A-3

판매시설에서의 동경소방청 화재·피난시뮬레이션과 각국 시뮬레이션 사례 연구 분석

이현진·김동은·서동구*·이재원**·황은경***·권영진****·原田和典*****
호서대학교 · 호서대학교 석사과정* · 호서대학교 박사과정**
한국건설기술연구원*** · 호서대학교 교수·공박****· 京都大學*****

A Study on the evacuation simulation developed by TFD on Sale Facility & Application Method in Every Country of simulation

Lee, Hyun Jin · Kim, Dong Eun · Seo, Dong Goo · Yi, Jae Won · Hwang, Eun Kyoung · Kwon, Young Jin
Fire&Disaster Protection, Hoseo Univ.
Graduate Student, Dept. Fire&Disaster Protection, Hoseo Univ. *
Graduate Student, Dept. Fire&Disaster Protection, Hoseo Univ. **
KICT***
Professor/Ph.d., Dept. Fire&Disaster Protection, Hoseo Univ. ****
Tokyo Univ.*****

요 약

국내 건축물들이 다양한 변모를 보이면서 화재안전을 위한 성능설계가 도입되고, 화재영향평가제도와 화재위험성평가제도가 시행되고 있지만 이러한 방재관련 특별법에 대한 방법론이 미비한 실정이다. 따라서 본 고에서는 국내보다 앞서 성능설계를 도입하여 시행하고 있는 일본의 동경소방청 화재피난시뮬레이션(FEA)을 국내 성능설계의 방법론으로 적용시키기 위하여 FEA를 중심으로 국내에서 범용적으로 사용되고 있는 SIMULEX와 EXDOUS를 활용하여 사례분석을 통한 각 시뮬레이션의 특징에 따른 차이점을 분석하고 FEA의 한국 적용방안에 대한 기초자료로 제공하고자 한다.

1. 연구의 배경 및 목적

최근 국내의 동향은 초고층화, 대형화, 지하 심층화 등 많은 건축물의 변모를 보이면서 화재안전을 위하여 성능설계(PBD)가 도입되고, 또한 화재영향평가제도 및 화재위험성평가제도가 시행되고, 초고층·지하연계 방재관련 특별법이 시행될 예정이다. 하지만 이러한 관련법에 관한 구체적인 방법론이 부재한 실정이다. 국외(일본, 영국 등)의 경우 국내보다

앞서 건축물의 화재안전성 확보를 위하여 화재안전성 성능설계를 도입하였고, 이를 평가하기 위한 방법으로 화재피난시뮬레이션을 통하여 피난의 안정성을 평가하고 있다. 특히, 일본은 국내보다 앞서 성능설계를 도입 및 실시하고 있다. 이러한 배경을 바탕으로 일본은 성능설계에 대하여 크게 피난안전성능설계와 내화안전성능설계를 나누어 성능설계를 실시하고 있다. 그 중 피난안전성능설계에 사용하고 있는 FEA(FIRE ESCAPE SIMULATOR ATRIUM)는 피난행동 시 인명의 안전상에 큰 영향을 끼치는 연기의 유동성을 고려하여 이를 바탕으로 피난안전성평가가 이루어지는 시스템으로 구성되어 있다. 이와 같은 FEA는 일본과 유사한 법체계를 갖추고 있는 국내의 성능설계 도입에 대한 평가방법의 대안책으로 적절하다고 판단하였고, 이를 국내에 적용화 시키는 것이 필요하다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 FEA를 중심으로 한국의 성능적인 피난안전설계를 위하여 건축물 중 한국의 판매시설을 대상으로 한국에서 범용적으로 사용되고 있는 피난시뮬레이션인 SIMULEX와 EXDOUS를 활용하여 사례분석 하였다. 이를 토대로 시뮬레이션의 기초적인 알고리즘을 파악하고, 각 시뮬레이션의 특징에 따른 차이점을 비교분석한 후, FEA의 한국 적용방안 및 개선방안 등에 대하여 제시하는 데 그 목적이 있다.

2. 대상 건축물의 개요

이번 연구의 대상으로는 서울시 중구에 위치한 대형의류쇼핑몰 D타워의 지상 1층으로 정하였다. 면적은 3450m^{2}으로 불특정 다수인이 이용하고, 화재나 재해 발생 시 많은 인구밀집과 복잡한 내부 구조로 인한 피난의 난해성이 있을 것이라 판단하였다. 그림 1이 이번 사례연구 대상의 평면도이고, 표 1에서 사례연구 대상의 개요에 대해 나타내고 있다.

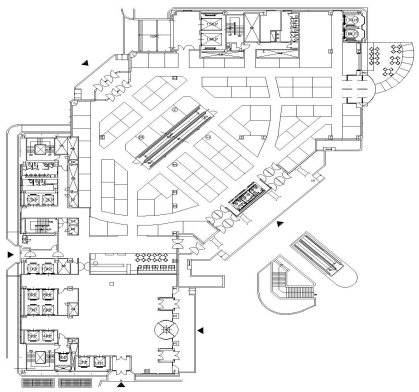

그림 1. 대상 건축물의 평면도

표 1. 대상 건축물의 개요

준 공	1999년
위 치	서울시 중구
구 조	철골철근콘크리트조
용 도	복합건물
규 모	지하7층, 지상34층, 대지3464평, 연건평3만7088평
연면적	122586m^2

3. 각 시뮬레이션의 비교분석을 위한 CASE STUDY

본 연구는 동일 건축물을 대상으로 각 시뮬레이션의 구동방식에 대한 소개와 특성치에

따라 상이하게 나타나는 결과에 대하여 비교분석을 하였다. FEA를 중심으로 프로그램 내에 규정되어 있는 재실자 밀도를 적용 시켜 SIMULEX와 EXDOUS에 대한 재실자 수를 동일하게 해주었다. 그림 2에서 각 시뮬레이션의 기본적인 구동 방법에 대하여 나타내었다.

그림 2. 각 시뮬레이션의 기본 구동 방법 프로세스

3.1 FEA

본 시뮬레이션의 대상 건축물의 실행을 위해서 CAD도면을 그림파일(JPEG, BMP)로 변환하여 도면을 작성한 후 실행하였다. 피난 출구는 총 7개로 폭 4.8m 4개, 1.9m 3개를 설정하였다. 화원의 위치는 도면의 가운데 부분에 위치한 에스컬레이터 부분으로 설정하였다. 또한 장애물에 대한 가연물의 단위 바닥 면적당의 발열량과 건축물 구조의 특성에 따라 설정된 재실자 밀도를 통하여 0.25人/m^2의 밀도를 적용하게 되었다. 이에 따라 적용된 총 피난인구의 수는 761명이 배치되었다. 그림 3에서 GRID상에 표현된 대상을 볼 수 있다. 원으로 표시된 부분이 출구이고, 사각형 부분이 화원이다. 시뮬레이션 실행 결과 15초 경과했을 때 피난을 시작하였고, 1분 40초가 경과했을 때 피난이 완료되었다. 또한 연기의 높이가 바닥으로부터 1.8m가 되는 시점은 3분 40초로 재실자가 피난을 완료하는데 안전하다는 결론이 도출되었다. 그림 4는 시뮬레이션의 실행 모습이다. 표 2에서는 시간에 따른 변화를 나타내고 있다.

표 2. FEA의 시간에 따른 변화

시간	실의 상황
15초 후	피난개시시각
99초 후	피난완료시각
220초후	연기의 높이가 바닥으로부터 1.8m가 되는 시각

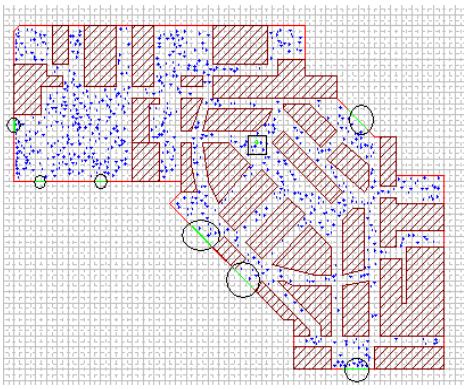

그림 3. 피난출구, 화원의 설정

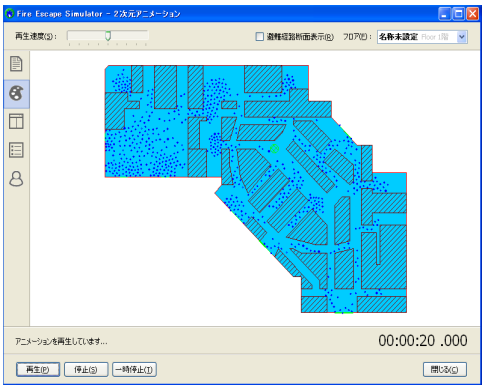

그림 4. 시뮬레이션의 구동 화면

3.2 SIMULEX

SIMULEX는 재실자의 피난행동만을 적용할 수 있기 때문에 화원의 설정 없이 재실자 밀도와 신체 특성만을 고려하여 연구를 수행하였다. 재실자에 대해서는 FEA과 같은 피난 인구 수를, 신체특성으로는 일본인을 기준으로 설정하였다. CAD 도면을 DXF파일로 변환하여 불러오기 때문에 FEA에서의 면적이 실제 면적과의 차이점을 보이는 문제점은 없었다. 보행속도는 초기 값 1.0m/s를 설정해 주었고, 피난 시 발생하는 감소속도에 대해서는 0.5~1.5m/s로 설정해 주었다. 시뮬레이션 실행 결과 피난을 완료하는데 평균 2분 12초가 경과되었으며, 총 10회의 실행 중 병목현상과 동시에 재실자의 부분적인 체류현상이 나타나는 것을 알 수 있었다. 그림 5에서 시뮬레이션의 실행 모습을 볼 수 있다. 또한 피난시작부터 5초 단위로 피난을 완료한 재실자 수를 Data로 얻을 수 있다. 이러한 결과 Data 자료를 통하여 어느 시점에서 재실자가 피난을 완료하였는지 알 수 있다. 그림 6에서는 피난을 완료한 재실자의 수를 5초 단위로 분석한 그래프이다.

그래프를 보면 피난시작 20초 안에 전체 재실자의 51%가 피난을 완료했다는 것을 도출할 수 있다. 이는 곧 피난개시시간 결정여부와 관련이 되는데 SIMULEX에서의 피난개시시간 설정에 있어서 세 가지 분포를 설정 할 수 있다. 임의의 분포, 삼각형의 분포, 표준적인 분포로 나뉘는데 이에 대한 내용은 표 3에 나타내고 있다.

표 3. SIMULEX에서의 피난개시시간 설정

임의의 분포 (Random Distribution)	반응시간이 각각의 거주자들에게 임의 값으로 적용
삼각형의 분포 (Triangular Distribution)	반응시간을 거주자들에게 3가지의 값으로 적용
표준적인 분포 (Normal Distribution)	반응시간을 초기 설정 값에서 큰 차를 두지 않고 적용

피난개시시간은 피난행동에 있어서 중요한 요소 중 하나이다. 이번 연구에서는 각 재실자들에게 임의의 값을 적용시키는 Random Distribution(임의의 분포)로 설정해 주었다.

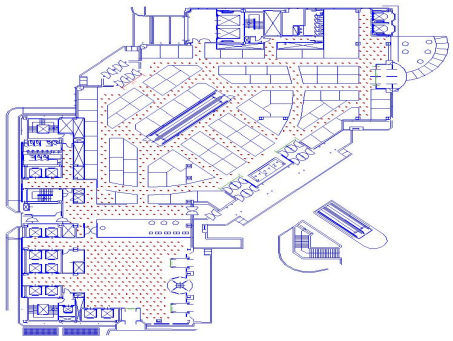

그림 5. 피난출구, 화원의 설정

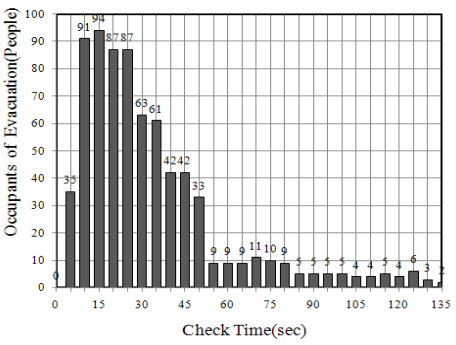

그림 6. 5초 단위의 피난인원 수

3.3 EXDOUS

한편, EXODUS는 피난인의 신체특성에 대해 세부적으로 설정을 할 수 있다. 본 연구에서는 표 4와 같이 설정해주었다.

표 4. EXDOUS에서의 신체특성

나이	몸무게	신장	재실자수	보행속도
20~60세	40kg~89kg	1.5m~2.0m	761	1.0m/s

CAD File을 Input하여 출구를 설정해준 후, Node를 설정하여 재실자 수를 설정해주었다. CFAST를 연동하여 피난과 화재를 동시에 구현할 수 있지만 이번 연구에서는 각각의 시뮬레이션 프로그램이 가지는 고유의 특성을 비교하고자 하여 CFAST의 연동을 배제하였다. 재실자의 보행속도에 따라 생기는 걷는 속도와 장애물을 넘는 속도, 연기하강에 따른 감소속도는 각각 90%, 80%, 20%로 지정해 주었다. 피난출구의 위치와 폭은 앞서 소개한 두 프로그램과 동일하게 설정해주었고, 재실자의 위치 선정에 따른 차이를 고려하여 10회의 실시한 결과 평균 1분 27초의 값을 도출할 수 있었다. 그림 6에서 EXDOUS의 실행 모습을 볼 수 있다.

4. 각 시뮬레이션의 결과 및 분석

세 프로그램을 동일한 대상으로 실험하였을 때 각 시뮬레이션의 특성에 따라 결과의 차이가 있었다. 특히 FEA의 경우 CAD도면을 바로 불러들이지 못하고 GRID상에 나타내야 한다는 점이 있고, 부수적 요인으로는 신체특성, 화재와 피난의 연동 유무, 장애물 인식방법, 재실자의 위치 선정 등이 있다고 판단된다. 이 외에도 실의 속성과 보행속도에서 큰 차이가 생긴 것으로 판단 된다.

표 5는 FEA를 중심으로 SIMULEX와 EXDOUS를 비교한 것으로 각 각의 시야 확보, 가연물 및 실의 특성 등에 의해 피난 시간을 계산한 결과 SIMULEX는 FEA와 EXDOUS

와는 달리 부분적인 체류현상에 의하여 피난 시간이 상대적으로 길어지고 있는 것을 도출할 수 있었다.

표 5. 각 시뮬레이션의 특성치 입력 및 결과 비교

<table>
<tr><th></th><th colspan="2">FEA</th><th colspan="2">SIMULEX</th><th colspan="2">EXDOUS</th></tr>
<tr><td>시야확보</td><td colspan="2">화원의 영향을 피해 최단 경로에 따른 출구를 향해 피난</td><td colspan="2">최단 경로 및 지정된 경로에 대해 절대적으로 행동하지만, 병목현상 및 가까운 출구 대신 다른 출구로 재실자가 몰려 시간이 지연</td><td colspan="2">시야확보를 연장하기 위해 출구 표지문자의 높이를 증가할 수 있다. (ex. 출구 표지문자의 높이가 15.2cm의 경우, 30m이내의 거리에 대해 읽는 것이 가능.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">가연물 및 실의 속성</td><td>천정과 벽의 종류</td><td>경량콘크리트</td><td rowspan="4">재실자 인수</td><td rowspan="4">761명</td><td rowspan="4">재실자 인수</td><td rowspan="4">761명</td></tr>
<tr><td>발열량 (MJ/m^2)</td><td>960</td></tr>
<tr><td>배연급기 설정</td><td>자연 설정</td></tr>
<tr><td>재실자 밀도 ($人/m^2$)</td><td>연속식 점포의 공용의 통로부분- 0.25 총 761명</td></tr>
<tr><td rowspan="3">신체특징</td><td colspan="2" rowspan="3">-</td><td rowspan="3">신체 특성</td><td rowspan="3">일본인 - HOLE</td><td>나이 (세)</td><td>20~60</td></tr>
<tr><td>신장 (m)</td><td>1.5~2.0</td></tr>
<tr><td>체중 (kg)</td><td>40~89</td></tr>
<tr><td>피난 완료 시간</td><td colspan="2">1분 40초</td><td colspan="2">2분 12초</td><td colspan="2">1분 27초</td></tr>
<tr><td rowspan="2">보행속도</td><td colspan="2" rowspan="2">초기값 1m/s 적용</td><td>초기값</td><td>감소속도</td><td colspan="2" rowspan="2">1.0m/s 적용, 걷는 속도와 장애물 넘는 속도, 연기하강에 따른 감소속도 각각 90%, 80%, 20% 적용</td></tr>
<tr><td>1.0m/s</td><td>0.5~1.5m/s</td></tr>
<tr><td>결과DATA</td><td colspan="2">온도, 압력, 연기높이의 그래프</td><td colspan="2">출구마다 피난인 수, 5초 단위로 출구를 통과한 피난인 수</td><td colspan="2">개개인에 대한 피난완료 데이터</td></tr>
</table>

4. 결론

한국은 PBD도입을 앞두고 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 현 시점에 PBD 도입에 앞서 이에 대한 방법론이 미비한 상태이고, 이를 보완하기 위하여 2000년도에 이미 PBD를 도입하여 동경소방청 주관 하에 사용되고 있는 FEA의 국내 적용방안에 대해 고찰하기 위하여 SIMULEX와 EXDOUS를 이용하여 동일한 판매시설을 대상으로 분석해본 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) FEA의 경우에는 EXDOUS와 유사인 피난 시간이 소요되었지만, SIMULEX와는 매우

짧은 피난시간이 확보되게 되어, 재실자 밀도가 높은 판매시설에 있어서의 군집이동에 대한 실증적인 조사가 필요하다고 생각된다.

2) FEA를 한국으로 사용하기 위해서는 한국의 건축물 용도에 따르는 재실자 밀도와 단위바닥 면적당의 발열량등의 조사가 선결되어 또 한국인의 신체조건 및 피난 능력 등도 고려되어야 할 필요성이 있다고 생각된다.
3) GRID로 표현되어 실제 면적과의 차이가 나는 문제점을 보완해야 할 것으로 사료된다.
4) 화재와 피난을 연동 시 피난개시시간과 관련하여 화재구역 안 또는 밖에 있는 피난인에게 화재 발생의 여부를 판단시킬 수 있는 소방 설비의 적용이 필요할 것으로 사료된다.
5) 동시 다발적으로 일어나는 화재구현이 필요하다고 사료된다.

이와 같은 사항들을 고려하여 PBD도입에 대한 방법론으로 한국형 화재피난시뮬레이션 개발이 시급하다고 판단된다.

감사의 글

본구는 한국건설 기술구원“표준화 모델에 의해 화재확대방지 및 피난 안전 설계 기술개발”에 의해서 수행되었습니다.

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ブラムの開發煙性狀予側モデル の概要(その1)” 日本建築學會, 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ブラムの開發避難行動モデル の概要(その2)“ 日本建築學會, 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ブラムの開發ケ―ススタディ(その3)“日本建築學會, pp 219~220