

A Basic Study on the Development of Adaptive Voxelization Technology for the Advanced Human Behavior Simulation in the Atypical Architectural Building

비정형 건축물을 대상으로 한 인간행동 시뮬레이션의 고도화를 위한 적응형 복셀화 기술 개발에 대한 기초연구

Yun Gil Lee¹

이윤길¹

¹ Professor, Department of Architecture, Hoseo University, Republic of Korea, yglee@hoseo.edu

Abstract: In the field of architecture, the importance of human behavior simulation in the design stage is being reconsidered with the advent of atypical architectural spaces. This is because it is difficult to predict human behavior in the designed atypical space due to the morphological complexity of the atypical architectural space. Therefore, a number of studies are being conducted to increase the agent's response behavior-related intelligence. However, since most of the research is targeting a stereotyped object or space, and the agent's behavior is also limitedly treated, there is a limit to its use in the design and design process. This is a study to advance the voxelization technology of architectural geometry as a technology development for the automatic calculation of the possibility of triggering user actions in buildings of complex shapes and architectural spaces. In this study, with the concept of adaptive voxelization, a method for subdividing the necessary parts of an atypical physical space and giving the voxel characteristics related to human behavior is presented. To this end, we developed a prototype technology that can calculate some strategies and check their possibilities through theories and case studies. Also, by applying the prototype technology to the designed atypical space, the possibility of extracting the possibility of a more detailed behavior inducement was examined.

Keywords: Voxelization, Affordance Detection, Automatic Extraction, Physical Space

요약: 건축 분야에서 비정형 건축 공간의 등장하여 점차 유행하고 있는데 이를 통하여 설계 단계에서의 인간 행동 시뮬레이션의 중요성이 재조명되고 있다. 이와 같은 이유는 비정형 건축 공간의 형태적인 복잡성으로 인해 건축가에 의하여 설계된 비정형 공간에서 인간의 행동을 예측하기 어렵기 때문이다. 비정형 공간에서의 인간행동을 예측하기 위하여 에이전트의 반응 행동 관련 지능을 높이기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 대부분의 연구가 정형화된 사물이나 공간을 대상으로 하고 있고, 에이전트의 행동 역시 제한적으로 다루어지기 때문에 건축 디자인 및 디자인 과정에서 활용하는데 한계가 있다. 본 연구는 복잡한 형태의 건축물에서 사용자 행동의 유발 가능성을 자동으로 재현하기 위한 기술개발이다. 특히, 건축적 기하정보의 복셀화 기술을 고도화하기 위한것에 중점을 두고 있다. 즉, 본 연구에서는 적응형 복셀화 개념으로 비정형 물리적 공간의 필요한 부분을 세분화하여 인간의 행동과 관련된 복셀 특성을 부여하는 방법을 제시하였다. 이를 위해

Received: October 03, 2022; 1st Review Result: November 17, 2022; 2nd Review Result: December 16, 2022
Accepted: January 31, 2023

이론과 사례 연구를 통해 몇 가지 전략을 제시하고 그 가능성을 확인할 수 있는 프로토타입 기술을 개발했습니다. 또한 설계된 비정형 공간에 프로토타입 기술을 적용하여 보다 세밀한 행동유도 가능성을 추출할 수 있는 가능성을 살펴보았다.

핵심어: 복셀화, 행위유발 가능성 탐지, 자동 추출, 물리적 공간

1. 서론

공간에서의 물리적인 상황은 인간의 행동을 규정한다. 그렇기 때문에 물리적인 상황은 인간의 행동을 유발시키는 정보를 가지고 있으며 이를 *affordance*(행위 유발 가능성, 이후 *어포던스*)라는 용어로 정의하고 있다. 물리적인 상황에서 행위 유발 가능성을 추출할 수 있다면 로봇자율행동, 인간행동 시뮬레이션 등의 연구에 매우 유용하다. 건축분야에서는 비정형 건축공간의 등장으로 설계단계에서 인간행동 시뮬레이션의 중요성이 재조명되고 있다. 이는 비정형 건축공간의 형태적인 특징으로 인하여 디자인된 비정형 공간에서의 인간행동을 예측하기 어렵기 때문이다. 성공적인 인간행동 시뮬레이션을 위해서는 인간형상의 에이전트가 물리적인 공간 상황을 충분히 이해하고 이에 적절한 대응행동을 해야 한다. 따라서 에이전트의 대응 행동 관련된 지능을 높이기 위한 다수의 연구가 진행되고 있는 상황이다. 그러나 대부분의 연구는 정형화된 물체나 공간을 대상으로 하고 있고 에이전트의 행동 또한 제한적으로 다루어지고 있기 때문에 설계디자인 과정에서 활용하기에는 한계가 있다[1][2].

본 연구는 다양한 형태의 건축물 및 건축공간에 대한 보다 정교한 인간행동 시뮬레이션기술을 실현하기 위한 기반기술연구의 일환이다. 즉, 복잡한 형태의 건축물 및 건축공간의 사용자 행동유발 가능성(*Action Possibilities*)의 자동산출을 위한 기반 기술개발로써 물체(*Geometry*)의 복셀화(*Voxelization*)기술을 고도화하는 연구이다. 비정형 형태를 포함한 다양한 건축형태를 복셀화하되 복셀들 간의 위치, 연결 관계, 복셀들이 만들어내는 형태적인 의미, 대상 복셀과 사용자 행동의 관계 등을 고려하여 사용자 행동유발 가능성을 자동으로 추출하는 기술이다.

본 연구는 컴퓨터 공학에서 이루어지는 *Affordance Detection* 기술과 관련이 있으나 제품 디자인보다는 건축공간을 대상으로 한다는 것에 차이가 있다[3]. 또한, 건축공간 내의 사용자의 행동특성을 고려하는 연구로써 내재한 행위유발 가능성(*Perceived Action Possibilities*)까지 자동산출을 대상으로 한다는 것에 차별점이 있다[4]. 본 연구에서는 이를 위하여 이론적인 기반 및 기술적인 기반을 만드는 기초연구의 성격이다. 즉, 이번 연구를 통하여 이론 및 사례조사를 통하여 몇 가지 전략을 산출하고 이의 가능성을 확인할 수 있는 프로토타입 기술을 개발하였다. 또한 프로토타입 기술을 디자인된 비정형 공간에 적용하여 보다 세분화된 행위유발 가능성 추출의 가능성을 검토하였다.

2. 연구의 배경

2.1 다양한 형태의 건축물 및 건축공간에 대한 사회적 요구 증대

사회가 다변화되고 다양한 건축물의 형태에 대한 사회적인 요구 또한 증대되고 있다. 소위 비정형 건축물에 대한 사회적인 요구는 증대되고 있는데 전 세계 주요 도시에서

비정형 건축물을 흔히 볼 수 있다[5-7]. [그림 1]은 비정형 건축물의 예를 보여주고 있다. 다양한 형태의 건축물에 대한 사회적인 요구에 따라 다양한 형태의 건축물을 디자인하는 건축가의 능력에 대한 사회적인 요구가 높아지고 있다. 이에 따라 건축학교육을 담당하는 대부분 대학에서도 비정형 건축물을 디자인하는 능력을 배양하기 위한 교육이 이루어지고 있다. 비정형 구조를 설계하기 위해서는 Rhino와 같은 도구를 사용하여 곡선형 3D 조형물을 자유롭게 재현할 수 있는 능력을 배양해야 한다. 이와 더불어 디자인된 비정형 형태의 공간이 구조적으로나 기능적으로 적합한지 검토할 필요가 있다.

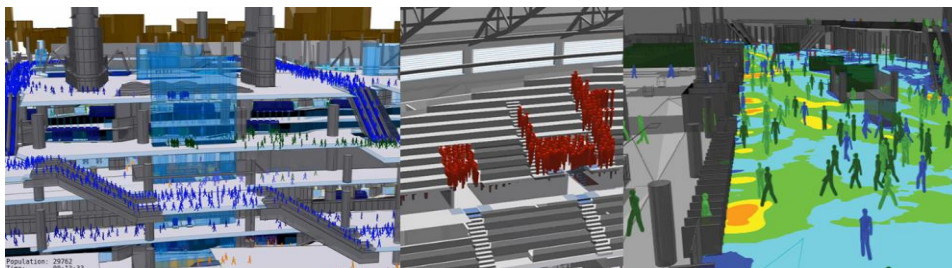


[그림 1] 비정형 건축공간의 예들(DDP, Galaxy SOHO, National Museum of Qatar)[5-7]

[Fig. 1] Examples of Atypical Architecture (DDP, Galaxy SOHO, National Museum of Qatar)[5-7]

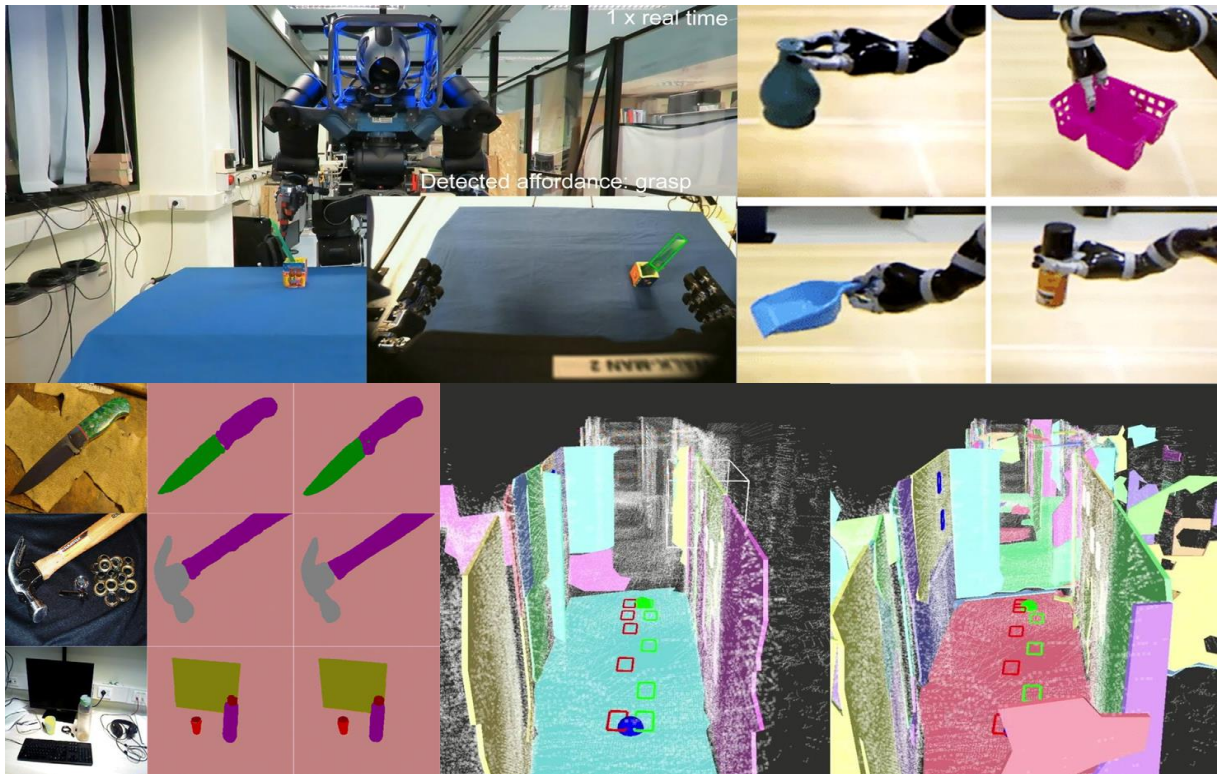
2.2 보다 복잡한 물리적 상황에서의 인간행동 시뮬레이션기술의 필요

건축가는 건축 설계 과정을 통해 설계 대안을 반복적으로 재현하고 수없이 검토하여 최적의 건축 결과를 도출한다. 법률, 경험, 고객의 요청 등 설계된 대안을 검토하는 기준은 다양하다. 건물의 가치를 평가하는 가장 중요한 요소는 인적 요소이다[8][9]. 사용자의 안전과 편의성의 향상이 건축 설계의 궁극적인 목표이기 때문이다. 최근 몇 년 동안 인간행동 시뮬레이션은 설계에서 인간 요소를 조사하는 데 점점 더 많이 사용되고 있다. 주로 위급상황에서 탈출 등을 시뮬레이션하기 위한 것이 목적이었다[10]. [그림 2]는 기존의 탈출 등을 위한 인간행동 시뮬레이션기술의 예를 보여주고 있다. 그러나 공간의 형상이 다양하고 복잡해지면서 시뮬레이션기술의 고도화가 필요하게 되었다. 즉, 단순한 길 찾기 정도의 기존 시뮬레이션기술로서는 판단할 수 없는 복잡한 건축적인 형태가 생산되고 이에 대한 사용자 측면의 성능을 검토할 필요성이 증대되었다. 공간의 사용자 행동을 규정하기 때문에 기존에 생각하지 못한 새로운 사용자 행동이 발생할 가능성이 크다[9][10].



[그림 2] 전통적인 형태의 건물에 대한 길 찾기 중심의 인간행동 시뮬레이션[11]

[Fig. 2] Pathfinding-oriented Human Behavior Simulation for Traditional Buildings[11]



[그림 3] 컴퓨터공학 및 로봇공학에서 행위 유발 가능성 탐지관련 연구의 예들[12-14]
 [Fig. 3] Examples of Research Related to Affordance Detection in Computer Engineering and Robotics[12-14]

2.3 정교한 인간행동 시뮬레이션을 위하여 행동유발 가능성에 대한 고려 필요

건축물과 건축공간의 형태가 다양하고 복잡해지면서 이를 사용하는 사용자들에 대한 고려가 더 중요하게 되었다. 전통적으로 거주 후 평가(Post Occupancy Evaluation)라는 방식으로 건축물의 거주 성능을 평가하곤 했다. 그러나 이와 같은 방법은 건설 후 벌어지는 문제 대한 대응이 불가능하므로 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 사전 평가방식이 많이 사용되고 있다. 이와 같은 시뮬레이션은 공간을 사용하는 거주자의 편의 또는 안전등에 대한 정보를 설계자에게 제공할 수 있어서 유익하다. 현재 많이 사용되는 인간행동 시뮬레이션기술의 기반은 물리 엔진을 기반으로 한 길 찾기를 중심으로 하고 있다. 그러나 복잡한 공간에서의 사용자 행동에 대한 보다 정교한 시뮬레이션을 위해서는 단순히 물리 엔진과 길 찾기를 통한 시뮬레이션 방법은 한계가 있다. 왜냐하면, 기존의 시뮬레이션 방식은 물리 공간의 다양한 형태에 대한 행동유발 가능성에 대하여 충분히 고려하지 못하기 때문이다.

2.4 건축공간을 대상으로 한 물리정보의 행위 유발 가능성 탐지 기술의 부재

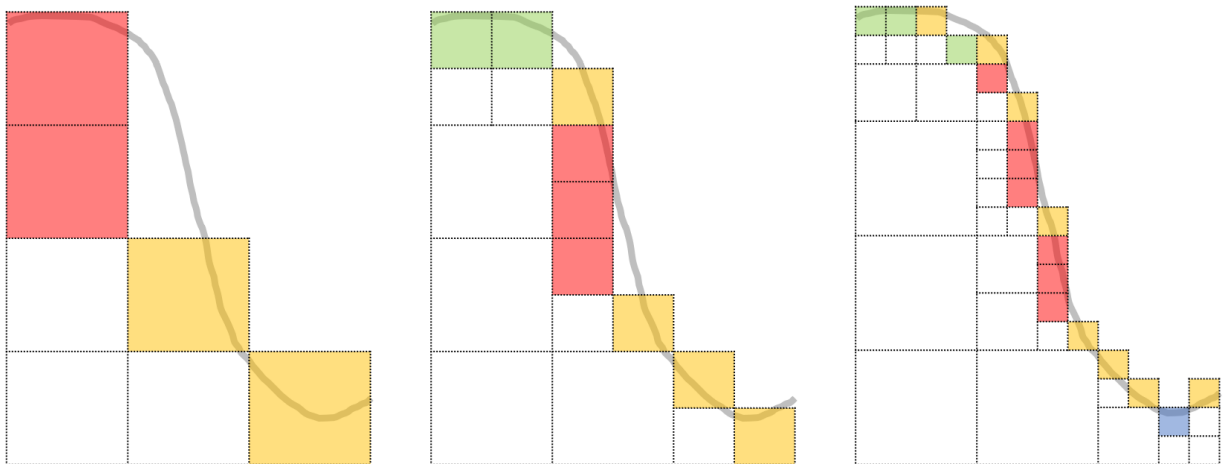
물체가 가지는 행동유발 가능성을 Gibson은 "어포던스(affordance)"라는 용어를 사용하여 이 기능을 설명했다. 즉, 의자는 '앉을 수 있는 것'이라는 의미를 통해 사용자가 앉도록 유도할 수 있다. 각각의 가상공간과 객체에 객체의 의미적 특성을 부여하면 그 특성에 따라 캐릭터의 행동이 자동으로 결정될 수 있다[15]. 물체의 행동유발 가능성을 추출하는

연구는 컴퓨터 공학이나 로봇공학에서 많이 진행되고 있다. 즉, 로봇이나 인간형상의 에이전트 자율행동을 지원하기 위한 기술이다. [그림 3]은 컴퓨터공학과 로봇공학에서 행위 유발 가능성 탐지관련 연구의 예를 보여주고 있다. 그러나 이와 같은 연구가 제품을 중심으로 이루어지고 있다. 즉, 건축공간을 대상으로 한 연구는 찾아보기 어렵다. 다양한 건축공간의 행동유발 가능성을 자동으로 산출하여 이를 인간행동 시뮬레이션에 적용하는 기술을 부재한다고 할 수 있다.

3. 행동유발 가능성 탐지를 위한 복셀화

3.1 비정형 건축공간의 복셀화를 위한 전략

인간 행동 시뮬레이션을 성공적으로 수행하기 위해서는 디자인된 물리 공간에 적절하게 대응하는 사람 형상의 에이전트를 개발하는 것이 우선시된다. 단순한 벽, 슬래브, 기둥 그리고 일반적인 가구에서 예상되는 사용자 행동은 한정적이다. 따라서 이를 예측하거나 시뮬레이션 하는 것은 어렵지 않다. 그러나 다양한 형태 특히 비정형 형태의 건축물이나 물리 공간에서의 사용자의 반응행동을 예측하는 것은 매우 어렵다.



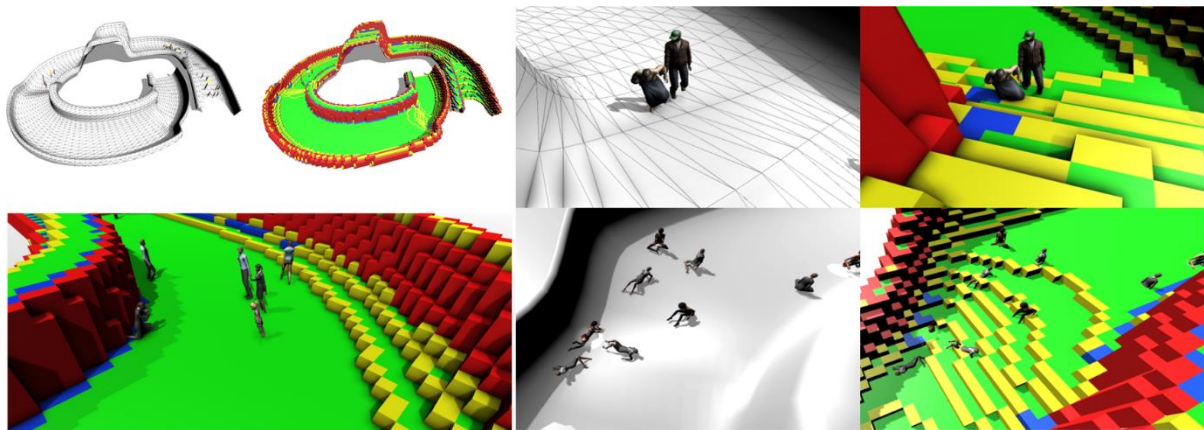
[그림 4] 복셀의 세분화를 통한 곡면의 행동유발 가능성 확대 전략

[Fig. 4] Strategies to Expand the Possibility of Inducing Affordance of Curved Surfaces Through Subdivision of Voxels

이와 같은 어려움을 해결하기 위하여 본 연구에서는 복셀화를 이용한 방법을 개발하려고 한다. 즉, 물리 공간을 단위 복셀로 쪼개고 복셀의 위치 및 관계를 통하여 각 복셀의 성격 정하고 이에 따른 반응행동을 예측하는 것이다. 특히, 본 연구에서는 복셀을 세분화하는 기술을 적용하여 더욱 세밀한 행동유발 가능성을 예측하는 기술개발에 관하여 연구하였다.

[그림 4]는 본 연구의 사용자 행동유발 가능성 자동 산출을 위한 전략을 도식화한 것이다. 좌에서 우로 갈수록 복잡한 부분의 단위 복셀의 크기가 작아지는 것을 볼 수 있다. 또한, 복셀이 작아질수록 다양한 색으로 표현되는 것을 볼 수 있다. 복셀의 색은 복셀이 가진 행위 유발 가능성의 특징을 나타내는 것으로 복셀이 세분될수록 다양한 행동유발 가능성을 예측할 수 있다.

이와 같은 복셀화를 통한 행위 유발 가능성 자동 산출 기술을 개발하기 위해서는 세 가지 기술을 조합해야한다. 첫째, 비정형 곡면에서 단순한 부분과 복잡한 부분을 판별해야한다. 모든 곡면을 세분화하면 더 정확한 정보를 산출할 수 있지만 처리속도에 문제가 생기기 때문에 복셀을 세분화할 영역을 추출하는 것이 우선시 된다. 둘째, 추출된 영역을 세분화는 기술이다. 컴퓨터 그래픽 기술에서 관련 연구가 많이 진행되었기 때문에 본 연구에서는 건축디자인도구에 적용시키는 것을 목표로 하였다. 셋째, 세분화된 복셀의 특성을 지정하는 것이다. 본 연구에서는 기본적인 행동에 대한 행위 유발 성격에 대해서만 지정하였다. 본 연구에서는 이를 적응형 복셀화(Adaptive Voxelization) 기술로 명명하여 개발이 진행되었다.



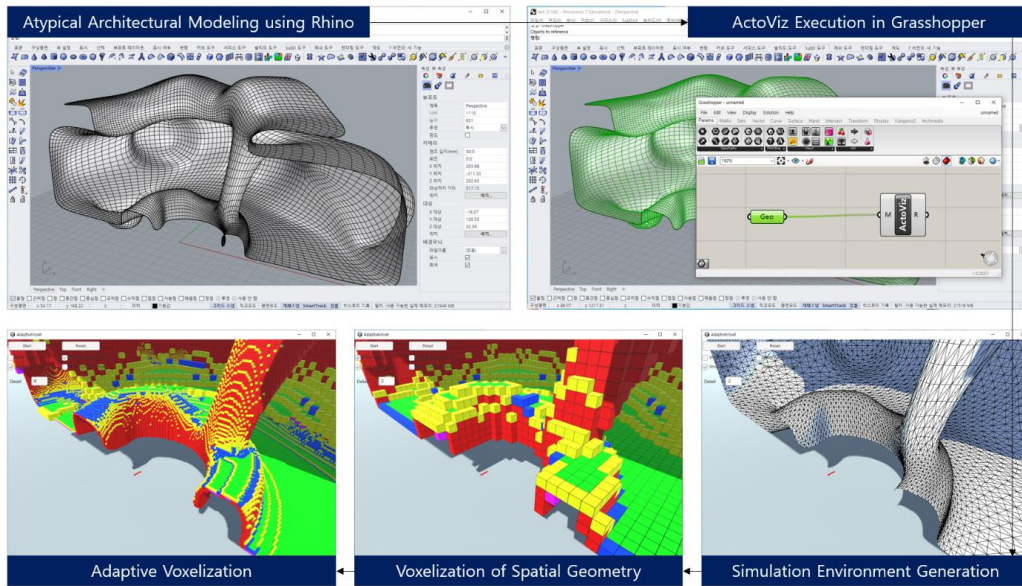
[그림 5] ActoViz에서 복셀화된 비정형 건축에 대응하는 인간행동 시뮬레이션[15]

[Fig. 5] Human Behavior Simulation Corresponding to Voxelized Atypical Architecture in ActoViz[15]

3.2 비정형 건축공간의 적응형 복셀화 기술 개발

앞서 논의한 비정형 건축공간의 복셀화 전략을 기반으로 복셀화 기술을 개발하였다. 개발된 기술은 대표적인 비정형 건축디자인 도구 Rhino와 Grasshopper를 기반으로 개발되었다. 즉 Grasshopper에서 제공되는 SDK(Software Development Kit)를 이용하여 복셀화 함수를 개발하고 Grasshopper에서 실행시키는 방법이다. 본 연구에서는 비정형 건축모델에 대한 인간행동 시뮬레이션 모듈인 ActoViz에 적응형 복셀화 기술을 탑재하였다. 이는 적응형 복셀화 기술이 에이전트의 대응행동을 고도화하기 위한 기반이 되기 때문이다. [그림 5]는 기 개발된 ActoViz에서 비정형 건축공간을 대상으로 에이전트들의 반응행동을 보여주고 있다. 복셀화된 비정형 건축공간이 에이전트 대응행동을 위한 기반정보를 제공하는 방식이다. 단, 기존의 방식은 일정한 크기의 복셀을 기반으로 개발되었기 때문에 비정형 건축공간의 세부적인 형상에 대응하여 행동하기에는 한계가 있었다[16].

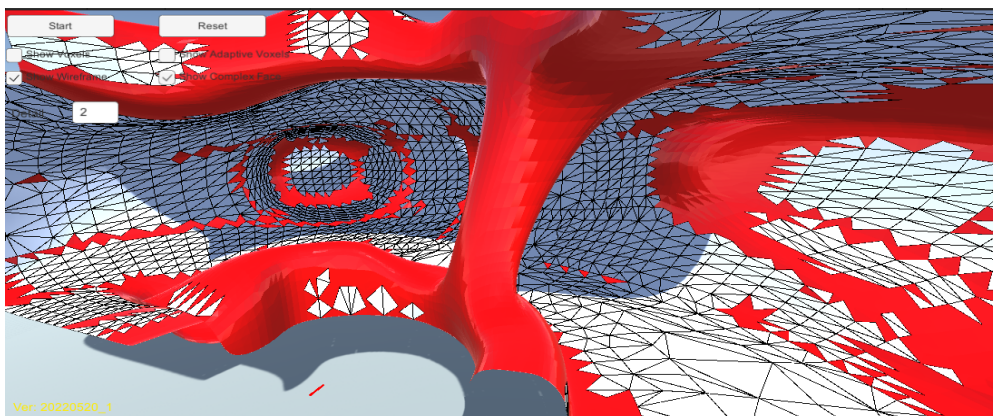
[그림 6]은 비정형 건축모델링 도구인 Rhino와 Grasshopper를 기반으로 모델링된 비정형 건축모델의 적응형 복셀화 과정을 보여주고 있다. 기 개발된 ActoViz의 실행방식에 적응형 복셀화 과정을 추가한 형태이다. 적응형 복셀화 과정을 거치면 비정형건축공간의 상대적으로 복잡한 부분은 더 세분화된 복셀로 구성되고 그렇지 않은 부분은 상대적으로 덜 세분된 복셀로 구성된다. 이를 통하여 비정형 곡면의 형상을 특성을 보다 상세하게 정의하는 동시에 어느 정도의 연산속도의 효율을 확보할 수 있다.



[그림 6] 비정형 건축모델링과 ActoViz를 활용한 Adaptive Voxelization의 과정

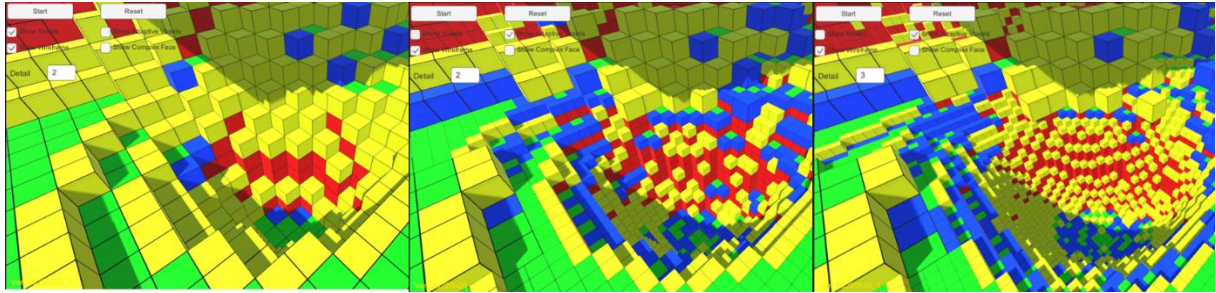
[Fig. 6] Process of Adaptive Voxelization Using Atypical Architectural Modeling and ActoViz

[그림 7]은 적응형 복셀화의 첫 번째 과정을 보여주고 있다. 즉 복셀 세분화의 대상이 되는 페이스(face)를 추출하는 것이다. 이는 페이스와 페이스의 관계를 통해서 계산된다. 즉, 페이스와 주변 페이스의 곡률을 계산하여 평평하지 않은 페이스 그룹을 추출하는 방식이다. [그림 7]과 같이 붉은 색으로 표시된 페이스들이 적응형 복셀화의 대상이 되는 페이스이다. [그림 8]은 적응형 복셀화의 두 번째와 세번째 과정을 보여주고 있다. 즉, 적응형 복셀화의 대상인된 페이스를 세분화하고 세분화된 복셀의 특성을 지정한 것이다. [그림 8]을 보면 좌에서 우로 복셀의 세분화가 가중되는 것을 볼 수 있다. 세분된 복셀은 복셀의 특성이 다시 지정된다. 이에 따라서 복셀의 색체가 달라진다. 복셀의 색체를 통하여 예상할 수 있는 것은 이에 대한 대응행동도 달라질 수 있다는 것이다. 그림9는 세분화된 복셀에 가능한 대응행동을 도식적으로 표현한 것이다. 그림의 붉은색 선은 비정형 곡면을 나타낸다. 좌에서 우로 1분할, 2분할, 4분할됨에 따라 비정형 곡면에 다양한 정보들이 구축되며 이를 통해 보다 세밀한 행동의 재현이 가능하게 된다.



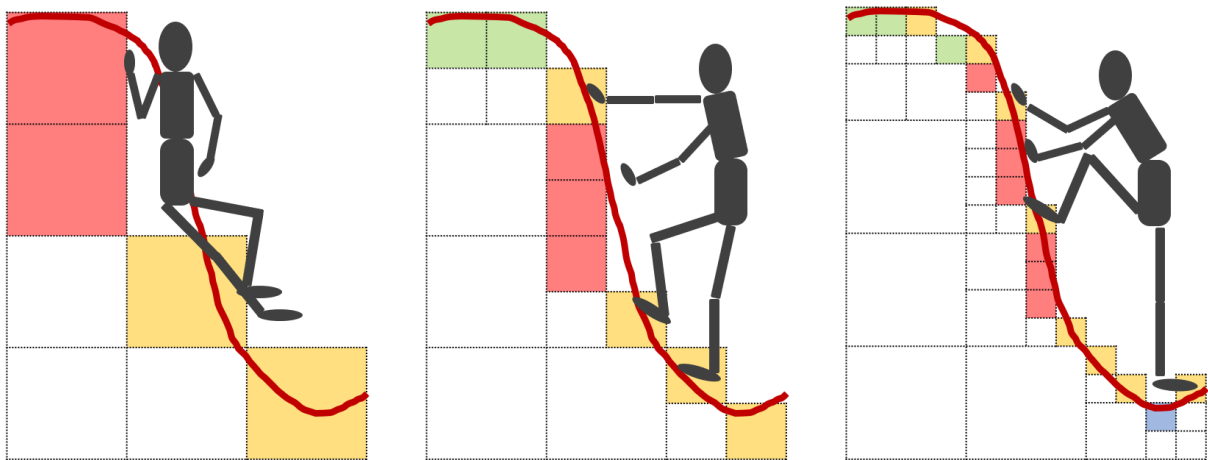
[그림 7] 복셀 세분화의 대상이 되는 페이스의 추출

[Fig. 7] Extraction of Faces that are Subject to Voxel Subdivision



[그림 8] 단계별 복셀 세분화 결과(좌에서 우로 1분할→2분할 →4분할 세분화)

[Fig. 8] Results of Voxel Subdivision By Steps (from left to right, 1 Division→ 2 Division → 4 Division)



[그림 9] 단계별 복셀 세분화에 따른 에이전트의 대응행동 차이

[Fig. 9] Differences in Agent Response Behavior According to Voxel Subdivision by Steps

4. 결론

본 연구는 다양한 형태의 건축물 및 건축공간에 대한 보다 정교한 인간행동 시뮬레이션기술을 실현하기 위한 기반 기술 연구의 일환이다. 즉, 복잡한 형태의 건축물 및 건축공간의 사용자 행동유발 가능성의 자동산출을 위한 기술개발로써 물체의 복셀화기술을 고도화하는 연구이다. 본 연구에서는 적응형 복셀화라는 개념으로 비정형 물리공간을 필요한 부분을 세분화하고 복셀의 성격을 부여하는 방법에 대하여 제시하고 있다. 세분화된 복셀은 그렇지 않은 복셀보다 보다 정교한 에이전트의 대응행동을 가능하게 할 수 있다는 것을 도식적으로 확인하였다. 즉, 제시한 기술을 기반으로 기존의 비정형 건축공간의 한정된 상황과 동작 하에서 이루어졌던 인간행동 시뮬레이션의 고도화가 가능하다. 그러나 본 연구는 기초연구의 성격으로 향후 다음과 같은 몇 가지 후속연구가 진행될 필요가 있다. 첫째, 세분화된 복셀의 대응 행동적 성격을 세분화하는 연구가 필요시 된다. 복셀화의 이유는 에이전트의 대응행동을 고도화하는 것이기 때문에 세분화된 복셀들이 어떠한 에이전트의 행동에 대응되는지 정의할 필요가 있다. 이는 이론분석, 조사 및 실험연구를 통하여 진행될 가능성이 높다. 즉, 비정형 형태에 대한 인간의 반응행동에 대한 실험연구를 통하여 비정형 물리공간의 형태와 인간행동 사이의 관련성을 분석하고 체계화하는 동시에 이와 관련된 이론적인 연구를 진행한다. 둘째,

세분화된 복셀에 적절하게 대응 행동하는 에이전트 기술의 고도화가 필요시 된다. 지금까지 개발된 에이전트 기술은 세분화된 복셀들에 대응하지 못한다. 세분화된 복셀에 대응할 수 있는 보다 정교한 에이전트 행동에 대한 모델링과 기술적인 대응이 필요하다. Inverse kinematics과 같은 기술의 활용이 요구된다. 셋째, 복셀화된 비정형 공간의 형태적인 패턴을 인식하여 에이전트의 반응행동으로 재현되는 기술개발이 필요시 된다. 세분화된 복셀들의 대응행동과 관계된 패턴을 인지하여 시뮬레이션에 반영할 수 있다면 보다 효율적인 인간행동 시뮬레이션이 실현이 가능하다. 이를 위해서는 패턴을 인지하는 인공지능 기술의 도입이 필요시 된다. 넷째, 실제 비정형 공간과 시뮬레이션된 공간과의 비교연구를 통하여 본 기술의 유용성을 평가할 필요가 있다. 개발된 기술이 예상 했던 것과 같이 유용한지에 대한 평가가 필요하다.

5. 감사의 글

이 논문은 2021년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임(20210811)

References

- [1] S. W. Hong, 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, Journal of KIBIM, (2016), Vol. 6, No.3, pp.34-41.
DOI: <https://doi.org/10.13161/kibim.2016.6.3.034>
- [2] H. Heft, Ecological psychology in context: James Gibson, Roger Barker, and the legacy of William James's radical empiricism, Psychology Press, pp.109-142, (2005)
Available from: <https://www.routledge.com/Ecological-Psychology-in-Context-James-Gibson-Roger-Barker-and-the-Legacy/Heft/p/book/9780805856927>
- [3] A. Myers, C. L. Teo, C. Fermüller, Y. Aloimonos, Affordance detection of tool parts from geometric features, 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp.1374-1381, (2015)
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICRA.2015.7139369>
- [4] D. A. Norman, Affordances, Conventions and Design. Interactions, (1999), Vol.6, No.3, pp.38-43.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/301153.301168>
- [5] <http://www.ddp.or.kr>, Nov 04 (2022)
- [6] <https://www.zaha-hadid.com/architecture/galaxy-soho>, Nov 04 (2022)
- [7] <https://nmoq.org.qa/en>, Nov 04 (2022)
- [8] B. Hiller, J. Hanson, Social Logic of Space, Cambridge University Press Cambridge, (1984)
- [9] E. Steinfeld, Toward Artificial Users, Evaluating and Predicting Design Performance, Wiley Interscience, New York, pp.329-346, (1992)
- [10] J. Wagner, Seeing Through Photographs: Projection and Simulation, Images of Information: Still Photography in the Social Sciences, Sage Publications, Beverly Hills, pp.217-230, (1979)
- [11] <https://www.jensenhughes.com/services/pedestrian-evacuation-modeling>, Nov 04 (2022)
- [12] <https://www.youtube.com/watch?v=aT6ELHUI4Wg>, Nov 04 (2022)
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=Lv37RvNDVw0>, Nov 04 (2022)

- [14] <https://www.youtube.com/watch?v=6iMWDGvwAAY>, Nov 04 (2022)
- [15] J. J. Gibson, *The theory of affordances, Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an Ecological Psychology*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, (1977)
- [16] Y. G. Lee, H. S. Jang, S. J. Kim, H. J. Kim, H. M. Jo, Developing a Technology of Tracing a Trigger Spot for Human Behavior through Voxelization of Atypical Architectural Shapes, *HCI 2021: HCI International 2021 – Posters, International Conference on Human-Computer Interaction, Vol.1420*, pp.278-283, (2021)
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-78642-7_37