

# 지역사회 내 쓰레기 문제 해결을 위한 이산사건시스템 형식론 기반 모델링 및 시물레이션 환경

최창범 · 정진호 · 류창현 · 김은영<sup>†</sup>

## Modeling & Simulation Environment for Solving Waste Problems of the Local Community using Discrete Event System Formalism

Changbeom Choi · Jinho Jung · Changhyun Lyoo · Eun-Young Kim<sup>†</sup>

### ABSTRACT

As the urbanization trend in modern society continues, the concentration of the population induces the urban problems in the residential area. One of the well-known issues among various urban problems is the garbage problem, which causes deterioration of the residential environment of citizens and directly affects the satisfaction of municipal administration. Such garbage problem cannot be accurately predicted by analyzing the amount of waste emitted from residential areas, but it is necessary to analyze the lifestyle and characteristics of residents living in residential areas. In this study, we propose an agent-based residential modeling and simulation environment using discrete event system formalism to analyze the garbage problem and satisfaction level according to the distribution of residents in the residential area. To model the behavior of the residents, we utilized the Atomic Model to capture the temporal behavior. Also, we used the Coupled Model to model the multi-family and the building to enhance the reusability of the simulation model. Also, this study carried out simulation modeling and simulation for a multi-family residential area. The simulation results of the multi-family housing area show that considering the characteristics of the residents gives better results compared to the simulation results without considering the characteristics.

**Key words** : Agent, Agent based Simulation, Simulation for Social Problem Solving

### 요약

현대사회의 도시화 추세가 지속됨에 따라 인구의 집중으로 주거환경에 대한 도시문제의 중요성이 대두되고 있다. 다양한 도시문제 중에서 대표적인 문제 중 하나는 쓰레기 문제로 시민들의 주거환경 악화의 원인이 되며 시정 만족도에 대해 직접적으로 영향을 미치는 요인이다. 이와 같은 쓰레기 문제는 단순히 주거지역의 쓰레기 배출량에 대한 분석으로는 정확히 예측할 수 없으며 쓰레기의 주거지역에 분포하고 있는 거주민의 생활양식과 특징에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 주거지역 내의 거주민의 분포에 따라 발생할 수 있는 쓰레기 문제와 이에 대한 만족도 분석을 수행하기 위하여 이산사건 시스템 형식론을 활용한 에이전트 기반 거주민 모델링과 시물레이션 환경을 제안한다. 제안하는 연구는 거주민의 시계열적인 특성을 표현하기 위하여 원자모델을 사용하였으며 시물레이션 모델의 재사용성을 증대시키기 위한 결합모델을 사용하여 다가구와 다가구 주택을 모의하였다. 또한, 본 연구는 다가구 주택지역에 대한 시물레이션 모델링을 진행하고, 시물레이션을 수행하였다. 연구 결과로 다가구 주택지역의 시물레이션에서는 거주민의 특성을 고려한 결과와 그렇지 않은 결과 사이에 뚜렷한 차이점을 발견할 수 있었으며 지역 문화적 특성과 시간적 특성을 고려한 시물레이션이 필요함을 확인할 수 있었다.

**주요어** : 에이전트, 에이전트 기반 시물레이션, 사회문제 해결형 시물레이션

\* 본 논문은 지역대학우수과학자 지원사업인 “지역사회의 효율적 자원순환체계 구축을 위한 시물레이션 기반 온톨로지 지원환경 구축(NRF-2017R1D1A3B03033437)” 사업의 지원을 받아 작성됨.

**Received:** 18 January 2020, **Revised:** 14 February 2020,

**Accepted:** 14 February 2020

**† Corresponding Author:** Eun-Young Kim

E-mail: hellosally@daum.net

Pohang Techno Park

## 1. 서론

현대사회의 도시화로 인하여 인구의 도시 집중으로 인한 다양한 사회문제가 발생하고 있다. 특별히 인구의 밀집 현상으로 인하여 대두되는 생활 환경에 대한 문제는 삶의 만족도에 직간접적으로 영향을 주는 유의미한 요소

로 지방 행정에 고려해야 하는 중요한 요소 중 하나이다 (오영균, 2018). 이와 같은 생활 환경에 영향을 미치는 대표적인 문제 중 하나는 쓰레기 문제로 거주민의 쓰레기 배출량, 쓰레기 배출 방법과 관공서에서의 쓰레기 수거 방법과 쓰레기 매립지, 쓰레기 소각장 등에서의 처리까지 주거환경뿐만 아니라 환경 문제까지 연계된 복합적인 문제이다. 또한, 주거환경에 대한 쓰레기 문제는 각 지방자치단체의 조례 등으로 규정되어 관리되고 있을 정도로 거주민에 대한 질 높은 공공 서비스 제공 측면에서 중요한 문제지만 거주민의 무지나 단속의 어려움, 환경적인 요소와 같이 다양한 변수가 존재하고 영향을 미치기 때문에 단순히 다룰 수는 없으며 다각적인 분석이 필요하다. 특별히 주거환경에서 발생하는 쓰레기의 양과 배출 패턴, 만족도는 거주민의 특성과 구성, 쓰레기 수거와 같은 공공 서비스 제공에 따라 다양하게 변화할 수 있으므로 거주민의 구성을 바탕으로 한 분석이 필요하다.

본 연구에서는 모델링 및 시뮬레이션(M&S: modeling & Simulation)을 사용한 쓰레기 배출 및 수거 문제를 다룬다. M&S는 다양한 분야에서 문제를 정의하고 해결하는 데 사용하고 있으며 M&S 분야에서 대표적으로 사용되는 에이전트 기반 시뮬레이션(Agent-based Simulation)은 인구 동향, 도로 교통체계 개발 및 개선과 같이 다양한 분야의 문제를 정의하고 해결하는데 활용되었다(Bonabeau, 2002; Erol 등, 2007; Siddiqah, 2009). 특별히 에이전트 기반 시뮬레이션에서는 시뮬레이션에 참여하는 주체들을 에이전트로 표현하고 에이전트가 에이전트의 주위에 있는 환경과 상호작용을 모델링하고 시뮬레이션함으로써 문제를 해결한다. 따라서 본 연구는 거주민과 쓰레기 수거 차량과 같은 공공 서비스를 에이전트로 정의하고 쓰레기 수거함과 건물과 같은 환경을 모델링하여 시뮬레이션을 수행한다. 본 연구는 에이전트와 환경 모델의 동작을 이산사건 시스템(DEVS: Discrete Event System) 형식론을 사용하여 표현하고 이를 시뮬레이션에 적용하였다. 이산사건 시스템 형식론은 다양한 분야의 문제를 해결하는 데 활용되었으며 시스템의 동특성(dynamic characteristics)을 표현하는데 적합하다(Zeigler 등, 2000). 또한, 거주민의 행위를 DEVS 형식론을 사용하여 모델링하고 거주민의 구성을 DEVS 형식론의 형태로 정의함으로써 거주민의 구성에 따른 시뮬레이션 결과를 확인하였다.

본 연구는 거주민의 행동 패턴과 그 구성분포에 따라 발생할 수 있는 쓰레기 배출 문제에 대해서 모델링을 수행하고 다양한 패턴과 구성에 대해서 실험함으로써 M&S 기반 정책 수립 및 분석에 대한 가능성을 제시한다.

## 2. 연구 배경 및 관련 연구

본 장에서는 이산사건 시스템 형식론 기반의 에이전트 기반 생활 쓰레기 문제 모델링 및 시뮬레이션을 소개하기에 앞서 쓰레기 문제를 모델링하는데 필요한 고려사항과 제안하는 모델링 및 시뮬레이션 환경에 대한 이해도를 높일 수 있는 연구를 소개한다.

### 2.1 문제 정의 및 관련 연구

국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령(국가법령정보센터, 2019)에 따르면 한 도시 용도지역의 구분은 주거지역, 상업지역, 공업지역 및 녹지지역으로 구성된다. 일반적으로 하나의 도시에서 주거지역에 거주하고 있는 거주민은 상업지역 혹은 공업지역으로 이동하여 생활하며 생활 쓰레기를 배출하게 된다. 따라서 용도지역별로 쓰레기의 배출량과 배출 패턴이 상이할 수 있다. 예를 들면 아파트 단지와 같이 다세대 공동 주택으로 구성된 주거지역과 원룸촌과 같은 다가구 주택의 경우 쓰레기를 배출하고 처리하는 패턴이 다르다. 아파트 단지의 경우(국가법령정보센터, 2020) 주택건설기준 등에 관한 규정에 따라 의무적으로 생활폐기물 보관시설 또는 용기를 설치해야 하며 아파트 단지에는 차량의 출입이 가능하고 주민의 이용에 편리한 곳에 설치해야 한다. 이와 반대로 원룸/빌라 등 소규모 다가구 다세대 주택의 경우 관련법이 없어 생활폐기물 보관시설 또는 용기를 설치하지 않아도 되며 쓰레기 수거 날짜에 맞춰 생활 쓰레기를 건물 앞에 배출하는 특징을 보인다.

이와 같은 생활 쓰레기 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 공학적 접근으로 폐기물 트럭의 경로를 최적화하고 폐기물 수집 비용을 절감하기 위한 몇 가지 작업이 에이전트 기반 시뮬레이션 및 지리 정보 시스템을 사용하여 수행되었다. 이희연 등(2001)은 지리정보시스템(GIS: Geographic Information System)을 이용한 생활폐기물의 수거권역 설정과 수거 차량의 순회에 관한 연구를 진행했다. 특히, 이희연 등(2001)은 수거권역을 도로망을 기준으로 설정하고 쓰레기 수집 구역의 쓰레기 배출량 정보를 활용하여 평균 쓰레기 배출량을 산정하였다. 이후 배출량을 고려하여 쓰레기 수거 차량의 순회 경로의 최적화를 수행하였다. 이상의 해외 사례로는 Karadimas 등(2006)이 GIS와 에이전트 기반 시뮬레이션을 활용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 특히 쓰레기 수거 차량을 에이전트로 정의하고 쓰레기의 수거 경로 및 수거 주기 최적화를 수행하였다.

이외에도 앞서 설명한 DEVS 형식론을 활용한 사회현상 모델링 격자 구조의 세포(Cell) 모델을 정의하고 에이전트의 동작 규칙을 정의하여 시뮬레이션을 수행한 사례가 있다. Farrell 등 (2013)은 사회현상을 모델링하는데 있어 기본이 되는 보행자의 이동을 DEVS형식론의 일종인 Cellular DEVS 형식론을 사용하여 모델링을 수행하였고, 에이전트가 이동하는 규칙을 정의하여 보행자의 이동에 대한 M&S 환경을 제시하였다. Trabes 등 (2019)은 인간의 행동 패턴과 개인과 개인 사이의 상호작용을 Cellular DEVS 형식론으로 모델링하고 이를 도시의 발전에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이외에도 재난과 같은 사회문제를 해결하기 위하여 사회의 조직 및 기관에 대한 정형화된 에이전트의 구조를 정의하고 이를 분석한 연구 (Moon, 2015)와 대규모 시뮬레이션에서 에이전트의 행동을 비롯하여 조직과 조직 사이의 상호작용 및 에이전트와 에이전트의 상호작용을 정형적으로 모델링하기 위하여 DEVS 형식론 사용하여 모델링하고 시뮬레이션을 수행한 연구가 있다(Zhang 등 2013). 이상의 연구들은 DEVS형식론을 사용하여 사회현상과 사회문제를 모델링하기 위하여 기본 단위로 적용되는 에이전트를 표현함에 있어서 DEVS형식론을 적용하였으며 에이전트의 행동패턴과 상호작용을 규칙 혹은 DEVS형식론을 사용하여 정형적으로 표현하였다.

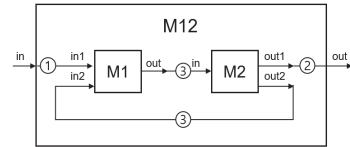
본 연구는 이와 유사하게 DEVS형식론을 사용하여 지역사회의 쓰레기 문제를 모델링하였으며 쓰레기를 생성하는 에이전트와 쓰레기를 수거하는 에이전트를 각각 모델링한 후에 시뮬레이션을 수행하기 위하여 주어진 지역의 에이전트 분포와 쓰레기 수거 전략에 따라 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 환경을 구성하였다.

## 2.2 이산사건 시스템 명세

이산사건 시스템 명세(DEVS 명세: Discrete Event System Specification)는 DEVS 형식론의 원자모델과 결합모델을 바탕으로 모델링 대상 시스템을 수학적 틀로 표현할 수 있다. DEVS 명세는 수학적 명세 방법으로 모델을 표현할 수 있어서 모호함이 없는 형태로 시스템의 동작을 기술할 수 있으며 하나의 시스템을 구성할 때 작은 시스템의 조합으로 표현할 수 있게 함으로써 기존에 개발한 시뮬레이션 모델을 재활용하기 쉽다는 특징이 있다. DEVS 명세에서는 시스템을 표현할 때 더 나눌 수 없는 단위 요소인 원자 모델(Atomic Model)과 작은 시스템을 조합하여 큰 시스템을 개발할 수 있게 하는 결합 모델(Coupled Model)로 구성된다. DEVS 형식론의 구체

적인 사항은 Zeigler 등 (2000)에서 확인할 수 있다.

DEVS 모델은 원자모델과 결합모델은 외부와의 상호작용을 기술하기 위해 입력/출력 사건을 집합의 형태로 표현한다. 원자 모델의 경우 입력과 출력은 내부 상태를 기준으로 상태 천이와 출력을 결정하고 결합모델의 경우 연결 관계에 기술되어 있는 모델로 전파한다. 이상의 원자모델과 결합모델은 그 구조를 Fig. 1과 같이 도식화하여 표현할 수 있다.



$$M12 = \langle X, Y, M, EIC, EOC, IC, SELECT \rangle$$

$$X = \{ in \} / Y = \{ out \};$$

$$M = \{ M1, M2 \}$$

$$\textcircled{1} EIC \subseteq DN.X \times U_i M_i.X_i \rightarrow EIC = \{ M12.in, M1.in1 \}$$

$$\textcircled{2} EOC \subseteq U_i M_i.Y_i \times DN.Y \rightarrow EOC = \{ M2.out1, M12.out \}$$

$$\textcircled{3} IC \subseteq U_i M_i.Y_i \times U_j M_j.X_j \rightarrow IC = \{ (M1.out1, M2.in)(M2.out2, M1.in2) \}$$

Fig. 1. Diagram of a Coupled Model

원자모델과 결합모델은 에이전트의 행위와 주거지역을 표현하기에 충분한 표현력을 가지고 있다. 전문가는 거주민의 생활 방식에 대해서 외부 입력과 시간의 흐름에 따른 행위를 정의함으로써 표현할 수 있으며 결합모델을 사용하여 다양한 종류의 에이전트를 구성함으로써 건물이나 주거지역을 표현할 수 있다.

## 3. 지역사회 쓰레기 문제 해결을 위한 에이전트 모델링 및 시뮬레이션

지역사회의 쓰레기 문제 해결을 위해서 본 연구는 거주 지역을 구성하고 있는 거주민들의 특징과 시간의 흐름에 따른 거주민들의 행위를 관찰하면서 쓰레기 배출량 및 쓰레기 수거 시스템에 대한 평가를 수행한다.

### 3.1 지역사회 쓰레기 문제 해결을 위한 에이전트 모델링

지역사회 내 쓰레기 문제의 경우 쓰레기의 배출, 수거 및 처리에 대하여 모델링을 수행해야 하나 본 연구에서 다루고자 하는 거주민의 동특성에 따른 쓰레기 문제 해결에 집중하기 위하여 쓰레기 처리에 대한 모델링은 수행하지 않고 쓰레기의 배출과 수거에 대하여 모델링을 수행하였다. 본 연구는 쓰레기를 생성하는 거주민 에이전트와 쓰레기를 수거하는 수거 차량 에이전트를 사용하여

모델링을 수행하였다.

쓰레기를 생성하는 거주민의 경우 핵심적으로 모델링해야 하는 사건은 취침, 기상, 외출이 있다. 이들 사건은 모든 거주민에 동일하게 적용될 수 있는 사건들로 취침 사건부터 기상 사건까지는 거주민 에이전트가 쓰레기를 생성하지 않고, 외출 사건이 발생하게 되면 건물에 비치된 쓰레기 수거장에 쓰레기를 배출하게 된다. 따라서 거주민 에이전트의 행위를 모델링하기 위해서는 쓰레기를 생성하는 시간과 쓰레기를 배출하는 이벤트에 대하여 모델링을 수행하였으며 이는 Fig. 2와 같이 쓰레기 생성을 담당하는 Generator Model을 원자 모델로 구성하였다.

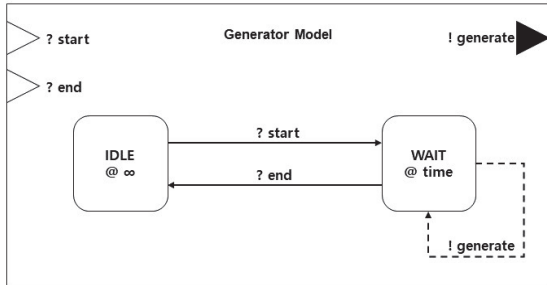


Fig. 2. Atomic Model Diagram for Waste Generation

Fig. 2의 Generator Model을 원자 모델은 시뮬레이션의 시작 사건을 받으면 대기 상태에서 WAIT 상태로 천이된다. WAIT 상태에서는 DEVS 형식론의 시뮬레이션 알고리즘에 따라 *time*만큼 대기하고 쓰레기를 생성한다. WAIT 상태에서의 대기 시간인 *time*은 에이전트가 대표하는 직업에 따라 다르게 생성될 수 있어 직업 객체를 정의하여 서로 다른 직업에 따른 에이전트의 동특성을 표현하였다.

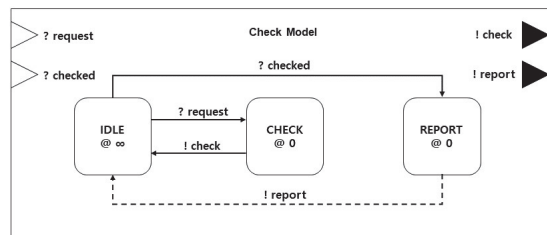


Fig. 3. Atomic Model Diagram for Waste Check

Fig. 3의 Check 모델은 쓰레기 수거장의 청결도에 따른 거주자의 만족도를 측정하는 모델이다. Check 모델은

Generator Model에서 쓰레기를 배출하는 순간 쓰레기 수거장의 쓰레기양을 확인하고 그 정도에 따라 민원을 제기하는 모델이다. 해당 모델의 경우 앞서 설명하였던 에이전트의 직업적 특성에 따라 쓰레기를 배출하는 시간대가 다르므로 민원을 제기하는 패턴이 달라진다. Fig. 4는 Fig. 2와 Fig. 3의 쓰레기 생성 모델과 청결도 확인 모델을 조합하여 구성한 거주민 에이전트를 표현하는 결합 모델이다.

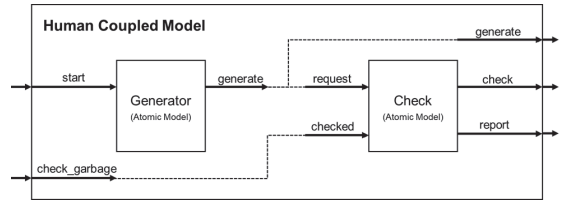


Fig. 4. Coupled Model Diagram for a Human

Fig. 4와 같이 결합모델로 표현된 거주민 에이전트는 쓰레기를 생성하는 모델과 쓰레기를 확인하는 모델로 구성되어 있어서 다양한 형태의 거주민을 모델링하는데 적합하다. 예를 들어 해당 지역에서 살고 있지 않은 주민의 경우에는 쓰레기를 생성할 수 있으나 쓰레기로 인하여 민원을 제기하지 않기 때문에 해당 결합모델에서 Check 모델을 삭제하여 구성할 수 있다. 또는 쓰레기를 생성하지 않고 청결도를 확인하는 임대인 에이전트를 모델링하기 위해서 Generator를 삭제하고 Check 모델만을 가지는 모델로 구성할 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 쓰레기 수거장과 쓰레기 수거 차량 에이전트를 표현한 원자 모델이다. 쓰레기 수거장 모델은 거주민으로부터 배출된 쓰레기를 저장하고 쓰레기 수거장의 청결도를 반환할 수 있으며 쓰레기 수거 차량 에이전트는 최초 해당 지역의 쓰레기 수거장으로 진입하는 시간인 *INIT* 이후에 *delay*를 통해 쓰레기 수거 차량의 순회를 모델링하였다.

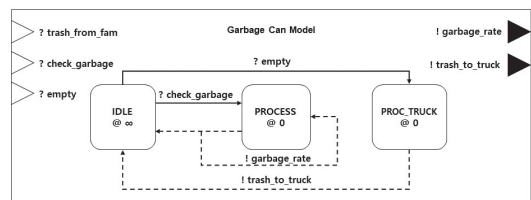


Fig. 5. Atomic Model Diagram for a Garbage Can



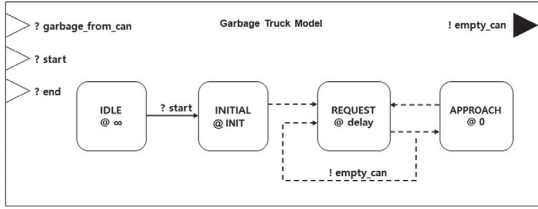


Fig. 6. Atomic Model Diagram for a Garbage Truck

### 3.2 지역사회 쓰레기 문제 해결을 위한 에이전트 기반 시뮬레이션

본 절에서는 지역사회의 쓰레기 문제 해결을 위한 에이전트 기반 시뮬레이션을 위해서 거주민 에이전트와 쓰레기 수거 차량 에이전트 외에 에이전트 기반 시뮬레이션을 수행하기 위해서 개발된 모델을 소개한다.

Fig. 7은 가족 구성을 모델링하기 위해 모델링된 결합 모델로 다양한 구성의 거주민을 하나의 단위로 묶어 시뮬레이션을 수행하기 위한 모델이다. Family 결합모델은 내부적으로 다수의 거주민으로 구성되며 각각의 거주민은 다른 직업을 가질 수 있다.

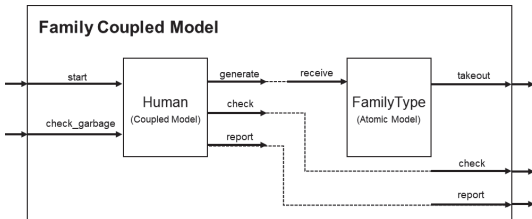


Fig. 7. Coupled Model Diagram for a Family

각각의 Human 원자 모델은 Fig. 8의 FamilyType 모델에 연결되어 쓰레기를 배출한다. FamilyType 모델은 가족 구성원이 쓰레기를 배출할 때 각자 배출하지 않고 모여진 쓰레기를 한꺼번에 배출하는 특성에 착안하여 생성되는 쓰레기양을 저장하고 있다가 무작위로 에이전트 가 외부로 이동하는 시점에 쓰레기를 배출하는 모델이다.

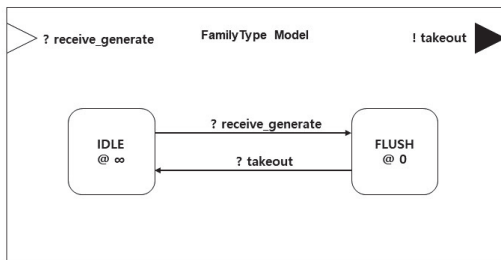


Fig. 8. Atomic Model Diagram for a Family Type

또한, 각 건물에는 단독 건물 혹은 다세대 주택이 존재할 수 있으므로 Fig. 9와 같이 건물을 표현하는 결합모델을 설계하였다. Building 결합모델은 다수의 Family 결합모델을 가질 수 있으며 쓰레기 수거함 모델을 지니고 있어 쓰레기 수거함에 Family 모델이 배출한 쓰레기를 저장한다.

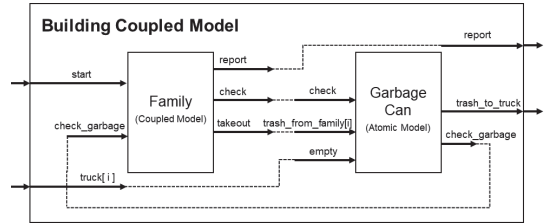


Fig. 9. Coupled Model Diagram for a Building

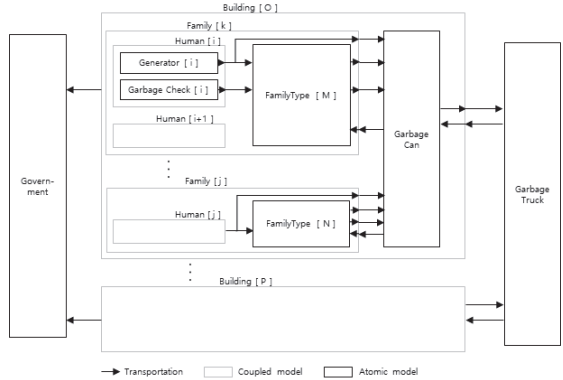


Fig. 10 Overview of the Simulation Model

Fig. 10은 지역사회의 거주민들의 행동 패턴을 고려한 시뮬레이션의 구조를 도시한 그림이다. 제안하는 시뮬레이터는 계층적으로 구성될 수 있으며 이미 개발된 결합 모델을 조합하여 주거지역의 거주민 구성을 모의할 수 있다.

## 4. 사례연구

본 연구는 포항시 내 임의의 원룸촌 지역을 중심으로 DEVS 형식론을 모델링한 주거지역의 시뮬레이션을 수행하였다. 모델링 대상 지역은 인근에 대학교가 위치하며 일용직 노동자의 유입이 많은 지역적 특징을 반영하도록 모델링을 수행하였다. 구역내 인구 구성은 조사를 통해 파악할 수는 있으나 단기간 주거하는 형태를 가지며 정확한 통계를 구하기 어려운 문제가 있어 모델링 대상

지역을 대표할 수 있는 주거민의 종류로 전업주부, 학생, 생산직 노동자를 대상으로 행동 패턴을 반영할 수 있도록 모델링하고 시뮬레이션을 수행하였다.

연구에서는 100명의 사람을 4개의 건물에 각각 25명씩 배정하였다. 특별히 학생들과 일용직 노동자들, 생산직의 특징상 일과 시간 내 주거지역에 쓰레기를 배출하지 않고 퇴근 이후 혹은 오전에 쓰레기를 배출하는 형태를 보이기 때문에 일관된 행동패턴을 가지지 않도록 가상시간을 기준으로 평균이 1 시간 내외에 외출한다고 가정하였다. 또한, 쓰레기 배출량은 일일 평균 쓰레기 배출량에서 평균이 0이고 표준편차가 0.3인 정규분포를 가지는 확률변수를 사용하여 쓰레기 배출량을 조절하였다. 이를 바탕으로 쓰레기 발생량 예측 방법을 경향법(Trend Projection Method)를 사용하여 시간에 따른 쓰레기 발생량 간의 상관관계만을 이용하여 하루에 나오는 쓰레기를 계산했다. 다음 Table 1은 시뮬레이션에서 사용되는 에이전트에 대한 정보로 장량동(포항시 북구지역) 원룸촌을 구성하고 있는 거주민의 특징을 갤럽의 조사 결과를 바탕으로 구성하였다(Gallup Korea, 2014).

**Table 1.** Agent Information

	Blue collar	Student	Housewife
Leave time	7:22:00 ± α	8:58:00 ± α	14:00:00 ± α
Waste (kg/day)	0.9 ± β	0.9 ± β	0.9 ± β

제안하는 시뮬레이션은 랜덤 시드를 변경하며 1개월 간 발생하는 민원이 제기된 횟수에 대한 시뮬레이션을 30회 반복하여 계산하였다. 실험을 수행한 환경은 Python 기반의 DEVS 시뮬레이션 엔진인 SESManager를 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다(Choi, 2019).

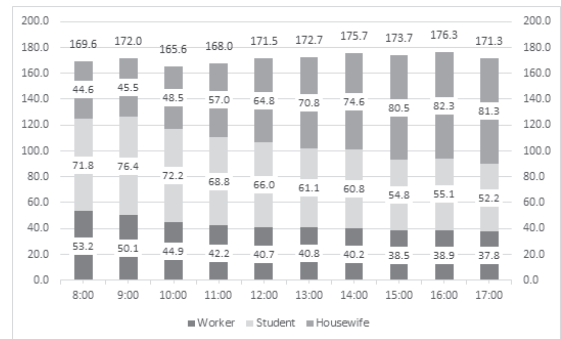
시험사례를 위하여 일용직 노동자, 학생, 주부가 동일한 비율로 구성되어 있는 주거 지역을 가정하고 Table 1에서 명시되어 있는 정보를 바탕으로 에이전트의 동작을 정의하였고 총 100개의 에이전트를 담고 있는 4개의 건물을 생성하였다. 각 건물에는 쓰레기를 임시 저장할 수 있는 쓰레기통을 비치한다고 가정하고 30kg을 저장할 수 있도록 설정하여 민원이 많이 발생할 수 있도록 실험을 설계하여 에이전트의 행동에 따른 민원제기 횟수를 확인할 수 있도록 실험을 설계하였다.

해당 주거지역을 관리하는 수거차량은 포항지역의 쓰레기 수거에 대한 과업지시서를 바탕으로 이틀에 한 번씩 수거하며 각 건물을 처리하는 데 걸리는 시간은

0.1 시간이 걸린다고 가정하였다. 그리고, 쓰레기 통과 쓰레기 수거 차량의 용량이 시뮬레이션의 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 주거민의 외출 시간에 따라 만족도가 어떻게 변할 수 있는지를 확인하기 위하여 하루 수거 가능한 쓰레기 무게를 120kg로 시뮬레이션을 수행하였다.

에이전트의 만족도는 쓰레기가 일정 수준 이하일 때 쓰레기를 만족도가 올라가며 일정 수준 이상일 때 만족도가 감소하는 모델을 구성하였다. 본 사례연구에서는 임의로 수거된 쓰레기통이 80% 이상 채워져 있으면 쓰레기로 인한 만족도가 10 감소하고, 80% 이하였으면 만족도가 10 증가한다고 가정하였다. 또한, 쓰레기통이 완전히 비어 있으면 만족도가 20으로 증가한다고 보고 시뮬레이션을 수행하였다. 에이전트의 초기 만족도는 100으로 고정하였으며 에이전트의 만족도가 0이 된 순간 민원을 제기한다고 가정하였다.

Fig. 11은 이상의 에이전트 행동 패턴을 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과를 도시한 것이다.



**Fig. 11.** Number of claims based on the Truck Schedule

해당 시뮬레이션은 744시간 동안 에이전트의 행위를 시뮬레이션하였으며 각 에이전트가 쓰레기를 배출하는 시간의 분포가 정규분포를 따른다고 보고 평균 1시간에 표준편차가 1시간인 분포로 쓰레기를 배출함에 따라 쓰레기 수거차량의 운영시간에 따른 각 에이전트의 종류별 일주일 평균 민원제기 수와 누적 민원제기 수를 측정하였다. 이에 시간의 흐름에 따라 누적 민원제기 수가 변화하는 것을 볼 수 있으며 평균 민원제기 수가 제일 적은 시점은 오전 10시에서 오후 12시 경임을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 Fig. 12와 Fig. 13과 같이 에이전트의 외출 시간에 대한 표준편차를 변화시켜 가며 실험을 수행하였다.

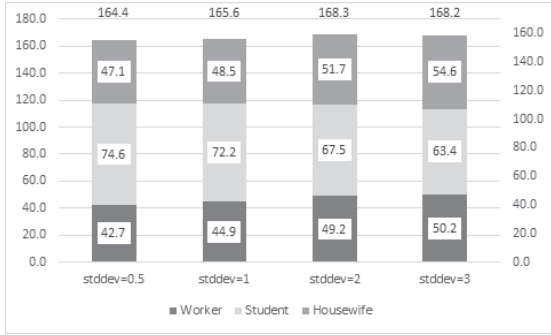


Fig. 12. Number of claims (Time:10:00,  $\mu = 1$ )

Fig 12는 오전 10시에 쓰레기 차가 쓰레기 수거를 시작하는 것으로 에이전트의 외출 시간의 분포가 퍼지지 않았을 시에 평균 민원제기 수가 최소임을 확인할 수 있다. 이는 일용직 노동자와 학생의 외출 시간의 기준이 각각 오전 7시와 오전 9시 경을 기준으로 분포하고 있기 때문에 쓰레기 수거 차량이 10시 경에 수거하였을 시에 각 에이전트가 배출하는 쓰레기를 수거하여 가정주부의 민원제기 수가 줄었기 때문임을 알 수 있다.

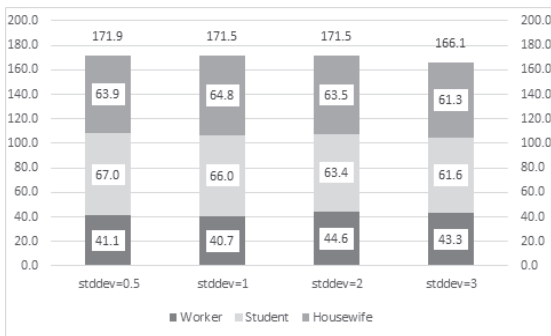


Fig. 13. Number of claims (Time:12:00,  $\mu = 1$ )

Fig 13은 오후 12시에 쓰레기를 수거하는 것으로 오후 12시에 수거하는 경우 쓰레기 배출 시기가 널리 퍼져 있는 경우 최적의 결과를 도출하는 것을 확인할 수 있다. 이는 쓰레기 수거 시간이 12시 인 경우에 쓰레기 배출 시기가 널리 퍼져 있을수록 쓰레기 수거차량이 쓰레기를 수거할 확률이 증가하기 때문에 각 에이전트의 민원제기 수가 줄어들었음을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

도시화로 인한 인구 밀집 현상은 다양한 사회문제를

발생시키고 있으며 도시에서 살아가는 주민들의 생활 만족도를 떨어뜨릴 수 있다. 다양한 사회문제 중에서 쓰레기 문제는 공공 서비스를 제공하는 지방자치단체뿐만 아니라 주거지역의 거주민들에게도 밀접한 문제로 대표적인 사회문제라 할 수 있다. 쓰레기 문제와 같은 사회문제는 단번에 문제를 해결할 수 있는 것이 아니라 과학적인 근거를 바탕으로 다수의 사회구성원과의 합의를 바탕으로 진행되어야 한다.

본 연구는 다학제 융합 연구에서 활발히 활용되고 있는 모델링 및 시뮬레이션을 활용하여 사회문제를 해결해 나갈 수 있는 근거를 제시할 수 있는 연구를 제시하였다. 특히 제안하는 연구는 에이전트 기반 시뮬레이션을 활용하여 주거지역 내 거주민의 특성을 모델링하였고, 이를 시뮬레이션하여 거주민의 구성에 따라 민원 제기의 빈도와 패턴이 달라질 수 있음을 보였다. 제안하는 모델링 및 시뮬레이션은 주거지역의 구성원을 이산사건 시스템으로 보고 이를 이산사건 시스템 형식론의 원자모델과 결합모델로 구성하고 전문가가 실험하고자 하는 구성원의 특징을 원자 모델 혹은 결합모델로 구성하여 실험할 수 있게 하였다. 이에 전문가는 데이터를 기반으로 시뮬레이션 파라미터를 변경하거나 새로운 행위를 적용하기 위하여 원자 모델로 새로운 모델을 추가할 수 있다. 또한, 기술된 원자 모델을 조합하여 결합모델 형태로 다양한 조합의 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 본 연구는 거주민의 행동 패턴과 그 구성분포에 따라 발생할 수 있는 쓰레기 배출 문제에 대해서 모델링을 수행하고 다양한 패턴과 구성에 대해서 실험하고 그 결과를 분석함으로써 M&S 기반 정책 수립 및 대안분석이 가능함을 보였다. 향후 본 연구 결과를 바탕으로 현실성 있는 쓰레기 수거 정책 수립에 활용할 수 있도록 실증 데이터를 확보하고 모델의 정확성 향상에 관한 지속적 연구가 필요하다.

## References

- 국가법령정보센터. (2019), 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령 제2절 용도지역 용도지구 용도구역, 제 30조 (용도지역의 세분).
- \_\_\_\_\_. (2020), 주택건설기준 등에 관한 규정 제4장 부대시설 제38조 (폐기물보관시설).
- 오영균. (2018), 지역여건에 대한 평가와 삶의 만족, *지방행정연구*, 제32권, 제3호(통권 114호) 2018. 9.
- Bonabeau, E. (2002), Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems

- Proceedings of the National Academy of Sciences. May 14, 2002.
- Choi, C. (2019). SESManager: System Entity Structure Manager (Version 1.0) [Software]. Available from <https://github.com/cbchoi/SESManager>
- Erol, K., Levy, R., and Wentworth, J. (2007) Application of Agent Technology to Traffic Simulation, United States Department of Transportation, May 15, 2007.
- Farrell, R. et. al. (2013) Modeling and Simulation of Crowd using Cellular Discrete Event Systems Theory, In Proceedings of the CM SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation (SIGSIM PADS '13). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 159-168.
- Gallup Korea. (2014) Korean life time - wake up / sleep / sleep time (2013.02 ~ 2013.12). <http://www.gallup.co.kr/gallupdb/reportContent.asp?seqNo=516>. Accessed:2020-01-15
- Karadimas, N., Rigopoulos, G. and Bardis, N. (2006). Coupling Multiagent Simulation and GIS - an Application in Waste Management. Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on SYSTEMS, At Vouliagmeni Beach, Athens, Greece
- Moon, I. (2015) Formal agent-based models of social systems, in Gianni, D., D'Ambrogio, A., and Tolks A (ed.) Modeling and Simulation-Based Systems Engineering Handbook (1st Edition), Taylor & Francis Group. pp.67-93.
- Lee, H., and Im, E., (2001), A Study on the Solid Waste Collection Districting and Vehicle Routing-Scheduling for Waste Collection Using GIS, The Journal of GIS Association of Korea, Vol.9, No.1, pp.15-30, April 2001.
- Siddiqah A. et. al. (2009). A new hybrid agent-based modeling decision support system for breast cancer research, IEEE ICICT, IBA, Karachi, August 15-16, 2009. Breast Cancer DSS
- Zeigler, B. P., Praehofer, H. and Kim, T. G. (2000). Theory of Modelling and Simulation (2nd Edition), Academic Press, 2000.
- Trabes G., et. al. (2019) Cellular Discrete-Event Models for Social Systems, In Proceedings of the 2019 Summer Computer Simulation Conference, July 2019, Berlin, Germany.
- Zhang, M., Seck, M., and Verbraeck, A. (2013) A DEVS-based M&S Method for Large-scale Multi-agent Systems. In Proceedings of the 2013 Summer Computer Simulation Conference, July 2013 Article No.3, pp.1-8.





**최창범** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-4826-7949> / [cbchoi@handong.edu](mailto:cbchoi@handong.edu))

2005 경희대학교 컴퓨터공학 학사  
2007 KAIST 전산학 석사  
2014 KAIST 전자공학 박사  
2014~ 현재 한동대학교 ICT창업학부 조교수

관심분야 : DEVS 형식론, 소프트웨어 품질 보증, VV/A



**정진호** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-5501-7112> / [xxjino3o@gmail.com](mailto:xxjino3o@gmail.com))

2020 한동대학교 경영학과 학사

관심분야 : 모델링&시뮬레이션



**류창현** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-8052-1038> / [21300259@handong.edu](mailto:21300259@handong.edu))

2013~ 현재 한동대학교 경영경제학부 재학

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 경영분석, 의사결정과 위험분석



**김은영** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-1426-0378> / [hellosally@daum.net](mailto:hellosally@daum.net))

2011 부경대학교 경제학박사  
2012~ 2014 포항공과대학교 산학협력연구소 부연구위원  
2015 한국기술교육대학교 기술혁신경영연구소 연구교수  
2016~ 현재 포항테크노파크 경북SW융합진흥센터 선임연구원

관심분야 : R&D정책, 기술경제, AI(서비스혁신), 지역 및 산업경제