

# 공간의 의미를 연산하는 가상 사용자 모델이 건축설계 전공학생들의 인간행동 시뮬레이션 운용과 이해도에 미치는 효과에 관한 연구

## A Study on the Effects of a Virtual-Users Model Computing the Semantics of Spaces for the Operation and Understanding of Human Behavior Simulation of Architecture-Major Students

홍승완<sup>1)</sup>

Hong, Seung-Wan<sup>1)</sup>

Received September 4, 2016; Received September 19, 2016 / Accepted September 20, 2016

**ABSTRACT:** The previous studies argue that using the semantic properties of BIM objects is efficient for simulating the behaviors of autonomous, computer agents, called virtual-users, but such assumption is not proven via evidence-based research approaches. Hence, this present study aims to investigate the empirical effects of a human behavior simulation model equipped the semantics of spaces on the architecture-major students' operation and understanding of the simulation system, compared to a typical path-finding model. To achieve the aim, this study analyzed the survey and interview data, collected in the authentic design projects. The analysis indicates that (1) using a simulation model equipped the semantics of spaces helps the students' operation of the simulation, and (2) it also aids understanding the relationship between the variables of spaces and virtual-users ( $\alpha = 0.74$ ). In addition, the qualitative data inform that the advantages of the simulation model that computes the semantics of spaces stem in the automatic behavioral changes of massive numbers of virtual-users, and efficient detection and activation on the what-if situations. The analysis also reveals that the simulation model has shortcomings in orchestrating the complex data structure between the semantics properties of spaces and virtual-users under multi-sequential scenarios. The results of this study contribute to develop a future design system combining BIM with human behavior simulation.

**KEYWORDS:** Building Information Modeling (BIM), Semantic Properties of Spaces, Virtual-users, Operation and Understanding of Human Behavior Simulation, Architectural Design Education

**키워드:** 빌딩정보모델, 공간의 의미적 속성, 가상 사용자, 인간행동 시뮬레이션 운용 및 이해도, 건축설계교육

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

건물정보모델(Building Information Modeling, 이하 BIM)은 건축물을 구성하는 물리적 형태(forms)와 의미(semantics) 사이의 조합을 기반으로 한다. 예를 들어 특정 높이와 너비를 가진 정육면체가 벽, 바닥, 창 등의 건축적 의미를 가지며, 그 의미 사이의 관계를 연산하는 규칙에 따라 형태의 자동적인 조합과 수정이 이루어진다. 이러한 BIM의 의미기반 모델링(semantic-

embedded modeling)은 건축물의 효율적인 재현결과물 생산(representation and documentation)에 폭 넓게 사용되고 있으며, 건축물의 성능 분석 및 평가(analysis and evaluation)에도 점차 그 응용이 확대되고 있는 추세이다(Suh et al., 2014; Ahn et al., 2015).

특히, 최근 연구에서는 BIM의 의미기반 모델을 인간행동 시뮬레이션에 응용하려는 이론적인 모델이 제시되고 있다(Kalay et al., 2014). 인간행동 시뮬레이션은 물리적, 의미적 환경요소를 연산하는 가상 사용자(virtual-users)를 3차원 모델에 분포하여,

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

발생 가능한 실제 사용자의 행동을 분석, 평가하는 실험방법이다. 기존의 인간행동 시뮬레이션은 그리드에서 물리적 형태만을 연산하여 빠른 길 찾기를 구현하는 Cellular Automata 모델을 주로 사용하였지만, 최근에 제시되는 가상 사용자 모델은 공간과 사용자의 의미적, 사회적 속성을 연산하는 지능을 근간으로 하고 있다.

예를 들어, Cellular Automata 모델에서는 줄서기, 병목현상 등의 물리적인 인간행동이 생성되지만, 공간과 사용자의 의미적, 사회적 속성을 연산하는 모델에서는 가상 사용자가 다른 가상 사용자와의 친밀도, 소속감 등을 연산하여 양보와 기다림과 같은 사회적인 인간행동을 재현한다(Pan et al., 2006; Chu et al., 2014).

공간의 의미적 속성을 연산하는 인간행동 시뮬레이션 모델은 그 기술적 타당성의 근거를 건축가가 공간의 의미를 중점으로 설계를 진행한다는 점에 두고 있다. 이 모델에서 건축가는 물리적인 건축환경을 설계하고 그 환경에 의미를 부여하면, 가상의 사용자가 그 물리적, 의미적 속성을 동시에 연산하여 행동을 재현한다. 이러한 공간의 의미를 통하여 시뮬레이션을 수행하는 방식은 건축가의 효율적인 분석과 실험에서 그 효과를 기대할 수 있으며, 특히 건축설계교육측면에서 학생들의 시뮬레이션 이해도와 운용성을 높일 수 있다(Hong, Schaumann & Kalay, 2016). 하지만, 아직 국내외로 이러한 모델의 효과와 한계를 실증한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구는 인간행동 시뮬레이션 기법을 응용한 건축설계과목에서 공간의 의미적 속성을 연산하는 가상 사용자 모델을 실제로 사용하여, 이 모델이 학생들의 인간행동 시뮬레이션 사용에 관한 이해도와 운용에 미치는 효과와 한계를 분석하고 이 모델의 추후 개발방향을 제안하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 공간의 의미에 관한 속성을 연산하는 가상 사용자 모델과 공간의 물리적인 속성만을 연산하는 모델을 프로젝트에서 각각 응용해 보는 경험 비교법을 채택하였다. 학생들로 하여금 그 사용경험을 수치적으로 기입하게 한 후, 응답에 관한 측정 지표 간의 신뢰도 분석(reliability analysis)을 통하여 공간의 의미에 관한 속성을 연산하는 인간행동 시뮬레이션 모델의 효과와 한계를 분석하였다. 또한 회고 인터뷰(retrospective interview) 등의 질적 연구방법(qualitative analysis)을 사용하여 실제 건축설계과목에서 공간의 의미에 반응하는 가상 사용자 모델이 학생들의 시뮬레이션 운용 및 이해도에 어떠한 장, 단점을 가지는지 분석하였다. 본 연구방법의 범위 및 한계는 실험참가자가 건축학전공 학생이므로 그 프로젝트의 내용과 전문성이 건축설계실무자와 차이가 있을 수 있으며, 실제 수업을 기반으로 하므로 실험 참가자의 수와 조건이 통계적인 실험비교방법을 적용하기에는 한계가 있다. 하지만 공간의 의미적 속성을 연산하는 인

간행동 시뮬레이션 모델은 그 이론적인 가치에도 불구하고 실제 설계 프로젝트에 적용된 사례는 국내외로 전무하다는 점과 디자인 컴퓨테이션 연구에서 본 연구가 채택한 정성적 분석방법이 도구사용에 따른 설계자의 사고 기제를 분석하는 효과적인 방법이라는 점에서 본 연구의 독창성과 그 분석방법의 타당성이 있다고 여겨진다(Hong et al., 2016; Hong, Schaumann & Kalay, 2016).

## 2. 문헌연구

### 2.1 공간의 의미와 인간행동 시뮬레이션의 관계

환경 심리학 분야(environmental psychology)에서 ‘공간’은 물리적인 요소(forms)와 기능(functions)을 가진 환경 혹은 영역으로 정의할 수 있다(Hall, 1966; Canter, 1977). 이러한 공간의 물리적인 요소들은 개인 혹은 사회구성원들의 경험과 합의를 통해 부여된 의미(semantics)를 가지고 있다.

특히, Barker(1978)는 공간의 물리적, 의미적 속성에 따라 사용자들이 고정된 행동패턴을 보인다는 사실을 발견하였으며, 이러한 환경과 사용자의 관계를 ‘행동의 사전설정(behavior setting)’이라는 용어로 정의하였다. 예를 들어, ‘교실’이라는 의미를 가진 물리적인 환경에서 사용자들은 ‘교실’의 의미에 맞는 행동을 하며, 그 공간의 물리적인 환경(위치, 크기 등)이 변해도 사용자들은 교육과 학습에 관련한 필수적인 행동을 수행한다. BIM과 인간행동 시뮬레이션 연구의 관점에서 ‘행동의 사전설정’은 공간의 의미적 속성 지정 및 변경을 통해 대규모의 가상 사용자의 행동을 생성, 제어할 수 있는 한 방법으로서 가치가 있다.

Gibson (1979)의 ‘지원성 이론(affordance)’ 역시 환경요소의 의미와 사용자 행동의 관계를 다루고 있는데, 지원성 이론은 특히 사용자가 어떻게 신체적인 인지체계(perception)를 통해 환경요소를 탐구하고 그 잠재적인 의미를 발견하는 기제에 초점을 두고 있다. 특히, 지원성 이론은 BIM 모델과 같이 벽, 창문 등 독립적인 건물객체의 의미(semantics of independent building objects)와 물리적인 형상을 가지고 있을 경우, 가상 사용자의 자율적인 행동을 생성하는 연산모델로 응용되었다(Choi, Kim & Lee, 2010; Lee, 2011).

공간 및 공간을 구성하는 객체의 의미는 사용자의 행동에 영향을 미치는 중요한 요소이지만, 현재 인간행동 시뮬레이션 모델은 주로 길 찾기를 위한 물리적인 충돌의 연산(Pan et al., 2006), 가상 사용자 간의 사회적인 관계 연산(Chu et al., 2014), 연속적인 목적을 조율하기 위한 시스템 개발(Simeone et al., 2013)에 초점을 두고 있다. 이러한 모델은 방재계획 및 건축 및 도시환경의 사용자 동선분석 물리적인 기능평가 위주로 활용되고 있지만, 건축가가 공간의 의미위주로 설계와 평가를 진행한다는 점이 간과되고 있고, 이에 따라 연산모델의 활용가치와 편의

가 제한되고 있는 실정이다. BIM의 기반이 되는 건축적 의미를 가진 객체는 인간행동 시뮬레이션에 응용될 수 있지만, 하나의 독립적인 객체가 모여 환경과 영역(synthesized environments)을 이룰 경우 시뮬레이션 적용에 한계가 있다 (Kalay et al., 2014). 이러한 BIM 시스템의 한계를 개선하기 위하여 인간행동 시뮬레이션 이론적인 모델들이 제안되었으며, 2.2에서 관련연구를 고찰하였다.

## 2.2 BIM을 응용한 인간행동 시뮬레이션의 이론적 모델

Kalay et al. (2014)은 BIM객체를 크기, 높이 등의 물리적 속성과 벽, 바닥 등의 의미적 속성으로 나누고, 가상의 사용자 역할 시 키, 걸음걸이 등의 생리적 속성과 직업 등의 사회, 문화적인 속성으로 분류하여, 가상의 사용자가 BIM 객체로 구성된 모델에 분포되었을 때 자동적으로 행동을 생성, 재현하는 모델을 제시하였다. 이는 시뮬레이션 사용의 효율을 높이기 위하여 BIM 객체와 가상 사용자에 관한 자료구조를 형태(form), 기능(function), 사용(use)으로 구분한 모델이다(Fig. 1).

Simeone et al.(2013)은 BIM을 공간 및 건축객체를 포함한 ‘건물연관요소(Building-related entities)’로 분류하고, 사용자와 사용자의 행위를 ‘사용과정 연관요소(Process-related entities)’로 분류한 다음 온톨로지 소프트웨어를 이용하여 각 요소들의 의미관계를 설정하는 시스템을 제안하였다. 이 모델은 건축가가 인간행동을 촉발하는 건축객체의 의미관계를 직접 입력할 수 있으며, 이를 통해 일회성의 길 찾기뿐만 아니라 일련의 시나리오를 효율적으로 재현할 수 있는 장점이 있다. 예를 들어, 의사의 일과 중 동선을 검토할 경우에는, ‘회의실’, ‘수술실’, ‘일반병실’ 등의 공간의 의미적 속성을 지정하여, 가상 사용자가 한 공간의 관한 방문목적을 달성하면, 스케줄과 지정된 공간의 의미적 속성에 따라 자동으로 다음 목적지로 이동하게 할 수 있다. 하지만, 이 연구는 그 가능성만 제시하였을 뿐 Kalay et al. (2014)의 연구와 마찬가지로 속성간의 구체적인 연산관계와 이 모델의 실효성은 제시하지 않았다.

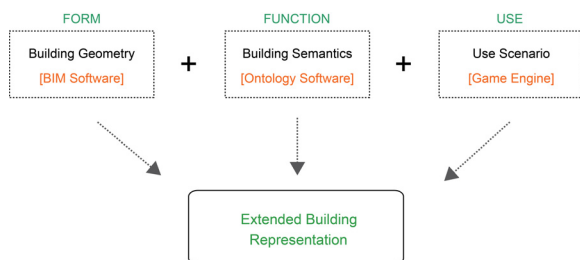


Figure 1. A form, function, use model for human behavior simulation (Kalay et al., 2014, p.332)

또한 Choi, Kim & Lee(2010)은 BIM의 형태적, 의미적 속성을 사용하여 가상 사용자의 자율적인 행동을 생성하는 연산모델을 제안하였다. 이 모델에서 가상의 사용자는 인지범위를 통하여 공간의 연결과 인접 등을 판단하고, 건축적인 객체(예를 들어, 의자와 벽 등)의 의미에 따라 발생 가능한 행동을 생성한다. 하지만, 다른 연구와 마찬가지로 이 연구도 독립적인 건물객체의 의미(semantics of independent building objects)를 기반으로 인간행동을 생성, 재현하는 이론적인 가능성 소개에 중점을 두고 있다.

선례연구들은 요약하자면 BIM의 형태적, 의미적 속성을 인간 행동 시뮬레이션에 적용하려는 시도와 이론적인 모델은 제시되었지만, 건축설계에서 이 모델을 통해 실제로 기대할 수 있는 구체적인 효과와 실례는 분석되지 않았다. 이론상으로는 건축설계교육에서 공간의 의미적 속성에 따라 가상의 사용자의 행동을 자동으로 생성하는 시뮬레이션 모델의 효과를 추론해 볼 수 있다. 우선, Rittel(1971)은 학생들이 특정상황(contexts)에서 건축물의 물리적인 속성(physical properties)과 건축물의 성능(performances)이 어떠한 관계를 가지는가를 스스로 실험할 수 있어야 한다고 주장하였고, 건축설계교육에서 그 방법의 훈련이 필요하다고 주장하였다. Rittel의 주장에 근거하여 Kalay(2004)는 시뮬레이션 기법이 사례분석(extrapolation) 및 모크업(mock-up)에 비하여 상황, 물리적인 속성, 건축물의 성능의 관계를 체계적으로 실험할 수 있는 효율적인 방법이라고 소개하였다.

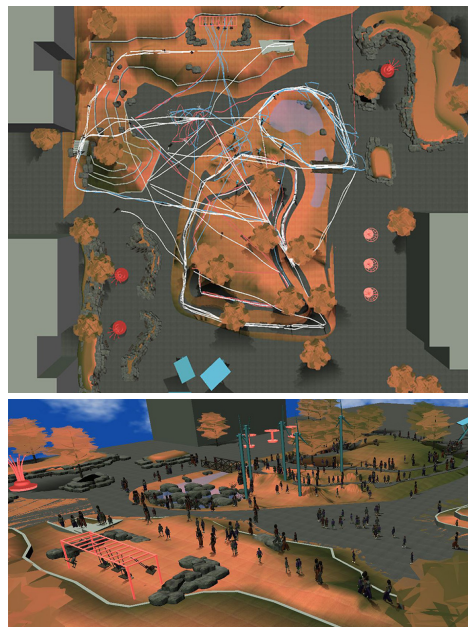


Figure 2. An example of the applied human behavior simulation for empirical design education (Hong, Schaumann & Kalay, 2016, p.9)

Hong, Schaumann & Kalay(2016)는 인간행동 시뮬레이션의 사용이 학생들의 설계목적의 재고와 설계 결과물 개선에 효과가 있다는 사실을 실증하였지만(Fig. 2), 프로그래밍과 변수관계를 이해하는 과정이 학생들의 실험에 장애요소로 작용하고 있다고 기술하였다.

이를 해결하기 위한 한 방법으로 공간의 의미적 속성에 자동으로 반응하는 가상의 사용자 모델의 가능성을 추정해 볼 수 있다. 이 모델을 통하여 학생들은 시뮬레이션에 필요한 변수 지정 및 조작의 복잡한 과정을 줄일 수 있으며, 설계목적과 결과물의 성능을 비교분석하는 실험을 효율적으로 진행할 수 있다. 하지만, 이러한 이론적인 효과가 실증을 통해 규명된 예는 국내외로 전무하다. 이에 본 연구는 공간의 의미적 속성에 자동으로 반응하는 가상의 사용자 모델이 학생들의 실제 설계프로젝트에 어떻게 운용되는지 분석하여 그 실효를 고찰하고자 하며, 다음 장에서 본 연구의 목적을 구체적으로 명시하였다.

### 3. 연구목적

앞서 고찰한 본 연구의 이론적 개연성과 필요성을 바탕으로, 다음과 같이 세부적인 연구목표를 설정한다.

- (1) 공간의 의미적 속성에 자동적으로 반응하는 가상의 사용자 모델은 물리적 충돌만을 연산하는 기존의 가상의 사용자 모델의 사용에 비해 학생들의 시뮬레이션 운용과 이해에 어느 정도 도움이 되는가?
- (2) 공간의 의미적 속성에 자동적으로 반응하는 가상의 사용자 모델이 학생들의 실험과 시뮬레이션 운용에 주는 장, 단점은 무엇인가?

상기한 연구목적을 달성하기 위해 본 연구는 신뢰도 분석과 정성적 분석방법을 채택하였으며, 구체적인 내용과 과정을 다음 장에서 기술하였다.

### 4. 연구방법

#### 4.1 데이터 수집 및 분석방법

본 연구의 데이터 수집은 한국 인천소재 I대학교 건축학과에서 개설된 ‘디지털 디자인 응용’ 과목에서 20명의 고학년 학생(3, 4, 5학년 학생)들의 설문과 서면 인터뷰를 통하여 이루어 졌다. 본 과목에서 참여 학생들은 3-4명이 팀을 이루어 인간행동 시뮬레이션 기법을 이용하여 건축설계 프로젝트를 수행하였으며, 총 8개의 프로젝트가 기말과제로 제출되었다. 학생들은 총 15주의 수업 중 첫 6주는 시뮬레이션을 통해 분석하고자 하는

가설과 이를 실험하기 위한 디지털 모델을 제작하는 과정을 학습하였고, 이후, 6주간의 수업에 걸쳐 3차원 게임 및 시뮬레이션 플랫폼 ‘Unity 3D’과 코딩언어인 C#의 사용법을 학습하였다. 이후 학생들은 팀별로 분석하고자 하는 인간행동을 구체적으로 코딩하고, 시뮬레이션 결과 값에 따라 디지털 모델을 수정하는 과정을 수행하였다.

학생들의 경험을 비교분석하기 위하여, 인간행동 시뮬레이션을 이용한 설계과정 중 첫 3주간은 (1) 물리적인 충돌과 길 찾기 알고리즘만을 이용하는 모델을 이용하여 프로젝트를 수행하였고, 이후 3주는 형태의 물리적인 속성연산 뿐만 아니라, (2) 공간의 의미적 속성과 가상 사용자의 행동 사이의 관계를 코딩한 후, 이를 기반으로 프로젝트를 수행하였다. 이후, (1) 학생들은 공간의 의미적 속성에 반응하는 가상 사용자 모델이 기존의 모델에 비하여 자신들의 시뮬레이션 운용과 이해에 준 효과를 7단계의 리커트 척도에 기입하였다. 또한 수치적인 결과의 분석을 위하여, (2) 공간의 의미적 속성에 반응하는 가상 사용자 모델의 장, 단점을 기술하게 하였다. 이런 장, 단점을 보다 심도있게 분석하기 위하여 (3) 가상의 사용자의 행동을 연산하기 위하여 설치한 ‘공간’은 무엇인지, 그 공간은 사용자의 어떤 속성을 감지하고 시뮬레이션을 조율하는지 그 용도를 기술하게 하였다.

본 연구에서 수집한 수치적 데이터는 사회과학 통계 패키지인 SPSS의 신뢰도 분석(reliability analysis)을 통하여 실험대상자의 답변 및 측정지표 사이의 일관성과 검토하였으며, 또한 공간의 의미적 속성에 관한 용도와 해당 시뮬레이션 모델 사용의 장단점에 관한 응답내용을 분석하여 공통적인 항목이 있는지 검토하였다. 본 연구에서 학생들은 한 학기동안 진행된 실제 설계프로젝트에 인간행동 시뮬레이션 모델을 직접 적용하고 실험을 진행하였으므로, 변수통제를 기본으로 하는 실험연구에 비해 현실응용에 관한 타당성(ecological validity)과 외적 타당성(external validity)이 확보되었다고 여겨진다. 이는 교육심리학과 디자인 연구에서 주로 사용되는 타당한 방법이기도 하다(Hong & Lee, 2014; Hong, Schaumann & Kalay, 2016).

#### 4.2 공간의 의미적 속성을 연산하는 인간행동 시뮬레이션 모델

본 연구에서 사용된 인간행동 시뮬레이션 모델에서, 공간의 의미적 속성과 가상의 사용자 사이의 기본적인 연산구조는 다음과 같다. 우선, 학생들은 디지털 모델링 도구로 작성한 물리적인 형태를 제작하고, 이 물리적인 형태 위에 보이지 않고(not rendered), 물리적인 충돌이 없는(not collided) 공간을 설치하고, 의미적 속성을 문자(text)를 통해 입력할 수 있다(Fig. 3).

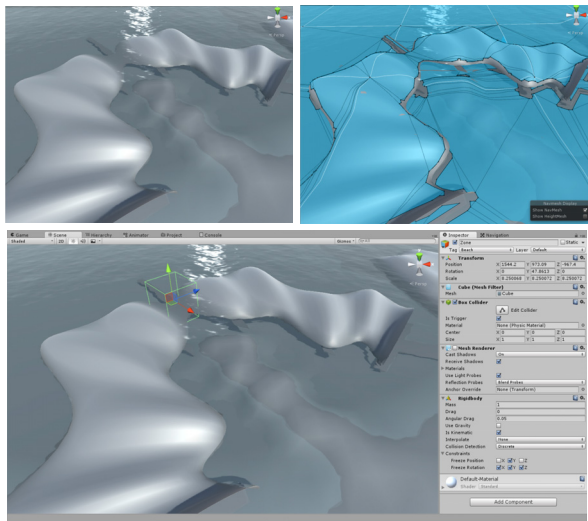


Figure 3. Semantic properties of spaces on the layers of physical forms of digital models

```

void OnTriggerEnter(Collider coll){
    if (coll.GetComponent<Collider> ().tag == "Beach")
    {
        Swimming();
    }
}

void OnTriggerExit(Collider coll){
    if (coll.GetComponent<Collider> ().tag == "Beach")
    {
        Walking();
    }
}

void Walking () {
    if (dist <= 1.5)
    {
        vuser.Stop ();
        ani.SetTrigger ("Root");
    }
    else {
        vuser.destination = target[targetIndex].position;
        ani.SetTrigger ("Walk");
    }
}

void Swimming () {
    if (dist <= 1.0f)
    {
        vuser.Stop ();
        ani.SetTrigger ("Swim");
    }
    else {
        vuser.destination = target[targetIndex].position;
        ani.SetTrigger ("Swim");
    }
}

```

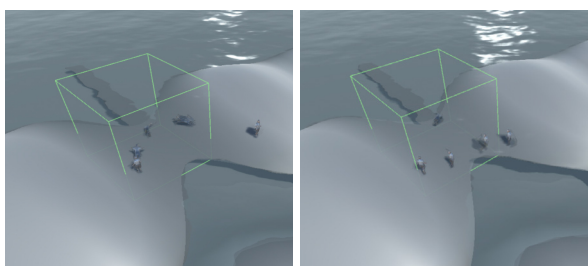


Figure 4. An example of the virtual-users' behavioral changes responding to the semantic properties of spaces

## 5. 결과분석

### 5.1 신뢰도 분석

공간의 의미적 속성을 사용한 인간행동 시뮬레이션 모델을 사용하였을 경우, 공간의 의미적 속성을 고려하지 않은 모델의 사용에 비해 어느 정도 시뮬레이션 운용을 쉽고 효율적으로 운용하였는가에 대한 질문에 관한 학생들의 응답 값은 평균 2.06 (SD = 0.87)으로, (1) 공간의 의미적 속성을 연산하는 가상 사용자 모델사용에서 학생들은 보다 쉽고 효율적으로 시뮬레이션을 운용하였다고 판단할 수 있다 (1 = 매우 긍정적, 7 = 매우 부정적). 또한 공간의 의미적 속성에 반응하는 인간행동 시뮬레이션 모델을 사용하였을 경우, 그렇지 않은 모델의 사용에 비해 어느 정도 시뮬레이션 방식의 이해(측정변수의 설정, 환경과 사용자 사이의 규칙의 설정 등)에 도움이 되었는가에 대한 학생들의 응답 값은 평균 2.11 (SD = 0.90)으로, (2) 공간의 의미적 속성을 연산하는 가상 사용자 모델은 학생들이 시뮬레이션 방식을 이해하는데 도움이 되었다고 판단할 수 있다(1 = 매우 도움이 되었다, 7 = 매우 방해가 되었다). 두 항목의 응답 값에 관한 신뢰도 분석에서 내적 일치도(Cronbach's Alpha)는 0.74 ( $\alpha > 0.6$ )로 두 측정항목 간의 답변은 일관성을 가지고 있다고 판단할 수 있다.

### 5.2 정성적 해석

공간의 의미적 속성에 반응하여 행동을 자동으로 생성하는 가상의 사용자 모델이 참가학생들의 실험과 시뮬레이션 운용에 주는 장, 단점을 설문한 내용을 요약하면 다음과 같다. 이는 앞서 실행한 수치적 분석에 관한 정성적인 해석내용에 해당된다.

첫째, 공통적인 답변으로 참가학생들은 공간의 의미적 속성의 지정을 통하여 개별적인 프로그래밍 없이 다수의 가상 사용자(massive numbers of virtual-users)의 행동을 자동으로 변경할 수 있었다고 기술하였으며, 이를 통해 공간의 의미변화에 따른 사용자의 동선, 밀도, 보행시간 등을 분석할 수 있었다고 보고하였다.

예를 들어, 다리형태의 조류 관망대를 설계한 팀의 경우에는 '다리'라는 의미를 가진 공간에서 '관망대'라는 의미를 가진 큐브형태의 공간에 가상 사용자가 진입할 경우, 새들이 가시권 내에 들어오면 가상의 사용자들은 자동으로 새들을 '관찰'하는 행동으로 전환하고, 이런 가상 사용자의 행동변화(contexts)에 따라 다리와 전망대의 형태, 치수, 개수 등의 물리적인 속성(physical properties)과 보행자의 수, 보행동선, 병목현상(performances)이 어떠한 관계를 가지는가를 정량적으로 실험, 분석할 수 있었다 (Fig. 5).

둘째, 참가학생들은 만약의 '상황(events)'이 발생할 경우, 공간의 의미적 속성이 자동으로 변경되도록 코딩하였고, 이를 통

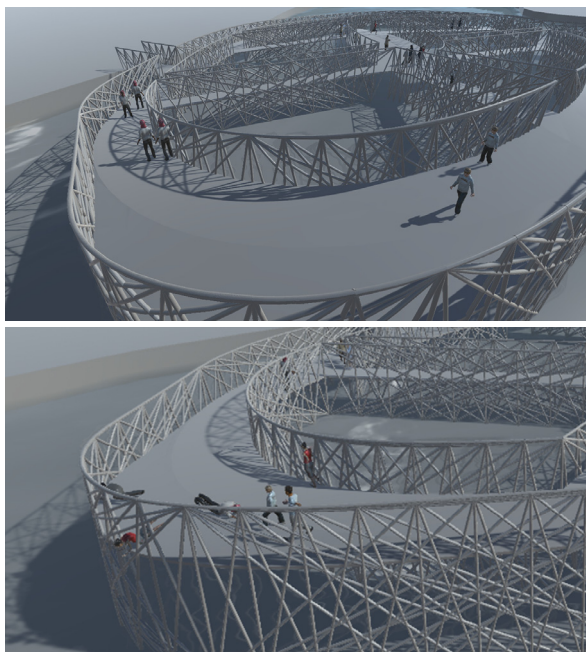


Figure 5. An example of automatic behavioral changes of the massive-numbers of virtual-users

해 가상의 사용자의 행동변화를 관찰할 수 있었다. 예를 들어, 비정형 기법을 이용하여 기차역을 설계한 팀의 경우에는 ‘도착 지점’이라는 공간에 ‘기차’라는 의미적 속성을 가진 물체가 진입하면, 기차도착이라는 상황이 가상의 사용자에게 전달된다. 이런 상황발생에 따라 공연관람 등의 ‘기다리는’ 행동을 하는 가상의 사용자는 행동의 목적을 변경하여 도착지점이라는 공간으로 이동하게 되며, 학생들은 이 기차도착 상황에서 보행자의 밀도 변화, 병목현상, 보행시간 등을 측정하였다(Fig. 6). 인터뷰에서 참가학생들은 공간을 통해 상황을 감지하고, 의미적 속성을 변경하여 다수의 가상 사용자의 행동을 실험하는 방식이 공간, 상황, 가상 사용자 사이의 변수관계를 코딩하고, 시뮬레이션 운동을 이해하는데 도움이 되었다고 기술하였다.

상기한 긍정적 효과이외에도 참가학생들은 공간의 의미적 속성에 반응하는 가상 사용자 모델을 설계프로젝트에 적용할 경우에 자신들이 경험한 불편한 점과 이 모델의 한계를 다음과 같이 기술하였다.

첫째, ‘상황’에 따라 공간의 의미적 속성이 연속적으로 수차례 변화할 경우에서 참가학생들은 세부공간들을 개별적으로 선택하고 가상 사용자와의 관계를 코딩하는 과정에 많은 어려움을 겪었다고 기술하였다. 따라서, 본 연구에서 사용된 시뮬레이션 모델에서 공간의 의미적 속성만을 이용하여 연속적으로 변화하는 장기간의 시나리오를 시뮬레이션하기에는 한계가 있었다.

둘째, 참가학생들은 지정된 공간의 의미적 속성의 범위 내에서는 현실에서 관찰이 가능한 다양한 사용자의 행동의 생성이

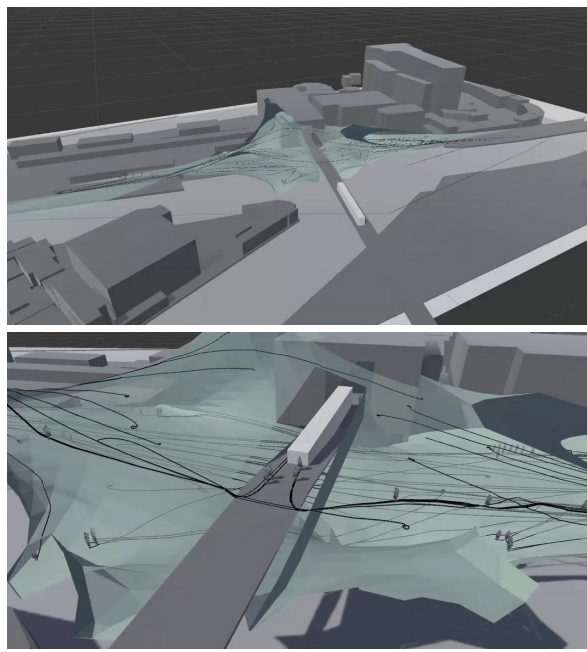


Figure 6. An example of detecting and informing events using the installation of spaces

필요하다고 기술하였으며, 시뮬레이션 운동을 위해 공간의 의미적 속성뿐만 아니라 다수의 가상 사용자의 의미적 속성을 일괄적으로 지정, 변경하는 기능이 필요하다고 보고하였다.

## 6. 결론 및 제언

본 연구는 공간의 의미적 속성을 연산하는 인간행동 시뮬레이션 모델의 사용이 시뮬레이션 운동과 실험이해도에 미치는 효과와 장단점을 건축학 전공학생들의 설문과 인터뷰를 통해 분석하였다. 이를 위해 학생들은 인간행동 시뮬레이션 모델을 이용하여 실제 설계프로젝트를 수행하였다.

연구결과를 요약하면 학생들은 리커트 척도를 이용한 설문에서 공간의 의미적 속성을 사용한 인간행동 시뮬레이션 모델을 사용하였을 경우, 공간의 의미적 속성을 고려하지 않은 모델의 사용에 비해 시뮬레이션을 쉽게 운용하고, 시뮬레이션 방식과 실험수행을 이해하는데 도움이 되었다고 응답하였고, 신뢰도 분석을 통하여 학생들의 응답에 관한 내적 일관성을 확인하였다.

또한 이 모델을 사용하였을 경우 시뮬레이션 운동과 이해에 도움이 되는 장점으로는 공간의 의미적 속성의 지정을 통하여 개별적인 프로그래밍 없이 다수의 가상 사용자의 행동을 변경할 수 있는 점과 공간의 의미적 속성을 통하여 ‘상황’을 자동적으로 가상의 사용자에게 전달하고 행동변화를 일으킬 수 있다는 점 등이 있었다. 사용상 단점으로는 공간의 의미적 속성이 시나리오에 따라 수차례 변화할 경우에 발생하는 코딩의 어려움, 공

간의 의미적 속성에 따라 확일적으로 생성되는 사용자의 행동 등으로 분석되었다.

본 연구의 한계와 이를 보완하기 위한 후속연구를 다음과 같이 제언한다. 우선, 본 연구에서는 BIM의 객체에 적용되는 의미적 분류 속성(예를 들어, 벽, 바닥, 창문 등의 패밀리)이 인간행동 시뮬레이션 플랫폼에 자동으로 입력되지 않았다. 이에 참가학생들은 BIM에서 사용되는 독립적 객체의 속성보다는 영역위주의 공간의 속성을 통해 시뮬레이션을 운용하였다. 따라서, 후속연구에서는 BIM 객체의 의미적 속성을 자동으로 시뮬레이션에 불러오는 모델을 사용하여, 건축가 및 학생들이 공간과 객체에 관한 의미적 속성의 위계관계를 어떻게 설정하고, 시뮬레이션에 적용하는가를 분석할 필요가 있다. 또한 기술적인 관점에서는 독립적인 공간의 의미적 속성과 가상의 사용자 행동 사이의 규칙을 총괄적으로 조율할 수 있는 기능(coordination)의 후속개발도 필요하다.

상기한 연구의 한계에도 불구하고, 본 연구는 이론상 추정되었던 공간의 의미적 속성을 연산하는 인간행동 시뮬레이션 모델의 실효와 적용범위를 규명하였다. 이는 국내외에서 시도되지 않은 연구이며, 본 연구의 결과는 BIM과 같이 객체의 의미적 속성을 기반으로 하는 시스템을 인간행동 시뮬레이션과 같은 분석 및 평가도구와의 융합에서 요구되는 구체적인 목표와 개발 방향 설정에 기반이 될 수 있다.

## 감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1C1B2011274).

이 논문은 2016년도 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음(INHA-53346-1).

## References

Ahn, J., Lim, J., Oh, M., & Lee, J. (2015). Evaluation and Selection of Building Materials based on Life Cycle Cost Prediction, *Journal of KIBIM*, Vol.5, No.2, pp. 34-45.

Barker, R. G. (1978). *Habitats, Environments, and Human Behavior: Studies in Ecological Psychology and Eco-Behavioral Science*. San Francisco, CA: Jossey-Bass Publishers, San Francisco, California.

Canter, D. (1977). *Psychology of Place*. Architectural Press.

Choi, J-W., Kim, S-A., & Lee, Y-G. (2010). Developing a Building Performance Simulation Environment based

on Self-Animated Virtual Characters. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 26, No. 4, pp. 83-90.

Chu, M. L., Parigi, P., Law, K., & Latombe, J. C. (2014). SAFEgress: A Flexible Platform to Study the Effect of Human and Social Behaviors on Egress Performance. 2014 Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, pp. 35-42.

Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach To Visual Perception*. Psychology Press.

Hall, E. T. (1966). *Hidden Dimension*. New York: Doubleday.

Hong, S-W., Schaumann, D., Kalay, Y. E. (2016). Human behavior simulation in architectural design project: An observational study in an academic course. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 60, pp.1-11.

Hong, S-W., Jeong, Y-W., Kalay, Y. E., Jung, S-W., & Lee, J-W. (2016). Enablers and Barriers of the Multi-User Virtual Environment for Exploratory Creativity in Architectural Design Collaboration. *CoDesign: International Journal of CoCreation in Design and Arts*, Vol.12, No.3, pp.151-170.

Hong, S-W., & Lee, Y-G. (2014). A Comparative Study on the Effects of BIM and Conventional 3D Modeler on the Idea Generation in Architectural Design Process. *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol.17 No.5, pp. 623-630.

Kalay, Y. E. (2004). *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-aided Design*. Cambridge, MA: MIT Press.

Kalay, Y. E., Schaumann, D., Hong, S-W., & Simeone, D. (2014). Beyond BIM: Next-Generation Building Information Modeling to Support Form, Function, and Use of Buildings. In Karen Kensek., & Douglas Noble (Eds.), *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice* (pp. 324-336), Wiley & Sons, Inc.

Lee, Y-G. (2011). Basic Study on the Development of Ontologybased Space Information Model Concerning Affordances. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 27, No. 10, pp. 59-66.

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*, Vol 15, No. 4, pp. 448-461.

Rittel, H. (1971). Some Principles for the Design of an Educational System for Design. *Journal of Architectural*

Education, Vol 25, No. 12, pp. 16–27.

Simeone, D., Kalay, Y. E., Schaumann, D., & Hong, S–W. (2013), Modeling and Simulating Use Processes in Buildings, 2013 Proceedings of Education and Research in Com–puted Aided Architectural Design in Europe, pp. 59–66.

Suh, H–S., Lee, S–H., Lim, J–S., & Choi, C–H. (2014), BIM–Based Integrated Module for Apartment Environmental Performance and Energy Analysis, Journal of KIBIM, Vol.4 No.2, pp. 1–9.