

보행 편의성 분석을 위한 3차원 실내지도 기반의 시뮬레이션 기술 개발*

김병주^{1*} · 강병주² · 유소영³ · 권재현¹

Development of Simulation Technology Based on 3D Indoor Map for Analyzing Pedestrian Convenience*

Byung-Ju KIM^{1*} · Byoung-Ju KANG² · So-Young YOU³ · Jay-Hyoun KWON¹

요 약

정시성이 보장된 도시철도에 대한 수송 의존도가 높아짐에 따라 수송 능력 뿐만 아니라 이용객의 편의성이 중요시 되고 있다. 이에 본 연구에서는 도시철도역사의 개선 및 신규 역사 건설 시 이동속도, 환승거리와 같은 보행 환경을 사전에 정량적으로 평가하기 위한 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터는 3차원 실내지도 저작 모듈과 보행 알고리즘을 수행하는 모듈로 구성되어 있다. 3차원 실내지도 저작 모듈에서는 3차원 공간 모델링, 네트워크 생성 및 평가 결과 표출 등의 기능을 수행하며, 보행 알고리즘에서는 경로탐색, 통행량 배정, 종합서비스 수준 평가 등의 기능이 있다. 이러한 기능의 핵심적인 부분은 공간정보 DB와 동적 통행정보 DB를 유기적으로 연결하여, 전후 상황 등 다양한 시나리오의 적용과 분석을 반복적으로 수행할 수 있다는 점이다. 또한, 향후 시뮬레이터의 활용 방안 제시를 위해 실제 운영 중인 역사를 대상으로 Test-Bed를 구축하고, 역사 통행로의 개선 전·후의 보행 속도를 분석하여 개선 효과에 대한 정량적 지표를 산출하였으며, 향후 추가적인 분석을 위한 DB의 확장 가능성에 대해 논의하였다.

주요어 : 보행 시뮬레이터, 3D 실내지도, 네트워크, 보행 알고리즘, 종합서비스 수준

ABSTRACT

Increasing transportation dependence on the metro system has lead to the convenience of passengers becoming as important as the transportation capacity. In this study, a pedestrian simulator has been developed that can quantitatively assess the pedestrian environment in terms of attributes such as speed and distance. The simulator

2017년 7월 18일 접수 Received on July 18, 2017 / 2017년 9월 8일 수정 Revised on September 8, 2017 / 2017년 9월 11일 심사완료 Accepted on September 11, 2017

* 본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비(17RTRP-B067918-05) 지원으로 수행하였음.

1 서울시립대학교 공간정보공학과 Department of Geoinformatics, University of Seoul

2 (주)메스코 공간정보연구소 Spatial Information Research Division, Masco Co., LTD

3 한국철도기술연구원 교통체계분석팀 Transportation Systems Analysis Team, Korea Railroad Research Institute

* Corresponding Author E-mail : asella80@hanmail.net

consists of modules designed for 3D indoor map authoring and algorithmic pedestrian modeling. Module functions for 3D indoor map authoring include 3D spatial modeling, network generation, and evaluation of obtained results. The pedestrian modeling algorithm executes functions such as conducting a path search, allocation of users, and evaluation of level of service (LOS). The primary objective behind developing the said functions is to apply and analyze various scenarios repeatedly, such as before and after the improvement of the pedestrian environment, and to integrate the spatial information database with the dynamic information database. Furthermore, to demonstrate the practical applicability of the proposed simulator in the future, a test-bed was constructed for a currently operational metro station and the quantitative index of the proposed improvement effect was calculated by analyzing the walking speed of pedestrians before and after the improvement of the passage. The possibility of database extension for further analysis has also been discussed in this study.

KEYWORDS : *Pedestrian Simulator, 3D Indoor Map, Network, Pedestrian Algorithm, Level of Service (LOS)*

서 론

1. 연구의 범위 및 내용

20세기 이후 지속되고 있는 도시의 팽창으로 인해 교통은 도시 기능의 수행에 있어서 가장 중요시되고 있는 분야이다. 특히, 대중교통의 경우에는 도로에 대한 물리적 확장에 제약이 따를 수밖에 없는 실정에서 도심의 원활한 통행을 위해 중요성이 증가하고 있다.

대중교통에서 가장 대표적인 교통수단은 철도(지하철 포함)와 버스라고 볼 수 있다. 서울시 통계에 따르면 2005년 버스와 철도의 수송 분담률이 버스 30.1%, 철도 29.4%로 조사되었으며, 2014년 통계에 의하면 철도가 39%, 버스가 27%로 철도의 수송 분담률이 2005년 조사와 달리 버스의 수송 분담률을 역전하였다.

이러한 현상은 서울시 전체 차량의 평균 통행 속도가 25.7km/h인데 비해, 도심의 차량 평균 통행 속도가 17.4km/h로 도심의 교통 정체가 심한 것을 고려할 때, 향후에도 정시성을 보장하는 지하철의 수송 분담률이 더욱 높아질 것으로 예상된다.

이와 같이 도시철도의 역할이 증대해짐에도

불구하고 서울시 통계 자료인 교통이용만족도를 살펴본 결과, 버스는 2010년 10점 만점에 6.16에서 2015년 6.88로 0.72가 증가하였다. 하지만, 철도의 경우에는 동 기간 6.71에서 7.01로 0.3 증가하는 데 그쳤다.

더욱이 서울시는 도시 철도 역사 개선사업으로 2008년부터 2015년까지 7개역에 대해 약 1,404억원의 예산을 투입했음에도 불구하고 2016년 이용만족도가 2015년도 보다 떨어진 6.71로 나타났다. 이는 예산 투입에도 불구하고 이용자 만족도를 충족시키지 못하고 있다는 현실을 보여주는 것이다.

위의 통계 자료는 많은 예산이 투입되는 사업을 실시하기 전 비용 투입 효과에 대한 사전 예측이 필요함에도 불구하고, 이를 위한 정량적 검증 기술 등의 부족으로 인해 철저한 사전검증 없이 사업을 진행함에 따라 발생한 결과라고 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 도시철도역사의 개선 및 신규 역사 건설 시 이용객의 편의성을 사전에 검증하기 위한 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터의 주요 목적은 도시철도 역사 이용객의 이동속도 향상, 환승거리, 시간 단축 및 교통약자의 이동편의 증진과 같은 이용객 중심의 이

동·환승 편의성 향상 등에 있다.

시뮬레이터의 주요 기능은 도시철도 역사 분석에 필요한 실내 공간데이터를 구축할 수 있는 3차원 실내지도 제작 기능, 연산을 위해 필요한 보행 네트워크 구축 기능, 보행 시뮬레이션을 위한 OD(Origin Destination) 매트릭스 생성 기능, 보행 알고리즘을 적용한 동적 DB 구축 기능과 최종적으로 보행 환경에 대한 종합서비스 수준을 평가하는 기능들로 구성되어 있다.

본 연구에서는 위에서 제시한 시뮬레이터 시스템의 구성, 연산을 위한 기초 자료, 결과 DB의 구성 항목과 주요 기능에 대해 작성하였다. 또한 현재 운영 중인 역사를 Test-Bed로 선정하여 3차원 실내지도와 보행 네트워크 및 OD 매트릭스 등의 정적 DB를 실제 구축하고, 시뮬레이션의 수행 및 결과 분석을 바탕으로 본 시뮬레이터에 대한 활용 방안 등을 제시하였다.

2. 관련 연구 동향

본 연구는 3차원 실내지도 구축을 목적으로 한 플랫폼에 보행 알고리즘을 적용하여 다양한 보행 지표를 산출하고 이를 평가하는 시스템으로써 다양한 분야가 융·복합적으로 구성되어 있다. 따라서 본 연구에서는 이에 대한 관련 연구 분석을 위해 본 연구의 핵심 요소인 시뮬레이션을 위한 3차원 실내지도와 네트워크에 관한 연구 및 보행 시뮬레이션에 관련된 선행 연구를 검토하였다.

1) 실내 공간 정보 구축

당초 3차원 실내 공간 데이터 구축은 3D-Max와 같은 모델링 도구들을 이용하여 단순 모델링하고 이를 활용하는 방법이 실시되었다(Brooks and Whalley, 2005; Wang, 2005; Park *et al.*, 2007). 하지만 이와 같은 단순 모델링은 시뮬레이션에 필요한 공간 분석에 한계가 있다(Park *et al.*, 2007).

이를 해소하기 위한 방안으로 본 연구에서는 3차원 실내공간을 활용한 대피 시나리오 및 실내 경로 탐색을 위한 3D 공간 데이터의 구축

방법을 두 가지로 구분하였다.

첫 번째는 3차원 모델링 자료와 네트워크를 연동하는 방법으로 모델링된 실내 공간의 이동로에 네트워크를 형성하고, 이를 이용하여 경로 탐색 및 대피 시나리오 등을 수행하는 방법이다(Park *et al.*, 2007). 두 번째는 구축된 공간의 속성정보를 활용하여 토폴로지를 형성하고, 이를 이용하여 네트워크를 생성함으로써 처리하는 방법이다(Kim *et al.*, 2008; Hwang *et al.*, 2011).

본 연구에서는 보행 시뮬레이터의 기능 구현을 위한 세밀한 보행경로 구축을 위하여 앞서 제시한 첫 번째 방법을 기반으로 3차원 실내 공간 정보 구축 기술을 개발하였다. 기술 구현은 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용하여 3차원 공간을 구축하고 통로 관련 컴포넌트(복도, 엘리베이터, 에스컬레이터, 계단 등)에 형상뿐만 아니라 속성정보를 부여하여 이를 기반으로 자동으로 네트워크를 생성할 수 있는 기술을 개발하였다.

2) 보행 시뮬레이터

혼잡한 보행시설이나 대규모 복합용도 시설 내의 보행행태 혹은 보행 교통류 모형 개발에 대한 연구는 수십 년간 꾸준히 진행되어왔지만, 타 교통수단과는 달리 매순간 사람의 의사결정에 기반을 두고 발생하는 보행행태 분석 연구의 특성 상 깊이 있는 이론적 연구보다는 다양성에 초점을 맞추고 있다(You *et al.*, 2016).

보행 시뮬레이터는 다양한 범용 프로그램이 국내외 존재하고 있다. 해외 소프트웨어로는 대표적인 VISSIM을 비롯하여 SimWalk, Pedroute/PAXPORT, UAF(The Urban Analytics Framework), SIMPED, SIMULEX, EXODUS, UC-WINROAD 등이 있다. 이러한 소프트웨어는 주로 재난이나 피난 상황에서의 시뮬레이션을 수행하거나 일부 보행환경에서의 시뮬레이션이 가능하지만 국내의 기준과 상이하여 국내 기준으로 재해석해야 하는 문제점이 있다(Jang and Lee, 2012).

국내의 대표적인 보행관련 시뮬레이터로는 P-Sim이 있다. P-Sim은 미시적 보행자 시뮬레이터로써 설계분석 프로그램과 운영분석 프로

그램으로 구성되어 있다. 설계분석 프로그램 (Design-PED)은 환승센터, 크게는 보행공간에 대하여 설계 적정성 분석, 서비스 수준 분석, 배치 적정성 평가를 수행하며, 운영분석 프로그램 (3D-PED)은 보행행태를 반영한 보행자 공간의 효율성 분석, 다양한 상황에서의 미시적 보행 행태 분석이 가능하다(Han *et al.*, 2010).

본 연구에서는 앞서 3차원 실내지도 및 네트워크 구축 플랫폼을 기반으로 국내외 보행 시뮬레이션의 단점을 개선하기 위해서 미시적/거시적 검증 모형을 융합한 하이브리드(Hybrid) 시뮬레이션 모형을 적용하였다. 또한, 정적 DB와 동적 DB의 유기적인 연동을 통해 안정적인 시스템 활용 및 향후 확장성을 고려한 시뮬레이터를 개발하였다.

시스템 개발

1. 시스템 구성

평가 시뮬레이터의 운영 순서는 그림 1과 같이 정적 DB 구축 단계, 경로 선택 단계, 교통 분배 단계, 보행 연산 단계, 동적 DB 구축 단

계, 평가 및 표출 단계로 구성되어 있다.

정적 DB 구축 단계에서는 3차원 실내지도 구축, 네트워크 생성 및 연산을 위한 기초 자료인 OD 매트릭스를 입력한다.

경로 선택 및 통행 분포 단계에서는 K-Shortest Path 알고리즘을 이용하여 대표 경로를 선정하고, OD 매트릭스의 경로별 통행량을 대표 경로의 거리에 반비례로 각 경로에 분배한다.

다음 단계에서는 각 경로와 경로별 통행량을 기반으로 링크별 사용률, 이용폭, 대기 시간 및 보행류에 대한 연산 등을 수행한다. 이를 통해 동적 DB가 구축되면, 최종적으로 종합서비스 수준 등 주요 지표에 대한 평가 결과 산출 및 표출을 한다.

2. 시스템 연계

본 연구에서 개발한 시뮬레이터는 정적 DB 구축 및 평가 결과를 표출하는 모듈과 동적 DB 연산 및 평가 결과를 산출하는 모듈로 구성되어 있어 두 시스템 간 연계가 필요하다.

위의 두 시스템 간 연계는 그림 2에서 보는 바와 같이 3D 실내지도 저작 모듈에서 정적

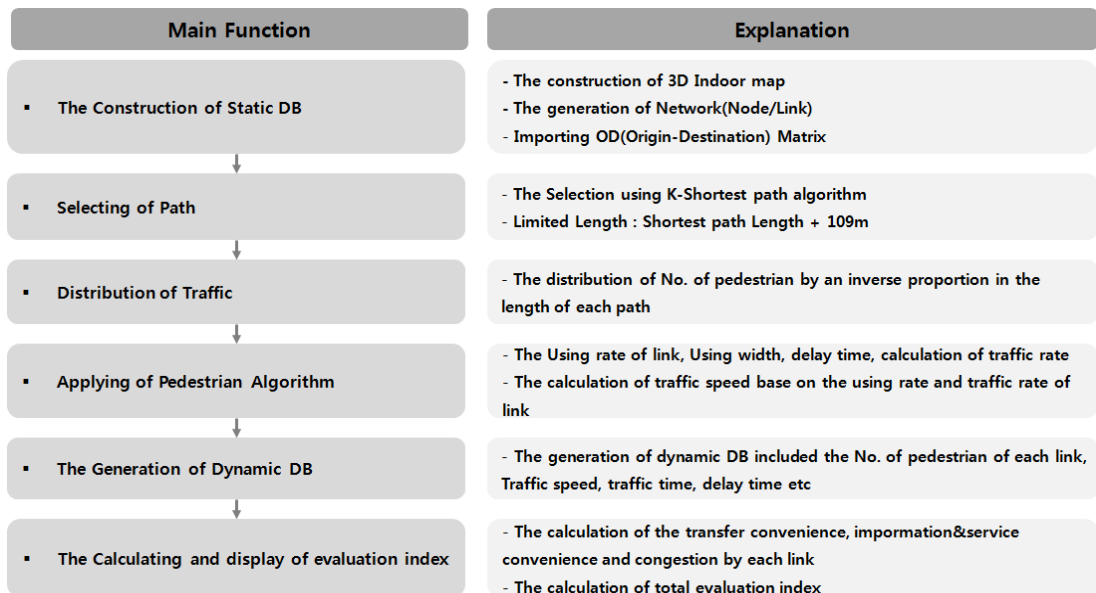


FIGURE 1. The main function and flow of simulator

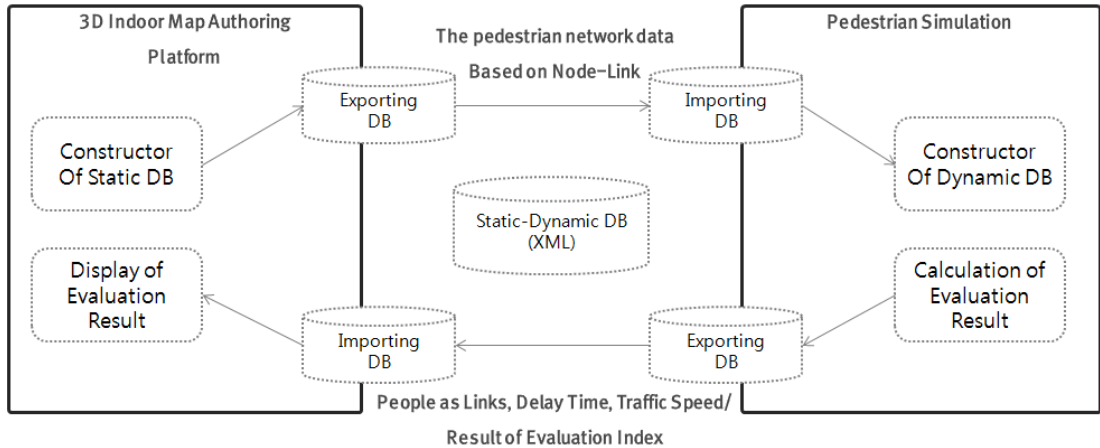


FIGURE 2. The flow chart of relation between interface

DB를 입력하고 보행시뮬레이터 모듈에서 이를 불러오기 한다. 보행 시뮬레이터 모듈은 보행 연산을 통해 동적 DB 및 최종 결과 DB를 생성하여 이를 내보내기 한다.

보행 시뮬레이션 모듈에서 연산한 결과에 대해서는 다시 3차원 실내지도 제작 모듈에서 이를 불러오기 하여, 이에 대한 결과를 표와 그래프로 제공하며, 지도상에 링크별로 색깔을 통해 연산 결과를 구분하여 시각적으로 표출한다.

보행시뮬레이션에서 노드-링크 네트워크 정보를 입력하기 위해 정적 DB 호출 시 3D 실내지도 구축 플랫폼에서 구축된 정적 DB를 XML (eXtensible Markup Language) 포맷 DB로 저장하여 연계하였다.

XML은 플랫폼에 비 의존적이며, 사용자 스스로 확장이 가능하고 복잡구조와 검증 등 SGML (Standard Generalized Markup Language)의 기본 특징을 그대로 지원하며 구현하기도 쉬운 장점이 있다. 이러한 장점으로 사용자가 원하는 대로 태그 세트와 속성을 지정할 수 있고, 새로운 태그 세트를 만들 수도 있는 언어적인 성격이 강하다. 이러한 XML의 성격인 태그의 확장성, 중첩된 구조를 이용한 DB 정보의 표현 가능성, 그리고 자료가 올바른지 검색할 수 있는 검증성을 이용해 이기종 DB 간의 데이터 교환을 손쉽게 할 수 있다(Kim, 2008).

3. 주요 DB 항목

본 시스템의 DB는 앞서 언급한 바와 같이 네트워크 정보와 OD 매트릭스와 같은 정적 DB와 보행 연산을 통해 산출된 동적 DB 및 평가 결과 DB로 구성되어 있으며, 이중시스템을 상호 연계하여 연산을 수행하게 되어 있다.

1) 정적 DB

정적 DB는 노드-링크의 속성 정보로써 기보행자의 이동 지점과 경로의 물리적 환경 등 보행 환경에 영향을 미칠 수 있는 항목으로 표 1과 같이 설계하였다.

노드는 노드 아이디, 기종점 여부, 기종점 이름 및 슈퍼노드 여부 등으로 구성되어 있다.

링크는 링크와 연결된 시종점 노드 정보, 보행 연산에 활용할 수 있는 링크 길이, 폭, 종류, 공간 분류, 방향성, 교통약자 이용 가능 여부, 안내표지판 수 등으로 구성되어 있다.

이러한 정보는 평가지표의 연산을 위한 지표와 연계되며, 향후 평가지표 개선 등이 변경 필요성이 있을 경우 DB의 확장을 통해 손쉽게 이를 반영할 수 있다.

2) 동적 DB

동적 DB는 표 2와 같이 동적 노드 정보, 동적 링크 정보 및 대표경로 정보로 구성되어 있다.

TABLE 1. The attribute of static DB

Type	Column name	Data type	Type	Column name	Data type
Node	NODE_ID	CHAR[4]	Link	LINK_ID	CHAR[4]
	NODE_NAME	CHAR[256]		ST_NODE_ID	CHAR[4]
	COLOR	CHAR[6]		EN_NODE_ID	CHAR[4]
	POS_X	FLOAT		LINK_SEC	CHAR[3]
	POS_Y	FLOAT		COLOR	CHAR[6]
	POS_Z	FLOAT		LINK_LENGTH	FLOAT
	OD_SEC	CHAR[1]		LINK_WIDTH	FLOAT
	CENTROID_ID	CHAR[6]		SPACE_SEC	CHAR[1]
	DIRECTION	CHAR[1]		DIRECTION	CHAR[1]
	-	-		HANDICAP_USE	CHAR[1]
-	-	DT_SIGN_NUM	INTEGER		
-	-	USE_DEFINED	STRING		

TABLE 2. The attribute of dynamic DB

No.	Column name	No.	Column name	No.	Column name
Dynamic node	NODE_ID	Dynamic link	SCORE_SPEED	Representative path	ORIGIN_NODE_ID
	DELAY_TIME		COLOR_SPEED		DESTINATION_NODE_ID
	SCORE_DELAY		DELAY_TIME		ORDER
	COLOR_DELAY		SCORE_DELAY		COLOR
	ALPHA_DELAY		COLOR_DELAY		NON_HANDICAP_NUM
Dynamic link	LINK_ID	FLOW_RATE	HANDICAP_NUM		
	ST_NODE_ID	SCORE_FLOW	PLAN_TRAVEL_DISTANCE		
	EN_NODE_ID	COLOR_FLOW	TRAVEL_TIME		
	DIRECTION	DENSITY	SIGN_NUM		
	NON_HANDICAP_NUM	SCORE_DENSITY	CROSS_NUM		
	HANDICAP_NUM	COLOR_DENSITY	NODE_LIST		
	TRAVEL_SPEED	ALPHA	LINK_LIST		

동적 노드 정보는 각 노드의 대기 시간 등으로 구성되어 있으며, 동적 링크 정보는 이용시작시간, 이용 종료시간, 보행자 수, 대기 시간, 대기 인원 및 통행 속도 시간 등으로 구성되어 있다. 경로별 노드 정보는 각 경로를 구성하고 있는 경로 내 노드정보를 구성하고 있어 대표경로 정보 테이블과 경로별 노드 정보 테이블은 1:N의 관계를 가지고 있다.

대표 경로 정보는 경로를 구성하는 기종점 아이디, 경로를 이용하는 이용자 수, 링크번호, 노드번호 등으로 구성되어 있다.

3) 평가지표 DB

보행 시뮬레이션 연산을 통해 산출된 최종적

인 결과 DB는 표 3과 같이 이동편리성, 혼잡성, 정보제공 편의성과 이를 종합적으로 분석한 종합서비스 수준 테이블이 포함되어 있다.

이동 편리성(Mobility)은 경로 평면환산거리, 통행 시간 및 평가점수로 구성되어 있고, 혼잡성(Congestion)은 보행통행량 및 평가점수, 편리성(Convenience)은 경로 안내표지판 설치 수 및 평가 점수 등 연산에 필요한 지표들로 구성되어 있다. 그리고 LOS(Level of Service)를 나타내는 종합 평가지표(Composite)에는 개별 평가지표인 이동편리성, 혼잡성, 편리성 등이 각각 서열법과 평점법으로 구분되어 최종 결과를 제공한다.

TABLE 3. The attribute of evaluation index DB

Type	Column name	Type	Column name	Type	Column name
Mobility	ORIGIN_NODE_ID	Convenience	ORIGIN_NODE_ID	Composite	COLOR_RANKING_CONVENIENCE
	DESTINATION_NODE_ID		DESTINATION_NODE_ID		RANKING_SUM
	ORDER		ORDER		SCORING_MOBILITY
	PLAN_TRAVEL_DISTANCE		SIGN_MIN		COLOR_SCORING_MOBILITY
	TRAVEL_TIME		SIGN_OPT		SCORING_CONGESTION
Congestion	SCORE	Composite	SIGN_NUM		COLOR_SCORING_CONGESTION
	LINK_ID		SCORE		_CONGESTION
	ST_NODE_ID		RANKING_MOBILITY		SCORING_CONVENIENCE
	EN_NODE_ID		COLOR_RANKING_MOBILITY		COLOR_SCORING_CONVENIENCE
	DIRECTION		RANKING_CONGESTION		SCORING_SUM
	DENSITY	COLOR_RANKING_CONGESTION			
	SCORE		RANKING_CONVENIENCE		

4. 정적/동적 DB 연계 기반 주요 기능 설명

1) 정적/동적 DB 입력 자료 구성

자료 입력 단계는 앞서 언급한, 정적 DB를 구축하는 단계로써 그림 3와 같이 세 단계로 구성되어 있다. 첫 번째는 3D 실내지도 제작 도구를 이용하여 3차원 실내지도를 구축하는 단계이다. 3차원 실내지도 구축은 설계 및 준공 도면과 같은 기초 자료를 이용하여 바닥면 및 벽체 등의 기본적인 공간 구조를 구성하고, 시뮬레이터에서 제공하는 컴포넌트(Component)를 활용하여 역사 내 주요 시설물 및 이동통로 등을 구축한다. 두 번째는, 네트워크를 구축하는 단계이다. 네트워크는 노드-링크로 구성되어 있으며 연산에 필요한 정적인 데이터를 입력하기 위해 필요하다. 노드에는 기·중점명과 지점별 위치 정보와 속성을 포함하고, 링크에는 링크 길이, 링크 폭, 링크의 시설물 분류 등의 정보를 포함한다. 마지막으로 출입구와 승강장에 위치한 기

중점 노드에 유·출입 이용객 정보와 교통약자 비율 등을 설정한 OD 매트릭스를 입력한다.

2) 정적/동적 DB 융합 단계: 대표 경로 선정 및 통행 분포

동적 DB는 정적 DB 자료의 연산과정을 거쳐 나온 결과물을 배분하는 형태로서 주 연산은 대표경로 선정 및 통행 분포 등이 있다. 정적 DB 자료를 통해서 연산되고 경로가 선정되면, 경로 우선순위와 정해진 비율에 따라 OD 매트릭스 값을 각 경로별로 분배한다.

본 시뮬레이터의 대표 경로 선정은 보행 네트워크의 링크 길이를 평면 거리로 환산한 후, K개의 경로를 탐색하기 위해 K-Shortest Path (Yen, 1971) 알고리즘을 적용하였다. 이 때 경로 수는 최단 거리 기준인 +109m를 임계치로 설정하였으며, 이와 관련된 모형 구축 연구 등은 Jung and Chung(2015)와 You *et al.*(2016)에

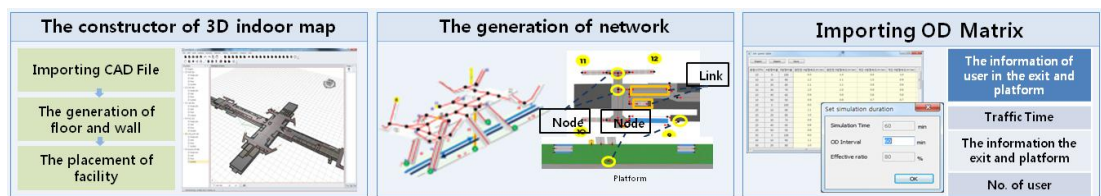


FIGURE 3. The Constructor of Static DB

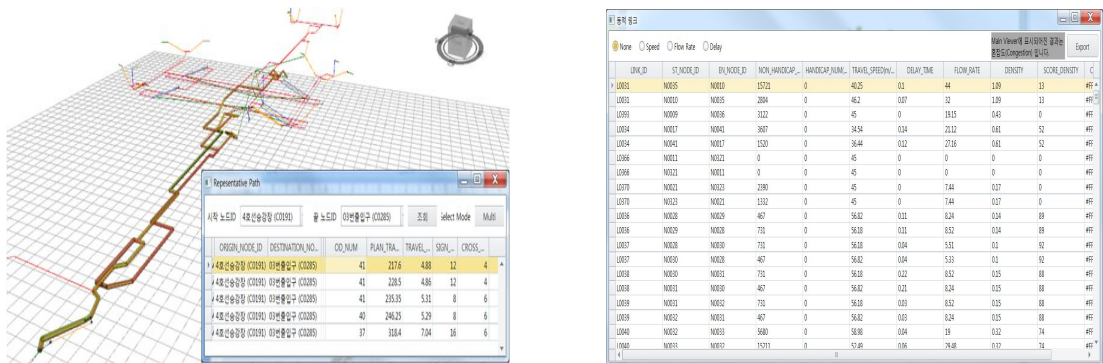


FIGURE 4. Selecting of presentative path and distribution of traffic(left) and the calculation of dynamic DB using pedestrian algorithm(right)

구체적으로 서술되어 있다.

보행 연산을 수행하게 되면 그림 4(왼쪽)과 같이 기종점별 대표 경로가 설정되고 각 경로별로 통행량이 분포된다.

3) 동적 DB 연산 단계: 보행 알고리즘 수행

보행 모델은 교통류 분석(Network Flow), 교통 평가(Traffic Assignment) 등 다양한 분야에서 연구되어 왔다(Ahuja *et al.*, 1993; Kwak *et al.*, 2010). 본 시뮬레이터에 적용한 보행 모델은 하이브리드 보행 알고리즘으로써 Macroscopic 모델과 Microscopic 모델을 혼합한 형태이다. Macroscopic 모델이 개개인들의 개별적 특성을 고려하지 않고 보행자를 노드나 링크에 할당될 수 있는 동질적인 그룹으로 보는 반면에, Microscopic 모델은 개별적인 파라미터와 다른 사람이나 물리적인 환경과의 상호작용을 고려하는 것이다(Helbing *et al.*, 2000; Helbing *et al.*, 2002; Kwak *et al.*, 2010).

보행 연산은 상위 동적 DB에 배분된 자료를 기반으로 연산을 수행하며, 정적 DB의 속성 자료를 활용하여 이를 보정한다. 이를 통해 동적 DB가 보다 구체화되고 다각적으로 분석된다. 수행 결과로 보행 네트워크상의 경로별 이용 비율 및 이용 폭을 반영하여 각 경로의 링크별 대기시간 및 교통류율을 연산한다. 마지막으로 보행 네트워크 방향별 링크의 대기시간과 시설물별 속도 정보를 이용하여 보행 속도 등의 연산

을 통해 그림 4(오른쪽)과 같이 보행 네트워크 링크 단위로 Total Delay, Average Delay, Average Queue, Traffic Speed 등의 속성정보를 연산하여 동적 DB를 구축한다.

4) 평가지표 연산

앞서 제시한 정적/동적 DB를 융합하여 최종적인 결과 DB를 산출하는 단계로써 다양한 방식으로 상위 동적 DB 결과를 처리·분석하며, 연산 결과를 수정·확장할 수 있다. 또한 연산 결과를 정적 DB 속성을 기반으로 재그룹 및 종합화하고 이를 컴퓨터 그래픽 기술을 이용하여 표출한다.

본 단계에서 수행하는 연산의 내용은 「도시철도 정거장 및 환승편의시설 보완 설계 지침」에 따라 그림 5와 같이 ① 경로별 평면환산거리를 기준으로 하는 이동편의성(MobilityIndex) ② 보행통로 및 대기공간의 밀도를 기준으로 하는 혼잡성(CongestionIndex) ③ 환승정보 안내표지판 적정설치기준 등을 기준으로 하는 편의성(ConvenienceIndex) 등 세 종류의 링크별 연산 결과를 제공한다. 마지막으로 세 종류의 지표를 종합적으로 평가한 종합서비스 수준을 평가지표 항목 간 서열법 및 평점법 등의 가중치를 적용하여 계산한다.

시뮬레이터를 활용한 보행 환경 분석

본 연구에서는 시스템의 활용 방안을 제시하

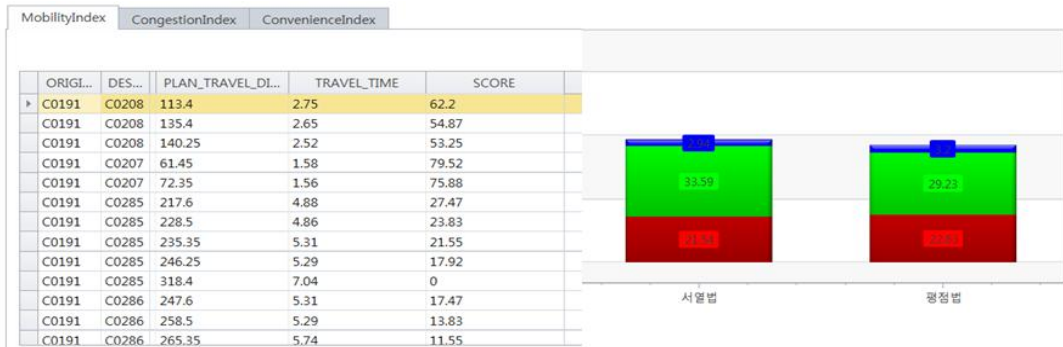


FIGURE 5. The index of evaluation result

기 위해 서울도시철도 2·4호선 환승역인 사당역을 Test-Bed하여 보행 환경을 분석하였다.

Test-Bed로 선정한 사당역의 경우 출퇴근 시간에 혼잡도가 높은 통로에 대해 이를 완화시키기 위해 그림 5와 같이 특정시간대(07:30~09:30, 18:00~19:30)에 임의로 통행로를 차단하고 있다. 이에 본 연구에서는 시뮬레이터를 통해 통행로의 차단 전과 후의 교통 흐름을 비교하여 통행로 차단이 교통 흐름(보행 속도)에 미치는 영향을 분석하였다.

1. 테스트 내용

사당역은 그림 6(왼쪽)과 같이 외부 14개 출입구와 4호선과 2호선 외선과 내선 승강장이 존재하는 환승역사이다. 환승역의 경우 외부로의 유출 및 유입 인구 이외에 환승인원으로 인해 지하철 이용인구가 많은 출퇴근 시간에는 역사가

가 더욱 혼잡하다. 특히 외부와 가까이 연결된 통로와 환승객들이 주요 이용하는 통로가 동일한 경우에는 해당 통로에 대해 혼잡이 가중된다. 이를 해소하기 위한 방법으로 사당역의 경우, 출퇴근 시간에 그림 6(오른쪽)과 같이 임의로 통로를 차단하여 4호선에서 2호선으로 환승하는 승객은 우회하도록 하였다.

본 연구에서는 이와 같이 통행량을 분산시키기 위해 인위적인 경로 차단으로 경로 수를 줄이고, 보행거리를 길게 하는 상황에서 보행 환경이 어느 정도 개선되는지를 시뮬레이터를 통해 분석하였다. 이를 위해 앞서 기술한 시뮬레이터의 평가지표 중 정량화가 용이한 보행 속도를 개선 효과 검증을 위한 지표로써 선정하였다.

2. Test-Bed 구축 및 결과 분석

분석을 위해 Test-Bed에 3차원 실내지도 및

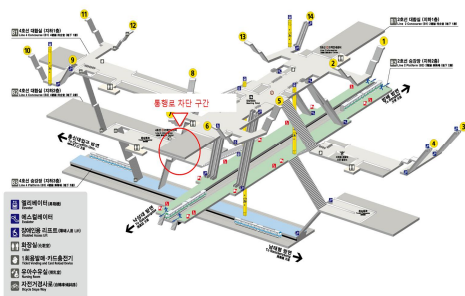


FIGURE 6. The status of Sadang Station(left) and the figure of control gate(right)

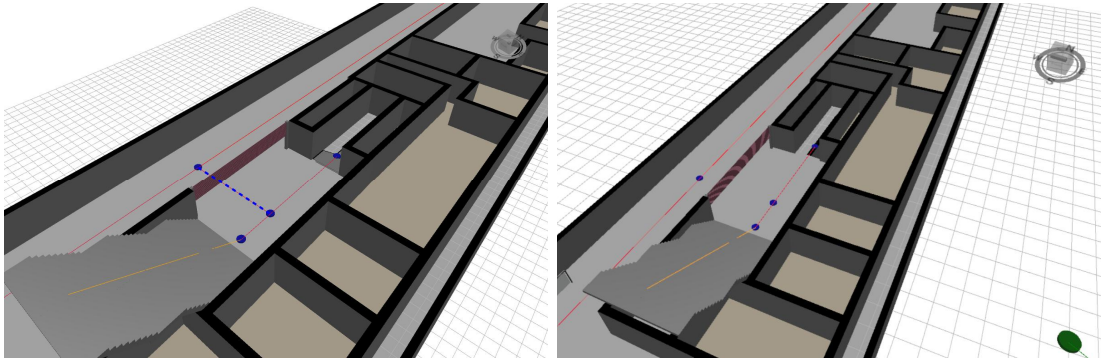


FIGURE 7. Network status of before(left) and after(right) shot down

네트워크를 구축하였으며, 연산을 위한 기초 자료인 OD 매트릭스를 생성하였다. 그리고 보행 연산을 통해 도출된 결과 값을 이용하여 그림 7 과 같이 개선 전·후의 보행 속도를 분석하였다.

1) 3차원 실내지도 및 네트워크 구축

3차원 실내지도의 구축은 사전에 입수한 평면도와 조감도 등을 활용하여 해당역의 주요 구조를 분석하였다. 또한 현장 조사를 통해 시설물의 특징, 배치 상태 파악 및 도면과의 일치성 등을 확인하였다.

네트워크 구축은 구축된 3D 실내지도를 기반으로 주요 컴포넌트의 네트워크 생성·편집 기능을 통해 보행자가 이용하는 통로, 엘리베이터와 에스컬레이터 등에 네트워크를 생성하고, 네트워크의 연결성 검증 등의 오류 검사를 실시하였다.

2) 보행 연산 및 결과 분석

수도권 도시철도역사 스마트 카드 자료 및 게이트별 통과수요를 수집하여 역사 내 OD 매트릭스로 활용하였다. OD 매트릭스는 해당역의 오전 침두시간(출근시간) 5분간의 통행량을 기준으로 50%~150% 범위 내에서 5%씩 조정하여 통행량 변화에 따른 차단 전·후의 보행 속도를 분석하는데 사용하였다.

시뮬레이터를 통한 보행 속도 효과 검증은 그림 7에서 보는 바와 같이 통행로의 차단 전·후로 나누어 OD 매트릭스별로 각각 2회에 걸쳐 수행하였다. 도출된 결과 값을 이용하여 그림 8 과 표 4와 같이 통행로 차단으로 인해 직접적인 영향을 받는 2호선과 4호선 플랫폼 간의 통행 속도를 분석하였다.

본 시뮬레이션의 정확도에 대한 부분은 사전에 시뮬레이션 결과와 실측값을 비교하여, MA

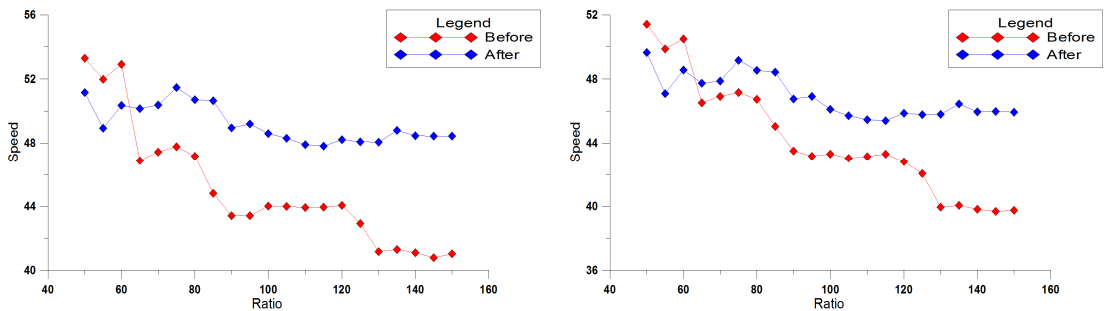


FIGURE 8. The traffic speed analysis of before and after improvement (left:P2 => P4, right:P4 =>P2)

TABLE 4. The traffic speed analysis of before and after improvement

Ratio(%)	P2 ⇒ P4			P4 ⇒ P2		
	Before(m/m)	After(m/m)	Diff.(m/m)	Before(m/m)	After(m/m)	Diff.(m/m)
50	53.29	51.15	-2.14	51.41	49.66	-1.75
55	51.98	48.94	-3.04	49.87	47.1	-2.77
60	52.91	50.36	-2.55	50.5	48.57	-1.93
65	46.89	50.16	3.27	46.52	47.73	1.21
70	47.44	50.38	2.94	46.91	47.86	0.95
75	47.77	51.48	3.71	47.15	49.16	2.01
80	47.17	50.71	3.54	46.74	48.55	1.81
85	44.82	50.66	5.84	45.05	48.43	3.38
90	43.41	48.96	5.55	43.52	46.76	3.24
95	43.41	49.20	5.79	43.17	46.92	3.75
100	44.02	48.61	4.59	43.31	46.12	2.81
105	44.00	48.32	4.32	43.05	45.72	2.67
110	43.93	47.92	3.99	43.16	45.46	2.3
115	43.95	47.82	3.87	43.31	45.4	2.09
120	44.06	48.23	4.17	42.81	45.86	3.05
125	42.92	48.09	5.17	42.07	45.77	3.7
130	41.17	48.07	6.90	39.95	45.8	5.85
135	41.30	48.79	7.49	40.06	46.44	6.38
140	41.10	48.46	7.36	39.81	45.96	6.15
145	40.79	48.45	7.66	39.69	45.98	6.29
150	41.03	48.44	7.41	39.74	45.93	6.19

PE(Mean Absolute Percent Error, %)로 정량화하였으며, 16.85%로 우수한 현황 설명력을 보였다(You *et al.*, 2016).

통행속도에 대한 분석한 결과, 첨두 시간 대비 65% 미만의 구간에서는 통행로 차단으로 인해 기존 대비 이동 속도가 감소하였으며, 65%부터 개선효과가 있는 것으로 분석되었다.

65% 미만에서 보행 속도가 감소하는 것은 혼잡이 없는 상황에서 우회 경로를 이용함에 따라 이동 거리가 증가하여 발생하는 것으로 판단된다. 65% 이상의 구간에서는 우회 경로로 인해 혼잡도가 완화되어 보행 속도가 빨라지며, 통행량이 120%~130% 구간에서는 차단 전의 보행 속도가 급감함에 따라 개선 전후의 속도 차이가 크게 발생하고 있다.

이상의 분석 내용을 기반으로 현재 사당역의 운영 평가 결과, 혼잡 시간대에 통행로를 차단하는 현행 운영 방법은 보행 속도 측면에서 개선 효과가 있는 것으로 예측된다. 또한, 상대적

으로 통행량이 적은 시간에는 정상적인 통행로를 제공함으로써 원활한 보행환경을 제공하고 있는 것으로 나타나 현행 운영 방안이 효율적인 것으로 사료된다.

결론

대중교통은 적은 비용으로 원하는 목적지까지 갈 수 있는 수단으로써 지금까지 인식되어왔다. 하지만 도로의 물리적 확대가 제한적일 수밖에 없는 상황에서 대중교통은 단순히 저렴한 비용으로 이용할 수 있는 운송수단이 아닌 도시의 기능을 원활하게 하고 원만한 경제활동이 가능하도록 하는 원동력이 되고 있다.

이에 본 연구에서는 도시철도를 이용하기 위해 필수적으로 거쳐야 하는 역사 내의 보행 편의성에 대한 정량적 평가 결과를 제공하기 위한 시뮬레이터를 개발하였다.


본 시뮬레이터는 사용자 편의성을 높이기 위

해 정적 DB 구축 측면에서 외부 도면과의 연계 및 실제 도시철도역사에 설치되어 있는 시설물 객체를 컴포넌트 형태로 제공하여 초보자도 쉽게 활용할 수 있도록 하였다. 보행 시뮬레이션 측면에서는 보행 인자에 대해 다양한 파라미터를 제공하여 다양한 환경에 대한 시뮬레이션이 가능하도록 하였으며, 연산은 최종 결과까지 일괄 처리 방식으로 수행할 수 있다.

이로써 누구든지 정확한 기본데이터만 가지고 있다면 역사 설계 및 개선사업 시 본 시뮬레이터를 통해 역사에 대한 보행 편의성 관련 평가 지표를 확인하고 이를 반영할 수 있다.

또한, 본 연구에서는 Test-Bed를 구축하여 통행량 및 공간 구조에 따라 보행 속도의 변화량을 시뮬레이션 해 봄으로써 활용성 제고를 위한 방안을 제시하였다.

본 연구는 시뮬레이션의 정적/동적 DB구축에 초점을 맞추고 있으며, 철도역사를 중심으로 한 정적/동적 DB 뿐만 아니라 다양한 파라미터가 DB로 확장되어 유기적인 연계 체계 하에서 연산이 가능함을 보여주고 있다. 이러한 DB의 견고한 구성은 지속적인 연구를 통해 보행 시뮬레이션 알고리즘 및 평가 기법이 발전되고 있으며, 이러한 방법론은 시스템 상에서 UI 혹은 API기법을 통해 대체가 가능하기 때문에 시뮬레이션의 확장성이 높다. 또한, 역사의 개선사업 및 설계 시 본 연구 결과를 통해 실시하는 타당성 및 적합성 분석은 현 단계에서는 예측 정확도보다는 그 효과가 긍정적이지 부정적인지 예측하는데 의미가 있으며, 신뢰성 있는 DB자료 입력과 정적/동적 DB 연계 자체만으로도 효과적인 결과를 기대할 수 있을 것으로 판단한다.

향후, 본 연구 성과의 신뢰성 확보를 위하여 보행 알고리즘이 개선됨에 따라 수정·보완하고 지속적인 검증을 실시함으로써 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰성은 향상 될 것으로 판단된다. 또한, 확장성 있는 DB 구조로 다양한 분석 결과 활용 및 지표 제언이 용이하다는 점에서 향후 연구가 기대된다. 

REFERENCES

- Ahuja, R.K., T.L. Magnanti, and J.B. Orlin. 1993. Network flows: theory, algorithms and applications. Prentice-Hall, USA. pp.1-2.
- Brooks, S. and J. Whalley. 2005. A 2D/3D hybrid geo-graphical information system. Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Australasia and South East Asia. pp.323-330.
- Han, M.J., D.H. Choi, G.C. Jung, and Y.I. Lee. 2010. Overview of the development of micro pedestrian simulator (P-Sim). Transportation Technology and Policy 7(2):15-29 (한명주, 최동훈, 정기찬, 이영인. 2010. 미시적 보행자 시뮬레이터의 기본 구조 및 개발개요. 교통 기술과 정책 7(2): 15-19).
- Helbing D., I.J. Farkas, P. Molnár, and T. Vicsek. 2002. Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2002:21-58.
- Helbing D., I.J. Farkas, and T. Vicsek. 2000. Simulating dynamical features of escape panic. Nature 407:487-490.
- Hwang, Y.J., W.Y. Koo, Y.K. Hwang, and H.J. Youn. 2011. A development of fire evacuation simulation system based 3D modeling. Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering 25(6):156-167 (황연정, 구원용, 황은경, 윤호주. 2011. 3차원 공간기반의 화재피난 시뮬레이션 시스템 개발. 한국화재소방학회 논문지 25(6):156-167).
- Jang, I.S. and Y.I. Lee. 2012. Analysis program of the development of micro

- pedestrian simulator. Proceedings of the 66th KOR-KST Conference. pp.175-181. (장인성, 이영인. 2012. 미시적 보행자 시뮬레이터의 개요와 외국사례 비교분석. 대한교통학회 2012년도 제66회 학술발표회 논문집. 175-181쪽).
- Jung, R.H. and J.H. Chung. 2015. Analysis of route choice behavior in subway stations. Seoul Studies 16(2):203-214 (정래혁, 정진혁. 2015. 지하철 역사 내 혼잡관리를 위한 통행행태 분석. 서울도시연구 16(2):203-214).
- Kim, G.H., H.Y. Kim, and C.M. Jun. 2008. Developing a 3D indoor evacuation simulator using a spatial DBMS. Journal of Korea Society For Geospatial Information System 16(4):41-48 (김근호, 김혜영, 전철민. 2008. 공간 DBMS를 사용한 3차원 실내 대피 경로 안내 시스템. 한국지형공간정보학회지 16(4):41-48).
- Kim, Y.H. 2008. Delivery company linked system based on XML. Master's Thesis, Korea Univ., Seoul, Korea. pp.9-10 (김영호. 2008. XML 기반 택배사 연동 시스템. 고려대학교 대학원 석사학위논문. 9-10쪽).
- Kwak, S.Y., H.W. Nam, and C.M. Jun., 2010. An indoor pedestrian simulation model incorporating the visibility. Journal of Korea Spatial Information Society 18(5):133-142 (곽수영, 남현우, 전철민. 2010. 가시성을 고려한 3차원 실내 보행자 시뮬레이션 모델. 한국공간정보학회지 18(5):33-142).
- Park, I.H., C.M. Jun, and Y.S. Choi. 2007. 3D-GIS network modeling for optimal path finding in indoor spaces. Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science 25(1):22-32 (박인혜, 전철민, 최윤수. 2007. 건물 내부공간의 최적 경로 탐색을 위한 3차원 GIS 네트워크 모델링. 한국지형공간정보학회지 25(1):22-32).
- Wang, X. 2005. Integrating GIS, simulation models, and visualization in traffic impact analysis. Computers, Environment and Urban Systems 29(4):471-496.
- Yen, J.Y. 1971. Finding the K shortest loopless paths in a network. Management Science 17(11):712-716.
- You, S.Y., R.H. Jung, and J.H. Chung. 2016. An analysis on evacuation scenario at metro-stations using pedestrian movement-based simulation model. Journal of Korean Institute Intelligent Transportation 15(2):36-49 (유소영, 정래혁, 정진혁. 2016. 보행류기반 도시철도역사 평가 시뮬레이터를 활용한 대피 시나리오 분석. 한국ITS학회논문지 15(2):36-49). **KAGIS**