미시적 보행시뮬레이션모형의 연구동향 (행위자기반모형을 중심으로)

이 종 호

I. 서론

우리나라는 그동안 도로체증의 해소에 급급한 나머지, 보행에 대한 관심은 그다지 크지 않았다. 그러나 최근에 각광을 받기 시작한 지속가능한 교통정책은 보행에 높은 비중을 두고 있다. 동시에 보행과 관련된 다양한 연구가 요구되고 있으나, 아직 미비한 상태이다.

그중 보행시뮬레이션 관련 연구도 동서를 막론하고 자동차에 비해 그리 활발하지 않다. 보행자의 행태가 자동차에 비해 매우 복잡하고 분석에 어려움이 많아서 그런 모양이다. 게다가 우리나라에서 이 분야 연구는 대부분 거시적인(macroscopic) 접근에 국한되었다. 거시적인 접근은 각종 보행시설의 설치 여부 등 미세한 분석이 요구되는 경우 그 한계를 드러낸다.

1970년대부터 서구 지역에서는 미시적 보행시뮬레이션 모형이 개발되어 발표되기 시작하였다. 1990년대에 들어와서는 복잡계(complex system) 이해의 확산과 컴퓨터의 기능 향상으로 복잡계 해석 방법 중의 하나인 행위자기반(agent-based) 모형이 보행시뮬레이션에 선을 보이기 시작하였다.

미시적 보행시뮬레이션 모형에서는 보행자 행태에 미치는 보행자 주변 환경 요소에 대한 고려가 중요한 이슈로 등장한다. 최근 미시적 모형 중 하나인 행위자기반 보행시뮬레이션 모형은 단순히 보행자의 움직임에만 초점을 두지 않고 주변 보행시설, 건물 등 보행에 영향을 미칠 수 있는 많은 요소들을 동시에 감안하기 시작하였다.

본 논문에서는 1970년대 이래로 보행시뮬레이션 모형의 변화를 살펴보

이종호 : 경기대학교 도시·교통공학과 교수, jhrhee@kyonggi.ac.kr, 직장전화:031-249-9777, 직장팩스:031-257-6705

고, 최근 시뮬레이션 모형의 동향을 행위자기반 모형을 중심으로 고찰해 본다. 동시에 이들 시뮬레이션의 실제 적용 가능성과 그 쟁점을 살펴보며, 향후 연구의 방향도 논한다.

Ⅱ. 보행의 특성

보행은 자동차의 움직임보다 훨씬 다양하고 복잡하다. 자동차는 주어진 도로, 도로 상의 각종 제어 시설 (신호, 표지 등), 그리고 운전자의 목적지에 따라 움직이지만, 보행의 공간은 단순한 보도는 물론, 횡단보도, 광장, 지하철 환승역, 건물 내 보행동선 등 그 경우가 매우 다양하다. 또한 단순히 보행자의 속도만을 보더라도, 보행자의 구성(성비, 연령비 등), 보행목적, 보행공간, 보행시간대(첨두시, 비첨두시), 보행환경(환승, 각종 이벤트, 긴급대피상황 등) 등에 따라 그 편차가 심하다. 보행은 그만큼 연구의 범위가 넓지만, 특히 우리나라에서 관련된 연구는 열악하다. 이는 그동안 도로체증 등으로 인한 자동차의 소통에 사회적 관심이 상대적으로 높았기 때문이다.

초기 보행관련 연구도 자동차의 경우와 마찬가지로 주어진 시간에 한 지점을 통과한 보행자의 수, 속도, 밀도 등 거시적 척도에 대한 조사와 분석에 국한되었다.(Fruin, 1971)(KHCM, 2001) 조사한 거시적 척도를 기준으로 보행공간의 서비스 수준(LOS)이 낮으면 보행공간을 넓혀 서비스 수준을 높인다. (김경환, 1999)(임정실 외, 2002) 환승역의 보행 동선에 문제가 있으면 동선의 폭을 확장하여 그 문제를 해결한다. (김정현 외, 2002) 즉, 보행에 미치는 수많은 요소들은 도외시 하고 단순히 보행폭원의 확장 여부로 문제의 해결을 시도해 왔다. 이러한 거시적 분석은 보행자간, 그리고 보행자와 보행시설, 건물 등 각종 보행에 영향을 미치는 요소들 간의 상호작용(interaction)이 고려되지 않기 때문에, 이 요소들의 변화가 보행공간의 서비스 수준은 물론 보행자에게 미치는 다양한 영향이 온전히 설명이 되지 않는 문제가 있다. 보도에 볼라드를 설치할 때 보행자의 속도 및 밀도의 변화, 보도 상에 광고판, 각종 가판대, 노점상 등이 보행에 미치는 영향, 지하철 환승역내 동선 상의 기둥이 보행에 미치는 영향 등 분석해야 될 경우가 무수히 많다. 그러나 이러한 분석은 거시적 접근으로는 어렵다.

Ⅲ. 미시적 보행시뮬레이션 모형

거시적 보행시뮬레이션의 한계로 인하여, 건물 출입구 문의 개폐 방향, 회전문의 회전 속도, 보행자의 진출입 방향 결정 등 좀 더 미세한 분석과 최적 대안이 요구되는 경우는 미시적 시뮬레이션이 필요하다.

Gipps과 Marksjo(1985)가 제안한 미시적 보행 시뮬레이션 모형은 분석대상지역을 셀로 구분하여 보행자가 한 사람씩 점유하도록 하고, 주변 보행자에 근접정도와 동시에 반발정도를 점수화하여, 보행자가 그의 목적지에 근접할수록 점수가 커지는 방향으로 보행자의 움직임을 시뮬레이션 하였다.

Okazaki(1979)는 각 보행자는 양극(positive pole)을 가지고 목적지에는 음극(negative pole)이 존재한다고 가정하고, 보행자의 움직임을 타 보행자들과의 충돌을 피해가면서 그의 목적지에 도달하는 과정으로 설명하였다. 그리고 각 보행자에게는 두 가지의 힘이 작용하는데, 첫 번째 힘은 보행자의 몸무게와 목적지까지의 거리로 표현되는 전기력(쿨롱의 법칙(Coulomb′s law))으로 표현하였으며, 두 번째 힘은 타 보행자 또는 보행공간에 존재하는 각종 시설물을 피하기 위해 작용하는 힘으로 설명하였다. 이 두 가지 힘들이 목적지를 향한 보행자의 속도를 결정한다고 가정하였다.

Helbing(1992, 1999)이 제안한 모형도 앞의 두 모형과 유사한 개념으로 소위 사회힘모형(social force model)을 제안하였다. 즉, 보행자는 각자의 목적지에 사전에 정한 시간 내에 도달하려는 동기(motivation)로 움직인다고 가정하고, 보행자의 움직이는 속도는 목적지 도달 시간까지의 남은 시간과 남은 거리, 타 보행자간 그리고 보행시설물(기둥, 건물벽 등)과의 반발작용으로 결정된다고 주장하였다. 그러나 이들 연구에서는 모형이 얼마나 실제 보행을 잘 묘사하는지에 대한 검증(validation)이 부족하였다. (Teknomo 외(2000))

Teknomo(2002)는 앞 모형들의 취약점을 보완하려고 노력하였다. 기본적인 보행자의 움직임을 앞으로 가려는 힘과 타 보행자와 충돌을 피하려는 반발힘으로 표현한 점은 앞의 모형들과 큰 차이가 없지만, 실제 수집된 횡단보도의 보행자 자료와 모형으로 도출된 자료의 비교분석을 통해 모형 검증을 시도하였다. 물론 비교에 사용된 지표들은 평균속도, 가속도분포, 밀

도분포 등의 거시적 척도로 국한되었지만, 보행군이 줄을 형성(lane formation)하는 자기조직화(self-organization) 속성, 건물 출입구의 보행방향을 일방향으로 운영할 때와 양방향으로 운영할 때의 차이, 보행군에 노약자 비율이 높을 때와 그렇지 않을 때의 차이, 횡단보도에 보행 방향을 명시할 때와 그렇지 않을 때의 차이 등을 모형을 이용하여 설명하였다.(Teknomo, 2006)

미시적 보행시뮬레이션 모형은 단순히 보행공간의 용량분석에 제한되지 않고, 새로운 보행시설 또는 보행정책의 도입효과 등, 다양하고 미세한 보행공간 변화의 효과를 분석할 수 있게 도와준다. 즉, 저투자 관련 보행정책의 효과분석을 가능케 함으로 투자비 절감을 기대할 수 있다.

Ⅳ. 행위자기반 보행시뮬레이션 모형

1. 모형의 속성

전통적인 과학적 방법론은 관찰을 통해 가설을 만들고, 반복적인 실험으로 검증하여 틀리지 않을 때 이 가설을 받아들인다. 또한 이 가설로 예측도 시도한다. 단순한 시스템의 경우 수학적으로 이 가설을 표현하기도 하며, 불확실성이 커지면 확률과 통계기법을 도입하기도 한다. 그러나 시스템이 복잡해지면 복잡해질수록, 즉, 부분으로 전체를 볼 수 없는 시스템, 비선형인 시스템, 초기값에 따라 결과가 전혀 다르게 나타나는 시스템, 다시 말해 복잡계에서는 기존의 수학적 통계적 접근방법만으로는 그 표현에 한계를 느낀다. 자동차는 물론 보행 교통류도 복잡계로 볼 수 있기 때문에 이에 걸맞은 접근방법의 모색이 필요하다.(이종호, 2006)

모형방법 중 이러한 한계 극복의 한 대안으로 부상되고 있는 모형이 행위자기반모형 (agent-based model)이다. 이 모형에 대한 정의가 다양하고 아직 적립되지 않았으나(이종호, 2003) 저자 나름대로 간단히 정의한다면, 행위자기반모형은 실제 상황(예, 도로망)을 컴퓨터 프로그램화(가상공간)하고, 그 공간 안에 존재할 수 있는 행위자(예, 도로망, 신호등, 자동차 등)를 정의해 프로그램화하고, 각 행위자에게 행동규칙(예, 가속, 정지, 추월,

신호주기 등)을 부여하여 프로그램화한 것을 말한다. 그리고 이 프로그램을 실행(예, 자동차를 운행)시켜 그 과정에서 도출(global emergence)되는 각종 자료를 분석하여 시스템 전체의 속성(속도, 밀도, 지체 등)을 파악한다. 이러한 접근은 과거에는 컴퓨터 하드웨어 기능의 제약으로 실제 상황을 모형화하기가 어려웠다.(Erol 외, 2007)

2. 모형의 예

앞 장에서 언급된 몇 개의 미시적 보행시뮬레이션모형들을 살펴보면, 보행자의 보행을 결정하는 요소들이 매우 제한적이다. 그러나 실제로 보도 일부 구간에서의 보행행태가 도시 전체의 보행행태를 대표할 수 없다. 이는 보도의 용량뿐 아니라, 상황에 따라 보행에 영향을 줄 수 있는 많은 요소들이 존재하기 때문이다. 이 요소들이 고려되지 않은 경우, 분석결과의 설득력은 떨어지게 된다. 이 요소들을 감안하기 위해서 수리, 통계적 표현이 시도될 수 있지만, 객관성 논란으로 한계가 있을 수 있다. 따라서 행위자기반모형이 하나의 매력적인 대안이 된다.

행위자기반 보행시뮬레이션에서 행위자는 각자의 보행자 그리고 보행에 영향을 미치는 모든 주변 요소들이 된다. 일반 가로망의 경우, 가로 그 자체, 가로 위의 볼라드, 보행관련표지, 횡단보도의 경우 보행신호, 가로상의 가판대, 노점상, 그리고 주변 건물, 음식점, 상점 등이 행위자가 된다. 그리고 행위자간의 다양한 영향 또는 상호작용(interaction)규칙이 정의되고 프로그램화된다.(주로 단순한 If-then 형태) 보행자간, 보행자와 보행시설물간에는 서로 충돌하지 않으려는 작용이 있으며, 보행관련표지 및 보행신호는 보행자의 보행속도에 영향을 미치며, 주변 건물, 음식점 또는 상점의 매력(attraction)은 보행시간, 보행속도, 보행거리에 영향을 미친다. 이때 행위자기반모형의 프로그램에 적합한 소프트웨어들(Repast, Swarm, Netlogo, Mason 등)이 사용된다.(Macal 외, 2006) 각 보행자의 위치와 목적지를 정의한 상태에서 프로그램을 실행하면 행위자간의 상호작용규칙에 따라 시뮬레이션이 진행된다. 시뮬레이션 과정에서 도출된 보행자료를 실제 관찰자료와 비교 분석하여 모형을 검증한다. 검증은 속도, 밀도, 이동

거리 등의 평균값 또는 분포의 유사성 등 (아직까지는) 거시적 지표와 시각적 판단에 의한다.

행위자기반 보행시뮬레이션모형 중 한 부류는 Cellular Automata(CA)[1] 이론을 이용한 것들이다. 교통 분야에서 최초의 CA적용은 자동차 교통류를 CA로 표현한 연구로 판단된다.(Nagel 외, 1992) Blue 외(1998)와 우리나라의 손영태 외(2004)는 보행자의 움직임을 CA로 표현하였는데, 시뮬레이션 결과를 실제 조사된 보행자 통행 패턴(Fruin, 1971)과 비교한 결과 CA 이론이 보행을 묘사하는데 큰 어려움이 없음을 주장하였다. Blue 외(2001), Weifeng 외(2002) 그리고 Weng 외(2006)도 CA를 이용하여 양방향 보행, 보행속도가 다른 보행 등, 보다 다양한 상황 하에서 보행자의 움직임을 시뮬레이션 하였다. 이러한 기초연구를 바탕으로 보행자의 행태에 미치는 다양한 요소들이 시뮬레이션에 포함되기 시작하였다. 단순한 보행자 움직임의 시뮬레이션에서 탈피하여 가로망과 건물들이 보행자에게 미치는 영향까지를 감안한 시뮬레이션이 시도되었다.(Dijstra 외, 2001)

특히 도시계획 분야에서 보행자의 움직임을 행위자기반모형으로 설명하려는 시도가 돋보인다.

영국의 CASA(Center for Advanced Spatial Analysis)는 다양한 도시 관련연구에 행위자기반 모형을 적용하였다. 그 중 보행시뮬레이션과 관련된 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Batty 외(1998)는 도심 쇼핑몰 등지에서 보행자의 움직임을 행위자기반 모형으로 표현하였다. 이때 각각의 보행자, 그리고 보행자 움직임에 영향을 미칠 가로망, 상점, 음식점, 건물, 기타 보행유인가능장소(attractive locations)를 행위자로 가정하였다[2]. 즉, 보행자의 움직임은 각 보행자의 유인장소로 움직이되, 타 보행자 및 보행방해물과의 충돌을 피하며, 특정지역에서의 과도한 체증을 유발하지 않는 조건 하에서 CA 이론을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

---

1) 행위자기반 모형을 CA-like 모형이라고 부르기도 한다.(Wolfram, 1994) 이는 CA는 일정한 시간에 행위자들이 동시(synchronism)에 상호작용하는 반면, 행위자기반모형에서는 비동시적(asynchronism)으로 상호작용도 가능하기 때문이다.

2) 보행자, 보행시설물, 건물, 가로망들을 모두 각각의 행위자(agent)로 정의하기도 하나, 이중 움직일 수 있는(mobile) 행위자, 즉, 보행자만을 행위자로 주장하는 학자들도 있음.

Schelhorn 외(1999)는 STREETS라는 모형을 개발하였는데, 이 모형은 두 단계로, 첫 번째 단계에서는 GIS 파일을 이용하여 대상 지역의 사회, 경제 지표로서 발생되는 보행자 수요를 추정한다. 이 과정에서 단순히 보행자의 수 뿐 아니라 보행자들을 보행속도, 시각범위, 쇼핑행태 등 행태적으로 분류하여 추정된다. 또한 대상 도심에서 보행에 영향을 미칠 요소들이 고려되었는데, 보행유인장소는 토지이용에 따라 분류되었으며, 각종 보행시설물, 출입구가 명시된 건물, 가로망이 동시에 고려되었다. 두 번째 단계에서는 첫째 단계에서 정의된 행위자를 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. 단계별로 보면 차량 시뮬레이션 모형 중의 하나인 TRANSIMS와 유사하다.

또한 Batty(2003)는 보행자가 보행 장소 및 여건에 따라 어떻게 반응을 하는지를 알아보기 위하여, 일반 보도, 쇼핑센터 그리고 도심 거리축제 경우의 보행자 행태를 행위자기반모형으로 시뮬레이션 하여 비교, 분석하였다.

한편, Rindsfüser 외(2007)는 스위스 Bern 철도역의 승객들의 보행을 시뮬레이션 하였는데, 이는 행위자기반 모형을 실제 상황에 적용한 연구 사례이다. 실제 40,000여명 승객이 열차에서 내려 철도역을 걸어 나가는 상황과 철도역에서 승객들이 열차에 승차하는 상황을 시뮬레이션 하여 행위자기반 모형의 실제 상황 적용의 가능성을 증명하였다.

우리나라에서는 처음으로 문태현 외(2006)가 Batty(2003)의 연구와 유사하게 경남 진주시의 대안동 일대를 사례지역으로 행위자기반 보행시뮬레이션 모형을 개발하였으며, 건축선의 후퇴, 이벤트 발생 등 보행환경의 변화가 보행에 미치는 영향을 분석하였다.

3. 모형의 쟁점

앞의 여러 사례 연구들에서는 보행에 영향을 미치는 요소와 관련되는 방대한 자료가 요구된다. 신뢰할 수 있는 자료가 존재하는 한, 그리고 과거보다 현저히 증가된 컴퓨터의 처리용량 및 속도로 행위자기반 모형의 실제 상황 적용이 가능해 짐은 물론, 향후 더 용이해 질 것으로 전망된다.

그러나 링크별 통행수요예측의 경우와 같이 모형 구축 시 항상 고민되는 설명력(validation)에 관한 질문, 즉, 실제 상황을 얼마나 잘 재현하는지에 대한 자신 있는 답은 아직 없는 듯하다. 타 미시적 보행시뮬레이션 모형

과 마찬가지로, 시뮬레이션 결과의 거시적 수치(평균 보행 속도 및 밀도 분포 등)들이 실제 조사 자료와 통계적으로 또는 시각적으로 차이가 크지 않다는 사실로 모형의 설명력을 판단하고 있다. 그러나 각 행위자들에 관한 세밀한 현장 자료의 수집과 이를 이용한 수많은 시뮬레이션의 반복, 규칙의 수정(calibration) 과정을 통해 설명력을 높일 수 있을 것으로 보인다.

Ⅴ. 요약 및 결론

다양한 요소에 의해 영향을 받는 보행자의 움직임은 주어진 차로를 움직이는 자동차보다 훨씬 묘사되기가 어렵다. 보행자의 구성, 보행 장소, 보행 시간, 그리고 환승, 각종 이벤트, 긴급대피상황 등의 보행환경에 따라 보행자의 움직임은 전혀 다르다. 따라서 이제는 단순히 보행공간의 LOS 수준을 분석하여 공간의 확장 여부를 판단하는 정도를 넘어, 보행에 영향을 미치는 각종 요소들에 대한 세밀한 분석이 필요하다. 이러한 시도는 기존 수학적 통계적 접근만으로는 어렵다.

행위자기반 모형은 다양한 요소들을 동시에 고려할 수 있는 적절한 대안으로 판단된다. 요사이 쟁점이 되고 있는 보행방법(좌측통행, 우측통행)에 대한 비교분석, 각종 보행시설물(또는 보행방해시설물)이 보행에 미치는 영향 최소화 방안, 환승역내에 보행동선의 용량을 증대시키기 위한 시설물 설치 여부(예, 기둥), 건물 내 화재 또는 기타 재난 시 대피동선 구축, 각종 집회 또는 거리 이벤트 시 차량과의 상충을 최소화하기 위한 보행동선 수립, 토지이용(새로운 건물 입지)의 변화로 인한 보행패턴의 변화추정, 이를 이용한 상가 또는 음식점 등의 입지분석 등, 그 적용 범위는 매우 넓다.

이를 위해 먼저 다양한 보행환경에서의 관련 행위자들의 미세한 행태 조사와 이를 기초로 한 행위자기반 모형의 구축과 실제 자료를 기초로 한 검증 연구가 우선되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김경환 (1999), “국내 보행 서비스수준의 평가기준”, 대한교통학회지, 제

17권 제3호, 대한교통학회, pp.31～46.
2. 김정현・오영태・손영태・박우신 (2002), “보행자 시설 서비스 수준 산정에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.149～156.
3. 도로용량편람(KHCM) (2001), 대한교통학회, pp.471～497.
4. 문태현, 성한욱 (2006), “보행환경 개선을 위한 보행자 에이전트(Agent) 모형의 개발과 시뮬레이션”, 대한국토.도시계획학회지, 국토계획, 제41권 6호, pp.79～92.
5. 손영태, 박우신, 김상구, 김태완, 김영호 (2004), “CA기반 보행교통류 Simulation 모형 개발”, 대한토목학회논문집, 제24권 제4D호, pp.563～568.
6. 이종호 (2003), “교통시스템분석시 에이젠트기반모형기법의 적용”, 대한교통학회지, 제21권 제1호, 대한교통학회, pp.147～156.
7. 이종호 (2006), “교통분야에 복잡계이론의 적용 가능성 고찰”, 교통기술과정책, 제3권 제2호, 대한교통학회, pp.55～68.
8. 임정실・오영태 (2002), “보행자 도로의 용량산정”, 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.91～99.
9. Batty, M., Jiang, B., and Thurstain-Goodwin, M. (1998), "Local Movement: Agent-based Models of Pedestrian Flow", Working Papers Series Paper 4, Center for Advanced Spatial Analysis University College London.
10. Batty, M (2003), "Agent-Based Pedestrian Modelling", Working Papers Series Paper 61, Center for Advanced Spatial Analysis University College London.
11. Batty, M (2007), " City and Complexity" The MIT Press Cambridge, Massachusetts.
12. Blue, V. and Adler, J. (1998), "Emergent Fundamental Pedestrian Flows from Cellular Automata Microsimulation", Transportation Research Record 1644, pp29～36.
13. Blue, V. and Adler, J. (2001), "Cellular Automata Microsimulation for Modeling Bi-directional Pedestrian Walkways", Transportation Research Part B 35 pp.293～312.
14. Dijkstra, J., Jessurun, J. and Timmermans, H. (2001), "A MultiAgent Cellular Automata Model of Pedestrain Movement", M, Schreckenberg

and Sharma (ed): Pedestrian and Evacuation Dynamics, Springer-Verlag, Berlin, pp.173～181.

15. Erol, K., Levy, R. and Wentworth, J. (2007) "Application of Agent Technology to Traffic Simulation", United States Department of Transportation.
(http://www.tfhrc.gov/advanc/agent.htm)
16. Fruin, J. (1971), "Designing for Pedestrians: A Level of Service Concept", Highway Research Record 355, pp.1～15.
17. Gipps, P.G. and Marksjo, B. (1985) "A Micro-Simulation Model for Pedestrian Flows", Mathematics and Computer in Simulation 27, pp.95～105.
18. Helbing, D. (1992), "A Fluid-dynamic Model for the Movement of Pedestrians", Complex Systems 6, pp.391～415.
19. Helbing, D and Molnar, P (1995), "Social force model for pedestrian dynamics", Physical Review E, pp.4282～4286.
20. Macal, C. and North, M. (2006) "Tutorial on Agent-based Modeling and Simulation Part 2: How to Model with Agents", Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, pp.73～83.
21. Nagel, K. and Schreckenberg, M. (1992) A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic", Journal of Physics I 2 pp.2221～2229.
22. Okazaki, S (1979), " A Study of Pedestrian Movement in Architectural Space, Part 1: Pedestrain Movement by the Application on of Magnetic Models", Trans. of A.I.J., No.281, pp.111～119.
23. Schelhorn, T., O'Sullivan, D., Haklay, M., and Thurstain-Goodwin, M. (1999), "Strees: An Agent-based Pedestrian Model", Working Papers Series Paper 9, Center for Advanced Spatial Analysis University College London.
24. Teknomo, K and Takeyama, Y. and Inamura, H, (2000) "Review on Microscopic Pedestrian Simulation Model", Proceeding Japan Society of Civil Engineering Conference, Morika, Japan.
25. Teknomo, K, (2002) Microscopic Pedestrian Flow Characteristics: Development of an Image Processing Data Collection and Simulation Model, Ph. D. thesis, Department of Human Social Information Sciences, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University,

Japan.
26. Teknomo, K (2006) "Application of Microscopic Pedestrian Simulation Model", Transportation Research Part F, pp.15~27.
27. Rindsfüser, G. and Klügl, F. (2007), " Agent-based Pedestrian Simulation: A Case Study of the Bern Railway Station", DISP-ZURICH NUMB 170, pp.9~18 Institut für ORTS, Switzerland.
28. Weifeng, F., Lizhong, Y., and Weicheng, F. (2003), "Simulation of Bi-direction Pedestrian Movement using a Cellular Automata Model", Physica A 321, pp.633~640.
29. Weng, W. G., Yuan, C. H. and Fan, W. C. 2006), "Cellular Automation Simulation of Pedestrian Counter Flow with Different Walk Velocities", Physical Review E 74 036102.
30. Wolfram, S (1994) " Cellular Automata and Complexity" Addison Wesley, New York, NY.

이종호