

A-08

EXODUS, SIMULEX를 활용한 피난모델 분석에 관한 연구

A Study on the Egress Model Analysis using EXODUS, SIMULEX

서동구* · 황은경** · 황금숙*** · 조정훈**** · 권영진****

Seo, Dong Goo · Hwang, Eun Kyung · Hwang, Geum Suk
Jo, Jeong Hoon · Kwon, Young Jin

ABSTRACT

Recently with the increasing economics, many high-rise and complicated building with new architecture features are constructed in Korea. These higher and bigger building have many difficulties of fire safety concerns, especially evacuation plan. In this paper, aims to present logical basis for forecasting egress behavior of occupants and systematized Egress-Prediction Model by analysing expectable decisive factors among influential factors each step until completing egress from perception of fire cues.

Keyword : Evacuation Plan, Egress Prediction Model, EXODUS, SIMULEX

1. 연구배경 및 목적

최근 건축물의 비약적인 발달에 따라 점차 대형화·초고층화·지하심층화 등 다양하게 변화하고 있다. 하지만 화재 시 인간의 피난은 더욱 난해해지고 있으며 이에 대한 대응방안으로 현재 다양한 피난모델이 개발 및 연구가 진행되고 있다. NIST Workshop 보고서에 의하면 피난모델은 Movement models, Partial Behavioral models, Behavioral models의 3가지로 나눌 수 있다. 이러한 피난모델은 2001년 WTC(World Trade Center)의 테러로 인하여 더욱 부각되었으며 현재는 다양한 건물의 피난예측 분석 시 많이 활용되고 있다. 국내 또한 현재 많은 피난모델이 활용되고 있으며, 이에 따른 건축물의 피난안전설계 시 피난모델의 분석연구가 이루어지고 있다. 하지만 현재 국내에서 활용되고 있는 피난모델은 해외에서 개발된 프로그램을 사용하고 있어 국내의 특별한 검증기관이 없는 상태에서 이러한 프로그램을 활용한 건축물 피난안전설계가 이루어진다는 것은 타당하지 않다고 사료된다. 이에 따라 각 대학 및 연구소에서 많은 피난모델이 자체적으로 개발되었으나 상용화가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 피난모델 분석연구와는 차별화를 두어 해외 피난모델 중 국내에서 상용화되고 있는 buildingEXODUS와 SIMULEX의 특성과 알고리즘을 파악하여 국내에서 상용화 할 수 있는 프로그램 개발에 앞서서 기초적인 데이터 구축마련을 목적으로 한다.

2. 해외 피난모델의 검토

2.1 buildingEXODUS

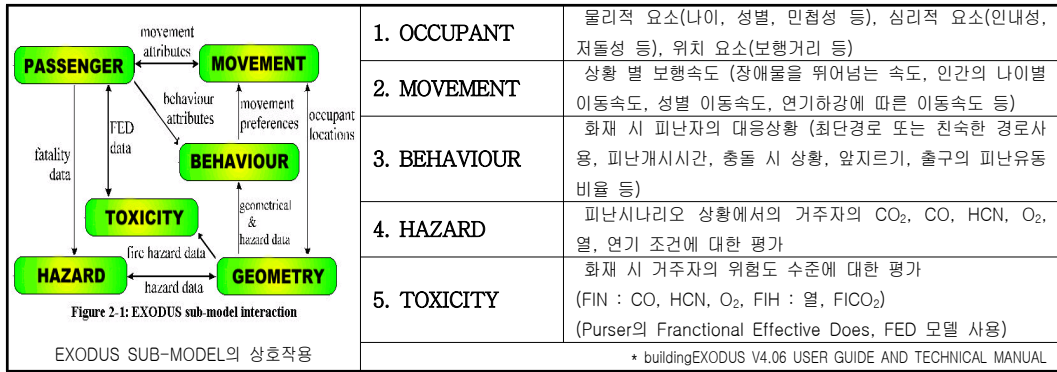
2.1.1 개요

buildingEXODUS는 영국의 Greenwich 대학의 Fire Safety Engineering Group에 의해 개발되었다. 모델의 설계 특징은 표 1과 같이 재실자(OCCUPANT), 피난이동(MOVEMENT), 피난형태(BEHAVIOUR), 위험도(HAZARD), 유독성(TOXICITY) 등의 5개의 SUB-MODEL로 구성되며, 각 요소는 호환이 이루어지도록 구성되어있다. 이러한 각 요소는 재실자의 각 특성 별로 위험도와 유독성에 따라 피난이동이 이루어지고 피

* 학생회원 · 호서대학교 소방방재학과 초고층장대터널방재연구실 · tjehdm2@naver.com
 ** 정회원 · 한국건설기술연구원
 *** 정회원 · 한일엘이씨(HIMEC)
 **** 정회원 · 호서대학교 소방방재학과 교수·공박

난형태, 즉 재실자의 피난시간, 보행속도, 사망 등 다양한 행태를 보여지게 된다. 특히 위험도(HAZARD)는 SMARTFIRE 및 CFAST의 CFD해석결과를 LOAD하여 반영할 수 있도록 설계되었다.

표 1. EXODUS의 피난모델의 개요



2.1.2 buildingEXODUS의 특성 및 분석

재실자의 모델은 피난모델 시 불특정 다수의 인간에 대한 모델을 결정함에 따라 피난 소요시간 및 사망자의 수 등 결과의 상이함은 피난모델의 가장 중요성을 부각시키고 있다. 따라서 재실자의 신체특성, 심리, 경험, 위험도의 4가지 측면으로 피난설계 모델을 결정할 수 있다. 신체특성은 성별, 나이, 몸무게, 키, 신분(경험자 및 비경험자)으로 구분된다. 표 2에 명시된 바와 같이 민첩성, 재실자의 움직임, 보행속도, 키, 몸무게, 피난반응시간 등 신체특성에 따라 다양한 요인이 적용된다.

표 2. 신체특성에 따른 영향

구분	성별		나이	몸무게	키	신분	
	남	여	1~100 세	1~200KGs	1.0~2.0 m	경험자	비경험자
특성에 따른 영향	민첩성, 움직임, 보행속도, 키, 몸무게		보행속도, 키, 몸무게	나이, 성별에 따라 귀속 됨	나이, 성별에 따라 귀속 됨 FIN, FIH, FIC, FLD	피난반응시간, 민첩성	

또한 인간의 심리적인 요인은 신체특성에 이어서 피난이동을 실시 할 경우 고려되어야 하는 요인으로 인간의 심리적 특징 중 이성적·비이성적(Mobility·FIN)판단으로 나누어 피난 시 반응하는 심리적인 요소에 대하여 표현하고 있다. FIN은 비이성적 판단으로 재실자의 이동이 화재 시 극단적인 판단에 정의되는 수치를 각각 낮음(0.00~0.89), 중간(0.90~0.95), 높음(0.96~1.00)으로 구분하여 재실자의 이동성을 결정짓고 있다. 식 1은 재실자의 이동성이 FIN에 따른 영향을 나타낸 식이다.

$$Occupant\ Mobility = Initial\ Mobility \times Mobility \tag{식 1}$$

특히 그림 1과 같이 심리적인 요소는 재실자의 순간적인 반응이 재실자의 이동률에 미치는 영향에 대하여 설명하고 이를 결정짓고, 또한 그림 2은 식 2에 의한 그래프로서 연기의 하강율(K)에 따라 재실자의 이동률에 미치는 영향에 대하여 결정짓고 있다. 이는 위험도(HAZARD)의 영향을 받아 감소보행속도의 정의를 내리고 있다. 즉, 피난 시 재실자의 보행속도의 관계는 걷는 속도(90%), 장애물을 넘는 속도(80%), 연기하강에 따른 감소속도(20%)로 구분하여 초기 보행 속도에 퍼센티지를 감하여 피난모델의 안전성 평가에 있어서 정확한 결과 값을 도출해 내는 방법론으로 정하고 있다.

$$Mobility = -2.08K^2 - 0.38K + 1.06 \tag{식 2}$$

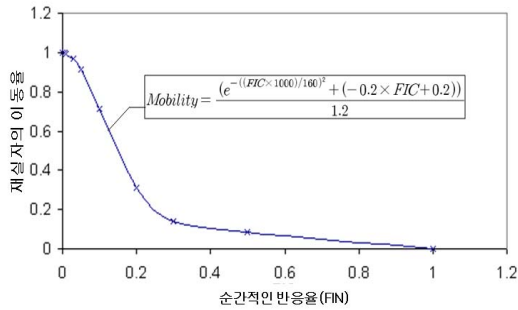


그림 1. 순간적인 반응이 재실자이동률에 미치는 영향

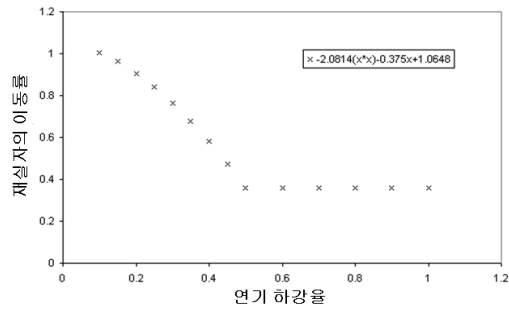


그림 2. 순간적인 반응이 재실자이동률에 미치는 영향

또한 대기조건의 영향을 비롯해 지형의 조건에 따른 감소속도에 대하여 정하고 있다. 이는 자유공간에서 자유공간으로의 이동, 복도간 이동, 장애물간 이동, 계단의 오르내림, 내·외부 이동 등의 다양한 지형의 이동에 따라 재실자의 보행속도를 Fast walk, Walk, Leap, Stairs-up/down의 속도를 부여함으로써 최초 이동속도를 지형의 영향에 따라 보행속도를 정한다. 특히 민첩성에 관하여 인간의 능동적인 판단에 따른 행동특성을 결정짓고 재실자의 나이, 성별, 무게, 이동성 등의 다양한 요소의 영향을 받도록 설정되어있다. 심리적인 요인 중 군중심리, 독성가스 영향에 관한 인내, 반응시간에 대하여 군중심리는 1~15의 범위를 두어 군중심리를 높고 낮음으로 구분하였으며 독성가스영향에 대한 인내는 1~1000초의 범위 내로 위험도 모델에 따라 정한다. 또한 화재 시 반응시간은 1~10000초의 범위로 위험도에 위치한 재실자는 빠르게 반응하고 상이한 위치의 재실자는 늦게 반응하는 시간을 정의하였다.

재실자의 모델 중 경험적인 영향의 반영은 개인의 이동경과시간, 경험자의 이동거리, 체류하는 거리, 동료를 기다리는 시간, 피난구 지정, 경험에 의한 피난구 위치 파악 등의 정의를 내리고 있지만 구체적인 결과의 반영은 개인특성에 따라 정한다. 이는 프로그램을 활용하는 엔지니어가 재실자의 특성을 지정해주는 값에 따라 변수가 많이 존재함에 있다. 또한 유독성(TOXICITY)가스에 대하여 인간 행동특성의 변수에 대하여 정의하고 이를 각각의 재실자 특성에 부여함으로써 피난 시의 동선에 대하여 결정짓고 있다.

피난모델에 있어 인간의 모델은 모든 변수에 대하여 가장 많은 영향을 미치며 이에 따른 행동특성과 독성가스 및 화재 시 열기에 의한 위험도가 변화하므로 EXODUS 뿐만아니라 모든 피난모델은 엔지니어가 재실자의 특성에 대한 변수를 입력 시 가장 많이 고려해야 될 점으로 판단된다.

2.2 SIMULEX

2.2.1 개요

SIMULEX 피난모델은 50,000㎡ 미만의 기하학적인 복잡한 건물과 15,000명 이하의 사람들을 CAD file을 이용하여 쉽게 적용함으로써 각 층별 상황을 자세히 알 수 있다. 그리고 모든 사람들의 위치, 방향, 걷는 속도 등이 매 0.1초마다 계산되어지므로 사용자는 화면상으로 피난하는 모습, 사람들이 문쪽으로 몰리는 병목현상에 대하여 분석할 수 있다. 또한 특성(보행속도, 피난경로, 재실자의 특성 및 신체의 크기, 필요한 안전 피난 시간의 결정[Required Safe Egress Time])의 적용 값에 따라 실제 피난 시의 예측하여 건축물의 피난안전에 관하여 예측할 수 있다.

2.2.2 SIMULEX의 특성 및 분석

전술한 EXODUS 피난모델과 마찬가지로 SIMULEX 피난모델 또한 재실자의 특성은 가장 중요한 요소이다. 따라서 신체특성에 관하여 재실자의 전체 몸 둘레크기, 어깨를 뺀 몸 둘레크기, 몸 둘레를 뺀 어깨둘레의 크기, 보행속도, 지형에 따른 보행속도 범위, 계단의 오르내림의 6가지의 특성을 부여하고 있다. 표 2는 각 국가 별 보행속도의 규정에 대하여 나타낸 표이다. 이는 피난모델의 보행속도를 정하는 기초적인 자료로서 검증된 자료를 시뮬레이션에 반영하고 있다.

또한, 피난모델을 분석하고자 하는 엔지니어가 직접 조사한 결과 데이터를 입력하여 상이한 데이터와 비

표 3. Code 및 Standard에 의한 보행속도의 결정

출 처	설계 보행속도 (인/m/s)	최대 보행속도 (인/m/s)	비고
Approved Document B1 (UK)	1.33		Standard British code for buildings
SCICON report (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
Polus et al (Israel)	1.25~1.58	1.58	Walkways & sports stadia

교분석을 할 수 있으나 연구 시 입력한 데이터의 값은 항상 공개해야 된다. 이는 데이터의 입력 값의 변수에 따라 피난안전에 관하여 타인의 재검토가 필요함에 있다. 특히 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.

3. 결론

해외의 피난모델을 분석해 본 결과 피난모델에 있어서 가장 중요한 요소는 재실자의 특성이다. 피난안전을 확보한다는 것은 건축물 내 재실자의 피해를 최소화 시키는데 있다. 이러한 목적에 따라 실험적인 데이터가 가장 적합하다고 사료되나 피난실험의 한계성을 고려한다면 현재 피난안전설계에 활용되고 있는 피난모델의 분석이 적합하다. 이러한 피난모델을 활용할 경우 얼마나 현실과 적합하게 구현할 것인지에 대한 의문은 피난모델을 수용하는 엔지니어의 판단에 국한된다. 따라서 국내의 실정에 맞는 피난모델의 연구는 국내의 건축물에 존재하는 재실자의 특성 및 심리적인요소, 건축물에 사용되고 있는 재료에 관한 화재시의 유독성, 화재 시 유독가스의 분포도, 재실자의 밀도 등에 관한 현재까지 연구되어온 문헌을 토대로 향후 국내 재실자를 고려하여 현재 건축물의 대회화 및 초고층화 등 다양한 변화에 따라 적용 가능한 피난모델의 개발 및 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.

참고문헌

1. Richard D. Peacock, Erica D. Kuligowski (2004). Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies, National Institute of Standards and Technology.
2. Galea, E. R & Galparsoro, J.M.P (1993). "EXODUS: An Evacation Model for Mass Transport Vehicles", UK CAA Paper 93006, CAA London
3. E.R. Galea, P.J. Lawrence, S.Gwynne, L.Filippidis, D. Blackshields and D. Cooney (2006). buildingEXODUS V4.06, User Guide and Technical Manual.
4. Dr. Peter Thompson (1995). "Simulex: simulated people have needs too"
5. 김운형, 윤명오, E.R. Galea (2000). EXODUS 피난모델의 검토, 한국화재소방학회 춘계발표논문집.
6. 장용준, 이창현, 박원희, 정우성 (2008). "Fluent와 EXODUS를 이용한 승객피난 시뮬레이션" 한국철도학회 논문집.