 모델을 제안한다. 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.



(그림 11) 2차원 GIS와 3차원 모델의 연동  
(박인혜 등 2007)

본 연구에서는 DBMS 기반의 개발에서 오는 이점을 활용하여 실내공간데이터 모델을 구축하기 위하여 오픈소스 기반 DBMS인 PostgreSQL과 공간 DBMS extension인 PostGIS를 사용하였다. PostGIS를 이용

- 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



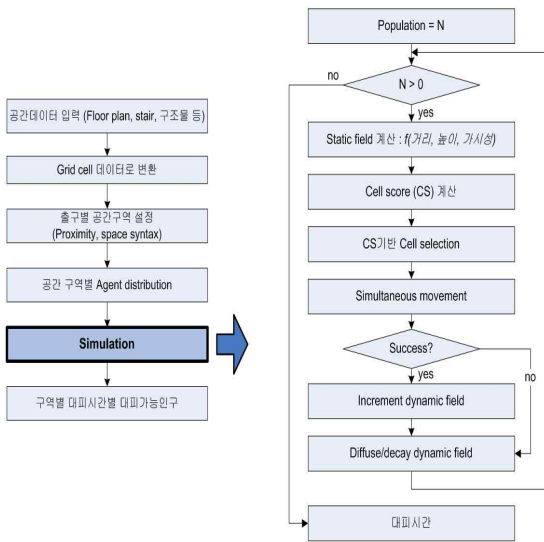
	gid integer	RoomID character va	the_geom geometry
1	0	060013	0103000000001000001D000000E0FFFFF85BC
2	1	060012	0103000000001000000D000000F0FFFFF6AC
3	2	060011	01030000000010000015000000F8FFFFF7D5
4	3	060010	01030000000010000015000000F8FFFFFADD5
5	4	060001	0103000000001000001A000000E0FFFFF85BC
6	5	060002	0103000000001000000D000000E0FFFFF81BD
7	6	060003	01030000000010000007000000F0FFFFF74BCD
8	7		01030000000010000005000000F8FFFFF704D2
9	8		01030000000010000005000000F0FFFFF704D2

<pre>select ST_ASWKT(the_geom) from heabong_i_poly;</pre>	
출력창	
데이터의 출력    해석    매세지    히스토리	
	st_asewkt
1	POLYGON((7349.9999999999997 21600,7349.9999999999997 15000,7199.9999999999997 15000,
2	POLYGON((14550 15000,14400 15000,14400 14850,7799.9999999999997 14850,7799.9999999999997
3	POLYGON((21600 14850,15000 14850,15000 15000,14850 15000,14850 21600,21600 15000,2160 2160
4	POLYGON((22200 14850,22200 15000,22050 15000,22050 21600,22050 21600,22200 21600,22200 2220
5	POLYGON((7349.9999999999997 12150,7349.9999999999997 7800,0.00000000000003,7199.9999999999997
6	POLYGON((7649.9999999999997 12150,14550 12150,14550 7800,0.00000000000003,14400 7800,0
7	POLYGON((15000 7350,0.0000000000003,18150.000000000008 7350,0.00000000000003,18150 1800,0
8	POLYGON((18450 7350,0.0000000000003,21600 7350,0.00000000000003,21600 3860,07669680935,
9	POLYGON((18450 3860,07669680935,21750 3860,07669680934,21750 1800,0.00000000000003,

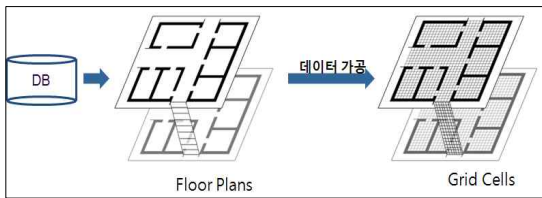
먼저 DB에 저장된 층별 레이아웃과 층간 연결 계단  
부분의 폴리곤 데이터를 쿼리를 통해 추출한다. 다음  
으로는 CA 연산을 적용하기 위해 폴리곤 데이터를



그리드 셀로 변환한다(그림 16).



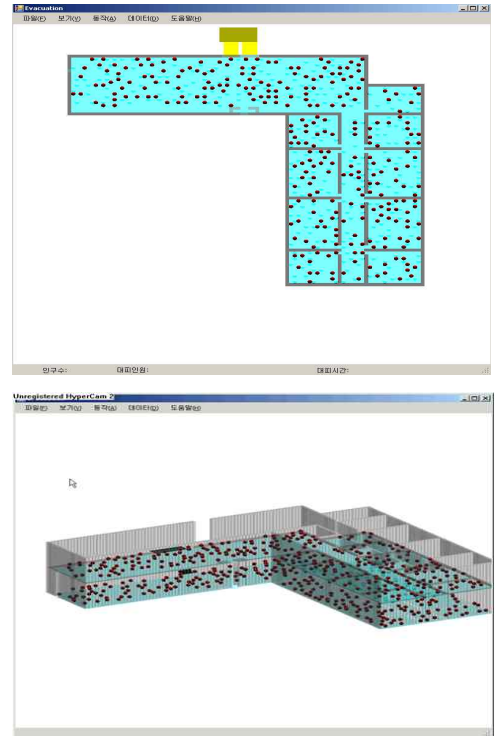
(그림 15) 대피 시뮬레이션 프로세스



(그림 16) 대피 시뮬레이션을 위한 실내공간데이터의 가공

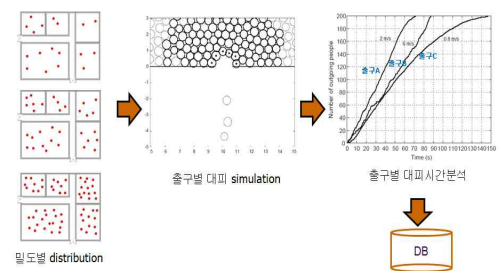
이렇게 데이터가 준비된 다음에는 시뮬레이션을 수행한다. 먼저 그리드 셀로 나누어진 각각의 셀에 출구와의 물리적 거리를 기반으로 한 static value값을 부여한다. 다음으로는 다른 보행자와의 관계를 고려하여 dynamic value를 포함한 셀 score가 정해지면, 이를 이용한 확률값에 따라 한 time-step에 모든 보행자가 동시에 움직이게 된다. 이에 대한 이론적 설명은 몇 개의 논문에서 자세히 소개되어 있으므로 (Schadschneider 2001, Collins 2005) 여기에서는 생략하도록 하겠다.

그림 17은 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.



(그림 17) 3차원 대피 시뮬레이션의 예

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 결과값은 대피 상황에서의 대피 관련 응용분야에 융합이 가능하도록 DB의 형태로 저장하게 된다 (그림 18).



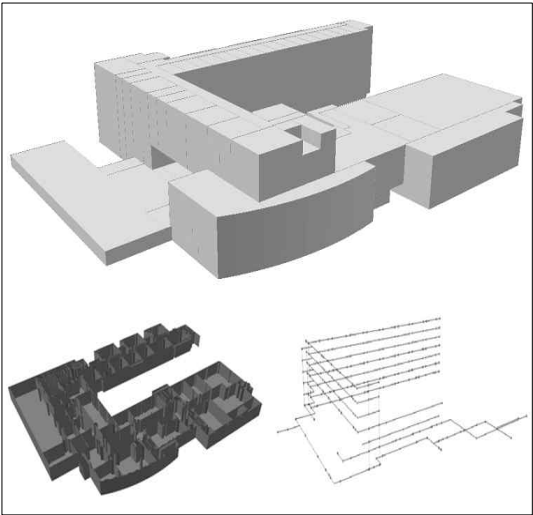
(그림 18) 유형별 시뮬레이션 결과의 DB저장

## 4.2 실내 공간 대피 Routing 시스템

### ■ 실내 네트워크 데이터의 구축 및 연산

기존의 공간안에 관한 연구에서는 링크 노드 기반의 네트워크 데이터를 이용하여 최단 경로 알고리즘을 어플리케이션 내에서 구현하여 경로를 연산하는 경우가 대부분이었다. 이러한 방식은 어플리케이션과 DBMS와의 빈번한 교류를 야기함으로 연산 속도

의 저하를 일으키게 된다. 반면, DB 테이블에 저장된 네트워크 정보를 이용하여 DBMS내의 함수를 이용할 경우, 클라이언트 프로그램에서 DB와의 교류를 통해 연산을 하는 방식보다는 속도와 메모리 사용 면에서 훨씬 효과적이다.



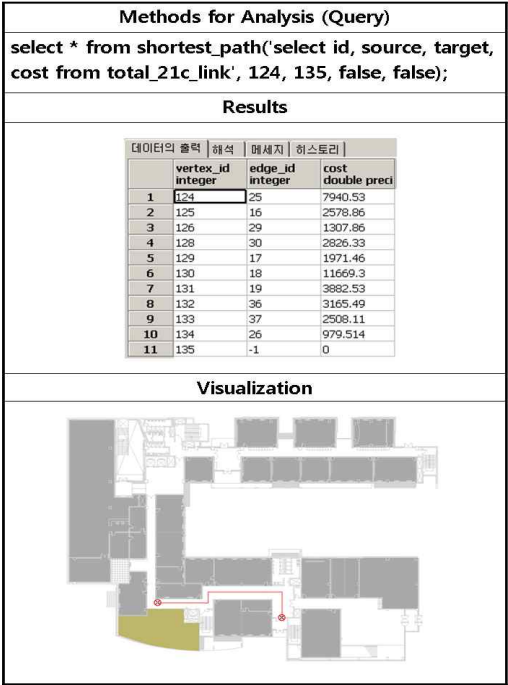
(그림 19) 실내 공간의 네트워크 데이터

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.

### ■ 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

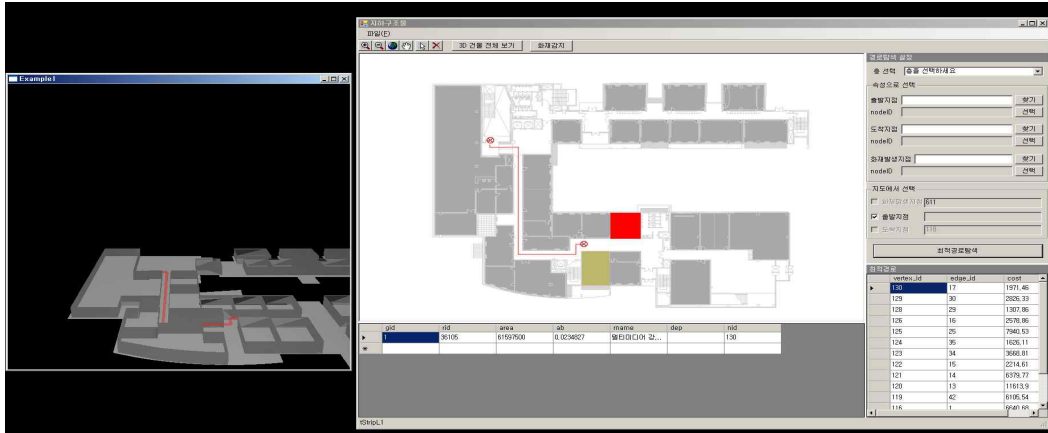
결과값을 얻을 수 있다. 그림 20의 하단은 연산된 루트를 2차원으로 표현한 것이다.



(그림 20) pgRouting을 이용한 경로 산출 및 가시화

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 21과 같이 크게 층별 레이어를 2차원으로 가시화하는 인터페이스와 3차원 모델로 가시화하는 인터페이스의 두 부분으로 나뉘어진다. 2D 및 3D manager는 기본적으로 DBMS에 저장된 데이터를 쿼리를 통해 추출하여 가시화하며, 이동, 확대와 같은 컨트롤을 제공한다. 3차원 가시화는 3장에





(그림 21) 실내 대피 시스템 테스트 결과

서 언급한 바와 같이 각 레이어에 저장된 벽체의 높이 값을 이용하여 나타내게 된다. 그림 20에서는 화재가 난 지점을 가정하여 이 부분을 피하여 대체 경로를 제공하는 과정을 시뮬레이션한 결과를 보여준다.

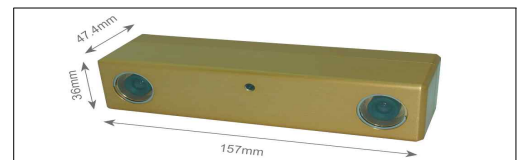
#### 4.3 카메라 센서와의 연동 테스트

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(권혁종 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 22)이며 이를 이용하여 실내에서 이동하는 보행자의 3차원 좌표를 취득하여 2차원 맵 위에 표현하는 테스트를 수행하였다.

전체적인 구성은 Camera Agent Module과 Viewer Module로 나뉘어진다. 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 Text 파일로 각각 저장하며, 이렇게 저장된 데이터를 Viewer Module에서 읽어와 이동객체의 위치를 2차원의 건물

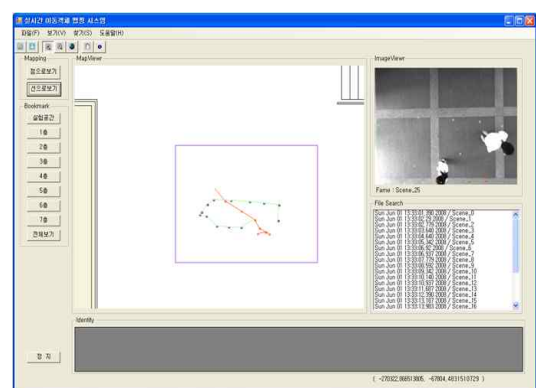
층 레이어 위에 맵핑하게 된다(그림 24).



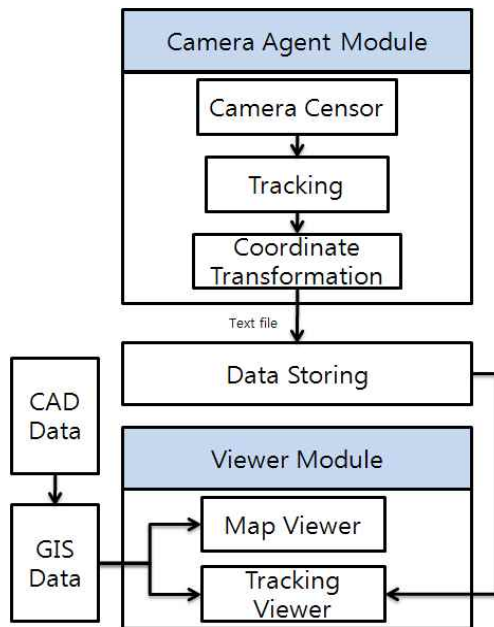
(그림 22) 영상 취득에 사용된 카메라 센서

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 카메라 센서를 사용하였는데, 그 밖의 센서(예, RFID, 초음파센서 등)들과의 연동에도 적용될 수 있을 것이다.



(그림 23) 카메라센서로부터 취득한 이동객체의 가시화



(그림 24) 카메라센서 테스트 수행과정

## 5. 결론

본 연구에서는 실내위치기반서비스에 적용할 수 있는 실내 데이터 모델과, 공간 DBMS의 활용기법을 제시하였다. 데이터 모델로써 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 대피 시뮬레이션 시스템과 네트워크 기반의 실내 대피 안내시스템의 구축 및 실행과정을 예시하였다. 마지막으로 실내센서와 DBMS 기반 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 예시한 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 총별로 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 DBMS방식과는 항상 trade-off 관계에 있다고 할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력 사업인 “스마트(유비쿼터스)시티를 위한 지능형 도시정보 컨버전스 시스템개발” 과제(10561)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- 권혁중, 배상근, 김병국, 2005, “스테레오 CCD 카메라를 이용한 이동체의 실시간 3차원 위치추적”, 한국 GIS학회지 제13권 제2호, pp. 129~138,
- 김근한, 김혜영, 전철민, 2008, “공간 DBMS를 활용한 3차원 실내 대피 경로 안내 시스템”, 한국지형공간정보학회지, 제16권, 제4호 pp.41~48
- 김한성, 손광훈, 2007, “다중 스테레오 카메라를 이용한 3차원 모델링 시스템”, 전자공학회논문지 제44권 SP편 제1호, pp.1~9
- 박인혜, 전철민, 최윤수, 2007, “건물 내부공간의 최적경로 탐색을 위한 3차원 GIS 네트워크 모델링”, 한국지형공간정보학회지, 제 15권, 제 3호 pp.27~32.
- Allan, A., 2008, “Multicriteria Decision Analysis for Topological Routing Using PostgreSQL/PostGIS and pgRouting”, University of Texas at Dallas GIS Workshop - Summer 2008.
- 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.
- Burstedde C, 2001 “Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton”, Physica A 295(2001) 507~525
- Burstedde, C., Kirchner, A., Klauck, K., Schadschneider, A., Zittartz, J., 2001, “Cellular Automaton Approach to Pedestrian Dynamics - Applications”
- 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.
- Colin M., Tony White., 2005, “Agent-Based Modelling of Force in Crowds”, MABS 2004, LNAI 3415, pp. 173-184
- Gröger, G., M. Reuter, and L. Plümer, 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) Encoding 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 EUROSDR 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.