

# 보행환경평가를 위한 Micro Simulation

- 보행영향평가세미나
- 2013. 12. 13.
- 생활관세미나실
- 서울시립대학교
- 전 철 민, 남 현 우

## 목 차

- Micro Simulation 및 보행환경요소 소개
- 관련 연구 - Microscopic Pedestrian Model
- 추가적 보행 특성 적용 연구
  - ▶ Visual Floor Field 적용
  - ▶ 실내 공간 인지를 위한 Multiple Static Floor Field 적용
  - ▶ 보행자의 물리적 특성 적용
  - ▶ 보행 시뮬레이션 결과 분석
- 실내·외 연계를 통한 보행환경 특성 분석
- 결론

## Micro Simulation 및 보행환경요소 소개

### ■ 묘사 수준에 따른 두 가지 시뮬레이션 기법

#### ▶ Macro

- 보행자 개개인의 특징, 상호작용 등의 고려보다는 보행자들을 **동질의 그룹**으로 묶어 공통된 성질들간의 관계를 통해 보행 상황을 모델링 함
- Node-Link 구조의 데이터를 이용하여 보행자의 흐름을 계산

#### ▶ Micro

- 개별 보행자들에 대한 파라미터(보행속도, 반응속도, 개인성향 등)와 타인 및 환경(벽, 출구, 장애물 등)과의 상호작용을 통해 **local한 상황을 묘사**하고 이를 통해 **global**한 현상을 모델링 함
- 주로 cell 기반의 모델을 이용함

## Micro Simulation 및 보행환경요소 소개

### ■ Micro Simulation

- ▶ 미시적 관점에서 보행자들의 움직임을 묘사하고, 이를 통해 보행에 영향을 주는 요소들을 정량적으로 파악
- ▶ 특히, 실내 혹은 실내·외 연계 시설에서 나타나는 보행상황 파악에 효과적
  - 좁은 범위의 지역에서 나타나는 구체적인 보행상황 파악 가능
- ▶ 다양한 파라미터를 통해 여러 상황을 설정하여 보행상황에 대한 시뮬레이션 가능
  - 보행자들의 수, 성향, 특성 등의 설정 가능

## Micro Simulation 및 보행환경요소 소개

### ■ 보행환경요소

- ▶ 보행환경을 평가하기 위해 보행에 영향을 미치는 물리적 요소들을 정의하고 정량화한 것
- ▶ 가로환경, 네트워크환경, 지역환경 등의 요소들로 분류
  - 가로환경: 가로의 폭, 장애물, 횡단보도, 건물 등
  - 네트워크환경: 보행로 연결성, 보행 접근성 등
  - 지역환경: 인구밀도, 도시형태, 토지용도 등
- ▶ 비교적 시공간적으로 넓은 범위의 지표들로 구성되어 있음

## Micro Simulation 및 보행환경요소 소개

### ■ Micro Simulation과 보행환경요소의 결합

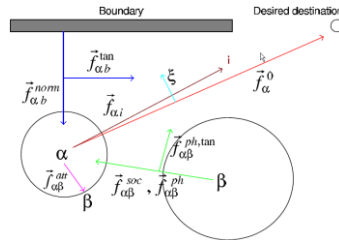
- ▶ 기존에 이용하던 보행환경요소와 미시적 상황에서 보행 시뮬레이션을 통해 얻은 보행상황 데이터를 결합하여 보행환경을 평가하는 방법을 제시
- ▶ 특히, 보행 시뮬레이션을 통해 가로 및 건축물의 구조, 보행자의 밀도, 보행자 개개인의 특성 등을 구체적으로 반영한 결과를 산출 가능

## 관련 연구 - Microscopic Pedestrian Model

### Microscopic Pedestrian Model

#### ► Social Force Model

- 보행자 집단을 gas의 미립자들과 같이 간주하는 Gas-Kinematic model
- 개별 보행자의 물리적 요인이 고려되며 각각의 보행자에게 작용하는 힘을 통해 보행자의 움직임을 묘사



## 관련 연구 - Microscopic Pedestrian Model

#### ■ Social Force( $f_\alpha(t)$ ):

- Social Force는 보행자( $\alpha$ ) 행태에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 요인(주변 환경 또는 다른 보행자)을 표현함
- Fluctuation term( $\xi_\alpha(t)$ ): 예측할 수 없는 행동인자

$$\frac{d\mathbf{v}_\alpha}{dt} = \mathbf{f}_\alpha(t) + \xi_\alpha(t)$$

- $f_\alpha(t)$ 는 동시에 한 사람의 보행자의 보행행태에 영향을 줄 수 있는 각각의 요인들의 합의 형태로 이루어져 있음

$$\mathbf{f}_\alpha(t) = \mathbf{f}_\alpha^0(\mathbf{v}_\alpha) + \mathbf{f}_{\alpha B}(\mathbf{r}_\alpha) + \sum_{\beta(\neq \alpha)} \mathbf{f}_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_\alpha, \mathbf{v}_\alpha, \mathbf{r}_\beta, \mathbf{v}_\beta) + \sum_i \mathbf{f}_{\alpha i}(\mathbf{r}_\alpha, \mathbf{r}_i, t) + \xi_\alpha(t)$$

- 각각의 보행자는 자신이 원하는 속도로 보행할 수 있음

$$\mathbf{f}_\alpha^0(\mathbf{v}_\alpha) = \frac{1}{\tau_\alpha} (\mathbf{v}_\alpha^0 \mathbf{e}_\alpha - \mathbf{v}_\alpha)$$

- 보행자는 내부공간의 벽체나 다른 보행자와 일정한 거리를 유지하려는 경향이 있음

$$\mathbf{f}_{\alpha B}(\mathbf{r}_\alpha) = -\nabla_{\mathbf{r}_\alpha} V_B(\|\mathbf{r}_\alpha - \mathbf{r}_B^z\|) \quad \mathbf{f}_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_\alpha, \mathbf{v}_\alpha, \mathbf{r}_\beta, \mathbf{v}_\beta)$$

- 또한 보행자들은 대피상황 시 혼자가 아닌 군집상태에 소속되기를 원하는 경향을 보임

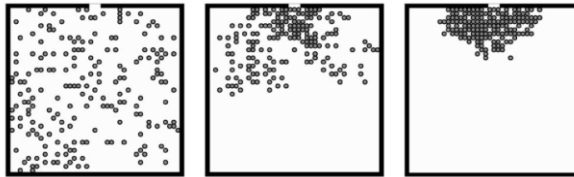
$$\mathbf{f}_{\alpha i}(\mathbf{r}_\alpha, \mathbf{r}_i, t)$$

## 관련 연구 - Microscopic Pedestrian Model

### ■ Microscopic Pedestrian Model

#### ▶ Floor Field Model

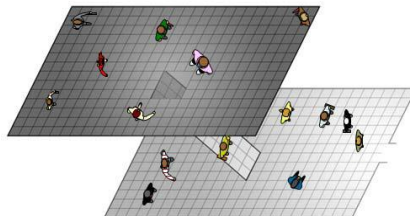
- CA 기반의 Agent-Based 모델
- 모든 보행자들의 영향을 고려하는 대신 local interaction 만을 고려함
- 각각의 셀을 점유하고 있는 보행자의 neighborhood cell만을 고려하여 매 time-step 마다의 보행자들의 움직임을 연산



## 관련 연구 - Microscopic Pedestrian Model

### ■ Floor Field Model

- ▶ 공간의 물리적 요소를 정의하는 필드를 기준으로 함
- ▶ 보행자의 OD에 따라 생성되는 Static Floor Field와 주변 보행자들과의 영향을 고려하는 Dynamic Floor Field를 통해 보행자들의 움직임을 계산
- ▶ Floor surface에서 움직이는 보행자들을 모델링



## 관련 연구 - Microscopic Pedestrian Model

### Update rules

- ▶ **Step 1:** 선호도를 나타내는 Score가 각각의 cell에서 연산되며 수식은 다음과 같음

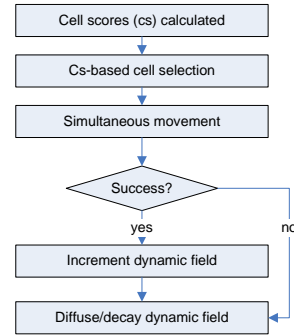
$$Score(i) = \exp(k_d D_i) \times \exp(k_s S_i) \times \xi_i \times \eta_i$$

- $Score(i)$ : 하나의 i번째 cell의 선호도 값
- $D_i$ : i번째 cell의 dynamic field 값
- $S_i$ : i번째 cell의 static field 값
- $k_d, k_s$ : 보행자 개개인의 움직임과 출구의 위치를 나타내는 scaling parameter
- $\xi_i$ : 이진 값을 가지며, 0은 이동 불가능한 cell(ex. 벽, 장애물)을 나타내며 1은 그 외의 cell을 나타냄
- $\eta_i$ : 이진 값을 가지며, 0은 보행자에 의해 점유된 cell을, 1은 점유되지 않은 cell을 나타냄

- ▶ **Step 2:** 다음 time-step에 보행자가 어떻게 움직일 것인가를 확률적으로 연산 함

- $p_{ij}$ : 선호 확률(desired probability)
- $N(i)$ : 자신을 포함한 3x3행렬을 이루는 neighboring cell들의 집합

$$p_{ij} = Score(j) \left( \sum_{a \in N(i)} Score(a) \right)^{-1}$$



## 관련 연구 - Microscopic Pedestrian Model

### Update rules (계속)

- ▶ **Step 3:** 같은 공간상의 모든 보행자들의 대한 값들이 구해지면, 이를 토대로 모든 보행자들이 동시에 다음 cell로 이동하게 됨
- ▶ **Step 4:** 위와 같은 연산이 수행되는 도중 하나의 cell에 1명 이상의 보행자가 이동하려 하는 경우 연산을 통해 하나의 cell에 하나의 보행자만이 점유할 수 있도록 하고 그 외의 보행자는 움직일 수 없음
- ▶ **Step 5:** Dynamic Value의 확산과 소멸 수행
- ▶ **Step 6:** 위의 과정을 반복하게 된다.
- ▶ **Step 7:** static field value가 0인 지점(출구)까지 이동

## 추가적 보행 특성 적용 연구

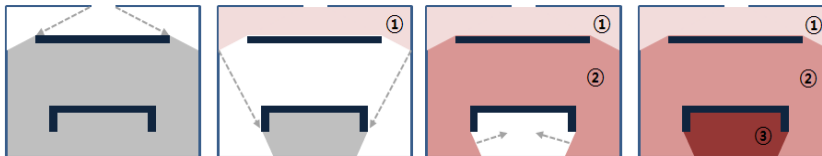
### ■ Floor Field Model의 한계

- ▶ Static과 Dynamic 요소만으로는 보행자들의 세밀한 움직임 표현하기에는 한계가 있음
- ▶ 이를 보완하기 위해 보행자의 시야, 공간인지능력, 신체 크기 등의 추가적인 특성을 적용하는 연구를 진행함

## Visual Floor Field 적용

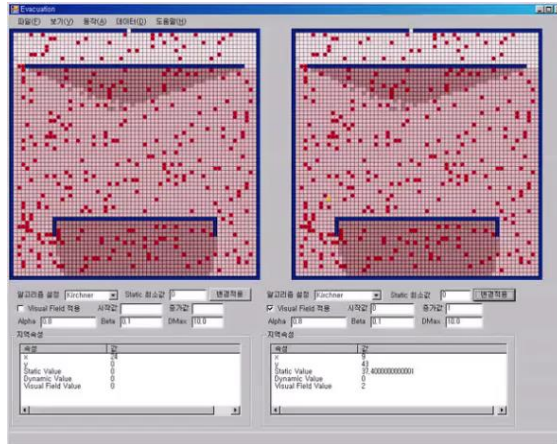
### ■ Visual Floor Field

- ▶ 목적지(출구)와의 가시성 및 굴곡성은 보행에 영향을 미치는 요소로 간주
- ▶ Space Syntax 이론을 적용하여 목적지와의 공간 깊이를 계산하였으며, 목적지와의 가시성과 굴곡성이 Static Floor Field에 영향을 미칠 수 있도록 모델을 보완



## Visual Floor Field 적용

### Visual Floor Field의 테스트



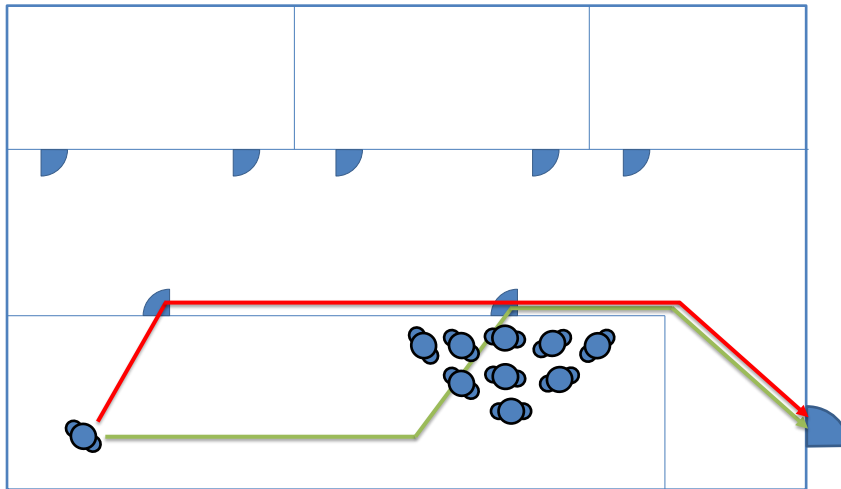
## 실내 공간 인지를 위한 Multiple Static Floor Field 적용

### 실내 공간 인지를 위한 Multiple Static Floor Field

- ▶ 보행자들은 목적지(출구)를 향해 움직임
- ▶ 하지만 목적지와 공간 깊이가 크다면 최종 목적지까지 가는 경로를 파악하여 이동하기보다는 현재 공간에서의 출구를 인지하고 그곳을 향해 이동하게 됨
  - 기존 FFM은 이러한 인지 요소의 반영이 불가능함
- ▶ 따라서 보행자들이 실내 공간을 인지하고, 그 공간에 대한 출입구로 이동하려는 경향을 FFM에 반영한 연구를 진행

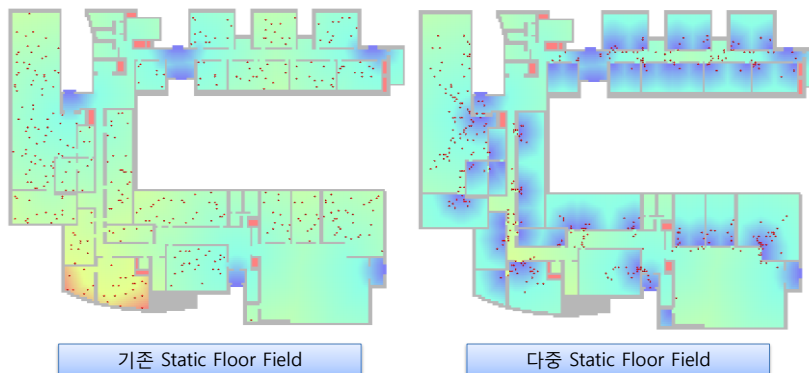


## 실내 공간 인지를 위한 Multiple Static Floor Field 적용



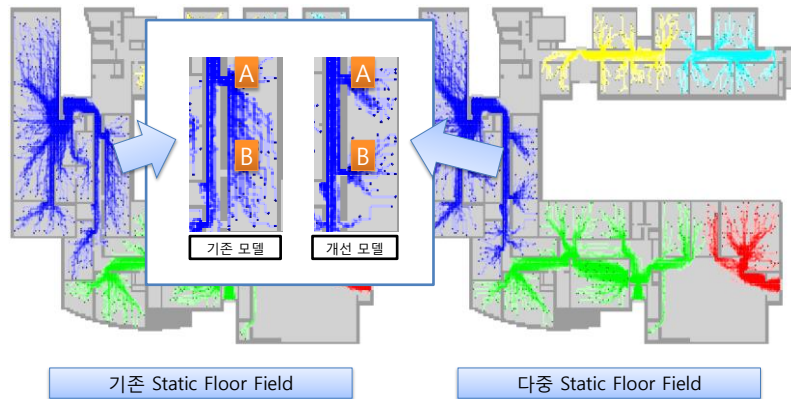
## 실내 공간 인지를 위한 Multiple Static Floor Field 적용

### ■ 실제 적용 예시



## 실내 공간 인지를 위한 Multiple Static Floor Field 적용

### ■ 실제 적용 예시



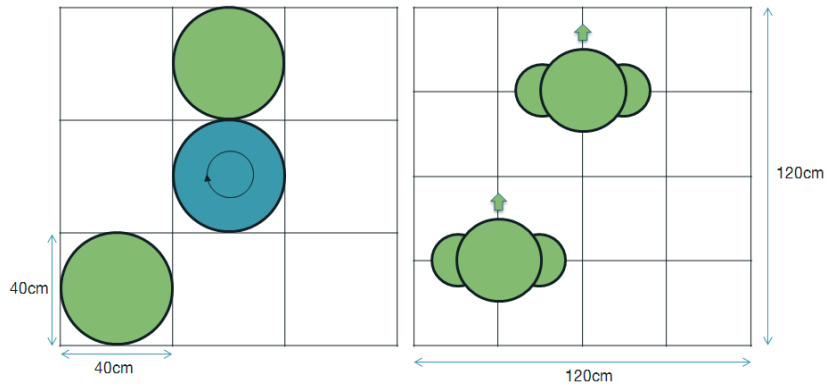
## 보행자의 물리적 특성 적용

### ■ 보행자의 물리적 특성

- ▶ Floor Field Model은 보행자 개개인의 물리적 특성을 적용할 수 없음
- ▶ 보행자의 신체크기, 보폭, 보속, 자세 등의 보행특성들은 보행상황을 결정하는 중요한 요소라 판단하고, 이를 반영하는 보행모델을 연구함
- ▶ 반영한 보행특성
  - 신체크기 : 50cm x 30cm
  - 보폭 : 60~65cm
- ▶ 보행특성을 반영하기 위해 기존 FFM의 이웃설정, 보행자 배치방식 등의 여러 요소들을 새로이 정의함

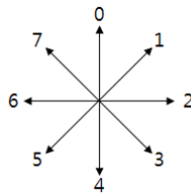
## 보행자의 물리적 특성 적용

- 보행자의 크기를 실제 신체 사이즈와 유사한 형태로 설정하여 회전에 의한 영향을 고려



## 보행자의 물리적 특성 적용

- 보행자의 자세 정보를 추가하여 8가지 방향의 자세를 가질 수 있게 함



- 보행자는 8가지 방향 중 한 가지의 방향의 자세를 가질 수 있음

## 보행자의 물리적 특성 적용

### ■ 보폭의 적용

- ▶ 보행자가 주변 보행자나 물리적 건물이나 가로의 구조에 맞춰 보폭을 조절할 수 있게 모델을 변형함
- ▶ 평소 상황은 60cm의 보폭으로 이동하며 병목 상황에서는 30cm의 보폭으로 이동함

## 보행 시뮬레이션 결과 분석

### ■ 결과 정보의 산출 및 분석

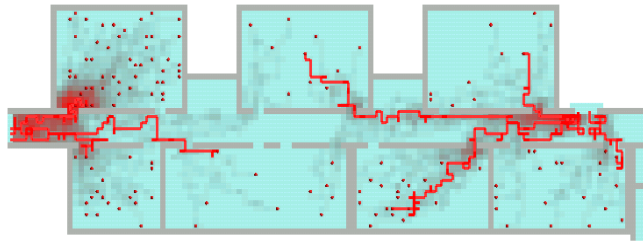
- ▶ 보행 시뮬레이션 결과를 DB에 저장하여 분석에 활용

결과데이터	세부내용
초기인원분포	각 보행자별 초기위치좌표를 저장
총 보행인원	전체 보행인원을 저장
총 보행시간	전체 보행시간을 저장
알고리즘 파라미터	Floor field model에서 사용한 알고리즘 파라미터들을 저장.
출구별 이동인원	각 출구별로 집계된 이동인원을 저장
각 방별 이동경로	각 방마다 대표 보행자를 임의로 선정하여 이동한 경로를 좌표리스트로 저장
병목예상지점	각 셀별로 보행자의 점유도를 계산하여 셀점유도 값을 저장

## 보행 시뮬레이션 결과 분석

### ■ 결과 데이터의 시각화

- ▶ 대표 보행자의 이동 경로
- ▶ 각 셀마다 점유된 수치를 통해 병목 예상 지점 파악
  - 진한 빨간색의 셀은 보행자들이 많이 몰려서 이동한 지역



## 실내·외 연계를 통한 보행환경 특성 분석

### ■ Micro Simulation을 보행환경 특성 분석에 활용

- ▶ Micro Simulation을 이용하여 미시적 상황에서 일어나는 보행상황을 파악하고 이에 대한 결과를 산출
- ▶ 산출된 결과를 활용하여 미시적 상황에서의 보행환경요소들을 정의
  - 예를 들면, 유동인구의 증감에 따른 영향, 계단·에스컬레이터 등을 이용한 수직이동의 영향, 출입구의 크기에 따른 영향 등 미시적 보행상황에서 나타나는 특징을 반영할 수 있는 보행환경요소가 필요함

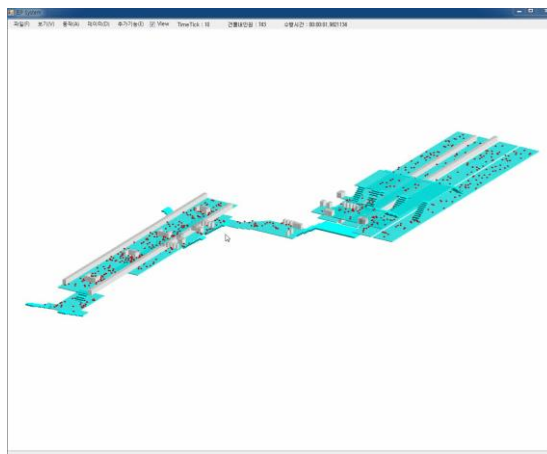
## 실내·외 연계를 통한 보행환경 특성 분석

### ■ 실내·외 연계를 통한 보행환경 특성 분석의 예시

- ▶ 지하철 역사와 주변 버스정류장 사이의 보행분석에 대한 연구를 진행 중
  - 지하철 역사에 대한 보행 시뮬레이션 데이터 구축
  - 교통카드 승·하차자료를 분석하여 지하철 역사와 버스정류장 간의 유동인구 데이터를 산출
  - 산출된 유동인구 데이터를 기반으로 한 보행 시뮬레이션 수행
  - 시뮬레이션 결과를 토대로 보행환경요소 산출 연구 수행

## 실내·외 연계를 통한 보행환경 특성 분석

### ■ 지하철 역사 내 보행 시뮬레이션 예시



## 결론

- Micro Simulation을 이용하여 미시적 상황에서 나타날 수 있는 보행 특성들을 파악
  - ▶ 특히, 실내 혹은 실내·외가 연계된 상황에서 나타나는 보행 상황은 거시적 분석으로는 파악하기 어렵기 때문에 미시적 분석이 요구됨
  - ▶ 분석 결과를 이용하여 미시적 보행환경요소들을 정의할 수 있을 것으로 판단됨
  - ▶ 기존 보행환경요소들과 결합하여 거시적·미시적 상황에서 보행상황을 분석할 수 있는 방법론을 제시