한국지리정보학회지 9권 2호 : 194~205(2006)

대학촌 가로의 보행환경 개선을 위한 보행자 멀티에이전트(Pedestrian Multi-Agent) 모델링

문태헌[1※] · 한수철[2] · 성한욱[3] · 정경석[4]

Pedestrian Multi-Agent Model in College Town Streets

Tae-Heon MOON[1※] · Soo-Chel HAN[2] · Han-Uk SUNG[3] · Kyeong-Seok JEONG[4]

요 약

본 연구의 목적은 쾌적하고 안전한 보행환경 조성을 위한 계획지원 도구로서 보행자 멀티에이전트 모형(Multi-Agent Model)과 보행시뮬레이션 시스템을 개발하는 것이다. 이때 본 연구에서 한명의 보행자는 하나의 에이전트로 간주되었다. 보행자 멀티에이전트 모형은 실세계와 같이 보행자 에이전트가 개인적 속성을 유지하면서, 주변 환경에 반응하며, 상호 학습을 통해 이루어지는 개별 행동을 그대로 반영할 수 있게 하였다. 개발된 모형은 진주시 가좌동 일대의 대학촌에 적용하였으며, 모형의 적합성 검정을 위해 모형의 예측치와 실측치를 비교하여 R^2=0.781로 높은 값은 얻어 모형이 유의함을 확인하였다. 모형의 적용에 있어서 사례지역의 물리적환경은 수치지도를 기반으로 하고, 지역 내 상가의 업종, 규모 등을 현장 조사하여 ArcGis 데이터베이스로 구축하였다. 관련연구를 통한 보행자행동 규칙을 정한 다음, 시뮬레이션 시스템은 Flash MX 액션스크립트를 이용하여 개발하였다. 개발된 시스템을 이용하여 건물의 매력도가 증가되었을 때와 거리에 이벤트가 발생되었을 때를 가정하여 각각의 경우에 보행자밀도의 변화와 보행환경의 변화를 시뮬레이션 한 다음, 적절한 보행환경개선 방향을 제시하였다.

주요어: 멀티에이전트, 보행자행동모형, 시뮬레이션, 보행환경, 대학촌

Abstract

The purpose of this study is to develop a pedestrian multi-agent model and simulation system using multi-agent theory, which may be utilized as a planning support system for building a comfort and safe environment of pedestrian street. Differing from existing pedestrian models, however, every single pedestrian was regarded as an individual agent in the model. Multiple agents like multiple pedestrians in the street then maintain their own characteristics and respond to surrounding environment.

2006년 4월 24일 접수 Received on April 24, 2006 / 2006년 5월 11일 심사완료 Accepted on May 11, 2006
1 경상대학교 공과대학 건설공학부, 공학연구원 Urban Engineering Major, Gyeongsang National University
2 경상대학교 대학원 도시공학과 Graduate School of Gyeongsang National University
3 경상남도개발공사 Gyeongsangnam-do Development Corporation
4 경남발전연구원 Gyeongnam Development Institute
※ 연락저자 E-mail: thmoon@gsnu.ac.kr

In addition their moving behavior are made by their own decision rules that they have or had acquired through the interactive communications or learning between agents like real world. After verifying the model validation, as the R^2 between the predicted value and observed value was up to 0.781, the developed model was applied to Gazwa district within Gyeongsang university village. The simulation system was developed by Flash MX action scripts and the physical environment of the streets was configured with the digital map and ArcGis within computer virtual space. The attribute data of buildings such as type and size of commercial business were collected through the field survey and combined with physical features. Then the effect of the variation of building attractiveness and the occurrence of street events to pedestrian environment were simulated. Through the experiments this study could make suggestions to improve pedestrian environment.

KEYWORDS : Multi-Agent, Pedestrian Behavior, Simulation, College Town

서 론

도시 내의 보행공간은 도시민의 다양한 활동이 복합적으로 이루어지는 공간이다. 보행환경이 잘 갖추어진 가로는 보행자의 이용 빈도가 많아지며, 상행위도 활발하게 이루어지기 쉬워 지역의 활성화에 매우 중요한 역할을 담당하게 된다. 특히 대학촌은 젊은 대학생들이 중심이 되어 색다른 문화가 창조되거나, 벤처기업이 탄생하여 나라의 경제를 좌우하는 기업이 태동하는 공간이 되기도 하는 매우 중요한 공간이다. 게다가 최근 지역개발에서 대학의 역할이 강조되면서 대학은 물론, 대학을 떠받치고 있는 대학촌에 대해서도 이제 다른 차원의 접근이 필요하게 되었다. 대학 내부적인 환경개선과 더불어 대학 주변부의 물리적 환경개선도 이루어져야 하게 된 것이다.

하지만 대개의 경우 대학촌의 보행공간은 등하교시에 일시적으로 폭증하는 보행자 밀도와 돌발적인 이벤트 발생 등으로 인해 보행환경이 악화되기 쉬우며, 안전사고의 위험마저 상존하고 있다. 또한 보행자 활동에 따라 주변지역의 업종전환도 빈번하게 일어나고, 이는 다시 보행패턴을 변화시키는 순환적 관계가 반복되는 특징을 가지고 있다. 따라서 변화속도가 빠르고 보행환경이 악화되기 쉬운 대학촌 내의 보행환경 정비는 대학촌 활성화는 물론 안전하고 건전한 도시공간구조 조성에 도움이 될 것이다. 이를 위해 주변 여건의 변화에 따른 보행자의 움직임을 파악하고 분석하여 미리 계획적인 대책을 마련하는 것이 필요하다.

하지만 기존의 보행자에 관한 연구는 대개 보행환경 수준을 파악하는 정도에 그치고 있어, 보행환경의 변화와 보행자 행동 간의 복잡하고 동적인 상호작용과정을 제대로 파악하지 못하였다. 그 이유는 무엇보다 수많은 보행자 개개인의 복잡한 행동을 제대로 다루기 어려웠기 때문일 것이다.

따라서 본 연구는 거리의 물리적 환경과 보행자 행동을 모형화하고, 주변여건의 변화에 따른 보행자 개개인의 행동 변화를 추적하여 보행환경을 평가할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 개발하고자 한다. 다음으로 가로 환경변화에 대한 시나리오별로 시뮬레이션을 실시하여 보행환경의 문제점을 파악한 후, 보행공간 개선에 대한 도시계획적 대안을 모색하는 것을 목적으로 한다. 이 과정에서 기존의 연구에서 한계로 지적되는 보행자 개개인의 특성반영과 복잡한 상호작용을 다루기 위해 복잡계(complexity theory)의 멀티에이전트(Multi-Agent) 이론을 이용하여 동적 보행자 행동모형을 구축하고자 한다.

이론적 배경 및 관련연구

1. 이론적 배경

가로의 보행환경을 정비하고 관리하려면 우선 가로 상에서 활동하는 보행자를 비롯한 다양한 주체의 움직임을 정확히 분석하는 것이 필요하다. 특히 보행자가 주변의 토지이용이나 환경의 변화에 따라 서로 다르게 반응하는 복잡한 움직임에 대하여 예측할 수 있어야 바람직한 보행환경의 설계와 개선방안을 마련할 수 있게 될 것이다. 이를 위해서는 보행자 개개인의 행동을 모형화해야 하는 데, 다시 말하면 많은 수의 보행자를 집단으로 간주하지 않고 개별 보행자로서 다루면서 종합(aggregate)할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

한편 분석의 정확성을 확보하려면 현실에서 실험을 통하여 보행자의 행태를 분석하는 것이 바람직하겠으나, 비용적인 문제 등으로 물리적 환경을 조성하기 어려워 이 방법은 비현실적이다. 그러나 최근의 컴퓨터와 지리정보의 혁신적인 발달로 컴퓨터를 이용한 가상의 가로 공간에서 시뮬레이션이 용이하게 됨으로써 편리하게 실험이 가능하게 되었다. 즉 컴퓨터 속에서 인공 가로환경을 설정하여 이 속에서 보행자의 행동을 모형화 하고, 다양한 환경변화를 가정한 시뮬레이션으로 보행자 행태를 관찰하는 것이 가능하게 된 것이다.

물론 컴퓨터를 사용하지 않고 보행자 및 보행공간에 대한 기존의 연구(윤효진과 우희집, 2001; 이승필과 김도년, 2004)가 다수 수행되었지만, 그들은 대개 보행자 밀도의 변화를 분석한다든지 아니면 보행서비스 수준을 예측하거나 도시설계적인 개선안의 마련에 대한 연구(배선혜, 2005; 양우현과 정은옥, 2002), 그리고 도시시설물로서 가로환경개선 방안을 제시하는 연구(서준원과 안건혁, 2001) 등이 대부분으로 과학적인 분석과 다양한 환경을 가정한 보행자 행태를 제대로 분석하지 못하고 있다. 그러나 본 연구는 개별 보행자 행동을 모형화 가능한 멀티에이전트(Multi-Agent)이론을 도입하여 보다 과학적이고 체계적으로 접근을 하고자 한다.

멀티(multi) 에이전트(agent)는 에이전트 (본 연구에서는 보행자 개개인이 하나의 에이전트가 됨)가 다수 존재한다는 것을 의미하며, 인공지능 분야에서 개발된 이론으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 첫째, 에이전트는 특정 목적을 위해 사용자를 대신하여 작업을 수행하는 자율적 프로세스이다. 둘째, 에이전트는 지식베이스와 추론 기능을 가지며 자신의 속성(properties) 또는 다른 에이전트와의 정보교환과 통신을 통해 문제 해결을 도모한다. 셋째, 에이전트는 스스로 환경의 변화를 인지하고 그에 대응하는 행동을 취하며, 경험을 바탕으로 학습하는 기능을 가진다. 넷째, 에이전트는 수동적으로 주어진 작업만을 수행하는 것이 아니라, 스스로의 목적을 가지고 그 목적 달성을 추구하는 능동적 자세를 가진다.

한편 멀티에이전트시스템(Multi-Agent Systems, 이하 MAS)은 통합적이고도, 자율적이며, 상호작용하는 개체들(agents 또는 entities)의 집합체이다. 컴퓨터과학에서 그 기원을 두고 있는 MAS는 주로 인공지능 디자인과 인터넷정보서치 엔진과 같은 정보교환기술 부문에서 사용되어 왔다. 그러나 MAS는 공간 시뮬레이션에서도 이동성 있는 개체들(운송수단, 보행자, 이주가구)을 시뮬레이션 하는데 유용하게 활용할 수도 있다.

이러한 멀티에이전트의 개념을 보행자 행동모형에 적용시키게 되면, 하나의 보행자를 하나의 에이전트로 가정할 수 있으며, 각각의 에이전트는 각자가 가지고 있는 고유의 개별 속성, 행동 및 판단규칙을 바탕으로 다른 에이전트와 상호작용 그리고 주변 환경을

인지하여 각자의 목적을 성취하기 위한 행동을 스스로 결정하여 움직이게 된다. 이렇게 개별 행동을 하는 에이전트들이 공간상에 모이면 우리가 현실에서 경험하는 많은 보행자가 움직이는 거리의 모습이 되는 것이다. 본 연구에서는 컴퓨터를 이용한 가상공간에서 보행자 에이전트를 생성하고 각 에이전트의 행동을 실험하여 보행환경상의 문제점을 발견하고, 대안을 모색하고자하는 것이다.

2. 관련연구

에이전트이론을 이용하여 보행자 행동을 모형화 한 연구는 많지 않으나, 대표적으로 M. Batty (2003)의 연구가 있다. 이 연구는 앞에서 언급한 바와 같이 컴퓨터를 이용하여 비교적 단순한 가상의 보행환경을 설정하여 보행자 행동 모형을 구축하고 있다. 구체적으로 혼잡이 발생하기 쉬운 가로, 대규모의 쇼핑센터, 경찰이나 관계기관에 의해 통제되고 관리되는 거리의 축제 등 세 가지의 상황을 설정한 후, 각각의 경우에 보행자 멀티에이전트 모형을 구축하고, 시뮬레이션을 통해 문제점을 발견하여 보행환경의 개선방안을 탐색하고 있다. 이 연구는 멀티에이전트 이론을 보행자 모형에 적용한 선도적인 연구사례라고 할 수 있다.

한편 Savannah Simulations사가 개발한 보행자 시뮬레이션 소프트웨어로서 SIMWALK (http://www.savanah-simulations.ch)가 있다. 이는 멀티에이전트 보행자 모형의 상용화를 추구한 일보 진전된 연구사례이다. 여기서는 버스정류장 및 기차역 등에서 보행자 이동행태 분석, 생성점 및 소멸점의 설정, 보행속도 조절, 개별 보행자 에이전트의 파라미터를 제공하고 있으며, 지리적 환경설정에서 CAD 도면을 그대로 사용 가능하게 하여 상당히 소프트웨어적인 연구 진전이 있었다. 이 사례는 주로 한정된 공간에서 유입과 유출을 통한 보행자 행태변화 분석에 중점을 두고 있다.

이외에도 지리정보와 도시계획과 관련된 분야의 사례로서 토지이용변화에 관한 시뮬레이션(Dawn C. Parker, 2002), 중심시가지에서의 보행패턴 시뮬레이션(Mordechai와 David, 2001) 등의 연구가 있으나, 국내에는 아직 연구사례를 발견하기 어렵다.

사례지역 선정 및 데이터 구축

1. 사례지역 선정 및 현황

먼저 사례지역은 그림 1과 같이 진주시 가좌동 일대로서 경상대학교 후문에 위치한 대학촌이다. 이 지역의 좌측은 산으로 둘러싸여 있고, 우측은 왕복 6차선 도로가 개설되어 있어, 인근지역과 분리된 하나의 독립적인 지역으로 구성되어 있다. 따라서 대상지역은 대학촌만의 특징을 유지하고 있으며, 주로 대학생을 상대로 하는 하숙과 원룸 등 주거시설과 상업시설이 많이 분포하여 있다.

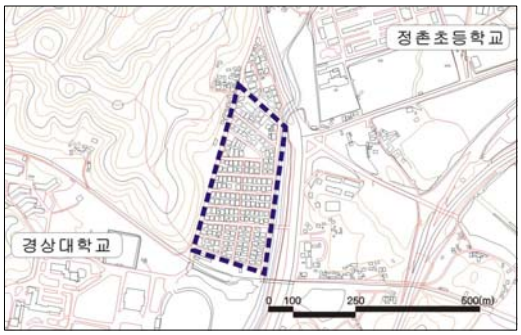

FIGURE 1. 사례연구지역의 위치 및 범위

보행환경과 관련하여 대상지역은 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 첫째, 토지이용 용도지역상 주거지역으로 지정되어 있으며, 상업시설은 보행자의 주요 흐름에 따라 자연발생적으로 발달해 왔다. 둘째, 지역 내에는 상업기

능가로와 비상업기능가로가 동시에 존재하여 서로 매우 다른 보행자 행태가 관찰된다. 대학촌의 특성상 시간대별 보행자 밀도 변화가 매우 심하며, 등하교 때는 짧은 시간동안 많은 보행자가 밀집됨으로써 안전사고 발생 가능성이 상존하고 있다. 게다가 내부에는 무질서한 주차 및 시설물 설치로 보행환경이 부분적으로 매우 악화되어 있다. 셋째, 현재 대학촌 개발계획이 진행되고 있어 향후 물리적 환경변화가 예상되므로 다양한 개발대안들을 가정하여 보행자의 행태변화를 분석함으로써 안전하고 쾌적한 보행환경 확보를 위한 설계와 대책이 요구된다. 넷째, 사례지역은 도로와 지형적 요인에 의해 공간적으로 주변지역과 독립되어 있어 모형 구축과 시뮬레이션에서 외부 변수의 통제가 용이한 특징이 있다.

한편 대상지는 그림 2와 같이 19개(A-S)의 블록과 191개의 건물로 이루어져 있다. 여기서는 데이터처리를 위해 가로의 연속성과 보행자인지도 등을 고려하여 가로를 가로축(W) 9개, 세로축(H) 9개로 구분하였으며, 보행자가 지구내외를 출입하는 게이트는 총 6개로 구성되어 있다.

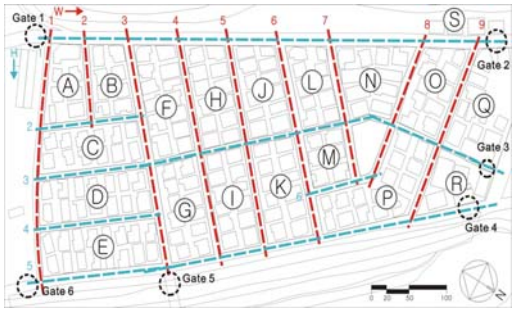

FIGURE 2. 대상지 가로 현황

2. 데이터 구축

이 지역을 컴퓨터 가상공간에서 모형화하고 보행자행태를 시뮬레이션하려면 우선 현황조사를 기반으로 가상적 지리공간을 컴퓨터로 모델링해야 한다. 이를 위해 사례지역에 대하여 2005년 10월에 현장조사를 실시하였다. 조사내용은 지역내 보행자 특성과 상가의 업종, 규모 등으로 하였다. 조사된 자료는 ArcGis를 이용하여 데이타베이스로 구축하였다. 그리고 동 기간에 그림 3과 같이 문헌조사, 현장조사를 통해 건물의 용도, 보행밀도, 지역내 유출입인원, 면적, 매력도 등의 데이터베이스를 구축하였다. 특히 모형의 개발에서 보행자가 목표점을 결정하는데 참고가 되는 건물의 매력도는 그림 3과 같은 방법으로 현장 조사를 통하여 부여하였다.

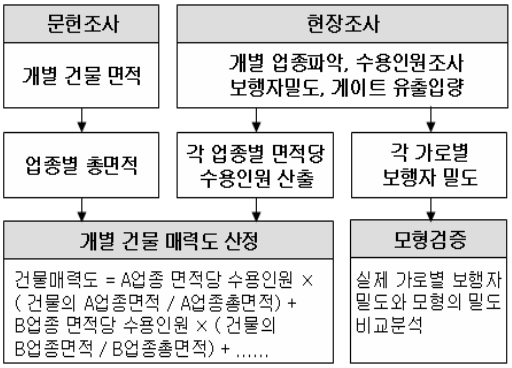

FIGURE 3. 데이터의 취득과 처리

대상지역내 상업기능은 표 1과 같이 업종별로 분류하여 조사하였으며, 사례지역 내에는 상업기능이 포함된 건물이 99개로 조사되었다. 대상지 내에서의 업종별 면적은 수치지도를 기본으로 현장조사를 통해 확인하여 구하였다. 업종별 면적은 요식과 유흥, 휴게 시설의 순으로 많으며, 쇼핑 및 업무시설은 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 대학생들의 일상적인 활동이 쇼핑보다 식사, 유흥, 휴게를 중심으로 이루어지고 있음을 잘 반영하고 있다.

TABLE 1. 업종분류

대분류	세분류
요식업	식당, 분식, 레스토랑 등
유흥시설	호프, 바, 학사주점 등
휴게시설	pc방, 당구, 오락실, 노래방, 비디오방, 만화방, 카페
쇼핑시설	편의점, 헤어숍, 꽃가게, 옷가게
업무시설	은행, 관공서, 사무실 등
학생지원시설	복사, 컴퓨터, 학원 등

다음으로 업종별 수용인원은 수치지도상의 면적을 기초로 현장조사를 통해 면적과 좌석을 확인하여 업종별 면적당 수용 인원으로 산정하였다 (표 2 참조). 그 결과 수용인원은 요식업이 1,446명(32%)로 가장 많고, 다음으로 유흥시설 1,220명(27%), 휴게시설 1,084명(24%)순으로 나타났으며, 면적당 수용인원은 유흥시설 14.6명, 휴게시설 13.7명, 요식업 11.1명과 쇼핑시설 6.8명, 학생지원시설 6.0명, 업무시설 2.0명으로 다르게 나타났다.

TABLE 2. 업종별 수용인원과 대상지내 면적

업 종	수용인원 (명(%))	총면적 (㎡(%))	100㎡당 수용인원 (명)
요식업	1,446 (32)	13,011 (28)	11.1
유흥시설	1,220 (27)	8,379 (18)	14.6
휴게시설	1,084 (24)	7,939 (17)	13.7
쇼핑시설	407 (9)	5,974 (13)	6.8
업무시설	226 (5)	8,467 (18)	2.7
학생지원시설	136 (3)	2,248 (5)	6.0
계	4,519 (100)	46,018 (100)	9.8

다음으로 대학촌 경계지점에 해당하는 유출입지점(그림 2에서 6개의 Gate)에서 시간당 보행자 유출입자수를 조사하여 모형에 반영하였다. 조사는 평상시의 대학촌을 모형화하기 위해 대상지내의 상업시설이 가장 활성화 되는 시간대(오후 6~9)에서 통근시간(오후 6~8)을 제외한 나머지 시간을 기준으로 하였다. 대학 후문에 해당하는 Gate 1에서 시간당 보행자 수가 8.4명/분으로 가장 많았으며, 특별한 보행 유발시설이 없는 Gate 5에서 가장 적은 0.2명/분으로 나타났다.

TABLE 2. 지점별 유입인구

지 점	Gate1	Gate2	Gate3	Gate4	Gate5	Gate6
유입인구 (인/분)	8.3	4.4	0.4	1.0	0.2	1.3

대상지내의 가로별 보행자 수는 그림 2와 같이 가로의 연속성을 감안하여 세로와 가로방향의 총 18개 노선으로 구분하여 각 가로에 대하여 보행자 조사를 실시하였다. 조사는 3회 실시하여 평균값으로 가로별 보행자수를 표 3과 같이 구하였다.

TABLE 3. 가로별 평균 보행자수

가로 번호	보행자수 (명)	거리 (m)	가로 번호	보행자수 (명)	거리 (m)
w-1	38.5	625	h-1	10.6	286
2	2.1	133	2	1.8	100
3-1	1.4	152	3	5.6	282
3-2	2.8	295	4	2.0	265
3-3	2.2	178	5	2.1	253
4	0.5	162	6	1.1	241
5-1	2.3	179	7	0.7	171
5-2	1.4	432	8	0.7	171
6	0.4	86	9	4.2	224

조사된 데이터 중 물리적 특성 데이터는 그림 5와 같이 ArcGis DB를 구축하였다. 가장 유출입이 활발한 Gate 1부근에서 연면적, 상업면적, 매력도가 높게 나타났다. 이는 표 3에서와 같이 가로별 평균 보행자수에 따라 비례하여 상업기능의 진출이 두드러지고 높은 매력도의 건물이 집중적으로 분포하는 것을 알 수 있다.

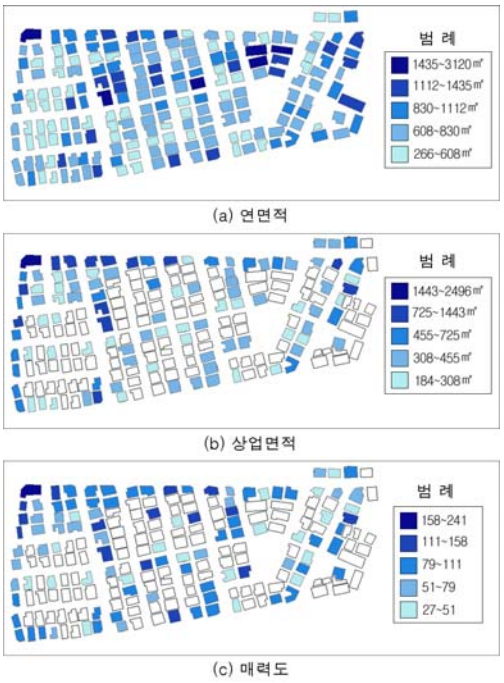

FIGURE 5. 대상지 건물별 특성

보행자 멀티에이전트 모형 개발

1. 모형의 구조

모형은 크게 주변환경의 설정과 보행자 에이전트의 의사결정 및 행동규칙 설정 부분으로 나누어진다. 먼저 주변환경의 설정은 수치지도와 현장조사를 기반으로 컴퓨터상의 가상공간에서 가로 및 건물 등을 구축한다. 다음으로 보행자 에이전트의 속성, 환경여건 그리고 에이전트간 상호작용에 따라 각 에이전트가 취하는 행동규칙을 설정하여 프로그래밍하면 모형의 구축이 완료되게 된다.

1) 주변 환경설정

주변 환경은 에이전트의 의사결정에 있어 중요하게 영향을 미친다. 주변 환경 설정은 수치지도와 현장조사를 통해 보완 수정된 데이터를 기준으로 그림 6과 같이 건물, 가로, 블록, 게이트 등 4개의 레이어로 구축하였다.

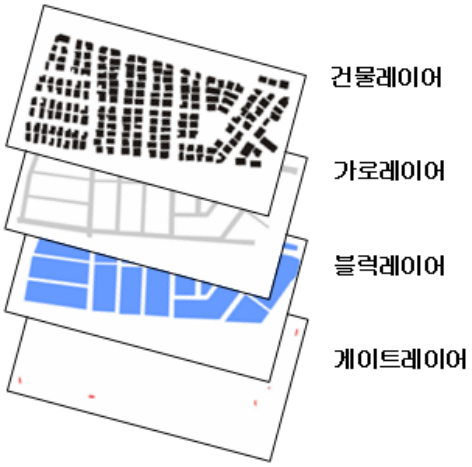

FIGURE 6. 주변 환경 구성 레이어

2) 보행자 에이전트의 행동 규칙

각 에이전트는 그림 7과 같이 각 게이트를 통해 본 지역 내로 진입(생성)하거나 외부로 진출(소멸)하게 된다. 일단 지역 내로 들어오면 각 에이전트는 목표점을 설정하게 되며, 목표점은 앞에서 언급한 그림 3과 같이 상업지역내 각 점포의 매력도에 근거하여 설정한다. 즉 각 점포의 매력도가 지역내 전체 점포의 매력도 총합에 대해 차지하는 비율을 계산하여 그 비율에 따라 목표점을 확률적으로 선택하도록 하였다. 한편 에이전트가 목표점을 향해 진행할 때, 보행에 영향을 주는 요소는 도로의 상태나 주변상가의 정비도 등 물리적인 요소와 보행 밀도, 건물의 매력도등 심리적인

요인 등 매우 다양할 것이다. 그러나 본 연구에서는 보행자 멀티에이전트 모형개발의 초기단계로서 도로의 형상과 같은 물리적 환경요소, 다른 에이전트와의 충돌회피 그리고 건물의 매력도에 따라서 결정되는 것으로 가정하였다.

구체적으로 에이전트의 보행은 첫째, 주변의 개별 건물이 가지는 매력도에 영향을 받으며, 도로나 장애물 및 건물과 같은 물리적 환경, 그리고 타 에이전트와 충돌을 피하기 위한 회피거리 의해 영향을 받는 것으로 하였다. 둘째, 에이전트가 장애물을 만났을 때 에이전트의 보행방향은 변하게 되는데, 랜덤함수로 난수를 발생시켜 난수를 각도로 변환하여 이동방향을 결정하는 것으로 설정하였다. 물론 목표가 없는 동안은 랜덤한 시간동안 랜덤하게 가로를 배회하도록 설정하였다. 일단 에이전트가 목표점에 도달하면, 다시 건물의 개별 매력도에 의해 확률적으로 목표점을 결정하여 이동하며, 이때 목표점이 게이트이면 사례지역을 빠져나가 소멸하게 된다.

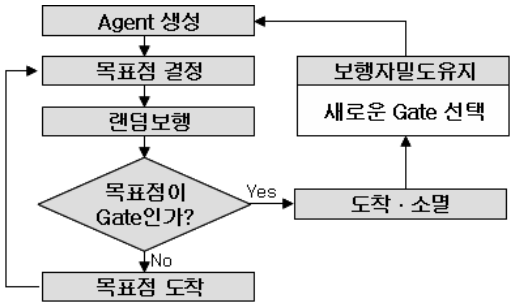

FIGURE 7. 보행자 행동 규칙

2. 모형의 구현

앞에서 정의한 환경설정과 에이전트의 행동규칙은 지리정보를 기초로 그림 8과 같이 컴퓨터상에서 구동되는 시스템으로 개발하였다. 기술적으로는 동적인 보행자 활동을 구현하기 위해 MacroMedia사의 Flash MX 액션스크립트를 사용하여 프로그래밍하였다. 이때 모형의 유연성을 확보하는 것이 중요한데, 본 연구에서는 초기개발단계로서 그림 8의 좌하부분에 장착된 슬라이드바를 제공하였다. 이 슬라이드바를 이용하면 사례지역내 초기보행자 밀도와 게이트의 유출입 보행자수의 생성 속도에 대한 두 가지 파라미터 설정이 가능하여 다양한 조건을 가진 현실을 반영할 수 있게 설계하였다. 결국 이 모델은 일종의 보행자행동 시뮬레이션 시스템으로 커스터마이징(customizing)되었다.

FIGURE 8. 완성된 모형 형태

3. 모형의 검정

이상에서 구축된 모형의 작동 상태와 유용성을 확인하기 위하여 대상지내의 18개 가로에서 실측치로 구한 보행자 밀도와 개발된 모형의 시뮬레이션을 통한 예측치와 비교해 보았다. 실측치는 현장조사를 통해 3회 실측한 평균값을 사용하고, 예측치는 모형을 실행시켜 매 5분 전후마다 실행을 중단하고 그 때의 보행자 에이전트 수를 도로면적으로 나누어 보행자 밀도로 계산하였으며, 총 10회 실행한 결과의 평균값을 사용하였다. 두 값의 차이를 검정하면 모형의 적합성을 판단할 수 있으며, 여기서는 회귀분석을 통한 R^2값을 사용하였다. 그 결과 실측치와 예측치는 그림 9와 같이 매

우 유사하게 나타났으며, 회귀분석 결과 R^2값이 0.781로 높아 모형의 유용성이 충분히 확인되었다고 할 수 있다.

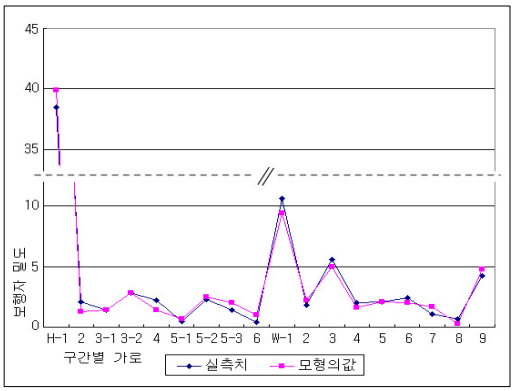

FIGURE 9. 보행자 밀도 실측치와 예측치 비교

시뮬레이션

여기서는 향후 대학촌개발과정에서 예상되는 개발 시나리오를 설정한 후, 위에서 구축된 에이전트 모형을 이용하여 보행자 행태와 보행환경을 시뮬레이션해 보았다. 시뮬레이션 결과를 분석하면 대학촌의 개발에 따른 문제점을 파악을 할 수 있어, 대학촌 내의 보다 안전하고 쾌적한 보행환경 조성을 위한 방안을 모색하는데 도움이 될 것이다.

1. 건물매력도 변화와 보행환경 시뮬레이션

대상지역은 현재 인근의 새로운 가좌지구 대학촌 개발로 많은 변화가 예상되고 있다. 새로운 상업시설이나 매력적인 기능이 도입된다면 보행패턴에 많은 변화를 가져올 것이며, 경우에 따라 안전사고나 보행환경의 악화를 초래할 우려가 있다. 따라서 여기서는 개발에 따라 건물의 매력도가 변화 되었을 때를 가정하여 보행패턴이 어떻게 변화할 것인지를 시뮬레이션해 보았다. 즉 획지나 가로의 폭원 등은 변하지 않고 그림 10과 같이 일부 개별 건축물의 재건축 및 리모델링으로 건물 매력도가 상승하는 것으로 가정하여 지역내 보행자 밀도 변화를 분석해 보았다.

FIGURE 10. 시뮬레이션 대상 건물

일부 지구내의 모든 건물을 순차적으로 상업용도로 전환해 갈 경우에 건물의 매력도도 비례하여 증가할 것이며, 이에 따른 보행패턴도 변화할 것이다. 따라서 여기서는 총 9회 시뮬레이션하여 그림 11과 같은 보행자 밀도의 변화결과를 얻을 수 있었다. 실험은 모형검정과정과 동일하게 시행하였으며, 상업용도 면적을 최대 9,275㎡까지 증가시키면 가로의 보행자밀도도 평균 499%까지 증가하였다. 이와 같이 상업면적의 변화에 따른 보행자 밀도가 크게 증가하므로 상업용도의 진입은 반드시 보행환경 개선책을 마련하도록 유도하는 것이 바람직하다.

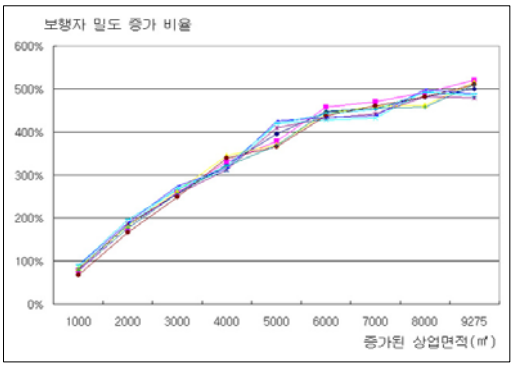

FIGURE 11. 상업면적증가에 따른 가로 보행자 증가 비율

2. 이벤트 발생과 보행환경 시뮬레이션

향후 대상지역은 유동인구의 증가와 더불어 공연과 전시 등 각종 이벤트의 개최가 빈번히 발생할 것으로 예상된다. 그러나 이벤트 발생은 가로에 일시적으로 많은 사람을 결집시킬 뿐 아니라 이벤트의 성격에 따라 돌발적인 상황이 발생하여 혼잡과 안전사고의 위험이 있다. 따라서 보행환경을 안전하게 유지하기 위해 원활한 보행자 동선의 처리가 필요하며, 여기서는 사례지역 내에 이벤트를 강제적으로 발생시켜 이에 따른 보행환경의 변화를 시뮬레이션 해보았다. 단, 여기에서 앞에서와 달리 주변의 물리적 환경과 지역내 건물의 매력도는 변하지 않는 것으로 하였다. 이벤트발생은 그림 12와 같이 지역내 놀이터 부지에서 발생하는 것으로 가정하였다.

FIGURE 12. 이벤트 해당 지역

시뮬레이션을 실행해 보면, 해당 지역 주변으로 보행자 에이전트가 모여들고 밀도가 높아지면서 보행환경이 악화되기 시작하였다. 보행환경을 개선하는 방법으로는 여러 가지가 있겠지만 여기서는 가로를 확폭 방법을 선택하여 가장 효율적이고 경제적인 폭원을 모색해 보는 것으로 하였다. 그 방법으로서 가로를 0m, 1m, 2m, 3m만큼 확폭하는 시나리오를 작성하여 순차적으로 시뮬레이션 해보는 것으로 하였다. 그 결과 폭원에 따라 그림 13과 같이 서로 다른 보행자 밀도의 변화를 구할 수 있었다.

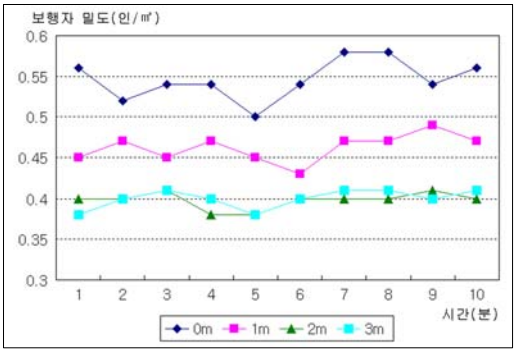

FIGURE 13. 가로 폭원에 따른 밀도변화

그림 13의 결과를 보면 가로의 확폭이 2m와 3m의 경우는 비교적 비슷한 밀도를 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 경제적인 관점에서 본다면 가로를 2m 확폭하는 것이 가장 효율적인 대안이라 할 수 있을 것이다. 이때 보행자 서비스 수준이 B이상(밀도기준 0.5명/m^2이하)으로 되어 비교적 양호한 보행자 환경이 확보되었다.

결 론

본 연구는 대학촌 내의 가로를 대상으로 멀티에이전트 이론(Multi-Agent System, MAS)을 이용하여 보행자 행동 모형을 구축하였다. MAS는 기존 보행자 모형 연구와는 달리 보행자의 자율성과 이동성을 동적으로 다룸으로서 다양한 보행자행동을 보다 현실에 가깝게 재현할 수 있었다.

모형의 개발은 사례지역의 물리적 환경설정과 보행자 에이전트의 행동규칙의 두 부분으로 나누어 프로그래밍 하였다. 물리적 환경은 수치지도와 현황조사를 통하여 구축하였으며, 보행

자 에이전트의 보행 패턴을 재현하기 위해서 사례지역 내 상업시설의 업종별 면적과 문헌조사를 통하여 모형화 하였다. 이렇게 개발된 모형의 타당성을 검정하기 위해 사례지역에 적용한 모형의 보행자밀도 예측치와 현실에서 실측치와 비교하였다. 그 결과 R^2값이 0.781으로 높아 개발된 모형이 현실을 잘 반영하고 있음을 확인하였다.

개발된 모형은 다양한 보행자 행태를 수월하게 실험할 수 있도록 보행자 행동 멀티에이전트 시뮬레이션시스템으로 개발하였다. 시스템의 적용 예로서 첫째, 건물의 매력도 변화, 둘째, 이벤트 발생이 보행환경에 미치는 영향을 보행자 밀도의 개념에서 분석해 보았다. 그 결과 일부 블록내의 건물을 상업용도로 전환할 경우, 상업전환 비율에 따라 주변 보행자밀도가 급격하게 높아지며, 블록내의 건물이 전부 상업용도로 바뀌면 보행자 밀도가 5배가량 높아져 보행환경이 매우 악화되는 것으로 나타났다.

다음으로 사례지역내 이벤트행사가 발생했을 때를 가정하여 보행환경을 완화하기 위해 최적의 가로 폭을 구하는 시뮬레이션을 실시한 결과 이 사례지역의 경우 가로를 2m 확폭하는 것이 가장 효율적인 것으로 분석되었다.

이와 같이 본 모델과 MAS 시뮬레이션 시스템은 보행자의 자유로운 보행의사결정을 그대로 반영할 수 있어 실세계를 매우 잘 재현할 수 있었다. 뿐만 아니라 본 시뮬레이션 시스템을 주변의 여건변화에 따른 보행환경의 변화를 미리 파악할 수 있게 함으로써, 도시공간내의 보행 안전사고의 방지, 가로 공간의 개선안에 대한 사전 검정, 토지이용계획의 지원시스템으로 활용 가능함을 확인하였다. 특히 도심 활성화를 위해 쇼핑몰이나 보행자 거리등의 테마거리 조성을 계획하고 있는 전국의 지자체에서 가로 설계에 참고가 될 수 있을 것이며, 일율적인 건축선 후퇴와 달리 건축선 후퇴와 용적율 인센티브제의 적용에 과학적인 근거를 마련하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다

하지만 본 연구는 많은 보완이 필요하다. 첫째, 건물의 매력도 산정에서 물리적인 특성 뿐만 아니라 보다 다양한 요소, 즉 건물의 개방도나 인지도와 같은 심리적인 요소도 반영되어야 할 것이다. 둘째, 보행자의 속성을 보다 다양하게 설정할 수 있도록 개선해야 할 필요가 있다. 보행자의 시야, 보행속도, 반응속도 등이 각자 다르기 때문에 보행자의 다양한 속성을 반영할 수 있어야 보다 현실적인 보행자 행동모형이 구축될 것이다. 셋째, 보행 규칙을 보다 실세계와 가깝게 설정해야 한다. 이를 위해 보행에 영향을 주는 변수를 보다 다양하게 설정하고 이를 모형화해야 할 필요가 있다. 넷째, 시스템의 인터페이스 부분이다. 본 연구에서는 초기밀도와 생성밀도만을 조절할 수 있을 뿐인데, 향후 다양한 파라미터의 조정이 가능하며 사용자에게 친숙한 컨트롤 패널의 설계가 필요하다. 이러한 과제들이 보완된다면, 본 모델과 시스템은 도시보행공간의 개선방안을 마련하는 데 보다 유용한 지원시스템이 될 것이며, 이는 다음 연구로 넘기고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2단계 두뇌한국21 지역우수대학원 육성사업, 핵심사업 '지역특화도시연구인력양성사업'의 지원을 받아 수행된 연구의 일부입니다. KAGIS

참고문헌

문태헌, 성한욱, 정경석. 2004. 상업지역 보행패턴 분석을 위한 에이전트 기반 시뮬레이션 모형의 개발. 대한국토도시계획학회 정기학술대회 논문집 : 925-934쪽.

배혜선. 2005. 상업지역 건축물 측면공간 특성에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문 : 126쪽.

서준원, 안건혁. 2001. 상업가로의 활동 특성에 따른 가로환경 요소에 대한 연구. 한국도시설계학회 추계학술발표대회 논문집 94-102쪽.

양우현, 정은옥. 2002. 상업가로 활성화를 위한 현황 및 특성 분석. 한국도시설계학회지 9(4):6-22.

윤효진, 우희집. 2001. 도심상업지역에 있어서의 보행환경에 따른 보행인의 인지특성분석. 대한국토·도시계획학회 추계학술대회 논문집 : 797-808쪽.

이승필, 김도년. 2004. 도시 활동 활성화를 위한 도심재개발 방향의 기초연구. 한국도시설계학회지, 춘계학술발표대회 : 133-142쪽.

정승헌, 이양재. 2003. 대형할인점 입지에 따른 주변지역 토지이용 변화특성에 관한 실증적 연구. 대한국토·도시계획학회지「국토학회」 38(3):99-116.

Dawn C. Parker. 2002. Multi-Agent Systems for Simulation of Land-Use and Land-Cover Change. Indiana University. 75pp.

Jon Kerridge, H. Julian and W. Marcus. 2001. Agent-based modelling of pedestrian movement: the questions that to be asked and answered. Environment and Planning B : Planning and Design 28, pp.327-341.

Michael Batty. 2003. Agent-based pedestrian modelling, In Advanced Spatial Analysis(Longley and Batty). CASA, pp.81-106.

Mordechai Haklay, David O'Sullivan. 2001. "So go downtown": simulating pedestrian movement in town centre. Environment and Planning B : Planning and Design, 28, pp.343-359.

Paul M. Torrens. 2003. Automata-based models of urban systems, In Advanced Spatial Analysis(Longley and Batty). CASA, pp.61-80.

http://regionplan.gsnu.ac.kr/hanoorim

http://www.savannah-simulations.ch KAGIS