

행위자기반(agent-based) 보행 시뮬레이션 모델을 이용한 보행시설 설치 실험에 관한 연구

A Study on Installation Experiment of Pedestrian Facility Using Agent-based Pedestrian Simulation Model

이 신 해* 이 승 재**
(Shin-Hae Lee) (Seung-Jae Lee)

요 약

본 연구의 목적은 CA(Cellular Automata)이론을 기반으로 행위자기반(agent-based) 보행시뮬레이션 모델을 개발하고, 개발된 모델을 보행시설 설치 실험에 적용하여보는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 보행교통류에 CA이론이 적용된 모델을 검토하고, Fence라는 보행시설이 보행자의 통행속도에 미치는 영향을 분석하기 위해 실험을 계획하고 CA보행자 모델을 구축하였다. 구축된 CA보행자 모델은 초기화, 보행자 발생·유입, 측방이동, 전방이동의 하위모델로 구성되어 있다. 실험결과 Fence를 설치했을 때의 보행속도가 Fence를 설치하지 않았을 때의 보행속도보다 높게 나타나, 통행 방향이 다른 보행자가 혼재되어 있을 경우 Fence를 설치하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 또한, Fence의 설치는 매우 혼잡한 상황에서도 적당한 혼잡상태에서 더 큰 것으로 분석되었다.

Abstract

The purpose of this paper is the development of an agent-based pedestrian simulation model. The simulation model is based on the Cellular Automata theory. The model consists of four components: initialization, pedestrian generation, lateral movement, and front movement components. We have applied this model for experiment about pedestrian facility. In particular, we have experimented how the installation of fence is effective to resolve conflict pedestrian movements in different directions. We have found that the installation of the fence as a pedestrian facility can divide conflict moving pedestrians effectively. We have also found that the effect of the fence is bigger in slightly congested pedestrian flows than in severely congested pedestrian flows.

Key words: Agent-based, cellular automata, pedestrian simulation model, pedestrian facility, fence

† 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(KRF-2006-611-D00042)

* 주저자 : 서울시정개발연구원 도시기반연구본부 연구위원(교신저자)

** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

† 논문접수일 : 2009년 4월 28일

† 논문심사일 : 2009년 6월 15일

† 게재확정일 : 2009년 6월 16일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

지속가능한 개발, 지속가능한 성장, 녹색성장, 친환경 교통체계 등이 강조되고 있는 가운데, 녹색수단에 대한 관심이 점점 증가하고 있으나, 녹색수단에 대한 접근은 차량에 비해 체계적이지 못하였다. 대표적인 녹색수단인 보행은 그 동안 차량에 비해 관련된 연구도 미미하고, 정책적인 접근도 전문가보다는 시민단체에 의존하여 왔다고 해도 과언이 아니다. 보행교통류에 대한 분석에서 또한 보행량에 대한 자료, 보행량을 분석하는 틀의 부재로 매우 제한적으로 수행되어왔다.

그러나, 신도시 개발, 대규모 재개발 및 재건축 등에서 공간을 보는 시각의 중심이 차량에서 보행자로 옮겨지고, 교통정책에서도 정책의 주요 대상이 차량 운전자에서 대중교통 이용자로 변환되면서, 보도, 버스정류장, 도시철도역, 환승센터 등 보행자가 영유하는 공간에 대한 연구, 보행 행태에 영향을 미치는 보행자의 특성에 대한 연구, 환승역, 횡단보도, 보행량이 많은 보도 등에서 발생하는 대규모 보행교통류의 관리에 대한 연구 등 보행에 관련된 연구들이 매우 필요하게 되었다.

이에 본 연구의 목적은 CA(Cellular Automata)이론을 기반으로 행위자기반(agent-based) 보행시뮬레이션 모델을 개발하고, 개발된 모델을 보행시설 설치 실험에 적용하여보는 것이다.

2. 연구의 방법

CA이론을 기반으로 한 행위자기반 보행시뮬레이션 모델을 개발하고, 이를 보행시설 설치 실험에 적용하기 위하여 본 연구에서는 우선, 선행연구고찰을 수행하였다. 선행연구고찰에서는 행위자기반 시뮬레이션 모델에 대한 이론적인 검토를 하고, 교통분야에 한정하여 행위자기반 시뮬레이션 모델이 적용된 사례에 대하여 검토하였다. 이후, 본 연구에서 행위자기반 보행 시뮬레이션 모델을 구축하기 위해 사용

한 CA(Cellular Automata)이론에 대하여 검토하고, 보행교통류에 CA이론이 적용된 모델을 검토하였다. 마지막으로 본 연구에서는 Fence라는 보행시설이 보행자의 통행속도에 어떠한 영향을 미치는가를 실험하기 위해 실험계획을 하고, 실험을 수행하기 위한 CA 보행자 모델을 구축하여, 실험을 수행한 후 결과를 분석하였다.

II. 선행연구 고찰

1. 행위자기반(agent-based) 시뮬레이션 모델

최근 다양한 분야에서 복잡계(complex system)에 대한 활발한 연구가 진행되고 있는데, 교통분야에서도 교통시스템을 하나의 복잡계로 보고 해석하기 위한 개념과 기법들이 도입되고 있다. 이들 중 행위자기반(agent-based) 시뮬레이션 모델은 매우 흥미로운 기법으로 여겨지고 있다.

행위자기반 시뮬레이션 모델에 대해서는 이중호 [1-3]의 논문에 비교적 자세하게 소개되어 있는데 이를 요약하면 다음과 같다.

- 행위자기반 시뮬레이션 모델은 일반 수학적 알고리즘과는 거리가 멀다. 대신 행위자기반 시스템(agent-based system)을 기본 환경(platform)으로 채택한다. 행위자기반 시스템은 시스템 내에 행위자가 존재하며, 이 행위자는 주어진 시스템 환경 하에서 주어진 규칙이나 지시를 따라 행동한다. 물론, 여기서 규칙이나 지시는 시스템의 운영자가 결정한다. 이때 행위자가 복수가 되면 다중행위자 시스템(multi-agent system)으로 불리며, 행위자간의 교신, 협동, 정보 및 지식교환이 가능해 진다.

- 행위자의 속성은 아직 정립되지 않았으나, 대체적으로 요구되는 행위자의 속성으로는 인식능력을 가질 것(cognitive ability), 반응능력을 가질 것(reactive ability), 혼자 주어진 임무를 수행할 수 있을 것(autonomy), 사회성이 있을 것(social ability), 변화하는 환경을 받아들이며(responsiveness) 적극적으로 대처(pro-activeness)를 할 수 있을 것, 지식습득능력을

가지고 있을 것(learning ability)등이 있다.

2. 행위자기반 시뮬레이션 모델 관련연구 고찰

행위자기반 시뮬레이션 모델을 이용한 연구는 다양한 분야에 걸쳐 진행되어 왔는데, 본 연구에서는 교통분야에 한정하여 선행연구를 고찰하였다.

Burmeister 외 [4], Pecta와 Pasupathy [5], Wahle과 Schreckenberg [6]은 차량을 행위자로 가정하여 교통류의 흐름을 표현하였고, Adler와 Blue [7]는 개별 교통제어기와 지역 교통제어기, 차량을 행위자로 가정하여 도시교통운영에도 행위자기반 시뮬레이션 모델을 제안하였으며, Nagel과 Schreckenberg [8]는 차량을 행위자로 하고CA(Cellular Automata)이론을 적용하여 교통류의 흐름을 표현하였다.

최근 교통분야에서 행위자기반 시뮬레이션 모델을 이용하는 큰 분야는 보행 분야인데, 주로 보행자를 행위자로 가정하여 보행교통류의 흐름을 표현하고 있다. Batty [9]은 혼잡이 발생하기 쉬우나 관리가 가능한, 상업지역의 거리축제를 행위자기반 시뮬레이션 모델로 구축하여 발생할 수 있는 문제점과 개선방안을 제시하였다. Blue와 Adler [10,11]는 CA이론을 기반으로 보행 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 손영태 외 [12]는 CA이론을 기반으로 하고 보행자도로를 대상으로 한 시뮬레이션 모델을 개발하고, 보행자 도로의 용량과 각 밀도에서의 보행교통류의 특성값을 추정하여 현장 실측값과 비교하여, CA이론을 바탕으로 한 행위자기반 시뮬레이션 모델이 보행교통류를 표현하는데 무리가 없다고 제안하였다. 문태현과 성한욱 [13]은 주변 보행환경에 다이나믹하게 반응하는 보행자행동 멀티에이전트(Multi-agent) 모델을 개발하고, 개발된 모델을 보행여건 변화에 따른 보행자 행태의 변화를 시뮬레이션 하여 모델의 유효성을 검증하였다. 이준 외 [14]는 SLM(Square Lattice Model)과 HLM(Hexagonal Lattice Model)을 개선하여 만든 RHLM(Rotated Hexagonal Lattice Model)을 제시하고, 이를 이용하여 양방향 보행 교통류의 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

Ⅲ. 행위자기반(agent-based) 보행 시뮬레이션 모델

본 연구에서 사용한 행위자기반 보행 시뮬레이션 모델은 CA이론을 기반으로 하고 있어, CA이론을 보행교통류에 적용하는 것을 검토한 후, 시뮬레이션 모델의 알고리즘에 대하여 기술하였다.

1. CA이론

CA이론은 1940년 두 명의 수학자 John von Neumann와 Stanislaw Ulam가 고안해낸 이론이다. CA이론은 격자형으로 생긴 인접한 Cell들 간의 상호작용을 규칙화하여 프로그래밍한 Cell들의 배열조합을 말하는 것으로 전체적으로도 Cell 한 개와 같은 격자형 구조를 갖는다. CA모형의 배열은 띠 모양, 1차원, 2차원 등 다양한 구조로 구성이 가능하다.

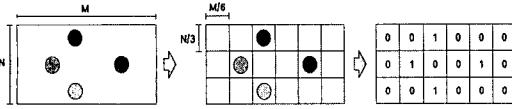
CA이론은 상태(state), 주변(neighborhood), 규칙(rule)의 3가지 구성요소를 갖는데, 그 각각을 살펴보면 다음과 같다.

- 상태(state): 각 Cell의 공간적 점유상태를 나타내는 상태 값을 말하는 것으로 CA모델에서는 이 값이 아주 간단한 숫자 1, 0으로 표현한다. (예 : 1-Cell의 점유상태를 설명, 0-Cell의 비 점유상태를 설명) 이러한 장점으로 CA이론은 메모리의 사용량이 적고 연산이 빨라 대규모 네트워크에 적용이 가능하다.

- 주변(neighborhood): 주변은 서로에게 영향을 미치는 각 Cell들의 집합수를 나타내는 것으로, 상태가 변화되는 Cell에 영향을 미치는 다른 Cell들의 집합이라고 설명된다.

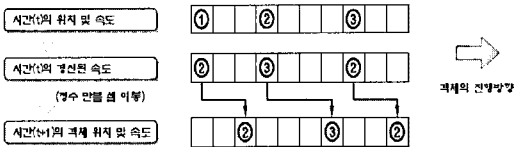
- 규칙(rule): 전체적 격자형 구조에서 각 Cell들의 이동을 결정짓는 규칙을 말하는 것으로 Cell의 이동방향과 거리가 규칙에 의해서 결정지어진다.

교통분야에서 CA이론은 차량행태모델에 우선 적용되었는데, 이를 위하여 많은 부분이 수정되었다. 차량행태모델에 사용된 Cell의 공간적 구조는 차량한대가 점유할 수 있는 공간, 즉 차량길이와 최소 차두거리에 의해 결정되며, Cell의 상태 값은 차량점유



<그림 1> CA이론의 공간 표현방법

<Fig. 1> Expression method of the space in CA theory



<그림 2> CA이론의 객체 이동방식

<Fig. 2> Moving method of the object in CA theory

상황에 따라 (0,1)의 값을 갖는다. 그리고 Cell을 점유한 각 차량들은 하나의 속성값을 갖게 되는데, 이는 속도를 의미한다. 이때의 속도는 일반적으로 사용되는 m/s나 km/h의 값이 아니라 cell/s로 표현되며, 0~5cell/s의 범위값을 갖게 된다. 5cell의 값은 차량이 가질 수 있는 최대속도를 뜻하며 일반적인 Cell길이 7m를 적용할 경우 130km/h해당되는 속도이다.

2. 보행교통류에 CA이론 적용

Blue와 Adler는 CA이론을 기반으로 한 보행 시뮬레이션 모델에서는 보행자의 이동 수행과정을 총 4 단계(stage)로 설명하고, 4단계에 적용되는 규칙(rule)을 6개로 정립하였다.

Blue와 Adler의 4단계는 Cell 로 표현되는 각 보행자의 진로(lane)를 결정하는(직진이나 좌측 또는 우측으로 진로를 변경할 것인가를 결정) 1단계, 각 보행자를 결정된 진로로 이동시키는 2단계, 각 보행자에게 통행속도를 배정하는 3단계, 그리고 각 보행자를 갱신된 속도로 전방 이동시키는 4단계로 구성되어 있고, 1단계에서 5개의 규칙이 적용되고, 2-4 단계에서 1개의 규칙이 적용된다. 이를 자세하게 살펴보면 <표 1>과 같다.

<표 1>에서 규칙 5에서 a 규칙은 보행자는 직진하려는 습관을 가지고 있다고 가정하고 직진의 확률을

80%로 좌측 또는 우측으로 변경하는 확률을 각각 10%로 설정한 것이고, b 규칙은 좌측 또는 우측 변경확률이 동일하다고 설정한 것이며, c 규칙은 보행자는 근접한 보행자와의 일정한 간격을 유지하고 한다는 것을 반영한 규칙이다.

<표 1> Blue와 Adler의 CA 보행 시뮬레이션 모델의 보행자이동 수행단계

<Table 1> Steps for pedestrian movement in CA pedestrian simulation model

Stage 1. Parallel Update #1 : Lane Assignments	
Rule 1. Check adjacent cells	IF the cell immediately to the left(right) is unavailable THEN assign the cell to be occupied and GOTO Rule 3 ELSE GOTO Rule2
Rule 2. Determine if adjacent lanes are free	IF the cell two lanes over to the left(right) is occupied by a pedestrian THEN with probability assign the left(right) lane to be occupied GOTO Rule 3
Rule 3. Determine if pedestrian must remain in current lane	IF the lane immediately to the right is occupied AND the cell immediately to the left is occupied THEN assign pedestrian p_n to his current lane ELSE GOTO Rule 4
Rule 4. Assign to uniquely maximal gaps	Compute the gaps for the current lane and for unoccupied adjacent lanes IF a gap is uniquely maximal THEN assign pedestrian p_n to the lane having maximum gap ELSE GOTO Rule 5
Rule 5. Tie-breaking of equal maximum gaps	Use the appropriate tie-breaking rule: (a-3-way tie) : Randomly apply 80/10/10 split for current lane and two adjacent lanes. (b-2-way tie between the adjacent lanes) : Randomly apply 50/50 split (c-2-way tie between current lane and single adjacent lane) : Randomly apply 50/50 split
Stage 2. Parallel Update #2 : Lane Movement	
Move each pedestrian p_n to the lane assigned in the lattice	
Stage 3. Parallel Update #3 : Assigning Travel Speeds	
Rule 6. Update velocity	Let $v(p_n) = \text{gap}$ IF $\text{gap} = 0$ or 1 and $\text{gap} = \text{gap}_2$ (cell occupied by an opposing pedestrian) THEN with probability p_{exchg} , $v(p_n) = \text{gap} + 1$ OR with probability $(1 - p_{\text{exchg}})$, $v(p_n) = 0$
Stage 4. Parallel Update #4 : Forward Movement	
Advance each pedestrian p_n , $v(p_n)$ cells forward in the lattice	

IV. 보행시설 설치 실험

1. 실험 계획

본 연구에서는 현황을 묘사하기 위하여 보행 시뮬레이션 모델을 구축하는 기존의 연구들보다 한 단계 더 나아가서, 구축된 보행 시뮬레이션 모델을 이용하여 보행시설의 설치 유무의 영향을 분석하기 위한 모의실험을 실시하였다.

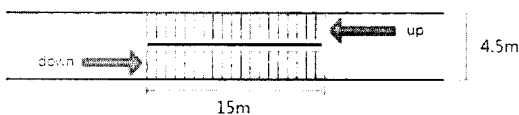
본 연구의 실험 주제는 지하철 역사 내에 있는 계단과 같은 폐쇄된 공간에서, 양방향으로 움직이는 보행자에 대하여, 즉, 통행 방향이 서로 다른 보행자가 혼재했을 때, 방향을 가르는 Fence시설의 유무가 보행속도에 어떠한 영향을 미치는가이다.

본 연구에서는 실험을 위해 <그림 3>과 같은 폭 5.4m, 길이 15m의 계단 기하구조를 설정하고, 보행교통유량을 1,200인/시/m에서 6,360인/시/m까지 변화시키면서, Fence가 설치되어있지 않을 경우와 설치되어 있을 경우를 비교하는 모의실험 계획을 수립하였다.

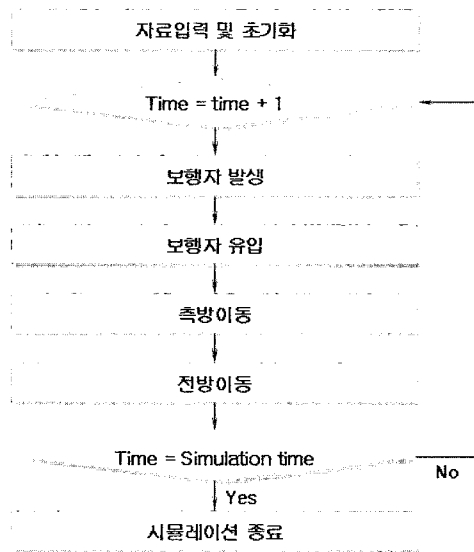
2. 실험을 위한 CA 보행 시뮬레이션 모델 구축

본 연구에서는 Blue와 Adler가 정립한 CA 보행 시뮬레이션 모델을 기반으로 하여 실험을 위한 모델을 구축하였는데, 이를 위하여 다음과 같은 보행자의 특성을 가정하였다.

- 보행자는 차량과 달리 일직선으로 통행하지 않으며 진로 변경시 후방 보행자를 고려하지 않는다.
- 보행자는 대향 보행자의 유무에 따라 충돌을 피하려는 행동을 취한다.
- 보행자 1인 점유공간을 0.25m(0.5m×0.5m)로 적용하였다.



<그림 3> 실험을 위한 계단 기하구조
<Fig. 3> Stair structure for experiment



<그림 4> CA 보행 시뮬레이션 모델 수행도
<Fig. 4> Algorithm of CA pedestrian simulation model

위와 같은 보행자 특성의 가정하에서 본 연구의 CA 보행 시뮬레이션 모델은 <그림 4>와 같은 알고리즘을 갖는다.

1) 자료입력 및 초기화

기본적으로 계단에서 내려오는 통행자와 계단을 올라가는 통행자간에는 보행속도에 차이가 발생하는데, 이러한 현상을 본 연구에서는 내려오는 통행자와 올라가는 통행자의 초기 통행속도를 다르게 설정함으로써 반영하였다. 본 연구에서 설정한 보행자 속도는 내려오는 보행자는 3cell/sec, 내려오는 보행자는 2cell/sec로 각각 1.5m/sec와 1m/sec에 해당한다.

Blue와 Adler의 CA 보행 시뮬레이션 모델을 기반으로 구축한 본 연구의 실험모델에서 필요한 변수 및 파라미터, 그 초기값은 <표 2>와 같다.

2) 보행자 발생 및 유입 모델

보행자 발생확률조건을 만족하여 보행자가 발생하면 먼저 가상링크에 보행자가 누적되며 가상링크에 대기하고 있는 보행자는 유입공간을 탐색하여 유입공간이 있으면 네트워크에 진입한다.

<표 2> 본 연구에서 구축한 보행자 모델의 변수 및 변수 내용

<Table 2> Variables in pedestrian simulation model

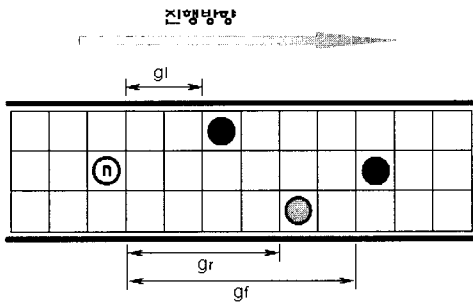
변수	변수 내용
gap_f	전방 보행자와의 셀 개수(cell)
gap_l	좌측 전방 보행자와의 셀 개수(cell)
gap_r	우측 전방 보행자와의 셀 개수(cell)
$v(t)$	시각(t)에서 보행자 속도(cell/단위시간)
v_{max}	보행자 최대속도(cell/단위시간)
$x(t)$	시각(t)에서의 보행자 셀 위치
$gap_f(t)$	보정된 전방보행자와의 셀 개수
P_{noise}	불규칙적인 감속확률 (내려오는 보행자 : 0.045, 올라가는 보행자 : 0.005)
P_r	무작위적인 추속확률
D_p	전방 대향보행자 인식거리 (2-3m)
P_{dg}	전방 gap 감속확률 (0.3)
P_o	강압적 진로변경확률 (0.999)
P_m	최대속도에서 진로변경확률 (0.2)
P_l	최대속도 미만에서 진로변경확률 (0.5)

하게 설명하면 다음과 같다.

- 측방조건 : 진로변경 방향의 인접셀이 비점유
- 전방조건 : 전방보행자와의 gap보다 좌우측 보행자와의 gap이 커야 함.
- 진로변경확률조건 : 진로변경확률이 무작위 값보다 커야 함.

4) 전방이동모델

보행자는 좌우측 전방에 보행자가 있을 경우 자신의 속도를 낮추려는 심리적인 상태를 가지는데, 이러한 심리상태가 전방이동모델에 반영된다. 전방이동모델에서는 보행자의 이동을 4단계로 구성하였는데, 1단계는 선행보행자와의 유효공간을 산정하는 단계이고, 2단계는 산정된 유효공간에 따라 보행속도를 가속 또는 감속시키는 단계이며, 3단계는 불규칙적인 감속확률(P_{noise})을 통해 보행자의 무작위적인 감속을 반영하는 단계이다. 마지막으로 4단계는 갱신된 속도로 보행자를 이동시키는 단계이다.



<그림 5> gap_f , gap_l , gap_r 개념도
<Fig. 5> Concept of gap_f , gap_l , gap_r

3. 실험 결과

<그림 3>과 같이 설정된 계단에 구축된 CA기반 보행 시뮬레이션 모델을 이용하여 보행교통류율을 1,200 인/시/m에서 6,360인/시/m까지 변화시키면서 Fence를 설치했을 때와 그렇지 않은 때의 보행속도를 관찰한 결과는 <표 3>과 같다.

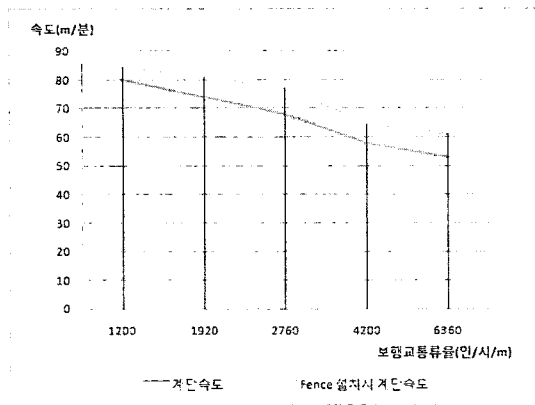
계단에서 Fence 설치 목적이 내려가는 보행자와 올라가려는 보행자, 즉 통행 방향이 다른 보행자를 구분하여 충돌을 감소시켜 혼잡한 상태에서 보행자

3) 측방이동모델

측방이동모델은 보행자가 일정한 조건하에서는 진로를 변경하는 현상을 설명하는 모델인데, 보행자의 진로변경은 대향보행자의 존재 유무에 다른 강압적 진로변경, 최대속도로 보행하고자 하는 선호의식에 따른 진로변경, 통행시간을 최적화하기 위한 진로변경 등 3가지 유형으로 구분되어지며, 이를 위해서는 측방조건, 전방조건, 진로변경확률조건 3가지 조건을 모두 만족하여야 하는데, 이 조건들을 자세

<표 3> 실험 결과
<Table 3> Results of experiment

보행교통류율 (인/시/m)	보행속도(A) (m/분)	Fence설치시 보행속도(B) (m/분)	차이(B-A) (m/분)
1,200	80	84	4
1,920	74	81	7
2,760	68	77	9
4,200	58	65	7
6,360	53	61	8



의 속도를 증가시키려는 것인데, 실험 결과 Fence를 설치했을 때의 보행속도가 Fence를 설치하지 않았을 때의 보행속도보다 높게 나타나, 통행 방향이 다른 보행자가 혼재되어 있을 경우 Fence를 설치하는 것이 효과적인 것으로 분석되었다.

또한, Fence 설치시 보행속도의 향상을 보행교통류율의 증가에 따라 분석해보면, Fence 설치의 효과는 매우 혼잡한 상황에서보다 적당한 혼잡상태에서 더 큰 것으로 나타났다.

V. 결론 및 향후 연구 과제

이상에서 본 연구의 목적인 CA(Cellular Automata) 이론을 기반으로 행위자기반(agent-based) 보행시뮬레이션 모델을 개발하고, 개발된 모델을 보행시설 설치 실험에 적용하여보았다. 연구의 목적을 달성하기 위하여 행위자기반 보행 시뮬레이션 모델을 구축하기 위해 사용한 CA(Cellular Automata)이론에 대하여 검토하였고, 보행교통류에 CA이론이 적용된 모델을 검토하였으며, Fence라는 보행시설이 보행자의 통행 속도에 어떠한 영향을 미치는가대한 실험을 수행하여 결과를 분석하였다. 분석결과, Fence를 설치했을 때의 보행속도가 Fence를 설치하지 않았을 때의 보행속도보다 높게 나타나는 결과를 얻을 수 있었고, Fence 설치의 효과는 매우 혼잡한 상황에서보다 적당한 혼잡상태에서 더 크다는 것을 얻을 수 있었다.

본 연구의 의의는 보행 시뮬레이션 모델을 현황값

과 모사값의 비교만으로 그치지 않고, 보행 시뮬레이션 모델을 보행시설 평가라는 분야에 적용한 것이라 할 수 있는데, 향후 평가하는 보행시설을 본 연구에서보다 한 단계 더 나아가 다양하게 구성한 후, 연구를 실행한다면 보행교통류에 대한 분석을 한 차원 더 체계적으로 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나, 이러한 연구들도 정확한 자료가 뒷받침되지 않으면 수행될 수 없기 때문에, 보행교통류와 관련된 자료들이 지속적으로 구축되어야 한다고 생각한다.

참고 문헌

- [1] 이종호, “교통시스템분석시 에이전트기반모형기법의 적용,” *대한교통학회지*, 제21권, 제1호, pp. 147-156, 2003. 2.
- [2] 이종호, “교통분야에 복잡계이론의 적용 가능성 고찰,” *교통 기술과 정책*, 제3권, 제2호, pp. 55-68, 2006. 6.
- [3] 이종호, “미시적 보행시뮬레이션모형의 연구동향,” *교통 기술과 정책*, 제5권, 제4호, pp. 23-33, 2008. 12.
- [4] B. Burmeister, A. Haddadi, and G. Matylis, “Application of multi-agent systems in traffic and transportation,” *IEE Proc. Software Engineering*, vol. 144, no. 1, pp. 51-60, 1997.
- [5] S. Peeta and R. Pasupathy, “Analyzing traffic system evolution using multi-agent simulation,” *80th Annual Meeting of Transportation Research Board*, 2001.
- [6] J. Wahle and M. Schreckenberg, “A multi-agent system for on-line simulations based on real-world traffic data,” *IEEE Proc. Hawaii Int. Conf. on System Science*, vol. 3, pp. 3037-3045, 2001.
- [7] J. L. Alder and V. J. Blue, “Principle negotiation and multiagent transportation management and information systems,” *80th Annual Meeting of Transportation Research Board*, 2001.
- [8] K. Nagel and M. Schreckenberg, “A cellular

- automaton model for freeway traffic," *Journal of Physics I, France 2*, pp. 2221-2229, Dec. 1992.
- [9] M. Batty, "Agent-based pedestrian modelling advanced spatial analysis," *Working Papers Series Paper 61*, Center for Advanced Spatial Analysis University College London, 2003.
- [10] V. J. Blue and J. L. Alder, "Cellular automata microsimulation of bi-directional pedestrian flows," *Transportation Research Record 1678*, 1999.
- [11] V. J. Blue and J. L. Alder, "Emergent fundamental pedestrian flows from cellular automata microsimulation," *Transportation Research Record 1644*, 1998.
- [12] 손영태, 박우신, 김상구, 김태완, 김영호, "CA기반 보행교통류 Simulation 모형 개발," *대한토목학회논문집*, 제24권, 제4호, pp. 563-568, 2004. 7.
- [13] 문태현, 성한옥, "보행환경 개선을 위한 보행자 에이전트(Agent)모형의 개발과 시뮬레이션," *국토계획*, 제41권, 제6호, pp. 79-92, 2006. 11.
- [14] 이준, "허민국, 정진혁, 보행교통류를 위한 회전육각격자모형 개발," *대한교통학회지*, 제27권, 제1호, pp. 169-177, 2009. 2.

저자소개



이 신 해 (Lee, Shin-Hae)

2006년 3월 ~ 현재 : 서울시정개발연구원 연구위원
2003년 3월 ~ 2006년 2월 : 서울시정개발연구원 부연구위원
1996년 9월 ~ 2003년 2월 : 서울시정개발연구원 연구원
1997년 3월 ~ 2002년 2월 : 서울대학교 환경대학원 공학박사 (교통계획전공)



이 승 재 (Lee, Seung-Jae)

2007년 10월 ~ 현재 : 서울시립대학교 정교수
2002년 10월 ~ 2007년 9월 : 서울시립대학교 부교수
1998년 10월 ~ 2002년 9월 : 서울시립대학교 조교수
1996년 10월 ~ 1998년 9월 : 서울시립대학교 전임강사
1995년 11월 ~ 1996년 9월 : 한국교통연구원 책임연구원
1990년 10월 ~ 1995년 4월 : 런던대 공학박사(교통계획전공)