

# 미시적 보행시물레이션 구축에 따른 보행환경 개선 효과분석

## Analysis of Improved Pedestrian Environment based on Microscopic Pedestrian Simulation

김주영\* · 김태중\*\* · 이승재\*\*\* · 이신해\*\*\*\*

Kim, Joo Young · Kim, Tae Jung, Lee, Seung Jae · Lee, Shin Hae

### 1. 서론

보행은 교통측면에서 차량보다 덜 중요시 생각되어왔지만 가장 기초적이고 중요한 교통수단 중 하나이다. 차량에 대한 분석이나 예측은 활발하게 이루어지고 있는데 반해 지금까지 보행에 관한 분석은 차량보다 미비하다. 하지만 최근에는 세계적으로 보행 공간이나 행태에 대한 중요성이 부각되면서 보행에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

현재 서울시에서 추진하고 있는 「서울 유동인구조사 설계 및 분석」 과업은 서울시 전역의 유동인구의 현황을 파악하여 시정운영을 위한 교통정책기초자료 및 공공/민간 마케팅을 위한 자료로 활용하고 지역 경제 활성화에 기여하기 위한 것이다. 최근 보행에 대한 관심이 높아지고 있고, 지속가능한 녹색교통정책이 시행되면서 보행과 관련된 다양한 연구에 관심이 집중되고 있는 시점에서 보행패턴의 분석을 위한 보행시물레이션에 대한 연구는 보행자의 행태가 자동차에 비해 정밀성을 요구하기 때문에 분석에 어려움이 많아 연구개발이 미미한 상태에 머물고 있다.

다수의 보행자가 활동하는 보행공간에는 과학적이고 분석적인 접근이 필요하며, 주변 보행환경에 반응하는 개개인의 행동특성까지 반영할 수 있는 마이크로한 수준(Micro level)까지 분석이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 보행공간에 대한 분석을 위하여 보행특성을 고려한 시물레이션 구축을 통하여 보행환경을 평가하고, 보행환경 개선을 위한 대안을 설정하고, 그때의 활용효과를 시물레이션으로 평가하여 향후 보행시설 개량과 보도계획의 기초적 자료를 제공하고자 한다.

### 2. 기존문헌고찰

#### 2.1 보행교통류 이론 연구

##### 2.1.1 보행교통류의 기본변수

· 보행교통류율(V) : 대상지역의 보행교통량을 단위시간(1분) 동안 단위 길이(1m)를 통과한 보행자수로 환산한 것으로 단위는 인/분/m로 표현한다.

· 보행속도(S) : 보행자가 가지는 속도를 말한다. 단위는 m/분 또는 m/초로 표현한다.

· 보행밀도(D) : 보행자도로나 대기공간 내에서 차지하고 있는 단위 공간에 대한 보행자의 비율을 말한다. 단위는 인/m<sup>2</sup>로 표현한다.

\* 비회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 · 공학석사 · 010-7763-0914(E-mail : trafficplan@naver.com)

\*\* 비회원 · 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 공학사 · 010-7117-8367(E-mail : l2uktj@uos.ac.kr)

\*\*\* 비회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 010-8824-2172(E-mail : sjlee@uos.ac.kr)

\*\*\*\* 비회원 · 서울시정개발연구원 도시기반연구본부 연구위원 · 공학박사 · 010-8233-1884(E-mail : newsun@sdi.re.kr)



·보행공간(M) : 보행자 1인이 이용가능한 공간의 크기를 의미하며 보행밀도의 역수로 표현된다. 단위는  $m^2$ /인으로 표현한다.

그리고 보행교통류율이 최대인 점에서의 보행속도, 보행밀도, 보행공간을 임계(Critical) 보행속도, 임계 보행밀도, 임계 보행공간이라 한다.

## 2.1.2 보행교통류 이론 연구

### 2.1.2.1 기본개념

보행교통류의 기본 변수인 보행교통류율, 보행속도, 보행밀도의 기본관계식은 다음과 같으며, 이는 차량 교통류에서의 기본식과 동일하다.

$$V = S \times D$$

보행 교통류에서는 차량교통류와 달리 보행밀도(D)의 역수 개념인 보행공간(M)이라는 변수를 이용하기도 하는데 보행공간은 보행밀도에 대한 역수에 해당하는 개념으로서 보행자 1인이 점유 가능한 공간의 크기를 의미하며, 보행교통류율, 보행속도, 보행공간 사이의 관계는 다음과 같다.

$$V = \frac{S}{M}$$

여기서, V : 보행교통류율 (인/분/m)

S : 보행속도 (m/분)

D : 보행밀도 (인/ $m^2$ )

M : 보행공간 ( $m^2$ /인)

### 2.1.2.2 보행교통류 기본 변수간의 관계

#### · 보행속도-보행밀도 관계

보행속도와 보행밀도와와의 관계는 차량의 흐름과 마찬가지로 보행밀도가 증가하게 되면 보행자 개개인이 점유할 수 있는 보행공간이 감소하게 되고 이에 따라 보행동작이 부자연스러워지고 보행속도가 감소한다.

이러한 보행속도와 보행밀도간의 관계는 다음 식과 같은 선형(Linear)곡선을 나타낸다.

$$S = a - bD$$

여기서, S : 보행속도 (m/분)

D : 보행밀도 (인/ $m^2$ )

Dj : 한계밀도 (인/ $m^2$ )

a : 자유보행속도 (m/분)

a/b : 한계밀도 (인/ $m^2$ )

상수 a는 자유보행속도( $S_f$ )를 나타낸다. 즉 보행밀도가 0인 상태 즉, 보행밀도에 의한 영향이 없는 이론적 최고 보행속도를 의미하고 a/b는 밀도가 높아져 보행자 흐름이 멈추게 되는 한계밀도(Dj)를 의미한다.



• 보행교통류율-보행공간 관계

보행교통류율과 보행공간과의 관계는 다음 식으로 표현된다.

$$V = S \times D$$

$$V = (a - bD)D$$

$$V = aD - bD^2$$

$$V = a\left(\frac{1}{M}\right) - b\left(\frac{1}{M}\right)^2$$

보행 교통류율이 최대가 되는 보행공간 (Mmax) 을 구하기 위해 M에 관해서 1차 미분을 하면,

$$\frac{dV}{ds} = -a\left(\frac{1}{M}\right)^2 + 2b\left(\frac{1}{M}\right)^3$$

$$\frac{dV}{ds} = -a\left(\frac{1}{M}\right)^2 + 2b\left(\frac{1}{M}\right)^3 = 0 \text{ 에서 } M = \frac{2b}{a} \text{ 일 때,}$$

보행교통량이 최대가 됨을 알 수 있으며, 그 값은  $V_{\max} = \frac{a^2}{4b}$  이며 이때의 보행밀도를 임계밀도(Dmax)라고 한다. 그리고 보행교통량(V)이 0이 되는 보행공간(M) 값은 b/a 이며, 이 값은 보행밀도가 한계밀도(Dj)의 역수임을 알 수 있다.

• 보행속도-보행교통류율 관계

위의 식을 이용하여 보행속도와 보행교통류율과의 관계식을 유도하면 (식 1-6)과 같다.

$$V = \frac{aS - S^2}{b}$$

보행교통량이 최대가 되는 보행속도(Smax)을 구하기 위해 S에 관해서 1차미분을 하면,

$$\frac{dV}{ds} = a - 2\frac{S}{b} = 0 \text{ 에서 } S = \frac{a}{2} \text{ 일때, } V_{\max} = \frac{a^2}{4b} \text{ 이다.}$$

보행속도와 보행교통류율과의 관계는 차량교통류에서와 마찬가지로 임계속도(Dmax)까지는 보행속도가 증가함에 따라 보행교통량이 증가하지만 임계속도를 초과하면 보행자 1인이 확보할 수 있는 보행공간이 감소함에 따라 보행교통량과 보행속도 모두 감소하게 된다.

• 보행속도 - 보행공간 관계

보행속도와 보행공간과의 관계는 다음과 같다.

$$S = a - \frac{b}{M}$$

여기에서 a는 자유속도, -b/M은 보행공간 감소에 따른 보행속도의 감소를 뜻한다. 즉, 보행공간이 너무 작아서 더 이상 보행이 불가능할 상태는 a=-b/M인 경우를 의미하는데 이때의 보행자 1인당 보행공간은 b/a 이며 이것은 한계밀도와 같다.

따라서 보행자는 어느 정도 이상의 보행공간만 확보가 되면 일정한 속도 즉, 자유속도를 희망하게 되고 보

행공간이 작아짐에 따라 보행속도는 감소하며, 한계밀도 이하의 수준으로 보행공간이 감소하면 보행속도는 0이 된다.

## 2.2 보행환경 분석연구

보행환경에 대한 연구는 보행자 공간의 구성요소와 계획 및 분석방법에 대한 연구나, 심리적 요인과 보행 공간의 물리적 특성의 상관관계 분석 연구, 행태연구 등이 있다. 이들 연구는 보행환경 요소들을 규명하고 보행환경을 분석 및 평가하여 결론을 도출하고 있으며, 대부분 중심상업지의 가로환경을 대상으로 연구하는 사례가 많다(송대호, 2000; 윤중국, 2002.) 또한, 주거지 보행환경을 다루고 있지만, 일반적인 주거지가 아닌 관광지와 같이 특수한 활용도를 가진 지역을 선택하여 경관요소를 중심으로 연구하는 경우나(은민균, 2002), 통학로 개선(노현숙, 2004)이나 골목길 커뮤니티 공간화(하재명, 2005)등 주민들의 보편적인 보행환경과 그 요소를 연구하기 보다 특정한 대상이나 목적을 연구에 두고 진행되었다.

## 2.3 보행네트워크 관련 연구

보행통행량을 예측하는 기법으로서 보행네트워크 분야에 대한 연구가 진행되었다. 한상진 외(2008)는 Dial 알고리즘을 활용하여 연결도 개념을 도입한 보행량 예측 기법을 개발하였다. 임현식과 김영옥(2003)은 공간 구문론을 이용하여 대상지의 공간구조적 특성과 보행특성분석을 토대로 보행네트워크의 변화를 예측하는 기법을 제시하였다. 이종언 외(2008)은 상업가로에서 보행자에게 실시간으로 경로정보를 제공하여 보행이동으로 보조할 수 있는 방법을 개발하였다. 한편 Mitchell and Smith(2001)은 보행네트워크를 최적화 하는 모형을 개발하였으며 각 보행네트워크에서 보행량을 최적화하는 방안을 모형을 통해 제시하였다.

## 2.4 미시적 보행시뮬레이션 모형 연구

Gipps과 Marksjo(1985)가 제안한 미시적 보행 시뮬레이션 모형은 분석대상지역을 셀로 구분하여 보행자가 한 사람씩 점유하도록 하고, 주변 보행자에 근접도와 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 타보행자들과의 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 사회 힘모형(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 반발 힘으로 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, 밀도분포 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 보행방향을 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.



### 2.5 SimWalk 프로그램의 기본 보행자 알고리즘

SimWalk의 기본적인 보행자 알고리즘은 potential field model approach를 사용하고 있으며 보행자의 보행 방향과 속도는 2.4에서 말한 Helbing의 사회 힘 모형과 비슷한 세 가지 힘에 의존한다.

그 첫 번째 힘은 potential field를 이용한 방법으로 보행자를 그들의 목적지로 이끄는 힘이고, 두 번째 힘은 보행자간에 상호작용으로, 다른 보행자와 부딪히지 않도록 하고 서로 간에 일정간격을 유지해 주는 힘이다. 마지막으로 세 번째는 벽과의 간격을 유지해 부딪치지 않도록 하는 힘이다.

## 3. 보행 시뮬레이션 구축

### 3.1 현장조사

본 연구를 위한 조사는 2009년 12월 21(월)~23일(수)까지 3일간의 조사를 수행하였으며, 강남역 7번출구 앞 보행로를 대상으로 현장조사를 실시하였다. 이때 보행특성을 관찰하기 위하여 보행자가 집중될 것으로 예상되는 강남역구간을 연구대상지로 설정하였으며, 12월 연말을 조사 일시로 선정하였다.

#### 3.1.1 조사내용

조사내용으로는 횡단구성 및 폭원, 장애물, 버스정류장 유무, 펜스 등에 대하여 조사를 하였고, 설문조사 내용으로는 성별, 연령대, 보행목적, 응답자 동행유무에 대하여 조사를 수행하였다.

표 1. 현장조사 내용 및 결과

조사 내용	조사 결과	비고
횡단구성 및 폭원	차도-시설물-보도로 구성 폭 2.4m	-
장애물 여부	블라드 설치	차량 진입을 막기 위한 블라드 설치
버스정류장 유무	가로변 버스정류장 있음	
펜스 유무	펜스있음	차량과 분리를 위한 펜스
유출입 시설	상가 및 교차로	각종 상가 많음

연구대상지인 강남역 7번출구 앞 보도의 경우 남자가 여성보다 다소 많은 비율을 보였으며 학원, 쇼핑 등이 다른 업무지구보다 많이 밀집되어 보행자의 경우 20~30대의 비율이 높은 것으로 나타났다. 또한 업무통행 외에 위락통행과 학교, 학원통행의 비율이 많은 것으로 분석되었다.

보행로에 대한 서비스수준을 설정하고 보행용량을 산정하기 위하여 보행교통의 3요소(보행밀도, 보행속도, 보행량)를 측정하여 이 요소들의 상관관계를 파악해야 한다. 그리고 본 연구에서는 보행교통류를 교통류에 적용하는 유체역학 이론을 적용하고자 하므로 밀도를 주변수로 하여 밀도변화에 따른 보행속도와 보행교통류의 변화를 관찰하였다.

위와 같은 보행교통의 3요소를 측정하기 위하여 보행현장을 실측하였고 이때 비디오 촬영을 실시하였다. 비디오 촬영을 시도한 이유는 조사원의 현장조사 시 발생하는 오류를 방지하고 같은 화면을 여러번 되풀이하여 볼 수 있으므로 자료수집에 좀 더 정확성을 기할 수 있기 때문이다. 이때 촬영거리가 가까울 경우 화면이 원추형 모양이 되기 쉬운 단점이 있으므로 D에 기인한 오차를 줄이기 위해 비디오 카메라에 가까운 지점의 거리와 먼 지점의 거리를 측정하여 이를 밀도 및 속도 측정에 반영하였다.

### 3.2 비디오 촬영을 통한 대상지 특성분석

보행로에 대한 서비스수준을 설정하고 보행용량을 산정하기 위하여 보행교통의 3요소(보행밀도, 보행속도, 보행량)를 측정하여 이 요소들의 상관관계를 파악해야 한다. 그리고 본 연구에서는 보행교통류를 교통류에 적용하는 유체역학 이론을 적용하고자 하므로 밀도를 주변수로 하여 밀도변화에 따른 보행속도와 보행교통류의 변화를 관찰하였다.

위와 같은 보행교통의 3요소를 측정하기 위하여 보행현장을 실측하였고 이때 비디오 촬영을 실시하였다. 비디오 촬영을 시도한 이유는 조사원의 현장조사 시 발생하는 오류를 방지하고 같은 화면을 여러번 되풀이하여 볼 수 있으므로 자료수집에 좀 더 정확성을 기할수 있기 때문이다. 이때 촬영거리가 가까울 경우 화면이 원추형 모양이 되기 쉬운 단점이 있으므로 D이에 기인한 오차를 줄이기 위해 비디오 카메라에 가까운 지점의 거리와 먼 지점의 거리를 측정하여 이를 밀도 및 속도 측정에 반영하였다.

### 3.2.1 보행밀도

보행밀도는 어느 일정 시점에서 단위 면적에 있는 보행자수이다. 그러므로 보행밀도를 정확히 측정하려면 아주 짧은 시간마다 VTR화면을 멈추고 화면에 있는 사람 수를 세어야 하나, 그렇게 할 경우 관측시간이 짧게 되어 보행속도와 보행흐름계수 관측과정에서 측정오차가 많이 발생하기 때문에 본 연구에서는 10초마다 화면을 정지시키고 화면상의 보행자수를 관측하였다. 이 관측치는 관측단위 시간인 10초 동안의 평균보행밀도가 아니므로 이렇게 관측한 보행자수와 10초전의 보행자수를 평균한 값을 해당 10초 동안의 평균 보행자수로 간주하고 면적으로 나누어 보행밀도를 산출하였다.

### 3.2.2 보행속도

단위시간동안 보행자들이 이동한 거리인 보행속도는 VTR화면의 분석단위인 10초 동안에 전 보행자의 보행속도를 측정해야 한다. 따라서 VTR화면에 비치는 일정 거리를 통과하는 시간을 측정하여 속도를 산출하여야 한다. 그러나 VTR화면상에 면적이 작아 속도를 측정할 수 있는 거리가 작기 때문에 정확한 보행속도를 측정할 수가 없다. 더구나 10초 동안에 많은 보행자의 속도를 모두 측정한다는 것은 불가능한 일이다. 따라서 본 연구에서는 보행속도가 비정상적일 수밖에 없는 보행자인 짐을 들고 있거나 신체적으로 불편한 보행자를 제외한 나머지 보행자들 중 2인식을 임의로 추출하여 현장에서 Stopwatch로 속도를 측정하였다.

### 3.2.3 보행교통류

단위 폭을 단위시간동안 통과하는 흐름계수를 보행밀도와 보행속도 측정단위인 10초 동안에 VTR화면에서 측정하기 위하여 보도와 수직으로 선을 긋고 10초 동안 이 선을 통과하는 보행자수를 관측하고 이 관측치를 1분 동안 1m폭을 통과한 보행자수로 환산하여 보행밀도와 보행속도에 따른 보행교통류를 측정하였다.

### 3.2.4 대상지의 보행교통의 보행밀도-교통량 분포

이렇게 VTC조사 자료를 통하여 대상지의 보행밀도 교통량 분포를 나타내었다. 대상지의 보행관계식은  $q = 19.96k^2 + 73.31k$ ,  $u = 19.96k + 79.31$ 으로 나타났으며, 대상지의 자유속도는 79.31m/분, 임계속도는 39.66m/분, 한계밀도는 3.97인/m<sup>2</sup>, 임계밀도는 1.98인/m<sup>2</sup>, 보행용량은 79인/m·분으로 분석되었다.

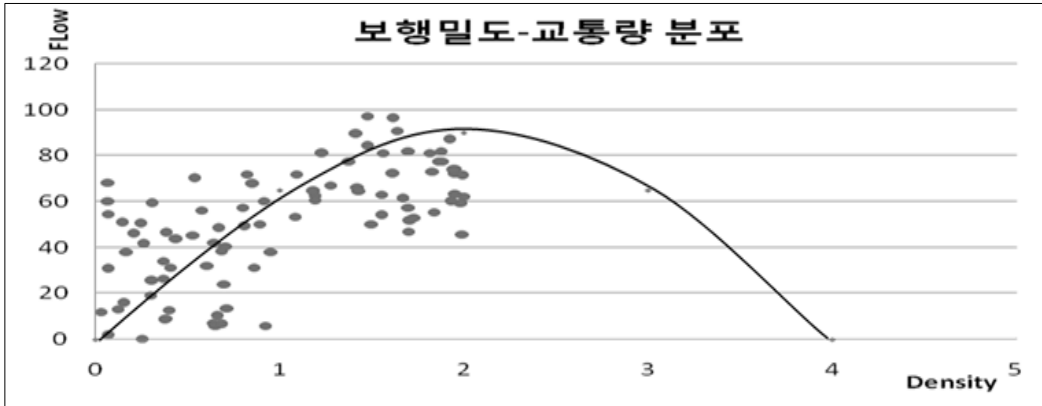


그림 1. 보행밀도 교통량 분포

이는 자유 속도가 1.32m/초이며, 임계속도는 0.66m/초로 대상지의 보행량이 많기 때문에 도로교통 안전공단에서 실시한 보행속도조사에 의한 평균보행속도인 1.26m/초보다 다소 낮은 수치로 나타났으며, 1m<sup>2</sup>당 2인 정도의 밀도로 보행할 때 단위 폭, 단위 시간당 가장 많은 보행자가 통과할 수 있고 이때의 보행속도는 39.66m/분이며 1m의 폭을 79명이 통과할 수 있다는 것을 의미한다.

표 2. 대상지 보행교통의 보행밀도-교통량 추정 결과

$$q = 19.96k^2 + 73.31k, u = 19.96k + 79.31$$

자유속도	임계속도	한계밀도	임계밀도	보행용량
79.31m/분	39.66m/분	3.97인/m <sup>2</sup>	1.98인/m <sup>2</sup>	79인/m·분

### 3.3 보행시물레이션 구축

#### 3.3.1 유효보도폭 산정

일반적으로 보행자의 보행에 유효하게 사용되어지는 보도의 폭을 말하는 것으로 보도상의 가로등, 신문가판대, 블라드 등의 물리적 장애물에 의한 보도 감소폭을 제외한 보도 폭이다.

일반적으로 『도시관리계획 수립지침』(건설교통부, 2004)에서는 표 3과 같이 노상 시설별 장애 정도를 제시하고 있다.

표 3. 노상 시설별 장애 정도

노상시설	장애 정도(m)	노상시설	장애 정도(m)
가로등	0.8 ~ 1.0	휴지통	0.9
교통신호등 지주	0.9 ~ 1.2	지하철 환기구	0.8
교통안전표지판	0.6 ~ 1.8	가로수	0.9 ~ 1.2
우체통	1.0 ~ 1.1	가로수 보호지주	1.5
공중전화박스	1.2	신문가판대	1.2 ~ 2.0

주) 건설교통부, 『도시관리계획 수립지침』, 2004.

#### 3.3.2 O/D 산출

일반적으로 관측교통량만을 이용한 O/D추정은 과소설정문제로 인해 유일한 해를 선정하기가 어렵다. 또한 관측교통량은 상이한 관측시간으로 인한 변동(Variation)과 관측오차가 존재한다. 과소설정문제를 해결하기 위해 추가정보를 이용하거나 중력모형 또는 엔트로피 극대화 모형과 같이 모형의 구조를 제약하는 기법을 이용하게 되는데 본 연구에서는 대상지의 보행O/D를 산출하기 위하여 유출입시설 현장조사를 통한 기종점

통행비율을 산출하였고 이때 보행량-밀도 관계식을 이용하여 O/D의 총량을 추가정보로 이용하여 제약식에 의한 O/D를 산출하였다.

### 3.3.3 파라미터 정산

Simwalk의 파라미터를 정산하기 위하여 현장조사를 통한 보도폭, 넓이, 유출입 시설을 확인하였으며 각각 파라미터에 대한 조정작업을 수행하였다. 이에 앞서 Simwalk 파라미터 조정범위를 기존의 각종 조사 자료 및 연구보고서를 참고하여 설정하였다.

표 4. Simwalk 파라미터 조정범위 설정

구분	조정범위	근거
Cell Size	0.5m	한국표준과학연구소 조사자료
Interaction Range	1.2~3.6m	Fruin 전개서 참고
Speed	평균 : 0.94~1.62m/s 남자 : 1.3m/s 여자 : 1.21m/s	도로교통안전협회 조사자료
Agent Radius	0.2m <sup>2</sup>	한국표준과학연구소 조사자료
Time Step	0.5~1.0	Simwalk 매뉴얼
Pressure Factor	0~1.2	Simwalk 매뉴얼

본 분석에서는 위와 같은 파라미터 조정범위를 설정한 후 파라미터 정산을 수행하였다. 보통 Cell Size의 경우 컴퓨터 메모리와 관련되며, Interaction Range의 경우 보행자가 진행방향 사물을 인식하고 피하기 시작하는 거리를 의미한다. 따라서 본 분석에서는 Fruin 전개서를 참고하여 2.5m의 값을 사용하였다. 또한 속도의 경우 『도로교통안전협회 조사자료』와 현장조사 자료를 참고하여 1.26m/s를 적용하였는데 이는 남/여 평균속도와 현장조사 자료를 토대로 가중 평균한 값을 의미한다.



그림 2. 파라미터(Speed) 설정

또한 Agent radius의 경우 0.2m<sup>2</sup>을 사용하였는데 이는 한국표준과학연구원 인체타원 0.13m<sup>2</sup>이며 여기에 옷의 두께나 사람과 사람사이의 최소공간을 감안하여 여유 폭을 더해주어도 0.2m<sup>2</sup>을 넘지 않는 것에 비해, 미국의 표준 인체타원은 0.3m<sup>2</sup>이다. 이는 우리나라가 미국에 비해 적은 공간영역을 필요로 하기 때문에 미국보다 높게 산정 되었다고 판단된다.

## 4. 보행시뮬레이션 결과 및 활용방안

### 4.1 보행시뮬레이션 결과

보행시뮬레이션을 수행한 결과 전반적인 LOS는 E로 분석되었으며, 각 부분의 시뮬레이션 결과로는 버스



정류장 승객하차시 버스정류장에서 생성되는 보행 군에 의하여 혼잡이 가중되어 LOS D로 분석되었고, 버스정류장 승객 승차 시에는 버스 대기 승객에 의한 보도점용으로 대기승객과 이동 보행자간의 상충현상이 발생하여 LOS E로 분석되었다. 또한 블라드 설치로 인하여 블라드, 보행자간 충돌로 인하여 LOS E로 분석되었다.

## 4.2 보행시물레이션 활용방안

### 4.2.1 현행 문제점 파악 및 개선방안 도출

보행시물레이션을 수행하고, 대상지의 현장조사를 통하여 현행 보행로의 문제점을 파악 하고 그에 따른 개선방안을 선정해 보았다.

우선 좁은 보도 폭의 문제이다. 상가, 가관대, 버스정류장, 블라드 등에 의한 유효 보도폭 감소로 인하여 보행자들이 안전하고 쾌적하게 이동할 수 보도의 폭이 좁아 보행자간 상충현상이 더욱 심해진다. 따라서 본 분석의 시설개량 방안으로 보도 폭을 차로당 0.1m씩을 활용하여 보도 폭을 2.4m에서 2.8m로 확대해 보았다.

다음으로 버스 승하차 승객에 의한 물리적 상충현상이 발생한다. 버스 승차를 위한 승객의 대기 공간 부족과 보도와 횡단방향으로 줄을 서는 현상에 의하여 보도의 보행자와 대기승객간의 상충현상이 빈번히 발생하고 있다. 특히 보행자가 많은 출퇴근 시간, 저녁시간 등에는 상충현상이 더욱 많아지는 것으로 분석되었다. 따라서 본 분석의 두 번째 시설개량 방안으로 버스 대기공간을 노면마크 형식으로 조성해주어 보도의 이동 보행자와 대기승객의 상충현상을 분리하고자 한다.

마지막으로 많은 블라드 설치로 인하여 보행자간 충돌현상이 발생하는 것을 들 수 있다. 보통 블라드의 경우 보행로에 차량이 진입하는 것을 방지하기 위한 보행시물물로 차량진입만을 제어할 수 있는 블라드의 개수가 필요한 것으로 판단되나 대상지의 경우 차량진입을 억제하기 위한 블라드 뿐만 아니라 다수의 블라드가 설치되어 있어 보행자간의 상충현상을 야기시키는 것으로 분석되었다. 이에 따라 시설개량 방안으로 블라드 개수를 줄여 블라드에 의한 보행 불편현상을 해소하고자 한다.

### 4.2.2 개선방안 시물레이션 수행결과

대상지의 문제점 파악을 통하여 개선방안의 보행시물레이션을 수행한 결과 전반적인 LOS는 D로 분석되었으며, 각 세부적인 부분들의 시물레이션 결과로는 버스정류장 승객하차시 버스정류장에서 생성되는 보행군에 의하여 LOS D로 분석되었고, 버스정류장 승객승차시에는 버스 대기 승객에 의한 보도점용을 막기위한 버스 대기 공간 노면마크 표지로 인하여 대기승객과 이동 보행자간의 상충현상을 감소시켜 LOS D로 분석되었다. 또한 적정 블라드의 설치로 인하여 블라드, 보행자간 충돌을 다소 감소시켜 LOS D로 분석되었다.

## 4.3 대상지 분석결과 비교

대상지 현황의 네트워크와 O/D를 구축하여 Simwalk로 시물레이션 한 결과와 대상지의 문제점 파악을 통하여 개선방안의 보행시물레이션을 수행한 결과를 비교해보면 전반적인 LOS는 E에서 개선방안의 LOS D로 분석되었다.

각 구역별 분석결과를 살펴보면 버스정류장 구역의 현황네트워크는 Duration이 718s, 평균속도가 0.76%로 나타났으며, 개량네트워크의 경우 Duration이 632s, 평균속도가 1.14%로 나타났다. 이는 버스정류장 대기 승객을 노면마크를 이용하여 이동 보행자와 상충현상을 분리하여 86초의 지체가 감소하였으며, 0.38%의 속도가 평균적으로 증가한 것으로 분석되었다. 또한 차량진입 억제를 위한 최소한의 블라드만을 남겨두었을 경우 Duration이 618s, 평균속도가 0.94%에서 Duration이 561s, 평균속도가 1.09m/s로 나타나 블라드 남용을 억제하면서 보행서비스 수준을 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

또한, 보도 폭을 2.4m에서 2.8m로 0.4m증가 시킨 후 효과분석을 위하여 주변 장애물이 없는 도로 중앙의 Duration과 평균속도를 분석해 본 결과, 현황네트워크는 Duration이 415s, 평균속도가 1.17%로 나타났으며, 개량네트워크의 경우 Duration이 328s, 평균속도가 1.22%로 나타났다.

표 5. 대상지 네트워크 개선 전·후 결과 비교

구분	척도	개선 전	개선 후
버스정류장 노면마크 유무	Duration	718초	632초
	평균속도	0.76m/s	1.14m/s
	LOS	D~E	D
블라드 개수 조절	Duration	618초	561초
	평균속도	0.94m/s	1.09m/s
	LOS	E	D
보도 폭 개선	Duration	415초	328초
	평균속도	1.17m/s	1.22m/s
	LOS	D	D

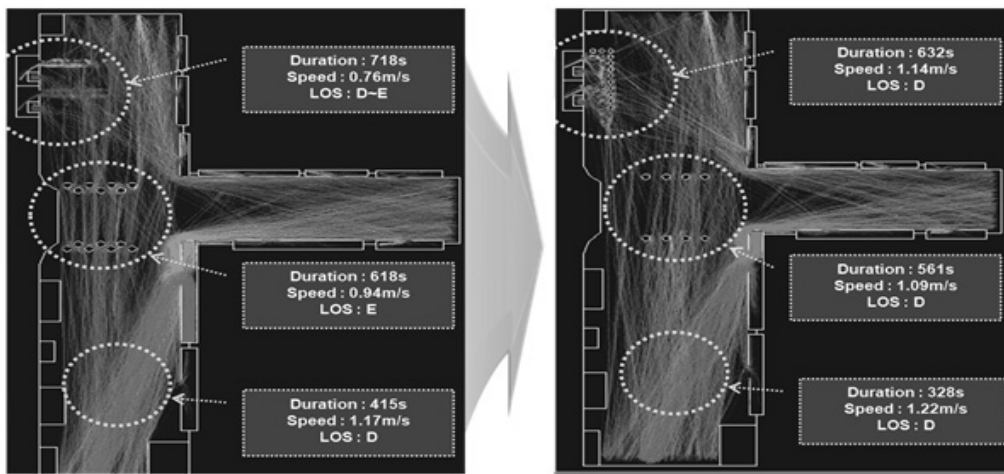


그림 3. 대상지 분석결과 비교

## 6. 결론 및 향후과제

본 분석에서는 보행로 현장조사를 통하여 사례지역 시설물 현황을 조사하여 보행 네트워크를 구축하고, 조사된 자료를 토대로 도출된 보행량-밀도 관계식과 유출입 통행량 비율을 이용하여 보행O/D를 구축하였다.

이에 따라 『한국표준과학연구원 조사자료』, 『Fruin 전개서』, 『도로교통안전협회 조사 자료』 및 현장 조사 자료를 이용하여 SimWalk 파라미터 조정을 수행하여 보행자의 행동과정을 반영할 수 있는 Simwalk 시뮬레이션을 구축하였다.

현황 정산 된 네트워크를 통하여 각 보행로의 시설물, 보행현황에 따른 LOS 분석을 수행하였고, 구축된 시뮬레이션을 토대로 현황 보행로의 문제점을 도출하고 이에 따른 개선방안을 정립하고 개선방안에 따른 Simwalk 분석을 토대로 개선 보행로의 LOS 분석을 수행하였다.

이와 같은 미시적 보행시뮬레이션의 구축과 결과 분석을 통하여 단순히 보행공간의 용량분석에 제한되지 않고, 새로운 보행시설 또는 보행정책의 도입 효과 등의 다양하고 미세한 보행 공간 변화의 효과분석을 가능하게 할 수 있을 것이며, 또한 보행환경 변화에 따른 민감도 분석이 가능할 것이다.

또한 보행과 관련한 정책의 투자에 대한 효과분석 및 예측을 가능하게 함으로써 투자비 절감을 기대할 수 있을 것이며, 각 행위에 대한 세밀한 현장 자료의 수집과 이를 이용한 시뮬레이션의 반복, 규칙의 수정 (Calibration) 과정을 통하여 보행정책 효과예측의 설명력을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- [1] 건설교통부, 『도시관리계획 수립지침』, 2004.
- [2] 구석모(2007), CA모형을 이용한 환승계단의 보행자 행태모형 구축 및 평가, 서울시립대 석사학위논문
- [3] 김정현, 오영태, 손영태, 박우신(2002), 보행자 시설 서비스 수준 산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제20권 제1호
- [4] 대한교통학회, 『도로용량편람』, 대한교통학회, 2001.
- [5] 박동주(1993), 보행목적에 따른 보행교통류 특성에 관한 연구, 서울대 석사학위논문
- [6] 임현식, 김역욱(2003), Space Syntax를 활용한 보행네트워크 분석에 관한 기초연구, 대한건축학회 춘계 학술발표대회 논문집, 제23권 1호
- [7] 장현호(2002), CA모형을 이용한 대규모 가로망 구간통행시간 예측에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문
- [8] 한상진, 김역욱, 오순미(2008), 연결도를 이용한 보행네트워크와 보행통행량의 상호관련성 연구, 대한교통학회지, 제26권 제1호
- [9] Fruin, J. (1971), "Designing for Pedestrians: A Level of Service Concept", Highway Research Record 355, pp.1~.15.
- [10] Gipps, P.G. and Marksjo, B. (1985) "A Micro-Simulation Model for Pedestrian Flows", Mathematics and Computer in Simulation 27, pp.95~.105.
- [11] Helbing, D and Molnar, P (1995), "Social force model for pedestrian dynamics", Physical Review E, pp.4282~.4286.
- [12] Helbing, D. (1992), "A Fluid-dynamic Model for the Movement of Pedestrians", Complex Systems 6, pp.391~.415.
- [13] Okazaki, S (1979), "A Study of Pedestrian Movement in Architectura Space, Part 1: Pedestrain Movement by the Application on of Magnetic Models", Trans. of A.I.J., No.281, pp.111~119.
- [14] Teknomo, K (2006) "Application of Microscopic Pedestrian Simulation Model", Transportation Research Part F, pp.15~.27.
- [15] Teknomo, K and Takeyama, Y. and Inamura, H, (2000) "Review on Microscopic Pedestrian Simulation Model", Proceeding Japan Society of Civil Engineering Conference, Morika, Japan.
- [16] 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.
- [17] TRB, 『Highway Capacity Manual』, 2000.