

일본 동경소방청의 피난안정성평가 시뮬레이션 기술개발 사례연구

이현진 · 서동구* · 권영진**

호서대학교 소방방재학과 · 호서대학교 소방방재학과 석사과정* ·

호서대학교 소방방재학과 교수공박**

A Investigation Study on the Development of Egress Simulation for Evacuation Safety Evaluation of Tokyo Fire Dept. Department in Japan

Lee, Hyun-Jin · Seo, Dong-Goo* · Kwon, Young-Jin**

Fire&Disaster Protection, Hoseo Univ.,

Graduate Student, Dept. Fire&Disaster Protection, Hoseo Univ. *

Professor/Ph.d., Dept. Fire&Disaster Protection, Hoseo Univ. **

Abstract

A large number of Computer-based fire growth and Evacuation model have been developed for various purpose and many of these are widely used for research and engineering. And Most of Egress simulation program are ordinary case only related to human behavior But Egress safety Evaluation is very closed to smog movement. It is well known that the Egress simulation program made by Tokyo Fire Department are related to smog movement. So It is the aim of this study to investigate on the Developent of Egress Simulation for Evacuation Safety Evaluation of Tokyo Fire Dept. Department in Japan.

1. 서론

과거의 획일적이고 소규모 건축물이 주를 이루었던 것에 비해 현재에 와서는 산업사회의 발달로 인해 제한된 공간 안에 최대의 효과를 얻을 수 있는 방법을 모색하여 도시 건축물의 고층화, 대형화 및 지하가의 활용이 많아지게 되었다. 이러한 건축물이 화재의 발생률이 높다고 말할 수는 없으나 단위 면적당 많은 가연물이 산재되어 있으며, 재관자의 밀도가 높기 때문에 화재 발생 시 많은 인명피해가 예상되고 있다.

이에 따라 많은 선진국에서 이러한 건축물의 화재안전성을 확보하기 위하여 화재안전성능설계를 도입하였으며, 최근 방화공학의 발전과 더불어 이러한 성능을 컴퓨터 시뮬레이

선을 통하여 피난의 안전성을 평가하는 기술이 발전하고 있다.

이러한 배경으로 국내의 경우 2009년 소방법에 의한 화재안전성능설계의 도입이 예정되어 있으나, 평가방법 및 기준에 관한 구체적인 방안에 대한 규정이 미비한 실정이다.

따라서, 본고에서는 국내의 법적기준과 유사한 구조를 가지고 있으며 화재안전성능설계를 먼저 도입 및 실행하고 있는 일본의 화재시물레이션을 통한 피난안전설계의 방법을 통하여 향후 국내의 피난안전성능설계에 도입에 기초자료로서 제시하고자한다.

2. 일본 동경소방청의 화재피난시물레이션 개요

일본의 경우 2000년 화재안전성능설계를 도입하였으며, 이는 크게 피난안전성능설계와 내화안전성능설계를 나누어 성능설계를 실시하고 있다.

이러한 일본소방법에 의한 설계는 루트 A에 의한 기존의 사양설계, 루트 B에 의한 수계산 법에 의한 성능설계, 루트 A와 B로 설계하기 어려운 특수한 건축구조물의 경우 루트 C에 의하여 고도의 설계기술을 통한 성능설계를 하도록 규정 되어있다. 이러한 성능설계에 있어서 최근 피난시물레이션을 통한 피난안전성평가를 도입하였으며, 이는 동경소방청의 주관 하에 화재피난시물레이션을 개발하였으며, 현재 일본에서의 피난시물레이션을 이용한 피난안전성평가는 본 프로그램에 의하여 설계한 경우에만 피난안전성능을 인정하는 시스템을 구축하고 있다.

동경소방청의 피난 시물레이션의 경우 피난 시 인명의 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 연기를 고려한 피난안전성의 평가가 이루어지도록 시스템이 구성되어있으며, 화재 및 재난 발생 시에 1차적으로 거실피난, 2차적으로 층 피난, 3차적으로 전관피난에 이르기까지의 모든 시간을 예측하여 당해 건물의 피난안전성을 평가할 수 있다.

본 프로그램의 시스템 조작 흐름은 아래 그림 1.에 나타내고 있다.

데이터 작성 순서	→	시물레이션 실행 순서	→	시물레이션 결과 표시 순서
① 시스템의 기동		① 시스템의 기동		① 시스템의 기동
② 초벌 그림 도면의 읽기		② 초벌 그림 도면의 읽기		② 초벌 그림 도면의 읽기
③ 거실·복도등을 방데이터로서 작성		③ 작성 데이터의 읽기		③ 작성 데이터의 읽기
④ 방과 방의 접속 부분에 개구부를 작성		④ 해석 조건의 설정		④ 단면 표시실의 선택
⑤ 최종 출구를 작성		⑤ 해석의 실행		⑤ 시물레이션 결과의 재생
⑥ 실내의 레이아웃에 따라서 장애물을 배치				⑥ 폭로량의 표시
⑦ 불어 동안 계단을 배치				⑦ 그래프의 표시
⑧ 화원을 설정				⑧ 시스템의 종료
⑨ 피난자를 배치				
⑩ 작성 데이터의 보존				

그림 1. 동경소방청 화재 피난시물레이션의 시스템 조작 흐름

또한, 다른 시뮬레이션과 달리 법적규정에 의한 각각의 건축물의 용도에 따른 가연물의 발열량과 재관자 밀도 값이 규정되어 설계자는 건축물의 용도만을 선택하게 함으로서, 설계자에 능력에 따른 결과가 상이해 지는 것을 방지하도록 되어있다. 이러한 건축물의 용도별 재관자 밀도, 가연물의 발열량, 각 용도별 구분을 표 1~3에 나타내었다.

표 1. 재관자 밀도와 각 거실의 용도에 비슷한 것의 예

거실의 종류	재관자 밀도 (人/m ²)	용도의 특징	그 외 이것에 비슷한 것의 예
주택의 거실	0.06	거주의 목적으로 하는 것.	하숙·기숙사의 거실
주택 이외의 건물에서 건축물의 침실	고정 침대의 경우	침대수 / 바닥면적	오로지 취침하는 것을 목적으로 하는 것.
	그 외의 경우	0.16	
사무실 회의실 그 외	0.125	사무의 집무에 사용되는 것. 사무실에 인접해서 설치된 협회 등의 방에 이용되는 것.(대회의실은 제외하다)	학교의 교원실·직원실 음식점의 주방 호텔의 조리 작업실 리프레이션 코너, 타합코너 사무실, 방제 센터
교실	0.7	주로 책상과 의자를 늘어놓아 사용하는 것.	소규모의 회의실, 연수실
백화점 또는 물품 판매업 을 영위하는 점포	매장의 부분	상품의 사이를 자유롭게 이동할 수 있는 것.점포내의 통로를 포함한다.	마켓 유키장, 게임센터
	매장에 비슷한 통로의 부분	0.25	연속적 점포의 공용의 통로 부분.
음식실	0.7	주로 책상과 의자를 늘어놓고, 음식에 이용하는 것.	요리점, 레스토랑, 찻집, 커피숍, 찻집, 티라운지, 바, 댄스 홀, 가라오케룸
극장, 영화관, 연예장, 관람장, 공회당, 집회장 그 외	고정석의 경우	좌석수 / 바닥면적	이벤트 홀, 식당, 연회장, 회의장, 디스크, 라이브 하우스
	그 외의 경우	1.5	
전시실 그 외	0.5	전시의 주위를 자유롭게 유람할 수 있는 것.	도서관, 박물관, 미술관, 갤러리, 쇼 룸

표 2. 적재 가연물의 단위 바닥 면적 당의 발열량

호	실의 종류	발열량(MJ/m ²)
①	주택의 거실	720
	주택 이외의 건축물에 있어서의 침실 또는 병실	240
②	사무실 그 외 이것에 비슷한 것	560
	회의실 그 외 이것에 비슷한 것	160
③	교실	400
	체육관의 아레나 그 외 이것에 비슷한 것	80
	박물관 또는 미술관 그 외 이것들에 비슷한 것	240
④	백화점의 매장 또는 물품 판매업을 영위하는 점포 그 외 이것들에 비슷한 것	가구 또는 서적의 매장 그 외 이것들에 비슷한 것
		그 외의 부분
	음식점 그 외의 음식실	간단하고 쉬운 식당 그 외의 음식실
⑤	극장, 영화관, 연예장, 관람장, 공회당, 집회장 그 외 이것들에 비슷한 용도에 제공하는 실	고정석의 경우
		객석 부분 그 외의 부분
⑥	자동차 차고 또는 자동차수리공장	차고 그 외 이것에 비슷한 것
		차도 그 외 이것에 비슷한 것
⑦	복도, 계단 그 외의 통로	32
	현관 홀, 로비 그 외 이것들에 비슷한 것	극장, 영화관, 연예장, 관람장, 공회당 혹은 집회장 그 외 이것들에 비슷한 용도 또는 백화점 혹은 물품 판매업을 영위하는 점포 그 외 이것들에 비슷한 것
		그 외의 것
⑧	승강기 그 외의 설비의 기계실	160
⑨	창고 그 외의 물품의 보관의용으로 제공하는 실	2,000

표 3. 실의 용도에 대한 선택

실의 종류		용도
주택의 거실		부실
주택 이외의 건축물에 있어서의 침실 또는 병실	고정 침대의 경우	그 외
	그 외의 경우	
사무실 그 외 이것에 비슷한 것	사무실 설계 사무소, 출판 관계의 편집실, 기타 이것들에 비슷한 것	사무실 A
	일반적인 사무실	사무실 B
회의실 그 외 이것에 비슷한 것		회의실
교실		교실
체육관의 아래나 그 외 이것에 비슷한 것		그 외
박물관 또는 미술관 그 외 이것들에 비슷한 것		전시실
백화점의 매장 또는 물품 판매업을 영위하는 점포 그 외 이것들에 비슷한 것	의료품, 침구, 가구, 서적 매도장소, 그 외 이것들과 비슷한 것	매장의 부분
	식품, 식기, 화장품, 귀금속, 그 외의 것 등에 비슷한 것	매장에 부속되는 통로의 부분
		매장의 부분
		매장에 부속되는 통로의 부분
음식점 그 외의 음식실	일반적인 음식실, 식당	음식점 A
	간단하고 쉬운 식당	음식점 B
극장, 영화관, 연예장, 관람장, 공회당, 집회장 기타 이것들에 비슷한 용도에 보조 하는 실	객석 부분	고정석의 경우
	무대 부분	그 외의 부분
자동차 차고 또는 공장	차고 그 외 이것에 비슷한 것	그 외
	차도 그 외 이것에 비슷한 것	
복도, 계단 그 외의 통로		복도
현관 홀, 로비 그 외 이것들에 비슷한 것	극장, 영화관, 연예장, 관람장, 공회당약 해 구는 집회장 그 외 이것들에 비슷한 용도 또는 백화점 혹은 물품 판매업을 영위하는 점포 기타 이것들과 비슷한 것	그 외
	그 외의 것	
승강기 그 외의 설비의 기계실		
창고 그 외의 물품의 보관의용으로 제공하는 실		창고
복수의 종류로부터 구성되는 경우		그 외

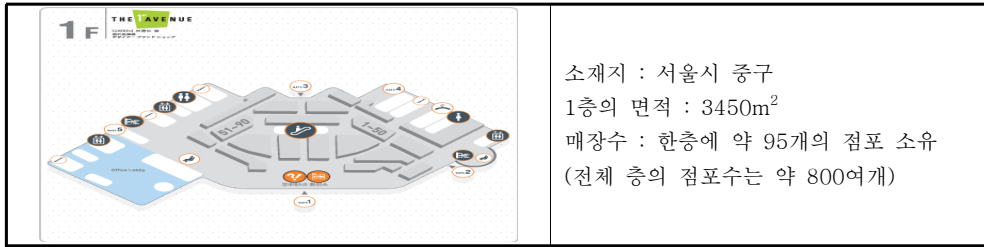
3. 동경소방청 화재피난시물레이션을 통한 케이스스터디

국내의 성능설계 도입을 대비하여, 평가방법 및 기준에 관한 구체적인 방안이 미비한 상태이고, 방법론에 있어 시물레이션 부재에 대한 문제가 부상하고 있다. 이에 따라 일본에서 사용하고 있는 동경소방청 화재피난시물레이션을 사용하여 프로그램 자체 내에 규정되어 있는 재관자 밀도와 가연물의 발열량을 적용시켜 불특정 다수인이 정기적으로 사용하는 국내 서울시에 소재한 대형의류쇼핑몰의 지상 1층을 대상으로 케이스스터디를 수행하였다.

3.1 연구대상의 개요

동경소방청 화재피난시물레이션을 통해 피난안전성능설계를 시험할 연구 대상으로는 국내 서울시 소재의 대형의류쇼핑몰인 D타워 지상 1층이다. 불특정 다수인이 이용하고, 그 구조가 좁은 공간을 최대한 활용하여(한 층에 대략 90여개의 매장 보유) 매우 복잡하기 때문에 화재나 재해 발생 시 복잡한 구조에 따라 피난하기가 난해해 질 것이라고 판단, 연구대상으로 적합하다고 예상되었다. 표 4가 본 논문의 연구 대상인 D타워의 1층 구성도이다.

표 4. 서울시 소재의 D타워 1층



3.2 화재 피난시물레이션의 실행

화재 및 재난 발생 시 피난시물레이션을 통해 당해 거실이나 건물 안에 있는 사람들이 1차적으로 거실피난을 한 후 2차적으로 층 피난, 3차적으로 전관피난에 이르기까지의 모든 시간을 예측하여 당해 건물의 피난안전성을 평가할 수 있다. 본 논문의 연구대상인 D 타워 1층을 대상으로 케이스스터디를 해보았다.

우선 거실을 설정은 표 3.의 물건 판매점A로 하였다. 재관자 밀도는 표 1.에 ‘백화점 또는 물품 판매업을 영위하는 점포의 연속식 점포의 공용의 통로 부분’에 속하는 0.25 (人/m²)로 설정하였고, 천정의 높이는 2.5m로 설정하였다. 천정과 마루의 벽 종류는 모두 경강 콘크리트로 설정하였고 배연·급기설비는 자연 배연·급기설비로 설정하였다.

거실의 총 면적은 3035m²이고 장애물의 면적은 1416m²으로 피난할 수 있는 경로의 면적은 1519m²이다. 여기서, 실제 면적(3450m²)과 프로그램상의 면적이 다른 이유는 도면을 불러왔을 때, GRID로 표현되기 때문에 도면의 선과 GRID가 일치하지 않는 부분에서 차이가 나는 것으로 판단된다. 피난인구는 1517명이 배치되었고, 출구는 7개로 설정하였다.

화원의 설정에 있어서는 에스컬레이터 부분으로 정하였고, 화원에 의한 발열량은 위의 표 2.에 나와 있는 ‘백화점의 매장 또는 물품 판매업을 영위하는 점포 그 외 이것들에 비슷한 것’에서 ‘가구 또는 서적의 매장 그 외 이것들에 비슷한 것’에 해당하는 값인 960(MJ/m²)로 정하였다. 그림 3.에서 거실과 장애물, 피난인구와 화원, 출입구의 설정

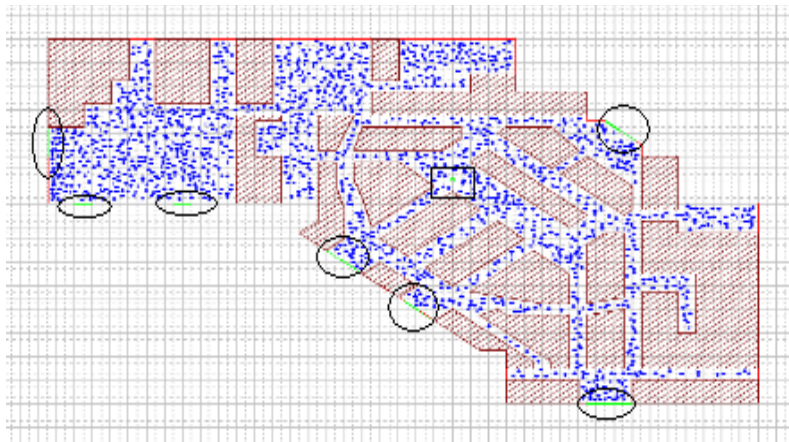


그림 3. 거실과 장애물, 피난인구, 화원, 출입구의 설정

원으로 표시한 부분이 출구의 표시이고, 사각형으로 표시한 부분이 화원의 부분이다. 7개의 출입구 모두 실제 도면의 넓이와 같은 넓이를 적용시켰고, 장애물의 위치도 실제 도면의 장애물 위치와 같게 설정해주었다.

3.3 시뮬레이션의 결과

케이스스터디의 결과 총 500초 동안 시뮬레이션을 작동 시켰고, 27초에 화재를 인지하여 피난하기 시작하였고, 약 220초(3분40초)정도에 1517명의 피난인구가 모두 피난을 완료하였고, 피난에 있어 중요한 연기하강 시간은 연기가 지상으로부터 1.8m가 되는 시간은 대략 300초(5분)에 이루어졌기 때문에 열과 연기의 영향을 받아 피난을 완료하지 못한 피난인은 없었고, 결과적으로 연기하강 시간보다 피난 완료시간이 적게 걸렸기 때문에 케이스스터디 결과 안전하다는 결론을 얻을 수 있었다. 표 5.에서 시뮬레이션의 결과를 나타내었고, 그림 4. 에서 케이스스터디 결과의 온도변화, 연기높이, 압력에 대한 그래프를 나타내주고 있다.

표 5. 시뮬레이션의 결과

피난완료시간	연기하강시간(바닥에서 1.8m)	피난안정성평가
3분 40초	5분	안전

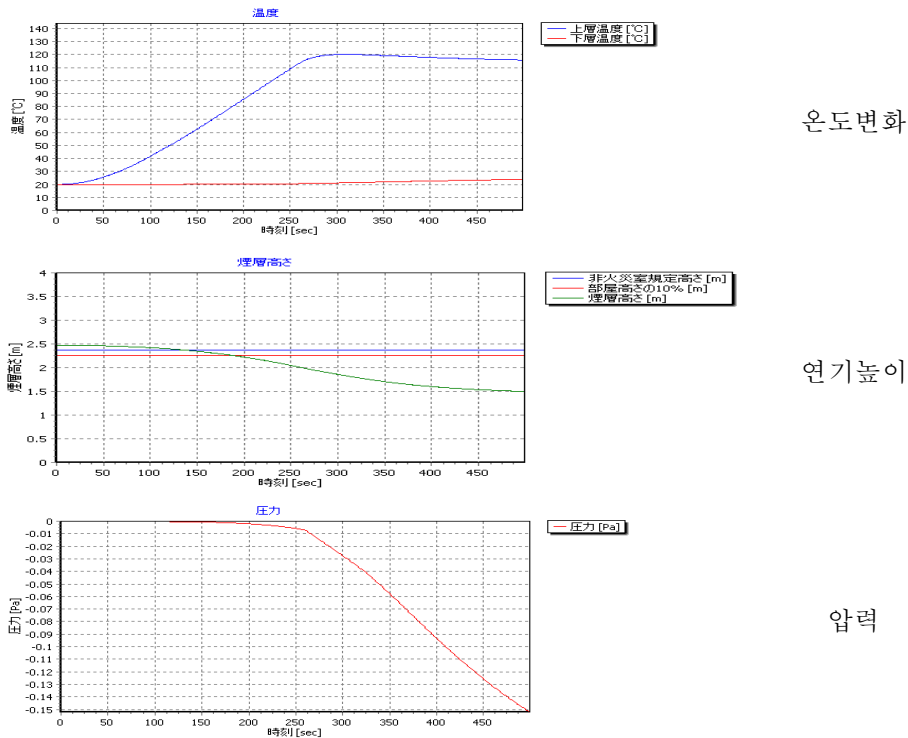


그림 4. 시뮬레이션 결과 그래프

4. 결론

국내의 성능설계 도입을 앞두고 많은 연구가 진행되고 있는 가운데 우리나라와 비슷한 체계를 갖춘 일본은 2000년도에 이미 성능설계를 도입하여 동경소방청 화재피난시물레이션을 사용하고 있는 실정이다. 성능설계를 위한 피난안정성평가의 수계산으로 이루어질 수 없는 건축물을 대상으로 쓰이고 있고, 이를 위해 별도의 채관자 밀도와 가연물의 발열량 등을 자체 조사하여 사용하고 있다. 하지만 아직 국내에서는 성능설계를 위한 방법론이 부족한 상태이다.

따라서, 내년에 도입 될 성능설계에 대비하여 국내에서도 소방방재청 주관 하에 국내 건축물들의 실정에 맞는 거실의 종류와 용도의 특징에 따른 채관자 밀도와 적재 가연물의 단위 바닥 면적당의 발열량 등의 조사가 필요하고, 더 나아가서는 국내의 실정에 맞는 화재피난시물레이션의 개발도 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. 山田茂 (2005). “建物火災時の避難安全評価シミュレーションプログラムの開発煙性状予側モデルの概要(その1)” 日本建築学会, pp 215~216
2. 水野雅之 (2005). “建物火災時の避難安全評価シミュレーションプログラムの開発避難行動モデルの概要(その2)” 日本建築学会, pp 217~218
3. 円谷信 (2005). “建物火災時の避難安全評価シミュレーションプログラムの開発ケーススタディ(その3)” 日本建築学会, pp 219~220