

환승센터 운영분석 프로그램의 재난분석 모듈 개발*

Development of the Transfer Center Simulator with Evacuation Analysis

황 익 수

(서울대학교 환경대학원 석사과정)

박 진 용

(서울대학교 환경대학원 석사과정)

이 영 인

(서울대학교 환경대학원 교수)

Key Words : 환승센터, 운영분석, 재난분석, 피난시간

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 방법

II. 기존 연구의 고찰

1. 재난 관련 이론
2. 재난분석 시뮬레이터

III. 재난분석 모듈 개발

1. 대피경로 선택 알고리즘
2. 재난분석 시뮬레이터 구현

IV. 모의실험

1. 환승센터 모의 네트워크
2. 재난 시 보행자 행태
3. 피난시간 산출

V. 결론 및 향후 연구

참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

대중교통 이용 및 편의 증진과 더불어 쇼핑센터 등의 상업지구를 기반으로 한 역세권개발이 이루어지면서 환승센터 이용자 증가와 함께 복합환승센터 개발이 가속화 되고 있다. 또한 이용수요 증가, 이용시설 개발과 더불어 환승센터 설립 시 운영적 측면뿐만 아니라 안전 측면에 대한 중요성도 확대되고 있다.

환승센터의 경우 유동인구가 많고 환승시설을 연결하기 위한 시설 구조가 복잡하기 때문에 화재 및 기타 재난 상황 발생 시 이에 대한 방안을 마련하기 어렵다. 또한 재난상황 발생 시 피난시간 및 경로 등의 분석이 요구되고 있으나 분석 방법 및 도구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 개발 중인 환승센터 운영분석

프로그램에 재난분석 모듈을 추가 구현하고, 재난 상황 발생 시 피난시간을 산출하여 환승센터의 안전성을 평가하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 연구의 방법

환승센터 운영분석 프로그램에 재난분석 모듈을 추가 반영하기 위해서 대피경로 및 피난시간 산출에 기초가 되는 대피경로 선택 알고리즘을 구축하였다.

구축된 알고리즘을 재난분석 시뮬레이터 모듈로 구현하여 가상의 재난상황 발생 시 환승센터 내의 개별 보행자의 피난시간 산출이 가능하도록 하였다.

재난분석 시뮬레이터가 구현된 환승센터 운영분석 프로그램을 가상의 지하철 환승역에 적용하고, 화재상황을 발생시켜 피난시간을 산출하는 모의실험을 수행하였다.

* 본 논문은 국토해양부 국가교통핵심기술개발사업인 『교통연계 및 환승시스템 기술개발』의 지원을 받아 수행한 연구임

II. 기존 연구의 고찰

1. 재난 관련 이론

1) 피난속도

피난시간에 가장 중요한 요인 중 하나로서 보행자의 피난 속도를 들 수 있다. 이용자의 밀도, 현장 이해도, 피난 시 보행 행태에 따라 속도가 다르게 나타난다. 김명훈(2006)은 피난행동 시 평균 이동속도를 제시하고 있으며 <표 1>과 같다.

<표 1> 피난행동 시 평균 이동속도

종류	m/s
느린 사람	1.0
빠른 사람	2.0
표준 이동속도	1.3
속보	3.0
무릎, 손으로 킂	0.4
발과 손으로 킂	0.5
어둡속(현장숙지)	0.7
어둡속(현장미지)	0.3
무릎 까지 수중	0.7
허리까지 수중	3.3
균중 이동속도	1.0

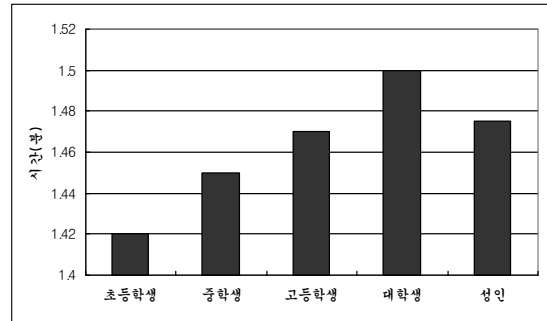
주) 보행밀도가 1.5인/m² 이상 일 때 별도 계산
 자료 : 김명훈, 고층건물의 피난시간 예측 프로그램 개발에 관한 연구, 호서대학교 대학원, 2006

2) 피난시간

한국화재보험협회(1997)에서는 피난시간은 화재 및 재해재난이 발생한 경우에 그 공간의 재실자 방화구획선 상을 통과하여 피난완료하기까지의 시간을 의미하며, 피난개시시간과 출구 도착시간의 합으로 계산한다고 제시되어 있다.

중앙소방학교(2001)는 실험을 통하여 연령에 따른 피난시간을 제시하고 있다. <그림 1>에서 초등학생부터 대학생까지 피난 소요시간이 증가하다가 성인 연령대에서 줄어들었다. 이러한 이유로는 연령대 별 보행속도 보다 인체치수에 따른 밀도가

피난소요시간에 미치는 영향이 크기 때문이라는 결론을 도출하였다.



<그림 1> 연령별 동일건물에서의 피난시간

3) 피난시간 관련 지침

국토해양부(2009)의 『도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완설계 지침』에서는 도시철도 정거장에서 피난시간과 관련된 지침을 제시하고 있다.

정거장내 열차화재와 정거장 화재의 경우를 구분하여 제시하고 있다. 피난시간 기준으로는 “승객이 4분 내에 승강장에서 벗어나고, 6분 이내에 연기나 유독 가스로부터 안전한 외부출입구를 벗어나도록 한다” 라고 제시되어 있다.

2. 재난분석 시뮬레이터

1) SIMULEX

SIMULEX는 건물 방재분야에서 시작되었으며 대형 모델에 적용 가능하고, 15,000명 이하의 재실자 탐색 등이 가능하다.

기본적인 CAD 파일 형식이므로 설계도면을 이용한 활용이 가능하다.

모델이 설정되면 최종 출구를 중심으로 등거리를 이용한 Distance Map을 계산하여 재실자들의 이동과 대피상황 등의 분석이 가능하다.

2) EXODUS

Exodus는 재난상황에서 발생하는 여러 형태가 행동에 미치는 영향 인자들에 대한 다양한 적용이 가능하다는 장점이 있다. 또한 타 프로그램과 비교하여 다양한 장소의 분석이 가능하다. 이러한 모델

링을 위하여 여러 상황 분석이 가능하도록 시나리오 기능을 제공하고 있다.

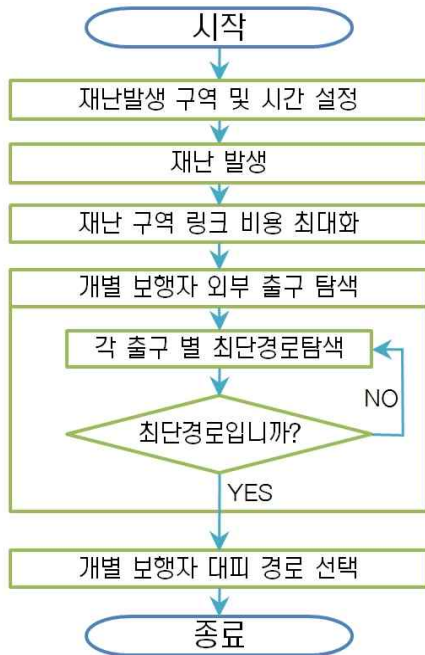
선행 연구를 살펴본 결과 이론적인 연구에 비해서 구현 가능한 시뮬레이터는 미비한 상황이며, 국내의 경우는 전무한 실정이다.

III. 재난분석 모듈 개발

본 연구에서는 재난상황을 구분하지 않고, 재난 발생 지역이 확대되지 않는다는 가정을 전제로 피난시간 산출을 중심으로 재난분석 모듈을 개발하였다.

1. 대피경로 선택 알고리즘

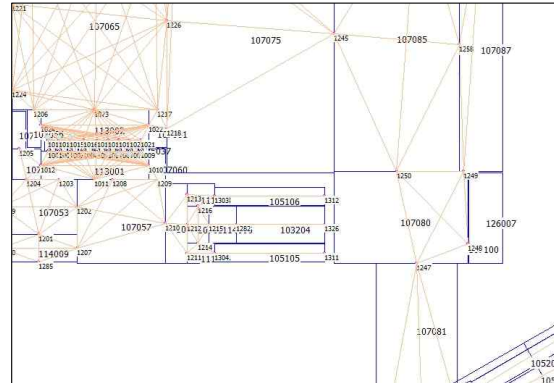
본 시뮬레이터는 환승센터 운영분석 프로그램을 기반으로 구축되었다. 환승센터는 각각의 개별 층으로 구성되어 있고, 각 층은 CAD 파일에서 추출된 노드-링크체계에서 가상의 블록형태로 제공되어 진다. 보행자는 OD, 경유지 등 입력된 자료를 바탕으로 이러한 노드, 링크, 블록을 통하여 환승센터 내외부를 이동하게 된다.



<그림 2> 대피경로 선택 알고리즘

1) 재난발생 구역 설정

재난발생 구역은 블록단위로 설정하였다. 재난발생 가정 지역의 블록 아이디 입력을 통하여 구역이 설정된다. 시뮬레이션 중 재난발생 설정 시간이 되면 해당 블록 내 링크의 통행비용은 최대값을 부여받게 된다.



<그림 3> 블록 내 노드-링크 체계

2) 대피출구 탐색

재난상황이 발생되면 환승센터 내 개별 보행자는 외부로 통하는 모든 출구를 탐색하게 된다. 노드-링크 체계로 구성되어 있기 때문에 외부와 맞닿아 있는 출구에 해당하는 모든 노드를 탐색한다.

3) 대피경로 선택

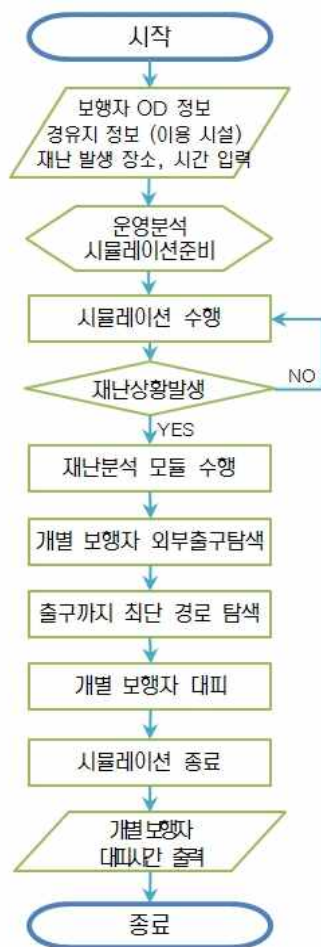
보행자 계층마다 다양한 경로 선택이 가능하지만 본 연구에서는 환승센터 내의 개별 보행자 위치에서 최단거리에 있는 대피출구와 경로를 선택한다고 가정하였다.

탐색된 모든 출구로부터 보행자 각각의 위치와 비교해서 재난구역을 피해서 최단 거리를 갖는 경로를 선택하게 된다.

2. 재난분석 시뮬레이터 구현

본 연구는 대피경로 선택 알고리즘을 반영하여 재난분석모듈을 적용한 시뮬레이터를 구현하였다.

재난분석 모듈은 기존에 연구 중인 환승센터 운영분석 프로그램 기반에서 수행되도록 개발되었다. 환승센터 이용자가 각 교통수단의 승하차를 통하여 보행하고 있는 일반상황에서 재난상황이 발생하도록 설정하였다.



<그림 4> 재난분석 모듈 수행 과정

시뮬레이터에 입력되는 기초자료는 운영분석 프로그램과 동일하며, 대표 입력자료는 3가지로 분류할 수 있다.

- 보행자 OD 정보
- 경유지 정보 (환승 센터 내 이용 시설)
- 재난 발생 구역, 시간

재난분석을 수행하기 위해서 시뮬레이터는 <그림 4>와 같은 과정을 수행하게 된다. 운영분석 시뮬레이션 수행 중 초기 입력된 재난 발생 시간에 도달하면, 재난 분석 모듈이 수행된다. 모듈이 수행이 되면, 먼저 ① 환승센터 내 모든 개별 보행자가 외부로 통하는 모든 출구를 탐색하게 된다.

외부 출구의 위치가 탐색되면 ② 개별 보행자는 각 외부 출구 별로 경로 탐색 과정을 수행한다. 이때 재난이 발생한 구역을 피하여 탐색하게 된다.

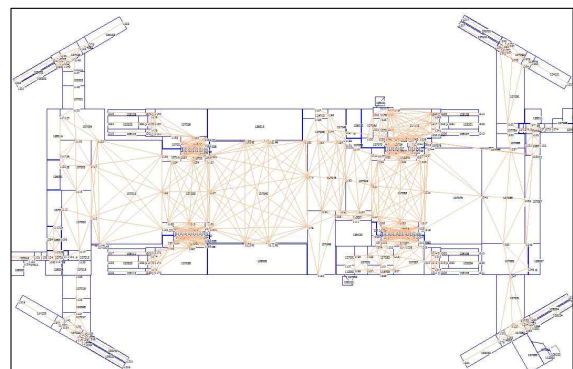
이후 ③ 각 경로를 비교하여 외부출구와의 최단 거리를 가지는 대피경로를 선택하고 기존 운영분석 프로그램의 회피 및 보행행태 알고리즘을 활용하여 ④ 선택한 외부 출구로 대피를 수행하게 된다. 시뮬레이션이 종료되면 ⑤ 재난 발생 시 개별 보행자의 위치와 함께 선택한 외부 출구와 피난시간정보가 출력된다.

IV. 모의실험

본 연구에서는 구현된 시뮬레이터를 실험하기 위하여 가상의 지하철 환승센터 네트워크를 구축하고, 역사 내 화재 발생 상황을 가정하고 피난시간을 산출하였다.

1. 환승센터 모의 네트워크

모의실험을 위해서 가상의 환승센터 네트워크를 구축하였으며, 지하 5개 층으로 구성되어 있다.



<그림 5> 환승센터 모의 네트워크

2. 재난 시 보행자 행태

재난발생 시 모든 층의 보행자는 상황을 바로 인지한다고 가정하였으며, 김명훈(2006)에서 제시된 속보 속도 약 3.0m/s로 보행한다고 가정하였다.

3. 피난시간 산출

초기 시뮬레이션 시간은 1,200초로 설정하였으며, 화재발생 시간은 시작 후 300초, 위치는 지하 2층으로 설정하였다.

화재발생 시 환승센터 내 775명이 위치하고 있으며, 각 층 당 보행자 수는 아래 <표 2>와 같다.

<표 2> 재난상황 발생 시 보행자 위치

위치	인원	구성비(%)
지하 1층	377	48.6
지하 2층	143	18.5
지하 3층	41	5.3
지하 4층	85	11.0
지하 5층	129	16.6
합계	775	100

<표 3>은 각 층별 총 피난시간과 평균 피난시간을 나타내고 있다. 지하로 내려갈수록 외부로의 대피거리가 증가하므로 인해서 피난시간 또한 증가한다는 것을 알 수 있다.

<표 3> 총 피난시간 및 평균 피난시간

위치	총 피난시간(초)	평균 피난시간(분)
지하 1층	32,881	1.5
지하 2층	13,643	1.6
지하 3층	8,380	3.4
지하 4층	19,735	3.9
지하 5층	35,241	4.6
합계	109,880	2.4

<표 4>은 각 층별로 피난시간에 따른 대피인원을 나타내고 있다.

<표 4> 층별 피난시간에 따른 대피인원

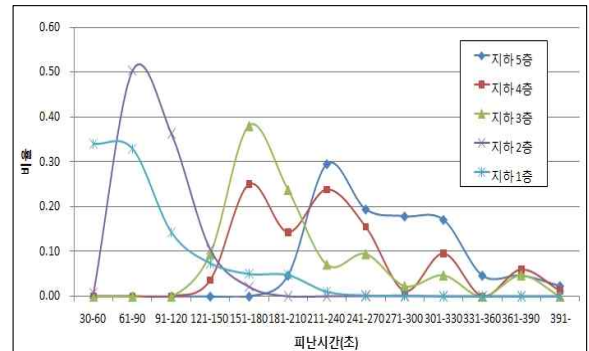
구분	단위: 초, 인				
	5층	4층	3층	2층	1층
30-60	0	0	0	1	128
61-90	0	0	0	72	124
91-120	0	0	0	52	54
121-150	0	3	4	15	28
151-180	0	21	16	3	19
181-210	6	12	10	0	18
211-240	38	20	3	0	4
241-270	25	13	4	0	1
271-300	23	1	1	0	1
301-330	22	8	2	0	0
331-360	6	0	0	0	0
361-390	6	5	2	0	0
391-	3	1	0	0	0
합계	129	84	42	143	377

<표 5> 층별 피난시간에 따른 대피인원 구성비

구분	단위: 초, %				
	5층	4층	3층	2층	1층
30-60	0.00	0.00	0.00	0.70	33.95
61-90	0.00	0.00	0.00	50.35	32.89
91-120	0.00	0.00	0.00	36.36	14.32
121-150	0.00	3.57	9.52	10.49	7.43
151-180	0.00	25.00	38.10	2.10	5.04
181-210	4.65	14.29	23.81	0.00	4.77
211-240	29.46	23.81	7.14	0.00	1.06
241-270	19.38	15.48	9.52	0.00	0.27
271-300	17.83	1.19	2.38	0.00	0.27
301-330	17.05	9.52	4.76	0.00	0.00
331-360	4.65	0.00	0.00	0.00	0.00
361-390	4.65	5.95	4.76	0.00	0.00
391-	2.33	1.19	0.00	0.00	0.00

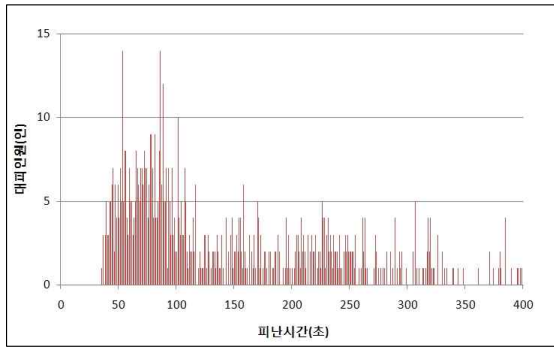
<표 5>는 각 층별로 피난시간을 비교하기 위해서 피난시간에 따른 대피인원을 화재발생 시 각 층에 위치한 보행자 수로 나눠 비율로 나타내었다.

음영부분으로 표시된 부분은 구성비가 10% 이상을 나타내는 피난시간 구간으로서 지하로 내려가 외부와 멀어질수록 피난시간이 증가한다는 것을 알 수 있다. 이를 그래프로 나타내면 <그림 6>과 같다.



<그림 6> 층별 피난시간에 따른 대피인원 구성비

<그림 7>은 피난시간에 따른 대피인원을 그래프로 나타내고 있다. 화재 발생 초기에 많은 인원이 대피하고 있으며, 시간이 지날수록 감소함을 나타내고 있다. 이 결과를 통하여 시간에 따른 대피인원을 알 수 있으며, 제한된 시간 내 대피인원수를 통하여 환승센터 등 시설물의 안전성 평가가 가능하다.



<그림 7> 피난시간에 따른 대피인원

V. 결론 및 향후 연구과제

환승센터의 재난상황 발생 시 피난시간 및 경로 등의 분석이 요구되고 있으나, 분석방법 및 도구의 부족으로 어려운 실정이다.

따라서 본 연구는 개발 중인 환승센터 운영분석 프로그램에 대피경로 선택 알고리즘을 구축하여 재난분석 모듈을 구현하였다.

대피경로 선택 알고리즘은 재난상황 발생 시 보행자 위치에서 외부로 나가는 최단거리에 있는 출구를 선택해서 경로를 탐색하고, 이 때 재난발생 구역을 통과하는 경우는 제외된다.

구축된 알고리즘을 환승센터 운영분석 프로그램에 구현하였다. 또한 구현된 시뮬레이터를 활용하여 가상의 환승센터에 모의실험을 수행하였고, 결과를 분석하였다.

모의실험으로 각 층별 피난시간과 피난시간에 따른 대피인원 등의 결과를 얻을 수 있었다.

향후 연구과제로는 화재상황 시 유독가스 등의 확산에 따른 피난구역 확대 등과 같이 재난상황의 세부적 구현이 가능하도록 재난분석 모듈이 보완되어야 할 것이다. 이와 더불어 보행자 계층 별로 재난상황 시 심리상태에 따른 피난보행행태에 대한 연구와 구현, 실제 환승센터를 대상으로 한 검증과정이 수행되어야 할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 국토해양부, 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완설계 지침, 2009
2. 김명훈, 고층건물의 피난시간 예측 프로그램 개발에 관한 연구, 호서대학교 대학원, 2006
3. 중앙소방학교, 연령별 피난시간에 따른 피난계획에 대한 연구, 2001
4. 김응식, 백상현, 대피시뮬레이션 프로그램에 대한 고찰, 한국산업안전학회 춘계학술 논문발표회 논문집, 2000
5. 한국화재보험협회, 건축방재계획지침, 1997