

# 시지각 에이전트 시뮬레이션을 이용한 유도사인 배치대안의 평가 방법에 관한 연구

김석태  
인제대학교 실내건축학과

## A Study on the Evaluation Methodology of Guidance Sign Placement Alternatives Using Visual Perception Agent Simulation

Suk-Tae Kim  
Department of Interior Architecture, Inje University

**요약** 현대 컴퓨팅 기술과 건축 정보 모델링의 발전으로 시뮬레이션 분석 기술은 건축 연구 및 실무에 빠르게 확산되고 있다. 그러나 건축공간은 공장의 생산라인이나 공급망 분석과 달리 인간의 행동과 공간의 상호작용을 고려해야 하므로, 기존의 DES 모델만으로는 이러한 복잡한 변수를 충분히 반영하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 건축공간에서 비상 대피 경로의 효율성을 평가하기 위해 이산사건 시뮬레이션(DES)과 행위자 기반 모델링(ABM)을 결합한 통합 시뮬레이션 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 관람이라는 DES의 물리적 공간 규칙 내에서 인간(관람자)의 개별적 행동을 반영할 수 있는 동적 시스템으로, 전시관을 예시 공간으로 설정하여 유도사인 배치 대안에 따른 대피 효율성을 정량적으로 분석하였다. 피난 시뮬레이션 결과 밀집도 분석을 기반으로 유도사인을 배치한 방법이 이론적인 출구 중심 배치보다 대피 효율성을 약 80% 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 비상 상황에서의 대피 경로 설계에 중요한 시사점을 제공하며, DES와 ABM의 통합 접근이 건축 공간 시뮬레이션 분석에서 높은 유효성을 가질 수 있음을 보여준다. 또한, 이 연구는 복잡한 건축 환경에서의 안전 계획 수립 및 설계 과정에서 시뮬레이션이 중요한 도구로 활용될 수 있음을 시사하며, 다양한 건축 및 설계분야에서의 응용 가능성을 제시하고 있다.

**Abstract** With the advances in modern computing technology and building information modeling (BIM), simulation analysis techniques are rapidly expanding in architectural research and practice. Unlike production lines or supply chain analyses in factories, architectural spaces require a consideration of human behavior and spatial interactions, making it challenging for traditional discrete event simulations (DES) models to capture these complex variables. To address this, this study proposes an integrated simulation system that combines DES with agent-based modeling (ABM) to evaluate the efficiency of emergency evacuation routes in architectural spaces. This system reflects individual human (visitor) behavior within the physical spatial rules of DES and uses an exhibition hall as a case study to analyze the evacuation efficiency quantitatively based on different signage placement alternatives. The evacuation simulation results suggest that a signage placement method based on density analysis can improve evacuation efficiency by approximately 80% compared to a theoretical exit-centered placement. These findings provide critical insights for designing evacuation routes in emergencies, showing the high effectiveness of integrating DES and ABM in architectural space simulation analysis. Furthermore, this study highlights the potential for applying simulations as an essential tool in safety planning and design processes for complex architectural environments.

**Keywords** : Agent Based Model, Discrete Event Simulation, Dynamic System, Exhibition Space, Evacuation simulation

이 논문은 2019년 정부(교육과학기술부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019R1I1A3A01058657)

\*Corresponding Author : Suk-Tae Kim(Inje University)

email: demolishr@inje.ac.kr

Received May 31, 2024

Revised July 3, 2024

Accepted August 2, 2024

Published August 31, 2024

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

시뮬레이션은 실제 공간이 존재하지 않거나 비용 문제로 실험이 불가능한 경우 시스템을 평가하거나 최적화할 수 있게 해주는 효과적 설계 보조 및 검증 도구로 주목받고 있으며, 현대의 컴퓨팅 기술과 건축 정보 모델링의 발전은 시뮬레이션 분석 기술을 실무에 빠르게 보편화시키고 있다.

시뮬레이션 기술의 근간을 이루는 계산모델은 다양한 분야에서 연구되어 왔다. 특히 이산사건 시뮬레이션(Discrete Event Simulation; 이하 DES)은 직관적인 모델링과 효율적 프로세스 처리로 산업 전반에서 인기가 높아지고 있으며, 최근에는 건축분야로 활용범위를 넓히고 있다. 그러나 건축은 제품의 생산라인이나 물류시스템과 달리 인간이라는 주관적 개체가 개입되므로 DES의 기능을 벗어난 변수가 많고 인자 간의 관계 정의가 복잡해진다.

이러한 관점에서 행위자 기반 모델(Agent based Modeling; 이하 ABM)이 주목받고 있다.

ABM은 개별 개체관리의 유연성이 높아 인간의 행동을 모델링할 수 있고, 개체 간의 관계 정의를 통해 집단의 사회적 관계도 표현할 수 있기 때문이다.

이에 본 연구에서는 DES프레임워크에 ABM의 개념을 통합하여, 물리적 공간 규칙 내에서 인간의 개별적(사회적) 행동을 반영할 수 있는 공간 시뮬레이션 분석방법론을 제안하고, 유도사인 위치설정 시뮬레이션을 예시로 효율성을 검증해 보고자 한다.

### 1.2 방법 및 범위

본 연구는 공간의 사용 밀도를 바탕으로 사인시스템을 설계(대안 결정)하는 시뮬레이션 방법론을 제안하기 위한 연구이므로, 데이터 추적의 용이성과 향후 실현성을 고려하여 명확한 동선이 계획되어 있고 충분한 복잡성이 예상되는 대표적인 공간으로 전시시설을 선택한 것이다.

따라서 본 연구에서 제안하는 분석방법론은 필요에 따라 다른 성격의 공간에 대한 추가 검증연구가 요구될 수 있다.

검증을 위한 실험모델은 계획된 관람 동선을 따라 전시체험을 하다가 시각요소인 대피 유도사인을 각 개체(인간)가 개별적으로 인지하여 비상출구로 대피하는 시뮬레이션이다.

이를 구현하기 위해 다음과 같은 두 가지 기술적 문제를

해결해야 한다. 첫 번째는 ABM의 시간 단계(time-step) 프로세스와 DES의 사건 기반 프로세스의 동기화 문제이며, 두 번째는 고유의 시퀀스를 가지지만 접근방법이 다른 두 모델의 공존 문제이다.

이에 Fig. 1과 같은 절차로 연구를 진행하였다.

- 1) 동적시스템에 대한 고찰을 통해 통합모델을 구축하여,
- 2) 계획인원의 시뮬레이션을 통해 피크타임을 계산하고,
- 3) 각 모델에 프로그래밍한 시간측정 알고리즘을 통해 동기화를 검증한 후,
- 4) 두 가지 대안에 대한 대피 시뮬레이션을 수행하여 분석방법론의 효율성을 파악하였다.

이러한 직관적 복잡계 시뮬레이션은 컴퓨터공학 비전문가인 디자이너나 건축가들이 비교적 쉽게 접근 가능한 설계검증(의사결정) 도구의 가능성 발전이라는 측면에서 의미를 찾고자 한다.

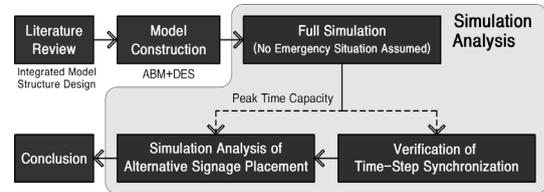


Fig. 1. Research Procedure

## 2. 시뮬레이션과 모델링

### 2.1 시뮬레이션과 모델링

컴퓨터 시뮬레이션을 수행하는 이유는 현상에 대한 심층적인 이해를 얻기 위해서이다. 컴퓨터 시뮬레이션을 컴퓨터공학의 한 부분으로 볼 수 있지만, 이제는 물리학, 기계공학, 생물학, 더 나아가 사회과학 분야에서까지도 많은 연구가 이루어지고 있다[1].

컴퓨터 시뮬레이션을 위해서는 실제 세계를 가상의 세계로 모사하는 모델링 작업이 필요하다.

모델링은 현실 세계에서 발생하는 문제를 해결하는 방법 중의 하나로서, 실제 시스템의 프로토타입으로 실험하는 것이 비용 문제가 있거나 현실 상황에서 불가능한 경우에 사용될 수 있다. 모델링은 구현 전에 시스템을 최적화할 수 있도록 해주며, 시간 역학(time dynamics)이 중요한 복잡한 문제는 모델링을 통해 더 나은 해답을 얻을 수 있다[2].

그러나 모델을 구축하려면 모델의 단순성과 분석결과와 정확성 사이에서 절충이 이루어져야 하며, 합리적으로 단순화된 모델을 결정하려면 어떤 변수가 모델의 정

확도에 기여하는지 파악해야 한다[3].

## 2.2 동적시스템(ABM과 DES)

동적시스템에 대한 대표적 시뮬레이션 이론 및 실무에 적용되고 있는 두 가지 주요 흐름으로는 ABM과 DES가 있다[4,5].

ABM은 환경과 에이전트의 관계를 모델링하는 것이다. 환경은 실험을 수행하려는 현상세계의 문제들이 존재하는 가상의 세계이지만, 현상세계의 모든 속성을 동일하게 가상세계로 모델화하는 것은 불가능하므로 모델로 구현되는 부분은 실험에서 다루는 문제나 이와 관련이 있는 특성으로 제한된다[6].

에이전트는 자율성, 사회적 관계, 반응성, 사전대응성의 속성[7]을 가진 독립적 구성요소(소프트웨어, 모델, 개인 등)로서[8], 컴퓨터공학에서는 에이전트의 핵심적 특징을 구성요소가 독립적인 결정을 내릴 수 있는 능력으로 규정하고 있다[9]. 즉, 에이전트가 특정 패스(규칙)상에만 있는 것이 아니라 활동적이어야 한다는 점에서 DES와 구분된다.

반면에 DES는 사건에 따른 시스템의 동적인 상태 변화를 표현하는 모델로[10], 산업, 군사를 비롯한 학계 전반을 통해 효용성이 충분히 검증된 시뮬레이션 분석이론이다[11-13].

DES의 장점 중 하나는 이벤트를 기반으로 동작하기 때문에 이벤트가 발생했을 때만 시스템 상태를 업데이트하고 이벤트 간에는 변경이 없는 것으로 간주하여 계산 시간을 절약하고 과도한 상태 업데이트를 피할 수 있다는 점이다[14].

하지만 이러한 장점은 시간 단계(time-step)를 기반으로 하는 대다수의 시뮬레이션과 통합할 때 문제를 일으킬 수 있다. ABM 또한 시간단계를 기반으로 하기 때문에 시뮬레이션의 시간적 동기화는 모델 통합을 위해서 우선적으로 해결해야 할 과제가 된다.

DES가 갖는 또 하나의 문제는 엔티티의 자유로운 이동패턴을 필요로 하는 모델을 시뮬레이션하기 어렵다는 점이다. 예를 들어 인간이 예측할 수 없는 경로로 흘러가는 상황은 일상적으로 흔히 발생하지만, DES로는 모델링하기 쉽지 않다[15]. 그러므로 개별 엔티티에게 시각적 특성을 부여하는 것 또한 DES만으로는 구현이 불가능하다.

DES는 높은 런타임 성능을 제공하는 반면, ABM은 유연성과 자율 캡슐화(encapsulation)를 제공한다는 점 [16]에 착안하여, DES의 한계점을 ABM으로 보완하는 통합 시뮬레이션으로 극복하고자 하였다.

## 2.3 통합시스템(ABM+DES)

ABM과 DES은 가장 인기 있는 동적시스템이라는 측면에서 비교 연구들이 다수 존재하며[17], 대체적인 결론은 둘 다 분석대상 시스템의 대부분을 모델링할 수 있지만 접근방식이 다르다는 것이다[18].

이에 각 모델의 장점을 통합하는 연구가 증가하고 있는 추세이며, 이러한 일련의 연구는 주로 구급차 관리[19], 응급실 운영[20]과 같은 의료관련 분야나 물류[21], 운송[22] 등의 교통분야에서 활발히 진행되고 있다.

## 2.4 대피 시뮬레이션 연구사례

대피를 주제로 하는 것은 아니지만, 화재 또는 유독가스나 홍수의 확산과 같이 비상상황을 상정한 ABM 적용 연구는 쉽게 찾아볼 수 있다[23,24].

근래에는 비상 대피 및 패닉 상황에 대한 연구의 맥락에서 건물 환경 내에서 사람들의 움직임을 시뮬레이션하는 연구가 고려되고 있다. 사람들의 이동을 예측하는 능력은 비상 상황 이외에도 많은 응용 분야에서 가치가 있기 때문이다[25].

에이전트의 행동 및 상호작용 모델링의 유연성으로 인해 ABM 접근법은 대피 중 발생하는 집단적 현상을 탐색하기 위한 프로세스를 연구하는 데 적합하다[26] 이러한 능력은 균증을 대상으로 하는 다중 에이전트 행동 지향 모델[27]의 토대가 되고 있다.

# 3. 실험모델 구축

## 3.1 시스템 실험을 위한 예시공간의 설정

시각 에이전트 시뮬레이션의 효용성을 실험하기 위한 예시공간으로 전시체험시설을 선택하였다. 전시체험시설은 설계자가 의도한 특정 동선이 계획되어 있는 공간으로 타 시설에 비하여 시각적 요인이 동선 선택에 크게 작용하는 시설이기 때문에 예시로 적합하다고 판단하였다.

연구에 적용된 예시공간은 2017년부터 운영 중인 부산 소재 M체험박물관(<https://busanbom.kr/>)을 대상으로 하였으며, 평면구조와 체험전시물의 배치(기획)는 당시의 전시준공보고서에 명시된 평면 및 전시체험계획을 기준으로 하였다.

체험관은 Fig. 2와 같이 4개 영역(zone)에 29개의 단위전시로 구성되어 있으며, 관람동선 중 3개소(단위전시 14개)에 선택동선(움선전시)이 계획되어 있다. 본 시뮬레

이션에서는 절반(0.5)의 확률로 선택동선을 이용하는 것으로 설정하였다.

준공보고서에서는 관련 연구[28]에 근거하여 최대 인원을 490명, 적정인원을 364명으로, 체험관의 적정 관람시간을 90분~120분으로 예상하고 있다.



Fig. 2. Layout & Exhibition Plan Flow

ABM은 자료가 한정적이어도 간단한 행동 규칙과 몇 개의 변수만을 활용하여 분석이 가능하지만[29], 카오스와 같은 복잡계가 그러하듯 사소한 변수는 거시적 결과에 큰 변화를 가져올 수 있다. 이러한 관점에서 ABM의 거시 결과에 의문을 갖는 연구자들도 있다[30].

지나치게 복잡하고 세부적인 모델은 추정이 거의 불가능한 매개변수를 포함하여 중요한 결과가 흐려질 수 있다. 반대로 지나치게 단순화된 모델은 중요한 효과를 나타낼 수 없기 때문에 결국 어떠한 시스템도 정확하게 표현하는 것은 불가능하다[31].

이에 본 연구에서는 분석방법론 개발 차원에서 변수에 크게 영향을 미치는 단위전시의 체험소요시간과 동시 서비스처리 능력(동시체험자 수), 관람자(에이전트)의 가지 거리, 이동거리, 이동속도만을 고려하였다. 모델링에 적용된 전시단위별 체험(관람) 소요시간(delay time)과 동시 체험자 수(서비스)는 Table 1과 같다.

준공보고서를 기준으로 체험소요시간과 동시 체험자 수를 산출하였으며, 체험컨텐츠를 패시브형(단순 감상)과 액티브형(체험 및 영상)으로 구분하였다.

Table 1. Exhibition Scenario

No	Serv	Delay Time	Media	option
612	2	uniform(0,15)	Panel, BGM	
621	3	triangular(0,30,30)	Graphic, Touch monitor	
622	3	uniform(0,30)	Graphic, Touch monitor	
623	3	uniform(0,30)	Panel,	
624	3	uniform(30,60)	Star-scope vision	
625	2	triangular(30,60,30)	Touch monitor	
631	30	420	VR Cinema	○
711	2	uniform(0,10)	Graphic	
721	3	triangular(40,60,50)	Video	
722	2	uniform(30,60)	Figure, Graphic	
731	2	triangular(30,45,30)	Touch monitor, RFID	
732	2	triangular(50,200,100)	Touch monitor, RFID	
741	4∞	uniform(0,15)	IR Cam, Monitor	
811	3	uniform(0,150)	Monitor, BGM	○
812	2	uniform(0,30)	Panel	○
813	2	uniform(10,20)	Trick mirror	○
821	15	uniform(60,180)	Graphic panel	○
831	4	uniform(0,60)	Graphic, Ride	○
832	5	triangular(15,45,30)	Background graphic	○
841	4	uniform(0,30)	Graphic, Furniture	○
842	2	uniform(30,90)	Graphic, Furniture	○
843	4	uniform(30,90)	Graphic, Furniture	○
851	5	uniform(60,180)	Background graphic	○
861	5	uniform(20,30)	Background graphic	○
911	3	uniform(20,40)	Touch monitor, RFID	
912	15	triangular(100,200,100)	Kiosk, Sound	○
913	3	triangular(20,30,40)	Movie	○
921	2	triangular(0,30,30)	Sign graphic	
922	2	triangular(0,30,30)	Movie	

패시브형은 단순 감상 위주(그래픽, 패널 등)의 컨텐츠로서, 전시면의 수평거리를 1M 단위(심리적 거리)로 나눈 값으로 동시 체험자수로 설정하였다.

액티브형은 정해진 시간(러닝타임)이 계획된 인터랙티브 미디어나 영상 등을 의미하며, 인터랙티브 미디어의 경우는 보고서에 명시된 설치대수와 목표시간으로, 영상물은 러닝타임과 좌석의 수로 소요시간과 동시 체험자수를 산정하였다.

또한 흥미(유인도)가 떨어지는 패시브형은 패널의 수(면적)에 따라 0에서 기준시간까지의 등분포 함수(uniform)로, 목표시간이 명확한 액티브형은 목표시간을 기준으로 50~200%까지의 삼각함수(triangular)로 관람자별 랜덤 적용하였다. (단, 보고서의 세부내용에 따라 일부 차이가 있다.)

단위전시(서비스)별 소요시간을 산정하는 것은 본 연구의 주제와 큰 관련이 없지만, 동적시스템을 구축하는데 있어서 각 서비스 블록에서의 소요시간과 처리능력의 설정은 매우 중요하다. 만약 실무에서 실증적 용도로 활용하고자 한다면 소요시간과 처리능력에 대한 보다 면밀한 검토가 필요하다.

### 3.2 공간의 동적모델 구성

#### 3.2.1 동적 시스템의 통합

앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 DES, ABM 두 가지 계산모델로 공간시스템을 구성하였다.

두 시뮬레이션 모델 모두 각각 엔티티를 제어하는 시퀀스 구조를 가지고 있으나 두 모델이 전달하는 명령을 엔티티가 동시에 실행할 수 없기 때문에 시퀀스 전달체계를 체계화해야 한다.

선행연구들을 살펴보면 이종의 동적모델을 공존시키는 방법으로는 모델의 요소간 역할을 분담하는 방법과 시퀀스의 통제체계를 이원화시키는 방법, 크게 두 가지로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 두 모델의 시퀀스가 상황에 따라 서로 통제권을 주고 받는 후자의 방법으로 시스템을 구축하였다. 이에 모델의 전체 구조를 관람모델과 대피모델로 구분하였다.

관람모델은 피크타임의 최대 관람객 수와 관람객 분포를 측정하기 위하여 물리적 공간을 분석하기 용이한 DES를 적용하였고, 시지각 에이전트의 개별적 행동은 ABM으로, 다시 최적 동선으로의 대피는 DES로 엔티티의 통제체계를 분리하였다.

DES은 플로우차트(Flowchart)에 의해, ABM은 상태차트(statechart)에 의해 시퀀스를 정의한다. DES는 비교적 일정한 방향(one-way)의 시퀀스를 갖는 반면, ABM은 에이전트의 다양한 상태전환(transition)이 가능하다. 상태전환은 신호(message), 시간지연(timeout), 특정조건(condition), 특정지점으로의 도착(agent arrival) 등으로 발동(trigger)되며, 이동이나 정지상태에서도 지속적 탐색이 가능하다.

#### 3.2.2 전시체형 시뮬레이션(DES)

Fig. 3의 다이어그램은 준공보고서에 계획된 시나리오에 따라 각 단위전시를 클래스로 정의하여 단순화시킨 DES모델의 플로우차트이다.

플로우차트의 구조를 살펴보면, 각 블록의 ㉠부분은

피크타임에 이벤트를 발생시켜 엔티티를 ABM으로 전달하는(통제권 전환) 포트를 프로그래밍하였으며, 모든 블록에서 취합된 엔티티는 ㉡에서 ABM으로 전환된다. ABM에 의해 유도사인을 탐색하고, 정보를 전달받아 출구의 위치를 파악한 후 ㉢포트를 통해 출구까지 시뮬레이션은 다시 DES로 전환된다.

이는 DES에서는 엔티티 개별의 판단과 동작이 사실상 불가능하지만 ABM은 행동모델의 프로그래밍이 용이한 반면, ABM은 공간의 물리적 속성을 인식하기 어렵지만 DES는 공간정보를 직관적으로 인식할 수 있으므로 각 시뮬레이션의 특징적 기능을 선택 활용한 것이다.

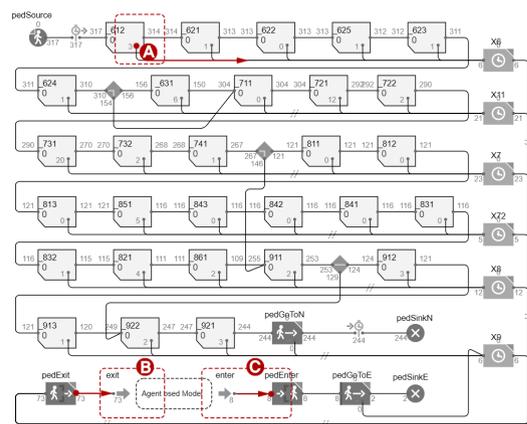


Fig. 3. Work Flowchart

#### 3.2.3 관람자의 제어(ABM)

Fig. 4는 관람자의 행동모델 상태차트이다.

관람자 에이전트는 일반관람상태(Normal), 출구사인을 탐색하는 상태(Scanning), 사인정보를 통해 가까운 출구를 탐색하는 상태(SelectExit), 출구로 대피하는 상태(Escape)로 전환되는 구조이다.

각 관람자 에이전트에는 사인이나 출구를 찾는 가동 범위와 사인을 인식하기 위한 시지각 범위 변수를 정의하였으며, 인지 방향은 고려하지 않았다.

시뮬레이션에서는 개인적 차이를 고려하여 가동 거리 2~5m, 시지각 거리 4~10m 범위에서 랜덤(uniform)으로 설정하였으며, 보행속도 또한 불특정 관람자의 신체조건을 감안하여 사인 및 출구 탐색상태(Scanning과 SelectExit)는 관람속도의 2배인 1~2m/sec, 출구로의 이동상태(Escape)는 4배인 2~4m/sec로 랜덤(uniform) 적용하였다.

또한 사인에 대한 인식확률을 설정하였는데, 이는 사인의 인식 범위 내에 진입해도 사인을 100%인식할 수는

없다는 가정에 의한 것이다. 시뮬레이션에서는 인식 확률을 0.7로 설정하였다.

다만 시각적 요인이 인간에게 미치는 영향은 가시거리, 시야각, 시력이나 시인지 관련 기능 등 매우 다양하고 개인적인 차이도 크다.

보다 실증적 연구가 되려면 더 많은 변수를 반영하는 것이 좋겠으나, 본 연구는 가치중립적 시뮬레이션을 개발하기 위한 기술적 연구로서 심리적, 의학적 변수에 관한 심층적 고찰은 연구의 범위에서 벗어나므로, 임의의 확률적 인식범위만을 변수로 적용하였다.

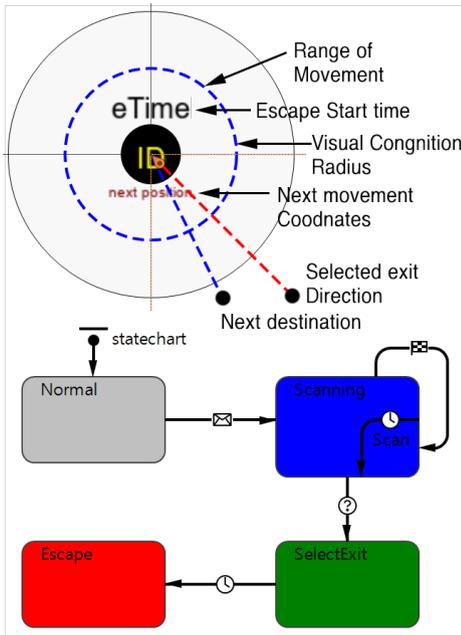


Fig. 4. Agent and Statechart

### 3.3 관람소요시간 계산 및 밀도분석

일반(정상)적인 관람시 에이전트의 속도는 초기속도는 0.3~0.7m, 정상속도는 0.5~1m이고, 에이전트 중심간의 최소거리리는 0.5로 설정하였다.

적정인원(계획인원)에 대하여 최종 방문자까지의 정상적인 관람 시간을 측정한 Fig. 5의 그래프를 살펴보면 관람 소요시간이 전반적으로 우상향하는 것을 볼 수 있다. 이는 특정 전시부스의 대기열 밀집에 의해 지연시간이 증가하는 현상이다.

개별 관람에 소요된 시간은 최소 9분 59초(599초)에서 최대 57분 8초(3428초)의 범위에서 1인당 평균은 34분 40초(2080초)로 계산되었다.

이는 준공보고서에서 예상한 적정(계획) 관람시간

90~120분의 범위에 들어가는 것으로, 일단 본 모델에 의한 각 단위전시별 시간계산은 적합했다고 판단할 수 있다.

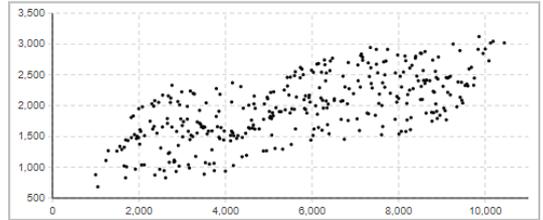


Fig. 5. Viewing Time per Visitor (x=departure, y=arrival)

시뮬레이션에 분석에 대한 Fig. 6의 관람자 밀도 히트맵을 살펴보면 후속 방문자일수록 관람시간이 증가(그래프 우상향)하는 원인을 시각적으로 명확하게 파악할 수 있다.

단위전시 721, 731과 625 주변에 관람자가 밀집하고 있으며, 이는 시각정보를 얻기에 유리한 장소로서 유도 사인의 배치설계에 유력한 단서를 제공할 수 있는 위치이다.

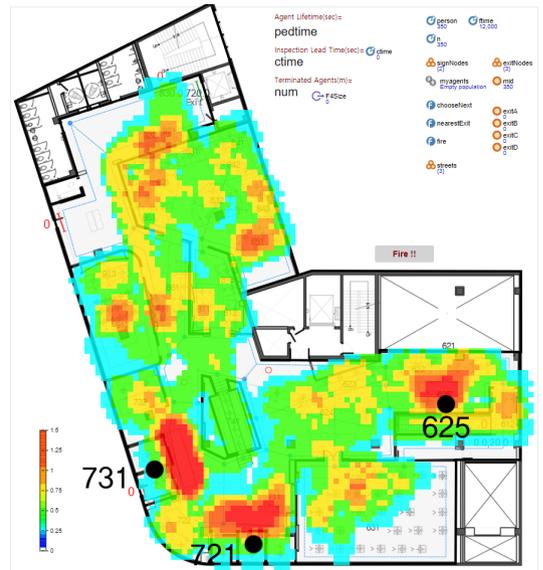


Fig. 6. Visitor Density Heatmap

Fig. 7은 체험전시관 내의 관람객수의 변화를 시계열로 나타낸 것이다.

최초 방문객 입장 후 7,500초(약 2시간) 인근에서 가장 많은 관람객(최대 109명)이 운집하는 것으로 나타났

으므로, 이 시각에 분포한 관람객을 기준으로 대피 시뮬레이션을 수행하였다.

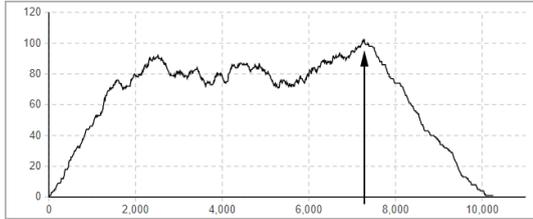


Fig. 7. Changes in Capacity Over Time

## 4. 대피 계획 시뮬레이션

### 4.1 사인 설치 대안의 설정

Fig. 2와 8에 표시된 바와 같이 전시관에는 4개의 비상 탈출구(Exit-A,B,C,D)가 계획되어 있으며, 이중 A와 B는 피난층으로 향하는 일반 계단(에스컬레이터)이고, C와 D출구는 외부로 바로 향하게 되어 있는 소방용 출입구(비상시 개방)이다. 이에 분석평가에서는 비상시 대피의 일반적인 상황을 상정하여 A, B출구만을 비상구로 설정하여 우선 분석하였다.

전시관 내 대피유도사인 배치대안을 2가지 마련하였으며, 대안은 Fig. 8과 같이 각각 4개소의 대피유도사인으로 구성하였다.

대안-1은 비상구에 가깝게 배치하는 개념이고 대안-2는 앞서 분석한 관람자 밀도를 바탕으로 배치한 것이다.

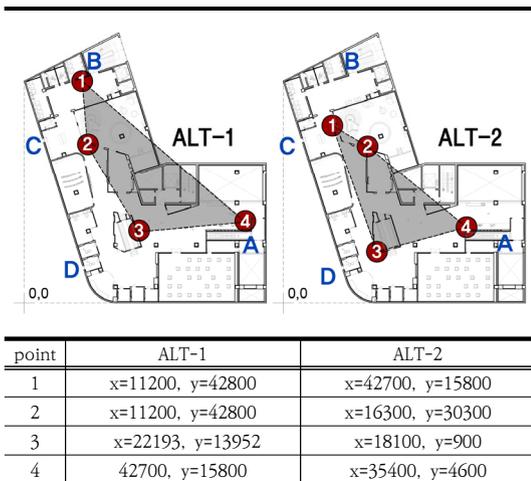


Fig. 8. Alternative Signage Layout

유도사인 4개소를 연결하는 폐곡선의 면적은 대안-1은 360㎡, 대안-2는 270㎡로, 대안-1이 상대적으로 넓은 면적을 커버하고 있으며, 각 사인물의 정확한 위치는 Fig. 8과 같다.

### 4.2 대안별 시뮬레이션 결과

Fig. 9는 전시관 내의 인원이 최대 되었을 때 발동(trigger)한 대피 명령에 의해 유도사인을 단서로 출구를 찾아 이동하는 시뮬레이션 장면(부분)이다.

A, B출구에 대하여 대안-1을 분석한 결과 잔류인원 73인이 사인정보를 인식하고 출구에 도달하기까지 최소 5초에서 최대 641초(10분 41초)의 범위에서 평균 131초(2분 11초)가 소요되었다. 반면에 대안-2의 경우는 최소 25초에서 최대 168초(2분 48초)의 범위에서 평균 73초(1분 13초)가 소요되었다.

밀집율이 높은 지역에 유도사인을 설치한 대안-2가 출구 중심으로 설치한 대안-1보다 평균적으로 79.45% 더 나은 효율을 보여주고 있는 것으로 파악되었다. 이는 관람객 밀도가 높은 장소에 설치한 대안-2가 넓은 면적을 커버하는 대안-1보다 오히려 더 나은 결과를 얻을 수 있음을 보여주는 것이다.

참고로 4개의 비상 탈출구(A, B, C, D)를 모두 개방하였을 때는 대안-1의 경우 최소 5초~최대 427초(7분 7초), 평균 125초(2분 5초)가 소요되었으며, 대안-2는 최소 5초~최대 212초(3분 32초)에 평균 49초이다. 대안

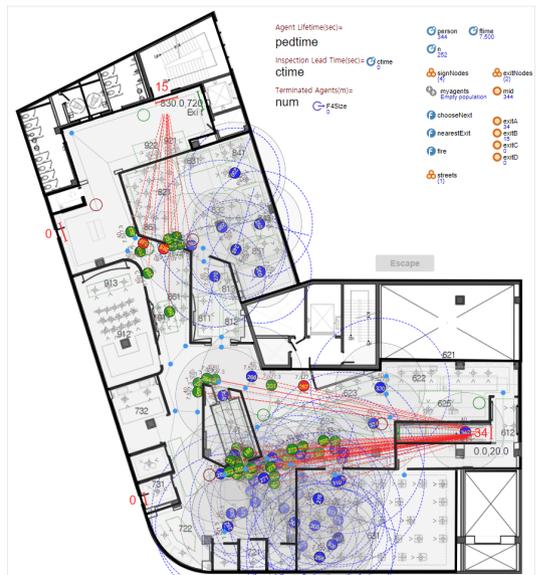


Fig. 9. Evacuation Simulation Scene by Sign

-2가 대안-1의 39.2%수준으로, 이 역시 대안-2가 더 나은 계획안임을 보여주고 있다.

Fig. 10은 탈출개시(7,500초)부터 탈출완료까지 A,B 비상구의 보행자 흐름강도(flow intensity)이다.

흐름강도는 보행자수/시간\*출입구폭(900)으로 산출하였다. 그래프를 살펴보면 대안-1, 2 모두 더 많은 인원이 A출구를 이용하였으며, 이는 관람자의 평균적으로 A출구 인근에 밀집하기 때문이다. 또한 대안-2가 더 빠른 시간에 많은 인원이 빠져나갔음을 알 수 있다.

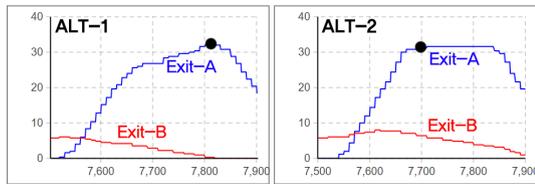


Fig. 10. Flow Intensity of Exit

본 연구는 시각정보에 의해 동작하는 개별에이전트의 개별행동을 모델링하고 정확하고 유효성을 파악하기 위해 비교적 개방된 평면을 제시하여 사인이 출구를 직접 지시하는 방법을 상정한 것이다.

만약 경로상에 배치된 사인이 다음 사인으로 연속적으로 피난방향의 정보를 제공(연계)하고자 한다면, 각 사인을 고정 에이전트로 정의하여 사인의 정보가 출구가 아닌 고정 에이전트 방향을 지시하여 연계해야 할 것이다. 이는 매우 복잡하거나 시각적으로 차단된 협소한 통로형 공간에서 효과적일 수 있으며, 본 연구의 성과를 토대로 후속 연구로 발전시켜 볼만한 충분한 가치가 있다.

## 5. 결론

본 연구는 일률적인 전시동선에서 발생하는 관람자의 개별적 시지각 판단과 행동을 시뮬레이션하는 기술적 방법론의 제안으로서, 예시모델의 구축과 분석 과정에서 다음의 성과를 얻을 수 있었다.

첫 번째, DES를 통해 관람 소요시간 및 공간 활용 밀도를 측정할 수 있었으며 지연의 원인도 찾을 수 있었다. 지연의 제어는 관람자 이동을 원활하게 하는데 도움이 되고, 밀도는 공간활용의 균질도를 평가하거나 유도사인과 같은 시지각(관심) 요소들을 설치하는데 근거를 제시한다.

두 번째, 기계적으로 출구 근처에 유도사인을 설치하

는 것보다 밀도분석을 통해 균중의 운집 확률이 높은 곳을 선택하는 것이 효율적이다. 물론 비상구에 인식사인이 설치되어 있다는 전제가 필요하다.

본 연구는 밀도측정을 위해 계획된 시퀀스를 가진 공간을 설정하고 이를 토대로 대안을 마련한 것이지만, 개념적으로 특정 시퀀스 없이 균중이 운집하는 대형 행사장이나 쇼핑몰과 같은 시설의 대피설계 과정에서도 의사결정 또는 검증도구로 유효하게 적용가능할 것이다.

다만, 본 연구에서 제안한 방법론은 불특정한 사람들에 대한 균중 시뮬레이션이기 때문에 적용하는 변수의 범위에 따라 결과의 오차가 커질 수 있다. 이러한 문제는 몬테카를로(랜덤 반복) 시뮬레이션에 의한 데이터 일반화 프로세스를 통해 상당 부분 보완할 수 있을 것이다.

또한 이러한 시뮬레이션이 가치중립적이라는 측면에서 의사결정에 도움이 될 수 있겠지만, 실제 적용된 변수가 단편적이니만큼 시뮬레이션 분석의 신뢰성을 향상시키려면 관람자(에이전트) 행동변수와 사인의 명시성, 관람자와 사인물의 상호관계성 등에 대한 추가연구가 필요할 것이다.

## References

- [1] Davidsson, P., "Agent based social simulation: A computer science view", *Journal of artificial societies and social simulation*, Vol.5, No.1, 2002. Available From: <https://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/7.html> (accessed May. 25, 2024)
- [2] Borshchev, Andrei, Alexei Filippov. "From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools", *Proceedings of the 22nd international conference of the system dynamics society*. Vol.22, 2004. Available From: <https://www.anylogic.de/upload/iblock/296/296cb8fa43251a1fc803e435b93c8ff2.pdf> (accessed May. 25, 2024)
- [3] Ogata, K., System dynamics. University of Minnesota, 2004, p4. Available From: [https://wp.kntu.ac.ir/dfard/ebook/lc/Katsuhiko\\_Ogata-System\\_Dynamics\\_\(4th\\_Edition\)-Prentice\\_Hall\(2003\)\\_part1.pdf](https://wp.kntu.ac.ir/dfard/ebook/lc/Katsuhiko_Ogata-System_Dynamics_(4th_Edition)-Prentice_Hall(2003)_part1.pdf) (accessed May. 25, 2024)
- [4] Maidstone, Robert. "Discrete event simulation, system dynamics and agent based simulation: Discussion and comparison." *System*, Vol.1, No.6, pp.1-6. 2012. Available From: <https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/robert.maidstone/pdf/MresSimulation.pdf> (accessed May. 25, 2024)
- [5] Wu, S., *Agent-Based discrete event simulation modeling and evolutionary real-time decision making for Large-scale*

- systems, Doctoral thesis, University of Pittsburgh. USA, p.28-29, 2009.
- [6] Taylor, Simon JE. "Introducing agent-based modeling and simulation", *Agent-based modeling and simulation*. London: Palgrave Macmillan UK, pp.1-10. 2014. DOI: [http://dx.doi.org/10.1057/9781137453648\\_1](http://dx.doi.org/10.1057/9781137453648_1)
- [7] Wooldridge, M., Jennings, N. R., "Intelligent agents: Theory and practice", *The knowledge engineering review*, Vol.10, No.2, pp.115-152. 1995. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/3-540-58855-8>
- [8] Bonabeau, Eric. "Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems", *Proceedings of the national academy of sciences* 99.suppl\_3, pp.7280-7287. 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.082080899>
- [9] Macal, C. M., & North, M. J., "Tutorial on agent-based modeling and simulation", *In Proceedings of the Winter Simulation Conference*, pp.14. Dec. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1109/WSC.2005.1574234>
- [10] Zeigler, B. P., Praehofer, H., T. G. Kim, Theory of modeling and simulation. Academic press, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03987-6>
- [11] Banks, J., Carson, J. S. II, Nelson, B. L., Nicol, D. M., Discrete Event Simulation, Third Edition. Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 2001. Available From: [https://pavandm.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/03/discrete-event-system-simulation-jerry-banks\\_2.pdf](https://pavandm.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/03/discrete-event-system-simulation-jerry-banks_2.pdf) (accessed May. 25, 2024)
- [12] Banks, Hagan, Lendermann, McLean, Page, Pegden, Ulgen, "The future of the simulation industry", *In Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, Vol.2, pp. 2033-2043, Dec. 2003. Available From: <http://www.thesimguy.com/articles/wsc03.pdf> (accessed May. 25, 2024)
- [13] Epstein, J. M. Axtell, R. L., Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up. Cambridge, MA.: MIT Press, 1996. DOI: <http://dx.doi.org/10.7551/mitpress/3374.001.0001>
- [14] Zhang, B., Chan, W. K., Ukkusuri, S. V., "Agent-based discrete-event hybrid space modeling approach for transportation evacuation simulation", *In Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, pp.199-209, 2011, December DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2011.6147751>
- [15] Dubiel, B., Tsimhoni, O., "Integrating agent based modeling into a discrete event simulation", *In Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p.9, Dec. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2005.1574355>
- [16] Siebers, P. O., Macal, C. M., Garnett, J., Buxton, D., Pidd, M., "Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation!", *Journal of Simulation*, Vol.4, pp.204-210, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1057/jos.2010.14>
- [17] Pugh, G. A., "Agent-based simulation of discrete-event systems". *In Proceedings of the 2006 Illinois-Indiana and North Central Joint Section Conferences*, Mar. 2006 Available From: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=cca3dc69a13841a0379079410de1eb87eb354a5b> (accessed May. 25, 2024)
- [18] Becker, M., Wenning, B. L., Görg, C., Gehrke, J. D., Lorenz, M., Herzog, O., "Agent-based and discrete event simulation of autonomous logistic processes", *Proceedings of: Borutzky, W.; Orsoni, A.; Zobel, R.(eds.)*, pp.566-571, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.7148/2006-0566>
- [19] Aringhieri, R., "An integrated DE and AB simulation model for EMS management", *In 2010 IEEE workshop on health care management*, pp.1-6, Feb. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WHCM.2010.5441260>
- [20] Anagnostou, A., A. Nouman, S. J. E. Taylor, "Distributed Hybrid Agent-Based Discrete Event Emergency Medical Services Simulation." *In Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New Jersey, USA, pp.1625-1636. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2013.6721545>
- [21] Warden T, Porzel R, Gehrke JD, Herzog O, Langer H, Malaka R, "Towards Ontology-based Multiagent Simulations: The PlaSMA Approach". *In 24th European Conference on Modelling and Simulation*, European Council for Modelling and Simulation, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.50-56, 2010. Available From: <http://www.sfb637.uni-bremen.de/pubdb/repository/SFB637-B4-10-001-IC.pdf> (accessed May. 25, 2024)
- [22] Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., & Funk, P. (2002). Agent-based planning and simulation of combined rail/road transport. *Simulation*, 78(5), 293-303. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0037549702078005551>
- [23] Hackney, J. K., Marchal, F., "Model for coupling multi-agent social interactions and traffic simulation". *Arbeitsberichte Verkehrs-und Raumplanung*, p.461, 2007. Available From: <https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/3617/1/eth-30232-01.pdf> (accessed May. 25, 2024)
- [24] Zhang, B., Chan, W. K., Ukkusuri, S. V., "Agent-based modeling for household level hurricane evacuation", *In Proceedings of the 2009 winter simulation conference*, pp.2778-2784, Dec. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2009.5429248>
- [25] Nassar, K., "Level of service analysis of corridors in buildings using discrete event simulation", *Architectural Science Review*, Vol.50, No.4, pp.313-322, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.3763/asre.2007.5038>
- [26] Zhang, B., Chan, W. K. V., Ukkusuri, S. V., "On the modelling of transportation evacuation: an agent-based discrete-event hybrid-space approach", *Journal of Simulation*, Vol.8, No.4, pp.259-270, 2014. Available From:

<http://www.sce.carleton.ca/faculty/wainer/papers/ios20143a.pdf> (accessed May. 25, 2024)

- [27] Kagaya, S., UCHIDA, K. E., Hagiwara, T., NEGISHI, A., "An application of multi-agent simulation to traffic behavior for evacuation in earthquake disaster", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.6, pp.4224-4236, 2005. Available From: [https://www.iistage.iist.go.jp/article/easts/6/0/6\\_0\\_4224/\\_pdf](https://www.iistage.iist.go.jp/article/easts/6/0/6_0_4224/_pdf) (accessed May. 25, 2024)
- [28] J. H. Choi, *A Study on the Establishment of Index for Exhibition Areas Size-computation of Museum*, Master's thesis, Hongik University, Seoul, Korea, 1997.
- [29] Macal, C. M., North, M. J., "Agent-based modeling and simulation: Desktop ABMS", *In 2007 Winter Simulation Conference*, pp.95-106, Dec. 2007. Available From: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4419592> (accessed May. 25, 2024)
- [30] C.H.Lee, J.W.Bae, U.H.Paik, "Agent-based Simulation Framework to Simultaneously Support High Precision and Microanalysis", *In Proceedings of The Korean Operations Research and Management Science Society Conference*, pp.4936-4941. 2019. Available From: <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08011359> (accessed May. 25, 2024)
- [31] Karnopp, D. C., Margolis, D. L., Rosenberg, R. C., *System dynamics: modeling, simulation, and control of mechatronic systems*. John Wiley & Sons. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118152812>

---

김 석 태(Suk-Tae Kim)

[중신회원]



- 1993년 2월 : 국민대학교 대학원 건축학과 (건축학석사)
- 2008년 8월 : 한양대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 1999년 10월 : 주식회사 서울건축 설계실(건축사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 인제대학교 실내건축학과 교수

<관심분야>

실내건축, 환경디자인, 시스템 시뮬레이션