

동경소방청의 화재 피난시물레이션과 각국의 시물레이션 특성 및 알고리즘 분석

김동은* · 이현진* · 서동구* · 이재원* · 原田和典** · 황은경*** · 권영진*
호서대학교* · 京都大学** · 한국건설기술연구원***

An Analysis of algorithm fire & evacuation simulation
developed by TFD and all countries of the world of simulation.

Kim Dong Eun*, Lee Hyun Jin*, Seo Dong Goo*, YI Jae Won*,
HARADA Kazunori**, Hwang, Eun Kyoung***, Kwon Young Jin*

Hoseo University*, Kyoto University**, KCI***

요 약

2009년 국내에서 실행되는 성능위주설계인(PBD)을 비롯하여 화재안전성평가를 시물레이션을 중심으로 사용하고 있는 추세이다. 그러나 현재 국내에서는 자체 시물레이션 프로그램의 이용빈도 보다 타국의 프로그램의 이용 빈도가 높은 추세이다. 현재 많이 이용되고 있는 영국의 SIMULEX와 EXODUS가 대표적인 프로그램이 되겠다. 일본의 동경소방청에서 개발된 화재피난 시물레이션(FEA)에서는 연기와 화재성상을 고려하여 피난과 연동하여 피난을 실시하고 있다. 따라서 본 논문에서는 FEA가 국내에 적용방안에 합당한지 파악하고자 SIMULEX와 EXODUS 비교를 실시하여 FEA의 개선점을 도출하였다.

1. 서 론

최근 불특정 다수의 인원이 집중되는 다중이용시설인 대형할인점, 멀티플렉스, 문화공간, 대형쇼핑몰과 지하철 역사와 같은 다중 이용시설에 대한 피난모델링을 통하여 한국의 경우 2009년부터 적용되는 의무적인 성능위주설계(PBD)에 대하여 현재의 시방중심의 적정피난시간계산을 위한 설계방법과는 거리가 있어, 시물레이션을 이용한 화재안전성평가가 실행되고 있는 추세이다. 현재 일본 동경소방청에서 개발된 화재피난시물레이션의 경우 연기와 화재의 성상 그리고 피난과 연관하여 피난의 유무를 알 수 있으며, 또한 재실자의 밀도 및 특성을 입력 하는 방법으로는 타 피난 프로그램에 비해 법적으로 규정되어 있는 DATA를 이용하기 때문에 일본의 법과 유사한 한국에서의 적용에 합당하나, 한국의 맞는 DATA 확보와 정확한 시물레이션 결과를 판단하기 위해 본 논문에서는 일본 동경소방청의 화재 피난 시물레이션(이하 FEA)과 SIMULEX와 building EXODUS의 특

성을 비교하여 FEA의 한국적용방안에 대해 모색하는 것에 목적이 있다.

2. 시뮬레이션에 관한 연구동향

한국의 성능위주 설계 PBD(Performance Based Design)기법이 도입되는 최근의 경향과 마찬가지로 피난안정성의 검토에서도 PBD의 개념이 널리 도입되고 있다. 피난의 PBD에는 피난소요 시간이 매우 중요한 요소로서 통상 피난모델이라 하면 안전피난 가능시간과 안전피난소요시간을 구하고 안전피난 소요시간이 충분히 작을 수 있도록 하는 대책을 수립하는 과정이라고 할 수 있다. 이때 안전피난 가능시간보다 안전피난 소요시간이 충분히 작을 수 있도록 하는 대책을 수립하는 과정이라고 할 수 있다. 피난을 관련한 연구방향을 살펴보면⁵⁾ 1980년대 초반부터 1990년대 후반까지 주된 연구주제는 사회적 측면의 연구가 주를 이루고 간간히 행동 과학적 측면의 접근이 이루어졌으나, 화재시 재실자의 인명안전과 안전한 지역까지의 유도에 대한 관심이 높아지면서 2000년 이후 행동과학적 측면의 연구가 비슷한 비율로 이루어졌다. 주제별로 살펴보면 그림1과 같이 피난계획(34.8%), 시뮬레이션(32.0%), 피난행태(16.3%)의 순으로 주제별 연구가 실시되었다. 실제 화재조건 상황에서 피난에 관련된 실험은 현실적으로나 윤리적으로 거의 불가능하다고 볼 수 있다. 또한 CODE 중심으로 현행 관련 법규는 건축물의 성능적으로 피난설계에 대한 구체적인 방법이 미흡한 실정이다. 이러한 피난모델의 연구의 한계를 극복하기 위해서 시뮬레이션을 이용한 연구가 한국에서 활성화가 되어가는 추세이다.

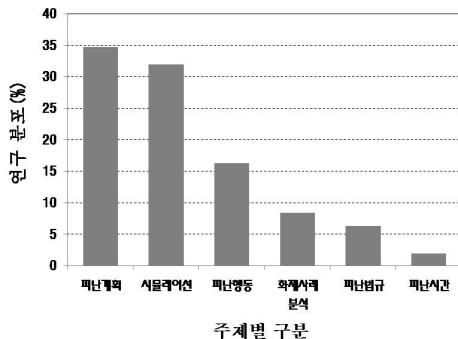


그림1. 한국에서 피난관련 연구 동향(1980~2006년)

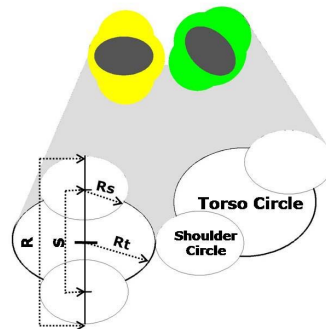


그림2. SIMULEX의 신체특성

3. 화재 피난프로그램 비교

3.1 재실자의 특성 입력

SIMULEX의 경우에는 그림2와 같이 재실자의 신체 전체의 둘레범위 R(mm), 몸통의 둘레범위 S(mm) 어깨 둘레의 범위 Rs(mm)등으로 재실자 특성을 입력할 수 있게 되어 있다.

building EXODUS의 경우에도 시뮬레이션 구성할 때 성별, 연령, 무게 등의 재실자 특성을 입력하게 되어 있다. 그러나 동경소방청의 화재피난시뮬레이션의 경우에는 단순한 특성치만을 입력하게 구성되어 따라서 다중이용시설 및 불특정다

수자에 대한 구체적인 피난특성을 입력할 수 없게 되어 있다.

3.2 재실자의 배치

EXODUS과 SIMULEX의 경우 개인 또는 그룹단위로 재실자를 배치하여 피난 시나리오에 따르도록 배치를 하고 있으나, 동경소방청의 경우에는 재실자의 위치를 배치하는 경우 랜덤에 위치를 선정이 되는 것으로 공간적인 요소와 시간적인 요소를 고려하였을 때 시뮬레이션의 결과값을 얻을 수 없을 것으로 판단된다.

3.3 피난시 장애물

EXODUS의 경우에는 그림3³⁾와 같이 장애물의 높이에 의해 재실자의 시야확보를 통해서 피난 행동을 실시한다는 현실적인 측면이 강조되고 있다. 이 예로서 NFPA Life Safety Code Handbook은 다음과 같이 나타내고 있다.出口的 표지문자의 크기가 15.2cm의 경우, 30 m이내의 거리에 대해 읽는 것이 가능하다. 표지의 시야확보를 연장하기 위해서 표지 문자의 높이를 증가할 수 있다.

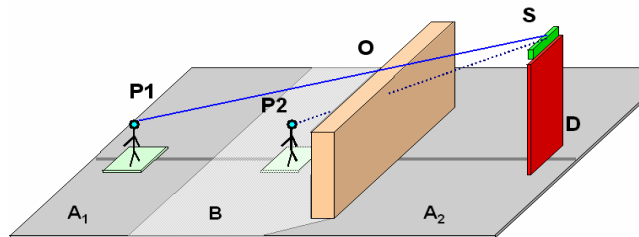


그림3. building EXODUS에서의 재실자의 시야확보

3.4 OUTPUT의 시각화

그림4와 같이 동경소방청과 SIMULEX의 경우 2차원으로 OUTPUT이 표현되지만 building EXODUS의 경우에는 vrEXODUS를 통하여 3차원에 시각적인 효과를 극대화 되는 것으로 차별화 되어 구획조건, 내장재등에 대하는 것이 현실적인 방재계획이 실시된다고 판단된다.

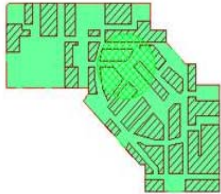
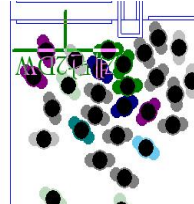

FEA	SIMULEX	building EXODUS
		

그림4. 각 프로그램의 시각화

3.5 재실자의 보행속도

표1. building EXODUS의 초기속도

이동속도	초기속도(m/s)
빠른 걸음(Fast Walk)	1.5
평상시 걸음(Walk)	1.5 * 90%
점프(Leap)	1.5 * 80%
기어가기(Crawl)	1.5 * 20%

표2. Code 및 Standard에 의한 보행속도의 결정

출처	설계보행속도 (m/s)	최대보행속도 (m/s)	비고
Approved Document B1 (UK)	1.33		Standard British code for buildings
SCICONreport (UK)	1.37		Data from football crowds
Guide to Safety at Sports Grounds (UK)	1.82		Based on Japanese data and derived from 1.0 pers/0.55m/s unit exit width calculation
Hankin & Wright (UK)	1.48	1.92	Commuters under normal conditions
Fruin (U.S.A.)	1.37	4.37	Max. flow is ultimate regimented, 'funnelled' flow under pressure
Daly	1.43		
Ando et al (Japan)		1.7~1.8	Commuters under normal conditions
'Fire and Building' (UK reference)	1.50		
Predtechenskii and Milinskii (Russia)	1.70	2.06	Peak flows at high density for adults in summer dress.
NFPA 101 (U.S.A)	1.33		Effectively, same as UK codes
Polusetal (Israel)	1.25~1.58	1.58	Walkways & sports stadia

표1의 경우는 EXODUS의 보행속도에서 초기값을 나타낸 표이다. 피난시를 고려하여 4가지의 구분으로 기본값을 1.5 m/s로 설정한 후에 피난행동에 따라 식에 따라 구분된다. 또한 SIMULEX의 경우는 표2와 같이 Code 및 Standard에 의한 보행속도의 결정이 된다¹⁾. SIMULEX의 경우 재실자의 밀도가 높아짐에 따라 보행속도가 Thompson & Marchant(1995)의 감소식에 따라 감소하게 된다. 특히 SIMULEX는 다 층의 건물에 Link를 통해 피난안전성 평가를 수행할 수 있다. SIMULEX의 피난모델은 불특정 다수의 인원이 이용하는 건축물에 적용할 수 있으나 화재 시 연기의 하강속도 등 유독가스에 따른 피난안전평가를 할 시에는 SIMULEX이외의 CFD, Zone모델 등을 연계하여 건축물에 안전한 피난설계의 방향이 가장 중요한 요소가 될 것으로 판단된다.

4. 프로그램 비교

각 나라별로 범용적으로 사용되고 있는 프로그램 중 본 논문에서는 FEA와 SIMULEX와 EXODUS를 재실자에 대한 내용과 피난시 장애물, 또한 OUTPUT에 대한 내용으로 비교분석을 실시하였다. 전체적인 내용으로 보면 국내와 범이

표3. 각 프로그램의 비교

		FEA	SIMULEX	buildingEXDOUS	
개요	개발국가	日本	United Kingdom	United Kingdom	
	개발기관	東京理科大学(동경이과대학)	Edinburgh Univ.	Greenwich Univ.	
	품질관리 및 유지기관	東京消防庁(동경소방청)	Edinburgh Univ.	Greenwich Univ.	
	개발자	-	Integrated Evironmental Systems, P.Thompson	Fire Safety Environmental Group and E.Galea	
	해석구조	-	Continuous Space System 0.2m×0.2m로 나뉘어져 있는 Cell로 구성된 2-D model	Fine Network model 0.5m×0.5m의 node와 arc로 구성된 grid로 이루어진 2-D model	
	해석 범위	-	50,000m ² 미만의 기하학적인 복잡한 건물 및 15,000명 이하의 피난자	-	
	CAD 활용여부	CAD 도면 또는 일반 전체의 평면 형상을 알 수 있는 도면을 준비 한 후, JPEG형식 또는 BMP형식의 데이터로 변환하여 사용.	CAD Program을 이용한 Input file(DXF) 사용.	-	
	화재성장 활용성관련	적용가능 화재로부터 복사가 화원중심에서 일제 방출되면 간이계산법을 사용하여 안전측으로 조작하여 피난함.	적용못함	적용가능 제실자는 개별적 호흡량이 계산되고, 화재로 발생한 오염물질 흡입시 FED를 분석하여 피난가능여부 및 생존여부 판단	
제실자 특성	피난 개시시간 결정여부	화제실	심리적 효과 3가지 분포를 설정	이동경로 선택 사용자 지정 임의의 분포 삼각형의 분포 표준적인 분포	이동경로 선택 사용자 지정 임의의 분포 삼각형의 분포 표준적인 분포
		비화제실			
	신체크기 조절여부	-	평균, 남자, 여자, 유아 등 4가지	신장 1.0m~2.0m 사이	
	보행속도	보행속도의 초기값은 1m/s로 하고 충돌회피 프로세스에서 ps를 축소시킨 경우에 보행속도가 줄어드는 모델	각 개인은 정상적인 방해가 없는 조건의 보행속도($d=v(1/D)$ (m))를 가지며 밀도가 증가하면 개인별 이격 거리와 보행속도의 감소식을 기준으로 보행속도가 결정	-	
보행감소 속도	-	감소되는 보행속도 = $V(d-0.25)/(0.87)$ (m/s)), 여기서 V=정상 보행속도	걸는 속도(90%), 장애물을 넘는 속도(80%), 연기하중에 따른 감소속도(20%)로 구분		
심리적 특징	-	-	이성적 비이성적 극단적 판단에 정의되는 수치로 낮음, 중간, 높음으로 구분		
제실자 선정	-	각 제실자는 규정 및 통계에 의해 결정된 프로그램에 주어진 성별, 몸 크기, 보행속도, 반응시간 등이 지정된 제실자를 선택할 수 있음. 별도의 특정 속도, 반응시간 및 몸크기등은 사용자가 직접 입력가능.	각 제실자의 성, 나이, 체중, 최대보행속도, 응답시간등을 사용자가 용도에 적합하게 지정.		
제실자 이동	-	많은 비디오 분석과 연구를 통해 얻어진 경험식에 기초한 제실자 이동 보행속도, 열결음, 몸의 회전, 추월의 변화를 가지며, 보행속도는 피난자 사이의 거리에 따라서 변화함.	제실자는 사용자가 지정한 보행속도를 기본으로 시뮬레이션 내에서 발생하는 모든 영향에 따라 보행속도의 증감이 발생하고, 열결음, 추월 등의 행동을 하게 됨. 또한 개인적인 특성부여에 따라 임의적으로 출구를 선택할 수 있음.		
제실자 행동	화원의 영향을 피해 최단 경로에 따라 행동	최단경로 및 지정된 경로에 대해 절대적(Implicit)으로 행동함.	최단 경로 및 지정된 경로에 따라 행동하지만, 프로그램에 적용된 규정과 상황에 따라 다양하게 움직임.		
결과표시방법	연층의 높이(1.8m 기준)와 온도, 압력을 그래프로 표시.	-	CO ₂ , CO, HCN, O ₂ 등 연기에 포함되어 있는 유독성 가스에 대한 수치를 그래프와 도표로 표시 가능		

비슷한 일본의 FEA가 재실자에 대한 내용은 한국에서 적용이 가능하나 비교한 내용을 살펴보면 개선점이 필요할 것으로 판단된다. 우선적으로 프로그램의 CAD파일의 연동의 문제점이 있다. 프로그램의 효율성을 위해 SIMULEX와 EXDOUS와 같이 CAD파일의 연동이 중요하다고 볼 수 있다. 또한 프로그램의 장애물을 살펴보면 FEA의 경우 연기의 하강속도를 알 수 있도록 하고는 있으나, 장애물의 높이를 고려하지 않고 있기 때문에 EXDOUS와 같이 피난자의 시야확보를 고려하여 피난을 하도록 개선해야 할 것으로 보인다. 또한 현재 FEA는 5층 이하의 건축물에서만 이용이 가능하나 국내의 현실을 고려하여 지하와 초고층에도 이용이 가능한 시뮬레이션으로 개선되어야 한다고 생각된다.

4. 결론

한국소방법의 성능 설계와 화재영향평가제도 및 초고층·지하방재 관련 특별법 등을 고려한 동경소방청의 화재피난시뮬레이션의 기술이 향후 한국에 적용에 필요하나 다음과 같은 부분이 개선되어야 한다고 판단됩니다.

- 1) buildingEXODUS와 SIMULEX의 경우, CADfile와 직접 연결되거나 동경소방청의 화재피난시뮬레이션은 CAD와 직접 연결을 할 수 없게 다시 작성되지 않으면 안 되는 비효율적인 방법이며 따라서, CAD와 연동하여 효율적인 구동방법이 개선되어야 한다.
- 2) 3차원을 구현하는 함으로써 구획조건 및 내장재 등에 대하여 현실적인 방재계획이 실현된다고 판단된다. 또한, 현실성을 고려해서 피난장애물 피난설비등의 연동시켜 구체적인 피난특성을 입력할 수 있게 개선이 필요하다.
- 3) 동경소방청의 화재피난시뮬레이션의 경우 재실자의 위치를 배치를 임의적인 선정이 되는 것으로, 이것에 대한 재실자의 위치를 그룹 혹은 개인 위치 설정을 할 수 있도록 실시할 필요가 있다고 판단된다. 또한 5층 정도의 판매시설 등을 주된 대상으로 하는데, 한국의 경우 초고층 구조물과 관련된 시뮬레이션이 필요한 상황이며, 초고층 구조물 및 지하가등에 대상으로 가연물 조사등을 통해서 화재 하중을 고려해, 개구부등의 환기계수 및 굴뚝효과등과의 연기성과 함께 배연 설비등으로 결정되는 종합적인 시뮬레이션으로서 개선되는 것이 필요하다고 판단된다.

5.참고문헌

- 1) 서동구 외4인, EXODUS, SIMULEX을 활용한 피난모델 관한 분석연구, 한국화재소방학회춘계학술발표대회, 2008
- 2) 김운형 외1인, 피난모델의 검토- SIMULEX, 한국화재소방학회추계학술발표대회, 1999
- 3) 김운형 외2인, EXODUS 피난모델의 검토, 한국화재소방학회춘계학술발표대회, 2000
- 4) 火災避難シミュレーション Ver.3、2008, 東京消防庁
- 5) 김대희 외2인, 건축물피난관련연구동향 및 특성의 관한 연구, 한국화재소방학회춘계학술발표대회, 2007
- 6) buildingEXODUS V4.06 USER GUIDE AND TECHNICAL MANUAL, 2006