

# BIM 기반의 인간행동 시뮬레이션이 건축설계교육에 미치는 효과에 관한 연구 -무장애와 안전 및 피난설계의 성능탐구와 평가를 중심으로-

## Effectiveness of BIM-based Human Behavior Simulation on Architectural Design Education

-Focused on Exploration and Evaluation of Barrier-Free and Fire Evacuation Performances-

홍승완<sup>1)</sup>, 박지영<sup>2)</sup>

Hong, Seung-Wan<sup>1)</sup> · Park, Ji-Young<sup>2)</sup>

Received November 29, 2020; Received December 16, 2020 / Accepted December 21, 2020

**ABSTRACT:** While the importance of barrier-free and fire evacuation design is highlighted in architectural design education, systemic analysis, and examination on such performances are still challenging due to methodological lacks. The present study investigates the effectiveness of BIM-based human behavior simulation for architecture major students' analytical examinations to promote barrier-free and fire evacuation performances. To achieve such an aim, quasi-experiments were conducted, which compare 50 students' analysis and examination scores according to the use and non-use of the simulation, and the data were collected via participants' survey and interview. As a result, T-Test and MANOVA analyses indicate that, compared with its non-use counterpart, the use of human behavior simulation better facilitates the students' (1) examination of the physical properties and dimensions for the disabled's accessibility and evacuation, (2) understanding of the bodily capacity and handicap of the disabled, (3) examination on the spatial layouts and locations of exits, (4) understanding on evacuees' urgent behaviors, and (5) responsibility as an architect. Based on previous studies, the reasons of statistical results are interpreted as the explicit observation and analytical measures of multiple numbers of virtual-evacuees and direct-experience from body range of the disabled responding to the populated occupants as what they face in authentic reality.

**KEYWORDS:** Barrier-Free Design, Fire Evacuation Design, Design Performance Analysis and Examination, Building Information Modeling(BIM), Human Behavior Simulation, Architectural Design Education

**키 워 드:** 무장애설계, 안전 및 피난설계, 설계 성능분석과 탐구, 건설정보모델링, 인간행동 시뮬레이션, 건축설계교육

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

무장애와 안전 및 피난설계는 건축물의 성능을 평가하는 중요한 항목으로 설계실무에서 뿐만 아니라 교육현장에서도 필수적 요소이다. 이는 재실자의 심리적 반응과 행동을 대상으로 하는 정성적 분석 및 평가(Qualitative Evaluation)와 법적요건, 설비요소와 방화구획, 대피자 동선계획 등의 정량적 분석 및 평가

(Quantifiable Evaluation)로 구분할 수 있다(Kalay, 2004; Hong and Lee, 2019). 그리고 이는 건축물의 물리적 요소(경사로, 피난계단, 방화벽, 피난구의 위치 등) 뿐만 아니라 인적요소(Human Factors, 동료사용자의 행동 등)와 사용자의 인지(길찾기 등)가 성능에 영향을 주는 중요한 변수로 작용한다(Chu et al., 2014).

하지만 설계교육에서 인적요소의 개입과 사용자 관점에서의 인지 등 정성적 조건까지 고려하며 무장애와 안전·피난설계를 수행하기에는 한계가 있다. 특히, 건축형태와 공간배치가 복잡하

<sup>1)</sup>정회원, 인하대학교, 건축학전공 조교수 (hongsw@inha.ac.kr)

<sup>2)</sup>정회원, 인하대학교, 건축학전공 교수 (jypark@inha.ac.kr) (교신저자)

거나 기존 사례와 다른 독창적인 설계안의 경우에는 장애인을 포함한 대피자의 다양한 동선과 피난시간 등의 성능을 정량적으로 분석하고 관찰하기는 사실상 불가능하다.

결과적으로 설계교육에서는 학생들이 창의적인 설계안을 시도하는 동시에 무장애와 안전·피난설계의 성능을 실험해야 하지만, 건축법규와 소방기준을 통한 단편적인 분석방법에 의존하고 있다. 많은 경우에 무장애와 안전·피난설계는 그 중요성에도 불구하고 초기설계단계에서 형태와 공간구성에 관여하는 다른 설계요소와 함께 탐구되지 못하고, 설계과정 후반에 형식적인 성능 분석과 표기 등으로 다루지고 있는 현실이다.

건설정보모델링(Building Information Modeling, 이하 BIM)은 건축물의 물리적 속성(형태, 색상 등)과 의미적 속성(벽, 창, 스프링클러 등)을 시공규칙에 따라 자동으로 연산하여 효율적인 모델링, 설계변경, 성능분석을 수행할 수 있다(Eastman et al., 2011). 이러한 BIM 특성을 기반으로 안전·피난설계 분석을 시도한 연구는 다수 소개되었다. 하지만 이는 소방설비(스프링클러 등)와 화재진압도구(소화기 등)의 위치타당성 검토에 집중하거나 주출입구까지의 접근경로와 피난경로를 연산하는 기술적 플랫폼 개발에 관한 연구가 대다수이다(Wang et al., 2015; Yan et al., 2011). 또한 인적요소를 BIM 모델에 분포하여 무장애와 피난성능을 검증하는 에이전트-기반 시뮬레이션(Agent-Based Simulation)이 시도되고 있다. 하지만 관련연구들은 에이전트의 인지 및 행동모델 개발에 집중하거나 개발된 플랫폼의 응용가능성을 소개하고 있다(Pelechano and Malkawi, 2008; Pan et al., 2006; Li et al., 2020). 따라서 설계교육에서 학생들의 다양한 설계안에 대한 성능을 탐구하고 실험하는 과정에서 BIM과 에이전트-기반 시뮬레이션이 미치는 효과를 실증한 연구는 국내외에서 시도되지 않았다.

이에 본 연구는 BIM 기반의 인간행동 시뮬레이션이 실제 설계 수업에서 학생들의 무장애와 안전·피난설계에 관한 정량적·정성적 분석과 평가에 미치는 효과와 한계를 규명하고자 한다. 이를 위해 사용자의 물리적 속성(키, 성별, 인지능력)과 의미적 속성(직업, 성격, 사회적 위치), 행동규칙 등의 변수가 설정가능하고 건축도시환경에서 발생가능한 사용자의 반응과 행동을 연산하는 이른바 인간행동 시뮬레이션(Human Behavior Simulation)과 장애인의 신체를 가진 아바타를 설계단계에서 BIM 모델 안에 분포시키는 방법을 이용한다.

본 연구의 구성은 2장에서는 무장애와 안전·피난 설계에 관한 선행연구를 고찰하고, BIM 기반의 인간행동 시뮬레이션이 무장애와 안전·피난설계 평가와 탐구에 미치는 영향에 관한 이론적 상관관계와 연구가설을 도출한다. 3장에서는 본 연구의 절차, 자료수집, 분석 방법을 기술하고, 4장에서는 통계적 비교분석을 통해 연구결과를 도출하고 관련한 정성적 자료를 분석한다. 마지막으로

5장에서는 분석결과에 관한 원인을 기존 이론을 통해 고찰하고, 후속연구와 본 연구의 응용범위를 제안한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 시뮬레이션 기법의 실효성을 검증하고자 한다. 시뮬레이션은 원인과 결과에 영향을 미치는 변수를 체계적으로 조작하여 그 관계를 규명하는 실험방법으로, 특히 컴퓨터 시뮬레이션은 실제상황에 존재하는 변수가 고도로 복잡하거나 위험하여 실험이 제한될 경우에 사용하는 방법이다(Kalay, 2004). 본 연구에서 사용한 인간행동 시뮬레이션 역시 장애인과 대피자의 행동 규칙과 설계안의 변수 간의 관계를 실험하는 방법 중 하나이다.

본 연구는 유사비교실험으로 수집된 설문데이터를 통계적 방법을 통해 분석하는 연구방법에 근거한다. 이를 위해 설계교육현장에서 BIM 기반의 인간행동 시뮬레이션을 사용전과 후의 성능 분석과 탐구경험을 비교하고, 수업참가학생들을 대상으로 설문하여 데이터를 수집한다. 학생들은 설계스튜디오에서 설계한 건축물을 BIM 모델링하고 시뮬레이션을 통하여 성능분석을 수행한 후에 그 결과에 따라 설계안을 수정하였다. 이를 통해 시뮬레이션의 사용전과 후에 무장애와 안전·피난설계 성능상의 문제발견과 탐구경험을 비교가능하다.

본 연구의 범위는 상업시설과 복합문화시설 등 고학년 설계교육으로 한정하며, 설계실무에서는 다른 결과가 도출될 수 있다. 본 연구에서 사용한 인간행동 시뮬레이션 모델은 A\* 알고리즘을 이용한 길찾기에 의존하므로, 에이전트 간의 구조행동 등 고차원의 사회적 상호작용은 시뮬레이션 범위에 포함되지 않는다. 그리고 무장애설계의 범위는 휠체어를 이용하는 신체장애로 한정한다. 이외의 연구방법은 3장에서 상세하게 기술하였다.

## 2. 문헌고찰 및 연구가설

### 2.1 무장애와 안전·피난설계방법에 관한 연구

건축도시환경 내에서 무장애와 안전·피난설계 등 인적요소를 분석하고 평가하는 고식적인 방법은 법규와 기준 혹은 기존사례분석을 근거로 새로운 설계안의 성능을 유추하는 방법(Extrapolation)과 모크업(mock-up) 내에서 사용자의 직접체험을 근거로 평가를 수행하는 방법(Direct-Experience Evaluation)으로 구분된다(Kalay, 2004).

먼저 무장애설계 성능평가법에는 실제 지어진 건축도시환경 내에서 사용자의 반응을 설문하는 거주후 평가(POE, Post Occupancy Evaluation)가 보편적이다(Zeisel, 2006). 이렇게 사례를 유추하는 방법은 학생설계처럼 선례적용이 어려운 독창적인 설계안이거나 사례가 다양할 경우에는 막연한 추정과 기대에

의존할 수밖에 없다. 모크업과 직접체험을 근거로 평가하는 방법 역시 신체활동반경을 설계에 반영할 수 있지만, 실물크기의 건축물을 실험환경에 도입하기 어렵고 현실에 존재하는 다양한 인적요소들을 체험에 반영하기 어렵다는 단점이 있다. 그리고 설계교육에서는 장애인 체험 이외에 모크업 기반의 직접체험은 비용과 공간의 한계로 인하여 사용하기 어렵다.

마찬가지로 안전·피난설계 성능평가법에는 법규와 소방설비법을 근거로 산술적인 분석을 수행하거나 화재시 관찰되는 피난행동을 수집하기도 한다. 그리고 최소화지만 모크업 기반의 사용자행동을 직접실험 및 관찰하기도 한다(Zeisel, 2006). 건축설계교육에서 이러한 사례기반의 유추법과 직접경험 평가법은 무장애설계 성능평가와 마찬가지로, 학생들의 창의적이고 다양한 설계에 직접적응이 어렵거나 실제 피난행동에서 관찰되는 인지와 다른 대피자 간의 사회적 행동 등을 반영하기에는 한계가 있다.

한편, BIM의 보급에 따라 다양한 시뮬레이션 기법들이 응용되고 있다. BIM의 물리적 속성에 소방기준에 관련한 의미적 속성(방화벽, 소화전, 스프링클러 등)을 부가하여 법규와 규칙을 연산하고 산술적 소방 및 피난성능(스프링클러의 범위, 소화기기까지의 위치 등)을 분석하거나, 무장애설계에서도 진입구까지의 거리와 경사도 등의 규칙을 통해 무장애 성능을 분석하는 방법 등이 연구되었다(Solihin and Eastman, 2015). 예를 들어, Wang et al.(2015)은 BIM 모델에 배치된 소화기와 출입구까지의 거리, 법규 등을 계산하여 피난성능을 예측하는 플랫폼을 개발하였다. 사용자는 3차원으로 재현된 피난자의 시점으로 소화장비의 위치를 인지할 수 있다.

또한 BIM의 물리적 속성을 포함한 모델을 3차원 가상환경(Virtual Environments)과 스테리오스코픽 가상현실장비(Stereoscopic Virtual-Reality) 등 장애인의 관점과 대피자의 관점에서 직접경험할 수 있는 시뮬레이션(Direct-Experience Simulation)이 선행연구를 통해 시도되었다. Yan et al.(2011)은 BIM 소프트웨어와 3차원 게임엔진을 연동하여 건축물의 물리적 모델을 장애인의 신체를 통해 직접 경험할 수 있는 플랫폼을 개발하였으며, Sun and de Vries(2013)은 스테리오스코픽 가상현실장비를 이용하여 화재시 대피자의 신체인지와 행동반경을 고려하여 피난구의 위치와 디테일을 분석 및 평가하였다.

앞서 기술한 법규와 소방설비 위주의 무장애와 안전·피난설계 성능연산과 장애인 혹은 대피자의 직접 경험위주의 시뮬레이션은 건축물의 구성요소의 산술적 성능과 공간구성에 관한 분석과 평가를 수행할 수 있다.

하지만 실제 장애인과 대피자가 경험하는 다량의 건축물 사용자의 행동을 연산범위에 포함하지 않는다. 특히 장애인과 대피자는 사회적 약자로 개입되는 인적요소에 따라 무장애와 안전·피난 성능이 달라지기도 한다. 예를 들어, Chu et al.(2014)은 화재

시 대피자의 단독피난보다는 사회적 관계에 따라 피난시 그룹행동이 발생하며, 경우에 따라 가족과 친구를 구하기 위해 화재지점으로 되돌아가는 현상도 관찰된다고 기술하였다. 따라서 보다 신뢰도 높은 시뮬레이션은 이와 같은 사회적 관계가 연산범위 내에 포함해야 한다고 제안하였다.

또한 사회적 촉진현상(Social Facilitation, Amabile, 1996)과 같이, 위급시 주변대피자의 행동을 분별없이 따라하는 행동이 관찰되거나, 장애인의 경우에도 주변건축물의 사용자행동에 따라 장애인 경사로를 사용하지 못하거나 편의에 영향을 받게 된다.

위와 같은 다수의 다양한 사용자를 포함하기 위하여, 최근 에이전트 기반의 시뮬레이션과 가상사용자(Virtual-Users, 이하 VUsers)의 심리적 기제와 사회적 상호작용을 강화한 인간행동 시뮬레이션이 시도되고 있다. 2.2에서는 이를 이용한 무장애와 안전·피난설계 성능을 다룬 연구를 고찰하고, 본 연구의 가설을 도출한다.

## 2.2 BIM 기반의 인간행동 시뮬레이션 사용에 따른 무장애와 안전·피난설계 성능 탐구 간의 이론적 연관성

인간행동 시뮬레이션은 가상사용자(VUsers)라는 인간의 신체형태와 행동을 재현하며, 사회심리적 기제와 행동규칙을 연산하는 인공지능을 가진 에이전트를 사용하여 3차원 건축도시 모델의 사용성과 성능을 분석하는 방법이다(Kalay and Irazabal, 1995), (Figure 1). 이는 에이전트-기반 시뮬레이션과는 달리 가상사용자 간의 개별지능과 행동기제에 따라 사회적 상호작용과 사건이 개인에서 그룹으로 확대되며(Bottom-Up) 가상사용자의 행동이 관찰가능하고, 동시에 동선과 보행거리 등 수치적 지표의 분석이 가능하다(Hong et al., 2016; Hong et al., 2020).

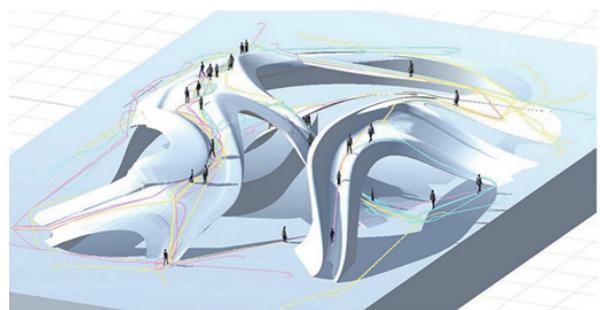


Figure 1. An example of human behavior simulation(Hong et al., 2020)

무장애와 안전·피난설계 성능분석과 관련한 에이전트-기반 시뮬레이션에 관한 선행연구로서 Shi et al.(2009)은 독립적인 셀 위에서 길찾기를 수행하는 에이전트 행동모델(Discrete Cell-Based Path Findings)을 통해 대피자들의 자율적 상호작용과 심리적 다양성에 따라 피난성능을 분석하는 시뮬레이션 플랫폼을

연구하였다. Pelechano and Malkawi(2008)는 그리드 위에서 개별적인 길찾기를 수행하는 대피자 행동모델(Cellular Automata)을 통해 대피자들이 피난구로 밀집하였을 경우 발생하는 병목현상과 보행속도와 동선 등 실제 대피상황의 행동을 연산범위에 포함하는 플랫폼을 개발하였다. 그리고 Pan et al.(2006)은 개별 에이전트의 운동능력과 피난구를 빠져 나가기 위해 경쟁하는 행동, 무리지어 이동하는 행동, 줄을 서거나 빈틈을 발견하여 피난하는 행동 등 다수의 대피자가 발생할 때 관찰되는 물리적 상호작용을 연산하는 시뮬레이션 모델을 개발하였다. Chu et al.(2014)은 사회적 친밀성과 규범 등을 연산하는 에이전트 모델을 개발하여 사회적 관계가 피난시뮬레이션에 미치는 영향을 연구하였다.

이런 에이전트-기반 시뮬레이션은 군중(Crowds)의 물리적 충돌과 이미 정해진 수학적 행동규칙을 통해 피난성을 분석하는 방법(Top-Down Simulation)으로 연기와 열온도 감지와 같이 에이전트의 개별인지기능을 강화한 피난모델이 개발되고 있다(Li et al., 2020). 또한 Hong and Lee(2019)는 BIM 기반의 인간행동 시뮬레이션 플랫폼을 개발하였다. 이를 건축설계전공 학생들이 사용하였을 경우에 난출입구 위치와 피난경로의 탐구, 피난출입구와 피난경로 설계의 기능성, 안전·피난설계 과정의 효율성, 설계안 결정의 용이성 등이 향상되는 효과가 있다고 기술하였다.

이러한 기존연구들을 통해 BIM에서 피난 시뮬레이션 이후 분석결과를 반영하여 효율적인 모델링과 피드백, 성능실험이 가능하다는 효과를 추론할 수 있다.

하지만 대다수의 선행연구들은 에이전트의 피난행동에 관한 모델 및 시뮬레이션 플랫폼의 기술적 개발에 집중하고 있으며, 설계과정에서의 형태와 규모가 다양한 실험과 탐구용도 보다는 단층규모에서 시뮬레이션 모델의 성능을 확인하는데 그쳐서 실제 설계교육에서 응용가능성과 효과를 검증한 연구는 매우 드물다. 특히, 본 연구와 같이 BIM을 이용하여 한 학기에 걸쳐 설계를 수행하고 BIM 기반의 인간행동 시뮬레이션이 무장애와 안전·피난설계에 미치는 교육효과를 규명한 연구는 국내외에서 시도되지 않았다.

기존연구를 통하여 인간행동 시뮬레이션 사용에 따른 학생들의 무장애와 안전·피난설계 성능탐구 효과를 추론하면, 학생들은 대피동선과 시간을 명시적으로 관찰 및 분석할 수 있고 장애인의 관점에서 다른 대피자들의 행동이 어떤 영향을 주는지 직접 체험도 가능하다. 이러한 가상사용자들의 관찰가능한 행동과 성능분석, 직접체험을 통해 설계교육에서 중요한 지표인 물리적 공간구성과 무장애와 안전·피난설계요소의 실험, 건축가로서의 책임의식(Rittel, 1971; Fitch, 1976) 등을 향상하는 효과를 추정하며, 본 연구는 다음과 같은 대안가설(Alternative Hypotheses)을 설정한다.

건축설계전공 학생들의 BIM 설계 프로젝트에서, 인간행동 시뮬레이션 사용은,

가설1: 무장애설계에 관련한 물리적 치수와 접근성, 장애인의 피난 성능분석을 돕는 효과가 있다.

가설2: 장애인의 신체 활동범위와 불편함을 이해하는 효과가 있다.

가설3: 안전·피난설계에 관련하여 물리적 공간배치와 구성, 피난출입구의 위치탐구를 돕는 효과가 있다.

가설4: 안전·피난설계에 관련하여 대피자의 다급한 피난행동을 이해하는데 도움이 된다.

가설5: 건축가로서의 책임의식을 높이는 효과가 있다.

### 3. 연구방법

#### 3.1 실험방법과 절차

본 연구는 인천소재 1대학 5년제 건축학전공에 개설된 'BIM설계 및 시공' 교과목에서 수강생들이 한 학기동안 수행한 리모델링 설계프로젝트를 대상으로 하였다. 그리고 인간행동 시뮬레이션을 사용하기 전과 후 참가학생들의 무장애와 안전·피난설계 성능을 탐구한 수치적인 데이터(Scores)를 분석하였다. 수강생들은 3-5학년 설계스튜디오에서 디자인한 상업, 교육, 복합문화시설을 BIM으로 파사드, 설비, 구조를 포함한 모델링을 수행하였다.

무장애설계와 관련하여 법규와 기존 사례를 근거로 주차장에서 주출입구까지 진입로를 설계하였고, 화재시 장애인의 신체범위를 고려하여 복도폭, 피난구의 위치와 외부공간까지의 거리를 결정하였다.

그리고 안전·피난설계와 관련하여 스프링클러 등 소방설비 등을 설계스튜디오에서 학습한 방화기준에 따라 모델링하였으며, 공간구성, 복도폭, 피난구와 외부공간의 위치 등도 법규와 기존 사례를 참조하여 설계를 수행하였다.

학생들은 BIM 모델을 Autodesk Revit 소프트웨어에서 fbx 파일포맷으로 저장하였다. 이후 상용게임엔진인 Unity3D를 이용하여 개발한 시뮬레이션 플랫폼을 실행하고 해당 fbx 파일을 불러들였다. 그리고 학생들은 설계안의 위치와 규모를 조정하였고, 휠체어 아바타를 사용할 수 있도록 모델표면에 물리적 충돌(Mesh Collider)을 지정하였다. 이외에도 학생들은 Unity 엔진에서 제공하는 Navigation Static 옵션을 이용하여, 가상사용자가 길찾기를 수행할 수 있는 그리드를 생성하였다. 그리고 휠체어를 탄 장애인 아바타를 이용하여 무장애성을 평가하였고, 여러 목적지를 경유하는 가상사용자를 분포하여 피난거리와 시간을 측정하였다.

본 연구에서 제공한 인간행동 시뮬레이션 플랫폼은 1명의 장애인 아바타와 각각 남녀성인, 청소년 가상사용자를 포함하고 있다. 장애인 아바타의 휠체어 바퀴에 충돌(Wheel Collider)이 사전 지정되어 있어서 경사도에 관한 미끄럼과 마찰이 연산가능하다(Figure 2). 장애인 아바타는 키보드를 통하여 전후좌우 운행과 회전을 조절할 수 있다. 참가학생들은 가상사용자의 경유목적지 숫자, 체류시간, 위치를 지정할 수 있다. 동선은 픽셀기반의 라인 렌더러를 이용하여 시각화되며 목적지를 찾기 위해 걷거나 달리는 거리가 계산된다. 평상시에는 목적지에 도달하였을 때, 주위를 둘러보는 행동과 신발끈을 묶는 행동 등 보편적인 행동을 연산한다(Figure 2). 그리고 참가학생들이 대피상황 옵션을 선택하면 피난구를 향해서 달려가는 행동으로 바뀐다. 이때 피난출입구는 참가학생들이 드래그앤드롭(drag&drop)을 통해 임의로 지정하거나, "출입구(Exit)"라는 태그가 있는 물체를 출입구로 자동 인식할 수 있다. 가상사용자의 행동변화에 관한 규칙과 코드는 3.3에서 상술하였다.

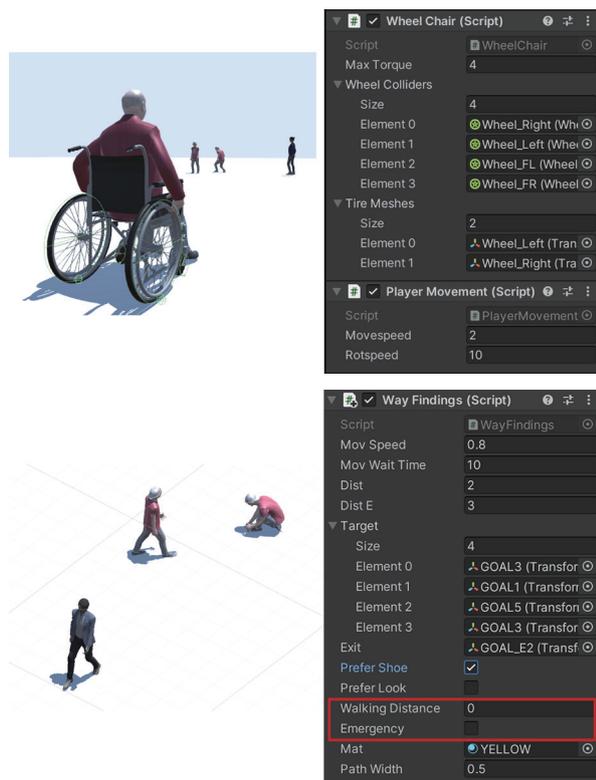


Figure 2. Collision setting of wheel-chaired avatar (top) and parameters of evacuee VUser (bottom)(Hong, 2020)

이러한 과정을 통해 학생들은 휠체어를 탄 아바타와 가상사용자를 BIM 모델에 분포시킨 후, 경사로의 경사도와 너비, 출입구까지의 거리와 시간, 여러 명이 사용할 경우에 복도폭, 길찾기와 관련한 공간구조 등을 분석하였다.

예를 들어, 참가학생 A는 외부공간으로 접근하기 위하여 건물 내부의 엘리베이터 동선을 계획하였다. 하지만, 시뮬레이션 결과로 단차이로 인하여 동선이 단절되며 일직선의 경사로는 설치가 불가능하다고 판단하였다. 이후 참가학생 A는 휠체어 아바타와 장애가 없는 보행자가 같이 사용하도록 V형의 경사로를 설치하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 새로운 경사로의 접근성과 안전성이 기존 설계안에 비해 개선되었다고 판단하였다(Figure 3).

참가학생 B는 휠체어를 탄 아바타를 이용하여 복도의 경사도를 평가하고 문턱이 장애물로 작용하는 점을 발견하였다. 이후에 복도의 경사를 조정하여 외부공간의 출입구와 단차이가 없도록 수정하였다. 이 과정에서 접근성을 비롯하여 물리적 충돌, 미끄럼, 다른 사용자와의 밀도 등 안전성 지표에 관한 개선을 확인하였다.

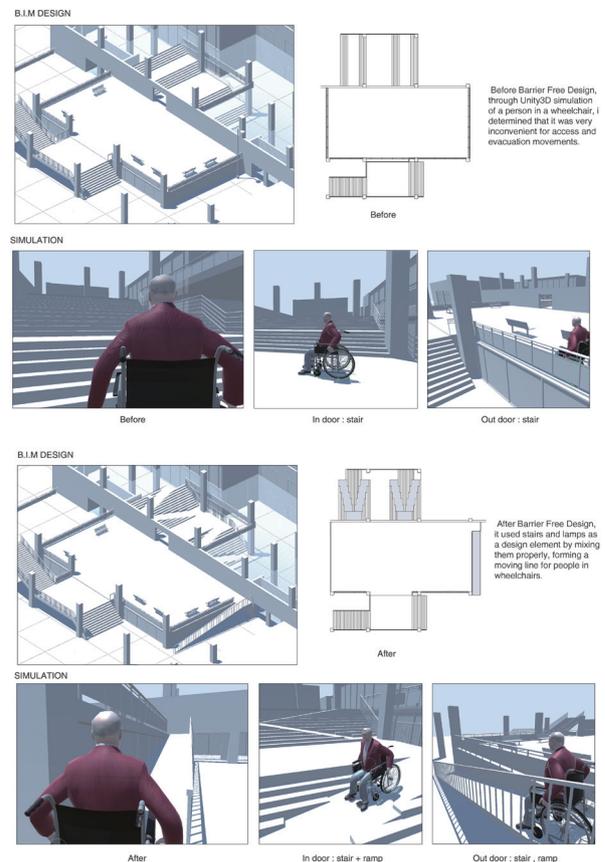


Figure 3. An example of barrier-free design(top: before simulation, bottom: after simulation, Ji, 2020)

참가학생 C는 시뮬레이션 사용 이전 설계안의 평균피난거리가 4832보, 피난시간이 25.2초였으나, 설계안의 수정 이후, 4792보, 피난시간이 22.2초로 피난성능지표가 개선되었음을 확인하였다(Figure 4).

또한 화재시 다수의 대피자가 급하게 복도나 피난 출입구로 군집했을 때에 장애인이 체감할 수 있는 복도폭과 공간구조, 외부

공간까지의 거리, 원거리의 공간에서 피난구까지의 거리와 시간, 대피자 간의 병목현상과 충돌 등을 측정하였다. 이후, 학생들은 시뮬레이션의 결과에 따라 기존 설계안을 수정하였다.

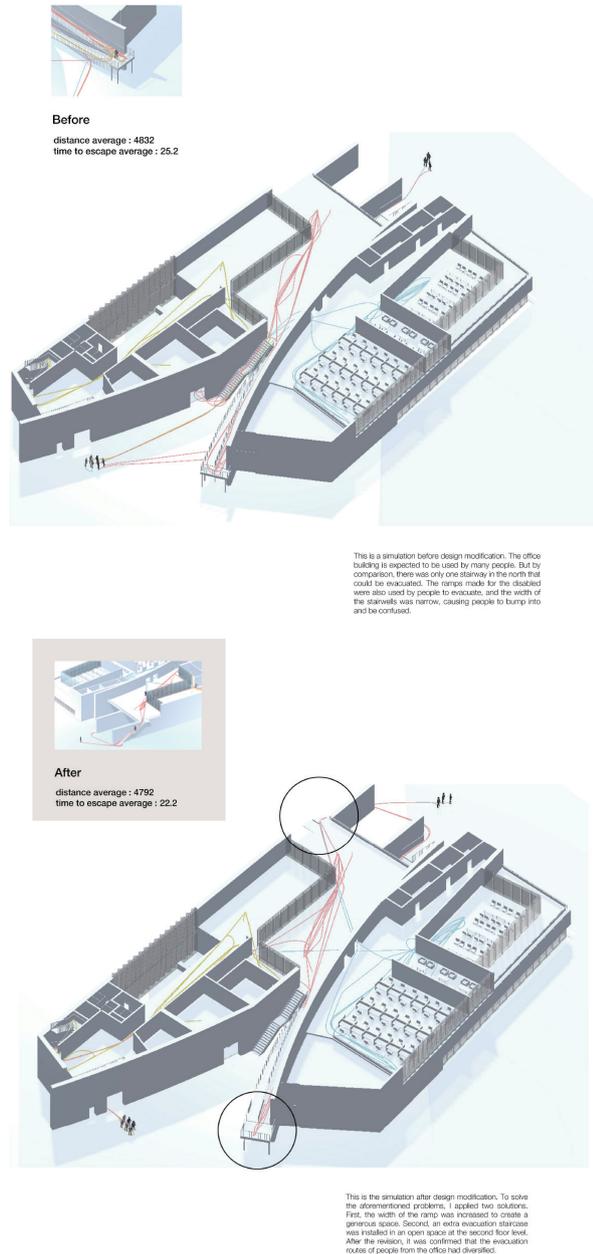


Figure 4. An example of fire evacuation design(top: before simulation, bottom: after simulation, Yang, 2020)

### 3.2 데이터수집과 분석방법

본 연구는 유사비교실험으로 수집된 설문데이터를 통계적 방법을 통해 분석하는 연구방법에 근거한다(Hong et al., 2020; Guegan et al., 2016). 이를 위해 시뮬레이션 사용전과 후의 무장애와 안전·피난설계 성능분석과 탐구경험을 수업참가학생 대상

으로 설문하여 수치적인 데이터를 수집한다.

시뮬레이션 사용 전과 후의 (1)무장애설계와 관련한 물리적 치수, 접근성, 장애인의 피난성능, (2)장애인의 신체범위와 불편함 이해, (3)안전·피난설계에 관련하여 물리적 공간배치와 구성, 피난출입구의 위치, (4)안전·피난설계에 관련하여 대피자의 심리적 압박함을 공감, (5)건축가로서의 책임의식을 7단계의 리커트 척도(7=매우 높다, 1=전혀 아니다)로 표기하였다.

본 연구의 참가학생은 총 50명으로 해당 수업에 2019학년도 21명, 2020학년도 29명의 학생들이 참여하였으며 평균연령은 24.5세이고 남녀비율은 남학생 30명, 여학생 20명이다. 참가학생들의 설문응답의 신뢰도 Cronbach's Alpha는 0.902로 매우 높은 수치를 보였다.

또한 인간행동 시뮬레이션과 휠체어를 탄 아바타를 통해 발견한 문제점과 수정부분을 기술하도록 하였다. 수집된 데이터는 사회과학 통계패키지인 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences)의 T-검정(T-Test)과 다변량 분산분석(Multivariate ANOVA, 이하 MANOVA)을 이용하여 인간행동 시뮬레이션의 사용전과 후에 따른 학생들의 설계성능 탐구수준을 비교 및 분석하였다. 본 연구의 데이터수집과 분석방법은 Figure 5와 같다.

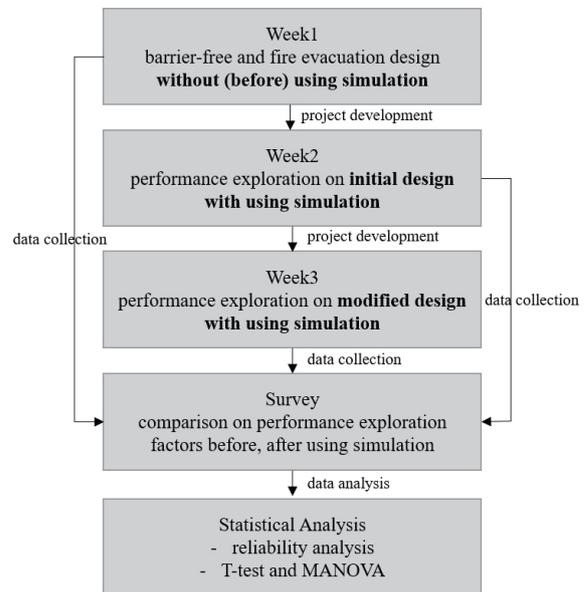


Figure 5. Procedure of data collection and analysis

### 3.3 BIM 기반의 인간행동 시뮬레이션 플랫폼

본 연구에서 사용한 인간행동 시뮬레이션 플랫폼은 상용게임 제작 플랫폼인 Unity 3D와 C# 스크립팅을 통해 제작되었다. 학생들은 Revit에서 모델링한 설계안을 fbx파일 포맷으로 저장 후 본 시뮬레이션 플랫폼으로 불러들여 시뮬레이션을 실행하였다.

무장애설계와 관련한 아바타는 휠체어 범위의 충돌과 마찰을 연산할 수 있으며, 경사도를 오를 때 제약이 있거나 넘어지며, 경

사를 내려올 때 속도가 증가한다.

또한 피난 시뮬레이션에서 가상사용자는 Unity 시스템에서 NavMesh라고 불리는 그리드 상에서 빠른 길찾기를 수행한다. 이 그리드 위에서 다른 가상사용자를 감지하고 회피하는 상호작용을 연산할 수 있으며 이런 행동모델은 A\* 알고리즘으로 불린다. A\* 알고리즘은 그리드 상에서 출발지와 도착지의 모든 꼭지점을 통과하는 경로를 연산하고, 최적의 경로를 추정하는 순위값(Heuristic Function)을 설정한다. 이를 토대로 인근 그리드의 점유를 탐색하여 잠정적인 길찾기 순위를 연산하고 순차대로 길찾기를 수행한다. 따라서 건축물과 같은 그리드를 영구적으로 점유하고 있는 물체뿐만 아니라 시간차로 인해 그리드에서 감지되지 않은 동적 물체까지 탐색의 범위에 넣을 수 있다. A\* 알고리즘에서 길찾기에 관한 우선순위와 가중치를 조정할 수 있으므로, 가상사용자가 서로 우회하는 회피와 같은 현상과 우회하지 않는 경우 발생하는 충돌과 병목현상이 시각화된다. 본 연구에서는 사용한 인간행동 모델은 친밀도와 양보 같은 이타적 행동을 연산할 수 없으며, A\* 알고리즘이 제공하는 회피, 충돌과 같은 물리적 상호작용을 중점적으로 수행한다.

```

void Update ()
{
    if (Emergency == true)
    {
        Run();
    }

    if (Emergency == false)
    {
        Walk();
    }
}

void Walk()
{
    vuser.speed = movSpeed;
    dist = Vector3.Distance(vuserTr.position, target [targetIndex].position);
    if (dist <= 1.2f) {
        if (preferLook == false && preferShoe == false)
        {
            ani.SetTrigger("ROOT");
        }
        if (preferLook == true && preferShoe == false)
        {
            ani.SetTrigger("LOOK");
        }
        if (preferShoe == true && preferLook == false)
        {
            ani.SetTrigger("SHOE");
        }
    }
    else {
        vuser.destination = target [targetIndex].position;
        ani.SetTrigger ("WALK");
        walkingDistance++;
    }
}

void Run()
{
    exit = GameObject.FindWithTag("EXIT").transform;
    vuser.speed = mov5Speed;
    movSpeed = 3.0f;
    distE = Vector3.Distance(vuserTr.position, exit.position);
    if (distE <= 3.0f)
    {
        ani.SetTrigger("ROOT");
        wait += Time.deltaTime;
    }
    else
    {
        vuser.destination = exit.position;
        ani.SetTrigger("RUN");
        walkingDistance++;
    }
}

```

Figure 6. Behavioral switch codes: "walk" behavior (top), "run" behavior (bottom) (Hong, 2020)

본 연구에서 가상사용자는 걷기와 달리기 행동단위를 가지며 "Emergency" 버튼이 활성화되었을 때 평상시의 걷기에서 달리기로 행동이 전환된다. 피난행동의 목적지는 시스템에서 출입구의 태그를 인식하여 자동으로 지정한 곳이거나 학생들이 임의로 지정한 물체이다. 가상사용자의 행동규칙 코드는 Figure 6와 같다.

## 4. 분석결과

### 4.1 통계적 분석

독립 T-검정(Independent T-Test)과 다변량 분산분석(MANOVA)을 이용한 통계적 분석에서 시뮬레이션을 사용하기 이전과 비교하여(M = 4.74, SD = 1.58), BIM 기반의 인간행동 시뮬레이션을 사용하였을 경우(M = 5.64, SD = 0.88), 장애인의 접근성과 피난성능과 관련한 경사로 등 물리적 치수에 관한 분석과 탐구에 관한 수치가 유의미하게 높았다(F(1, 12.32), p = 0.001). 이 결과를 바탕으로 '대안가설1: 무장애설계에 관련한 물리적 치수와 접근성, 장애인의 피난 성능분석을 돕는 효과가 있다.'를 수용한다.

또한 시뮬레이션을 사용하기 이전과 비교하여(M = 4.62, SD = 1.63) 사용이후(M = 5.60, SD = 0.90), 장애인의 신체활동범위와 불편함을 이해하는 수치가 유의미하게 높았으며(F(1, 13.86), p = 0.000), 이에 '대안가설2: 장애인의 신체활동범위와 불편함을 이해하는 효과가 있다.'를 수용한다.

Table 1. Comparison of barrier-free and fire evacuation analysis and examination scores before and after human behavior simulation

	M (SD)		Mean difference	p
	Before using simulation (n = 50)	After using simulation (n = 50)		
Examination on the physical properties and dimensions to support the disabled's accessibility and evacuation	4.74 [1.58]	5.64 [0.88]	-0.90	0.001
Understanding of the bodily capacity and handicap of the disabled	4.62 [1.63]	5.60 [0.90]	-0.98	0.000
Examination on the spatial layouts and locations of exits	4.36 [1.59]	5.56 [1.03]	-1.20	0.000
Understanding of evacuees' urgent behaviors	4.42 [1.52]	5.82 [0.92]	-1.40	0.000
Reminder of responsibility as an architect	5.20 [1.40]	6.38 [0.75]	-1.18	0.000

안전·피난설계 성능분석과 탐구에 관한 비교분석으로는 시뮬레이션을 사용하기 이전과 비교하여(M = 4.36, SD = 1.59), 사

용이후(M = 5.56, SD = 1.03), 수업참가학생들이 공간배치와 구성, 피난출입구의 위치를 탐구하는 수치가 유의미하게 높았다(F(1, 20.06), p = 0.000). 이에 '대안가설3: 안전·피난설계에 관련하여 물리적 공간배치와 구성, 피난 출입구의 위치 탐구를 돕는 효과가 있다.'를 수용한다.

시뮬레이션을 사용하기 이전과 비교하여(M = 4.42, SD = 1.52), 사용이후(M = 5.82, SD = 0.92)에서 참가학생들은 대피자 간의 병목현상과 충돌에 관해 높은 수치의 관찰을 수행하고, 다급한 행동에 관해 이해를 하였으며(F(1, 30.87), p = 0.000), 이를 근거로 '대안가설4: 안전·피난설계에 관련하여 대피자의 다급한 행동을 이해하는데 도움이 된다.'를 수용한다.

마지막으로, 시뮬레이션을 사용하기 이전과 비교하여(M = 5.20, SD = 1.40), 사용이후(M = 6.38, SD = 0.75), 수업참가학생들이 건축가로서의 책임감과 무장애과 안전·피난설계의 필요성을 체감하는 수치가 유의미하게 높았다(F(1, 27.56), p = 0.000). 이에 '대안가설5: 건축가로서의 책임의식을 높이는 효과가 있다.'를 수용한다. Table 1에서 앞서 기술한 통계적 분석결과를 요약하였다.

#### 4.2 인간행동 시뮬레이션 사용경험에 관한 설문결과

참가학생들은 서면인터뷰로 인간행동 시뮬레이션을 통해 무장애와 안전·피난설계 성능 중 어떤 새로운 장점과 결점을 발견했으며 그 부분이 어디인지 기술하였다.

무장애설계 성능분석과 탐구에 대한 답변으로는 새로운 형태의 경사로를 시도할 때, 각도와 최소한의 길이를 실험하였으며, 경사도와 계단높이로 인해 장애인이 접근하지 못하는 설계의 문제점, 기존 설계에서 복도폭으로 인해 장애인이 접근하지 못하는 구간을 발견하기도 하였다. 이외에도 대지경사도를 고려한 주 진입 경사로 조정과 탐구, 2층으로 진입시 층고의 문제 및 입구 부분의 단차이와 문턱, 외부공원 계단 등 장애요소의 발견 등이 이루어졌다. 그리고 학생들은 BIM 도구를 이용하여 경사도와 복도폭을 시뮬레이션과 평가 후 곧바로 조절하면서 성능을 재확인할 수 있었다고 기술하였다. 또, 휠체어의 회전반경을 고려한 경사로 설계가 가능했을 뿐 아니라, 다른 사용자들이 경사도와 계단, 복도를 사용하였을 경우 설계의도와는 다르게 장애인 위주의 설계프로그램이 작동하지 않는다는 점도 발견하였다. 그리고 법규를 기준으로 한 경사도가 불편할 수 있으며 무장애설계 요소가 실제 사용에서 충분하지 않을 수 있다고 기술하였다.

안전·피난설계 성능에 관해 새로 발견한 본인 설계의 장점과 결점으로는 동선분석과 평가에 관한 의견이 기술되었다. 예를 들어, 참가학생들은 건축물 양단에 피난출입구를 두어 피난동선을 분리하는 안이 효과적이었다고 기술하였으며, 본인의 설계안에서 대피자의 동선이 길고 우회가 많은 결점, 다층건물을 설계하였지

만 피난동선에는 문제가 없었고 원안이 적합하였다는 분석 등을 언급하였다. 또한 실외 발코니와 테라스가 피난동선을 분리하는데 효과적이었다는 발견과 원안의 코어가 피난시 활용되지 않는다는 점 등을 보고하였으며, 피난계단에 관해서는 학생들은 장식 요소로 만들어놓은 피난계단이 예상과 다르게 사용되었다는 점과 계획시 만든 피난계단이 실제로 하나만 사용가능하였다는 점을 발견하였다. 참가학생들은 시뮬레이션 이전 원안에서 문의 개수가 적거나 대피출입구의 이용빈도와 대피속도로 인해 병목현상이 발생하고, 결과적으로 피난성능이 낮았다는 분석내용을 기술하였다. 분석 이후에 BIM의 모델링 기능을 이용하여 대피문의 크기, 위치, 개수, 코어 및 복도를 조정하여 피난성능을 수치적으로 향상하였다고 보고하였다.

### 5. 결론 및 제언

본 연구에서는 설계교육에서 BIM 기반의 인간행동 시뮬레이션이 무장애와 안전·피난설계 성능분석과 실험에 미치는 효과를 비교실험을 통해 검증하였다.

결과를 요약하면 사용 전과 비교하여 사용 후에 참가학생들은 (1)장애인의 신체범위와 행동의 관점에서 경사로, 대지경사, 복도폭 등의 물리적 공간요소의 치수와 접근편의를 분석할 수 있었으며, (2)피난설계시 대피자의 숫자와 속도를 고려한 물리적 공간구성과 출입문의 위치, 기타 외부대피요소 등의 성능을 실증하였다. (3)사회적 약자인 장애인의 신체범위와 불편함을 이해 및 공감하고, (4)대피자의 충돌 등 피난행동을 이해할 수 있었으며, 이를 통해, (5)무장애와 안전·피난설계에 관한 필요성과 건축가로서의 책임감을 체감하였다. 이러한 효과는 통계적 분석을 통해 규명되었으며, 정성적 분석을 통해 그 이유를 유추해 볼 수 있었다.

선행연구를 통해 본 연구의 분석결과를 해석해보면 다음과 같다. 첫째, 인간행동 시뮬레이션에서 관찰가능한 가상사용자의 상호작용과 행동이 참가학생들의 정량적 성능분석 뿐만 아니라 장애인과 대피자의 행동에 공감하고, 책임감을 상기는 교육효과에 영향을 준 것으로 해석된다. Hong et al.(2016)은 설계과정에서 인간행동 시뮬레이션 사용의 효과는 가상사용자 간에 발생하는 예상하지 못한 상호작용을 직접 관찰하는데 있으며, 특히, 자율적인 사용자행동의 재현을 통해 막연한 추측보다는 사용자가 느낄 수 있는 불편함, 다급함, 위험요소 등 심리적 요인을 평가할 수 있다고 소개하였다. 이는 많은 군중의 행동을 물리적, 수학적 규칙에 의해 일괄적으로 연산하는 에이전트-기반 시뮬레이션에 비해 사용자 간의 미세한 상호행동을 관찰하기 용이하므로 감정과 심리기제에 관한 공감이 가능했다고 해석할 수 있다.

둘째, 인간행동 시뮬레이션은 물리적 충돌과 병목현상, 동선과

시간 등이 객관적 자료로 재현되고, 실험성능에 관한 개괄적 분석(Holistic Analytics)이 가능하므로, 이러한 인적요소와 관련한 명시적인 분석적 표현이 물리적 공간요소의 치수와 구성, 피난 출입구의 위치와 개수 등 무장애와 안전·피난설계요소에 관한 정량적 변수에 관한 수정을 용이하게 한 것으로 해석된다. Shin et al.(2017)와 Cheliotis(2020)을 비롯한 대부분의 에이전트-기반 시뮬레이션과 인간행동 시뮬레이션의 특성은 보행거리와 시간, 동선, 공간사용비율, 병목현상 등 분석적 표현과 인적요소의 수치적인 평가에 있다고 소개하고 있으며, 이러한 효과는 참가학생들의 서면 인터뷰에서 기존 연구와 유사한 내용으로 확인할 수 있었다.

셋째, 인간행동 시뮬레이션과 함께 사용된 BIM 도구는 건축모델의 물리적, 의미적 속성을 빠르게 연산할 수 있으며, 이를 통해 참가학생들의 효율적인 수정과 평가, 후속 성능 실험을 가능하게 한 것으로 해석된다. Wang et al.(2015)을 비롯한 기존연구에서 시뮬레이터를 이용하여 분석을 수행한 후, BIM 모델링을 이용하여 출입문과 공간구조를 곧 바로 수정하고 다시 성능분석을 수행하는 이른바 디자인프로세스(Cycles of Design Process)가 효율적이라는 보고가 있었다. 본 연구에서도 참가학생들은 BIM 도구를 이용하여 경사로의 높이와 길이, 벽과 외부공간의 구성, 피난출입구의 위치를 큰 노력과 시간 소모 없이 수정 가능하였으며, 수정후 시뮬레이션과 성능실험을 반복하여 수행한 것으로 파악되었다.

본 연구의 한계와 후속연구를 제언하면, 첫째, 본 연구는 실제 교과목에서 한 학기 동안 수행한 결과물과 참가학생들의 경험분석을 통해 이루어졌다. 따라서 현실에 응용가능한 타당성(Ecological Validity)은 높으나, 통제적인 실험환경에서 기대할 수 있는 내적 타당성(Internal Validity)이 낮을 수 있음을 밝힌다. 따라서 후속연구에서는 실험환경에서 시뮬레이션 사용 전후의 성능분석과 실험수치를 비교할 필요가 있다. 둘째, 본 실험에서 사용된 모델은 물리적 충돌과 회피, 병목현상 등을 연산할 수 있지만, 양보와 같은 이타적인 행동과 협업행동이 연산범위에 포함되지 않는다. 후속연구는 사회적 인자를 고려한 인간행동 시뮬레이션의 교육적 효과를 확인할 필요가 있다. 마지막으로, 스프링클러 등 소방설비 요소와 대피자의 행동을 동시에 연산하여, 장애인과 비장애인 대피자의 피난성능을 검증해 볼 필요가 있으며, Rieh et al.(2017)의 제언처럼 열과 환기 등 환경요소를 피난 시뮬레이션에 포함시키고 그 교육적 효과를 확인해 볼 필요가 있다.

이러한 한계에도 불구하고 본 연구는 BIM과 인간행동 시뮬레이션을 건축설계전공 학생들의 무장애와 안전·피난설계에 실제 응용하고 교육적 효과를 확인한 국내외에서 시도된 바 없는 연구이며, 관련 설계교육과 인간행동 시뮬레이션 모델 개발, 피난설계와 관련한 환경설비 시뮬레이션 연구에 기여할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 2017학년도 인하대학교 일반교수연구비 지원에 의하여 연구되었음을 밝힙니다 (INHA-56857-01). 또한, 2019, 2020학년도 1학기 인하대학교 건축학부 건축학전공에서 개설된 'BIM설계 및 시공'에 참여한 50명의 학생들에게 깊은 감사를 드립니다.

## References

- Amabile, T.(1996). *Creativity in Context*, Boulder, CO: Westview Press.
- Cha, H.(2020). *Course Project in BIM Design and Construction*, Department of Architecture, Inha University: Incheon, Korea.
- Cheliotis, K.(2020). An Agent-Based Model of Public Space Use, *Computers, Environment and Urban Systems*, 81, pp. 1-16.
- Cheng, M. Y., Tsai, H. C., Hsieh, W. S.(2009). Web-based Conceptual Cost Estimates for Construction Projects Using Evolutionary Fuzzy Neural Inference Model, *Automation in Construction*, 18(1), pp. 164-172.
- Chu, M. L., Parigi, P., Law, K., Latombe, J. C.(2014). Modeling Social Behaviors in an Evacuation Simulator. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 25(3-4), pp. 375-384.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K.(2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors 2nd Edition.*, Hoboken, NJ: Wiley & Sons, Inc.
- Fitch, J.M.(1976). Architectural Criticism: Trapped in Its Own Metaphysics, *Journal of Architectural Education*, 29(4), pp. 2-3.
- Guegan, J., S. Buisine, F. Mantelet., N. Maranzana.(2016). Avatar-mediated Creativity: When Embodying Inventors Makes Engineers More Creative, *Computers in Human Behavior* 61, pp. 165-175.
- Hong, S.(2020). *A Human Behavior Simulation Platform: Course Material in BIM Design and Construction*, Department of Architecture, Inha University: Incheon, Korea.
- Hong, S., Kim, H., Song, Y., Yoon, S., Lee, J.(2020). Effects of Human Behavior Simulation on Usability Factors of Social Sustainability in Architectural Design Education, *Sustainability*, 12(17), 7111: doi.org/10.3390/su12177111.

- Hong, S., Schaumann, D., Kalay, Y.E.(2016). Human Behavior Simulation in Architectural Design Projects: An Observational Study in an Academic Course, *Computer, Environment, and Urban Systems*, 60, pp. 1–11.
- Hong, S., Lee, Y.(2019). The Effects of Human Behavior Simulation on Architecture Major Students' Fire Egress Planning, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 17(1), pp. 125–132.
- Ji, Y.(2020). Course Project in BIM Design and Construction, Department of Architecture, Inha University: Incheon, Korea.
- Kalay, Y.E., Irazábal, C.E.(1995). *Virtual Users(VUsers): Auto-Animated Human-forms for Representation and Evaluation of Behavior in Designed Environment*, Technical Report, Berkeley: University of California.
- Kalay, Y.E.(2004). *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-aided Design*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Li, Z., Huang, H., Li, N., Chu, M.L., Law, K.(2020). An Agent-Based Simulator For Indoor Crowd Evacuation Considering Fire Impacts, *Automation in Construction*, 120, doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103395.
- Lee, J.(2019). Course Project in BIM Design and Construction, Department of Architecture, Inha University: Incheon, Korea.
- Pan, X., Han, C. S., Dauber, K., Law, K.H.(2006). Human and social behavior in computational modeling and analysis of egress, *Automation in Construction*, 15(4), pp. 448–461.
- Pelechano, N., Malkawi, A.(2008). Evacuation Simulation Models: Challenge in Modeling High Rise Building Evacuation with Cellular Automata Approaches, *Automation in Construction*, 17(4), pp. 377–385.
- Rieh, S., Lee, B., Oh, J., Schuetze, T., Álvarez, S., Lee, K., Park, J.(2017). Integration of Sustainability into Architectural Education at Accredited Korean Universities, *Sustainability*, 9(7), 1121, doi.org/10.3390/su9071121.
- Rittel, H.(1971). Some Principles for the Design of an Educational System for Design. *Journal of Architectural Education*, 26(1–2), pp. 16–27.
- Shi, J, Ren, A., Chen, C.(2009). Agent-based Evacuation Model of Large Public Buildings Under Fire Conditions, *Automation in Construction*, 18, pp. 338–347.
- Shin, S., Jeong, S., Lee, J., Hong, S., Jung, S.(2017). Pre-Occupancy Evaluation Based on User Behavior Prediction in 3D Virtual Simulation, *Automation in Construction*, 74, pp. 55–65.
- Solihin, W., Eastman, C.(2015). Classification of Rules for Automated BIM Rule Checking Development, *Automation in Construction*, 53, pp. 69–82.
- Sun, C., de Vries, B.(2013). Width: an Indispensable Factor in Selection of Emergency Exit Door, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(1), pp. 63–77
- Wang, S.H., Wang, W.C., Wang, K.C., Shih, S.Y.(2015). Applying Building Information Modeling to Support Fire Safety Management, *Automation in Construction*, 59, pp. 158–167.
- Yan, W., Culp, C., Graf, R.(2011). Integrating BIM and Gaming for Real-time Interactive Architectural Visualization, *Automation in Construction*, 20(4), pp. 446–458
- Yang, H.(2020). Course Project in BIM Design and Construction, Department of Architecture, Inha University: Incheon, Korea.
- Zeisel, J.(2006). *Inquiry by Design, Environment/Behavior/ Neuroscience in Architecture, Interiors, Landscape, and Planning*, New York, NY: Norton, W. W. & Company, Inc.