

철도 이용객 정보제공 효과평가 방법론 연구 - 승강장의 혼잡상황을 고려한 Gate Metering 사례 연구 중심으로 -

Study on Methodology for Effect Evaluation of Information Offering to Rail passengers - Focusing on the Gate Metering Case Study considering congested conditions at a platform -

이 선 하* 천 춘 근** 정 병 두*** 유 병 영**** 김 은 지*****
(Seon-Ha Lee) (Choon-Keun Cheon) (Byung-Doo Jung) (Byung-Young Yu) (Eun-Ji Kim)

· Corresponding author : Choon Keun Cheon(Kongju University), E-mail ccken@kongju.ac.kr

요 약

최근 지하철 9호선은 2단계 연장구간의 개통으로 최대 240% 혼잡도를 기록하는 등 지옥철로 불리우며 역사 내 상습 혼잡에 대한 문제점이 지속적으로 야기되고 있는 실정이다. 역사 내 혼잡은 이용객의 불쾌감 유발과 철도 운영 효율성을 저하시키는 요인이 되고 있다. 본 연구는 이러한 철도역사 내 상습혼잡 해소를 위해 철도 이용객 정보제공의 효과평가 방법론을 정립하고자 하였으며, 효과평가 방법론 중 승강장의 혼잡상황을 고려한 Gate Metering 사례 연구를 진행하였다. Gate Metering을 접목시킨 Micro Simulation 및 Pedestrian Simulation Tool을 선정하여 열차의 혼잡도별 Metering 효과분석을 시행하였으며, 그 결과 Gate Metering 시행 시 혼잡도별 승강장의 서비스 수준 및 보행밀도가 개선되는 것을 확인하였다. 승강장에서 Metering을 실시 할 경우 플랫폼 대기 공간 내 혼잡도 조절 가능성이 있다고 판단한 것이다. 따라서, 본 연구를 통하여 철도역사 내 이용객 혼잡도 관리를 위한 정보제공 효과평가 지표 수립 및 프로그램을 통한 이용객 정보제공 효과평가 방법론 정립이 가능하다는 것으로 판단되었다.

핵심어 : 철도 이용객, 혼잡도, 효과평가, Gate Metering, 미시적 모의실험, 보행자 모의실험

ABSTRACT

Recently, Subway Line No. 9, described as a 'hell-like' subway for its recorded load factor of max. 240% due to the opening of the 2nd phase extension section, has been causing problems of recurrent congestion in a subway station building. A recurrent congestion in the station building becomes a factor to offend rail users and to reduce the efficiency of railway management. This study aims to establish the methodology for effect evaluation of information provided to rail users, and conducts a gate metering case study considering the congested conditions at a platform among the methodologies for effect evaluation. The metering effect evaluation by load factor was conducted through selecting the micro simulation and pedestrian simulation tool grafting a gate metering. As a result, it was confirmed that, if gate metering is performed, the service level and pedestrian density of a platform by load factor would improve. In other words, if metering is conducted at a platform, it is possible to control the load factor in the waiting space of a platform. Therefore, it was judged through this study that it is possible to set up the index for effect evaluation of information provided to manage congestion of rail users, and establish the methodology for effect evaluation of information provided to rail users through a program.

Key words : Train Passengers, Congestion, Evaluation of effect, Gate Metering, Micro Simulation, Pedestrian Simulation

† 본 연구는 철도기술연구사업 “철도 이용객 중심의 정보제공 기술개발” 과제(14RTRP-B086284-01) 지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 : 공주대학교 건설환경공학부 교수

** 교신저자 : 공주대학교 건설환경공학과 박사과정

*** 공저자 : 계명대학교 교통공학과 교수

**** 공저자 : (주)건화엔지니어링 교통계획부 차장

***** 공저자 : 공주대학교 도시·교통학과 석사과정

† Received 16 April 2015; reviewed 12 May 2015; Accepted 18 May 2015

I. 서 론

최근 지하철 9호선은 2단계 연장구간(신논현역~종합운동장역)을 개통하며 서울강남권을 관통하는 이른바 황금노선의 완성을 이루고자 하였으나, 연장구간의 개통으로 강남지역의 유입이 늘어나 9호선의 혼잡도가 극에 달해 최대 240% 혼잡도를 기록하며 지옥철로 불리우고 있는 실정이다.

해당 구간은 주거시설이 밀집된 강서권에서 강남권의 상업시설로 출퇴근 하고자 하는 이용객의 수요가 급증하며 혼잡도 과다가 발생하여 역사 내 혼잡 문제가 지속적으로 야기되고 있는 실정이다.

이러한 역사 내 혼잡은 비단 지하철 9호선의 문제만이 아닌 모든 주요 철도노선의 첨두시에 발생하는 교통난 문제로 시사되고 있으며, 지속되는 상승혼잡은 이용객들의 불편감을 유발하며 본질적인 철도 운영 효율성을 저하시키는 요인이 되고 있다.

현재 국내에서는 철도 이용객 실시간 상황정보를 위해 실내 측위 기술 개발을 통한 철도 이용객 위치정보 및 혼잡도 관리 등의 실시간 상황정보의 제공에 대한 연구가 진행 중에 있다.

이처럼, 철도 역사 상승혼잡의 해소를 위해서는 철도 이용객에게 혼잡정도를 사전 제공하여 이용객의 의사결정을 지원하며, 미터링 기법을 통해 역사 내 혼잡도를 유지할 수 있도록 수요를 조절하는 철도 이용객 정보제공 시스템의 구현이 필요하다.

이와 동시에 철도 이용객 정보제공에 대한 효과평가를 통해 해당 시스템의 신뢰성을 검증하는 것이 필수적이며, 검증된 시스템을 통한 효율적인 역사 운영이 가능하도록 하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 철도 이용객이 겪는 상승혼잡을 억제하기 위해서는 철도 이용객 정보제공이 필요하며, 이와 더불어 정보제공의 효과평가를 검증하는 일련의 과정이 중요한 요점이라고 판단하였으며, 이를 위해 지하철 8호선 강동구청역을 대상으로 역사 혼잡도 관리를 위한 Gate Metering 기법과 정보제공 효과평가 방법론을 반영한 시뮬레이션을 구축 및 분석하여 승강장의 혼잡 완화를 통한 철도 역사 운영 효율성 향상을 목적으로 한다.

II. 이론적 고찰

1. 철도 이용객 정보제공 효과평가에 대한 고찰

이용객 정보제공 효과평가에 대한 선행연구 고찰에는 기존 알고리즘을 활용하여 이용객의 요구조건을 실제 네트워크에 추가·대입하여 검증한 선행연구와 개발된 알고리즘을 기존 경로탐색 알고리즘의 비교를 통해 알고리즘을 효과 평가한 선행연구를 구분하여 조사하였다.

Sutapa Samanta 외 2명(2005)은 Arc GIS 프로그램을 활용하여 철도역사 위치 선정에 필요한 요소(통행비용, 건설비용 등)를 포함하여 철도역사 위치의 최적화 장소 선정 알고리즘을 개발하였다. 이도영(2007)은 GIS기반 길안내 정보시스템에서의 효율적인 최단경로탐색 알고리즘을 3가지 항목(최단경로, 노드 탐색 횟수, 우회경로)에 기반하여 Dijkstra 알고리즘과 비교 검증을 하였다.[1] 신성일 외 3명(2008)은 수도권 도시철도망에 알고리즘을 적용한 연구로서 기존 K경로 탐색 알고리즘에 이용객의 요구조건(환승시간, 대기시간, 혼잡도 등)을 구축하여 대안 경로 정보를 제공하였다.[3] 김응철 외 2명(2011)은 Visual C# 프로그램에 수도권 전철망을 노드와 링크의 네트워크를 구축하여 교통약자의 통행에 영향을 미치는 요소(시설물, 보행속도 등)를 제약식으로 반영한 링크기반 다수경로 탐색 K-path 알고리즘을 개발하였다.[4] Tim Soethout(2012)은 Train Schedules를 사용하여 기존의 다양한 경로탐색 알고리즘, Dijkstra 알고리즘, Bellman-Ford, K-Shortest Paths를 비교하였다.[5]

일본(2010)에서는 철도 이용객의 다양한 대안 실험 목적으로 Smart Station을 사이타마 현에 실제 역사와 같은 시설물, 장비 및 공간을 설치하였다. 실제 역사에서는 실험할 수 없는 이용객의 통행 특성이 다른 장소(매표소, 개찰구, 중앙 홀, 계단 및 플랫폼)에서 이용객의 행동 흐름 등 전반적인 평가를 증명할 수 있는 실험을 수행 중에 있다.[6] 한국철도공사(2013)에서는 고객만족도 제고 및 향후 Application의 지속성과 최적화를 모색하고자 문헌

연구와 실증적 연구를 병행하였으며 통계학 프로그램인 SPSS 15.0의 기능 중 하나인 T-test 신뢰도 분석을 통하여 서비스 만족도 평가 방안을 제시하였다.[7]

2. 철도 이용객의 평가지표에 대한 고찰

철도 이용객의 보행자 행태 분석을 위하여 보행자 평가지표 산정에 관한 기존연구를 조사하였다.

John J.Fruin(1971)은 보행공간 및 보행서비스를 인체 치수로서의 인체 타원(Body Ellipse)과 개인공간으로서의 완충공간(Body Buffer Zone), 보행동작에 필요한 공간으로 설명할 수 있다고 하였다. 보행동작에 필요한 공간은 크게 보폭대(Pacing Zone)와 지각대(Sensory Zone) 두 가지로 생각할 수 있는데 보폭대는 발을 놓기 위해서 필요한 공간으로서 보행자의 연령, 성별, 신체조건 등에 의해 다르며 보행속도와 비례함을 제시하였다.[8] Pushkarev와 Zupan(1975)는 보도에 대한 현장조사를 실시하여 보행교통류의 거시적 지표관계가 차량 연속교통류의 거시적 지표관계와 유사함을 도출하였다.[9] 김정현(2002)은 보행자 시설 중 계단과 대기공간에 대해 공학적으로 합리적인 분석방법을 제공하기 위해 계단의 경우 보행교통량을 대기공간의 경우 1인당 점유면적을 효과적으로 제시하였다.[10] 오석문(2005)은 승·하차 시간에 대한 정확한 분석이 노선의 신설 및 개량사업의 경제적 타당성 조사에 필수적인 항목임을 주장하고 승·하차 시간에 대한 분석 결과가 경제적 타당성 평가에 활용되는 예시를 제시하였다. 특히 승하차 승객의 수가 많을수록 정차 시간은 승하차 시간에 좌우된다는 분석결과를 도출하였다.[11] 구석모(2006)는 CA 이론을 이용한 지하철 역사에서의 보행자 모형개발에서 KHCM(한국교통용량편람)의 서비스수준에 따른 보행교통류율을 이용하여 임의의 지하철 역사 네트워크를 각 공간별로 시뮬레이션으로 분석하였다. 그 결과 승강장의 경우 하차승객을 대상으로 분석하였을 때 밀도나 속도면에서 전반적으로 KHCM(한국교통용량편람)에 비해 혼잡이 없는 것으로 분석되었다.[12] 윤

태관(2008)은 지하철에서 하차한 보행자들이 환승통로 접근부에서 병목 현상을 경험한다는 점에 착안하여, 대기행렬이론을 적용한 서비스수준을 분석하였다. 그 결과 보행 교통류율, 밀도, V/C 등 모든 서비스수준 지표들을 분석한 결과에서 기존 방법론으로 분석한 지하철 환승통로의 서비스 수준은 과대평가 되었음을 제시하였다.[13]

3. 시뮬레이션을 활용한 효과평가에 대한 고찰

철도 역사 내·외의 이용객에게 보행자 행태 분석을 위해서는 기존에 보행 및 공간 시뮬레이션을 활용한 사전 연구와 다양한 방법론 및 수학적 모델 기반의 시뮬레이션 적용 연구를 고찰하였다.

PG Gipps(1985)는 보행자 시뮬레이션을 활용하여 목적지에 근접할수록 점수가 높아지는 움직임 분석하였다.[14] 박인혜 외 1명(2009)은 실내공간에서의 시간 가변적 최적경로 탐색으로 대피 시뮬레이션을 활용하여 시공간 데이터를 적용한 최적경로산출 알고리즘을 JAVA 개발환경의 경로탐색 시스템에 구축하여 Feed-back 반복 진행으로 알고리즘을 평가하였다.[15] 장성민 외 2명(2010)은 Netlogo 프로그램을 활용하여 유형별 행위자를 구분하고 Random 횟수 변경으로 반복 실험을 분석한 값과 모의조사를 통한 조사값을 비교하였다.[16] 김주영 외 3명(2011)은 미시적 보행시뮬레이션인 Simwalk를 활용하여 보행환경 개선 대안을 설정하여 현실과 유사한 환경을 구축 후 대상지의 조사값과 시뮬레이션의 분석값인 보행밀도-보행량 분포 및 보행자 LOS(Level of Service)를 비교 분석하였다.[17] 이재길 외 1명(2013)은 Dynamic Simulation Model을 활용하여 보행자 마찰지표 산정에 보차 혼용도로의 보행자 행태분석, 행태 별 계수 산출 후 모의실험을 통한 효과적도 분석으로 보행자 마찰지표(보행량, 점유공간, 보행밀도, 보행속도 등)를 비교하였다.[18] 김완희 외 1명(2014)은 위치추적 시뮬레이션에 베이지안 추적기법과 WLAN 전파 모델을 분석하여 AP위치 변경에 따른 반복계산으로 오차 성능을 분석하였다.[19] 안태기 외 1명(2013)은 보행자

시물레이션을 활용하여 비용 및 환산비용이 포함된 알고리즘 수행결과로 Tago에서 제공되는 결과값과 비교하였으며, 대중교통 수단을 포함한 통합 알고리즘을 개발 및 평가하였다.[20]

4. 기존 시물레이션 검토

기존 보행자 행태분석에는 관련 모형을 이용한 다양한 Micro Pedestrian Simulation의 기술을 활용하여 국내·외 분석 프로그램이 활용되었으며, 각 프로그램은 세계 각국의 교통상황 및 보행자의 특성에 맞는 수학적 모형식과 이론 및 방법을 지원하고 있어 다소 S/W간의 차이점이 나타나고 있다.

<표 1>은 철도 이용객 정보제공 효과평가를 위한 활용 도구로 보행자 시물레이션을 사용하기 위하여 프로그램 비교 검토를 하였다.

1) VISWALK(독일)

보행자 모형인 Social Force Model을 기초로 활용한 Micro Pedestrian Simulation으로 개별 보행자의 특성 분석이 가능하고 실제와 유사한 환경을 시물레이션에 구현도 가능하다. 또한 Traffic Flow Simulation인 VISSIM과 상호연동 기능이 탑재 되어 있어 교통 수단과 보행자 분석이 가능한 프로그램이다.

2) EXODUS(영국)

화재 발생 시 사람과 사람, 사람과 화재 및 사람과 구조물 간의 상호작용을 고려한 재난 대피 시물레이션으로 CAD도면을 Export 할 수 있어 실제 설계된 건물을 프로그램에 반영이 가능하다.

3) Grid Flow(영국)

격자형 구조인 Grid맵을 활용하여 보행자의 시작점과 도착점을 설정 후 이동시간에 대한 분석과 공간밀도에 근거한 속도감속이 고려된 프로그램이다.

4) SIMULEX(영국)

영국에서 개발된 재난 대피 프로그램으로써 CAD File을 활용한 Basemap 구축으로 보행자 개별적 통행 움직임을 사람 간 이격거리와 속도로 분석을 할 수 있다.

5) NAGATO(한국)

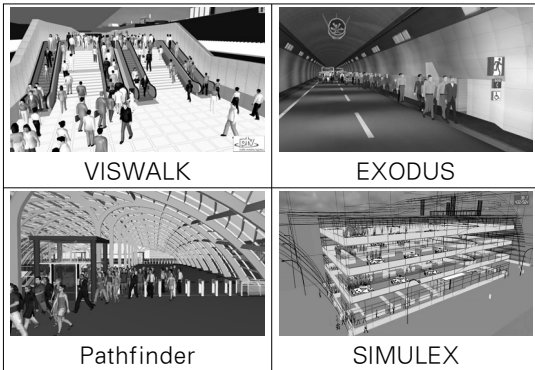
한국에서 개발된 보행자 프로그램으로 2D GIS 기반과 3D Soild 기반 가시화 구조로 가시맵, 유도 등 보행자 별 보행속도와 이격거리 분석이 가능한 부분적 행동모델 보행자 프로그램이다.

<표 1> 보행자 시물레이션 비교
<Table 1> Comparison of pedestrian simulation

Section	VISWALK	EXODUS	Grid Flow	SIMULEX	NAGATO	Pathfinder
Nation	Germany	England	England	England	Korea	USA
Modeling method	Behavior model	Behavior model	Partial behavior model	Partial behavior model	Partial behavior model	Partial behavior model
Structure	2D Link Network 3D Soild	node & arc based network	Grid structure	Grid structure	2D GIS DATA, 3D Solid	Network structure
Model point of view	Passing Speed, Reaction time, Individual & clustered	Sex, Age, Pedestrian Speed, Reaction time	Start point, Outlet direction, Travel time	Individual Motion	Pedestrian Speed Distance	Clustered Motion
Pedestrian movement characteristic	Consider the physical movement of Individual pedestrians	Consider the physical movement of pedestrians	Consider deceleration speed based on the space density	Calculation of speed for separation between human beings	Consider tracking instinct	Consider deceleration speed based on the space density

6) Pathfinder(미국)

Pathfinder는 미국의 Thunderhead Engineering에서 개발한 대피 시뮬레이션 프로그램으로써, GUI(Graphical User Interface)를 제공하며 2차원과 3차원 공간 표현이 가능하다. 개발된 공간에서의 이동속도는 재실밀도에 영향을 받으며 제시된 밀도 범위 안에서 프로그램이 작동하는 특징이 있다.



<그림 1> 보행자 시뮬레이션 3D 화면
<Fig. 1> Pedestrian Simulation 3D screen

5. 기존 연구와의 차별성

기존 연구 고찰 결과, 각 보행자 행태에 대한 세밀한 현장 자료의 수집 미흡과 시뮬레이션 반복 횟수 및 Calibration의 부족으로 시뮬레이션을 활용하여 효과를 평가하기보다는 다양한 알고리즘을 시뮬레이션에 적용하여 결과값을 도출하는 것에 그쳤다. 따라서, 세밀하고 현실적인 보행공간에 대한 표현과 보행공간의 다양하고 미세한 보행 공간 변화의 효과분석이 부족하고 철도 이용자의 안전과 혼잡도 관리 방안 또한 미비한 것으로 판단된다.

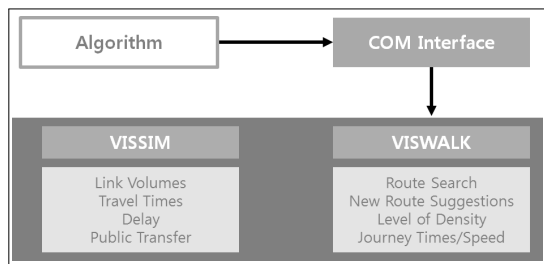
위와 같이 기존 연구의 한계점을 바탕으로 본 연구는 철도 이용자의 정보제공 효과평가를 위하여 기존 연구와의 차별성을 제시하고자 한다. 첫째, 본 연구는 현실과 유사한 환경을 시뮬레이션을 통해 구축이 가능하다. 둘째, Micro Pedestrian Simulation을 이용하여 최적경로 및 실시간 공간밀도 확인을 통한 우회 경로 제공 분석이 가능하다. 셋째, 다양

한 대안(보행자 행태 및 그룹 별) 설정을 통한 효과 분석이 가능하며 평가항목별 효과분석이 가능하다. 넷째, 보행자 분석 결과로는 보행지표(지체시간, 속도 등) 정도만 가능하였지만, 본 연구에서 제시되는 보행지표 분석과 COM Interface를 활용하여 정보 안내 알고리즘을 통하여 분석이 가능하다. 다섯째, 보행지표를 활용하여 반영 전/후 분석이 가능한 분석 지표(보행밀도, 보행자수, O/D간의 통행시간, 통행속도, 특정 장소의 LOS, 공간의 전/후의 밀도 비교)를 VISSIM과 VISWALK는 교통류와 보행자 시뮬레이션 연계가 가능하여 타 교통수단과의 연계를 통하여 환승체계의 알고리즘 검증도 가능하다.

III. 이용자 정보제공 효과평가 방법론

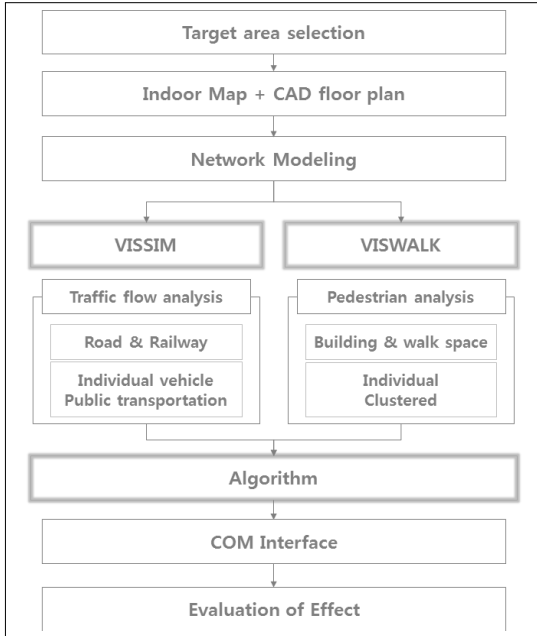
1. 효과평가 방법론

철도 이용자 정보제공 효과평가를 위하여 대상지의 실내지도 및 CAD도면으로 Network Modeling을 실시한다. VISSIM에서 역사 외 개별교통과 대중교통(지하철, 기차, 버스, 택시 등) Network 구축 후 VISWALK에서 현장조사를 통한 보행자 이동경로 비율 및 보행자 수 등을 입력한다. 외부 프로그램(Visual Basic, C+, C++, JAVA)에서 구축된 보행자 기반 정보 제공 알고리즘을 다음 <그림 2>의 COM Interface 흐름으로 효과 평가 및 검증을 실시하게 된다.



<그림 2> VISSIM COM Interface 흐름도
<Fig. 2> VISSIM COM Interface flow chart

본 연구의 이용자 정보제공 효과평가 방법론 흐름도는 다음 <그림 3>과 같다.



〈그림 3〉 이용자 정보제공 효과평가 흐름도
 〈Fig. 3〉 Users provision of information evaluation of effect

2. 승강장 혼잡도 관리 방법론

1) Metering 방법론

승강장의 혼잡도는 열차의 정차시간과 밀접한 관계를 이루고 있으며, 철도 승객의 대부분은 주로 습관적으로 기존에 이용하던 차량을 이용하게 되는데, 이로 인해 각 차량들 간 서로 다른 승·하차 시간이 발생하여 전체 수요가 용량보다 적은 경우에도 열차의 정차시간이 지체되는 경우를 발생시킬 수 있다.

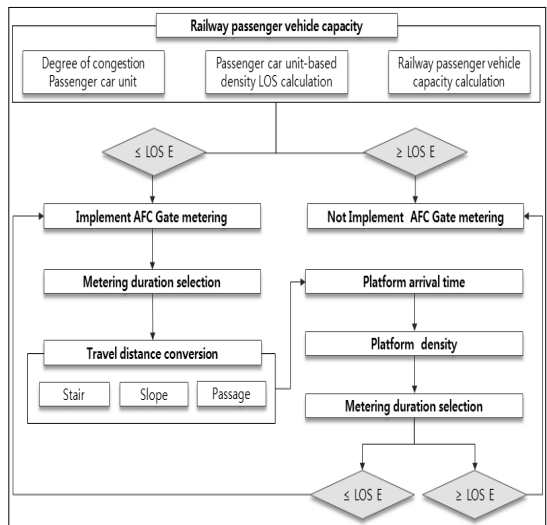
승강장의 혼잡도를 조절하기 위한 Metering 방법은 열차의 혼잡도를 측정하여 열차에 탈 수 있는 탑승가능인원을 파악하고 이를 기반으로 역사의 자동요금수납기(AFC)에서 진입제어를 실시하여 대기하는 승객의 수를 제어하는 것을 기반으로 한다.

Metering 기법은 승강장 서비스 수준 조절을 통한 철도이용서비스 편의를 증대하는데 그 목적이 있으며, 이를 위해서는 국내 실정에 맞는 승강장 Metering 실시 기준이 수립되어야 한다. 현재 국내

에는 승강장 혼잡도를 규정하는 서비스 수준에 대한 규정이 없으므로 도로용량편람의 혼잡상태 기준인 서비스수준 ‘E’를 준용하여 방법론을 수립하도록 하였다.

본 연구에서는 이를 기반으로 <그림 4>와 같은 Metering 관리 흐름 전략을 제시하며 정차시간에 영향을 미치는 주요인들의 상관관계 및 도로용량편람에서 제시하는 혼잡도 서비스수준 평가 근거에 따라 다음과 같은 가설을 설정하였다.

- 가설1 : 열차 내 혼잡도를 측정하여 Gate Metering을 실시하게 되면 승강장의 혼잡도 또한 줄어든다.
- 가설2 : 승강장 내 서비스 수준이 E 이상일 때에도 Gate Metering을 실시한다.
- 가설3 : 하차인원은 승강장의 서비스 수준에 영향을 미치나 대기인원이 아닌 이동 인원이므로, 승강장의 서비스 수준 산출시 승차인원만을 이용한다.
- 가설4 : 열차 량당 최대 탑승인원은 최대혼잡도 (270%) 수용인원을 기준으로 한다.



〈그림 4〉 승강장의 혼잡관리 흐름도
 〈Fig. 4〉 Congestion Situation in the Platform flow chart

2) 열차 내 혼잡도 조절을 위한 수용인원 산정

열차 내 혼잡도는 승강장의 혼잡도와 밀접한 관계가 있으므로 열차의 탑승 가능인원 산정과 열차별 재차인원을 산정하여야 한다. 이는 열차의 혼잡도를 측정하기 위한 방법인 승·하차 이용 데이터를 활용하여 산출할 수 있으며 산출 방법은 식 (1)과 같다.

$$P_A = P_T - P_C \quad (1)$$

여기서,

- P_A = 열차 내 탑승 가능인원
- P_T = 열차 총 수용인원
- P_C = 열차 재차인원

3) 열차 내 탑승 수용인원에 따른 Metering 지속시간 산정

열차 내 탑승 가능인원이 산정이 된다면 Metering 실시 여부에 대한 판단이 가능하게 되며, 이때 통행배분의 신뢰도 증진을 위해서 역사 내 계단 및 경사로에 대한 거리를 평면 환산거리로 변환하여 Metering 지속시간을 산정해 주어야 한다.

평면환산거리가 산출되면 이동거리에 따른 승강장 도착시간을 산출하고 승강장 도착시간을 반영한 Metering 지속시간을 산정한다. 이동거리에 따른 승강장 도착시간 산출 방법은 식(2)와 같다.

$$T = l_T \times W_E \quad (2)$$

여기서,

- T = 이동거리에 따른 승강장 도착시간
- l_T = 평면 환산이동거리
- W_E = 보행자 보행속도(m/분)

3. 평가지표

외부 컴퓨터 프로그램에서 구축된 알고리즘을 COM Interface 기능을 통하여 VISSIM & VISWALK 프로그램에 접속시켜 알고리즘의 효과를 분석 및

〈표 2〉 시뮬레이션 평가지표
〈Table 2〉 Simulation Evaluation items

Evaluation items	
VISSIM	Link Volume
	Travel times/speed
	Delay times
	Public Transfer
VISWALK	Journey times/speed
	Interchange times
	Levels of density
	Queuing times/densities
	Routing analysis
	Data Collation
	Route Search

검증이 가능하다. 이때 VISSIM에서는 교통량, 통행시간, 통행속도, 지체시간, 환승체계 등과 VISWALK에서는 보행자 통행시간 및 통행속도, 분기점 통행시간, 보행밀도, 대기시간 및 대기밀도, 경로탐색 등의 평가지표와 시나리오별 전/후의 효과 평가 분석이 가능하다.

IV. 사례 연구

1. 대상지 선정 및 모형 구축

1) 대상지 선정

서울도시철도공사에서 운영하는 8호선의 강동구 청역은 최근 이용객이 증가하는 추세를 보이며 출·퇴근시간대인 오전·오후 침두시 혼잡을 일으키는 8호선의 주요 역사 중 하나로 혼잡관리가 필요한 역사라고 판단되어 해당 역사를 대상지를 선정하였다.

2) 평가 프로그램(VISWALK)

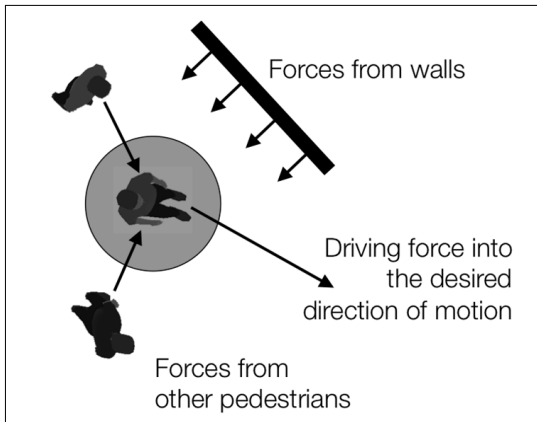
VISWALK는 독일의 PTV사에서 개발한 보행자 시뮬레이션으로 Microscopic-Simulation으로 실제 환경과 유사하게 시뮬레이션에 구축이 가능하며 환승수단 분석이 가능한 VISSIM(Traffic Mirco Simulation)과의 상호 호환성이 높은 것이 특징이며, 통합 교통 계획 및 보행자의 흐름 관리에 적합한 모델이며 실내 및 실외 환경에 대한 사람의 보행행태에

대한 요구 사항 반영 및 분석이 가능한 보행자 프로그램으로 본 연구의 효과평가 방법론 제시를 위한 프로그램으로 선정하였다.

3) 평가프로그램 보행자 모델

본 연구에서 사용된 프로그램의 보행자 행태 모형은 **Social Force Model**을 사용하였으며, 3가지 자연적인 현상에 따라 보행자의 형태를 묘사한다.

- 현상1 : 보행자는 최단경로를 선택한다.
- 현상2 : 보행자는 성별, 연령, 장애 등 개인적특성이 반영된 개인별 속도로 움직이며, 이는 가우스 분포를 따른다.
- 현상3 : 보행자는 사람들 간의 거리를 유지하며 이동하며 이는 보행 밀도와 속도에 따라 정해진다.



〈그림 5〉 VISWALK Social Force Model 개념도
 〈Fig. 5〉 Conceptual diagrams of VISWALK Social Force Model

4) 모형구축

VISWALK를 이용한 보행공간의 설계 및 보행행태분석은 <표 3>과 같은 순으로 진행이 된다.

우선적으로 **Network Modeling**이 가능하도록 현장 조사를 실시하여 기초데이터 및 수단 선택비율에 대한 정보를 수집하고 **Basemap**은 분석 공간에 대한 CAD 파일을 이용하여 작성을 한다.

기초데이터 및 수단선택은 현장조사 데이터를

가공하여 해당 정보에 맞게 입력하며, 개별 보행자 경로선택 시 기존 **O/D(Origin/Destination)**를 **Static Route**(정적경로)로 구축 후 2가지의 경로선택 기능 (**Partial Route** : 우회경로, **Dynamic Potential** : 최단 및 최적 경로)을 통하여 현실적인 보행특성 구현이 가능하다.

마지막으로 승강장, 계단 등의 분석지역 설정으로 해당 구간의 지체시간, 밀도, 서비스 수준 등 다양한 분석결과를 얻을 수 있다.

〈표 3〉 VISWALK 분석 흐름도
 〈Table 3〉 VISWALK analysis flow chart

Site investigation	<ul style="list-style-type: none"> • The volume of Pedestrian • The volume of get on and off of each transportation • Movement patterns of Pedestrian
Build Basemap	<ul style="list-style-type: none"> • Build walking environment using "Area" • Build obstacle area using "Obstacle"
Input Basic data	<ul style="list-style-type: none"> • The volume of Pedestrian in research area • Input the interval each transportation
Mode Choice	<ul style="list-style-type: none"> • Setting transportation rate such as walk, bus, subway, taxi, etc
Select Path	<ul style="list-style-type: none"> • Static Route : Build basic O/D network • Patial Route : Select the alternative paths to analysis which is the characteristic of region • Dynamic Potential : Select the shortest and best route based on the passage of time
Analysis zone	<ul style="list-style-type: none"> • Settings Analysis area using Zone
Analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Analysis of each Zone's delay time, density, average speed, service level and etc.

2. 시나리오 설정

1) 분석 기초자료 정립

도시철도 지하철 혼잡도 측정 기준에 따라 시나리오를 선정하였으며, 사례 연구 대상지인 강동구

청역의 승차가 많고 하차가 적은 시간대 (07:00~08:00)를 선정하여 열차 운행 시각표를 참고하여 배차간격과 조사한 승·하차 인원을 시뮬레이션 상에서 고려하였다. 분석 시간의 자료는 2014년 10월 기준 승·하차 자료를 활용하였으며, 총 10번의 열차 배차간격을 고려한 분석을 실시하였다.

2) 시나리오 설정

강동구청역의 Gate Metering의 정확한 효과 분석을 위하여 승차가 많고 하차가 적은 시간대를 분석 시간대로 선정하였으며, 분석 시나리오는 목적에 의한 열차 내 혼잡도 측정 기준(24%~270%)으로 하였다.

3. 정산

관측값과 모형값의 오차를 통계적으로 검증하는 방법에는 오차율법, 퍼센트 평균제곱근오차(%RMSE)법, 그리고 GEH기법 등이 있다. 본 연구에서는 GEH기법을 사용한 이유는 교통공학, 수요 예측 등에 사용되는 경험식으로서 관측값과 모형값의 비교분석에 활용된다. GEH기법은 보행량의 전반적인 적합도를 검증하는 %RMSE와는 달리 출입문 보행자 정산결과를 검증할 수 있다. 정산 시 사용한 자료는 오전점두 강동구청역의 승차인원과 시뮬레이션 승차인원 분석값을 이용하였으며, 다음 식(3)과 <표 4>는 GEH 산출방법 적용기준이다.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(m-c)^2}{m+c}} \quad (3)$$

여기서,

- m = 시뮬레이션 분석 보행인원
- c = 실제 보행인원

GEH값을 산출한 결과 모든 칸에서 적용기준 5.0 이하로 분석이 되어, 시뮬레이션 분석결과 값을 사용하는데 적합하다고 분석되었다.

다음 <표 5>는 열차 출입문별 정산결과이다.

<표 4> GEH 적용기준
<Table 4> GEH Statistic Guidelines

Range	Context
GEH <5.0	Acceptable fit
5.0 ≤ GEH ≤ 10.0	Caution : possible model error or bad data
GEH ≤ 10.0	Unacceptable

<표 5> GEH 분석결과
<Table 5> GEH Analysis Result

Door no.	1gate	2gate	3gate	4gate	5gate	6gate
Observed value(Person)	185	206	79	20	7	2
Model value(Person)	165	190	71	18	4	1
GEH	1.55	1.00	0.55	0.65	0.70	0.20

4. 시나리오 효과분석

1) 열차의 혼잡도별 Gate Metering 효과 여부

열차의 혼잡도별 Gate Metering을 실시하기 위해서는 우선적으로 자동요금수납기(AFC) Gate에서 Metering을 유지하는 지속시간을 설정해줘야 한다.

강동구청역의 이동평면거리 환산결과 166.17m였으며, 이동거리에 따른 승강장 도착시간은 209.3초로 분석되었다.

진입 AFC Gate 3개 기준 Metering 지속시간은 20초로 산정하였으며, 산정결과는 다음의 <표 7>을 따른다.

<표 6> 이동평면거리 환산 결과
<Table 6> Migration plane length conversion result

Migration plane length	Pedestrian average speed	Time of arrival
166.17m	1.26m/s	209.3s

<표 7> Metering 지속시간 선정
<Table 7> Metering sustainment time calculation

Allocation interval	reduction ratio during Metering (Entry Gate 3ea)	Density(person/m ²)	
		Metering before	Metering after
360s	-0.18%	2.36(D)	1.93(C)

열차의 혼잡도별 Gate Metering 분석 결과, 혼잡도가 24%~250%일 때 Metering을 실시 할 경우 서비스 수준은 D에서 C로 향상되었으며, 열차의 혼잡도가 270%일 때 서비스 수준은 E에서 E로 동일하나, 밀도가 4.72인/m²에서 3.86인/m²로 개선되는 것으로 분석되었다.

〈표 8〉 열차 혼잡도별 Gate Metering 분석 결과
 〈Table 8〉 Train congestion situation Gate Metering analysis result

Congestion	Accumulative waiting person of platform (person)		Density (person/m ²)		Level of service	
	before	after	before	after	before	after
24	121	99	2.36	1.93	D	C
34	121	99	2.36	1.93	D	C
59	121	99	2.36	1.93	D	C
75	121	99	2.36	1.93	D	C
100	121	99	2.36	1.93	D	C
115	121	99	2.36	1.93	D	C
135	121	99	2.36	1.93	D	C
150	121	99	2.36	1.93	D	C
175	121	99	2.36	1.93	D	C
200	121	99	2.36	1.93	D	C
230	121	99	2.36	1.93	D	C
250	121	99	2.36	1.93	D	C
270	242	198	4.72	3.86	E	E

2) 승강장이 혼잡상황일 때 Gate Metering 효과 여부

승강장이 혼잡 시 Gate Metering 실시 효과 여부를 분석하였다. 분석결과 승강장에서 Metering을 실시할 때 Gate 진입부의 점유공간은 0.41m²/인에서 0.23m²/인으로 감소하며, 밀도는 2.47인/m²에서 4.26인/m²로 증가되어 서비스 수준이 D에서 F로 낮아지는 결과가 산출 되었다. 이는 승차인원이 많은 침두시에 Metering을 실시하게 되면 AFC Gate 진입부에

〈표 9〉 Gate Metering 실시 후 진입부 공간 효과분석
 〈Table 9〉 After conducted Gate Metering that entering subspace effectiveness analysis

Congestion	Pedestrian Space (m ² /person)		Density (person/m ²)		LOS	
	Before	After	Before	After	Before	After
270%	0.41	0.23	2.47	4.26	D	F

서 극심한 정체가 발생한다는 것을 의미하는 것으로 분석된다.

3) O/D간의 평균통행시간 및 평균통행속도 비교

열차의 Gate Metering 시행 및 미 시행에 대하여 O/D간의 Metering 시행 전·후 통행시간 및 통행속도의 평균값 비교분석을 실시하였다. 각각의 기종점은 강동구청역 출입구와 잠실역방면 승강장으로 선정하였으며, 통행거리는 이동평면거리인 166.17m를 기준으로 분석하였다. 분석결과 Metering 후 승차 이용객 기준으로 평균 통행시간이 4.87분에서 8.74분으로 3.87분 증가하였으며, 통행속도 0.57m/s에서 0.32m/s로 0.25m/s 감소한 것으로 분석되었다.

Gate Metering 시행 시 승강장의 서비스수준은 개선되었으나 AFC Gate 진입시간 조절에 따른 혼잡 상황 발생으로 기·종점 평균통행시간 및 평균통행속도가 증가 또는 감소한 것으로 판단된다.

〈표 10〉 O/D간 통행시간 및 통행속도 분석결과
 〈Table 10〉 Analysis Result of Travel time and Travel speed between O/D

Section		To gate	To platform
Travel time (min)	Metering before	3.49	4.87
	Metering after	6.02	8.74
	Differential	+2.53	+3.87
Travel speed (m/s)	Metering before	0.79	0.57
	Metering after	0.46	0.32
	Differential	-0.33	-0.25

4) Gate Metering 시 대상지 효과분석

Gate Metering에 따른 역사 전체의 밀도 및 LOS에 대하여 분석을 실시하였다. 분석결과 Gate Metering시행 전·후의 서비스 수준은 A로 동일하나, 보행자의 밀도는 증가(0.14인/m²→0.20인/m²)하는 것으로 분석이 되었다. 이는 Gate Metering으로 인한 진입제어로 역사 내의 체류시간 증가(2.12분→5.89분)로 인하여 보행 밀도가 증가하는 것으로 분석되었다.

〈표 11〉 Gate Metering 실시 후 대상지 효과분석
 〈Table 11〉 After conducted Gate Metering that Target Area effectiveness analysis

Density(person/m ²)		LOS		Dwell time(min)	
Before	After	Before	After	Before	After
0.14	0.20	A	A	2.12	5.89

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 철도 역사의 혼잡해소를 위해 철도 이용객 정보제공 효과평가 및 혼잡도 관리를 위한 Gate Metering 기법의 철도 이용객 정보제공 효과평가 방법론을 제시하였다.

이를 위해서 선행연구 및 사례조사를 통해 기존 연구와의 차별성을 제시하였으며, 본 연구의 정확성을 높이기 위하여 전 세계적으로 공신력이 있는 교통류 및 보행자 미시적 프로그램을 비교하여 보행자 정보 제공 효과평가를 위한 우수한 프로그램을 선정하였다. 각 프로그램은 이론적 기초가 되는 수학적 모형과 파라미터가 다르나 선정된 프로그램의 가장 큰 장점은 교통류·대중교통·환승체계·보행자의 연계가 가능하다는 것을 이점으로 삼아 본 연구에서 활용되었다.

선정된 프로그램을 활용한 다양한 효과지표 분석을 통해 정보제공 효과평가가 가능하며, VISSIM의 주요 기능 중 하나인 COM Interface를 사용하여 알고리즘을 프로그램 내부적으로 연계의 가능성을 알아보았다.

철도 이용객 정보 제공의 사례 연구로는 지하철 8호선 강동구청역을 대상으로 철도 이용수요 증가에 따른 혼잡도 관리를 위한 Gate Metering 기법의 효과 분석을 진행하였다. 우선적으로 프로그램 분석값 사용에 적합여부를 판단하기 위하여 강동구청역의 오전첨두(07:00~08:00)의 승·하차인원 조사 Data와 분석값으로 정산(GEH기법)을 실시한 결과 분석값을 사용하는데 적합하다고 분석되었다. 시나리오별 분석 결과 혼잡도가 24%~250%일 때 서비스 수준은 D → C로 개선되는 것으로 나타났으며, 혼잡도가 270%일 때 서비스 수준은 E → E로 동일하

였으나 밀도는 4.72인/m²에서 3.86인/m²으로 개선되어 Gate Metering의 효과를 입증하였다. 이를 통해 열차의 혼잡도를 고려하여 Metering을 실시 할 경우, 대기공간의 이용효율성을 높일 수 있을 것이라고 판단되었다. 또한 승강장의 서비스수준이 E로 측정되는 시점과 혼잡도 270% 일 때가 동일하여 열차의 혼잡도와 승강장의 서비스수준을 고려하였을 때 Gate Metering은 효과가 있다는 결론을 도출할 수 있었다. 하지만 Gate Metering 시행에 따른 효과가 있는 것으로 분석되었지만 열차 탑승을 위한 체류시간이 증가하여 강동구청역 전반적으로의 밀도는 0.14인/m²→0.20인/m²로 증가하였다.

시행 전/후의 강동구청역의 서비스수준은 A 수준으로 분석되어 Gate Metering 시행에 따른 강동구청역 전체적으로 미치는 영향은 적다고 판단된다.

본 연구를 통하여 철도 이용객 정보제공 효과평가를 위한 방법론을 제시함에 있어 윤곽만 제시하였을 뿐 계량적이 측면에서 보여주지 못한 한계가 있지만 철도 역사 내 이용객 혼잡도 관리 연구를 통하여 현실과 유사한 보행환경 구축 및 효과평가 지표와 이용객 정보제공 방법론 정립이 가능하다는 것에 본 연구의 의의를 가진다.

이번 연구는 알고리즘 효과평가의 도구선정과 틀을 잡아주는 수준에 머무르고 있으나, 향후 연구 과제로는 첫째, 철도 이용객의 다양한 경로 선택 알고리즘 검증 시나리오 및 대상지 분석에 대한 효과평가의 연구가 필요 할 것이다. 둘째, 본 연구는 철도 이용객 정보 제공의 기존 연구, 사례조사 및 프로그램 선정을 통해 역사 내·외부 등 융합적 위치측위 기술기반의 시뮬레이션 분석이 필요하다. 마지막으로 알고리즘 검증 및 기술개선 요구사항이 제시할 필요성이 있다.

REFERENCES

[1] S. Samanta, M. K. Jha, C. O. Olukun, "Travel Time Calculation With GIS in Rail Station Location Optimization", 25th ESRI International User Conference, San Diego, July 2005.

- [2] D. Y. Lee, "(An) Efficient Shortest Path Search Algorithm of the Guidance Information System Based on GIS" *Master's Thesis of Hankyong National University*, 2007.
- [3] S. I. Shin, J. J. Park, J. C. Lee, T. J. Ha, "Development of User Customized Path Finding Algorithm for Public Transportation Information" *Korean Society of Civil Engineers*, vol. 28, no.3, pp.317-323, May. 2008.
- [4] E. C. Kim, T. H. Kim. E. J. Kim,, "Applicability of K-path Algorithm for the Transit Transfer of the Mobility Handicapped" *Korea Society of Road Engineers*, vol. 13, no. 1, pp.197-206, Mar. 2011.
- [5] T. Soethout, "Applying Path Planning Algorithms to Train Schedules" *Universiteit Utrecht*, 2012.
- [6] J. Urano "Efforts in Fulfilling the Smart Station Vision", *The Journal of JR EAST Technical Review* no. 18, pp.4-6, 2010
- [7] J. H. Seo, Y. T. Kim, "Effects of Service Convenience on Customer Satisfaction and Reuse Intention by Korail Talk App Users among Korail Passengers", *The Korean Society for Railway* vol. 16, no. 5, pp.410-417, Oct. 2013.
- [8] J. J. Fruin, "Pedestrian planning and design", *Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners*, 1971
- [9] B. S. Pushkarev, J. M. Zupan, "Urban Spaces for Pedestrians", *A Report for the Regional Planning Association*, 1975
- [10] J. H. Kim, Y. T. Oh, Y. T. Son, W. S. Park, "A Study on Estimating Level-of-Service for Pedestrian Facilities", *Korean Society of Transportation*, vol. 20, no. 1, pp.149-156, 2002.
- [11] S. M. Oh, "An Analysis of the Passenger Flow Time in the Congested Subway Stations", *The Korean Society for Railway*, 2005.
- [12] S. M. Gu, S. J. Lee, H. H. Jang, "Development of pedestrian model using CA in subway station", *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, pp.236-241, Korea, Oct, 2006.
- [13] T. G. Yoon, "A Study on the Evaluation Method of Level of Service in Transfer Walking Facilities", *Master's Thesis of Seoul National University*, 2008.
- [14] P.G. Gipps , B. Marksjö, "A micro-simulation model for pedestrian flows", *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 27, no. 2, pp.95-105, Apr. 1985.
- [15] I. H. Park, J. Y. Lee, "Time-Dependent Optimal Routing in Indoor Space", *The Journal of GIS Association of Korea*, vol. 17, no. 3, pp.361-370, Nov 2009.
- [16] S. M. Jang, J. H. Rhee, S. H. Oh, "Implementation of Microscopic Pedestrian Simulation by using NetLogo", *Korean Society of Civil Engineers*, vol. 30, no. 2, pp.119-125, Mar. 2010.
- [17] J. Y. Kim, T. J. Kim, S. J. Lee, S. H. Lee, "Analysis of Improved Pedestrian Environment based on Microscopic Pedestrian Simulation", *Korea Society of Road Engineers*, 2001.
- [18] J. K. Lee, J. W. Park, "A Study on the Calculation of Pedestrian's Conflict Index Using Multi-Agent Based Model (Multi-ABM) - Focused on the Netlogo Simulation Model -" *The Korea Transport Institute, Journal of Transport Research*, vol. 20, no. 4, pp.105-116, Dec. 2013.
- [19] W. H. Kim, S. J. Lee, "INS/WLAN Integration Simulation for Pedestrian Tracking on Indoor Hot Spot Area", *The Korea Institute of Communications and Information Sciences*, pp.267-268, Jun .2014.
- [20] T. K. Ann, S. H. Kim, "Development and analysis of the optimized path selection algorithm for intelligent trip planner", *The Korean Society for Railway*, 2013.
- [21] *VISSIM User Manual*, Ver 7.0, 2014.

저자소개



이 선 하 (Lee, Seon-Ha)

2000년 3월~ 현재 : 공주대학교 건설환경공학부 정교수
1996년 11월~1998년 11월 : 독일 칼스루헤대학 토목공학과 교통연구소(Dr.Ing.) 공학박사
1986년 10월~1990년 8월 : 독일 베를린공과대학 토목공학과 졸업(Dipl.Ing.) 공학석사
1982년 3월~1990년 2월 : 고려대학교 공과대학 토목공학과 졸업
e-mail : seonha@kongju.ac.kr



천 춘 근 (Cheon, Choon-Keun)

2015년 3월~ 현재 : 공주대학교 박사과정 (건설환경공학과)
2013년 3월~2015년 2월 : 공주대학교 석사 졸업 (도시·교통공학 전공)
2007년 3월~2013년 2월 : 공주대학교 학사 졸업 (도시·교통공학 전공)
e-mail : ccken@kongju.ac.kr



정 병 두 (Jung, Byung-Doo)

2001년 3월~ 현재 : 계명대학교 공과대학 교통공학과 교수
1997년 3월~2001년 2월 : 경기도청 교통 전문위원
1993년 4월~1996년 9월 : 오사카시립대학교 토목공학과(교통전공) 공학박사
e-mail : jungbd@kmu.ac.kr



유 병 영 (Yu, Byung-Young)

2015년 5월~ 현재 : (주)건화 교통계획부 차장
2001년 3월~2003년 2월 : 공주대학교 석사 졸업 (교통공학 전공)
1993년 3월~2001년 2월 : 공주대학교 학사 졸업 (토목공학 전공)
e-mail : innocentyu@hanmail.net



김 은 지 (Kim, Eun-Ji)

2015년 3월~ 현재 : 공주대학교 석사과정 (도시·교통공학 전공)
2010년 3월~2014년 2월 : 공주대학교 학사 졸업 (도시·교통공학 전공)
e-mail : lisake@naver.com