

Hybrid 보행 알고리즘 기반 도시철도역사 평가 시뮬레이터 소개

Introduction of the Assessment Simulator at Metro-station Using
Hybrid Pedestrian Movement-based Algorithm



유소영



김태진



이다은

서론

도시철도 환승역사는 교통 분야 주요 결절점으로, 교통수단간 연계 편의성을 제공하지만, 동시에 대량의 보행 통행량을 처리해야 한다는 점에서 혼잡, 안전 사고 등에 빈번히 노출된다. 환승역사와 같은 대규모 지하·복합공간에서의 철도 이용객의 안전사고는 대규모 참사로 이어지기 쉬운 구조적 문제로, 사전에 예방하는 것이 우선이며, 사고가 발생할 시에는 신속하게 처리하는 것이 가장 중요하다.

최근 이슈가 되고 있는 영동대로 지하 공간 개발 사업은 지하버스환승센터, 도심공항터미널, 주차장, 상업·공공문화시설 등 복합 기능 시설을 배후지로 하고, 삼성-동탄 광역급행철도, KTX 동북부 연장, GTX-A, GTX-C, 남부광역급행철도, 위

레-신사선등 삼성역을 경유하는 3개의 확정 노선과 3개의 노선(안)을 고려한 철도통합역사의 기능이 추가될 예정이다. 또한, 자연채광, 통풍과 환기가 가능한 복합시설을 설계하여, 보행자를 위한 자연 친화적인 공간을 만들 청사진을 제시하고 있다.

이러한 유례없는 대규모 지하 복합 공간 통합 개발 계획은 도시구조의 변화, 도로교통 혼잡 야기, 대중교통노선 개편 필요성 여부 등 거시적인 파급효과 이외에, 시설물을 사용할 보행자의 이동 편의성 및 안전성 확보 측면에서 공간의 효율적인 배치와 시설물 계획 등의 현실적이고 다양한 시나리오 분석이 필수적이다. 이러한 복잡한 입체 공간의 반복적인 시나리오 비교 분석은 과학적이고 객관적인 분석 절차에 근거한 효과 검증용 분석 틀을 통해 그 절차 및 분석 시간을 간소화 할 수 있다는 점을 착안하여, 본 연구에서는 도시철도 개선사업

유소영 : 한국철도기술연구원 교통체계분석연구팀, syyou@krri.re.kr, Phone: 031-460-5827, Fax: 031-460-5159

김태진 : 한국철도기술연구원 교통체계분석연구팀, kimtj88@krri.re.kr, Phone: 031-460-5849, Fax: 031-460-5159

이다은 : 한국교통대학교 도시·교통공학과, ekdms1611@naver.com, Phone: 031-460-5829, Fax: 031-460-5159

을 평가할 수 있는 평가용 시뮬레이터 개발하였다.

도시철도역사 평가 시뮬레이터는 3D 실내지도 저작 모듈, 보행류 기반 통행분석 모듈, 결과분석 및 평가 모듈로 구성되어 되어 있으며, 해당모듈에서 구축되어지는 보행네트워크는 정적DB와 보행 형태를 반영한 후 보행교통량에 따라 해당 링크별로 변화된 통행시간, 속도 등은 동적DB로 구성된다. 동적DB의 보행 알고리즘은 미시적인 보행 행태분석을 통하여 대기행렬 이론을 접목한 Hybrid 보행류 모형이 적용되었다.

본문을 통해, 다양한 대형 복합공간의 개발 사례를 살펴보고, 이를 분석할 수 있는 기존 분석 틀과 핵심 분석 알고리즘 특성에 대해 간단히 설명한 뒤, 개발된 도시철도역사 평가 시뮬레이터 기능에 대한 소개로 구성된다.

관련 연구 동향

1. 대규모 지하공간 개발 관련 해외사례

대규모 도시철도 역사 및 지하 공간 개발 해외 사례를 살펴보면, 캐나다 몬트리올 인도어시티(Montreal Indoor City), 일본의 크리스타 나가호리(Crysta Nagahori), 프랑스 파리의 라 데팡스(La Defense) 등이 주요 사례로 손꼽힌다.

캐나다 몬트리올 인도어시티는 도시의 지하공간을 활용하여, 매일 50만 명의 이상의 이용자를 수용하고, 도심 사무공간의 80%와 상가공간의 35%가 도시철도 역사와 바로 연결 되어있다. 몬트리올 인도어시티는 지하철의 주 노선이 만나는 환승교차점으로 남-북, 동-서 축을 연결하여 중심상업지로의 이동이 가능하도록 하였고, 지하교통의 기능적 공간적 통합체계이다. 보행자와 차도를 분리시키면서 보행자의 흐름을 편리와 안전성을 확보하고 겨울 연평균 기온이 영하권으로 떨어지는 몬트리올 날씨의 영향이 고려되었다.

일본의 크리스타 나가호리는 지하공간을 개발해 死 공간을 되살리고 도심에서 즐기는 럭셔리한



그림 1. Montreal Indoor City 내부전경

일상을 실현시킨 대표적인 사례이다. 지하 4층, 길이 760m, 연면적 8만 1,765㎡인 복합지하상가는 지하철 5개역에서 직접 연결되어 편리한 이동·환승 체계를 갖추고 있다. 주차시설을 추가로 설치, 경관 정비사업 등을 통하여 안전하고 쾌적한 보행자 공간을 만드는 것이 사업의 목표이다. 도심의 교통 혼잡 문제를 해소시키고 부족한 주차공간을 확보하며 개발된 지하공간은 도심내의 휴식공간과 보행자의 안전 등 다양한 용도로 기능이 확대 되었다.

프랑스 파리의 라 데팡스는 지하공간을 활용하여 복층도시를 구축하였다. 재개발 방식으로 기존 주택을 철거한 뒤 토지를 수용하여 시행한 사업이다. 인공지반 도입과 복층 구조로 도로 및 도시철도, 지하철 등 입체적 환승교통처리가 가능하고 파리의 역사 축과 연계하여 중심부와 통합성을 강조하고 있다.



그림 2. Crysta Nagahori 내부전경

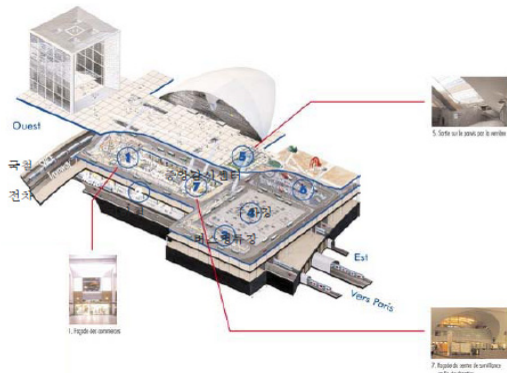


그림 3. La Defense 지하 단면도

교통시설과 보행공간을 이원화한 사례로 교통 및 주차시설을 지하공간에 조성하고, 지상부에는 관광버스를 제외한 모든 차량 통행을 제한하여 보차분리를 통해 보행자가 안전하게 다닐 수 있도록 설계하였다.

2. 보행행태 분석 평가 프로그램 연구 동향

최근 도시철도 역사내 혼잡한 보행환경을 개선하기 위한 연구는 계속 진행 되어 왔지만, 보행자의 의사결정에 따라 발생하는 보행행태는 현실적으로 보행자 특성을 반영하기 쉽지 않으며, 대규모 지하공간 개발로 야기될 수 있는 복합적인 문제에 대응할 수 있는 분석 툴 및 절차에 대한 중요성은 날로 부각되고 있다. 실제로, 이러한 사회적 이슈 및 체계적인 연구개발에 대한 공동의 요구를 만족시키기 위해 과학적이고 객관적인 보행행태 분석용 상용화된 분석 프로그램은 다수 존재한다. 보행 관련 연구의 학문적 역사는 짧지 않으며, 911 테러 이후 고층빌딩 등 대규모 공공시설에서의 피난 대피 등의 중요성으로 인해 더욱 부각된 측면이 있다. 범용성을 포함한 해외 프로그램으로는 VISSIM, Urban Analysis Framework, Legion, GAMMA, SimWalk 등이 있으며, 국내에는 P-Sim 이 개발되었다.

미시적 교통 분석 프로그램으로 널리 쓰이고 있는 VISSIM은 차량 시뮬레이션 뿐만 아니라 보행

시뮬레이션까지 포함하고 있으며, Social Force 모형 (SFM)을 기반으로 하고 있다. Urban Analysis Framework는 Paramics의 보행분석을 위해 개발되었으며, 4가지 행태 규칙(속도, 경로, 보행자간 거리, 반응시간)을 기반으로 한 Agent-based 모형이다. Legion 모형 역시 Agent-based모형으로 시설물을 독립된 요소(entity)로 간주하고, entity 이동 속성 비교 분석, 탐색 등을 단계별, 반복적으로 진행하여 시뮬레이션을 수행하도록 설계했다. GAMMA는 보행 충돌 및 상충을 최소화하는 최적화를 기반으로 개발되었다. SimWalk는 보행자의 개별행태 및 구체적인 상황을 시뮬레이션 하는 프로그램으로 보행자의 움직임에 따라 시뮬레이션 표현이 가능하도록 구성하였다. 국내에서는 유일하게 P-Sim이 개발되었으며, 기본적으로 미시적 보행모형을 기반으로 하고 있다. 구체적으로는 보행공간을 블록, 노드와 링크로 구성하여 최단거리를 탐색하는 알고리즘과 Space syntax 이론을 적용하여 최대인지 경로탐색알고리즘을 적용한 프로그램이다.

본 연구에서는 기존의 미시적 보행 분석모형 기반 시뮬레이터가 지닌 모형 검증, 알고리즘 연산의 복잡성 및 프로그램 구현과정에 대한 비효율성을 개선하는 방향으로, 사전 평가 과정을 합리적이고 객관적인 수준으로 간소화 목적으로, 하이브리드 보행알고리즘 기반의 도시철도역사 평가용 시뮬레이터를 개발하였다.

도시철도역사 평가 프로그램 소개

평가 시뮬레이터 프로그램 구성은 실내지도 제작모듈, 보행류 기반 통행분석 모듈, 결과분석 및 평가 모듈의 총 3단계로 구성되어 있다. 도시철도역사 평가 시뮬레이터의 수행 절차 측면에서 정리하면, 3D 실내지도 구축 플랫폼의 구축결과인 노드-링크 보행네트워크의 정적DB와 기·중점 이용자 정보를 바탕으로 보행시뮬레이션을 수행하여 구축된 동적DB 정보를 이용하여 도시철도역사의

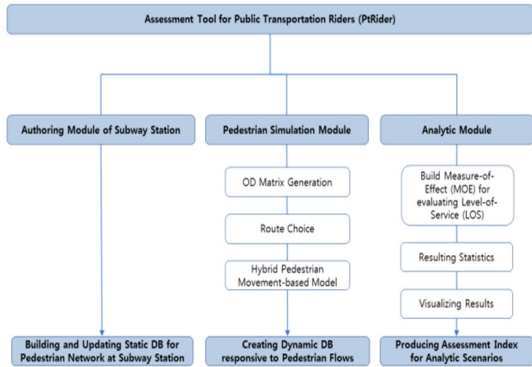


그림 4. 평가 시뮬레이터의 분석 수행 구조

다양한 평가지표 연산을 수행할 수 있는 프로그램이다.

1. 분석용 네트워크 구축을 위한 저작 모듈

분석용 네트워크 구축을 위한 저작 모듈은 보행 네트워크를 구축하는데 그 목적이 있으며, 기존 CAD 도면을 활용하여 이용자가 손쉽게 구축할 수 있다는 점과 구축된 복잡한 보행 네트워크를 비전문가도 쉽게 볼 수 있도록 시인성을 높이면서 쉽게 이용할 수 있다는 점이 가장 큰 장점으로 볼 수 있다.

세부 기능을 간략히 설명하면, 층높이를 기준으로, CAD 파일로 제작된 설계 또는 준공 도면의 층별 호환, 저작 및 관리가 가능하며, 기존 역사에 신설 노선 및 추가 구조물에 대한 컴포넌트 방식의 저작이 가능하도록 최적화된 3D 모델링 기능을 제공한다.

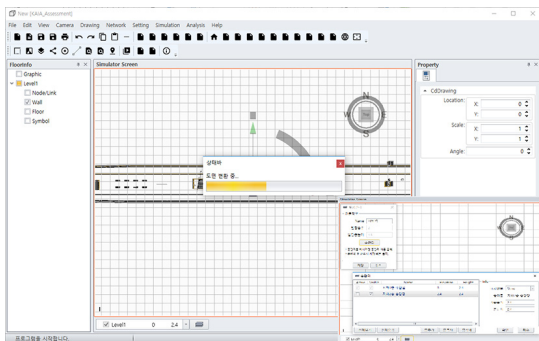


그림 5. CAD 도면 불러오기 및 층 관리

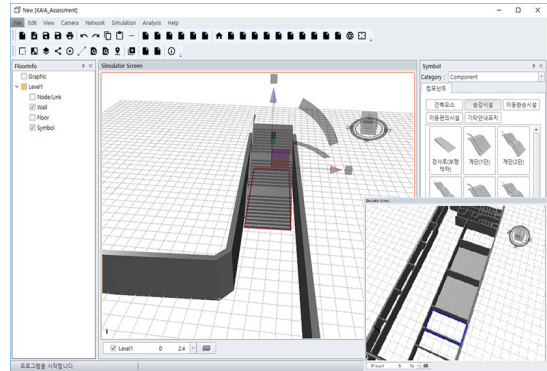


그림 6. 보행시설물 배치 및 바닥면 생성

앞서 언급한 바와 같이 컴포넌트 방식이란 도시 철도역사 기본 건축요소, 이동 환승시설, 이동편의 시설, 기타 안내표지 등의 특정 기능에 대해서 실 내 저작시 컴포넌트 라이브러리로부터 도구 기능 지원을 통한 간단한 조작으로 3차원 실내 공간 조합 및 배치가 가능하며, 메뉴 항목 화면을 영역별 그룹을 배치하여 직관적 사용자 인터페이스를 지원하고 있다(그림 6 참조).

3D 실내지도가 구축되면, 보행 경로 분석을 위한 보행 결절점인 노드와 보행 가능한 최소 경로의 단위인 링크로 구성된 보행 네트워크 구축이 필요하다. 불필요한 수작업을 최소화 하기 위해서, 완성된 통로 및 보행시설 컴포넌트에 대해 방향성, 통행거리, 주요 교차점 등 보행자의 이동경로에 대한 기본 속성을 지닌 노드와 링크를 자동 생성하여 간편하게 노드-링크 네트워크를 생성할 수 있도록 기능을 구성하였으며, 일부 규칙 (rule-based)으

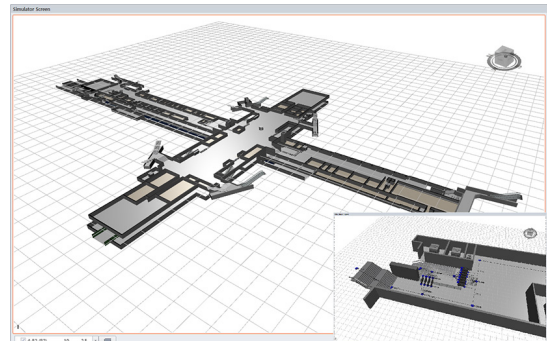


그림 7. 실내지도 구축 및 노드-링크 네트워크 구축

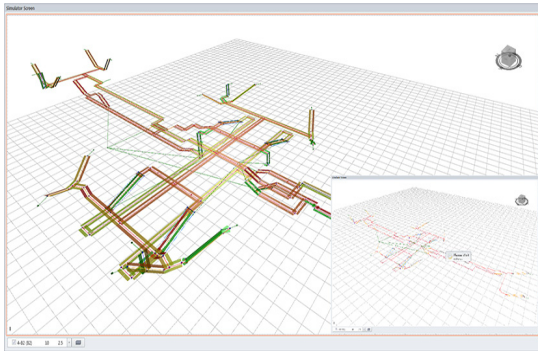


그림 9. 동적DB 구축

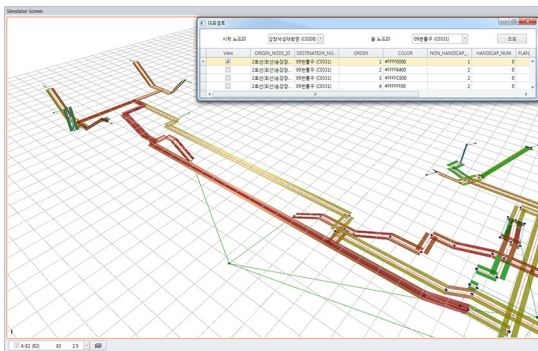


그림 10. 기종점 간 경로 조회

3. 결과분석 및 평가 모듈

결과분석 및 평가모듈은 통합평가지표, 링크 및 노드에 따른 분석결과를 비교 분석하여 표 혹은 그래프를 통해 표출할 수 있다(그림 11 참조).

본 시뮬레이션의 통합평가지표는 국토교통부 기준에 의거하여 표준화된 평가지표 이동편리성, 혼잡성, 정보제공 항목을 통해 분석대상 사업간 비교가 가능하도록 구성하였으며, 각 항목의 개념은 아래와 같다.

- 이동편리성 : 통행 환승시설을 평면환산 거리를 산정하고, 평면환산거리가 300m이상인 경우 0점, 8m이내인 경우 10점으로 채택함
- 혼잡성 : 보행통로 밀도를 기준으로 서비스 수준(LOS A-F)을 산정하고 0-10점을 환

산합

- 정보제공 : 환승정보안내 표지판 적정 설치 기준을 만족하는 경우 10점, 최소 설치 기준 미만일 경우 0점을 처리하여 적정 설치기준과 최소설치기준 사이의 보간법을 이용하여 산정함

추가적으로, 보행태에 기반의 경로이탈도, 가속도, 충돌횟수 3가지 평가 지표를 개발하여 분석대상역사의 열악한 보행환경을 보여줄 수 있는 상세 지표로 사용하고 있으며, 각 지표별 정의는 아래와 같다.

- 경로이탈도 : 보행자의 직선 통행을 기준으로 직선에서 벗어나 통행하는 각도를 정량적으로 나타내는 지표이며, 일직선 통행을 최단 거리로 볼 때 벗어나는 각도에 따라 보행 교통류의 차이를 의미함
- 가속도 : 보행자가 경로를 이동함에 있어서 링크를 통과할 때 마다 속도변화의 크기가 크게 나타날 경우, 빈번히 나타나는 stop-and-go 통행을 통해 보행교통류 불안전성을 평가하는 지표임
- 충돌횟수 : 보행자가 반대 방향 통행자와 충돌하는 횟수를 의미하며, 0.1m 이하로 근접한 경우를 충돌로 정의하여 정량화한 지표임

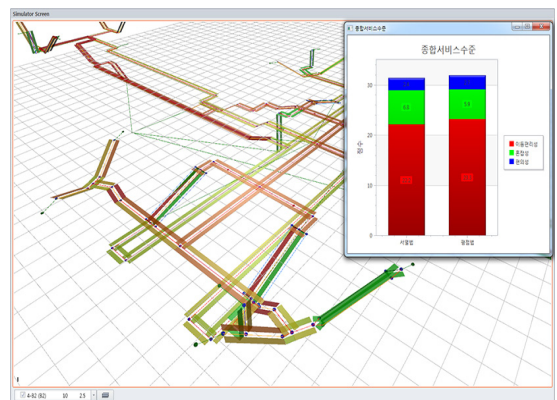


그림 11. 종합서비스 지표

결론

도시철도 역, 환승역 등과 연계한 지하 통합개발의 컨셉이 보편화되고 이로 인한 지하 보행 공간은 이용객이 증가함에 따라 최근에 안전사고 예방 및 능동적인 관리체계에 대한 관심 증가하고 있다. 도시철도 역사를 포함한, 지하 보행공간은 이용자들의 편의를 돕고 출입 및 환승을 책임지는 중요한 역할을 하고 있다. 하지만, 현재 이러한 도시철도역사 및 공간 개선 사업은 건축, 토목, 환경 등 다양한 분야에서 담당하고 있기에 복합적인 설계 요소에 대한 고려가 아직 미비하다. 또한, 수많은 시나리오에 대한 분석이 필요하며, 일부 분석은 반복적인 연산 과정으로 인한 비효율적인 시간 소모를 최소화할 필요가 있다. 본 연구에서는 제시한 도시철도역사 평가용 시뮬레이터는 과학적이고 객관적인 분석 절차를 포함하였으며, 범용성 확보에 주안점을 두었다. 또한, 평가용 시뮬레이터는 통행시간 절감편익과 역사 리모델링 공사비 등을 바탕으로 간소화된 경제성 분석 기능 및 대피 분석기능이 추가될 예정이다.

본 연구를 통해, 대규모 지하공간 및 도시철도 등 대중교통, 안전, 재난재해 대비 등과 연계된 보행 교통에 대한 심도 깊은 연구 및 시뮬레이터 개발이 진행되고 있으며, 관련 연구에 대한 지속적인 관심과 분석의 정교화를 위한 추가적인 연구의 필요성에 대해 강조하고자 한다.

참고문헌

서울특별시 도시교통본부 (2016), 영동대로 지하 공간 통합개발 기본구상.
 유소영, 정래혁, 정진혁 (2016), 보행류 기반 도시철도역사 평가 시뮬레이터를 활용한 대피 시나리오 분석, 한국 ITS학회, 15(2).
 이강주 (2008), 몬트리올 도시 지하공간 활용에 대한 분석 고찰-실내도시의 형성과정과 어머니즘을 중심으로, 대한건축학회, 24(5).

이주용, 김태완, 유소영 (2015), 지하철 역사내 동선 분리 시스템을 활용한 보행편의 및 이동성 증진, 대한교통학회지, 33(2), 대한교통학회, 204-213.
 정래혁, 정진혁, 유소영 (2016), 지하철 역사 내 경로 선택에 관한 연구 : 보행거리를 중심으로, 국토연구, 88.
 한국지방자치단체국회재단 (2008), 프랑스 라데팡스 사례연구.
 한국토지주택공사 (2009), 지하 공간 활용사례 조사연구.
 Abdelghany A., Abdelghany A., Mahmassi H.S., Al-Zahrani A. (2012), Dynamic Simulation Assignment Model for Pedestrian Movements in Crowded Networks, Transportation Research Record, 2416.
 Bruce W. (2001), Modeling the Roadside Walking Environment: A Pedestrian Level of Service, Transportation Research Board.
 Han M. (2015), Analytic Program of Pedestrian Space Considering Pedestrian Behavior, Railway Journal, 18(4).
 Han M., Choi D., Jeong G., Lee Y. (2010), Overview of the Development of Microscopic Pedestrian Simulation (P-Sim), Journal of Transportation Technology and Policy, 7(2).
 Helbing D., Molnar P. (1995), Social Force Model for Pedestrian Dynamics, Physical Review, 51.
 Lee J., Kim T., Chung J., Kim J. (2016), Modeling Lane Formation in Pedestrian Counter Flow and Its Effect on Capacity, Journal of Civil Engineering, 20(3).
 Shin S., Lee K., Hong W. (2015), Strategies for Vitalizing Mega Complex and Transportation Facilities,

- Railway Journal, 18(4).
- Still K. (2000), Crowd Dynamics, University of Warwick, Coventry United Kingdom.
- SudK A., Andersen E., Curtis S., Lin M., Manocha D. (2007), Real-Time Path Planning for Virtual Agents in Dynamic Environments, IEEE Virtual Reality, Charlotte, N.C.
- Transportation Research Board (2014), Transit Capacity and Quality of Service Manual (4th Edition), TCRP Report 165.