

다방향보행자모형(MDPM)을 이용한 편측보행 효과분석

The Effect Analysis of One-side Walking Behavior Using MDPM (Multi-directional Pedestrian Model)

이 준* 조 한 선** 현 경*** 정 진 혁****
(Jun Lee) (Han-Seon Cho) (Kyung Hyun) (Jin-Hyuk Chung)

요 약

보행교통류의 네트워크 모형은 다양한 방법으로 연구되고 있지만 특히 그 적용성과 간결성 때문에 셀 기반의 CA 모형을 이용한 분석이 다수 진행되고 있다. 최근에는 CA 모형의 후속모형으로 제시된 가스입자(Gas Lattice)모형은 확산(dissemination)하는 물질의 행태를 편이된 임의보행(Biased Random Walker)으로 반영하여 보행자의 움직임을 가정하기도 하였다. 이와 같은 모형들은 Agent 기반으로 보행자의 다양한 특성과 보행행태를 쉽게 적용할 수 있기 때문에 복잡하고 영향요소가 많은 보행을 설명하는데 미시적인(microscopic) 분석방법론으로 활용되고 있다. 하지만 보행의 행태는 보행자의 목적지와 위치에 따라 쉽게 변할 수 있기 때문에 동일한 규칙으로의 설명되는 모형들은 보행자의 행태를 반영하는데 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 보행자의 행태가 유사한 동질구간(Homogeneous Section)을 정의하고 다방향보행자모형(MDPM: Multi-Directional Pedestrian Model)을 이용하여 현재까지 적용 및 평가되지 못하였던 임의보행과 좌/우측 통행 보행자의 보행특성을 설명할 수 있는 시뮬레이션 방법론을 제시하였다.

Abstract

Network models for pedestrian flows have been studied in various ways. However, because of the simplicity and application, a number of researchers prefer the CA Model to analyze pedestrian's complicated behavior. These kinds of models based on Agent are being used as a microscopic analyzing method since it can easily adapt individuals' various characters and movement types. However, because pedestrians' movement can be (easily) effected by where they are and where they head, some models using the same rules have limit when considering pedestrians' every different movement.

In this research, homogeneous section is defined as a similar movement type of individuals. With MDPM, we suggest simulation method explaining one-way walk and side-walk which could not be done in past.

Key words: MDPM, SLM, HLM, RHLM, pedestrian, agent

† 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0077147)

* 주저자 : 한국교통연구원 연구원

** 공저자 : 한국교통연구원 책임연구원

*** 공저자 : 연세대학교 도시공학과 석사과정

**** 공저자 : 연세대학교 공과대학 도시공학과 부교수

† 논문접수일 : 2009년 7월 28일

† 논문심사일 : 2009년 10월 20일

† 게재확정일 : 2009년 10월 22일

I. 서론

보행교통류의 네트워크 모형은 다양한 방법으로 연구되고 있지만 특히 그 적용성과 간결성 때문에 셀 기반의 CA(Cellular Automata) 모형을 이용한 분석이 다수 진행되고 있다. 최근에는 CA 모형의 후속모형으로 제시된 가스입자(Gas Lattice)모형은 확산(dissemination)하는 물질의 행태를 편이된 임의보행(Biased Random Walker)으로 반영하여 보행자의 움직임을 가정하기도 하였다. 이와 같은 모형들은 Agent 기반으로 보행자의 다양한 특성과 보행행태를 쉽게 적용할 수 있기 때문에 복잡하고 영향요소가 많은 보행을 설명하는데 미시적인(microscopic) 분석 방법론으로 활용되고 있다. 하지만 보행의 행태는 보행자의 목적지와 위치에 따라 쉽게 변할 수 있기 때문에 동일한 규칙으로 설명되는 모형들은 보행자의 행태를 반영하는데 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 보행자의 행태가 유사한 동질구간(Homogeneous Section)을 정의하고 다방향보행자모형(MDPM: Multi-Directional Pedestrian Model)을 이용하여 현재까지 적용 및 평가되지 못하였던 임의보행과 좌/우측 통행 보행자의 보행특성을 적용할 수 있는 시뮬레이션 방법론을 제시하였고 이를 통해 편측보행의 효과를 분석하였다.

II. 문헌고찰

차량교통류의 해석을 위한 다양한 연구들이 여러 분야에서 진행되었지만 보행(Pedestrian)에 대한 대표적인 연구는 1970년대에 Fruin에 의해 다양하게 진행하였는데, 이후 긴급상황 대피[1-5]를 위한 보행자 시설과 공공시설물들의 설계기준[6-9]을 제시하기 위한 다양한 연구들이 여러 연구자를 거쳐 현재까지도 진행되고 있다. 그밖에도 최근에는 시뮬레이션기법을 이용하여 보행교통류의 묘사가 시도되기도 하였다. 대표적인 모형들로는 [10, 11]과 [12, 13]이 제시한 미시적 시뮬레이션 모형들이 있으며, 상용프로그램으로 NOMAD, PEDsim등 다양한 미시적, 거시적 시뮬레이터가 제공되고 있다.

1. Lattice Model

[14]가 제시한 Square Lattice Model (SLM)은 보행자의 움직임을 가스입자의 움직임과 유사하다고 가정하고, 보행교통류를 해석하였다. Lattice Gas Model을 SLM에서는 보행자는 정방격자에서 후방을 제외한 오른쪽, 왼쪽, 전방의 세 가지 방향 중 한 가지 방향으로 움직일 수 있는 임의편의보행(Biased Random Walker)으로 정의되었다. 보행자는 한 시뮬레이션 단위 시간동안 한 칸만 이동할 수 있으며, 각 위치에는 오직 한 명의 보행자만 있을 수 있다. 또 다음 위치로 이동하기 위한 방향의 선택은 전진하려는 힘(Drift Strength)에 의해서 결정되어 클수록 직진방향에 대한 선택확률이 크도록 설계되었다.

[15]는 보행자들의 움직임에 대한 가정은 유사하지만 SLM에서 보행자 움직임을 나타내기 위해 정의한 정사각형의 격자 대신 정육각형으로 보행자의 움직임을 표현한 Hexagonal Lattice Model (HLM)을 제시하였다. 이 모형은 SLM에 비해서 보행자가 선택 가능한 방향의 개수가 더 많아졌으며 보행자간 상충에 대해서도 다양한 방향으로의 회피를 표현할 수 있다. 그러나 상충이 없을 때에도 목적지를 향해 지그재그로 이동해야 하기 때문에 보행자의 직선 움직임에 대해서는 적절한 표현을 하지 못한다는 한계점을 가지고 있다.

[16]은 보행자의 움직임을 보다 현실적으로 반영하기 위해 기존의 SLM과 HLM을 개선한 회전육각격자모형(RHLM: Rotated Hexagonal Lattice Model)을 개발하였다. HLM의 육각격자 셀을 90도 회전하여 보행자의 움직임을 개선한 모형은 맞은편(Counterflow)의 보행자와 상충이 발생하였을 때 90도의 방향전환을 하지 않고 60도의 방향전환만 하면서 회피 움직임을 표현이 가능할 뿐만 아니라 상충이 발생하지 않았을 때에는 전방을 향해서 직선으로 이동할 수 있는 보행행태를 반영할 수 있다.

하지만 이러한 CA기반의 모형[17]은 단지 보행자의 출발지와 목적지가 단 한 개만 존재하므로 일정한 규칙에 따라 보행자가 이동하면 결국 정해진 목적지에 도착하도록 구현되었다. 그러므로 다양한 기

중점을 가지고 있는 보행자의 행태에 대한 설명 및 묘사가 쉽지 않은 한계점을 가지고 있다.

2. Potential Model

잠재모형(Potential Model)의 대표적인 상용프로그램인 NOMAD는 TU-Delft공대에서 개발되었다. [13]은 보행공간에 임의의 통행비용등고선(Contour of Travel Cost)을 생성시키고 각각의 위치에서 통행비용이 최소가 되는 등고선을 찾아가면서 목적지를 향하도록 정의되었는데, 비용함수는 진입하는 보행자의 수와 혼잡에 의하여 결정되게 된다. 비용등고선을 기중점에 따라 방향별로 설정을 하게 된다면 다양한 경로선택과 실시간 행태를 반영한 시뮬레이션이 가능하다. NOMAD는 노드와 링크로 이루어져 있지 않으며 경로선택은 보행자 행태를 고려하여 확률적으로 구성된다. 세부 기능으로 사전에 갔던 경험과 불확실성에 대한 설정이 가능한 것으로 알려져 있는데, 실제 관측과 실험을 통하여 검증하였다. 하지만 비용등고선의 설정과 기하구조의 반영에 따라서 보행자의 행태 및 결과가 달라진다는 한계점이 있다.

3. Force Model

1) Magnetic Force model [18, 19]

자석간의 거리에 따른 자기력의 관계를 보행자의 회피강도로 정의하여 보행행태를 설명하였다. 보행자와 벽, 기둥 등의 장애물은 각각 양극을 가지고 자성의 원리에 의해 충돌을 피하며 목적지를 향해 진행하도록 되어있다. 단 진행자가 다른 극에 영향을 받으면 속도가 상한선까지 증가할 수 있는 규칙을 가지고 있으며, 쿨롱의 법칙에 의해 Magnetic Force가 계산된다.

2) Social Force Model [20]

Benefit Cost cellular Model과 Magnetic Force Model과 유사한 원칙을 가지고 있으며 보행자가 자신을 유도하는 Social force를 갖는다고 가정하며, 이러한 힘들의 합이 보행자를 움직이는 가속도를 결정하게

된다. 이 모형의 장점은 사용된 변수가 측정될 수 있는 물리적인 의미를 가지고 있기 때문에 임의적이지 않고, 모형의 결과는 보행의 Self-organizing 현상을 잘 보여줄 수 있다는 것이다. 하지만 단점은 보행자간의 상충이 발생하지 않는다는 것을 보장하지 못하기 때문에 보행자의 밀도가 높을 때는 비현실적인 모습을 보여주게 되는데, magnetic force model과 같이 충돌을 피하는 힘이 추가되어야 한다. 또한, 모형이 실제 자료를 이용하여 평가되지 않았다.

4. Cell Transmission Model

[21]은 CTM(a modified cell transmission model)을 이용하여 보행자의 다방향의 교통류현상을 설명하기도 하였다. 정사각의 셀에 상하좌우와 대각방향을 포함한 셀 전이규칙을 정의하고 대각방향의 왜곡된 거리를 시뮬레이션 시간을 늘리는 방안을 통해 해결하였다. 또한 보행교통류의 교통류-밀도관계를 설정하여 셀의 이동을 하게 되는데 보행자의 이동경로(route)는 개인의 목적지와 사전정보에 의해서 결정되게 된다.

5. 기타모형

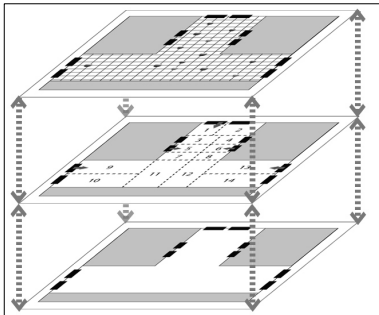
Queueing Network model [22-25]

긴급상황에서의 대피를 목적으로 만들어진 시뮬레이션 모형으로 Monte Carlo simulation 접근방법을 사용하였다. 각 방은 노드로, 방을 연결하는 문은 링크로 표현된다. 보행자는 노드에서 출발하여 링크에서 queue를 형성하며 다른 노드에 도착하는데, 가능한 빠르게 현재 위치에서 비상구로 이동해야 하는 원칙에 의해 보행자가 노드에 도착했을 때 가능한 링크들 중에서 하나의 링크를 weighted random choice하게 된다. 이때, weight는 방의 인구밀도의 합수로 계산되지만 보행자의 행동이 명확하게 표현되지 않으며, 보행자간의 상충에 대하여 확실하지 않은 것으로 알려져 있다. 그리고 모형에 적용된 FIFO priority rule은 혼잡한 상황에서 비현실적일 수 있다는 단점을 갖는다.

Ⅲ. 다방향보행자모형[26] (MDPM: Multi-Directional Pedestrian Model)

시뮬레이션이 진행되는 동안 일정한 규칙을 가지고 보행자의 이동을 설명하는 CA모형은 노선선택과정을 설명하기 어려우며 특히 회피에 의한 좌우 움직임은 설명이 가능하지만 목적지를 향하여 움직이기 위한 좌/우회전의 구현은 이루어지지 않았다. 즉 보행자들 간의 회피움직임과, 최단거리 움직임은 [27, 16]의 연구에서도 가능하였지만 실제 직선구간의 간단한 기하구조를 반영한 것이며, [13]의 연구에서도 직각교차하는 보행자가 동-서, 남-북 방향만 움직이는 행태를 가정하였으며 동-남, 서-북 방향과 같은 직각 움직임에 대한 설명은 할 수 없었다.

MDPM은 다방향 보행교통류를 CA모형에 적용하기 위해서는 기존에 CA모형을 개선하여 층(Layer)개념으



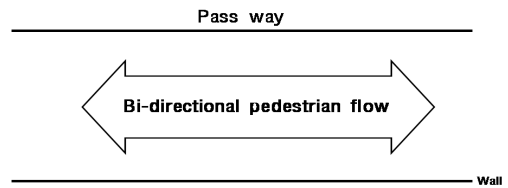
<그림 1> 다층 CA모형 개념도[26]
<Fig. 1> Concept of multi-layer CA Model

로 의미를 확장하였다. <그림 1>은 다층(Multi-layer) CA모형 개념도이다. 상층은 보행자가 움직이는 공간이며, 중간층은 보행자의 움직임을 결정할 수 있는 절단면(Section)이 된다. 마지막 층은 출입구와 장애물(Barrier)과 기하구조(Geometric Structure)를 반영하고 있다. 각각의 층이 설정된 이유는 보행자의 움직임이 다양한 규칙을 적용하기 위함이며 이로서 보행자의 회전과 목적지별 움직임을 설명할 수 있을 뿐만 아니라 보행자의 입/출입과 기하구조를 반영할 수 있다.

이와 같은 모형들을 비교하면 다음 <표 1>과 같다. 이때 미시적 모형으로 Agent 기반의 다방향에 대한 설명이 가능한 모형으로 MDPM을 제시하였다.

Ⅳ. 보행행태의 동질구간 설정

양방향 보행통행이 발생하는 <그림 2>와 같은 복도에서 양방향으로 보행자가 발생할 경우 출입문의 위치와 보행성향(좌/우측통행 또는 규칙이 없는 경우)에 따라 보행자 개인의 위치별로 이동하려는 방

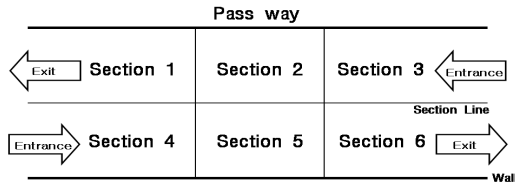


<그림 2> 양방향 보행통행 흐름도
<Fig. 2> Bi-directional pedestrian flow

<표 1> 양방향 및 다방향 보행자 모형

<Table 1> Bi-directional and multi-directional pedestrian models

구분	이동방법	Bi-direction	Multi-direction	연산속도	관찰단위	시뮬레이션
SLM	Bias Random Walker Drift Strength 확률선택	○	X	보통 (빠름)	Microscopic	Agent (개별행태)
NOMAD	비용등고선 이용 비용최소 목적	○	○	느림	Microscopic	Crowd (동일행태)
CTM	Route Choice Flow Model (Volume-Density function)	○	○	빠름	Macroscopic	Crowd (동일행태)
MDPM	Bias Random Walker Drift Strength Section	○	○	보통 (빠름)	Microscopic	Agent (개별행태)



<그림 3> 보행방향에 따른 절단면(Section) 개념도
 <Fig. 3> Concept of sections for pedestrian walking directions

향이 다를 것이다. 이와 같이 이동하려는 방향이 다른 경우 서로 유사한 행태를 유지할 것으로 판단되는 구간을 절단면(Section)으로 정의할 수 있는데, 출입문이 결정되어 있는 경우 <그림 3>과 같이 6개의 절단면으로 나누어 보행행태를 결정하면 다음과 같이 세 가지 보행상황에 대한 설명이 가능하다.

첫째, 모든 절단면에서 같은 행태를 가지게 된다면, 기존에 분석한 CA모형과 같은 한 가지 규칙으로 보행공간을 이동하는 보행을 설명할 수 있을 것이다. 하지만 절단면 4, 1, 2, 3, 6과 절단면 3, 6, 5, 4, 1을 이동하는 보행자의 행태는 우측 출입구로 진입하여 좌측통행을 하는 보행자를 설명할 수 있는 것이며, 마지막으로 절단면 3, 2, 1과 절단면 4, 5, 6을 순서대로 이동하는 보행자는 우측의 출입구로부터 진입하여 우측통행을 하는 보행행태를 반영할 수 있는 것이다. 이와 같은 동질구간과 이동경로의 설정은 모든 보행자가 움직여야만 하는 통로(pass)로서 의미를 부여할 수도 있고, 각각의 현재 위치에서 선호의 우선권만 부여할 수 있는 지향점으로 설정할 수도 있다. 전자의 경우는 교통류를 분리하기 위하여 좌/우측통행을 위한 분리대가 있는 경우 절단면 1, 3, 4, 6에서는 여러 방향의 보행자가 혼재하지만 절단면 2, 5에서는 순수하게 좌/우측 방향으로 분류된 것이며, 후자와 같이 지향점으로 의미를 가지게 된다면 어느 정도는 절단면 2, 5에서도 좌/우의 보행자가 섞일 수 있다. 하지만 성향이 좌측 또는 우측으로의 통행에 대한 반영이 가능한 것이다.

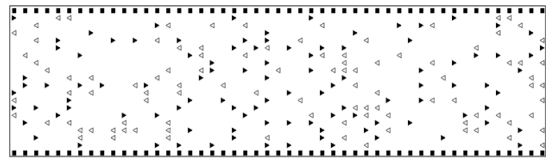
동질구간을 절단면과 동일하게 가정하게 되면 개별 보행자의 위치별로 이동 가능한 방향과 직진성향(drift strength)의 변화를 줄 수 있다.

V. 시뮬레이션

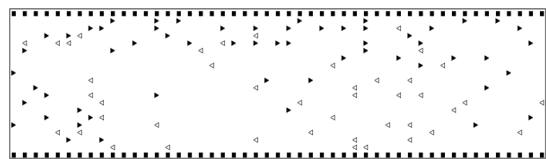
1. 모형의 가정과 대안설정

본 연구는 지하철 환승통로와 같이 양방향에서 서로 반대로 이동하는 보행자를 대상으로 하고 있으며, 출입구는 복도의 양 끝단에 존재하게 된다. 보행행태의 동질구간을 어떻게 정할 것인가에 대한 논의는 여러 가지 실험과 검증을 필요로 하므로 동질구간이 존재한다는 가정을 하였다. 동질구간에 대한 구간의 개수와 길이는 향후연구과제로 남겨두며 본 연구에서는 동질구간으로 나누어 졌다는 가정으로 시뮬레이션 방법론을 제시한다.

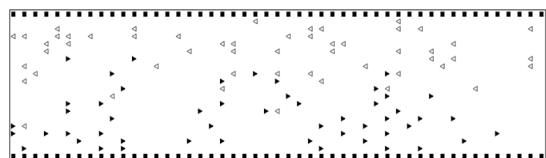
인체타원은 장변의 길이가 0.4m로 한 셀의 크기는 0.4m이다. 그리고 보행자의 속도는 1m/sec로 가정하여 총 3가지 경우의 시뮬레이션을 실시하였다. 가로 24m에 세로 8m 복도의 양방향에서 보행자가 발생하



(a) 보행자 임의발생 및 임의이동
 (a) Simple random walking



(b) 보행자 우측발생 및 좌측통행
 (b) Right-side walking



(c) 보행자 우측발생 및 우측통행
 (c) Left-side walking

<그림 4> 대안 설정에 따른 시뮬레이션 결과
 <Fig. 4> Results of simulations

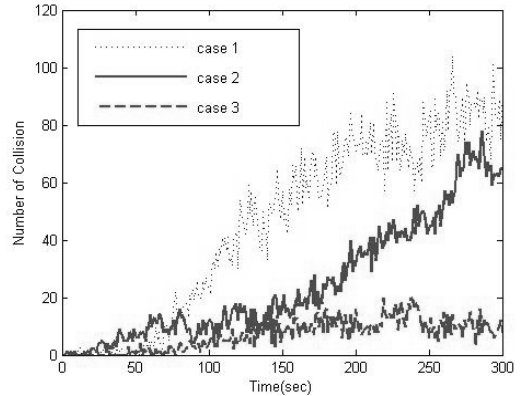
여 반대방향으로 이동하는 공간이다. 단위시간(0.4sec) 동안 한 방향에서 0.05명의 보행자가 포아송 분포를 가정하여 발생하며, 이는 192m²공간에 시간당 약 900명의 보행자가 발생하는 것이다. 시뮬레이션은 총 300초 동안 진행되었다.

본 연구에서는 총 3가지의 대안을 가지고 시뮬레이션 하였다. 대안1은 좌우 발생되는 보행자가 임의로 발생하여 임의로 이동하는 경우로 기존에 [8]이 제시한 모형과 일치한다.<그림 4(a)> 하지만 대안2는 양 끝단의 복도의 우측에서 발생된 보행자가 좌측통행을 하기위해서 좌측으로 이동하면서 전방으로 이동하는 경우가 되며<그림 4(b)>, 대안3의 경우는 우측에서 발생된 보행자가 우측통행을 하는 경우를 나타낸다.<그림 4(c)>

2. 모형의 결과 및 분석

본 모형을 분석하기 위해서 세가지의 파라미터를 이용 하였다. 첫 번째는 상충횟수(Number of Collision)로 보행자가 전방으로 이동하고자 하였지만, 반대편의 보행자 또는 같은 방향의 보행자에 의해서 전방으로 선택을 못하고 좌우측 회피 또는 정지한 횟수를 의미한다. 두 번째는 보행자의 속도로서 각 방향별로 정지한 경우 속도를 0m/sec로 그렇지 않은 경우 모두 자신의 최대속도인 1m/sec를 가정하여 시뮬레이션 공간의 모든 보행자의 개별속도의 평균이다. 마지막은 밀도로 정의하였는데, 보행공간의 밀도는 보행 공간 전체에 있는 보행자의 수로 정의하였다¹⁾.

<그림 5>의 경우상충횟수의 경우는 최초 대안2가 대안1, 3 보다 높지만 70초 이후 대안1이 가장 상충횟수가 높아진다. 이것은 대안2의 기하구조적인 문제로서 우측시설물에서 진입한 보행자가 좌측통행을 하기위해서 좌측으로 이동하는 동안 반대편에서 우측으로 진출하는 보행자의 동선과 겹쳐지기 때문에 필요 없는 상충이 계속 발생하기 때문이다. 하지만



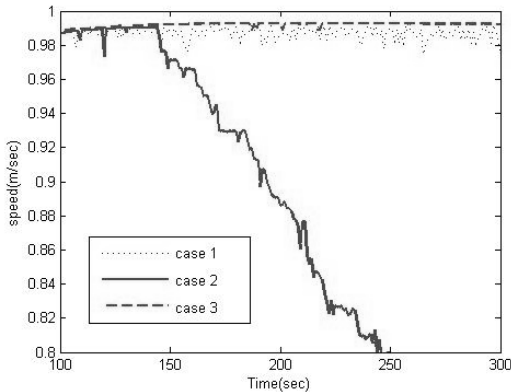
<그림 5> 세 가지 대안의 시간에 따른 상충횟수
<Fig. 5> Collision of pedestrians

일정시간 이후에는 전역에서 상충이 발생하는 대안1의 상충횟수가 급격히 증가하게 된다. 우측시설을 이용하여 보행자의 공간의 입출입구가 구성된 경우 임의통행(대안1)과 좌측통행(대안2)은 우측통행(대안3)보다 매우 높은 보행자 상충이 발생하는 것으로 분석되었다.

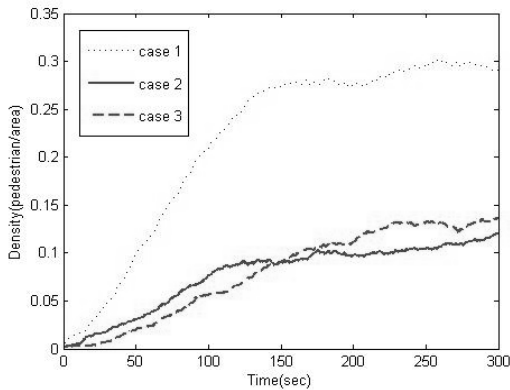
<그림 6>과 같이 속도의 경우 150초 까지는 거의 동일한 패턴을 보이고 있었다. 이것은 본 연구에서 사용한 속도는 움직이지 못한 경우(움직일 수 없어서 정지한 경우)에만 속도가 0이기 때문에 동일한 패턴이 보인 것이다. 하지만 대안2가 150초 이후로 급격하게 속도의 감소를 보이고 있는데, 이것은 상충횟수에서 지적인 것과 같이 서로 보행동선이 겹쳐서 서로 움직이지 못하는 지점이 생기게 되고, 이로 인하여 더욱 많은 보행자가 정체를 이루기 때문에 움직이지 못하는 상황이 급격히 발생하였기 때문이다.

<그림 7>과 같이 밀도의 경우 상충횟수가 일반적으로 많았던 대안1은 시뮬레이션 지속시간동안 보행자의 밀도가 높았으며 대안2는 150초 까지 대안3보다 밀도가 높았다. 이것은 대안3이 상충이 적고 보행자의 이동속도가 높기 때문에 신속하게 보행자가 이동하였기 때문에 낮았던 것이며, 150초 이후에 대안3이 대안2보다 밀도가 높은 이유는 대안2가 입구 직전에서 보행동선의 상충으로 많은 보행자가 정체를 이루고 지체하게 되면서 보행공간으로 진입해야하는 진입보행을 가로막아서 오히려 밀도가 감소하고 있

1) 보행자를 평가하기위한 다양한 파라미터가 존재하지만 HCM을 비롯한 많은 연구자마다 각각의 기준을 제시하고 있다. 본 연구에서는 직선의 양방향 보행교통류를 설명하기위한 설명 파라미터를 상충횟수와 평균속도, 그리고 공간밀도로 정의하였다.



<그림 6> 세가지 대안의 시간에 따른 속도변화
<Fig. 6> Speed of pedestrians



<그림 7> 세가지 대안의 시간에 따른 밀도변화
<Fig. 7> Density of pedestrians

는 것이다. 모두 같은 조건에서 실험되었지만 대안2의 경우는 보행자의 진입자체가 이루어지지 않는 정체현상을 발생하게 하였다.

VI. 결 론

본 연구에서는 보행자의 임의보행과 좌/우측통행 보행 특성을 설명하기 위해 보행자의 행태가 유사한 동질구간을 정의하고 다방향보행자모형(MDPM)을 이용해 시뮬레이션 하였다. 다방향의 보행교통류를 적용하기 위하여 기존의 CA모형을 개선하여 층(Layer)을 도입하였는데 이를 통해 보행자의 회전이 나 움직임 등을 설명하고 입/출입이나 기하구조 등

을 반영하였다. 또한 보행의 행태를 결정하는 다양한 기준점을 가지는 보행자의 특성을 설명하기위해 또한 보행행태의 동질구간을 설정하였다. 보행방향이 다른 경우 유사한 행태를 유지할 것으로 판단되는 구간을 절단면으로 결정하고 위치별 이동 가능한 방향과 직진성향의 변화를 줌으로써 보행자의 위치변화를 반영하였다.

본 연구는 다방향보행자모형을 이용하여 다방향 뿐만 아니라 보행동선의 변화에 대한 편 측 보 행 에 따른 효과를 분석하는 방법론을 제시하였다. 출입구의 위치와 보행방향에 따라 총 세 가지의 대안을 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였고 상충횟수, 속도, 밀도 등의 파라미터를 이용하여 모형을 분석하였다. 통행이 임의로 발생하는 경우보다 출입구와 보행방향이 일치하는 편측보행의 경우 상충횟수가 가장 적고 보행자들의 속도도 감소되지 않는 결과를 나타내었다.

이러한 결과를 바탕으로 편측보행이 보행자들의 보행환경을 개선시키는데 영향을 줄 수 있음을 알게 되었다. 하지만 속도나 인체타원과 같은 개인적 성향의 차이도 반영할 뿐 아니라 편측보행이 발생하는 공간이나 통행목적에 따라 보행의 특성을 각기 다르게 적용하여 향후연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 보행의 특성을 결정짓는 동질구간에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

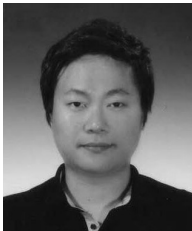
참 고 문 헌

- [1] T. Jin and T. Yamada, "Irritating effects of fire smoke on visibility," *Fire Science and Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 79-80, 1985.
- [2] T. Jin, "Studies on human behavior and tenability in fire smoke," *Proc. Int. Symp.*, pp. 3-21, 1997.
- [3] T. Jin, *Visibility Through Fire Smoke*, Report of the Fire Institute of Japan, no. 42, 1976.
- [4] H. Muir, C. Marrison, and A. Evans, "Aircraft evacuation: The effect of passenger motivation and cabin configuration adjacent to the exit," *Civil*

- Aviation Authority Paper* 89019, 1996.
- [5] S. Gwynne, E. R. Galea, M. Owen, and P. J. Lawrence, "An investigation of the aspects of occupant behaviour required for evacuation modelling," *J. Applied Fire Science*, vol. 8, pp. 19-59, 1998.
- [6] R. Futian, *Psychology of Traffic Engineering*, Beijing University of Technology Publishing House, pp. 201-204, 1993.
- [7] G. Ho, C. T. Scialfa, J. K. Caird, and T. Graw, "Visual search for traffic signs: The effects of clutter, luminance, and aging," *Human Factors*, vol. 43, pp. 194-207, 2001.
- [8] Y. Guoli, *Application of Eye Move Analysis Method*, Psychological Research, Tianjin Education Publishing Houses, pp. 340-355, 2004.
- [9] J. J. Tecce, *Psychology: Physiology and Experimental*, McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology, New York, McGraw-Hill, pp. 375-377, 1992.
- [10] S. P. Hoogendoorn and P. H. L. Bovy, "Simulation of pedestrian flows by optimal control and differential games," *Optimal Control Applications and Methods*, vol. 24, pp. 153-172, 2003.
- [11] S. P. Hoogendoorn and W. Daamen, "Pedestrian behavior at bottleneck," *Transportation Science*, vol. 39, pp. 147-159, May 2005.
- [12] D. Helbing, J. J. Farkas, and T. Vicsek, "Simulating dynamical features of escape panic," *Nature*, vol. 407, pp. 487-490, Sept. 2000.
- [13] S. P. Hoogendoorn, W. Daamen, and R. Landman, *Microscopic calibration and validation of pedestrian models-cross-comparison of models using experimental data*, Transport & Planning Department, Delft University of Technology, 2004.
- [14] M. Muramatsu, T. Irie, and T. Nagatani, "Jamming transition in pedestrian counter flow," *Physica A : Statistical Mechanics And Its Applications*, vol. 267, pp. 487-498, 1999.
- [15] S. Maniccam, "Traffic jamming on hexagonal lattice," *Physica A*, vol. 321, pp. 653-664, Apr. 2003.
- [16] 이준, 허민국, 정진혁, "보행교통류를 위한 회전육각격자모형 개발," *대한교통학회지*, 제27권, 제1호, pp. 169-177, 2009. 2.
- [17] V. J. Blue and J. L. Adler, "Cellular automata microsimulation for modeling bi-directional pedestrian walkways," *Transportation Research Part B*, vol. 35, pp. 293-312, Mar. 2001.
- [18] K. Teknomo, *Microscopic Pedestrian Flow Characteristics: Development of an Image Processing Data Collection and Simulation Model*, Ph. D. Dissertation, Tohoku University, 2002.
- [19] K. Teknomo, Y. Takeyama, and H. Inamura "Microscopic pedestrian simulation model to evaluate 'lane-like segregation' of pedestrian crossing," *Proc. Infrastructure Planning Conf.*, vol. 24, pp. 1-5, Nov 2001.
- [20] D. Helbing and P. Molnar, "Social force model for pedestrian dynamics," *Physical Review*, vol. 51, pp. 4282-4286, Jan. 1995.
- [21] M. Asano, A. Sumalee, M. Kuwahara, and S. Tanaka, "Dynamic cell transmission-based pedestrian model with multidirectional flows and strategic route choices," *Transportation Research Board*, vol. 2039, pp. 42-49, 2007.
- [22] D. Helbing, "A fluid dynamic model for the movement of pedestrians," *Complex Systems*, vol. 6, pp. 391-415, 1992.
- [23] D. Helbing and P. Molnar, "Self-organization phenomena in pedestrian crowds," *Self-Organization of Complex Structure*, pp. 569-577, 1997.
- [24] G. C. Løvas, "Modeling and simulation of pedestrian traffic flow," *Transportation Research B*, vol. 28, no. 6, pp. 429-443, Dec. 1994.
- [25] M. Masakuni, I. Tunemasa, and N. Takashi, "Jamming transition in pedestrian counter flow," *Physica A*, vol. 267, pp. 487-498, Jan. 1999.

- [26] 이준, 박일섭, 정진혁, “CA기반의 다방향 보행자 시뮬레이션 모형개발,” *대한교통학회 학술발표회논문집*, pp. 502-507, 2009. 2.
- [27] 이준, 허민국, 정진혁, “정방격자모형을 이용한 양방향 보행 교통류의 특성연구,” *대한교통학회 학술발표회논문집*, pp. 977-985, 2008. 10.

저자소개



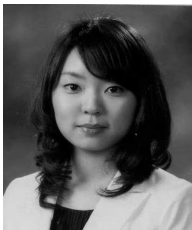
이 준 (Lee, Jun)

2004년 8월 : 중앙대학교 공학사(도시공학전공)
2007년 2월 : 중앙대학교 공학석사(교통계획전공)
2007년 8월 ~ 12월 : 한국교통연구원 연구원
2009년 4월 ~ 현재 : 한국교통연구원 연구원



조 한 선 (Cho, Han Seon)

1987년 3월 ~ 1993년 2월 : 아주대학교 공학사 (산업공학과)
1993년 3월 ~ 1995년 2월 : 아주대학교 공학석사 (교통공학과)
1998년 1월 ~ 2003년 12월 : 미국 Texas A&M University 공학박사(토목공학과 교통공학전공)
2003년 10월 ~ 2004년 6월 : 미국 Texas Transportation Institute, 박사 후 과정
2004년 6월 : 한국교통연구원 책임연구원



현 경 (Hyun, Kyung)

2008년 8월 : 연세대학교 공학사 (도시공학전공)
2009년 : 연세대학교 석사과정 재학중 (도시공학전공)



정 진 혁 (Chung, Jin-Hyuk)

1984년 3월 ~ 1988년 2월 : 연세대학교 공학사 (토목공학과)
1988년 3월 ~ 1990년 2월 : 연세대학교 공학석사 (토목공학과)
1992년 9월 ~ 1997년 5월 : 미국 펜실바니아 주립대학교 공학박사(토목공학과 교통계획전공)
1997년 9월 ~ 2002년 8월 : 중앙대학교 건설대학 도시공학과 조교수
2002년 9월 ~ 2007년 2월 : 중앙대학교 건설대학 도시공학과 부교수
2007년 ~ 현재 : 연세대학교 공과대학 도시공학과 부교수