

# 화재 시 재실자 행동의 상호 작용을 고려한 건물 피난 행태 분석

최민지<sup>1</sup> · 박문서\* · 이현수<sup>1</sup> · 황성주<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 건축학과

## Analysis of Building Emergency Evacuation Process with Interactions in Human Behaviors

Choi, Minji<sup>1</sup>, Park, Moonseo\*, Lee, Hyun-Soo<sup>1</sup>, Hwang, Sungjoo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University

**Abstract:** Evacuation process has been considered as one of the most important elements to be managed in public facilities. Although the importance is highlighted through numerous literatures, disaster evacuation planning, particularly fire accidents, faces a number of human behavior related limitations for a similar application to different types of facilities/occupants. To overcome the obstacles including complexity in human behaviors, a number of simulation techniques with limited consideration on human behaviors are utilized to predict foreseeable problems in evacuation process. Therefore, this research aims to propose system dynamics models incorporating human behaviors considering different types of occupants under disaster evacuation events. Analysis on emergent human behaviors such as group forming and interactions under urgent situation are conducted based on the main stream theories in social science field. The results suggest the influences of human behavior factors including cooperative intention, information sharing, and mobility change to evacuation behavior. The implications are expected to provide safety consideration at planning/designing phase of buildings and help facility safety managers for evacuation planning with more realistic management approaches.

**Keyword:** Disaster, Evacuation, Human Behavior, System Dynamics, Simulation

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

현재까지 국내에서는 1999년 씨랜드, 2010년 대구 지하철 사고를 포함한 다양한 형태의 대형 화재사건이 발생하였다. 이러한 사고들은 막대한 재산 손실과 더불어 수많은 인명 피해를 초래하였으며 사회적 파장을 불러일으켰다. 반복되는 크고 작은 화재사고들로 인해 정부 및 대중들의 건물 피난 계획 중요성이 재조명되었으며, 개선방안에 대한 관심이 증가하였다.

미국 World Trade Center에서 2001년에 발생한 911테러 사건은 효율적인 피난 대책으로 인해 더 큰 인명피해를 방지하였던 유명한 사례 중 하나이다. 비록 사고로 인해 약 3,000명의 사망자가 발생하였으나 재실자와 안전관리자들의 능동적인 대처로 인해 5배 이상의 사람들이 결국 무사히 건물로부터 탈출할 수 있었다 (NIST 2005). 이렇듯 피난 계획은 일반 건축물 및 공공시설의 설계에서 간과할 수 없는 가장 중요한 요소 중 하나로 손꼽힌다 (Chu 2011).

그러나 화재사고는 실제 상황 재현의 어려움으로 피난계

획의 실험 및 대피 훈련을 개별적 시설에서 수행하기 어려운 특성을 가진다. 또한 시설물별 (예: 병원, 학교, 영화관 등) 재실자의 특성이 상이하어 동일한 피난계획을 적용하기에 현실적 무리가 따른다. 이러한 한계점을 고려하여, 시뮬레이션 등 다양한 가상의 분석 기법을 활용한 피난 상황 및 대응에 관련한 다수의 연구들이 진행되었다. 기존 연구 결과를 통해 재실자들이 활용 가능한 동선과 출구를 기반으로 피난 경로 및 시간예측의 기본적인 데이터의 확보가 용이하게 되었다. 그러나 피난 예측 시 시설물 특성에 초점을 맞추고 동시에 긴박한 상황 및 환경에 반응하여 변화하는 인간 행태 (human behavior)의 고려를 반영한 분석이 필수적이다. 언론을 통해 실제 화재 현장에서 재실자들 간 협동 및 상호 작용이 발생하는 상황은 자주 보도 되었으며, 이는 인간 행태가 전체 피난 과정에 큰 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 즉, 개인의 성별, 나이, 이동 속도 등 개인적 특성과 이러한 차이로부터 발생하는 재실자 간 상호작용 및 그룹 형성과정 등은 시설물 내 피난 행태에 매우 큰 영향을 미친다 (Seidler 외 1976, Chu 2011). 이와 같은 재실자의 특성 및 인간 행태에 대한 이해가 부족할 경우, 실제상황과 시뮬레이션 분석의 차이가 발생하며 결과의 활용성은 감소된다.

이에 본 연구는 긴급 피난 상황에서 재실자 사이에서 발생하는 상호작용 및 그룹 형성 과정과 그 영향에 대한 분

\* Corresponding author: Park, Moonseo, Professor, Department of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea  
E-mail: mspark@snu.ac.kr  
Received July 15, 2013; revised September 16, 2013  
accepted October 10, 2013

석을 수행하고, 기존 이론을 바탕으로 시스템 다이내믹스 (System Dynamics) 모델을 구축한다. 이를 통해 다양한 시설물 유형에서 나타나는 재실자들의 특성과 인간 행태가 피난 과정 전반에 미치는 영향을 파악 한다.

본 연구의 결과물은 시설물의 초기 계획단계에서 피난을 위한 요구사항을 도출하고 이를 설계 단계에 반영할 뿐만 아니라 화재 준비 및 대응을 위한 안전 훈련 및 매뉴얼 작성 등의 시설물 관리 측면에서 인간 행태를 반영하기 위해 유용하게 활용될 수 있다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 건축물 내 긴급 피난 상황에서 상이한 재실자 특성으로 인해 발생하는 다양한 형태의 상호작용과 이를 통한 그룹형성의 과정과 그 영향을 분석한다. 피난을 발생 시키는 긴급 상황은 다양한 재실자 그룹이 존재하는 공공 건축물에서의 화재로 정의하며, 재실자의 화재 발생 인식 이후부터 출구 및 비상구까지의 탈출 과정을 연구 범위로 설정한다. 또한 재실자들의 행동을 표현한 내부 변수들의 인과관계 및 전체 시스템의 변화 추이를 추적하기 위해 시스템 다이내믹스 모델링을 활용한다.

연구의 절차는 1) 피난 상황 내 인간 행태 관련 기존 선행연구 및 이론 고찰, 2) 모델 내부변수 정의 및 시스템 다이내믹스를 활용한 인과관계모델 (Causal Loop Diagram) 구축, 3) 인과관계모델의 정량화를 통한 시스템 영향 분석, 4) 모델 분석을 통한 시사점 도출을 순서로 진행한다. 인과관계모델은 사회과학분야에서 발표된 다수의 피난 행태 관련 이론들을 기초로 하며, 시뮬레이션을 통해 각 주요변수들이 시스템 전반에 미치는 영향을 파악한다.

## 2. 선행연구

본 장은 피난 시 발생하는 재실자 간 상호작용 및 그룹 형성 과정과 관련한 선행 연구들을 고찰한다. 이후 본 연구에서 활용된 시스템 다이내믹스 모델링의 적용타당성을 설명한다.

### 2.1 피난 과정에서의 재실자 행태 분석 (Human Behavior in Evacuation)

긴급 상황 발생 시 피난 과정에서 흔히 보이는 사람들의 행동과 관련한 다수의 연구들이 사회과학분야 내 활발히 진행되었다. Cherkoff 외 (1999)의 패닉 이론 (Panic Theory)을 포함한 초기 연구들은 긴급하고 혼란스러운 상황 내 비이성적이며, 개인주의적 행동에 초점을 두고 있다. 한편 최근 연구들은 긴급 상황에서 반응하는 재실자들의 행동을 설명하기 위해 개인의 행동보다는 군중의 사회성에 더욱 집중한 이론들을 발표하였다(Chu 2013, Aguirre 외 2009). Mawson (1978)의 Affiliation Model은 긴급 상황에서 개인은 자신에

게 친근한 장소 혹은 사람들을 향해 이동하며, 그룹 형성 이후 구성원 전체의 생존을 위해 밀집된 형태를 유지하는 현상을 정의한다. 이는 피난 시 가족 혹은 친분이 두터운 사람들과 함께 탈출하고자 하며, 가장 가까운 탈출구보다 본인이 평상 시 주로 사용하던 탈출구를 통해 나가려는 인간의 행동을 설명한다. Aguirre (2005)의 Normative Model은 피난 시 발현되는 인간의 사회성의 또 다른 현상을 나타낸다. 본 이론은 평상시 개인이 가진 사회적 역할이 긴급 상황 내에서도 동일하게 자신의 역할을 결정지음을 말한다. 특히 사회, 조직, 장소와 관련된 역할 및 책임에 변화가 발생하지 않고 그대로 유지되는데, 화재 시 학생들을 안전하게 인솔하는 선생님, 부하직원들의 안전을 먼저 염려하는 상사의 행동 등을 예시로 들 수 있다. 이외는 다르게 집단의 사회성을 먼저 고려한 인간의 행동이 Drury & Cocking의 Social Identity/Self Categorization Model (2007)를 통해 정리되었다. 사회성 및 집단적 Resilience로 인해 친분이 전혀 없는 사람들 사이에서도 도움, 협동, 조정 행동이 발생하게 되며, 긴급 상황에서 자신이 속한 임시 그룹의 상태를 평가하는 행위를 포함한다. 본 연구는 위의 세 가지 이론에 착안하여 기본 모델을 구축한다. 피난 상황 내에서도 사람들의 사회성은 유지되며, 기존에 개인이 가진 역할이나 책임감 또는 개별적 친밀도에 의해 타인을 돕거나 협동하려는 의도가 발생된다. 이러한 협동 및 상호작용을 통해 개인 단위의 구성원들은 그룹으로써 함께 행동하며 피난 과정을 거치게 된다. 이밖에도 개인 및 그룹의 피난 행동 특성을 정의하기 위한 다양한 연구들이 수행되었다. 해당 연구들에서 도출한 세부적인 특성 영향 요인을 아래 Table 1에 정리한다.

Table 1. Evacuee Behavior and Influence Factors

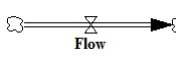

Evacuee Behavior	Influence Factors
Individual Behavior (Mawson, 2005; Sime, 1983; Donald & Canter, 1990)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Personal knowledge</li> <li>○ Past experience</li> <li>○ Familiarity with the place</li> <li>○ Severity of the situation</li> <li>○ Knowledge of his/her role</li> </ul>
Group Behavior (Aguirre et al., 1998; McPhail, 1991)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Group structure</li> <li>○ Group norms</li> <li>○ Pre-existing social structure</li> <li>○ Expectations on each other</li> </ul>

### 2.2 시스템 다이내믹스 (System Dynamics)

시스템 다이내믹스 (System Dynamics)는 복잡한 시스템들의 일정 기간 내 행태를 이해하기 위한 접근법으로, 1961년 MIT의 Jay W. Forrester가 개발한 이후, 산업·경제·사회·환경시스템 등을 분석하는데 널리 사용되어 왔다. 이는 전체 시스템에 영향을 미치는 내부 피드백 루프 (Internal Feedback Loop)와 시간 지연 (Time Delay)을

다루며, 시스템의 안정적 작용을 초래하는 자기조절 피드백 루프(Balancing Loop)와 시스템의 선순환 작용 또는 악순환 작용을 지속시키는 자기강화 피드백 루프 (Reinforcing Loop) 로 구성된다 (Forrester 1961, Ahmad and Simonovic 2000, 박문서 2009). 시스템 다이내믹스 모델의 기본 도식 표현은 아래 Table 2와 같다.

Table 2. System Dynamics Legends (Sterman 2000, Park 2011)

Legend	Explanation	
A $\xrightarrow{+}$ B	when other conditions are the same	When factor A increases(decreases), factor B increases(decreases)
A $\xrightarrow{-}$ B		When factor A increases(decreases), factor B decreases(increases)
A $\xrightarrow{ }$ B	Including weighted delayed time	
 Flow	Define the rate of change in system states and control quantities flowing into and out of stocks	
 Stock	Define the state of a system and represent stored quantities	

기존에 피난 행태 분석을 위해 입자 시스템 (Particle System), 셀룰러 오토마타 (Cellular Automata) 등의 시뮬레이션 방법이 주로 사용되었다. 이들은 사회적·물리적 작용력 혹은 근접한 셀의 점거 여부 등에 따라 피난 동선 및 시간을 예측하는 방법을 제시하였다. 그러나 최근 부정확하고 일관성이 부족한 인간 행태에 대한 가정에 관한 지적과 함께 비현실적인 분석 결과로 인한 한계점을 가진다 (Still 2000).

또한 기존 다수의 피난행태 분석 연구들에서 피난 패턴에 인간 및 군중 행태와 새롭게 형성된 그룹들이 미치는 영향에 대한 고려가 미미함이 나타났다 (Aguirre et al. 2011).

이에 본 연구는 시스템 다이내믹스 모델링을 활용하여, 긴급한 상황 내에서 발생하는 인간 행태 (예: 그룹 형성, 상호작용 등)가 발생하는 근원과 과정을 분석하고, 전체 시스템에 미치는 효과를 예측한다. 특히 피난 행태에서 발생하는 무형적 형태의 인간 특성을 반영하고, 변수 간 관계 파악에 연구 초점을 맞춘다.

과거 Ahmad et al. Simonovic (2004)은 시스템 다이내믹스를 활용하여 피난 상황에서 재실자의 의사결정 과정과 개인별 속성이 피난 의사결정에 미치는 영향을 분석하였다. 해당 연구는 피드백 기반의 시스템 다이내믹스 모델링을 활용해 상이한 의사결정 요소들 간의 동태적 관계를 효과적으로 규명하였다. 그러나 피난 경고 (evacuation warning) 에 반응하는 인간 행태 분석만을 목적으로 하며, 가족 내 의사결정 과정을 범위로 설정하여, 일반시설 내 전반적 피난 프로세스 과정을 설명하는데 한계점을 가진다. 이에 반해 본 연구는 피난 초기부터 탈출까지 다양한 재실자 그룹

의 특성 반영이 가능하고, 이에 따른 의사결정, 행동의 발현, 의사결정 및 행동의 변화 등을 포함한다. 즉, 피난 상황에서 외부환경 및 재실자 상호작용에 따라 발생하는 전반적인 피드백 프로세스의 반영은 기존 연구와의 차별성을 가진다.

### 3. 피난 행동 모델 프레임워크

본 연구에서 제시하는 시스템 다이내믹스 모델은 아래 Fig.1의 프레임워크를 기반으로 한다.

긴급 피난 상황 시 재실자 사이에서 발생하는 일반적 현상들을 기존의 피난 행태 이론을 반영하여 개인적 특성, 개인 행동, 상황적 행동 (상황에 따른 행동 변화), 그룹 행동의 범위로 나누어 설명한다. 본 연구는 프레임워크 내에 포함되는 현상들을 연구 범위로 한정하며, 이 외에 1) 긴급한 상황 내 재실자들의 패닉으로 인하여 발생하는 특수한 상황은 배제하고, 2) 개인이 가진 시설물 정보는 양(amount)에 의해 보유 정도가 결정되며, 3) 개인의 이동 속도는 타 인과의 상호작용이 발생하지 않는 이상 변동하지 않는다는 가정 하에 분석을 실시한다.

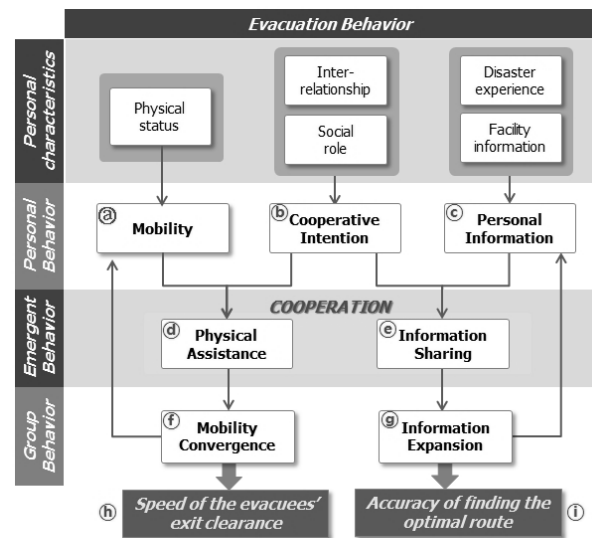


Fig. 1. Evacuation Behavior Framework

#### 3.1 개인 특성

본 연구에서 개인 특성은 긴급 피난 시 재실자의 행동 및 의사결정에 영향을 미치는 개인의 기본 요인들을 의미한다. 기본적으로 개인의 신체적 상태 (예: 성별, 나이, 건강상태 등)는 피난 출구까지 탈출하기 위한 이동속도 (Fig. 1의 a)를 결정한다. 피난 시에는 재실자의 물리적 이동 능력뿐만이 아닌 그들 사이에서 발생하는 의사결정 또한 성공적 탈출에 중요한 역할을 한다. 기존에 발표된 다양한 사회적 이론들은 개인의 행동이 그들의 개인적 지식, 경험, 인식, 일

상 등의 영향을 받는다고 주장한다 (Chu 2013). 재실자가 가지는 다양한 정보 중 과거 유사 재난 경험 및 해당 시설물에 대한 정보는 피난 상황 시 그들의 대응 방식 및 피난 경로 탐색을 위한 정보 (Fig. 1의 c)로 활용 가능하다.

또한 Normative model에서 제시된 바와 같이, 재실자들 사이의 친밀도와 개인이 가지는 사회적 책임으로 인해 타인과 협동하고자 하는 의지 (Fig. 1의 b)가 발현된다. 본 모델 내에서 개인이 가진 협동의지는 피난 상황에서 상호 작용 및 그룹 행동을 발생하는데 매우 중요한 요소로 작용한다. 개인의 이동속도가 빠르고, 정보의 양이 많은 상황일지라도, 협동 의지가 낮을 경우 상호 작용은 발생하지 않는다. 이와 마찬가지로, 개인의 협동의지가 높아도 이동속도 및 정보의 양이 평균 재실자 수준에 미치지 못할 경우에도 다른 사람을 도울 수 있는 역량의 부족으로 협동은 발현 불가능하다. 따라서 본 연구에서 재실자 개인의 행동은 프레임워크에서 제시한 세 가지 특성 (이동속도, 협동의지, 활용 가능 정보)에 의해 결정된다.

### 3.2 피난 상황 시 의사 결정 과정

피난 상황에서 재실자들은 개인의 특성에 기초하여 성공적인 탈출을 수행하기 위한 의사결정을 실행한다. 다수의 사회과학 이론에 의하면, 피난 상황에서 다수의 재실자들은 개인적 행동보다 그룹을 형성하여 행동한다 (Aguirre 외 2009, Cocking & Drury 2008, Mawson 2005, Chu 2011). 본 연구에서 개인/그룹행동의 의사결정은 개인의 이동속도와 협동의지를 고려하여 긴급 상황이라는 특수한 환경 내에서 발생하는 상황적 행동 (Emergent Behavior)으로 정의한다. 이 중 상황적 행동은 행동적 측면의 신체적 도움 (Fig. 1의 d)과 판단적 측면의 정보 공유 (Fig. 1의 e)로 나누어 표현된다. 즉, 개별 재실자는 자신의 이동 가능 속도와 협동의지를 기반으로 의사결정과정을 거쳐 피난과정에서 독립적으로 행동할 지 혹은 타인에게 신체적 도움을 제공하는 상호작용을 기반으로 행동할지 여부가 결정된다. 동일한 방법으로 개인의 활용 가능 정보와 협동의지 기반의 의사결정을 통해 독립적 판단을 수행할지 혹은 타인과 정보공유를 포함한 상호작용을 수행할지 결정한다. 이러한 상호작용은 타인과의 군집을 의미하며, 결국 그룹을 형성하는 기초가 된다.

### 3.3 개인행동 및 그룹행동

앞서 설명한 바와 같이 재실자는 의사결정을 통해 독립적 피난 행동 및 판단 혹은 타인과의 상호작용을 통한 그룹형성을 결정하게 된다. 개인 간 상호작용이 발생할 경우, 그룹의 이동속도는 개인의 평균과 가까운 일정한 값에 수렴하게 된다 (Fig. 1의 f). 이러한 그룹 형성으로 인한 속도의 변화는 피난 속도 및 탈출 소요 시간 (Fig. 1의 h)

에 영향을 미치게 된다. 한편, 사회 확산의 심리적 모델 (Psychological Models of Social Diffusion)에 의하면 재실자들은 정보 및 감정의 확산을 통해 서로의 행동에 영향을 미친다 (Hoogendorm 외 2010). 이러한 확산을 통해 개별 재실자가 가진 피난 정보의 양이 그룹 내 공유를 통해 지속적으로 증가하게 된다. 성공적 상호작용이 발생했을 경우 그룹 내 공유되는 정보는 구성원이 가진 정보의 양 중 가장 높은 값과 동일하게 확장된다고 가정한다 (Fig. 1의 g). 이러한 정보의 확장을 통해 재실자들의 최적 경로 선정의 정확성 (Fig. 1의 i)은 변화하게 된다. 그러나 개인 행동의 경우 독립적 행동을 수행하므로 이동속도와 정보공유 측면에서 변화가 발생하지 않는다.

## 4. 시스템 다이내믹스 모델 구축

본 장에서는 앞서 설명한 피난 행동 모델을 기초로 시스템 다이내믹스 인과모델을 형성 과정 단계별 구축한다. 각 인과관계모델은 협동의지, 그룹 이동속도, 그룹 정보의 변화과정을 설명하며, 통합모델을 통해 전체 시스템을 분석한다.

### 4.1 협동의지 변화

Fig. 2의 인과지도는 피난 상황 시 다양한 요인들로 인한 재실자들의 협동의지 변화를 설명한다. 본 인과지도에서 설명하는 협동의지 (Cooperative Intention)는 상호작용 및 그룹형성을 구현하기 위한 기초가 된다. 긴급한 상황 내 다양한 변수의 작용이 가능하지만, 본 연구에서는 앞서 3장에서 언급한 연구의 범위 및 가정 내에서 그룹 행동에 크게 영향을 미치는 요소들을 Table 1에 착안하여 도출한다. 또한 Fig. 1에서 정의한 바와 같이 기존 구성원 관계 (Pre-Existing Relationship) 및 사회적 책임 (Social Responsibility)의 평균값을 기초로 한다.

이와 더불어 협동의지는 급변하는 화재 상황과 환경요인에 따라 지속적인 변화가 가능하므로, 의지 증가 (C<sub>increase</sub>) 및 의지 감소 (C<sub>decrease</sub>)의 유량을 포함한다. 협동 의지를 직접적으로 증가시키는 변수들에는 물리적 접촉 (Physical Contact), 재실자 이동속도 차이 (Evacuee Mobility Difference)가 있다. 재실자는 타인과의 물리적 접촉이 가능한 상태에 있을 때 다른 재실자가 신체적 도움이 필요함을 인지하고 이를 제공하려는 의지가 증가한다.

재실자 이동속도 차이는 도움을 제공하는 재실자와 받는 재실자 사이의 속도차를 의미하며, 이 차이가 커질수록 협동 의지는 증가한다. 예를 들어, 피난 시 재실자들이 모두 일정한 속도로 원활하게 움직이고 있다면 타인에게 신체적 도움을 제공할 필요성이 없어진다. 따라서 재실자 이동속도 차이 변수는 개인이 가진 이동속도의 상대적 차이로 인해 발생하는 신체적 도움의 필요성과 이로 인한 협동 의지의

증가를 나타낸다.

한편, 재실자간의 협동 의지를 감소시키는 변수에는 지각된 위험 (Perceived Risk), 시간 제약 (Time Constraint), 의지감소정도 (Intention Decrease Fraction)가 존재한다. 지각된 위험은 재난 상황에 대해 개인이 실제로 인지하는 위험의 정도로써, 스스로의 생존에 대한 위험이 커질수록 협동 의지는 줄어든다. 이는 개인의 특성에 따라 실제 재난 상황보다 더욱 크거나 작게 변형된 형태로 위험을 인지하는 재실자들의 행태를 나타낸다.

이와 더불어 협동의지를 감소시키는 시간 제약 변수는 화재 이후 재실자가 생존 가능한 최소시간 (Minimum Survival Time)과 실제 시뮬레이션 진행 시간의 차이로 계산한다. 시뮬레이션 시간이 생존 가능한 최소시간에 가까워짐에 따라 재실자들이 피난을 위해 활용 가능한 시간 제약의 무게는 커지게 되며, 협동의지는 감소하게 된다. 의지감소정도 (Intention Decrease Fraction)는 시간에 따라 협동 의지가 자연스럽게 감소하는 현상을 표현한다.

이처럼 협동의지는 재실자 개인의 다양한 특성 및 피난 환경에 따라 변화하며, 향후 그룹 형성 및 피난 행태에 영향을 미치게 된다.

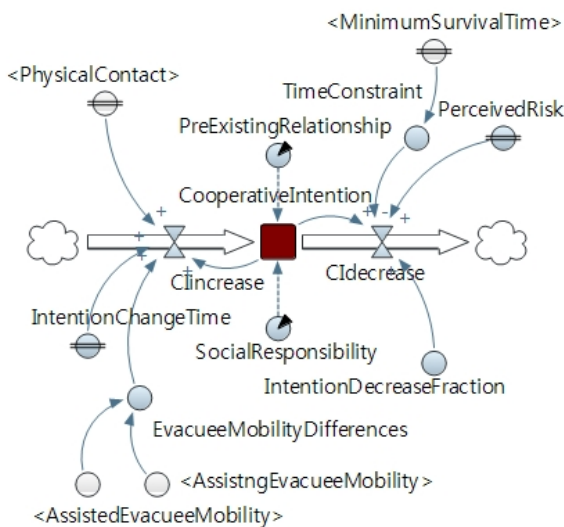


Fig. 2. Cooperative Intention Causal Loop

#### 4.2 이동 속도 변화

Fig. 3의 인과지도는 그룹의 이동 속도가 이를 구성하는 개인의 이동 속도에 의해 결정됨을 설명한다. 그룹 속도 (Group Mobility)는 구성원들의 평균 개인속도 (Initial AvgMobility)를 초기값으로 가지며, 그룹 속도 증가 (GMIncrease) 및 감소 (GMDecrease)를 통해 변화한다. 재실자 개인의 이동 속도는 평균 개인 속도에서 초기속도차이의 범위 내 분포한다. 평균 속도와 최대 속도 구간 내 이

동 속도를 가진 재실자의 경우 빠른 속도로 인해 타인에게 도움을 줄 수 있다고 가정하며 이들의 속도는 도움제공 재실자 속도 (Assisting Evacuee Mobility)로 정의한다. 한편, 평균 속도와 최소 속도 구간 내 이동 속도를 가진 재실자는 느린 속도로 인해 타인의 도움이 필요할 것이며, 이들의 속도는 도움필요 재실자 속도 (Assisted Evacuee Mobility)로 정의한다.

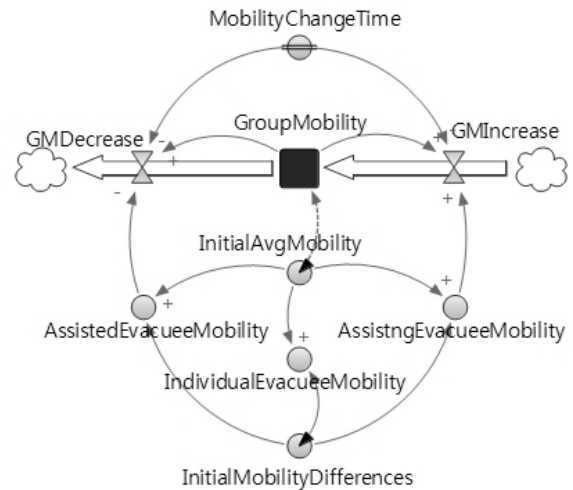


Fig. 3. Mobility Change Causal Loop

#### 4.3 그룹 정보 변화

Fig. 4는 그룹을 형성함에 따라 구성원들이 가진 정보의 양이 변화하는 과정을 설명한다. Fig. 1에서 정의한 바와 같이 그룹 행동의 일환으로 정보 확산이 발생하고, 이를 통해 개인 재실자의 행동은 다시 변화한다 (Hoogendorm et al. 2010). 새로운 그룹 내에서는 다양한 재실자들이 지속적으로 정보를 공유/확장하고, 정보의 손실이 발생하지 않으므로 그룹 정보의 증가 과정 (Info Sharing)만이 존재한다.

그룹 정보는 개인 재실자들이 고유하게 가지고 있는 정보의 평균 (Initial AvgInfo Level)을 초기값으로 가진다. 이 정보들은 개인이 과거 재난 경험 혹은 시설물에 대한 정보에 있어 모두 상이한 값을 가지므로 재실자 간 차이를 보인다. 예를 들어 시설물에 상주하는 관리자와 방문객의 경우 피난 동선 및 비상구에 대해 다른 양의 정보를 가지게 된다. 이러한 차이는 초기 정보 차이 (Initial Info Differences) 변수를 통해 정의하며, 정보의 평균값과 차이 값을 범위로 개인이 가진 정보의 양 (Individual Info Level)이 결정된다. 앞서 설명한 그룹 이동 속도가 지속적으로 증가하고 감소하는 경향을 보인 반면, 그룹 정보의 경우 더욱 많은 양의 정보를 가진 구성원이 나올 경우 이와 동일한 양으로 증가한다. 만약 새로운 구성원이 가진 정보의 양이 기존 그룹 정보보다 적을 경우, 그룹에서는

새롭게 수용할 정보가 없으므로 변화가 발생하지 않는다. 반면 더욱 많은 양의 정보를 가진 구성원이 합류할 경우 새로운 정보가 공유되고, 그룹 내 활용 가능한 정보가 갱신 및 증가한다. 그룹 정보의 공유는 재실자 간의 의사소통을 통해 이루어지므로 협동 의지와 동일하게 물리적 접촉 (Physical Contact)이 필수적이며, 의사소통에 필요한 시간 (Info Share Time)이 소요된다.

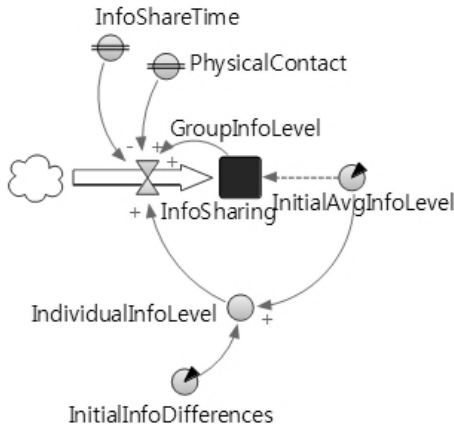


Fig. 4. Group Information Change Causal Loop

#### 4.4 전체 피난 과정

건물 내에 일반 재실자 (OccupantsIn)의 피난 성공 여부는 위험 인지 확률 (Risk Perception Probability)과 최소 생존 시간 (Minimum Survival Time)에 따라 결정된다. 즉, 최소 생존 시간 내에 재난 발생 사실과 이에 대한 위험을 인지한 재실자들만이 실제 피난 행동을 시작하게 된다 (Fig. 5의 ①). 이는 화재가 상당히 진행되었으나 경보기 미작동 등으로 인해 화재를 인지하지 못해 다수의 사망자가 발생한 과거 실제 사건들과 유사성을 가진다 (CS건설 기술연구소, 2012). 피난 행동을 개시하면 앞서 Fig. 2에서 제시한 협동 의지 (Cooperative Intention) 정도에 따라 개별적 피난 행동 (Individual Evacuees)을 수행하거나 그룹을 생성 (Group Evacuees)하게 된다 (Fig. 5의 ②). 한편, 그룹에 포함되지 않은 개별 피난자들은 증가/감소현상이 일어나지 않는 개인 정보의 양 (Individual Info Level)과 이동 속도 (Individual Evacuee Mobility)에만 의존하여 탈출하게 된다 (Fig. 5의 ③). 그룹 구성원 역시 Fig. 3의 그룹 이동 속도와 Fig. 4의 그룹 정보의 양이 성공적 탈출의 여부를 결정한다 (Fig. 5의 ④). 여기서 증가하는 그룹 정보는 탈출구 탐색의 정확성이 높아짐을 의미하고, 그룹 속도는 탈출구까지의 신속한 움직임을 의미한다. 실제 1980년 미국의 W 빌딩에서 발생한 대형 화재사고에서도 주기적인 대피교육을 받은 재실자들의 높은 피난 정보를 통한 침착한 대응으로 인해 사망자가 발생하지 않았으며, 이는 성공적 탈출을 위한 정보의 중요성을 입증한다(CS건설 기술연구소 2012). Fig. 5의

모델에서 개인과 그룹구성원 모두에게 피난 정보와 속도가 탈출시간을 결정하는 가장 중요한 변수로 작용한다.

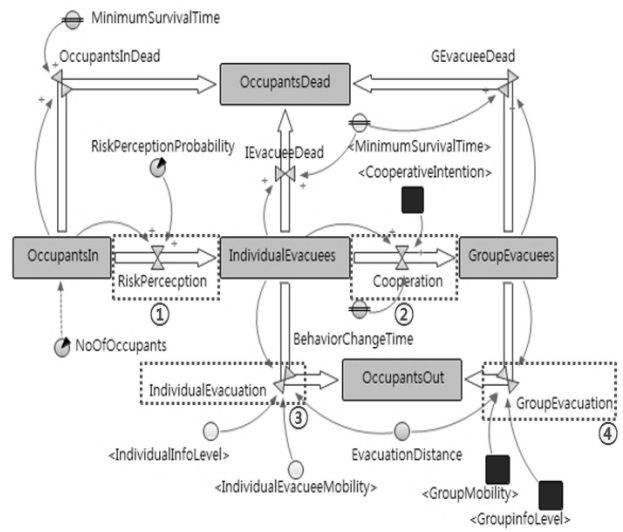


Fig. 5. Evacuation Process

### 5. 모델 분석

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 제시된 모델들을 분석하고, 재실자 특성에 따른 피난 행태의 변화를 고찰한다. 이를 위해 모델을 구성하는 변수의 조정하고, 다양한 재실자 그룹의 특성 및 시설물에 대한 시나리오를 구축한다.

시스템 다이내믹스 모델의 시뮬레이션 및 분석 결과 정리는 AnyLogic 소프트웨어 (The AnyLogic Company)를 통해 수행한다. 다양한 재실자의 특성을 나타내기 위해 시뮬레이션 각 회마다 초기 평균 이동속도 (Initial AvgMobility), 초기 이동속도 차이 (Initial Mobility Differences), 초기 평균 정보 (Initial AvgInfo Level), 초기 정보 차이 (Initial Info Differences), 재실자 기존 관계 (Pre-Existing Relationship), 사회적 책임 (Social Responsibility) 변수를 조정한다.

특정 변수가 시스템에 미치는 영향을 면밀히 살피고자, 모든 조건이 동일한 상황에서 해당 변수만 조정하며, 필요 시 연관성을 가진 두 가지 변수를 동시에 조정한다. 예를 들어, 재실자가 건물에 대해 낮은 초기 평균 정보를 가진다는 것은 건물에 매우 일시적으로 상주함을 의미하며, 영화관, 공항과 같이 단기적 활용을 위한 시설물을 포함한다. 이 경우 재실자의 대부분은 방문객이므로 다른 재실자들과의 기존 관계 또한 친밀하지 않음을 의미한다. 따라서 초기 평균 정보와 재실자 기존 관계 변수는 동시에 변화한다고 가정한다. 초기 정보 차이 (Initial Info Differences)와 사회적 책임 (Social Responsibility) 또한 이와 유사한 형태를 갖는데, 이는 각 재실자의 시설물 내 역할 및 지위와 관련을 가진다. 예를 들어, 비슷한 수의 건물 관리자와 단순 방문객이 머무르는 건물에서는 건물에 대한 정보의 양 및



피난 시 리더로서의 역할에 대한 책임감의 차이가 매우 크게 존재한다. 그러나 재실자의 모두가 단순 방문객들로 구성된 건물에서는 그들이 가지고 있는 건물에 대한 정보의 양 및 사회적 역할에 대한 책임감의 차이가 그리 크게 나타나지 않는 경우를 현실에서 발견할 수 있다.

따라서, 제시된 모델 내 Input 변수 조합은 평균 이동 속도 (AM), 이동 속도 차이 (MD), 초기 정보 (AI) 및 재실자 관계 (Rp), 정보 차이 (ID) 및 사회적 책임 (Ry) 등 네 가지로 최종 분류한다. 이들의 변수값을 조정하여 다수의 시나리오를 가정하고, 시뮬레이션 시간 (x축)에 따른 각 시나리오의 그룹 구성 재실자의 수 및 탈출 성공 재실자 수를 결과값 (output)으로 도출하고, Input 변수의 영향을 분석한다.

### 5.1 평균 이동 속도: 영향 분석

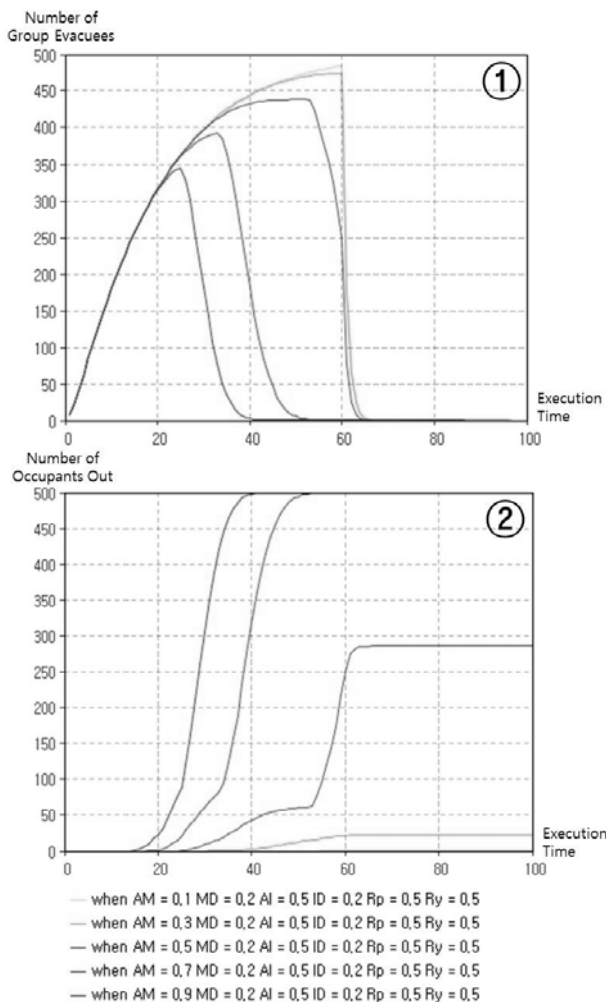


Fig. 6. Analysis on the Impact of Average Mobility

Fig. 6은 개인 재실자들의 평균 이동 속도의 변화로 인해 생성되는 피난 결과를 시뮬레이션 시간에 기준하여 설명한다. Fig. 6의 ①은 시간에 따른 그룹형성, ②는 탈출자의 수

를 나타낸다. 본 시뮬레이션에서 Input값인 평균 이동 속도 (AM)는 재실자 개인의 이동속도의 평균값으로 정지상태인 0에서 최고속도 1사이의 레벨로 정의되며, 모델 실험을 위해 평균 이동 속도 레벨이 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9의 값으로 변화하는 5가지 시나리오를 설정하였다. 이 외 변수들은 동일하게 설정한다. 재실자들의 평균 이동 속도는 그들의 신체적 특성에 따라 결정된다는 가정 하에, 재실자의 평균 이동 속도가 낮은 (AM=0.1) 병원, 요양원 등의 장소와 상대적으로 이동 속도가 빠른 (AM=0.9) 군대 등의 시설물에서 상이한 재실자 특성으로 인해 발생하는 피난행태를 분석한다.

분석결과 x축의 시뮬레이션 시간이 지남에 따라 이동속도가 증가할수록 ①의 결과값인 그룹 형성은 감소하며, ②의 탈출 인원의 수는 증가한다. 그룹 형성에 중요한 영향을 미치는 Fig. 2의 협동의지의 경우 재실자 간 속도 차이를 통해 증가하게 된다. 이는 각 5가지 시나리오의 속도 편차 (분산)가 일정할 때, 재실자의 평균 이동 속도가 낮을수록 절대적인 속도 차이가 적을 가능성이 높기 때문이다. 이에 따라 낮은 평균 이동 속도에서 협동의지는 더 크게 나타나는 경향을 보이며, 평균 속도 0.1의 경우 본 연구의 시뮬레이션에서 가장 높은 값의 그룹 형성 재실자 수가 도출된다. 반대로 재실자들이 신속하게 움직일수록, 그룹 형성 재실자는 감소하게 된다. 이는 그룹 형성과정에서 서로의 협력과 정보 공유를 위해 재실자간 물리적 접촉 빈도가 커야 하는데, 평균속도가 클수록 절대적인 속도차이가 커 물리적인 접촉 시간이 오래 지속되지 못하기 때문이다. 이와 더불어 탈출 성공 재실자의 수 또한 평균 이동 속도에 의해 변화하게 된다.

Fig. 5의 3 및 4에서 제시된 바와 같이, 개인 및 그룹 구성원의 모두의 성공적인 피난을 위해 피난 정보와 이동 속도는 매우 중요한 변수로 작용한다. 피난 정보의 양이 일정한 상황에서 이동 속도의 평균값을 기준으로 생존자의 수가 명확한 차이를 나타낸다. 평균 이하의 속도에서는 대부분의 재실자가 탈출에 실패하나, 0.7 이상의 속도에서는 전원 탈출에 성공하게 된다. 시뮬레이션 결과에 의하면 평균 속도 0.1과 0.7 이상의 시나리오 비교 시 탈출 성공 재실자의 수는 약 10배의 차이를 보인다. 이는 재실자들이 동일한 피난 정보를 가진 상황에서 이동 속도의 중요성을 다시 한번 강조하는 의미를 가진다. 이를 통해 재실자들의 원활한 이동에 제약사항이 존재하는 병원, 장애인 재활원 등의 시설물에서는 설계단계에서 피난 시 최단 동선의 구축 및 이동성 향상을 위한 지원이 필수적임을 알 수 있다.

### 5.2 이동 속도 차이: 영향 분석

Fig. 7은 개인 재실자들의 이동 속도 차이로 인해 시뮬레이션 시간에 따라 발생하는 그룹 형성 인원(③) 및 탈출인

원(④)에 대한 영향을 분석한다. 앞서 Fig. 2에서 설명한 바와 같이, 이동 속도 차이는 협동 의지를 발현시키는 기초가 된다. 예를 들어 뛰어가는 사람과 부상자로 인해 걷는 속도가 느린 사람과 같이 재실자 사이의 이동 속도 차이가 크게 발생할 때, 재실자들은 협동에 대한 필요성을 느끼고 그룹을 형성한다. 이러한 차이가 발생함에 따라 그룹 형성과 탈출 재실자의 수가 변동하는 형태를 이동 속도 차이 레벨(MD: 0-1사이의 값)을 조정하여 분석한다. 이를 위해 재실자들의 전체 평균 속도 레벨은 일정(AM=0.7)하고, 그 외 정보 및 사회적 책임 등의 변수도 평균값을 가지며, 속도 차이(MD)는 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4라 가정한다. 조정변수인 MD가 0일 경우 모든 재실자가 일정한 속도로 이동하며, 이 값이 증가할수록 재실자 간 이동속도의 차이는 커지게 된다. 이는 모든 재실자의 신체능력이 비슷한 장소와 재실자 간 이동속도의 차이가 큰 장소로써 설명 가능하다.

재실자 간 속도 차이가 전혀 발생하지 않을 때 (MD=0), 그룹 형성 재실자의 수는 가장 낮은 값을 나타낸다. 이는 실제 모든 재실자의 이동속도가 동일하며 특별히 느리거나 부상을 당한 사람이 없을 경우, 타인을 도울 필요성을 느끼지 못하는 실제 상황과 유사하다. 이러한 그룹 형성의 기초가 되는 협동 의지는 이동 속도 차이를 통해 증가하는데, 이로 인해 시나리오별 그룹 형성 인원수가 변화한다. 재실자 간 속도 차이가 크게 발생할수록 (MD=0.1, 0.2, 0.3, 0.4) 속도 차이가 발생하지 않는 시나리오 (MD=0)에 비해 더 많은 수의 그룹 형성 인원이 지속적으로 발생함을 알 수 있다. 그러나 그룹 형성에 영향을 미치는 요소에는 이동 속도의 차이 뿐 아니라, 신체적 접촉, 기존 재실자 간 관계, 사회적 책임 등이 존재한다 (Fig. 2). 그러므로 속도 차이로 인한 그룹 형성에 차이가 발생하나, 다른 요소들의 영향으로 인해 그 영향이 비교적 미미하다 볼 수 있다.

재실자 간 이동 속도가 커짐에 따라 그룹 형성을 하는 인원 수는 더욱 증가하게 되고, 속도 차이가 가장 클 경우 (MD=0.4) 가장 많은 그룹 형성 인원이 존재하게 된다. 탈출 인원 또한 이와 유사한 양상을 보이거나 차이점이 존재한다. 평균 속도 0.7을 기준으로 차이가 가장 클 경우 (MD=0.4), 이동 속도가 느린 재실자로 인해 그룹 전체의 속도가 감소한다. 이동 속도 차이 0.4의 시나리오에서 200명의 인원을 탈출하는데 소요되는 시간은 이동 속도 차이 0 시나리오 대비 약 1.4배의 결과를 보인다. 이로 인해 속도 차이가 크게 발생하는 시나리오에서는 탈출 성공 인원이 가장 적게 나타난다. 따라서 이동 속도의 차이는 그룹 형성과 탈출에 있어 상반된 결과를 도출함을 알 수 있다. 속도차가 발생함에 따라 재실자들의 협동 의지는 강해져 더욱 많은 인원이 그룹을 형성하지만, 이동이 원활하지 못한 재실자들의 영향으로 탈출 시간은 지연되고 인원 또한 감소하는 현상이 나타난다. 이로 인해 노인인구 및 유아동

인구가 주를 이루는 시설물에서 다양한 재실자 그룹 간 신체적인 도움은 많이 발생하나, 대피시간이 길게 소요되는 상황의 설명이 가능하다.

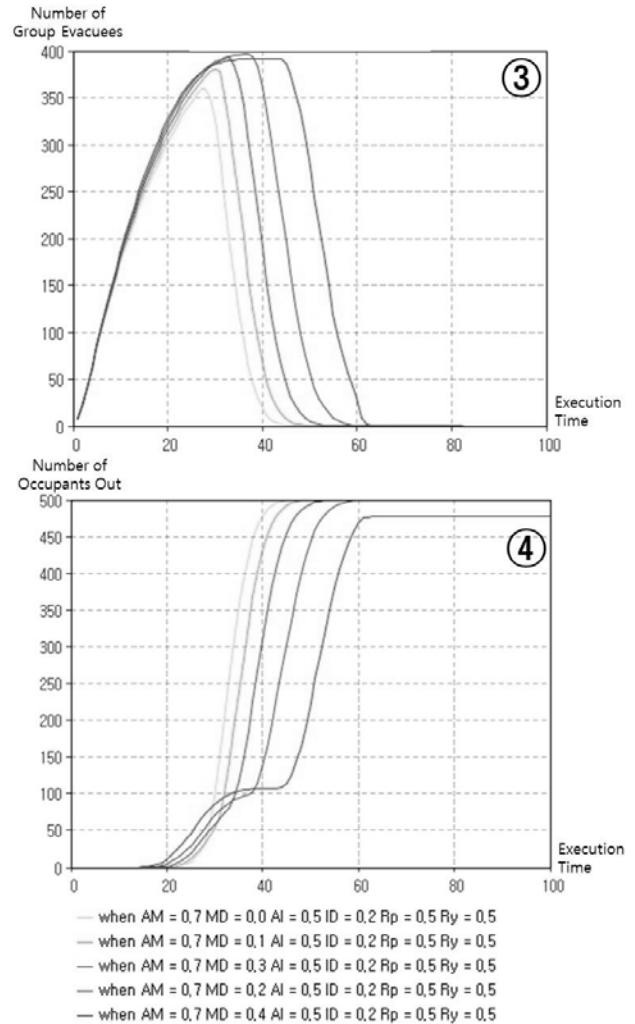


Fig. 7. Analysis on the Impact of Mobility Differences

### 5.3 초기 정보 및 재실자 관계: 영향 분석

Fig. 8은 재실자의 그룹 형성(⑤) 및 탈출(⑥)에 재실자들이 가지고 있는 정보(AI) 및 재실자 간 관계(Rp) 변수가 미치는 영향을 분석한다. 재실자 개인이 가지고 있는 초기 정보는 피난 시 활용 가능한 재난 경험 및 시설물 정보의 집합으로, 최적 피난 동선 선택을 위한 개인 의사결정의 기초가 된다. 뿐만 아니라, 그룹 구성원 사이 정보 공유를 통해 생성되는 그룹 정보의 원천으로 (Fig. 4), 개인과 그룹 구성원 모두의 신속한 피난을 위한 주요 변수로 작용한다. 피난 시 동선 선택의 기초가 되는 초기 정보의 생성은 시설물 내부의 친숙도와 깊은 관련을 가진다. 이는 시설물에 대한 정보가 많을수록 개인이 판단 가능한 최단 동선 및 이용 가능한 출구에 대한 정보의 양이 증가함을 의미한다. 이와



동시에 시설물의 친숙도는 시설물 내부 구성원과의 관계를 의미한다. 예를 들어 일시적인 건물 방문자와 매일 학교에 등교하는 학생들의 경우 시설물의 친숙도 및 시설물 내부 구성원의 차이에서 비슷한 양상을 보이게 된다. 따라서 초기 정보 레벨(AI: 0-1 사이의 값) 및 재실자 관계 레벨(Rp: 0-1 사이의 값)의 영향을 함께 분석하기 위해 해당 변수의 값을 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9로 조정하고 나머지 변수는 동일한 평균값으로 분석한다. 조정 변수인 AI가 0일 경우 시설물에 대한 동선 정보가 전혀 없는 상태이며 Rp가 0인 경우 타 재실자와의 친분 관계가 형성되지 않음을 의미한다. AI와 Rp 값이 커질수록 시설물과 타인에 대한 정보, 친밀감이 높아짐을 의미한다.

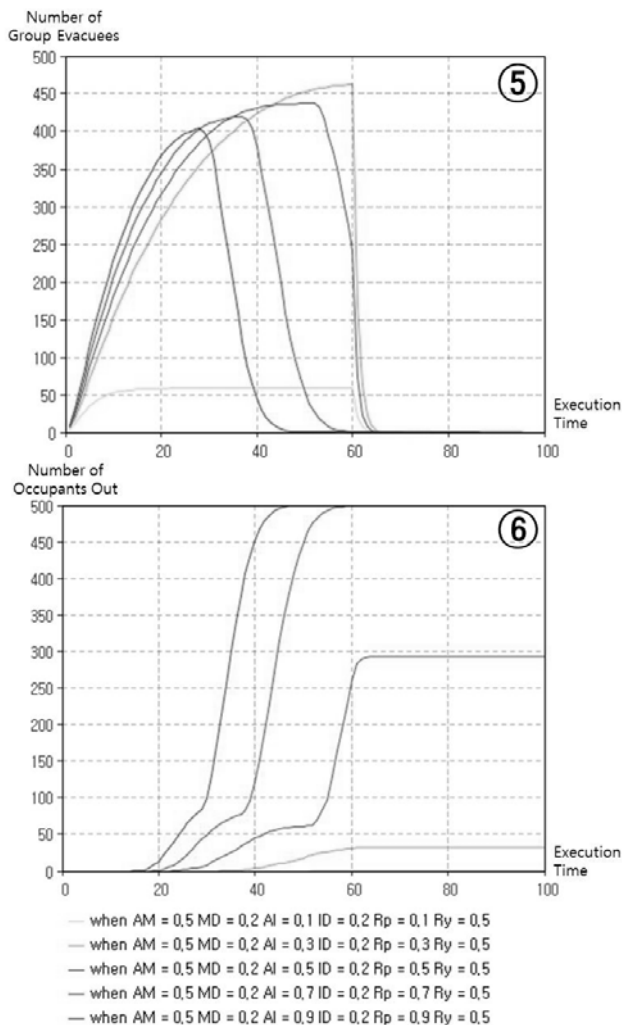


Fig. 8. Analysis on the Impact of Individual Information and Pre-existing Relationship

분석결과 낮은 초기 정보 및 재실자 관계는 그룹 형성에 매우 큰 영향을 미친다. 재실자들이 그룹 형성 및 상호 작용에 대한 사회적 책임에 있어 기본적인 인식 ( $R_y=0.5$ )은

가지고 있으나 매우 낮은 재실자 관계 ( $R_p=0.1$ )로 인해 매우 저조한 그룹 형성 정도를 나타낸다. 이로 인해 다양한 변수를 조정한 분석 결과 중 가장 적은 그룹 형성 재실자가 발생한다. 탈출자의 수 또한 제한된 피난 정보로 인해 (Fig. 6)과 유사한 결과를 보인다. 피난 정보의 부족은 탈출 가능한 동선을 탐색하는데 오랜 시간을 소요하게하고, 이로 인한 피난 시간의 증가를 야기한다. 보통의 이동 속도 ( $M_D=0.5$ )를 가지고 있는 재실자이더라도, 활용 가능한 정보의 양이 적을 경우 ( $A_I=0.1$ ) 탈출 성공률이 매우 낮음을 알 수 있다. 이는 피난에 있어 이동 속도와 활용 가능한 정보의 중요성을 강조함과 동시에, 충분한 이동 속도가 확보된 상황에서도 정보의 획득은 성공적 피난을 위한 필수적 조건임을 의미한다. 실제 미국의 화재사례에서도 긴급 상황속에서 형성된 15명의 그룹이 개인의 정보 공유를 통해 다양한 대안 탐색 및 의사결정을 내려 무사히 탈출한 경우가 존재한다 (GS건설 연구소 2012). 이러한 사례는 그룹 내 정보공유와 재실자의 긴급 상황 내 활용 가능한 정보의 지속적으로 제공의 필요성을 강조한다. 이는 평상 시 시설물 내 피난 상황에 대비한 학습 및 훈련을 통해 항상 가능하다. 이와 동시에 실제 화재 상황 발생 시 피난을 위한 최단 경로 및 탈출구에 대한 표지판 등을 증가시켜 활용 정보를 제공함으로써 실현 가능하다.

#### 5.4 정보 차이 및 사회적 책임: 영향 분석

Fig. 9는 개인 재실자가 가진 피난 정보의 차이 및 사회적 책임이 재실자의 그룹 형성(7) 및 탈출(8)에 미치는 영향을 설명한다. 각 재실자는 서로 다른 과거 재난 경험 여부를 가지며, 건물 방문 횟수 및 목적에 따라 다른 양의 시설물 정보를 가진다. 이로 인해 재실자들 사이 정보의 차이가 발생하며, 이러한 차이는 평상 시 시설물 내에서 가진 역할 혹은 사회적 책임과 관련을 가진다. 예를 들어 병원의 경우, 장기 입원 환자들은 자신들의 접근이 허락된 제한된 공간이라는 비교적 공통된 범위의 정보를 공유하고 있다. 그러나 의사 혹은 병원 관리자의 경우 그들의 역할로 인해 더욱 다양한 장소에 대한 접근이 빈번하고, 이를 통해 피난 시 활용 가능한 정보의 양이 증가하게 된다. 이는 병원뿐만 아니라 학교, 공항 등의 공공시설에도 유사한 적용이 가능하다. 이를 표현하기 위해 정보 차이 레벨(ID: 0-1 사이의 값)은 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4의 값을, 사회적 책임 레벨 ( $R_y$ : 0-1 사이의 값)은 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7의 값을 순서대로 적용하여 분석한다. ID가 0일 경우 재실자 모두 일정한 양의 정보를 가지며,  $R_y$  0의 경우 재실자들이 가진 사회적 책임 및 역할이 전혀 없음을 의미한다. 두 조정변수가 커질수록 재실자간의 정보의 차이와 사회적 책임감이 증가하게 된다.

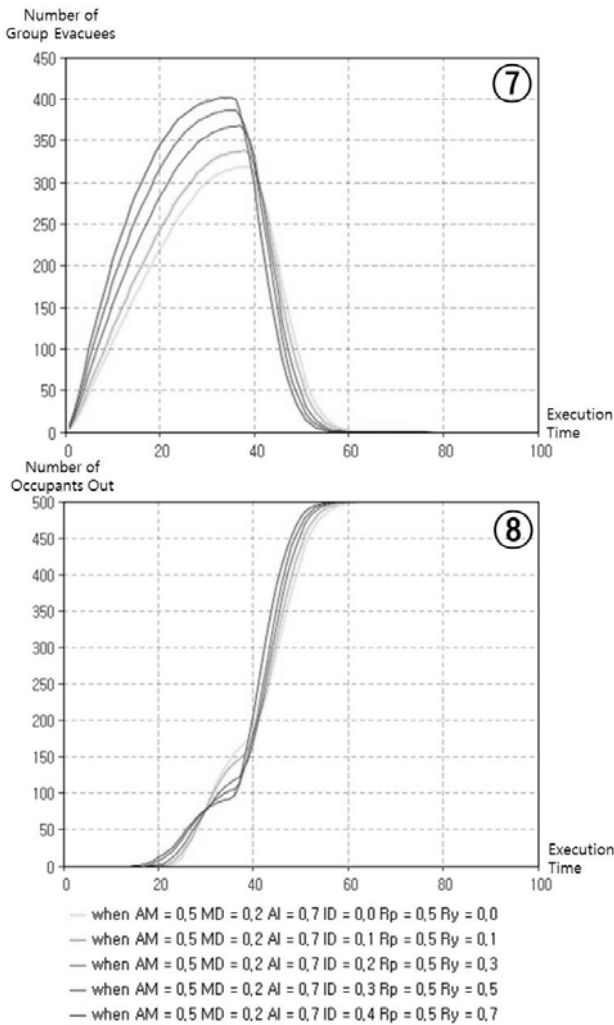


Fig. 9. Analysis on the Impact of Information Differences and Social Responsibility

분석 결과 정보의 차이 및 사회적 책임이 가장 높을 때 (ID=0.4, Ry=0.7) 일 때, 그룹 형성 재실자 수 또한 가장 높다. 이는 피난 시 막중한 역할 및 사회적 책임을 느끼고 있는 재실자가 타인을 돕고, 리더 역할을 맡음에 따라 군중이 모여드는 현상을 나타낸다. 이러한 결과는 특정층에 장기간 근무하여 공간구성에 익숙한 재실자가 화재 피난 시 그룹 내 재실자가 리더 역할을 맡아 남은 인원들을 인솔하여 무사히 탈출한 실제 사례들과 유사한 양상을 보인다 (CS건설 연구소, 2012). 이러한 재실자들이 느끼는 역할 및 책임이 줄어들고, 피난 정보의 양이 차이가 감소함에 따라 그룹 형성 재실자 또한 줄어든다. 이와 유사한 결과로 탈출 성공 재실자의 수 및 탈출 속도 역시 두 가지 변수가 높을수록 증가한다. 높은 초기 정보값 (AI=0.7)으로 인해 모든 경우에서 재실자가 피난에 성공하였으나, 특히 두 가지 변수가 증가할수록 더 적은 시간이 소요된다. 이를 통해 시설물에서 필요로 하는 안전 관리자의 확보 및 배치의 재조정이 가능하다. 안전 담당자 혹은 시설물 관리자의 경우 유사시 타인을

돕고자하는 역할 및 책임감(Ry)이 명확하므로, 특히 시설물 정보가 충분히 제공되지 않은 재실자들 사이에서 신속한 피난을 도울 수 있다.

## 6. 활용 방안

현실에 가까운 피난 행태 분석을 위해 본 연구에서 제안한 시스템 다이내믹스 모델은 향후 타 피난 시뮬레이터 내 분석 모듈로써 활용하고자 한다. 특히 재실자를 개별 에이전트로 지정하여 피난 분석에 유용한 Agent-based Model과의 조합을 통해 모듈의 이용성 확장이 가능하다. 재난 상황이 진행됨에 따라 각 에이전트 (재실자)들의 상태는 개인적 혹은 환경적 요인에 의해 변화하는데, 본 연구의 시스템 다이내믹스 모델은 이러한 변화의 원인을 제공함으로써, 에이전트의 상태를 변화시키고 이를 통해 전체 시스템과의 지속적 피드백 관계를 구축한다. 예를 들어 재실자들 사이의 공유된 그룹 정보 (Group InfoLevel)의 양이 변화함에 따라, 에이전트 (그룹의 구성원)들의 최적 경로 선택의 정확성은 변화하게 된다. 이러한 과정은 전체 에이전트 (그룹 및 개인 피난자)들의 의사결정에 다시 영향을 미치고, 모듈과의 피드백 관계를 형성한다. 이는 결과적으로 전체 재실자의 피난 시간 증가 혹은 단축을 야기하며 시뮬레이션 결과에 영향을 미친다.

이와 같은 방법으로 본 연구에서 제안된 협동 의지, 이동 속도, 그룹 정보 변화 모듈들은 향후 Agent-based Model에서 활용하고자 한다. 이는 피난 행태 분석에 있어, 시스템 다이내믹스 모델 활용의 적정성 및 타당성 검토를 위한 방법으로 사용 가능하다. 최종적으로는 본 연구의 모델을 통해 공간정보를 포함한 에이전트 기반 시뮬레이션 환경 내에서 인간 행태의 고려를 포함한 더욱 현실에 가까운 피난 시뮬레이션이 가능할 것이라 기대된다.

## 7. 결론

본 연구에서는 건물 피난 시 재실자 사이에서 상호작용과 그룹 형성이 발생하는 과정과 이러한 현상이 전반적 피난 행태에 미치는 영향을 분석한다. 이를 위해 시스템 다이내믹스 모델링을 적용하여, 협동 의지 및 정보 공유와 같은 현상의 미시적 분석과 함께 피난 프로세스 전반에 걸친 분석을 동시에 수행한다. 구축된 모델은 실제 발생하였던 과거의 화재사례 및 피난행태와의 비교를 통해 유의성을 입증한다.

본 모델의 분석 결과는 이동 속도가 빠르고, 피난 시 활용 가능한 정보가 높아질수록 정확하고 신속한 피난이 가능한 결과를 도출한다. 한편, 재실자들 사이 이동 속도의 차이는 그룹 형성에 긍정적 영향을 미치나 그룹 속도가 저하됨에 따라 신속한 탈출에 악영향을 미치는 것을 알 수 있다. 재실자들이 가지고 있는 기존 관계 및 사회적 책임은

그룹 형성을 야기하는 주요 요인으로 비취지며, 시설물 내 안전 관리자 존재 여부의 중요성을 다시 한 번 강조한다.

본 연구는 재실자의 특성을 고려한 피난 행태 분석을 통해, 설계초기 단계에서 건축물의 용도 및 재실자의 특성에 따른 요구사항 및 설계방안의 도출을 위한 기초 자료를 제공한다. 이는 예방차원의 관리 및 유지관리 매뉴얼의 부재로 인한 시설물 안전관리의 효율성을 확보하지 못하고 있는 국내 실정에 맞는 대안 제시를 위해 활용 가능하다 (고성석 외 2012). 또한 다양한 시설물 안전 관리자의 피난 계획 수립 및 의사결정을 도와 맞춤형 피난 대응 훈련 및 매뉴얼의 작성을 도울 수 있다. 한편, 후속 연구에서는 제시된 모델의 유효성에 대한 검증이 필요하며, 본 연구에서 가정 및 제약사항으로 설정한 상호작용 및 그룹 형성의 추가적 영향에 대한 고려가 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 '건설교통기술촉진 연구사업(과제번호: 12TRPI-C064106-01) 연구과제의 일부임.

본 연구는 서울대학교 건설환경종합연구소의 연구비 지원으로 수행되었음.

## References

- Aguirre, B., Wenger, D., and Vigo, G. (1998). "A test of the emergent norm theory of collective behavior." *Sociological Forum*, 13, pp. 301-320.
- Aguirre, B. E. (2005). "Emergency evacuations, panic and social psychology." *Psychiatry: Interpersonal and Biological Processes*, 68, pp. 121-129.
- Aguirre, B. E., Torres, M., and Gill, K. B. (2009). "A test of Pro Social Explanation of Human Behavior in Building Fire." *Proceedings of 2009 NSF Engineering Research and Innovation Conference*.
- Ahmad, S., and Simonovic, S. P. (2001). Modeling human behavior for evacuation planning: A system dynamics approach. In *Proceedings of the ASCE World Water and Environmental Resources Congress, Orlando, May*, p. 14.
- Challenger, W., Clegg, W. C., and Robinson, A. M. (2009). *Understanding Crowd Behaviors: Guidance and Lessons Identified*, Technical Report prepared for UK Cabinet Office, Emergency Planning College, University of Leeds.
- Cherkoff, J. M., and Kushigian, R. H. (1999). *Don't Panic: The Psychology of Emergency Egress and Ingress*, Praeger, London.
- Chu, M L, and Law, K. (2013). "A Computational Framework Incorporating Human Behaviors for Egress Simulations." *Journal of Computing in Civil Engineering*.
- Chu, M. L., Pan, X., Law, K. (2011). "Incorporating Social Behaviors in Egress Simulation." *Computing in Civil Engineering*, pp. 544-551.
- Cocking, C., and Drury, J. (2008). "The Mass Psychology of Disasters and Emergency Evacuations: A Research Report and Implications for the Fire and Rescue Service." *Fire Safety, Technology and Management*, 10, pp. 13-19.
- Donald, I., and Canter, D. (1990). "Behavioral aspects of the King's Cross disaster." *Fires and Human Behavior*, 2nd Ed, David Fulton Publishers, London
- Drury, J., and Cocking, C. (2007). *The mass psychology of disasters and emergency evacuations: A research report and implications for practice*. University of Sussex.
- Drury, J., Cocking, C., and Reicher, S. (2009). "Everyone for themselves? A comparative study of crowd solidarity among emergency survivors." *British Journal of Social Psychology*, 48, pp. 487-506.
- GS Engineering & Construction Corporation (2012). *Major Fire Accidents in High Rise Buildings*, GS Engineering & Construction Corporation.
- Ko, S., Yoo, S., Moon, B. (2012). "A Study on the Improvements Plans of the Disaster Dangerous Facilities Safety Management." *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management, KICEM*, 13(3), pp. 143-152.
- Mawson, A. R. (1978). *Panic behavior: A review and a new hypothesis*. Paper presented at the 9th World Congress of Sociology. Uppsala, Sweden.
- Mawson, A. R. (2005). "Understanding Mass Panic and Other Collective Responses to Threat and Disaster." *Psychiatry*, 68, pp. 95-113.
- McPhail, C. (1991). *The Myth of the Madding Crowd*, Aldine de Gruyter, New York.
- Mintz, A. (1951). "Non-Adaptive Group Behavior." *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 46, pp. 150-159.
- National Institute of Standards and Technology (2005). *Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster: Occupant Behavior, Egress, and Emergency Communication*, U.S. Department of Commerce.
- Pan, X., Han, C. S., and Law, K. H. (2005). "A multi-agent based simulation framework for the study of human and social behavior in egress analysis." In *Proceedings of the ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering*, 92.
- Park, M., Ahn, C., Lee, H., Hwang, S. (2009). "Analysis of the Korean Housing Market Mechanisms and Housing Sales

- Policies Using System Dynamics." *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management, KICEM*, 10(3), pp. 42-52.
- Park, M., Lee, M., Lee, H., Hwang, S. (2011). "Boost, Control, or Both of Korean Housing Market: 831 Countermeasures." *Journal of Construction Engineering and Management*, 136, pp. 693-701.
- Seidler, J., Meyer, K., and Gillivray, L. M. (1976). "Collecting Data on Crowds and Rallies A New Method of Stationary Sampling." *Social Forces*, 55(2), pp. 507-519.
- Sime, J. D. (1983). "Affiliative behavior during escape to building exits." *Journal of Environmental Psychology*, 3(1), pp. 21-41.
- Still, G. (2000). *Crowd Dynamics*. Ph.D. thesis, University of Warwick, UK, 2000.

---

**요약:** 건축물에 있어 피난 계획은 프로젝트 전반에 걸쳐 고려되어야 할 매우 중요한 요소 중 하나이다. 기존 다양한 연구 및 실제 재난 사례등을 통해 피난의 중요성은 지속적으로 강조되어 왔으며, 사전 대비를 위한 다양한 노력들이 수행되어 왔다. 또한, 실제와 유사한 대응 훈련 준비의 어려움을 극복하고자 시뮬레이션을 통한 해결책 마련이 새로운 대안으로 떠올랐다. 그러나 피난 계획의 경우 시설물 뿐만 아니라 재실자의 특성 또한 신중히 고려되어야 한다. 현실과 가까운 피난 계획의 수립을 위해 본 연구에서는 인간 행태를 고려한 피난 과정을 분석한다. 기존 사회과학 이론에 기초하고 시스템 다이내믹스 모델링을 이용하여, 피난 초기부터 탈출까지 다양한 재실자 그룹의 특성으로 인해 발생하는 요인들을 포함하며, 이에 따른 의사결정, 행동의 변화 등의 분석한다. 이러한 모델을 통해 그룹 형성 및 재실자 간 상호 작용 등 긴급 상황에서 발생하는 인간 행태가 전체 피난 행태 및 결과에 미치는 영향을 파악하며, 향후 피난 시뮬레이터의 모듈로써의 활용 및 시설물 안전 관리자의 피난 계획 수립 시 의사결정의 기초자료를 제공할 것이라 예상된다.

**키워드:** 재난 상황, 피난, 인간 행태, 시스템 다이내믹스, 시뮬레이션

---