

# 적외선 센서정보기반 실시간 실내 대피시뮬레이션 시스템 프로토타입

## A Prototype for Real-time Indoor Evacuation Simulation System using Indoor IR Sensor Information

남 현 우\*      곽 수 영\*\*      전 철 민\*\*\*  
Hyun Woo Nam      Su Yeong Kwak      Chul Min Jun

**요약** 실내공간에서 화재, 붕괴 등의 재난이 증가함에 따라 그 피해를 최소화하기 위한 방법 중 하나로 화재 대피시뮬레이터가 활용되고 있다. 주로 대피시뮬레이터의 활용은 건축물의 설계과정에서 피난에 적합한지를 판단하는 피난안전성 검사에 이용되고 있으며, 실제 재난 상황에서의 활용에는 한계가 있다. 그 이유는 대피시뮬레이션 수행결과를 실제 재난 상황에서 활용하기에 몇 가지의 제약조건이 있기 때문이다. 첫째는 기존 대피시뮬레이터는 가상의 인원정보를 이용한 시뮬레이션을 수행하는데, 실제 재난 상황에서는 실제 인원정보를 이용한 시뮬레이션 결과가 필요한 점이다. 둘째는 대피시뮬레이션 수행시간이 길기 때문에 짧은 시간안에 결과를 산출하기 어려운 시간제한적인 조건이다. 셋째는 재실자의 구조화 및 대피안내에 최적화된 결과데이터의 산출이 어려운 점이다. 본 연구에서는 이들 제약조건을 해결하기 위해 실제 재난 상황에서 활용가능한 결과데이터를 산출하는 대피시뮬레이션 시스템을 제안하고자 한다. 이 시스템은 사전에 수많은 인원분포에 따른 대피시뮬레이션을 수행하고, 그 결과를 DBMS에 저장할 수 있도록 하는 시뮬레이터를 기본으로 하며, 적외선 센서네트워크를 이용하여 건물 내 실제 재실자 인원분포를 파악하고 이와 유사한 인원분포로 수행된 결과데이터를 질의를 통해 검색하여 사용자에게 제공하도록 한다. 마지막으로 개발된 시스템을 캠퍼스 건물에 적용하고 테스트를 수행하는 과정을 예시하였다.

**키워드** : 실내 대피시뮬레이터, DBMS, 적외선센서, 대피안내

**Abstract** Indoor fire simulators have been used to analyse building safety in the events of emergency evacuation. These applications are primarily focused on simulating evacuation behaviors for the purpose of checking building structural problems in normal time rather than in real time situations. Therefore, they have limitations in handling real-time evacuation events with the following reasons. First, the existing models mostly experiment the artificial situations using randomly generated evacuees while real world requires actual data. Second, they take too long time in operation to generate real time data. Third, they do not produce optimal results to be used in rescuing or evacuation guidance. In order to solve these limitations, we suggest a method to build an evacuation simulation system that can be used in real-world emergency situations. The system performs numerous simulations in advance according to varying distributions of occupants. Then the resulting data are stored in DBMS. The actual person data captured in infrared sensor network are compared with the simulation data in DBMS and the queried data most closely is provided to the user. The developed system is tested using a campus building and the suggested processes are illustrated.

**Keywords** : Indoor Evacuation Simulation, DBMS, IR Sensor, Evacuation Guiding

† 이 논문은 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제(07국토정보C04)의 지원을 받아 수행된 연구임.

\* 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정 nhw612@uos.ac.kr

\*\* 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정 ksykk0@uos.ac.kr

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

## 1. 서론

실내공간에서 발생하는 화재, 붕괴 등의 재난이 증가함에 따라 그 피해를 최소화하기 위한 방법 중 하나로, 여러 기업 및 연구기관에서 보행자의 대피 상황을 예측하기 위한 모델링 도구인 실내 대피시뮬레이터를 연구하고 있다. 이러한 대피시뮬레이터의 주 목적은 건축물의 피난안전성 검사, 피난상황 분석 등이고, 실제 재난 상황 시에 보행자의 대피안내 또는 구조 활동 자료로는 제한적으로 활용되고 있다[14, 16, 20].

실내 대피시뮬레이터는 보행자의 움직임, 행동양상, 성향 등의 모델링 및 가시화에 특화되었으며 보행자의 대피양상을 파악하기에 좋은 도구이다[19]. 따라서 실제 재난 상황에서 실내 대피시뮬레이터를 인명피해를 최소화하기 위한 자료 수집 및 분석 도구로 활용한다면 유용할 것으로 예상된다. 하지만 실내 대피시뮬레이터를 실제 상황에서 활용하기에는 다음과 같은 몇 가지의 제약조건이 있다.

첫째, 기존 대피시뮬레이터들은 가상의 인원데이터를 이용하여 대피시뮬레이션을 수행하고 있다[24]. 실제 재난 상황에서의 활용을 위해서는 가상의 인원데이터로 얻은 결과가 아니라 실제 건물 내 재실자들의 인원분포 데이터를 이용해야 유의미한 결과를 산출할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 실시간으로 건물 내 재실자들의 정보를 파악할 수 있는 실내센서와의 연계기능이 필요하다[13]. 실내센서를 통해 수집된 재실자 정보를 이용하여 시뮬레이션 결과를 획득해야 실제 재난 상황에서 활용 가능한 자료로 제공할 수 있을 것이다.

둘째, 실시간 상황에서 직접 대피시뮬레이션을 수행하여 결과를 얻고 활용하기에는 시간제약적인 문제점이 있다. 보행자의 대피양상에 미치는 물리적, 심리적 요소, 건축물의 구조 등 다양한 요소들을 모두 고려한 시뮬레이션이 수행되기 때문에 시뮬레이션 결과 산출에 많은 시간이 걸리게 된다[19].

셋째, 기존에 연구된 대부분의 시뮬레이터들은 건축물의 피난안전성검사에 주 목적을 두고 있거나, 혹은 알고리즘의 연구 및 테스트용으로 개발되었다[20]. 기존에 개발된 시뮬레이터들은 목적에 따라 다양한 결과데이터를 산출하고 있는데[8], 대피시뮬레이션의 결과를 보행자의 대피안내 및 구조 활동

참고자료로 활용하기 위해서는 이에 적합한 시뮬레이션 결과들(총 대피시간, 대피경로, 출구별 대피인원, 병목 예상 지점 등)이 산출되어야 한다.

본 연구에서는 위의 제약조건들을 해결하기 위해서 다음과 같은 방법론을 제시하고자 한다. 우선, 시뮬레이션 수행시간에 따른 시간제약적인 문제를 해결하기 위해서 직접 시뮬레이션을 수행하여 결과를 산출하는 방법 대신에 사전에 시뮬레이션의 결과를 수집하여 놓고, 그 중에서 특정 상황과 유사한 조건으로 수행된 시뮬레이션의 결과를 검색하여 가시화하는 방법을 이용한다. 이를 위해서는 사전에 다양한 상황(재실자의 정보, 시뮬레이션 파라미터의 설정, 재난 발생 지점 등)에 대한 수많은 시뮬레이션 결과를 누적시켜 저장해놓는 시스템이 필요하다. 따라서 수만 건 이상의 시뮬레이션 결과를 관리하기 위해서는 파일기반의 결과산출이 아닌 DBMS 기반의 시뮬레이션 결과관리 시스템이 구축되어야 한다. 본 연구에서는 다양한 상황 중, 재실자의 인원분포정보를 변경해가며 수많은 재실자 분포에 따른 시뮬레이션을 수행하고, 그 결과를 DBMS에 저장하여 관리하는 시스템을 구축하였다. 또한, 시뮬레이션 결과를 DBMS에 체계적으로 저장하기 위한 스키마 연구를 수행하였고, DBMS에 저장된 결과를 보행자의 대피안내 및 구조 활동 참고자료로 활용하기에 적합하도록 가공하여 사용자에게 제공할 수 있도록 하였다. 이에 더불어, 본 연구에서는 대피시뮬레이터와 실내인원감지 센서네트워크의 연동을 통해 실시간으로 건물의 인원 및 배치상태를 파악하고, 파악된 정보에 따른 시뮬레이션 결과를 산출하는 기법을 제시한다.

본 연구에서 제시하는 기법들을 이용한다면, 대피시뮬레이션의 직접적인 수행을 배제하기 때문에 빠르게 시뮬레이션의 결과를 획득할 수 있게 되며, 가상의 인원정보가 아닌 센서로 감지된 실제 인원정보를 이용하기 때문에 보다 현실적인 시뮬레이션 결과를 산출할 수 있게 된다. 이를 통해 실제 재난 상황에서 시뮬레이션의 결과를 빠르게 산출하여 이용할 수 있도록 한다. 즉, 실내센서를 통해 특정상황의 인원분포를 파악하고, 파악된 실내 인원정보와 가장 유사한 상황에서 수행된 시뮬레이션 결과 추출 기법 및 위 과정을 종합적으로 수행할 수 있는 실내 대피시뮬레이션 시스템을 제시한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 보행자 모델링

보행자 행동양상의 모델링은 다양한 분야에서 연구되고 있다[11]. 그 중 실내와 같은 미시적 관점에서 보행자의 움직임을 모델링하는 방법은 social force model이 주로 이용되고 있으며[5, 6, 7], 이와 유사한 결과를 도출하는 CA방식의 floor field model도 주목받고 있다[1].

본 연구에서는 서론에서 언급한 바와 같이, 수많은 인원분포조합에 따른 시뮬레이션을 사전에 수행해야 하기 때문에 연산속도에서 강점이 있는 floor field model 기반의 대피시뮬레이터를 구현해서 이용한다[3, 4]. Floor field model은 실내공간을 그리드(grid) 데이터로 분할하고, static floor field와 dynamic floor field 두 개의 필드 값을 이용하여 보행자의 움직임을 모델링 한다[9, 12]. 본 연구에서는 기본적인 floor field model의 이론과 파라미터 값을 이용하였으며, 보행자 움직임의 양상은 static floor field와 dynamic floor field의 sensitive parameter를 조절하여 나타내는데, [2]에서 정의해놓은 3가지 상황의 파라미터 값 중에 cooperative regime에서의 상황에 대해 정의해놓은 파라미터를 수정한  $k_s = 1, k_d = 0.1, \alpha = 0, \delta = 0.3$ 을 이용한다. 이 파라미터 값들은 보행자의 움직임에 큰 영향을 주며 상황에 맞게 적절한 파라미터 값을 설정하여 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

### 2.2 대피시뮬레이터

기존에 화재상황 분석, 보행양상 분석, 피난안전성 분석 등 여러 가지 목적에 따른 대피시뮬레이터들이 연구 및 개발되었다. 대피 시, 보행자들의 움직임을 나타내는 보행·행동 모델, 건물 구조를 나타내는 건물데이터 모델, 화재 시 발생하는 열·연기 모델 등 목적에 따라 적합한 모델을 선택하여 개발되었다. [8]에서 기존에 개발된 수많은 대피시뮬레이터들에 대한 비교·분석을 수행하였고, 본 연구에서는 [8]에서 분석한 자료 중에 외부에 공개되거나 현재까지 사용되고 있는 24가지 대피시뮬레이터에 대한 분석을 정리하였다. 특히 중점적으로 살펴본 부분은 대피시뮬레이션 후에 산출되는 결과데이터(output)에 대한 것이다. 본 연구에서 제안하는 대피시뮬레이션 시스템은 시뮬레이션의 결과데이터를

실시간 상황에서 활용할 수 있도록 하는 데에 주목적이 있고, 이를 위해서는 재난 상황에서 활용할 수 있는 결과데이터가 필요하다.

분석결과, 초기인원분포, 총 대피시간, 총 대피인원 등은 거의 대부분의 시뮬레이터에서 산출되고 있다. 또한, 건물정보, 시간대별 대피인원, 보행자별 대피시간 및 경로, 출구별 시간당 대피인원 등의 추가정보들을 산출하기도 하고, ASERI, EGRESS 등은 병목현상이 발생하는 지점까지도 산출하고 있다. Egress Section in FPETool, Simulex, EXIT89 등 다층의 공간구조에서 활용가능한 시뮬레이터들은 계단정보 및 수직이동시간 등의 정보들도 산출하고 있다. 또한, BGRAF, ALLSAFE 등 화재모델을 적용한 시뮬레이터들은 화재발생지점, 연기확산에 대한 영향, 화재에 보행자가 반응하는 시간 등의 화재 관련정보도 산출하고 있다.

서론에서 언급한 바와 같이, 본 연구에서는 시뮬레이션 결과데이터를 실제 재난 상황에서 활용하고자 하고, 이를 위해서는 시뮬레이션 결과데이터를 DBMS에 누적하여 저장하는 시스템이 필요하다. 따라서 앞서 살펴본 여러 가지 결과데이터 중에 DBMS에 저장하기 너무 무거운 데이터들은 제외하고, 실제 재난상황에서 요구될 것으로 판단되는 결과데이터들을 추려내야 한다. 즉, 본 연구에서 제안하는 대피시뮬레이션 시스템에서는 DBMS에 저장할 수 있도록 가벼워야 하며 실제 재난상황에서 활용성이 높을 것으로 판단되는 데이터들을 결과데이터로 산출해야 한다.

또한, Simulex, buildingEXODUS등 기존에 개발된 대피시뮬레이터들은 상용프로그램들이 대부분인데, 이들은 특정기능을 수정하거나 추가하기가 불가능하다. 본 연구에서는 기존 대피시뮬레이터에는 없는 기능인 필요한 결과데이터의 산출 및 시뮬레이션 결과의 DBMS누적기능이 필요하기 때문에 [15]에서 개발한 대피시뮬레이터를 기반으로 하여 필요한 기능을 추가한 대피시뮬레이터를 개발해야 할 것으로 판단된다.

### 2.3 실내인원감지 센서

실내인원분포 혹은 실내인원의 수를 파악하기 위해 보행자의 출입정보를 감지할 수 있는 센서는 적외선 센서, RFID, 열감지 센서, 무게감지 센서, 지그비 센서, 카메라 센서 등이 있다. [22]에서는 실내

카메라센서를 이용하여 이동객체(보행자)의 위치정보를 획득하는 방식을 제시하였다. [17]에서도 출입구에 설치된 CCD카메라로 획득한 영상정보를 이용하여 이동객체의 정보를 획득하였다. [13]에서는 적외선 거리측정 센서를 이용하여 보행자가 발생하는 열을 측정하여 보행자의 수와 이동방향을 감지하는 시스템을 제안하였다. [23]에서는 적외선에 기반을 둔 근접방법으로 이동객체를 추적하는 시스템을 제안하였다. [21]에서는 보행자를 인식하기 위해 초전 센서를 이용하였으며, 다수의 초전 센서로부터 출력된 정보를 센서 융합하여 거주자의 위치를 인식할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 이와 같이 다양한 이동객체감지센서를 이용하여 보행자의 수 및 위치를 파악하는 연구들이 있고, 대부분 이동객체의 위치를 추적하는 측위기술을 연구하였는데, 이를 위해서는 다수의 센서를 이용한 센서네트워크가 구축되어야 한다[25].

본 연구에서 요구되는 정보는 각 방별 재실자의 분포이고, 각각의 재실자별로의 정확한 위치정보까지는 필요하지 않다. 각각의 방이나 복도에 있는 재실자들의 수를 기반으로 한 재실자분포정보를 이용하기때문에 재실자들의 출입인원정보만을 획득한다. 재실자들의 출입인원정보를 획득하기에 적합한 센서는 적외선 센서로, 건물의 출입구나 방문에 설치하여 각 공간별로 이동하는 재실자의 수를 파악할 수 있다. 이를 이용하여 각 공간별로 존재하는 재실자의 수를 감지할 수 있고, 이를 주기적으로 DBMS에 저장하여 관리하고자 한다. 본 연구에서는 캠퍼스 건물의 일부 구역에 적외선 센서를 설치하여 실제인원 데이터를 수집할 수 있도록 센서네트워크를 구성하였고, 이는 다음장에 자세히 설명한다.

### 3. 시스템 구축 방법론

#### 3.1 시뮬레이션 결과 산출 및 DB스키마 설계

본 연구에서는 대피시뮬레이션 결과데이터를 실제 재난 상황에서 활용가능하도록 하는 시스템을 구축하고자 한다. 실제 재난 상황에서 대피시뮬레이션을 수행하여 결과데이터를 획득하기에는 시간제약적인 문제점이 있기 때문에 이를 해결하기 위해서 사전에 수많은 시뮬레이션의 결과를 DBMS에 저장하여 놓고, 특정상황에 대한 결과데이터를 질의

(query)를 통해 검색하여 출력하는 시스템을 구현한다. 따라서 우선적으로 DBMS에 저장가능한 결과데이터를 선택해야 하며, 그에 대한 DB스키마를 설계해야 한다.

2장에서 살펴본 바와 같이, 본 연구에서는 floor field model을 이용하여 대피시뮬레이션을 수행하기 때문에 건물 및 보행자에 대한 데이터로 그리드 데이터를 이용한다. 대상 공간을 40 x 40cm로 분할하고 하나의 셀에는 벽, 이동가능한 공간, 외부공간 등의 공간속성이 부여되며 보행자는 이동가능한 공간을 따라 출구로 이동하게 된다[15]. 이러한 과정에서 산출할 수 있는 결과데이터는 표 1에 정리되어 있다.

표 1. 산출되는 결과데이터의 종류

결과데이터	세부내용
초기인원분포	각 보행자별 초기위치좌표를 저장
총 대피인원	전체 대피인원을 저장
총 대피시간	전체 대피시간을 저장
알고리즘 파라미터	Floor field model에서 사용한 알고리즘 파라미터들을 저장.
출구별 대피인원	각 출구별로 집계된 대피인원을 저장
각 방별 대피경로	각 방마다 대표 재실자를 임의로 선정하여 이동한 경로를 좌표리스트로 저장
병목예상지점	각 셀별로 보행자의 점유도를 계산하여 셀점유도 값을 저장

표 1에 대해 자세히 살펴보면, 기본적으로 저장되어야 하는 정보는 초기인원분포, 총 대피인원 및 시간, 알고리즘 파라미터이다. 초기인원분포는 단순하게는 각 방별 인원의 숫자를 저장할 수 있고, 좀 더 세부적으로는 각 보행자마다의 초기좌표를 저장할 수 있다. Floor field model은 그리드 데이터를 사용하기 때문에 보행자의 위치는 셀의 좌표로 저장된다. 인원의 숫자만 저장하는 경우는 데이터의 크기가 작은 장점이 있는 대신, 세부적인 상세위치는 알 수 없다는 단점이 있다. 본 연구에서는 데이터의 크기는 훨씬 크지만, 보행자의 초기위치분포까지 제공하기 위해 각 보행자별 초기위치좌표를 저장하고자 한다. 총 대피인원과 대피시간은 거의 모든 대피시뮬레이터들이 제공하는 정보로, 데이터의 크기도 작기 때문에 DB에 저장하기에 무리가 없다. 알고리즘

파라미터는 floor field model에서 이용하는 static floor field와 dynamic floor field에 적용되는  $k_s, k_d, \alpha, \delta$  등의 파라미터 값을 의미하는데, 이 값이 변경됨에 따라 대피양상이 크게 달라지기 때문에 반드시 저장해야 하는 값들이다[2].

기본정보와 더불어 본 연구에서는 실제 재난상황에서 요구될 것으로 판단되는 추가정보들을 결과데이터로 산출하고, DBMS에 저장하고자 한다. 이 정보들은 실제 재난상황 시에, 구조우선지역 선정, 병목지점 파악 등에 활용될 것으로 예상된다. 출구별 대피인원은 대피시뮬레이션 수행과정에서 각 출구별로 대피한 인원을 집계하고, 그 정보를 기록한 것이다. 각각의 출구별로 집계된 대피인원정보는 어떤 출구로 보행자들이 많이 몰리는지 파악할 수 있는 중요한 정보로, 실제 상황에서 제공해야 한다고 판단되기 때문에 추가하였다. 각 방별 대피경로는 각 방의 대표 재실자를 선정하여 대표 재실자가 이동한 경로의 좌표를 저장한 것이다. 대표 재실자를 선정하는 이유는 모든 재실자의 이동경로를 저장하기에는 데이터의 크기가 너무 커지게 되고 이를 DBMS에 저장하기에는 무리가 있기 때문이다. 예를 들어, 5개의 방에 100명의 재실자가 평균 50개의 셀을 이동하여 대피하였다고 하면 5000개의 경로좌표가 생성되게 된다. 건물의 구조가 복잡해지고 재실자의 숫자가 증가하면 좌표(셀)의 갯수는 기하급수적으로 증가하게 된다. 반면에 각 방별 대표 재실자를 선정하여 경로좌표를 저장하는 경우에는 5개의 방이기 때문에 5명의 경로좌표인 250개의 좌표만 저장하면 된다. 재실자의 숫자가 증가하더라도 저장해야 하는 좌표의 숫자는 증가하지 않게 되기 때문에 저장용량이 훨씬 적게된다. 따라서 각 방별 대표 재실자의 이동경로를 좌표리스트로 산출하여 DBMS에 저장하였다. 마지막으로 병목예상지점은 재실자들이 대피하는 과정에서 복도, 문, 출입문 등에서 발생하는 병목현상에 대한 정보를 의미한다. 본 연구에서는 각 셀마다 보행자가 점유한 횟수를 기록하고 이를 셀 점유도라 정의하였다. 실내공간에서 셀 점유도의 분포를 살펴보면 어느지역에서 보행자들이 많이 몰렸는지에 대한 정보를 예측할 수 있다. 그림 1은 셀 점유도의 분포를 가시화한 모습이다. 셀마다 부여된 색으로 점유도를 나타냈는데, 하단의 출구에 점유가 가장 많이 일어났음을 파악할 수 있다. 또한 다른 두개의 출구근처에서도 점유율이 높

았음을 알 수 있는데, 이러한 정보를 토대로 어느 지역에서 병목가능성이 높은지에 대한 예측이 가능할 것이다.

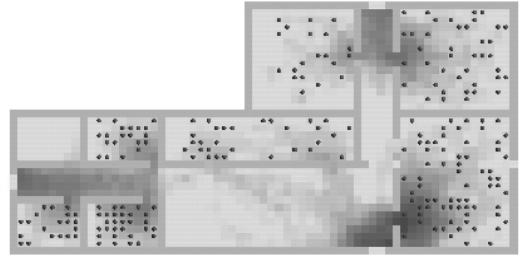


그림 1. 셀 점유도의 예시

앞서 언급한 결과데이터들을 DBMS에 저장하기 위해서 스키마를 설계해야 한다. 표 2에 각 테이블의 스키마가 나타나있다. 센서감지인원을 지정하는 테이블과 센서타입테이블, 시뮬레이션결과 테이블로 구성되어 있다. 센서감지인원은 시간대별 감지인원과 저장시간, 전체인원을 저장할 수 있다. 센서타입은 어느건물에 설치된 센서인지에 대한 정보이다. 시뮬레이션결과데이터는 전송한 바에 따라 설계하였다.

표 2. DBMS 스키마

테이블	스키마
센서감지인원	ID, Person, Type(FK), Time, TotalPerson
센서타입	ID, TypeDescription
시뮬레이션결과	ID, Building, Person, TotalPerson, Exit, Time, Alpha, Delta, Kd, Ks, SecPerTick, AgentPathLog, CellOccupationValue, PersonLocation

### 3.2 출입인원 감지센서를 이용한 실내인원분포 파악

실제 재난 상황에서 시뮬레이션 결과데이터를 활용하기 위해서는 실제 인원분포를 반영한 시뮬레이션 결과가 필요하다. 따라서 실내인원분포를 파악하기 위해서 센서기술을 활용해야 한다. 2장에서 실내 이동객체의 측위에 대한 다양한 연구들을 살펴보았는데, 본 연구에서 필요한 데이터는 정확한 측위보다는 각 방별 재실자의 수가 요구된다. 그 이유는 시뮬레이션 결과를 저장한 DBMS에서 실제 인원분

포와 유사한 데이터를 이용하여 산출한 결과데이터를 질의를 통해 검색해야 하는데, 실제 측위데이터를 이용하여 개개인의 정확한 위치까지 반영한다면 검색속도의 저하가 발생할 가능성이 높고, 각각의 재실자별로 위치좌표를 비교해야 하는데 이는 물리적으로 어려운 점이다. 또한 실내 재실자의 숫자정도만 파악하더라도 실제 측위를 통해 얻은 인원정보로 수행한 시물레이션의 결과와 유사한 결과를 획득할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 재실자의 출입에 대한 감지를 주 목적으로 하는 센서를 이용해야 하고, 적외선 센서가 목적에 가장 부합하는 것으로 판단하였다.

본 연구에서 사용하는 센서의 구성을 살펴보면 다음과 같다. 각 출입문 앞에는 적외선방식의 카운터 입력센서가 설치되고, 2개가 한 쌍으로 구성된다. 각 출입문마다 설치된 적외선 센서에서 감지된 출입인원은 취합되어 컨버터로 전송된다. 컨버터로 전송된 데이터는 컴퓨터에서 인식할 수 있도록 RS485 통신을 RS232 통신으로 변환된다. 컴퓨터로 전송되는 데이터는 감지된 시간, 실시간으로 감지된 출입인원 및 누적인원 등이다.

전송된 데이터는 일반적으로는 로그(log) 파일로 저장되나, 본 연구에서는 DBMS에 저장하여 이용하는 방식을 제시한다. 실제 재난이 발생할 경우에는 센서와의 연결이 끊어지는 경우가 발생할 수 있다. 연결이 끊어지면 센서에서 직접 감지하여 인원정보를 얻는 것이 불가능하고, 그 전에 기록된 로그를 통해 가장 가까운 시점의 인원정보를 얻어야 하는데 파일기반의 로그로는 처리하기 어렵다. 따라서 센서에서 감지된 출입인원데이터를 서버에 있는 DBMS에 저장하고, 특정 시점의 인원분포정보를 불러와 사용할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

### 3.3 대피시물레이션 결과와 센서감지인원 데이터의 매칭시스템

3.1절에서 대피시물레이션 결과데이터로 산출할 사항들을 정의하였고, DBMS에 저장하기 위한 시물레이션 결과 DB스키마를 설계하였다. 3.2절에서 적외선 센서네트워크를 구축하여 감지된 출입인원정보를 센서감지인원 DB에 저장하였다.

그림 2는 본 연구에서 제시하는 시물레이션 결과와 센서감지인원 데이터의 매칭시스템에 대한 구성 및 흐름도이다. 연동시스템은 데이터연동프로그램

으로 구성되어 있는데, 센서로 감지된 출입인원정보를 저장하는 센서감지인원 DB와 시물레이션 결과를 저장하는 시물레이션 결과 DB에 접속하여 질의를 수행하고 결과를 반환한다. 센서감지인원 DB는 5분 주기로 각 방별 감지된 출입인원정보를 저장한다. 시물레이션 결과 DB는 사전에 수많은 인원조합에 따라 산출된 시물레이션 결과를 저장한다. 본 연구에서는 시물레이션 결과에 영향을 주는 다양한 변수 중, 인원분포에 초점을 맞추고 있기 때문에 인원조합을 변경해가며 시물레이션을 수행하고 그 결과를 DB에 누적하여 저장하고자 한다. 그림 3에는 수많은 인원조합의 예가 나타나 있다. 방이 4개 있는 공간에서 각 방별로 인원의 수를 바꿔가며 수많은 케이스를 나누게 되고, 각 케이스별로 대피시물레이션을 수행하여 시물레이션 결과 DB에 저장하게 된다.

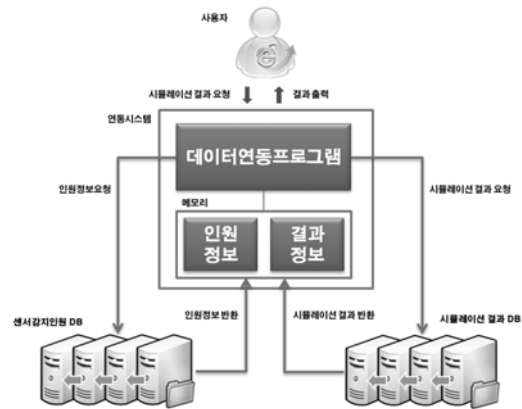


그림 2. 매칭시스템의 구성 및 흐름

시스템의 흐름을 살펴보면 우선 사용자는 재난발생 상황과 같은 특정시점에 대한 시물레이션의 결과를 시스템에 요청하게 된다. 연동시스템은 요청한 시점에 대해 가장 근접한 시간의 인원조합정보를 얻기 위해 센서감지인원 DB에 인원정보를 요청하게 된다. 요청된 인원정보는 시스템에 반환되어 메모리에 저장된다. 그 다음, 얻어진 인원분포정보와 가장 유사한 인원조합으로 수행된 시물레이션 결과를 얻기 위해 시물레이션 결과 DB에 데이터를 요청한다. 요청된 시물레이션 결과가 시스템에 반환하게 되고 이는 최종적으로 사용자에게 전달된다. 본 연구에서 제시하는 시스템을 이용하면 사용자는 대피시물레이션의 직접적인 수행을 하지 않고도, 실제

인원정보와 유사한 데이터를 이용한 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있게 된다. 대피시뮬레이션의 수행이 배제되기 때문에 시뮬레이션 수행속도에 따른 시간 제약적인 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 센서로 감지된 실제 인원정보를 이용하기 때문에 실제 재난 상황에서 활용가능성을 높힐 수 있다.

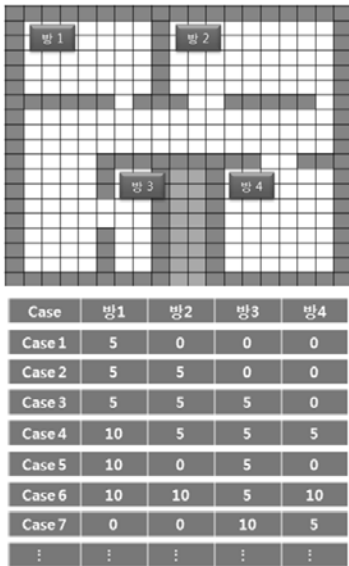


그림 3. 수많은 인원조합의 예

### 3.4 대피시뮬레이션 결과 분석

3.3절에서 제시하는 시스템을 통해 특정 시점에 대한 시뮬레이션 결과 데이터를 빠르게 획득할 수 있게 된다. 하지만 사용자에게 전달되는 결과데이터는 텍스트기반의 정보로 한눈에 핵심을 파악하기에는 어려움이 있다. 실제 재난 상황에서는 이러한 점을 고려해야 한다고 판단하여 결과데이터를 가공하여 시각적으로 가시화하는 기법을 추가하였다. 시각적으로 표현된 데이터를 통해 사용자가 핵심적인 데이터를 빠르게 파악할 수 있도록 한다.

3.1절에서 설계한 시뮬레이션 결과 DB스키마에 따르면, 산출되는 결과데이터는 초기인원분포, 총 대피시간, 총 대피인원, 알고리즘 파라미터, 출구별 대피인원, 각 방별 대피경로, 병목예상지점 등이 있다. 이 중, 텍스트로만 제공해야 하는 데이터는 총 대피시간, 총 대피인원, 출구별 대피인원, 알고리즘 파라미터이다. 이를 제외한 나머지 결과데이터는 텍스트로 제공할 뿐만 아니라 2·3차원 그래픽으로 가

시화하여 제공된다. 시뮬레이션을 수행했던 건물의 정보를 입력하면 해당 건물 위에 초기인원분포가 나타나게 되고, 각 방별 대피경로가 선으로 나타나게 하였다. 또한, 병목예상지점은 3.1절에서 언급한 셀 점유율을 통해 파악할 수 있도록 하였고, 셀의 색깔로 구분하여 나타낸다. 시각화된 자료를 통해 빠르게 데이터를 분석할 수 있게 하여 실제 재난 상황에서 활용할 수 있는 기초자료로 가능할 것으로 판단된다.

## 4. 적용테스트

3장에서 시뮬레이션 결과 및 센서감지인원을 저장하는 DBMS와 이것을 연동하는 데이터연동시스템, 그리고 시뮬레이션 결과데이터를 가시화하는 기능을 설명하였다. 이를 캠퍼스건물 일부에 적용하여 테스트를 수행하였다. 4.1절에서는 시뮬레이션 결과 DB와 센서감지인원 DB를 구축하고, 대상지역에 대한 시뮬레이션 결과를 누적하여 저장하고 적외선 센서로 감지된 출입인원정보를 누적하여 저장한다. 또한 구축한 DBMS를 이용한 대피시뮬레이터 및 데이터연동시스템을 구축하고 시뮬레이션 결과를 가시화하는 기능도 구축한다. 4.2절에서는 구현된 시스템을 살펴보고 테스트한다.

### 4.1 DBMS 및 시스템 구축

3.1절에서 설계한 시뮬레이션 결과 DB와 3.2절에서 사용하는 센서감지인원 DB를 구축한다. 본 연구에서는 DBMS로 PostgreSQL을 이용하였다[10]. DBMS는 IRSensor(센서에 감지된 인원을 저장), SimResult(시뮬레이션 결과를 저장), SensorType(센서의 구성타입) 등 3개의 테이블로 구성하였다. 각각 테이블의 스키마는 3장에서 언급한바와 같이 구성하였다.

그 다음, [15, 18]에서 개발한 대피시뮬레이터를 기반으로 하여 본 연구에서 요구되는 대피시뮬레이터를 개발하였다. 대피시뮬레이터에 요구되는 기능은 두 가지인데, 첫째는 다양한 인원조합을 변경해 가며 자동적으로 반복수행될 수 있어야 하고, 둘째는 시뮬레이션 수행종료 후 결과데이터를 시뮬레이션 결과 DB에 저장해야 한다. 다양한 인원조합의 변경은 임의로 수행되게 하였다. 각 방마다 수용할 수 있는 최대인원을 파악한 후, 최대인원 이내의 범

위에서 증가단위를 10단위로 하여 난수를 발생시켰다. 예를 들면, 최대인원이 23명인 방에서 발생가능한 인원의 경우는 0, 10, 20명이다. 각 방마다 가능한 범위내의 인원의 난수를 발생시켜 인원조합을 구성하고 시물레이션을 수행하게 된다.

구축된 대피시물레이터를 이용하여 다양한 인원 조합에 따른 시물레이션 수행 결과를 DBMS에 저장하여 놓는다. 그 다음, 구축된 DBMS를 이용하여 시물레이션 결과를 얻어오는 매칭시스템을 개발하였다. 3.3절에서 설명한 구성과 흐름을 따르게 하였으며, 특정 시점의 센서감지 인원정보를 가져오는 방법은 시간정보를 질의하여 결과를 얻도록 하였다. 인원정보와 유사한 인원분포를 가지고 있는 시물레이션 결과 데이터매칭기법은 각 방별 인원차이값을 이용한 euclidean distance기법으로 스코어를 부여하였다. 이 기법을 이용하면 인원차이가 많이 날 수록 스코어가 증가하게 되고 인원차이가 적을 수록 스코어가 감소하게 된다. 또한, 스코어를 계산하는 속도가 빠르기 때문에 검색시간을 단축시킬 수 있다. 특정 시점의 인원정보와 시물레이션 결과 DB에 있는 데이터들의 유사도를 의미하는 스코어를 부여한 후에, 상위 20개의 결과데이터를 출력하여 사용자에게 제공하게 하였다. 3.4절에서 언급한 바와 같이 기본적으로 텍스트로 제공되며, 세부정보창을 통해 가시화된 부가정보가 제공되게 된다.

4.2 시스템 테스트

구축된 시스템을 테스트하기 위해 캠퍼스 건물의 일부구역을 대상지역으로 선정하였다. 건물 내 강의실 7개와 복도로 구성된 공간이고 강의실내 출입인원을 감지할 수 있도록 모든 문에 적외선 센서를 설치하였다.

그림 4는 대피시물레이터의 메인인터페이스를 나타낸다. 건물의 데이터를 입력받고 시물레이션을 수행하기 전의 화면이며, 시물레이션을 수행하면 가상의 대피시물레이션이 수행되고 결과데이터는 설정한 DBMS내에 저장되게 된다.

그림 5는 매칭시스템의 메인인터페이스이다. 사전에 약 19,000번의 시물레이션을 수행하여 결과데이터를 DBMS에 누적해 놓았으며, 센서로 감지된 인원데이터와 매칭을 수행한 화면이다. 계산된 매치율에 따라 상위 20개의 결과데이터를 출력하고 있

으며 텍스트로 기본정보를 표시하고 있다. 검색에 수행된 시간은 약 0.5초이며 실제 시물레이션 수행 시간에 비하면 매우 짧은 시간에 결과를 획득할 수 있음을 확인할 수 있다. 검색된 결과데이터 중, 특정 데이터에 대한 상세정보를 확인하면 결과데이터가 시각화되어 제공된다.

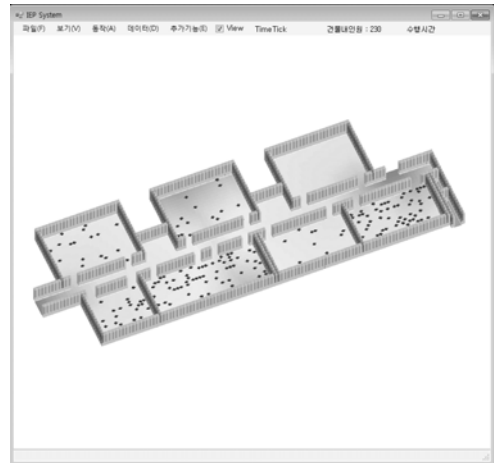


그림 4. 대피시물레이터의 메인인터페이스

ID	건물명	방명	인원	수행시간
12179	120	취미실	14	00:00:01.47
12650	120	취미실	14	00:00:01.47
14610	130	취미실	14	00:00:01.46
10939	130	취미실	14	00:00:01.42
12680	160	취미실	14	00:00:01.63
08864	120	취미실	14	00:00:01.43
10525	120	취미실	14	00:00:01.48
12854	120	취미실	14	00:00:01.32
12663	110	취미실	14	00:00:01.34
10080	130	취미실	14	00:00:01.44
7462	130	취미실	14	00:00:01.57
10632	120	취미실	14	00:00:01.39

시물레이션데이터	인원	센서데이터	인원	PM
취미1	50	취미2	56	-5
취미2	10	취미2	14	+4
취미3	10	취미3	6	4
취미4	20	취미4	20	0
취미5	10	취미5	17	-7
취미6	20	취미6	13	7
취미7	20	취미7	23	-3

그림 5. 매칭시스템의 메인인터페이스

그림 6은 시각화된 상세결과데이터이다. 점으로 표현된 것은 재실자들의 초기위치이고, 바닥에 색으로 표현된 것은 셀점유율로 병목지점을 예상할 수 있는 수치이다. 좌측복도에 더 많은 재실자들이 몰리고 있음을 파악할 수 있다. 그리고 선으로 표현된 것은 각 방마다 대표재실자의 대피경로를 나타내는데, 이를 통해 해당 방의 재실자들이 어떠한 경로로 대피하는지 예측할 수 있다.



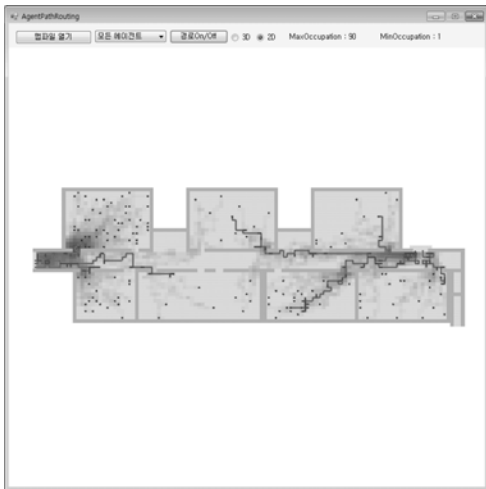


그림 6. 결과데이터의 시각화

### 5. 결론

본 연구에서는 대피시뮬레이터의 활용방안을 넓히기 위한 목적으로 실내센서정보와 DBMS를 이용한 실시간 대피시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 적외선 실내센서를 이용하여 실제 재실자 인원분포를 파악하고 활용할 수 있도록 하였다. 그리고 대피시뮬레이션의 결과를 DBMS에 저장하고 센서감지인원과 매칭하여 특정 시점의 인원분포에 해당하는 시뮬레이션 결과데이터를 제공하는 기법을 개발하였다. 또한, 제공되는 시뮬레이션 결과데이터의 종류 및 방식을 정의하였고, 결과데이터를 시각적으로 가시화하여 제공하는 기능을 개발하였다.

본 연구에서는 제시한 시스템을 통해 대피시뮬레이션의 결과를 건축물의 피난안전성 평가 뿐만 아니라 실제 재난 상황에서 활용할 수 있도록 하고자 하였다. 실내센서정보와 DBMS 기술을 이용하여 기존 시뮬레이터가 가진 제약조건들을 해소하였고, DBMS 매칭을 통해 빠르게 시뮬레이션의 결과를 제공할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 인원분포조합에 초점을 맞추어 센서 네트워크를 구성하고, 대피시뮬레이션 결과를 획득하였다. 추후에는 인원분포조합뿐만 아니라, 재실자의 특성(연령, 성별, 성향 등)을 센서를 통해 파악하고, 인원분포조합과 더불어 floor field model의 파라미터를 변경해가면서 재실자의 분포 및 특성을 반영한 시뮬레이션의 결과를 획득하는 기능으로 발전시킬 수 있을 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

[1] A. Kirchner, and A. Schadschneider, 2002, "Simulation of evacuation processes using a bi-physics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics", *Physica A*, vol. 312, pp. 260-276.

[2] A. Kirchner, K. Nishinari, and A. Schadschneider, 2003, "Friction effects and clogging in a cellular automaton model for pedestrian dynamics", *Phys. Rev., E* 65(5): 056122-056128.

[3] C. Henein and T. White, 2005, "Agent-based modeling of forces in crowds", Springer, vol. 3415, pp. 173-184.

[4] C. Henein and T. White, 2007, "Macroscopic effects of microscopic forces between agents in crowd models", *Physica A*, vol. 373, pp. 694-712.

[5] D. Helbing and P. Molnár, 1997, "Self-organization phenomena in pedestrian crowds", In F. Schweitzer (ed.), *Self-Organization of Complex Structures: From Individual to Collective Dynamics*, Gordon & Beach, London, UK.

[6] D. Helbing, I. Farkas, and T. Vicsek, 2000, "Simulating dynamical features of escape panic", *Nature*, vol. 407, pp. 487-490.

[7] D. Helbing, I. Farkas, P. Molnár, and T. Vicsek, 2001, "Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations" In M. Schreckenberg and S. Sharma, (Eds.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 21-58.

[8] E. D. Kuligowski, , R. D. Peacock, 2005, "Review of Building Evacuation Models", Report NIST TN 1471, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.

[9] K. Nishinari, A. Kirchner, A. Namazi, and A. Schadschneider, 2005, "Simulations of Evacuation by an Extended Floor Field CA Model", *Traffic and Granular Flow '03*, pp. 405-410.

[10] PostgreSQL, <http://www.postgresql.org/>.

[11] R. K. Ahuja, T. L. Magnate, and J. B. Orlin, 1993, *Network Flows: Theory, Algorithms and Applications*.

- [12] T. Kretz and M. Schreckenberg, 2006, "Floor field- and Agent-based Simulation Tool", International Symposium of Transport Simulation, Lausanne, Switzerland.
- [13] 가기환, 이광국, 윤자영, 김재준, 김희율, 2008, "적외선 거리 측정 센서를 이용한 보행자 수 측정", 대한전자공학회 하계종합학술대회, 2008, pp. 819-820.
- [14] 강소연, 조정훈, 최선호, 홍민호, 장원복, 2004, "방재시물레이션을 통한 의료시설의 피난안전성 평가", 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2004, pp. 185.
- [15] 광수영, 남현우, 전철민, 2010, "가시성을 고려한 3차원 실내 보행자 시물레이션 모델", 한국공간정보학회지, 제18권, 제5호, pp. 133-142.
- [16] 김종훈, 김운형, 허준호, 노삼규, 2003, "대공간에서의 피난안전성능평가", 한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문집, 2003, pp. 28-33.
- [17] 김창열, 최석림, 2002, "실시간 이동 인원 계수 시스템", [IITA] 정보통신연구진흥원 학술기사 추계종합학술발표회 논문 초록집 vol.26
- [18] 박인혜, 전철민, 이지영, 2008, "CA 모델을 이용한 GIS 기반 화재 대피 시물레이션", 한국GIS학회지, 제16권, 제2호, pp. 157-171.
- [19] 윤호주, 황은경, 2009, "피난시물레이션 프로그램 개발을 위한 Exodus와 Simulex의 알고리즘 비교 분석에 관한 연구", 한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문집, 2009, pp. 46-51.
- [20] 윤호주, 황은경, 2009, "피난시물레이션 프로그램 개발을 위한 연구동향 분석에 관한 연구", 한국화재소방학회 춘계학술논문발표회 논문집, 2009, pp. 443-440.
- [21] 이석, 김현희, 임정학, 김성훈, 2008, "초전 센서 기반 실내 위치 인식 시스템", 한국멀티미디어학회지, 제12권, 제3호, pp. 46-56.
- [22] 이현진, 박소영, 유순주, 김이화, 전철민, 2006, "실내센서기반 실시간 이동객체 맵핑 시스템", 한국GIS학회 공동추계학술대회, 2008, pp. 554-558.
- [23] 정석민, 정우진, 우운택, 2005, "적외선 기반 실내 사용자 위치 추적 시스템", 전자공학회논문지 CI 편, 제42권, 제5호, pp. 9-20.
- [24] 정태호, 김희규, 박상현, 2009, "Simulex와 build- ingExodus를 활용한 대형 백화점의 피난안전성

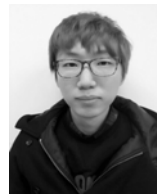
비교연구", 한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문집, 2009, pp. 532-538.

- [25] 최현민, 박영균, 김장훈, 남영진, 홍춘표, 2008, "무선 센서 네트워크를 위한 위치 인식 시스템", 한국멀티미디어학회 추계학술발표논문집, 2008, pp. 84-87.

논문접수 : 2012.02.29

수정일 : 1차 20104.16 / 2차 2012.04.23

심사완료 : 2012.04.27



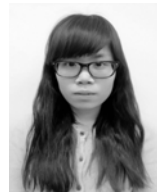
남 현 우

2010년 서울시립대학교 공간정보공학 공학사

2010년~현재 서울시립대학교 공간정보공학 석사과정

관심분야는 공간데이터베이스, 웹 GIS,

모바일 GIS 등



곽 수 영

2010년 서울시립대학교 공간정보공학 공학사

2012년 서울시립대학교 공간정보공학 공학석사

2012년~현재 서울시립대학교 공간정보공학 박사과정

관심분야는 GIS, 공간분석, 공간데이터베이스, 실내 대피 등



전 철 민

1988년 서울대학교 도시공학 공학사

1990년 서울대학교 도시공학 공학석사

1997년 Texas A&M University 도시 및 지역계획학 박사

1997년~1999년 North Carolina RTI

GIS 전문요원

1999년~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 정교수

2008년~2010년 서울시립대학교 공간정보연구센터 센터장

관심분야는 GIS, 공간 데이터베이스, 3차원 모델, network algorithm 등표 1. 갱신요청 데이터