

보행자 회피모형 개발 및 적용에 관한 연구

하성준* · 이영인**

Development of Model for Collision Avoidance Behavior of Pedestrians

Sung June Ha* · Young In Lee**

요약 : 보행은 모든 통행을 위한 가장 기본이 되는 교통수단임에도 불구하고 국내에서는 차량 교통 관련 연구에 비해 보행 교통 관련 연구가 미미한 편이다. 최근 녹색교통, 지속가능 교통에 대한 관심이 커지면서 보행 관련 연구에 대한 관심이 증가하고 있다. 현재 국내 대부분의 보행 관련 연구는 보행자들의 평균 속도, 밀도 등 거시적인 측면에서의 연구가 대부분이다. 하지만 거시적인 측면에서의 접근은 보행자 개개인의 다양한 보행행태에 대해 설명하기 힘들기 때문에 점차 개별 행태를 반영하는 미시적 보행에 관한 연구가 증가하고 있다. 본 연구에서는 보행자 행태에 대한 연구를 통하여 미시적 보행행태 중 보행자의 방향선택(회피) 모형 개발을 수행하였다. 모형 개발을 위해 보행자의 이동가능한 방향을 Cone의 형태로 정의하고, 보행자의 신체영역, 인지영역, 회피영역을 정의하였다. 또한 보행자의 방향선택 행태(회피행태)는 보행자의 보행상황에 따라 혼잡 시와 비혼잡 시로 구분하여 모형화하였으며, 보행자의 성향에 따라 성격이 급한 사람의 회피행태와 성격이 급하지 않은 사람의 보행행태로 구분하였다. 본 연구에서 개발한 회피 모형의 시뮬레이션을 구현하기 위하여, 현재 Microsoft사의 C++ 기반으로 개발된 P-Sim 프로그램을 이용하였다. 개발된 모형의 검증은 위하여 실험조사와 현장조사를 수행하여 모형을 검증하였다.

주제어 : 보행, 미시적 보행모형, 방향선택, 회피

ABSTRACT : It is recognized that pedestrian system studies are less important and invested than the studies of vehicle transportation in Korea. Although the system of pedestrians walking is one of the most fundamental transportation. However, nowadays, many people are recognized the importance of Green and Sustainable transportation and it leads to increase concern for the studies which is related to pedestrians and walking. Most the pedestrians studies are mainly focused on the average of speed and density of pedestrians which is based on macroscopic aspect. But the studies are difficult to explain each individual various form of walking. As a result, it is gradually increased study of microscopic walking which is reflected each individual walking forms. In this study, it is developed the avoidance model of pedestrians among the microscopic walking forms. We define a number of concepts and it needs to develop the models such as concept of Cone indicates the possible avoidance area of walkers, physical area, perception area and avoidance area of pedestrians. There is a modeling that the avoidance form of pedestrians is divided by when the walking condition is congested and not. Also, the model involves the avoidance form of walkers which is categorized

* 서울대학교 환경대학원 석사과정(Master's Course, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University),
교신저자(E-mail: ssamsonn@nate.com, Tel: 010-9766-4635)

** 서울대학교 환경대학원 교수(Professor, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University)

as urgent and non-urgent pedestrian. In this study, the avoidance models are not only simulated by using P-Sim (the program is based on C++) but the developed model is also verified through field survey and experimental research.

Key Words : Pedestrian Behavior, Microscopic Pedestrian Model, Avoidance

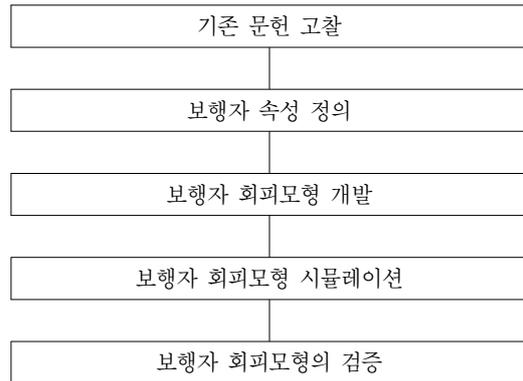
I. 서론

보행은 모든 통행을 위한 가장 기본이 되는 교통수단임에도 불구하고 국내에서는 차량 교통 관련 연구에 비해 보행 교통 관련 연구가 미미한편이다.

최근 녹색교통, 지속가능 교통에 대한 관심이 커지면서 보행 관련 연구에 대한 관심이 증가하고 있다. 현재 국내 대부분의 보행 관련 연구는 보행자들의 평균속도, 밀도 등의 거시적인 측면에 관한 연구가 대부분이다. 하지만 거시적인 관점의 접근은 보행자 개개인의 다양한 보행행태에 대해 설명하기 힘들며, 보행자 시설 설치 여부 등의 미세한 분석이 요구되는 경우에 한계점을 갖게 된다. 이에 따라, 점차 국외 및 국내에서 미시적 측면에서의 보행자 개별행태에 대한 관심이 증가하고 있다. 하지만 차선과 신호 등으로 통제 가능한 차량과는 달리 통행경로도 일정하지 않고, 보행자마다 다른 개별행태를 보이기 때문에 보행자 행태를 설명하는 것은 쉽지 않다.

본 연구에서는 관련 문헌과 기존 보행자 시뮬레이션 프로그램의 기본 개념을 이용하여, 보행자 행태 중 중요한 부분인 보행자 회피에 관한 연구 및 모형 개발을 수행하였다. 회피란 보행자가 보행시 고정 혹은 유동 장애물을 인식하여, 충돌을 피하기 위하여 진행방향을 변경하는 것을 의미한다. 즉 장애물을 어떻게 회피하는지가 가장 중요한 요인이다. 본 연구에서 보행자 회피모형은 개

개인의 속도와 성향을 고려하여 보행공간, 인지공간, 회피영역을 정의하여, 이를 바탕으로 미시적 보행자 회피행태 모형을 개발하는 데 연구의 목적이 있다. 본 연구를 통해 개발된 보행자 회피모형은 보행자 시설에서 보행 교통류의 특성을 분석하는 데 활용될 수 있을 것이다.



〈그림 1〉 연구 수행 과정

II. 선행연구 고찰

1. 해외 연구

Antonini et al.(2006)의 연구에서는 보행자가 장애물이나 타 보행자를 회피할 때 선택할 수 있는 회피영역을 보행자의 속도와 회피각을 고려하여 33개의 공간으로 구분하였다. 시야각은 Costella (1992)의 연구에서 제시한 170°를 사용하고 11개의 Radian Cone을 생성하였다. 또한 보행자에 따

라 보행자 회피행태를 속도를 고려하여, 속도를 유지하는 경우, 감속하는 경우, 가속하는 경우, 앞 사람을 따라가는 경우로 구분하였다.

Okasaki(1979)의 연구에서는 보행자의 이동행태를 자기장의 개념을 도입하여 설명하였다. 보행자간, 기타 시설물 등은 양의 극을 갖고 보행자의 목적지 또는 경유 시설은 음의 극을 갖게 하여 충돌 회피와 이동을 묘사하였다.

Helbing(1992)의 연구에서는 보행자가 목적지까지 정해진 시간 안에 도착하려는 동기에 의하여 움직인다고 가정하고 목적지까지의 남은 시간이나 거리, 타 보행자나 보행 시설물에 따라 보행자의 속도가 결정된다고 정의한 Social Force 개념을 도입하였다. 현재 VISSIM에서 보행자 알고리즘으로 이용되고 있다.

Teknomo(2002)는 보행자의 보행행태를 앞으로 나아가려는 힘(Forward Force), 다른 보행자를 피해서 최적의 동선으로 이동하려는 힘(Repulse Away), 보행자들의 충돌을 피하기 위해 작용하는 힘(Avoid Collision), 이 세 가지 힘을 가지고 설명하였다. 현재 Micro-PedSim에서 보행자 이동 기본 알고리즘으로 이용되고 있다.

Gipps and Marksjo(1985)는 분석 대상지를 셀로 구분하여 보행자가 한 사람씩 점유하도록 하고, 주변 보행자에 근접정도 및 반발정도에 따라 점수를 매겨 점수가 클수록 목적지에 근접하도록 시뮬레이션을 하였다.

2. 국내 연구

보행자에 관한 국내의 연구들은 대부분 거시적인 기준으로 연구되어, 한 시간 동안 지점을 통과한 보행자 수, 속도, 밀도 등의 척도에 대한 조사와 분석이 주로 이루어졌다. 이러한 연구를 통하여

한국도로용량편람(KHCM)의 서비스 수준(LOS)을 도출하였다.

이중호(2008)의 연구에서는 보행자 행태에 미치는 보행자 주변 환경요소에 대한 고려가 중요한 이슈가 되고 있으며, 거시적인 관점에서의 연구는 보행에 미치는 다양한 요소들의 상호작용을 고려하지 못한다는 점을 지적하고 있다. 따라서 다양한 요소에 의해 영향을 받는 보행자의 움직임을 설명하기 위해 다양한 요소들을 동시에 고려할 수 있는 행위자 기반 모형을 하나의 대안으로 제시하고 있다.

손영태 외(2004)의 연구에서는 CA(Cellular Automata) 모형, 즉 공간영역을 격자형 구조의 셀로 구분한 후, 각 단위 셀 사이의 상호작용을 규칙화하여 시뮬레이션을 하였다. 이때 상호작용하는 규칙은 세 가지로 정의하였는데, 첫 번째는 이동공간인 셀 사이의 점유상태, 두 번째는 주변 셀들 사이에 미치는 영향, 세 번째는 셀들의 이동을 셀의 이동방향과 규칙에 의해 설명하고 있다.

3. 기존 연구와의 차별성

보행 분야의 연구 동향을 살펴보면 미시적인 측면에서의 연구가 점점 많아지는 것을 알 수 있다. 이는 보행자들은 보행자 개개인마다 개별적인 특성을 가지며, 보행장소, 보행시간, 시설물 등의 다양한 요소에 의해 영향을 받기 때문이다. 또한 실제 보행공간에서도 각 보행자의 행동이 모여 전체 보행패턴을 구성하고 있다. 따라서 개별 보행자의 실제와 같은 묘사를 위해서는 개별 보행자의 다양한 행동패턴을 반영할 수 있도록 미시적인 관점에서 보행자 모형에 대한 연구를 하는 것이 적합하다고 판단된다.

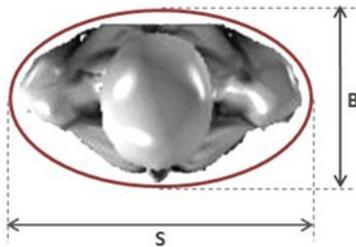
Ⅲ. 보행자 회피모형의 개발

본 연구에서는 보행자의 속성을 정의하고, 보행 상황을 혼잡 시와 비혼잡 시로 구분하여 모형화하였으며, 보행자의 성향에 따라 회피대상이 있을 경우 성격이 급한 사람의 회피행태와 성격이 급하지 않은 사람의 보행행태로 구분하였다.

1. 보행자 속성 정의

1) 신체영역의 정의

보행자의 미시적 보행행태를 표현하기 위해서는 보행자의 물리적 영역(신체영역)에 대한 정의가 필요한데 본 연구에서는 KHCM에서 제시한 한국인 표준 체형을 적용하였다.



〈그림 2〉 보행자 신체영역

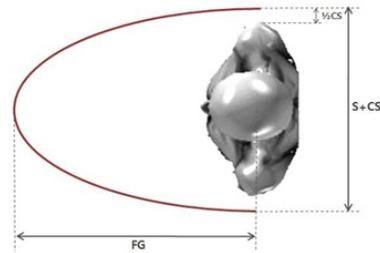
$$\frac{(x-a)^2}{S^2} + \frac{(y-b)^2}{B^2} = 1 \quad \text{식 (1)}$$

a, b : 보행자 중심좌표
 S : 보행자 어깨폭
 B : 보행자 가슴폭

2) 인지영역의 정의

보행자의 인지영역은 보행자가 보행시 주변 장애물이나 타 보행자를 피해 방향을 바꾸거나 잠시 멈추는 등 판단의 기준이 되는 영역이다. 본 연구에서 인지영역은 이용미(2009)의 연구를 참고하

였다. 이용미(2009)는 Fruin(1971)의 연구를 참고하여 전방여유폭(FC, Foward Gap)의 개념을 도입하였으며, 이는 보행자의 속도 성향, 성별에 따른 함수를 통해 산출하였다. 보행자의 위치와 신체 크기에 따라 포물선 형태로 표현하고 있다.



〈그림 3〉 보행자 인지영역

$$y = -\delta(x-a)^2 + FG = \beta \quad \text{식 (2)}$$

$$\delta = \frac{FG}{(S+CS)^2} \quad \text{식 (3)}$$

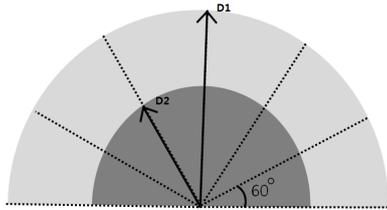
a, β : 보행자 중심좌표
 S : 보행자 어깨폭
 B : 보행자 가슴폭
 FG : 보행자 전방여유폭
 CS : 보행자 측방여유폭

3) 회피영역의 정의

회피영역은 보행자가 장애물 및 다른 보행자를 회피하는 공간이라고 정의하였다. 인지영역이 회피 여부를 판단하는 기준이 되는 영역이라면, 회피영역은 이 영역 안에 타 보행자나 장애물이 존재할 때 보행자가 반드시 회피를 하는 영역을 의미한다.

회피영역은 이용미(2009)의 연구를 인용하여, 보행자 회피영역은 보행자의 속도와 성향의 함수로 설명하였으며, 시야각은 180° 반원으로 적용하였다. 이 반원을 신체영역을 고려하여 보행자 6개의 Cone(중심각 30°)으로 구분하였다. 따라서 〈그림 4〉와 같이 보행자의 속도와 보행자의 성향에 따라 달라지게 된다. 이는 성격이 급한 사람은

보다 장애물이 멀리 있어도 회피를 결정하기 때문에 성격이 급한 사람이 그렇지 않은 사람보다 회피 영역이 더 크다는 것을 알 수 있다.



〈그림 4〉 보행자 회피영역

$$D1 = FG \times vn \quad \text{식 (4)}$$

$$D2 = vn \quad \text{식 (5)}$$

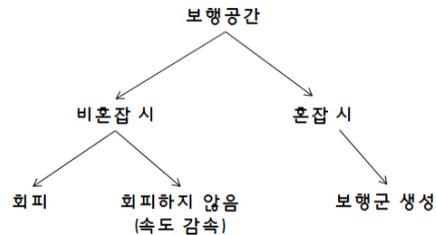
- D1 : 성격이 급한 사람의 회피영역 반경
- D2 : 성격이 급하지 않은 사람의 회피영역 반경
- vn : n번째 보행자의 속도
- FG : 보행자의 전방여유폭

2. 보행자 회피모형 개발

본 연구는 회피행태 모형 개발을 위해서, 보행 공간에 따른 보행행태를 〈그림 5〉와 같이 구분하였다. 보행공간은 보행공간의 밀도가 높아서 보행자의 의지대로 보행행태를 결정할 수 없는 혼잡시와 비혼잡시로 구분하였다. 보행자의 회피행태는 세 가지로 구분하였다. 첫 번째는 정상 시 보행자가 회피를 하는 경우, 두 번째는 정상 시 보행자가 회피를 하지 않는 경우, 세 번째는 혼잡 시 보행자의 회피행태로 구분하였다. 비혼잡 시 회피 유무의 판단은 보행자의 성향과 관련이 있다.

충돌이 예상되는 경우, 보행자의 회피 행태는 속도를 높여 추월 혹은 회피를 하는 보행자, 속도를 줄이고 앞사람을 따라가는 보행자로 구분된다. 본 연구에서는 성격이 급한 보행자는 속도를 증가하여 회피를 할 것이라 가정하였다. 본 연구에서 보행자들의 평균속도는 Teknomo(2002)의 연구결

과를 이용하였다. 위 연구에서는 519명을 대상으로 한 조사 결과 보행자들의 평균속도는 평균 1.38m/s, 표준편차 0.37로 정규분포 형태로 분석되었다. 본 연구에서는 위의 결과를 보행자 속도 분포에 이용하였으며, 평균속도보다 빠른 보행자들은 일반적으로 느린 사람을 추월할 것이라고 판단하여 평균속도보다 속도가 빠른 보행자를 성격이 급한 사람, 평균속도보다 느린 보행자를 성격이 급하지 않은 사람으로 분류하였다. 모형에서 성격이 급한 사람은 인지영역 안에 사람이 들어올 경우 회피를 결정하지만, 성격이 급하지 않은 사람은 인지영역에 사람이 들어올 경우 일단 속도를 줄이고 〈그림 4〉의 D2 영역까지 올 경우, 회피를 결정하게 된다.



〈그림 5〉 보행자 회피행태

본 연구의 보행자 회피 모형의 수행 흐름은 〈그림 6〉과 같다.

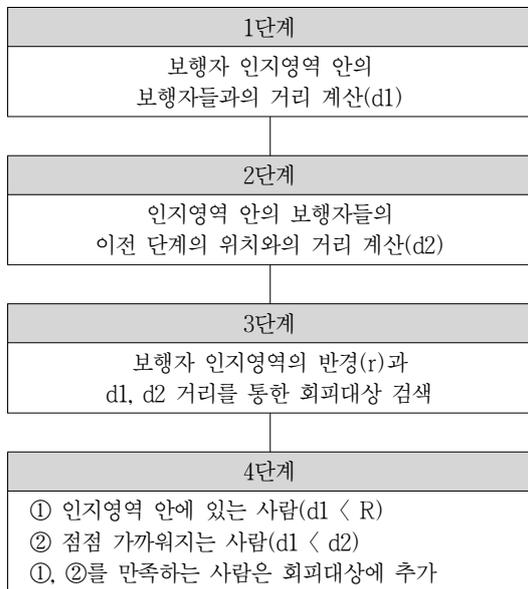


〈그림 6〉 보행자 회피모형

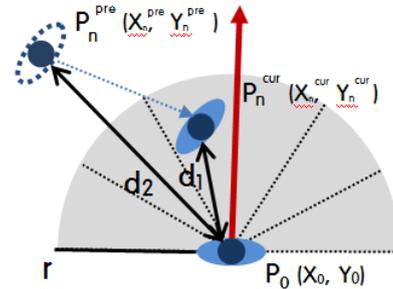
1단계와 2단계는 모든 보행자에게 적용되는 단계이고 2단계에서는 보행자의 보행공간이 혼잡상황인지 비혼잡 상황인지에 따라 회피 가능 여부를 판단하는 단계이다. 3단계, 4단계는 앞에서 정의한 세 가지 회피행태에 따라 각기 다른 모형이 적용된다.

1) 회피대상 탐색

회피 모형의 첫 번째 단계로 자신의 회피영역 안의 회피대상 유무를 판단하는 단계이다. 판단을 위해서는 나의 현재 위치와 상대방의 이전 단계에서의 위치와, 현재에서의 위치를 각각 비교하여야 한다. 이전 단계보다 현재 위치가 더 짧다면, 이 보행자는 나와 점점 가까워지는 사람이기 때문에 회피대상이 된다. 회피대상을 검색하는 단계는 <그림 7>과 같다.



<그림 7> 보행자 회피대상 탐색 흐름



<그림 8> 보행자 회피 대상 탐색

$$d1 = \sqrt{(X_n^{cur} - X_0)^2 + (Y_n^{cur} - Y_0)^2} \quad \text{식 (6)}$$

$$r = FG \times v \quad \text{식 (7)}$$

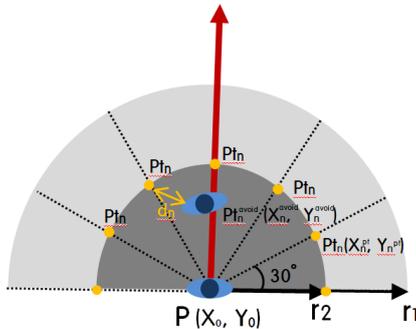
- P_0 : 보행자
- P_n^{cur} : n번째 검색 대상자의 현재점
- P_n^{pre} : n번째 검색 대상자의 이전점
- X_0 : 보행자의 x좌표
- Y_0 : 보행자의 y좌표
- X_n^{cur} : n번째 보행자의 현재 x좌표
- Y_n^{cur} : n번째 보행자의 현재 y좌표
- X_n^{pre} : n번째 보행자의 이전 x좌표
- Y_n^{pre} : n번째 보행자의 이전 y좌표
- $d1$: P_n^{cur} 와 P_0 의 거리
- $d2$: P_n^{pre} 와 P_0 의 거리
- r : 보행자(P_0)의 회피 인지 반경

2) 회피 가능 여부 판단

회피 가능 여부는 보행자가 자신의 회피영역안에 회피공간이 있는지 없는지를 판단하는 단계이다. 본 연구에서는 신체영역을 고려하여 보행자의 보행공간을 시야각 180°, 6개의 Cone(중심각 30°)으로 구분하였다.

| |
|--|
| 1단계 |
| 보행자의 임시 이동점(Ptn) 계산 |
| 2단계 |
| 회피대상과 보행자의 모든 임시 이동점(Ptn) 간의 거리(dn) 계산 |
| 3단계 |
| 가장 짧은 거리(Min.dn)를 검색하여 이동불가 방향으로 설정 |

〈그림 9〉 보행자 회피대상 가능 여부 판단



〈그림 10〉 보행자 회피 가능 방향

$$X_n^{Pt} = X_0 + (v \times \cos 30) \quad \text{식 (8)}$$

$$Y_n^{Pt} = Y_0 + (v \times \sin 30) \quad \text{식 (9)}$$

$$d_n = \frac{1}{\sqrt{(X_n^{Pt} - X_n^{avoid})^2 + (Y_n^{Pt} - Y_n^{avoid})^2}} \quad \text{식 (10)}$$

Min.dn 일 때, n은 이동불가(n : 1~6)

X_n^{Pt} : 보행자의 임시 이동점의 x좌표

Y_n^{Pt} : 보행자의 임시 이동점의 y좌표

X_n^{avoid} : 회피대상의 x좌표

Y_n^{avoid} : 회피대상의 y좌표

d_n : 회피대상과 임시점의 거리

v : 보행자의 이동속도

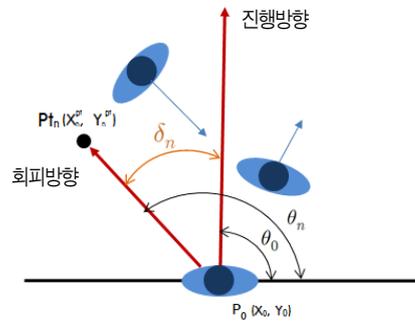
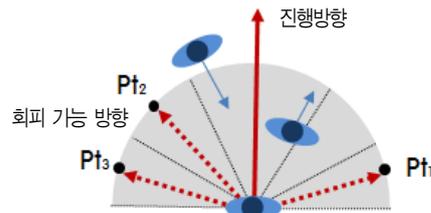
n : 보행자의 이동방향

3) 성격이 급한 사람의 회피모형

성격이 급한 사람의 경우, 인지영역 안에 회피 대상이 들어올 경우, 회피를 결정하게 된다. 이때 회피방향은 앞의 단계에서 회피 가능한 방향에 대한 정보를 알 수 있기 때문에, 회피가 가능한 방향 중에서 〈그림 12〉에서와 같이 목적지를 향해 가는 방향에서 가장 가까운 방향으로 회피방향을 결정하게 된다.

| |
|---|
| 1단계 |
| 회피 가능한 영역(Pt)의 각도 계산 |
| 2단계 |
| 회피 가능 영역(θ_n)과 내 진행방향(θ_0)과의 각도 차이 계산(δ_n) |
| 3단계 |
| 각도차가 가장 작은 방향 선택 Min.(δ_n), n : 1~n |

〈그림 11〉 성격이 급한 사람의 회피모형



〈그림 12〉 회피방향 설정

$$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{Y_n^{Pt} - Y_0}{X_n^{Pt} - X_0}\right) \times \frac{180}{\pi} \quad \text{식 (11)}$$

$$\delta_n = |\theta_n - \theta_0| \quad \text{식 (12)}$$

P_0 : 보행자의 현재 위치

P_n^{Pt} : 회피 가능영역

θ_0 : P_0 의 진행방향 각도

θ_n : P_n^{Pt} 의 각도

n : P_0 의 회피 가능영역(1~n)

δ_n : θ_0 와 θ_n 의 각도차

4) 성격이 급하지 않은 사람의 회피모형

성격이 급하지 않은 사람의 경우는 인지영역안에 회피대상이 들어올 경우, 바로 회피를 결정하지 않고 그 대상과 충돌을 피하기 위하여 속도를 감속하게 된다. 이때, 감속에 의해 줄어든 속도는 식 (13)과 같다.

$$v^{dec} = (1 - \alpha) \times v_0 \quad \text{식 (13)}$$

$$\alpha = \frac{d_2}{d_1} \quad \text{식 (14)}$$

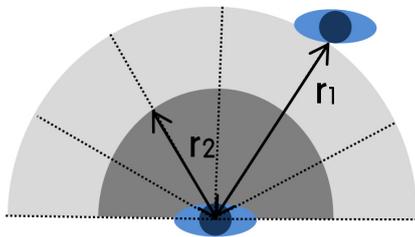
v^{dec} : 감속한 후, 보행자 속도

v_0 : 감속하기 전, 보행자 속도

α : 감속도

d_1 : 보행자의 보폭

d_2 : 보행자와 회피대상 간의 거리



〈그림 13〉 성격이 급하지 않은 사람의 회피영역

$$r1 = FG \times v \quad \text{식 (15)}$$

$$r2 = v \quad \text{식 (16)}$$

r_1 : 보행자 인지영역 반경

r_2 : 성격이 급하지 않은 보행자의 회피영역 반경

v : 보행자의 보행속도(%)

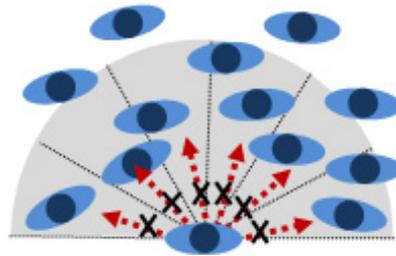
FG : 보행자의 전방 인지영역

인지영역 안에 있을 경우, 속도를 감속하지만 다음 단계에 충돌이 예상되는 반경(r_2) 안으로 사람이 들어올 경우 급한 사람과 같이 진행방향에서 가장 가까운 방향으로 회피를 하게 된다.

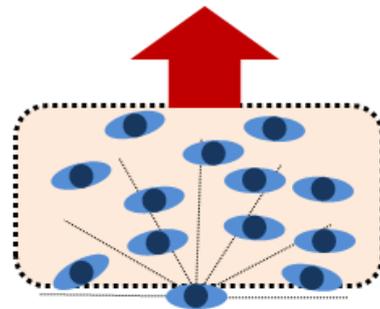
3. 혼잡 상황에서의 회피모형

혼잡 상황은 '보행공간에 보행자가 많아서 모든 보행자가 보행속도를 임의로 선택할 수 없는 상황'을 의미한다. KHCM에서 제시하는 LOS E, F 수준을 의미한다.

〈그림 14〉와 같이 혼잡 상황의 보행자는 회피를 하고 싶어도 회피공간이 없기 때문에 보행자 자신의 임의대로 보행행태를 결정할 수 없다.

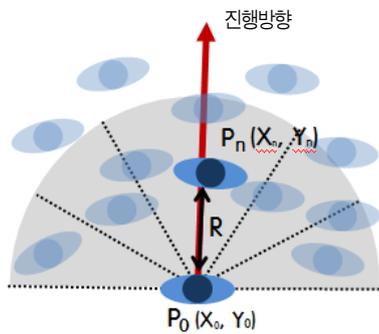


〈그림 14〉 회피공간이 없는 경우



〈그림 15〉 보행군의 생성

따라서 혼잡 상황의 경우, 보행자는 자신의 앞에 존재하는 보행자를 추월하거나 회피할 수 없기 때문에, 앞서사람과의 거리 이상의 속도로 보행할 수 없다. 본 모형에서 혼잡 상황에서의 회피모형은 <그림 16>과 같이 앞서사람과의 거리를 고려하여 속도를 결정하였다.



<그림 16> 혼잡 상황 시 보행 방향 및 속도 선택

$$R = \sqrt{(X_n - X_0)^2 + (Y_n - Y_0)^2} - Ph_0 - Ph_n \quad \text{식 (17)}$$

$$V_{p_0} \leq R \quad \text{식 (18)}$$

R : 진행방향의 가장 가까운 타 보행자와의 거리
 Ph_0 : 보행자의 신체영역
 Ph_n : 타 보행자의 신체영역
 V_{p_0} : 보행자의 속도(m/s)

식 (17)에서 자신의 진행방향에 존재하는 가장 가까운 보행자와의 거리를 계산하여, 자신의 속도가 앞서사람과의 간격 이상이 되지 않도록 하였다.

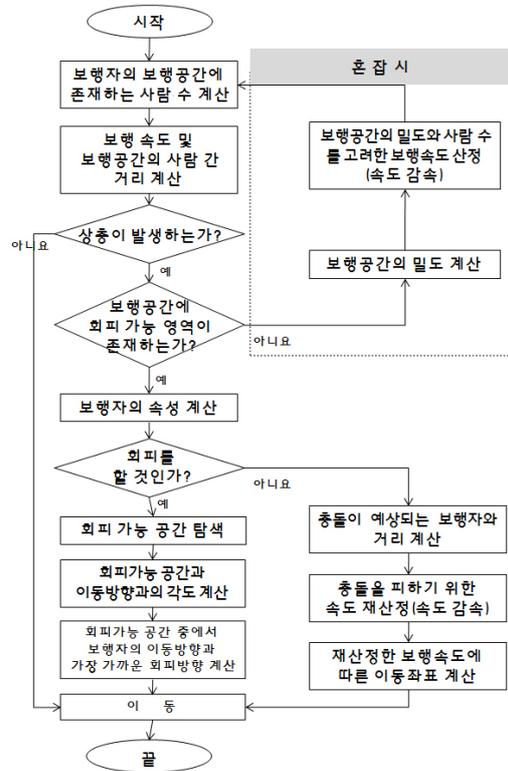
본 연구는 보행자의 보행행태 중 하나인 보행자 보행방향 선택 모형 개발에 그 목적이 있다. 보행자의 특성(체형, 보행속도 등)과 보행자의 속도에 따른 인지영역을 통하여 보행자의 보행공간을 정의하고, 보행공간에 미치는 요인들을 고려한 보행자 회피모형을 개발하였다.

IV. 보행자 회피모형의 시뮬레이션 및 검증

1. 보행자 시뮬레이션 구현

본 연구에서 개발한 회피모형의 시뮬레이션을 구현하기 위하여, 현재 Microsoft사의 C++ 기반으로 개발된 P-Sim 프로그램을 이용하였다.

본 모형의 시뮬레이션 수행 흐름은 <그림 17>과 같다.



<그림 17> 시뮬레이션 흐름도

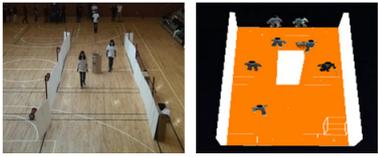
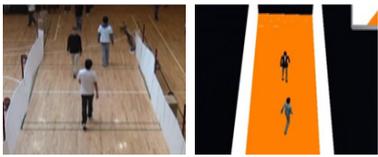
2. 실험조사를 통한 자료 수집

보행자는 다양한 행태를 가지고 있기 때문에 비슷한 보행행태를 가지는 단일 집단을 실험군으로 선정하여 실험을 실시하였다.

실험은 서울대학교 체육관에서 일반 보행 통로 (4m×12m)를 설치하여, 총 48명의 20대 남·여로 실험군을 구성하여, 실험조사를 실시하였다.

모형의 검증을 위하여 3개의 시나리오를 구성 하였으며, 시나리오의 내용은 <표 1>과 같다.

<표 1> 검증 시나리오

| 시나리오 | 내 용 |
|------|--|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> 장애물 회피행태 검증 장애물 유무에 따라 보행자의 통행속도, 회피거리, 회피각을 측정함  |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> 양방향 단일 보행자의 행태 비교 검증 실험조사 장소에서 양방향으로 한 명씩 사람이 통행하면서, 회피각을 측정함  |
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> 양방향 다수 보행자의 행태 비교 검증 실험조사 장소에서 양방향 밀도 변화에 따른 통행속도를 측정함  |

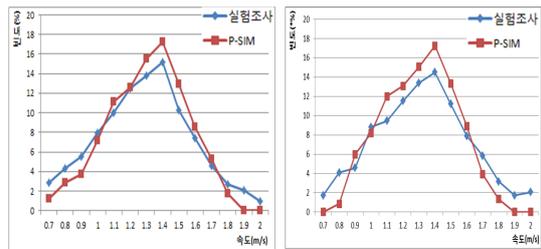
3. 결과

시나리오 1은 장애물의 유무에 따른 평균 통행 속도와 회피각도, 회피거리를 비교하였다. 장애물 유무에 따른 통행속도 비교 결과는 <표 2>와 같다. 결과를 살펴보면 단일 장애물이 보행자의 평균 통행속도에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수

있다. 이는 조사값과 시뮬레이션 결과값 모두 유사한 결과를 보여주고 있으며, T검정 결과, 통계적으로 두 표본이 평균속도값의 차이가 없음을 알 수 있다.

<표 2> 장애물 유무에 따른 평균속도 비교

| 구분 | | 평균 속도 | T value | P value |
|-----|-------|-------|---------|---------|
| 일반 | 실험조사 | 1.32 | 0.941 | 0.349 |
| | 시뮬레이션 | 1.36 | | |
| 장애물 | 실험조사 | 1.32 | 1.122 | 0.263 |
| | 시뮬레이션 | 1.35 | | |

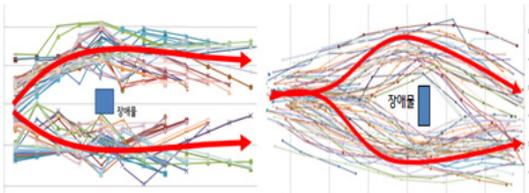


<그림 18> 장애물 유무에 따른 평균속도 비교

시나리오 1의 두 번째 실험은 장애물의 회피각도와 회피거리를 비교 검증하였다. 검증 결과 <표 3>과 같이 회피거리는 조사값과 시뮬레이션 결과값이 유사하며, 통계적으로도 두 값이 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 반면 회피각도는 시뮬레이션의 최소 회피각도를 0°로 설정하였기 때문에, 시뮬레이션 내의 회피각도가 모두 30°의 결과가 나타났다. 따라서 시뮬레이션의 결과값(30°)과 조사값의 단일표본 T검정 결과 두 결과값은 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 현재 장애물 회피라는 한정된 회피행태에 대한 검증이기 때문에, 추후 보다 다양한 상황에서의 보행자 회피행태에 대한 조사를 통하여 합리적인 각도로 좀 더 세분화되어야 할 부분이다.

〈표 3〉 장애물 유무에 따른 회피거리·회피각 비교

| 구분 | 회피거리(m) | | 회피각(°) | |
|------|---------|-------|---------|-------|
| | 실험 조사 | 시뮬레이션 | 실험 조사 | 시뮬레이션 |
| 평균 | 3.29 | 3.45 | 17.3 | 30 |
| 표준편차 | 1.47 | 1.25 | 4.2 | - |
| T값 | 4.542 | | -18.884 | |
| P값 | 0.194 | | 0.000 | |



〈그림 19〉 보행자의 장애물 회피행태 검증

시나리오 2의 회피거리 검증 결과, 시뮬레이션 결과와 조사결과 회피거리가 유사함을 알 수 있으며 통계적으로 두 표본의 값의 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 회피각도의 경우, 실험조사 평균 회피 각도가 19.8°였으며, 시나리오 1에서와 같이 모형의 최소 회피각도인 30°와의 통계적 유의성 검증을 위한 단일표본 검증 결과, 두 표본의 결과 값이 차이가 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 위에서 설명한 것과 같이 최소 회피각은 추후 보완되어야 할 부분이다.

〈표 4〉 시나리오 2 결과

| 구분 | 회피거리(m) | 회피각(°) |
|-------|---------|--------|
| 실험조사 | 평균 | 3.35 |
| | 표준편차 | 1.84 |
| 시뮬레이션 | 평균 | 3.42 |
| | 표준편차 | 1.53 |
| T값 | 7.64 | 1.342 |
| P값 | 0.219 | 0.000 |

시나리오 3에서 밀도는 HCM에서 제시한 LOS A, C, E일 때의 밀도로 설정하였다. 시나리오별 실험자의 평균속도로 검증하였으며, T검정 결과 조사 결과와 시뮬레이션 결과가 통계적으로 차이가 없음을 알 수 있다. 또한 실험조사와 모형 결과 모두 밀도가 높아질수록 속도가 줄어드는 패턴을 보이며, LOS A와 C일 경우보다 LOS E일 경우, 표준편차가 낮은 것을 알 수 있다. 이는 밀도가 높을수록 보행자가 선택할 수 있는 통행속도의 범위가 작아지기 때문에 나타나는 결과이다.

〈표 5〉 시나리오 3 결과

| 구분 | 항목 | 밀도 (0.04인/m ²) | 밀도 (0.5인/m ²) | 밀도 (1.0인/m ²) |
|-------|-------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | LOS A | LOS C | LOS E |
| 실험 조사 | 평균 속도 | 1.34 | 1.28 | 0.93 |
| | 표준 편차 | 0.20 | 0.16 | 0.07 |
| 시뮬레이션 | 평균 속도 | 1.38 | 1.30 | 1.19 |
| | 표준 편차 | 0.18 | 0.17 | 0.10 |
| T값 | | 0.778 | 0.992 | 1.458 |
| P값 | | 0.437 | 0.334 | 0.151 |

V. 결론 및 향후 연구계획

본 연구에서는 기존 문헌과 이론들을 이용하여 보행자 회피행태에 관한 연구 및 모형 개발을 하였다. 본 연구의 보행자 회피행태는 보행공간의 밀도를 혼잡 상황과 비혼잡 상황으로 구분하였고, 이에 따라 회피행태를 세 가지로 구분하여 모형화 하였다. 또한 보행자 이동방향 및 이동공간을 시야각 180° 기준으로 6개의 Cone 개념을 이용하였다.

모형의 시뮬레이션 결과, 보행자 간, 장애물 회피각에서 차이를 보였다. 이 같은 결과는 이동방향을 중심각 30°의 Cone으로 구분하였기 때문에 나타난 결과이다. 따라서 향후 보행자의 이동방향을 현장조사 결과값에 따라 좀 더 세분화할 필요가 있다. 밀도에 따른 보행자들의 통행속도를 분석한 결과 보행공간의 밀도가 높은 경우, 보행자들의 속도의 편차가 더 적게 나타났다. 이를 통해 보행공간의 밀도가 높아질수록 보행자들의 속도는 개인의 특성이 아닌 보행공간의 영향을 받게 되어, 보행자의 속도 및 방향 선택의 범위가 좁아진다는 것을 알 수 있다.

본 연구의 한계와 향후 연구과제는 다음과 같다. 본 모형의 검증 과정에서 다양한 보행공간 및 보행자의 특성이 반영되지 못했다. 회피각도의 검증 시 하나의 장애물과 회피대상을 한 명으로 제한하였기 때문에 보다 다양한 회피대상에 따른 회피각도에 대한 조사 및 검증이 필요하다. 또한 본 연구에서는 실험조사를 통한 검증만 실시하였다. 실제 보행자들의 보행하는 현장에 적용, 검증하여 보다 모형의 설명력을 높여야 할 필요가 있다.

참고문헌

건설교통부, 2005, 『도로용량편람』,
 서울대학교, 2010, “교통연계 및 환승시스템 기술개발 4차
 년도 최종 보고서”, 국토해양부.
 세인시스템, 2010, “연계환승 유도안내 검지기 개발 4차
 년도 최종 보고서”, 국토해양부.
 손영태, 박우신, 김상구, 김태완, 김영호, 2004, “CA기반
 보행교통류 Simulation 모형 개발”, 『대한토목학회
 논문집』, 24(4D): 563~568.
 이용미, 2009, “보행자 행태분석 알고리즘을 적용한 환승
 센터 시뮬레이터 프로토타입 개발”, 『보행목적에
 따른 보행교통류 특성에 관한 연구』, 서울대 환경대
 학원.
 이종호, 2008, “미시적 보행 시뮬레이션 모형의 연구 동향:

행위자 기반 모형을 중심으로”, 『교통 기술과 정책』,
 5(4): 23~32.
 Antonini, G., and Bierlaire, M., 2006, “A Discrete Choice
 Modeling Framework for Pedestrian Walking
 Behavior with Application to Human Tracking in
 Video Sequences”, *Transportation Research Part
 B*, 40(8): 667~687.
 Antonini, G., Bierlaire, M., and Weber, M., 2006, “Discrete
 choice models of pedestrian walking behavior”,
Transport. Res. B.
 Antonini, G., Venegas, S., Thiran, J. P. and Bierlaire, M.,
 2004, “A discrete choice pedestrian behavior model
 for pedestrian detection in visual tracking
 systems”, *Adv. Concepts Intel. Vis. Syst. (ACIVS)*.
 Costella, J. P., 1992, “Galilean antialiasing for virtual
 reality displays”, *Tech. Rep., School of Physics,
 The University of Melbourne, Parkville Vic. 3052,
 Australia*.
 Fruin, J. J., 1971, “Pedestrian Planning and Design,
 Metropolitan Association of Urban Designers and
 Environmental Planners”, *Inc. New York*.
 _____, 1979, “Designing for Pedestrians: A Level of
 Service Concept”, *Highway research Record 355*.
 Gipps, P. G. and Marksjo, B., 1985, “A Micro-Simulation
 Model for Pedestrian Lows”, *Mathematics and
 Computer in Simulation*, 27: 95~105.
 Helbing, D., 1992, “A Fluid-dynamic Model for the
 Movement of Pedestrians”, *Complex Systems*,
 6: 391~415.
 Okazaki, S., 1979, “A Study of Pedestrian Movement in
 Architectural Space, Part 1: Pedestrian Movement
 by the Application on of Magnetic Models”, *Trans.
 of A.I.J.*, 281: 111~119.
 Teknomo, K., 2002, “Microscopic Pedestrian Flow Char-
 acteristics: Development of an Image Processing
 Data Collection and Simulation Model”, *Department
 of Human Social Information Sciences Graduate
 School of Information Sciences Tohoku University*.
 _____, 2006, “Application of microscopic pedestrian
 simulation model”, *Transportation Research Part F*.

원 고 접 수 일 : 2011년 5월 30일
 1차심사완료일 : 2011년 7월 1일
 2차심사완료일 : 2011년 8월 22일
 최종원고채택일 : 2011년 10월 10일