

# 인간이동 감지기술을 활용한 다중이용건축물에서의 최적피난경로 알고리즘의 연구

A Study on the Optimum Refuge Path Algorithm in Multiplex Building  
using the Human Movement Detection System

김 은 성\*                      김 영 석\*\*                      김 재 준\*\*\*  
Kim, Eun-sung              Kim, Young-suk              Kim, Jae-jun

## Abstract

As buildings have been constructed higher and more complicated recently, the activities of the residents occurred in those multiplex buildings have also become more various. As a result, possibility and the size of the damage from the disaster like a fire are getting larger. So, many studies for preventing the damage in refuge situation are being conducted. In this study, a new process for finding the optimum refuge path is presented, which is different from existing methods. This new method operates by using the human movement detection system in the building for real time. And the process also shows the new way which can shorten the number of calculation for deciding the optimum refuge path. That new way is to make variables such as the velocity of smoke and person movement into a constant. Finally it will be applied to a multiplex building.

키워드 : 다중이용건축물, 인간이동 감지기술, 최적피난경로 알고리즘

Keywords : multiplex building, human movement detection system, the optimum refuge path algorithm

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

지난 수 십 년간 급격한 산업화와 도시화로 인해 도시로 많은 인구가 유입되면서 도시 안에 수많은 건축물이 생기게 되었고, 이에 따라 새로운 건축물을 수용할 토지 공간이 부족하게 되고, 지가가 상승하였다. 이로 인해 한정된 토지를 효율적으로 활용하기 위해 고층화, 복잡화가 증대되어 다중이용 건축물이 점점 더 많이 건축 되었으며, 한 건축물 안에서 많은 사람들이 다양한 활동을 하게 되었다. 따라서 건물 내 화재 등에 의한 피해의 가능성 및 규모 역시 간과할 수 없을 만큼 거대화 되고 있다.

인명피해가 대형화함에 따라, 화재 시 인명피해를 줄이기 위해, 피난경로 및 피난 행동 등에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그런데 기존의 여러 피난경로 도출을 위한 알고리즘 계산에 있어, 다익스트라 알고리즘, 유전자 알고리즘 등을 기반으로 하는데, 이때 경로 도출의 목적이 출발지에서 목적지까지의 "최단경로"라는 유일해

를 찾기 위해 많은 계산을 하게 되어 경로 도출이 더딜 것이라는 예측이 가능하였다.

또한 피난소요시간을 계산하는데 있어 가장 중요한 변수 가운데 하나인 각 공간에 존재하는 재실자의 수를 측정하는데 있어, 기존의 인원수 확인을 위한 방법과 달리 대부분의 대형 건물에 설치 되어있는 CCTV를 통한 인간이동 감지기술을 활용하여 실시간으로 측정하여, 이를 최적경로 도출에 연계하고자 한다.

즉, 본 연구에서는 실제 화재가 발생하였을 경우에 피난경로도출의 목적은 건축물 내부에 있는 "전체 재실인원을 대상으로 하는 안전한 피난"이며, 특정 실의 인원의 최단시간 피난이 아니라는 개념을 전제로 함으로서, 실시간으로 측정된 건물 공간 내부의 재실자수와 그 밖의 다른 요소들을 데이터베이스화 하여, 기존의 피난경로 도출 방법과는 다른 새로운 접근 방법을 제시하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

우선 기존의 피난경로 검색과의 가장 큰 차별성을 부여하기 위하여 공간 내부에서 실시간으로 변화하는 재실자의 수를 측정하고 이를 경로검색과 연계하기 위한 인간이동 감지기술에 대하여 알아보았다.

다음으로 기존의 관련 이론 및 선행 연구 분석을 통해 피난경로 도출에 필요한 주요 요소 들을 분석하여 이를 보다 효율적으로 활용하는 방안에 대해 모색하고, 기존

\* 정회원, 한양대학교 건축환경공학과 석·박사통합과정

\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수

※ 본 연구는 2008년도 한국건설교통기술평가원 연구비 지원에 의해 연구의 일부임. 과제번호 : 06건설핵심D06

연구 분석을 토대로 새로운 피난경로 검색 방법 및 알고리즘을 제시한다.

마지막으로, 제시된 피난경로 검색 방법 및 알고리즘을 실제 다중이용건축물을 대상으로 적용해 보고 이를 검토함으로써 향후 나아갈 연구 방법에 대해 알아 볼 것이다.

## 2. 인간이동 감지기술을 통한 실시간 재실인원수 측정

### 2.1 인간이동 감지기술의 개발

#### (1) 인간이동 감지기술의 개요

최적경로를 도출하는데 있어 무엇보다도 중요한 요소가 바로 공간내의 재실인원수이다. 3장 최적경로 알고리즘 부분에서 보다 자세히 설명하겠지만, 재실인원수와 특정 공간의 면적을 통하여 밀도가 결정되고, 밀도에 의해 이동시의 보행속도가 결정된다. 또한 재실인원수와 개구부의 폭을 이용하여 특정 실에서 외부로 사람들이 유출되는 시간도 구해지게 된다. 이렇게 결정된 보행속도는 복도 상에서 이동소요시간을 결정하고, 개구부에서의 유출시간과 더해져 최종 피난 소요시간이 계산된다.

다소 과장해서 말하면, 공간 내에 머무르고 있는 사람의 수가 피난소요시간을 결정하고, 결국 피난경로를 결정 짓게 되는 것이다. 따라서 다른 어떤 요소에 앞서 우선적으로 공간내의 재실인원을 실시간으로 파악하기 위한 인간이동 감지기술에 대하여 언급하고자 한다.

인간이동 감지기술은 다양한 방법들 가운데 보다 실용적이고 경제적으로 활용될 수 있도록, 대부분의 대규모 다중이용시설물에 설치되어있는 CCTV 또는 카메라 등으로 대표되는 영상처리를 이용한 인간이동 감지기술을 활용하였다.<sup>1)</sup>

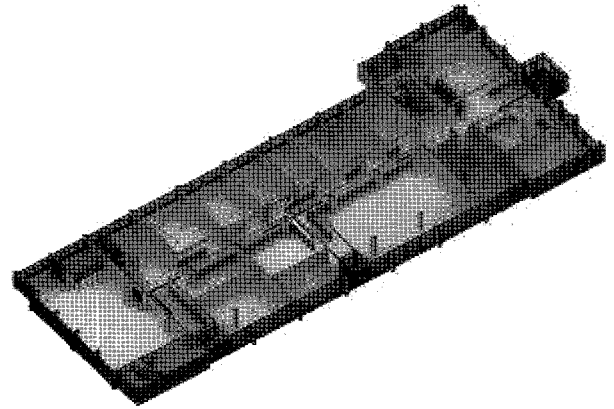
#### (2) 인간이동 감지기술 테스트

영상처리를 이용한 인간이동 감지기술을 통해 얻게 되는 실시간 재실인원수를 최적경로 알고리즘의 데이터로 쓰기 위해서는 인간이동 감지기술의 정확도를 확인해야 한다. 이를 위해서 한양대학교 학생복지관 1층 공간을 대상으로 CCTV 카메라를 설치하여 대상공간을 이용하는 인원수를 측정하는 실험을 실시하였고, 그 결과를 직접 세어본 사람의 수와 비교해 보았다.

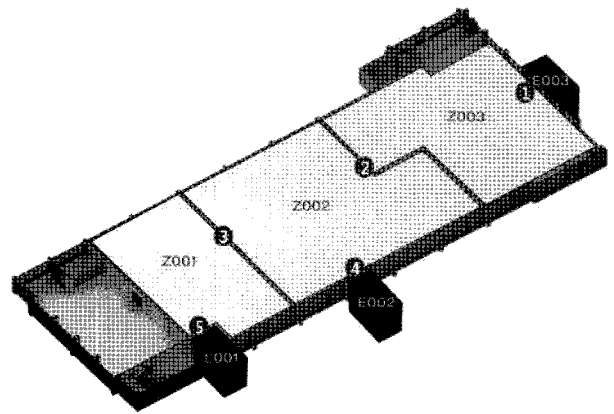
CCTV 카메라는 주요 통로의 교차로 및 출구 부분에 그림 1. b)와 같이 5군데에 설치되었으며, 공간 내부의 재실인원수는 인간이동 감지기술에 의해 실시간으로 각 카메라를 통해 입수되는 들어오는 인원수(in)와 나가는 인원수(out)를 분할된 공간별로 연산하여 얻게 되었다.

인간이동 감지기술에 의해 측정된 통행량과 실제 사람들의 눈으로 확인하여 측정된 통행량과의 비교를 통하여 아래 표 1과 같은 정확도를 확인 할 수 있었으며, 평균적으로 88.25%의 정확도를 보였다.

1) <sup>9</sup>Byeoung-su Kim, et al., A method of Counting Pedestrians in Crowded Scenes, Lecture Notes in Computer Science, vol.5227, p.p.1117~1118, 2008 연구내용 참조



a) 3D 평면 모델



b) 실험을 위한 구역 분할(zoning)

그림 1. 한양대학교 학생복지관 1층

표 1. 인간이동 감지기술의 평균 정확도

	유입(in)	유출(out)
카메라 1	89.80 %	93.27 %
카메라 2	94.45 %	93.53 %
카메라 3	92.43 %	95.21 %
카메라 4	77.80 %	75.00 %
카메라 5	86.59 %	84.39 %

### 2.2 인간이동 감지기술의 연계방안

인간이동 감지기술의 테스트를 통하여 실시간 인원수의 정확도는 88.25%라는 것을 확인 할 수 있었다. 오차의 경우, 실제 인원수보다 많은 경우도 있었고, 적은 경우도 있었으나, 최적경로 알고리즘을 적용하는데 있어서는 인원수를 많이 계상하여 보행속도 및 유출속도를 낮추어 피난 시간을 계산하는 것이 보다 안전할 것이다.

따라서 본 연구에서는 인간이동 감지기술에 의해 측정된 인원수에 정확도의 역수를 곱하여 나타난 결과 값을 그 공간의 재실인원수로 하여, 데이터베이스에 입력하여 최적경로 알고리즘에 적용하는 것이 타당할 것으로 판단하였다.

### 3. 최적경로 알고리즘

#### 3.1 최적경로 알고리즘의 접근방법

최적경로검색 알고리즘 도출에 앞서 도로정체 상황에서의 문제점을 토대로 새로운 접근 방법에 대한 개념을 생각해보았다.

도로정체현상의 경우, 전 운행차량의 수 및 목적지를 사전에 알고, 그를 토대로 일괄적인 방향 지시가 가능하다면 전 도로를 효율적으로 활용하며, 도로별 적정 차량을 분배함으로써 차량소통을 원활히 하고, 나 혼자만 “가장 빨리” 가는 것이 아니라 전 차량에 대하여 도착시간을 안정시킬 수 있을 거라 생각하였다.

이를 화재 시 상황에 적용하여 생각해보면, 어디서 불이 났는지, 사람은 얼마나 있는지, 어느 출구로 얼마나 탈출시킬지 알고, 적절히 배분 한다면, 즉, 발화위치 및 재실인원 파악, 출구별 탈출가능인원을 산정해 적절히 배분하면, 신속하고 안전한 피난이 가능할 것이다.

즉 최적경로라 함은, 화재가 발생한 지점으로부터 각 출구로 연기가 도달할 때까지의 거리와 연기확산속도를 활용하여 연산함으로써 연기가 출구까지 도달하는 시간을 계산하고, 이렇게 구해진 연기확산시간보다 빠른 시간 안에 대상 공간 내부에 존재하는 모든 인원을 탈출시킬 수 있는 경로로서, 반드시 가장 빠른 시간 안에 이동 가능해야 하는 것이 아니라는 것이다.

따라서 본 연구에서의 최적경로 알고리즘은 앞장에서 설명한 인간이동 감지기술을 통한 “실시간 재실인원수 데이터의 사용”과 “연기확산시간(=탈출이 가능한 한계시간이라는 점에서 임계시간(critical time)이라고도 함.) ≥ 출구에서의 탈출소요시간”의 대전제 아래에서 최대한 연산을 단순화하는 방향으로 접근하였고, 연산을 단순화하기 위한 방법으로서, 화재지점에 따른 상황별 데이터베이스의 구축과 주요 변수의 상수화를 사용하였다.

#### 3.2 데이터베이스 구축 및 주요변수의 상수화

알고리즘의 적용을 위하여 대상공간에 대하여 네트워크모델을 작성하고, 작성된 네트워크모델의 각 노드에 대하여 개구부 폭, 실간 거리 등을 데이터베이스화 함으로써, 화재 등의 재난 발생시, 보다 신속하게 경로를 도출하는데 사용한다.

##### (1) 네트워크 모델 구축

###### ① 공간정보 추출

CAD 정보로부터 대상공간의 정보를 추출하여 네트워크 모델의 구성을 시작한다.

###### ② 출입구 노드 정의

피난경로 분석을 위한 네트워크 모델을 구성하기 위해서, 추출된 공간 정보로부터 외부와 통하는 출입구 노드로서, 대상공간으로 드나드는 이용객의 인원수를 카운트하기 위한 노드로 정의된다.

###### ③ 교차점 노드 정의

통로와 통로가 교차하는 지역을 교차점 노드로 정의한다. 교차점과 교차점 사이의 통로를 분할하여 다른 노드로 인식 하게 된다. 통로 노드를 분할하여 이용객의 위치 파악과 경로분석을 정밀하게 하기 위해서 정의되었다.

###### ④ 실 노드 정의

동일한 통로 노드로 연결되는 연속되는 실 공간을 통합하여 하나의 실 노드로서 정의한다. 통로와 교차점을 중심으로 피난경로가 구성되기 때문에 시스템의 부하를 낮추고 연산속도를 높이기 위해 불필요한 노드의 개수를 줄이기 위해 통합해서 처리한다.

###### ⑤ 공간분류 ID 부여

각각 정의된 공간노드들에게 각각의 ID를 부여한다. ID에는 각 노드의 위치와 종류에 관한 정보가 포함된다.

###### ⑥ 네트워크 모델 완성-저장

네트워크 모델을 단순화 시켜 필요한 정보들만을 포함하는 단순한 네트워크 모델로 표현하여 저장한다.

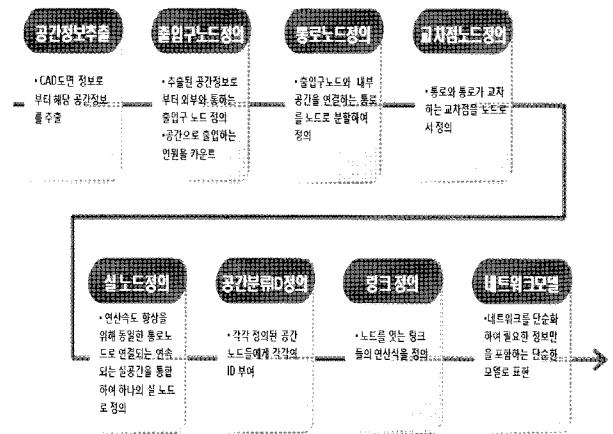


그림 3. 네트워크 모델 구축 과정

##### (2) 데이터베이스 구축

###### ① 기초 데이터 저장 및 화재지점에 따른 상황 설정

각 실의 개구부 폭( $B_j$ , 단위:m), 면적( $A_j$ , 단위:m<sup>2</sup>) 및 실 내부 이동거리( $L_j$ , 단위:m)를 완성된 네트워크 모델의 각 ID에 저장하고, 전 노드에 대하여 예측 가능한 발화 상황을 가정한다.

###### ② 상황별 각 출구까지 연기도달시간 저장

발화가 시작된 노드로부터 각 출구까지 이어지는 경로( $P_{ij}$ )에 대한 노드들의 내부 이동거리의 합( $L_{ij}$ , 단위:m)을 구하고, 이를 연기확산 속도( $V_s$ , 단위:m/s)로 나누어 탈출 가능한 한계시간, 즉 임계시간( $T_{ci}$ , 단위:s)을 계산한다. 이때, 연기의 이동거리 계산은 실내부의 가장 먼 거리가 아닌, 최단거리가 되는 수직 또는 수평거리를 이용함으로써 연기도달시간이 되도록 작은 값을 갖도록 하여 안전성을 높인다.

$$L_{ij} = \sum L_j (L_j \text{는 경로 } P_{ij} \text{ 상 노드만을 대상으로 함}) \dots (1)$$

$$T_{ci} = \frac{L_{ij}}{V_s} \dots (2)$$

③ 출구별 총 탈출가능인원 계산

앞에서 계산된 임계시간(Tci)을 사람 한명이 출구를 통과하는데 소요되는 통과시간(Te, 단위:s/명)으로 나누고, 이에 출구 i의 개구부 폭(Bi)과 한사람이 탈출하는데 필요한 개구부 폭(Bo, 단위:m)의 비를 곱하여 각 출구에 대한 총 탈출 가능인원(Nei, 단위:명)을 구하여 이를 저장하여 데이터베이스화 한다.

$$N_{ei} = \left(\frac{T_{ci}}{T_e}\right) \times \left(\frac{B_i}{B_o}\right) \dots\dots\dots (3)$$

(3) 주요 변수의 상수화

피난에 있어서 중요한 요소는 재실자의 수(Nrj, 단위:명), 실의 면적(Aj), 그에 따른 재실자 밀도(p, 단위:명/m2), 보행속도(Vr), 개구부 폭(Bi), 출구를 통과하는데 필요한 최소 개구부 폭(Bo) 및 연기의 확산 속도(Vs)이다.

재실자 수의 경우, 화재 발생 후 모든 인원이 탈출의 대상이므로 이를 단순화 할 수 없으며 가정이 불가능하고 실시간으로 업데이트 된다. 실의 면적 또는 개구부 폭의 경우 공간정보(CAD도면)으로 부터 알 수 있는 정확한 값이며, 사전에 알 수 있는 값으로 데이터베이스에 구축 되어있다.

남은 중요한 변수는 연기확산속도, 출구를 통과하는데 필요한 최소 개구부 폭 및 재실자 밀도와 그에 따른 보행속도인데, 출구를 통과하는데 필요한 최소 개구부 폭은 이동자와 대상공간에 따라 다르다.

또한 연기확산속도와 재실자 밀도 및 보행속도는 실제 화재시 실시간으로 계속 변하는 값이며, 따라서 이를 매순간 적용함으로써 경로 검색 소요시간이 길어지는 것이기 때문에 이를 단순화 하여 고정시킴으로써 검색소요시간을 줄이는 것이 본 연구의 핵심 요소 중 하나이다.

① 출구를 통과하는데 필요한 최소 개구부 폭(Bo)

출구를 통과하는데 필요한 최소 개구부 폭은 정상적인 보행이 가능한 사람 뿐 아니라, 노인, 장애인, 임산부 등을 포함하여 고려하여, “교통약자의 이동편의증진법령집”에 근거하여 대부분 출입구의 폭을 최소 0.8m 확보해야 하는 것을 알 수 있었고, 따라서 출구를 통과하는데 필요한 최소 개구부 폭(Bo)는 0.8m로 한다.

② 연기확산속도(Vs)

연기확산속도는 호서대 환경안전공학부에서 “공간화재 성장 및 피난예측 시스템 개발” 연구에서 수행한 실험결과를 이용하였다. 호서대 환경안전공학부에서 연기확산속도 결정을 위해 온도특성에 따라, 연기유동 프로그램해석을 통해, 연농도 분석을 통해 세 가지 방법으로 계산하였으며, 그 결과는 온도특성에 따른 해석의 경우 0.34m/s, 연기유동 프로그램 해석과 연농도 분석을 통한 경우 0.30m/s로 나타났다.<sup>2)</sup>

이를 통해 연기 확산 속도는 대략 0.32m/s(평균)로 나

타나는 것을 알 수 있었으며, 본 연구에서는 피난상황에서 경로 검색의 안전성을 높이기 위해 위의 값보다 다소 연기확산속도(Vs)를 크게 계상하여 0.35m/s를 사용한다.

③ 통로에서의 보행속도(Vr)

뉴욕의 포트 오쇼리티 버스 터미널과 펜실베니아 스테이션에서의 약 1,000명을 대상으로 한 보행속도 조사의 결과는 평균적으로 남성은 81m/min, 여성은 76m/min으로, 즉 남성은 1.35m/s, 여성은 1.27m/s로 나타났으며, 평균 보행속도는 1.32m/s이다.

또한 참고문헌 3에서 S지하철역, P기차역, P기차역육교, 천안의 Y예식장, C기차역, 교대역 등을 대상으로 보행속도를 측정된 결과, 남성은 0.764m/s, 여성은 0.755m/s, 평균 0.773m/s로 나타났다.<sup>3)</sup>

일본건축학회 안전설계소위원회의 설계지침의 경우, 주변의 영향이 없을 때 개인 보행속도의 표준은 1.33m/s, 열은 연기 속 및 어둠 속(현장을 아는 경우)의 경우 0.70m/s 등으로 되어있다.

위의 세 가지 경우를 보았을 때, 미국에서 실시한 조사의 경우, 한국 사람의 체형과의 차이로 인해 보행속도가 호서대 및 일본 설계지침의 값보다 크게 나타난 것으로 보여 적용이 어려울 것으로 판단하였다. 또한 본 연구에서 제안하는 최적경로 알고리즘의 적용이 실제 화재 발생시 상황의 초기에 이루어 질 것이므로, 호서대 측정 결과 및 일본의 설계지침을 토대로 했을 때, 평균 보행속도는 0.773m/s이나 화재 시 초기의 열은 연기로 인한 보행제한 시 보행속도는 0.70m/s이므로 본 연구에서는 보행속도를 0.70m/s로 상수화 하였다.

표 2. 상황별 보행속도 4)

조 건	보행속도 (m/s)	조 건	보행속도 (m/s)
걸음이 느린 사람	1.00	걸음이 빠른 사람	2.00
표준	1.33	최저자세보행	0.60
달리기	5.00	달리기세계기록	10.00
열은 연기속	0.70	질은 연기속	0.30
어둠 속 (현장 이미 아는 경우)	0.70	어둠 속 (현장을 모르는 경우)	0.30

④ 출구에서의 보행속도(Vp)

출구의 경우, 재실자의 밀집으로 인해 재실자 밀도가 높고, 보행속도는 급격히 떨어지므로 출구에서의 보행속도는 앞서 말한 0.70m/s를 적용이 비합리적이며, 추가적인 고려가 필요하다.

2) <sup>3</sup>호서대학교 환경안전공학부, 『공간 화재 성장 및 피난 예측 시스템 개발』, 과학기술부, 과천, p.37~40, 2003 참조

3) <sup>3</sup>호서대학교 환경안전공학부, 『공간 화재 성장 및 피난 예측 시스템 개발』, 과학기술부, 과천, p.29, 2003 참조

4) <sup>2</sup>이수경 외, 『건축방화』, 도서출판 의제, 서울, p.106, 1998의 표를 일부 수정.

표 3. 시설기준의 등급에 따른 보행자의 대기 공간 5)

Level of service category	Average area per person(m <sup>2</sup> )	Interperson spacing(m)	Circulation through queue
A	> 1.2	1.2	Unrestricted
B	0.9 ~ 1.2	1.1 ~ 1.2	Slightly restricted
C	0.7 ~ 0.9	0.9 ~ 1.1	restricted but possible by disturbing others
D	0.3 ~ 0.7	0.6 ~ 0.9	Severly restricted
E	0.2 ~ 0.3	0.6	Not possible
F	< 0.2	-	Not possible

참고문헌 10에 의하면 1인당 차지 면적이 0.3~0.7m<sup>2</sup>/인인 경우 재실자 밀도가 매우 높아 이동이 심각하게 제한을 받는다. 이를 이용하여, 재실자 밀도를 계산하면 p=3.33인/m<sup>2</sup>이 되고, 밀도가 1.5인/m<sup>2</sup>이상인 경우에서의 보행속도는 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$v = \frac{1.5}{p} \quad (p \geq 1.2) \quad 6) \dots\dots\dots (4)$$

따라서 출구에서의 보행속도는 1.5/3.33=0.45m/s가 되며, 피난 시 안전성을 고려하여 본 연구에서는 출구에서의 보행속도를 밀도에 따라 변하는 것이 아닌 0.40m/s로 상수화 하였다.

3.3 최적경로 알고리즘

(1) 화재 상황 분석

화재가 일어난 지점을 파악하여 사전에 구축해놓은 데이터베이스에서 그에 맞는 경우를 선택하고, 화재 순간의 각 재실인원수를 갱신(update)한다.

(2) 출구별 적정탈출인원 산정

데이터베이스 구축 시 각 출구별 탈출 가능인원(N<sub>ei</sub>)을 산정하여 저장하였다. 그러나 이는 출구까지 연기가 도달하는데 소요되는 시간을 기준으로 계산된 것으로써 실제 상황에서 출구에 대한 탈출인원이 반드시 그 인원만큼 이용하는 것은 아니다. 만약 건축물 내 총 재실인원(ΣN<sub>rj</sub>)이 총 탈출가능인원 보다 많은 경우, 각 출구별 탈출 가능인원(N<sub>ei</sub>)만이 배정되어 출구로 안내 된다면 남은 인원은 탈출이 불가능하게 되고 혼란을 일으킬 것이다. 반

대로 총 재실인원(ΣN<sub>rj</sub>)이 총 탈출 가능인원 보다 적은 경우, 각 출구별 탈출 가능인원(N<sub>ei</sub>)만큼 재실자가 배정되어 안내 된다면 이용되지 않는 출구가 나타나며 그만큼 효율이 떨어져 탈출소요시간이 늘어나게 될 것이다. 따라서 출구의 효율적인 활용과 그에 따른 효율적인 피난을 위해 출구별 탈출인원에 대한 고려가 필요하고, 이를 출구별 적정탈출인원(N<sub>ci</sub>)으로 계산한다.

화재 순간 재실인원의 합(총 재실인원, ΣN<sub>rj</sub>)을 선택된 데이터베이스에 저장되어 있는 탈출가능인원의 합(총 탈출가능인원, ΣN<sub>ei</sub>)으로 나누어 출구이용률을 구하고, 이를 각 출구의 탈출가능인원에 곱하여 출구별 적정탈출인원을 산정한다.

$$N_{ci} = N_{ei} \times \frac{\sum N_{rj}}{\sum N_{ei}} \dots\dots\dots (5)$$

(3) 탈출소요시간 계산 및 출구 인원 배정

우선 데이터베이스에 저장되어 있는 각 노드에서 출구 i까지의 거리(L<sub>ij</sub>)를 바탕으로 노드 j에서 출구 j까지 이동하는데 소요되는 보행시간(T<sub>rij</sub>)을 구한다. 다음으로 노드 j에서 개구부를 통하여 인접 통로 노드로 이동하는데 소요되는 시간인 유출시간(T<sub>j</sub>)을 노드 j에서의 재실인원(N<sub>rj</sub>), 개구부 폭(B<sub>j</sub>), 유동계수(N)을 이용하여 구한 뒤, T<sub>rij</sub>와 T<sub>j</sub>를 합함으로써 특정 노드에서 출구까지 탈출소요시간(T<sub>ij</sub>)을 구한다.

$$T_{ij} = T_{rij} + T_j \dots\dots\dots (6)$$

$$T_{rij} = \frac{L_{ij}}{V_r} = \frac{L_{ij}}{0.7} \dots\dots\dots (7)$$

$$T_j = \frac{N_{rj}}{N \times B_j} = \frac{N_{rj}}{1.5 \times B_j} \quad 7) \dots\dots\dots (8)$$

탈출인원의 배정은 적정탈출인원(N<sub>ci</sub>)이 큰 출구부터 배정을 하게 되면 그 출구로부터 먼 노드에 위치한 인원까지 배정이 될 수 있으므로, 적정탈출인원(N<sub>rj</sub>)가 작은 출구부터 배정하여 출구로부터 가까운 노드의 재실인원을 유도하도록 한다. 즉, 적정탈출인원(N<sub>ci</sub>)이 작은 출구부터 탈출소요시간이 짧은 순서로, 적정탈출인원에 도달할 때까지 노드의 인원을 배정한다.

이 때, 배정된 노드의 인원은 0으로 바뀌며, 적정탈출인원은 배정된 인원수가 차감되어 갱신(update)되며, 출구배정이 되지 않은 노드의 경우, 배정여유인원(적정탈출인원과 실제 배정된 인원의 차, 즉 최종 갱신(update)된 적정탈출인원)의 값과 해당 출구까지 탈출소요시간을 기준으로 추가배정을 한다.

$$N_{ci} = N_{ci} - N_i \dots\dots\dots (9)$$

$$N_i = \sum N_{rj} \dots\dots\dots (10)$$

7) <sup>1</sup>무로사키 요시테루 저, 『건축방재·안전』, 1판, 도서출판 서우, 서울, p. 135, 2005

5) <sup>10</sup>Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Fire Safety in Tall buildings, 1st ed., McGraw-Hill Professional, New York, p.128, 1992

6) <sup>4</sup>박재성, 건축물 화재시 피난행동을 고려한 피난예측모델에 관한 연구: 대규모 다중이용건축물을 중심으로, 서울시립대 박사논문, p.86~91, 2004 참조. 화재 발생시 출구의 경우 인원의 밀집이 예상되어 보통의 보행상황에서의 밀도 1.2인/m<sup>2</sup>이하의 경우는 고려하지 않음.

(4) 배정 완료 및 경로도출

: 앞의 과정에서 각 노드의 인원배정이 완료됨과 동시에, 시작 노드(실, 통로, 교차로)와 목적지 노드(출구)가 결정되는 것이므로, 이에 따라 노드의 경로는 데이터베이스에 저장된 경로인  $P_{ij}$ 로 도출이 된다.

4. 최적경로 알고리즘의 적용예시

4.1 적용 대상

서울시에 위치한 한 다중이용건축물의 일부를 대상으로 하여 네트워크 모델을 만들어 최적경로 검색을 수행하였다.

본 알고리즘의 적용 시에는 실시간 재실인원수를 입력하여 가상으로 실시하였으며, 차후 대상공간의 협조를 통하여 카메라 및 CCTV를 사용하여 실제로 실시간 재실인원수를 측정하여 적용하는 등 보다 실질적인 실험을 진행하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

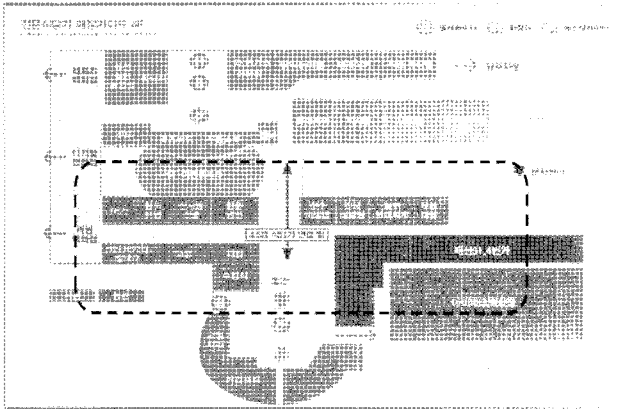


그림 4. 적용대상- 다중이용건축물의 일부

4.2 최적경로 알고리즘의 적용

(1) 네트워크 모델의 구축

① 건축도면을 통해 공간정보 추출



그림 5. 공간정보 추출

② 노드 정의

출구, 실, 통로, 교차로에 대해 노드를 정의한다. 이 때,

통로의 경우 각 실 노드로부터 개구부를 통해 유출이 분리되도록 구획하여, 이동거리 계산에 있어 통로 노드의 중복계산을 방지한다.

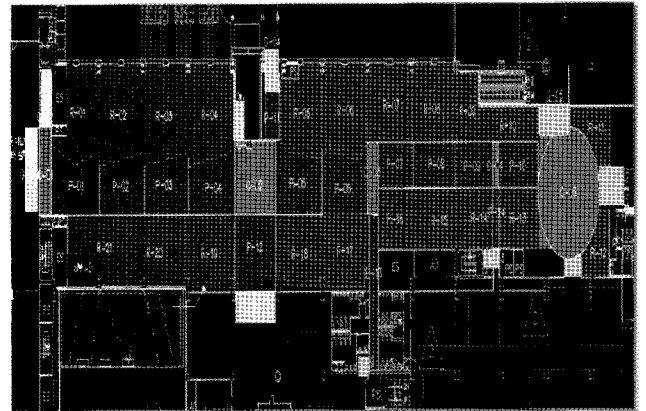


그림 6. 공간정보 추출 및 노드 정의

③ 네트워크 모델 완성

각 노드를 기준으로 공간정보를 단순화하여 네트워크 모델을 완성한다.

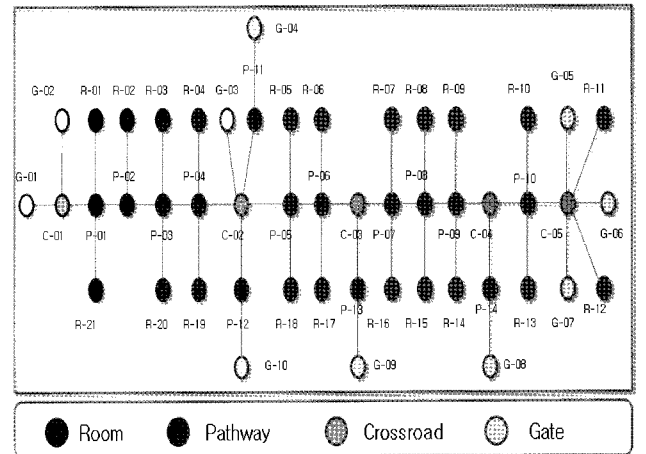


그림 7. 대상공간의 네트워크 모델 완성

(2) 데이터베이스 구축

① 노드 정보 입력

표 4. 노드 별 세부정보

노드	면적 (Q,m <sup>2</sup> )	개구부폭 (Bj,m)	x	y	실내이동거리 (Lj,m)
R-01	79.8	1.6	1.7	9.9	10.0
R-02	104.7	1.6	4.6	9.2	10.3
R-03	104.7	1.6	4.6	9.2	10.3
R-04	108.8	1.6	4.8	8.9	10.1
R-05	87.6	1.6	4.9	8.7	10.0
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
P-01	67.2	*	10.9	3.1	11.4
P-02	42.4	*	10.2	2.6	10.5
P-03	60	*	10.1	2.6	10.4

P-04	63.8	*	10.6	3.5	11.1
P-05	72.3	*	10.7	3.4	11.2
•	•	•	•	•	•
C-01	27	*	2.9	4.7	5.5
C-02	70.9	*	9.3	3.6	9.9
C-03	18.3	*	2.4	3.8	4.5
C-04	5.8	*	1.2	2.4	2.7
C-05	153.4	*	7.0	7.0	9.9
•	•	•	•	•	•
G-07	*	2.0	0.0	0.0	.0
G-08	*	0.8	0.0	0.0	.0
G-09	*	0.9	0.0	0.0	.0
G-10	*	4.6	0.0	0.0	.0

② 상황별 연기확산시간 및 탈출가능인원 저장

표 5. 출구별 탈출 가능인원- Case R-07

출구	발화점까지 거리(Lci,m)	출구폭 (Bi,m)	입계시간 (Tci,s)	탈출가능인원 (Nei,명)
G-01	93.7	4.6	267.7	615
G-02	93.7	0.9	267.7	120
G-03	44.8	0.8	128.1	51
G-04	50.1	0.9	143.2	66
G-05	49.2	2.4	140.5	168
G-06	49.2	1.6	140.5	113
G-07	49.2	2.0	140.5	140
G-08	36.5	0.8	104.4	41
G-09	29.6	0.9	84.6	39
G-10	54.1	4.6	154.7	355

(3) 화재 시(case R-07 가정) 최적경로 검색

① 재실인원(Nrj) 입력 및 적정탈출인원(Nci) 계산

표 6. 적정탈출인원(Nci)-Case R-07

실	재실자수 (Nr,명)	출구	탈출가능인원 (Nei,명)	적정인원 (Nci,명)
R-01	20	G-09	39	20
R-02	25	G-08	41	20
R-03	25	G-03	51	20
R-04	28	G-04	66	30
•	•	G-06	113	40
•	•	G-02	120	40
R-17	13	G-07	140	50
R-18	11	G-05	168	60
R-19	17	G-10	355	110
R-20	18	G-01	615	190
R-21	22	합계(명)	1708	580

② 인원 배정

적정탈출인원이 작은 출구를 순서로, 각 출구별 탈출 소요시간이 가장 짧은 노드에 대하여 우선 배정한다. 적정탈출인원까지 배정 후 남은 인원에 대하여 탈출 여유인원(해당 출구의 적정탈출인원-실제배정인원)이 큰 출구에 대하여 배정하여 배정을 완료한다.

표 7. 출구별 탈출인원 배정-Case R-07

출구	연기도달 시간(s)	탈출가능 인원	적정 인원	1차 배정인원	최종 배정인원
G-09	84.6	39	20	17	17
G-08	104.4	41	20	12	12
G-03	128.1	51	20	0	18
G-04	143.2	66	30	27	27
G-06	140.5	113	40	40	40
G-02	267.7	120	40	25	25
G-07	140.5	140	50	50	50
G-05	140.5	168	60	50	50
G-10	154.7	355	110	97	97
G-01	267.7	615	190	187	187
합계		1708	580	505	523

③ 최적경로 도출

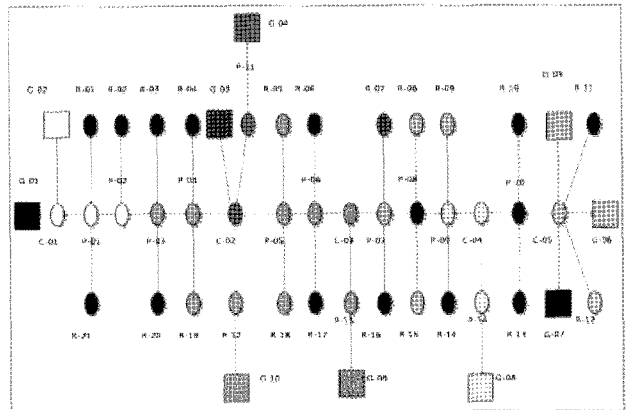


그림 8. 최적경로 도출

5. 결론

본 연구에서는 인간이동 감지기술을 활용하여 실시간으로 특정공간에서의 재실인원수를 파악할 수 있음을 확인하고, 이를 최적경로 검색에 활용하는 방법을 모색해 보았다. 그리고 실제 화재 발생시, 화재 감지 및 재실인원 파악 후에 계산 되어야할 항목인 "적정탈출인원", "유출시간", "노드의 출구배정", "탈출인원" 등 네 가지 항목에 대하여 관련 이론 및 법규 등을 고려하여, 안전성을 확보하면서 주요변수를 상수화(재실자의 보행속도, 연기 확산속도, 출구에서의 유출속도)함으로써 단순화하였다.

이러한 실시간 재실인원수의 파악과 주요변수의 상수화와 더불어 화재 발생 전 각 상황에 따른 이동경로 및 탈출가능인원 등 자료의 데이터베이스의 구축을 통하여, 화재 발생 시 피난경로의 검색에서 필요한 계산 요소들을 감소시킴으로서, 본 연구가 최적경로 검색 알고리즘에 대한 새로운 접근방법의 기초연구로서 역할을 할 수 있음을 보여주었다.

그러나 이번 연구에 있어서 실시간 재실인원 파악 및 주요 변수의 상수화 이외에 화재 발생 전 계산 가능한 모든 자료를 데이터베이스화 하는 것이 주요 사항이었는데, 데이터베이스 구축에 있어 각 상황의 경우, 화재의 성상과는 무관하게 발화점의 위치만을 변화시킴으로써, 화재의 규모에 대한 고려가 부족하였다. 따라서 화재 성상에 대한 연구를 보완하여 연기 확산 속도 등을 변수로 하는 추가적인 검토가 필요할 것이다.

또한 대상 건축물의 특성, 이를 테면 소방설비의 구축 및 방화구획 등을 고려하지 않아 실제 화재 발생 시 화재 진압, 화재 지연 등의 효과를 변수에서 제외하였다. 이 역시 경로 검색에 있어 주요 변수로서 작용할 것으로 예상되어 차후 보완이 필요할 것이다.

#### 참고문헌

1. 무로사키 요시테루 저, 『건축방재·안전』, 1판, 도서출판 서우, 서울, 2005
2. 이수경 외, 『건축방화』, 도서출판 의제, 서울, 1998
3. 호서대학교 환경안전공학부, 『공간 화재 성상 및 피난 예측 시스템 개발』, 과학기술부, 과천, 2003
4. 박재성, 「건축물 화재시 피난행동을 고려한 피난예측모델에 관한 연구: 대규모 다중이용건축물을 중심으로」, 서울시립대학교 박사논문, 2004
5. 안은희, 「복합영화관에서서의 피난행태특성에 근거한 피난로 설계에 관한 연구」, 대한건축학회 논문집 계획계, 21권, 10호, p.p.131~138, 2005
6. 이수경 외, 「피난 모델을 이용한 대형할인매장의 화재시 피난에 관한 연구」, 한국화재·소방학회, 14권, 4호, p.p.17~22, 2000
7. 이종현 외, 「위치정보를 이용한 최단경로탐색 알고리즘 개선」, 산업기술연구소 논문집, 11권, 2호, p.p.82~88, 2000
8. 최원영 외, 「건물화재시 재실자의 피난형태 예측 모델에 관한 연구」, 대한건축학회 논문집, 4권, 4호, p.p. 177~184, 1988
9. Byeoung-su Kim, et al., A method of Counting Pedestrians in Crowded Scenes, Lecture Notes in Computer Science, vol. 5227, p.p.1117~1126, 2008
10. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Fire Safety in Tall buildings, 1st ed., McGraw-Hill Professional, New York, 1992

논문접수일 (2008. 9. 5)

심사완료일 (1차 : 2008. 9. 13, 2차 : 2008. 9. 21)

게재확정일 (2008. 9. 25)