공간정보와 통합 스마트카드 자료를 활용한 도시철도 역사 보행 기종점 분석 기법 개발

정은비 · 유소영* · 이준 · 김경태

한국철도기술연구원 교통체계분석연구팀

A Comprehensive Framework for Estimating Pedestrian OD Matrix Using Spatial Information and Integrated Smart Card Data

JEONG, Eunbi · YOU, Soyoung Iris* · LEE, Jun · KIM, Kyoungtae

Transport Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute, Gyeonggi 16150, Korea

*Corresponding author: syyou@krii.re.kr

Abstract

TOD (Transit-Oriented Development) is one of the urban structure concentrated on the multi-functional space/district with public transportation system, which is introduced for maintaining sustainable future cities. With such trends, the project of building complex transferring centers located at a urban railway station has widely been spreaded and a comprehensive and systematic analytical framework is required to clarify and readily understand the complicated procedure of estimation with the large scale of the project. By doing so, this study is to develop a comprehensive analytical framework for estimating a pedestrian OD matrix using a spatial information and an integrated smart card data, which is so called a data depository and it has been applied to the Samseong station for the model validation. The proposed analytical framework contributes on providing a chance to possibly extend with digitalized and automated data collection technologies and a BigData mining methods.

keywords: automatic fare collection system, multimodal transfer, pedestrian OD matrix, smart card data, spatial information, station

초록

TOD (Transit-Oriented Development)는 대중교통 중심의 복합기능을 가진 집약적인 도시 구조이며, 미래지향형 지속가능한 도시를 유지하기 위해 제시되는 개념이다. 최근 도시철도 역사를 중심으로 복합 환승센터 개발이 활발히 추진되고 있으며, 사업의 규모와 복잡성으로 인해 보다 과학적이고 객관적인 분석을 통한 계획과 유지관리 등이 요구되고 있다. 이에 따라, 본 연구에서는 공간정보와 통합 스마트카드 자료를 활용하여 도시철도 역사 보행 기종점 추정을 위한, 표준화된 분석 절차를 개발하고자 하였으며, 삼성역 사례 분석을 통해 제시된 분석 절차 및 방법에 대한 검증을 수행하였다. 본 연구에서 제시된 분석 절차는 자료 수집 기술과 빅데이터 DB 분석 기법 발전에 따라 유기적 확장 가능한 분석 환경을 마련하였다는 데 큰 의의를 가진다.

주요어: 자동 출·개찰 시스템, 수단간 환승, 보행 기종점, 스마트카드 자료, 공간정보, 도시철도 역사

J. Korean Soc. Transp.
Vol.35, No.5, pp.409-422, October 2017
<https://doi.org/10.7470/jkst.2017.35.5.409>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 23 August 2017

Revised: 29 September 2017

Accepted: 25 October 2017

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

도시철도 역사는 단순 대중교통 승·하차를 위한 공간이 아닌 업무, 상업, 여가 등 다양한 기능을 수행하는 복합 생활공간으로 변화하고 있는 추세이며, 이러한 추세는 국토교통부(2017.2)에서 제시하고 있는 미래형 도시건설 사업의 청사진과 일맥상통한다. 도시철도 역사를 중심으로 한 복합환승역사는 단순히 대형마트나 백화점 등의 대규모 교통유발시설과 달리, 대중교통중심개발(Transit-Oriented Development, TOD)과 연계하여, 도시교통환경 개선을 이끌 수 있는 긍정적인 기능을 가지고 있다. 이와 더불어, 클라우드 슈밥이 제시하고 있는 ‘디지털로 공간의 용도 재편’ 등 도시혁신 기술에 대한 기대가 높아지며, 스마트 역사(공간) 기술 출현 등 패러다임의 전환이 가속화되고 있다.

일반적으로 도시철도 역사에서 수용하는 통행 패턴은 대부분 첨두시간대에 수요가 집중되고, 특히, 공간적으로 복합 기능의 특성을 지닌 도시철도 역사의 경우, 1일 2회 첨두시간대가 상대적으로 길게 나타나거나, 준 첨두시간대가 나타나는 경향을 보이기도 한다(You et al., 2017). 반면, 물리적 측면의 도시철도 역사는 반영구적인 도시교통 기반시설로, 역사 및 선로 시스템, 인프라 등 시설 구축이 완료된 후에는 확장이 제한적이며 대규모 추가공사 비용이 요구된다. 또한, 도시철도 역사는 불특정 다수가 모이는 곳으로, 도시철도 이용자의 이동성 및 안전에 대한 문제, 특히 테러나 비상상황 발생 시 무방비 상태에 노출되는 것이 현실이다. 이에 따라, 시시각각 변화하는 수요와 이로 인한 도시철도 역사 내의 보행 통행 흐름에 대한 면밀한 검토를 바탕으로, 역사에 대한 적정 규모를 산정하고, 다양한 첨단 수집 및 운영 기술을 통해 제한된 물리적 공간에서 양질의 서비스 수준을 유지 할 수 있는 전략이 필수적이다. 하지만, 기존의 집계적인 자료수집 및 통계분석 방법으로는 동적인 분석에 있어 한계가 존재하며, 혼잡 완화 및 안전성 향상을 위한 새로운 기술 적용 및 시스템의 효과 등을 검증하기 위한 기준, 분석 방법론, 기초 자료수집, 모니터링 기술 등에 대한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구는 이러한 계획, 운영 등 상이한 위계에서의 빅데이터 활용 관점에서 바라볼 때, 가장 필수적이고 보편적인 요소인 도시철도 역사 내 보행 기종점 자료 추정에 초점을 맞췄다. 도시철도 역사 내 보행 기종점 자료는 활용 및 분석 수준에 따라 크게 2가지 유형으로 구분될 수 있다. 첫 번째는 도시철도 역사 계획 및 건설 단계의 규모 산정시, 보행 기종점 자료는 승강장, 출입구, 통과 노선 및 주변 대중교통 수단, 토지이용 특성과 연계되어 추정되는 보행 기종점 자료가 있으며, 두 번째는 도시철도 역사 건설 이후 운영시, 배치된 상업시설, 편의시설 등과 연계된 추가적인 기종점을 포함한 확장된 보행 기종점 자료이다. 궁극적으로 두 번째 유형으로 제시된 확장된 보행 기종점 자료도 계획 단계에서 활용이 가능한 수준의 연구가 진행되어야 하지만, 현재로서는 시설 배치와 연계하여 분석 가능한 DB가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 첫 번째 유형의 보행 기종점 자료 분석 기법에 초점을 맞추고자 한다.

본 연구에서는 대중교통을 이용하는 이용객들이 주로 사용하는 교통카드와, 도시철도 역사 내 설치되어 있는 자동출·개찰 시스템, 토지이용 공간정보 자료를 활용하여 자료 기반의 도시철도 역사 내 보행자 기종점 추정을 위한 표준화된 분석 절차를 마련하고자 하고, 삼성역을 대상으로 사례분석을 수행하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 교통카드 자료를 활용한 다양한 연구와 관련된 기존 문헌을 고찰하였고, 3장에서는 공간정보 기반 통합 스마트카드 자료를 활용한 도시철도 역사 보행 기종점 분석 기법을 소개하였다. 4장에서는 삼성역 사례분석을 통해, 보행 기종점을 도출하고 검증하였다. 5장에서 분석 기법의 확장성 및 보행 기반 빅데이터 활용처에 대한 논의와 결론을 제시하였다.

기존문헌 고찰

본 연구에서는 교통 빅데이터 기반의 보행자 기종점 추정 관련 연구와 철도 역사 관련 실증 사례 등 관련된 기존 문헌을 고찰하였다. 교통카드 자료 획득이 용이해짐에 따라 국내·외에서 다양한 연구가 수행되고 있다. Pelletier et al.(2011)은 대중교통 계획, 서비스 개발, 운영관리 및 평가 등의 주제로 세분화하여 교통카드를 활용한 다양한 연구 사례를 제시하였다. 초기 연구는 대중교통 이용자의 통행 패턴 분석(Blythe, 2004; Bagchi and White, 2005;

Utsunomiya et al., 2006)에 집중되어 있었으나, 이후에는 통행 경로 분석, 기종점 분석 등의 통행사슬 정보를 이용한 다양한 연구가 진행되었다(Trépanier et al., 2007; Seaborn et al., 2009; Munizaga et al., 2010).

국내 연구를 중심으로 살펴보면, Park et al.(2008)은 교통카드 자료를 활용하여, 통행수요 도출시 영향을 미칠 것으로 판단되는 오류와 결측치에 대한 연구를 진행하였으며, 결측치에 대한 보정 방안을 제안하였다. 유사 연구로, Shin(2016)은 통행종점 정보가 누락된 불완전한 교통카드 자료에 대한 도착지 추정 모형을 개발하였다. Lee and Kim(2010)은 수도권 전체를 분석 영역으로 하여, 통합 대중교통체계에서 개별 통행자의 통행 분석을 통해 폭넓은 활용 가능성을 제시하였다. Korea Railroad Research Institute(2015)에서는 교통카드 자료를 기반으로 대중교통 운영을 계획하고 효과분석을 수행하기 위한 소프트웨어인 TRIPS(Travel Record based Integrated Public transport operation planning System)를 개발하여, 정류장 및 역 단위의 통행 현황 및 서비스 수준을 파악하고, 기종점간 통행사슬 분석을 통한 통행행태 분석, 역간 기종점 추정, 스케줄 생성 등의 다양한 기능을 구현하였다. You et al.(2017)은 통행사슬 정보를 이용하여, 개별 통행자의 승·하차, 환승행태, 통행사슬과 연관된 도시철도 역사의 특성을 분석함으로써 공간 정보와 연계한 통합 모빌리티 분석 연구의 당위성을 제시하였다.

교통카드, 통신량 자료, 다양한 센서를 활용한 정보 수집 체계로부터 얻어지는 교통 빅데이터 활용에 대한 관심이 높아짐에 따라, 이를 활용한 수단 중심의 기종점 연구가 활발히 진행되어 왔으나, 도시철도 역사 내 보행자를 기반으로 한 기종점 혹은 이동 경로에 대한 체계적인 연구는 미비한 실정이다. 일부 존재하는 보행 기종점 추정 연구는 일회성 조사를 통한 자료를 활용하여 지속적인 모니터링을 통한 사후 관리 등 이용자와 운영자의 다양한 요구를 충족해 주지 못하고 있다. 조사 자료 기반의 보행 관련 저자의 최근 연구(Jung et al., 2016; You et al., 2016)에서 도시철도 역사 내에서도 경로선택 모형 등의 통행 배분 연구가 수행되었으나, 주변 토지이용 계획과 이용자의 전주기 통행을 정확히 파악하지 못한 보행 발생량, 보행 기종점 통행량은 경로선택 모형의 입력 자료로 제 역할(Garbage-in & Garbage-out)을 하지 못한다. 이에 본 연구에서는 계층적 오류를 최소화 할 수 있는 자료 기반의 종합적인 분석 기법을 제시하고자 하며, 이를 통해, 단계별 모형의 신뢰성을 향상시킴에 따라 전체적인 결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 선순환 구조를 구축하여, 보다 체계적인 연구 수행 기틀을 마련하고자 한다.

공간정보 및 통합 스마트카드 자료를 활용한 보행 기종점 분석 기법 개발

1. 용어 및 개념 정리

1) 통합 스마트카드 자료

도시철도 역사 내의 보행자 기종점 자료를 추정하기 위해서는 도시철도 역사별 이용자 현황 자료(환승, 출·도착 등)와 해당 이용자의 도시철도 역사 내 통행 경로를 합리적으로 유추할 수 있는 근거 자료가 필요하다. 본 연구에서는 교통카드 자료와 자동 출·개찰 시스템 자료를 사용하였으며, 해당 자료를 통칭하여 통합 스마트카드로 정의하였다. 각 자료에 대한 세부 사항 및 활용에 대한 내용은 아래와 같이 정리하였다.

교통카드는 대중교통 수단의 운임을 지불하기 위한 전자화폐로, 현금, 신용카드 등 기존의 지불 수단과 동일한 가치를 지니는 카드로 정의할 수 있다. 2004년 서울시 대중교통체계 개편 이후 지속적으로 교통카드 이용률이 증가하고 있으며, 2016년 서울시 대중교통 이용객 현황에 의하면 교통카드 이용률이 버스 98.6%, 지하철 100%로 높은 교통카드 이용률을 보이고 있다(Seoul Metropolitan Government, 2017). 교통카드 자료는 암호화된 가상 카드번호, 승차정보, 하차정보, 노선정보, 사업자정보, 차량정보, 요금정보, 환승정보 등의 27가지 항목의 다양한 정보를 포함하고 있다. 즉, 교통카드 자료는 이용자 정보 뿐만 아니라 수단과 관련된 정보, 운영자와 관련된 정보 등의 다양한 분야의 정보를 수집할 수 있는 장점이 있다. 또한, 환승에 대한 정보를 포함하는 등 이용자가 통행한 전체 통행에 대한 통행사슬 정보를 도출할 수 있어 다양한 분야에서의 활용도가 높다.

자동 출·개찰 시스템(Automatic Fare Collection, AFC)은 승차권 구입 및 개·집표까지 모든 업무와 각종 통계 업무를 정보시스템으로 처리하기 위해 도시철도 역사 내에 설치한 시스템이다. 도시철도 이용객은 도시철도 역사 내에 설치되어있는 AFC 시스템에 교통카드를 태그하여 승·하차를 하게 되며, 이러한 도시철도 이용객의 이용 정보는 AFC 시스템에 저장되어 활용할 수 있도록 제공하고 있다. AFC 시스템 자료는 태그날짜, 승차역 ID, 승차역 장비 ID, 승차 태그시간, 하차역 ID, 하차역 장비 ID, 하차 태그시간으로 구성되어 있다. 이러한 AFC 자료는 도시철도 역사 내에서 이용객들이 주로 어느 개찰구를 통해 이동하는지 확인하기 위한 자료로 활용 할 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이, 본 연구에서는 동적 DB인 교통카드 태그 자료와 정적 DB인 자동 출·개찰 시스템 자료를 융합하여 통합 스마트카드 자료로 정의하였다. 다시 말하자면, “통합 스마트카드 자료”는 교통카드 자료로부터 수집되는 이용자의 수단, 통행사슬 등의 전체 통행에 대한 정보와 도시철도 역사 기반으로 수집되는 AFC 정보를 통해 도시철도 역사를 이용한 이용객들이 언제, 어느 방면에서 유입하고 어느 방면으로 유출하는지 추정하고 검증할 수 있는 자료이다. 수도권 전체 교통카드 정보 중에서 분석대상 역사(삼정역)를 이용한 교통카드 태그정보와 AFC 자료에서 추출한 단말기 태그정보를 매칭하여, Figure 1과 같이 통합 스마트카드 자료를 구축하였다. 구축된 통합 스마트카드 자료는 카드 ID, 통행 ID, 이용자 유형 등의 이용자 정보, 통행 수, 이전 통행, 이후 통행 등을 포함하는 통행사슬 정보, 분석대상 역사에 도착한 시간, 개찰구 정보 등에 대한 통행 정보만을 추출하여 정리한 DB이다.

User Information			Trip Chain Information								Trip Information at Target Station					
CARD ID	TRIP ID	USER TYPE	TRIP CNT	BUS_Pres	Rail_Pres	MAIN_STA1	MAIN_STA2	Rail_Post	Bus_Post	TRIP TYPE	Board_STA	Alight_STA	HOURL	MIN	SEC	GATE
1	1	1	1	0	217	218	219	0	0	2	213	219	8	50	34	46
1	2	1	1	0	0	219	218	217	0	1	219	213	18	55	50	47
2	3	6	1	0	217	218	219	0	0	2	216	219	7	57	13	47
2	4	6	1	0	0	219	218	217	0	1	219	217	15	25	42	36
3	5	1	1	0	1023	220	219	0	0	2	1855	219	19	30	13	4
4	6	1	1	8003138	221	220	219	0	0	2	222	219	17	0	55	10
4	7	1	1	0	0	219	220	221	0	1	219	223	18	51	25	19
5	8	1	1	0	0	219	218	217	0	1	219	216	12	43	43	8
6	9	1	1	0	1023	220	219	0	0	2	1028	219	9	40	0	18
6	10	1	1	0	0	219	220	1023	0	1	219	1027	20	58	27	7
7	11	1	1	0	217	218	219	0	9105351	4	208	219	20	23	28	33
8	12	1	1	4151640	221	220	219	0	0	2	222	219	8	9	46	30
8	13	1	1	0	0	219	220	221	4151640	1	219	222	21	38	1	35
9	14	1	1	0	217	218	219	0	0	2	201	219	16	56	43	11
9	15	1	1	0	0	219	218	217	0	1	219	2553	18	39	56	43

Figure 1. Example of integrated smart card data

2) 도시철도 역사 내 통행 유형 정의

보행 기종점 추정은 역사 내 통행 특성 파악이 매우 중요하며, 본 연구에서는 통행 유형에 따라 역사 내 보행 기종점을 추정하는 절차를 분리하여 논리적 정밀도를 높였다. 도시철도 이용객의 통행 유형에 따라, 도시철도 역사를 최초 출발지 또는 최종 도착지로 하는 직 승·하차 통행, 타 노선 혹은 타 수단과의 환승을 통해 최종 목적지로 이동하기 위해 역사를 이용하는 환승 통행 유형으로 구분 할 수 있다. 추가적으로, 도시철도 역사를 기준으로 통행 방향을 고려하면, 지상 시설에서 도시철도 역사 내부로 이동하는 유입통행(in-flow), 도시철도 역사 내부에서 도시철도 역사 외부로 통행하는 유출통행(out-flow)으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 통행 유형과 방향 특성을 고려하여, 분석대상 역사를 거쳐 간 이용객의 통행 유형을 5가지로 정의하였다(Figure 2와 Table 1 참조).

3) 도시철도 역사 내 기종점 정의

기종점이란 사람·자동차·물자 등이 이동하는 출발지(기점, origin)와 도착지(종점, destination)에 대한 정보로, 교통수단을 이용하는 이용자들의 통행 특성을 나타내며, 교통계획, 운영방안 수립 등에 필요한 기초 자료로 활용된다. 도시철도 역사 내 기종점은 도시철도 역사를 이용하는 이용객들의 역사 구조물 내의 출발점 및 도착점에 대한 정보를 나타내며, 노선 수, 개찰구 수, 출입구 수 등에 의해 결정된다. 본 연구에서는 도시철도 역사 내 기종점을 지하철

승·하차를 수행하는 승강장과 역사로의 유출·유입의 기준이 되는 출입구로 설정하였다. 도시철도 역사를 이용하여 타 역으로 이동하는 통행의 경우, 출입구-개찰구-승강장의 경로로 이동하게 되며, 이러한 경우 도시철도 역사 내 보행자의 기점은 출입구가 되고, 종점은 승강장으로 결정된다. 반대로, 타 역에서 분석대상 역사로 도착한 도착통행의 경우, 기점은 승강장, 종점은 출입구로 설정된다. 즉, 도시철도 역사 내 기종점은 출입구 수와 승강장 수로 결정되며, 출입구가 8개, 승강장이 2개인 경우에는 총 10개의 기종점을 대상으로 하는 10×10 의 OD matrix를 도출하게 된다. 본 연구에서는 통합 스마트카드 자료와 역사 인근의 토지이용 및 공간정보를 활용하여 도시철도 역사 내의 기종점을 통합적으로 도출하기 위한 체계를 마련하고자 한다.

Figure 2. Concept of the travel types

Table 1. Definition of the Travel Types

Type	Definition	Trip chain based on integrated smart card data	OD pair in target station
1	Departure at a target station	Target station → Other subway station	Exit to Platform
2	Arrival at a target station	Other subway station → Target station	Platform to Exit
3	Transfer to other transit modes (bus → subway)	Bus stop → Target station → Other subway station	Exit to Platform
4	Transfer to other transit modes (subway → bus)	Other subway station → Target station → Bus stop	Platform to Exit
5	Transfer to the other railway lines	Other subway station → Target station → Other subway station	Platform to Platform

2. 도시철도 역사 내 보행 기종점 분석체계 개발

앞서 언급한 바와 같이, 본 연구의 목적은 도시철도 역사 내·외부의 공간정보와 통합 스마트카드 자료를 이용하여 도시철도 역사 내 보행 기종점 추정을 위한 과학적이고 표준화된 분석체계를 제시하는데 있다. 이에 도시철도 역사 내 보행 기종점 분석 체계는 분석자료 수집, 보행 기종점 추정의 2단계 모듈로 구성였으며, 분석 개념도는 Figure 3와 같다. 본 연구에서 제시한 보행 기종점 분석체계는 전통적인 교통수요 4단계 추정모형에서의 통행분포 (Trip Distribution)와 유사한 과정이다.

1) 분석자료 수집

분석자료 수집 단계에서는 분석대상 역사와 관련된 공간정보 자료, 통합 스마트카드 자료, 도시철도 역사 내 보행자 통행자수 혹은 통행 패턴 수집을 위한 영상 (또는 CCTV) 자료 등을 수집하는 단계이다. 특히, 공간정보 자료는 분석대상 역사 인근 토지이용 시설에 대한 정보를 나타내며, 토지이용 특성, 주거 및 직장 인구수, 가구 수, 상업시설

수, 인근 버스정류장 정보 등의 공간 정보에 대한 모든 자료를 의미한다. 상기에서 제시된 수집 자료는 Figure 4와 같이, 분석대상 역사와 관련된 역사 정보, 토지이용 정보, 통행 정보 등 기종점 분석을 위한 기초 자료 및 포맷으로 정리되어, 디파짓토리(depository)로 구축된다.

Figure 3. Framework for estimating pedestrian OD matrix

Figure 4. Data depository associated to a target station

2) 보행 기종점 추정

보행 기종점 자료는 도시철도 이용 및 이동행태에 따른 현황분석, 신기술 도입에 대한 효과분석, 역사 내 보행동선 분석 등을 다양한 연구를 수행하기 위한 필수 기초 자료로 활용된다. 본 연구에서는 도시철도 역사 내 기종점을 도시철도 역사의 내·외부 연결 통로인 출입구와 다른 역과의 연결 지점인 승강장으로 정의하였으나, 출입구와 승강장은 통행의 최종 목적지가 아니기 때문에, 출입구 위치와 승강장 방면 선택의 문제가 발생한다. 다시 말해서, 통합스마트카드 자료만으로 보행자가 승강장에 도착하여 개찰구를 통과한 후 실제로 어느 출입구로 나갔는지 추정하기가 어렵다. 이에 도시철도 역사를 출·도착지로 하는 이용객의 경우, 인근 토지 이용의 공간정보 특성에 따른 출입구 이용 패턴을 보일 것이며, 타 수단(버스)과의 환승을 통해 다른 목적지로 이동하기 위해 역사를 이용하는 이용객의 경우 버스정류장의 위치에 따른 출입구 이용 특성이 나타날 것이라는 연구 가설을 설정하여 분석방안을 수립하였다 (Figure 5 참조).

Figure 5. Concept of trip distribution for estimating OD matrix

앞서 설정한 통행 유형을 기준으로 구체적으로 설명하자면, 직승·하차와 환승승하차에 따른 차별화된 출입구 선택 패턴을 적용하여 출입구에 대한 기종점 보행량을 추정하였다. 직 승·하차의 경우, 인근 토지 이용 공간정보 특성을 적용하여 Equation 1과 같이 출입구 배분 모형을 제시하였다. 분석 대상 역사를 이용하는 이용객들의 분석 목적에 따라 주거인, 직장인, 상업시설 이용자로 구분하고자 하였으며, 주거인, 직장인, 상업시설 이용자는 앞서 디파짓토리를 통해 구축한 출입구 인근의 주거인구수, 직장인구수, 상업시설 수의 비율을 적용하였다. 예를 들어, 오전 철두 시간대 업무지구 인근의 역사에 대한 기종점을 추정하는 경우, 업무 목적을 100%로 적용하여 직장인구수 비율에 따라 출입구 기종점이 배분된다.

$$P_i = \left(R_{PH} \times \frac{N_{Hi}}{\sum_{i=1}^I N_{Hi}} + R_{PW} \times \frac{N_{Wi}}{\sum_{i=1}^I N_{Wi}} + R_{PC} \times \frac{N_{Ci}}{\sum_{i=1}^I N_{Ci}} \right) \times P_{total} \quad (1)$$

P_i : the number of the pedestrian from/to exit i

P_{total} : total number of the pedestrian at the target station

R_{PH} : the ratio of household trip

R_{PW} : the ratio of working trip

R_{PC} : the ratio of trip for using commercial stores

N_{Hi} : the number of the residents related to exit i

N_{Wi} : the number of the employees related to exit i

N_{Ci} : the number of the commercial stores related to exit i

i : exit number

I : the number of exits

버스 환승을 포함하는 통행의 경우, 버스 정류장에서 가까운 출입구를 선택하여 도시철도 역사로 유출·입 하고자 하는 보행 행태에 근거하여 출입구를 기점 혹은 종점으로 추정하였다(Equation 2 참조). 통합 스마트카드 자료에서 도시철도 이용객의 통행사슬을 확인할 수 있기 때문에, 수단간 환승통행자 대상으로 어느 버스 정류장에서 왔는지, 어느 버스 정류장으로 갔는지에 대한 정보를 도출할 수 있다. 이러한 철도역과 버스 정류장과의 연계정보를 통해 출입구와 버스정류장을 매칭하여 집계하면 수단간 환승통행에 대한 출입구 배분 결과를 도출 할 수 있다. 수단간 환승 통행에 대한 출입구 배분에 대한 예시를 Table 2에 제시하였다.

$$P_i = \sum_{n=1}^N P_n \times \delta_n, \delta_n = \begin{cases} 1 & \text{if } Exit = i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Table 2. Example of the transferring trip assignment from/to exit

From (Station ID)	To (Bus stop ID)	Number of pedestrian (P_n)	Exit
219	1	130	1
219	2	310	1
219	3	290	2
219	4	650	3
⋮	⋮	⋮	⋮
219	59	250	2
219	60	120	4
Total		3,000	—

승강장의 경우 분석대상 역에 도착하는 보행자와 분석대상 역에서 다른 역으로 이동하는 보행자가 이용하는 역사 내 기종점으로 정의되며, 통합 스마트카드 자료를 이용한 통행사슬 분석을 통해 이용객의 승강장 방향을 추정할 수 있다. 섬식 승강장의 경우 방향 별 승강장을 설정 할 필요는 없으나, 본 연구에서는 보다 신뢰성 있는 기종점 자료 생성을 위해 상대식 승강장을 기준으로 각 방향 별 승강장을 구분하여 기종점 자료를 생성하였다. 교통카드 자료로부터 직접 추출된 관측 자료인 통행사슬 자료를 이용하여 철도를 이용한 통행의 최적 경로를 도출하여 도시철도 이용객이 어느 방면의 지하철을 이용하여 유입했는지, 유출했는지 분석하였다. 최적 경로는 두 철도역 간(From station-To station)의 여러 경로에 대해서 이동거리가 최소가 되는 경로를 선택하였으며, 이동 경로에서 분석대상 역과 연결되는 이전 역, 이후 역 정보를 추출하여 승강장 추정에 활용하였다.

사례 분석: 삼성역

1. 자료 수집

1) 분석 범위

본 연구에서는 앞서 제시한 보행 기종점 분석체계 기법을 활용하여 삼성역을 대상으로 보행 기종점을 추정하였다. 삼성역은 2호선 하나의 노선만이 통과하는 단일역이지만, 코엑스, 무역센터 등에 의해 업무 통행 및 상업시설 이용 통행 등이 복합적으로 발생하기 때문에 높은 이용 수요를 보이는 역사이다. 또한, 2023년 준공을 목표로 사업이 진행되고 있는 강남권 광역복합센터와 지리적으로 맞닿아 있어 본 연구의 활용도가 높을 것으로 판단하여, 분석 대상으로 선정하였다. 삼성역은 다양한 업무시설과 상업시설이 밀집되어 있는 고밀도 업무지구 역사로, Figure 6과 같이 1개의 섬식 승강장과 8개의 출입구, 세 구역의 자동 출·개찰 시스템으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 1개의 섬식 승강장을 방향별로 구분하여 2개의 승강장, 8개의 출입구에 대하여 각 방향별로 4개의 구역으로 구분하여 총 6개의 기종점에 대한 보행 기종점 matrix를 추정하였다.

(a) Map of Samseong station

(b) Exit and gate information

Figure 6. Study area (Samseong station)

2) 통합 스마트카드 자료 수집

삼성역 분석을 위해서, 2016년 11월 1일 스마트카드 자료와 AFC 자료를 이용하여 통합 스마트카드 자료를 구축하였다. 2016년 11월 1일의 스마트카드 실적 기반 삼성역을 이용한 통행 수는 120,923건이었으며, AFC 자료와의 매칭을 통한 이상치 및 결측치 343건의 통행을 제외한 120,580건의 통행 자료를 이용하여 분석을 수행하였다. 수집된 통합 스마트카드 자료는 서울교통공사(전 서울메트로)에서 제공하고 있는 ‘역별 일별 시간대별 승하차 인원’ 자료에서 제시한 121,448건과 1% 미만의 오차율을 보여 수집 자료의 신뢰성을 확인하였다.

보행 기종점 추정 앞서, 통합 스마트카드 자료를 이용하여 5가지의 통행 유형에 따라 승하차 보행량, 개찰구 이용 현황 등에 대한 특성 및 삼성역 통행에 대한 기초 통행패턴에 대하여 분석하였다(Table 3 참조). 분석 결과에 의하면, 삼성역을 출발지 및 도착지로 하는 통행이 전체 통행의 88.2%를 차지하는 것으로 나타나 대부분의 통행이 직승·하차 통행인 것으로 나타났다. 삼성역의 경우, 오전 첨두시간은 8-10시 사이에 나타나는데, 업무 및 상업시설로 인한 출퇴근 통행을 반영하고 있으며, 상업시설 개점시간이 대부분 10시이기 때문에 다른 도시철도 역사 보다 오전 첨두시간대가 한 시간 가량 늦게 나타나는 양상을 띤다. 해당 일의 오전 첨두 시간대의 통행량은 28,069건으로, 전체 일일 통행량의 약 23.3%를 차지하는 높은 비율을 보인다.

Table 3. Statistics of the trips using integrated smart card data

Type	# of trips (all day)	# of trips (peak time, 8-10)	# of trips for time of day
1	53,185	1,215	
2	53,184	23,158	
3	6,201	1,092	
4	8,010	2,606	
5	-	-	
Total	120,580	28,071	

3) 공간정보 자료 수집

삼성역 인근의 토지이용 현황은 주거시설, 업무시설, 상업시설로 구분하여 도출하고자 하였으며, 주거시설은 삼성역 인근의 주거인구 수, 업무시설은 직장인구 수, 상업시설은 상업시설 수를 조사하여 공간정보 자료를 구축하였다. 또한, 삼성역 인근의 버스정류장 위치를 권역별로 매칭하여 버스 정류장 위치에 대한 공간정보를 생성하였다. 공간정보 자료 구축을 위한 토지이용 현황 조사는 소상공인마당 상권분석시스템¹⁾에서 제공하고 있는 자료를 활용하였으며, 삼성역 인근의 토지이용 현황을 앞서 설정한 4개의 출입구 구역을 기준으로 조사하여 Table 4에 제시하였다. 조사된 토지이용 현황 자료는 직승·하차 통행에 대한 보행 기종점 추정 시 활용된다. 또한, 수단간 환승 통행에 대한 보행 기종점 추정을 위해 버스 정류장과 삼성역 지상 공간 구역을 매칭하여 분석에 활용하였다. 삼성역 인근의 각 권역 별 공간정보에 따르면, 코엑스 몰이 포함되어 있는 3구역의 경우 직장인구 수가 57,595명으로 나타나 가장 높은 비율을 나타냈으며, 상가업소 수도 1,361개로 높은 비율을 나타냈다. 2구역의 경우 업무지역, 주거지역 및 학교가 밀집해 있는 주택상업지역으로 분류되며 주거 인구수가 전체 권역 중 80% 이상의 높은 비율을 차지하고 있다. 본 연구에서는 시간대별 통행 목적 비율(주거, 업무, 여가)에 따른 통행 분포를 적용할 수 있는 모형을 제시하였으나, 본 연구의 시간적 분석 대상인 삼성역의 오전 첨두시간대에는 업무통행이 대부분을 차지하기 때문에 업무통행 비율을 100%로 적용하여 출입구에 대한 통행 분포를 적용하였다.

1) 소상공인시장진흥공단, 소상공인마당 상권정보분석시스템 (<http://www.sbiz.or.kr/sup/main.do>)

Table 4. GIS information by sections

Section	Area (m ²)	Residents	Employees	Number of commercials
1	240,427	1,261 (6.8 %)	16,799 (12.2 %)	155 (6.9 %)
2	566,598	15,317 (82.8 %)	42,083 (30.6 %)	520 (23.1 %)
3	346,324	1,924 (10.4 %)	57,595 (41.9 %)	1,361 (60.6 %)
4	251,092	– (0.0 %)	21,012 (15.3 %)	211 (9.4 %)

2. 보행 기종점 분석 프로그램

본 연구에서는, 앞서 수집한 자료 및 분석체계를 이용하여 삼성역의 보행 기종점 추정을 위한 통합 보행 기종점 분석 프로그램을 개발하였다. Figure 7에 개발한 통합 보행 기종점 분석 프로그램 UI (User Interface)를 제시하였으며, 개발한 프로그램은 앞서 수집한 공간정보 및 통합 스마트카드 자료, 분석하고자 하는 역사에 대한 정보, 시간대 정보 등을 입력하면, 본 연구에서 제시된 분석 절차 및 연산과정에 의거하여, 보행 기종점 자료가 출력되도록 구성되어 있다.

우선, 보행 기종점 추정 프로그램의 입력 자료는 앞서 수집된 삼성역의 통합 스마트카드 자료와 공간정보 자료이며, 두 자료를 융합하여 대중교통 수단 혹은 노선 간 환승 정보가 자동 추출 된다(통합 스마트카드 자료+ 공간정보 자료 → Figure 7의 오른쪽 상단 박스에 있는 Bus stop section, AFC section 매칭 → 수단 및 노선 간 환승 OD 생성). 또한, 공간정보 자료에 매칭 가능한 출입구 영향권을 설정하고, 보행 기종점 추정을 위한 분석 파라미터로 분석대상 역사에 대한 역 ID, 분석 시간대를 정의하여 입력하면 분석가가 도출하고자 하는 역사에 대해 설정한 시간대(오전 첨두, 오후 첨두, 전일)에 대한 결과를 도출하게 된다.

Pedestrian OD Estimation at Inter-Station

Input Data

Input Card Data

Smart Card Data: a_initial_data_samsung.xlsx

AFC Tag Data: a_initial_data_samsung_afc.xlsx

Input Analysis Parameter

Station ID: 219

Analysis Time (Start): 07 hr 00 min

Analysis Time (End): 09 hr 00 min

Input Land Use Information

Working Population: 16799.42083,57595,21012

Living Population: 1261,15317,1924,0

Number of households: 429,5213,745,0

Number of commercial: 155,520,1361,211

Bus stop section: bus_area_id.txt

AFC section: afc_area_id.txt

Click for Estimating Pedestrian OD

OD Matrix

	Section 1 (Exit 1,2)	Section 2 (Exit 3,4)	Section 3 (Exit 5,6)	Section 4 (Exit 7,8)	Platform (Seonreung)
Section 1 (Exit 1,2)	0	0	0	0	2
Section 2 (Exit 3,4)	0	0	0	0	1
Section 3 (Exit 5,6)	0	0	0	0	2
Section 4 (Exit 7,8)	0	0	0	0	0
Platform (Seonreung)	707	2061	2660	1183	
Platform (Jonghap)	1570	4482	5832	2532	

Export OD matrix

Figure 7. Program interface for analyzing pedestrian OD matrix

3. 보행 기종점 자료 추정 및 검증 절차

제안된 도시철도 역사 보행 기종점 분석 기법과 구현된 UI를 활용하여, 추정된 삼성역 보행 기종점 자료는 Table 5와 같이 도출하였다. 본 연구에서는 교통카드 자료를 통해 도출할 수 없는 도시철도 역사를 단순 통과하는 통과 보행자는 분석 대상에서 제외하였으며, 실제 지하철을 이용한 보행자를 대상으로 교통카드 실적 자료 기반으로 분석을 수행하였다. 보행 기종점 추정 결과에 따르면, 기점이 승강장, 종점이 출입구인, 타 역에서 삼성역으로 유입하는 도착 통행이 25,764 통행으로, 오전 첨두시간대 전체 삼성역 이용자의 90% 이상을 차지하고 있으며, 종합운동장역 방향의 승강장으로 도착한 통행이 대부분의 비율을 차지하고 있다. 승강장으로 도착한 이용객들의 통행 패턴은 출입구 3구역으로의 유출하는 통행이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 코엑스 몰, 무역센터 등이 연결되어 있는 5,6번 출입구의 출근 통행으로 인한 결과로 판단된다. 출입구에서 승강장으로 이동하는 유입통행의 경우, 2,307통행으로 나타났으며, 삼성역으로 유입한 이용자는 종합운동장 방면으로 이동하는 비율이 높은 것으로 나타났다.

Table 5. Pedestrian OD matrix in Samseong station

	Exit Section 1 (Exit 1,2)	Exit Section 2 (Exit 3,4)	Exit Section 3 (Exit 5,6)	Exit Section 4 (Exit 7,8)	Platform to Seolleung	Platform to Sports Complex	Sum (Origin)
Exit Section 1 (Exit 1,2)	0	0	0	0	246	594	840
Exit Section 2 (Exit 3,4)	0	0	0	0	141	367	508
Exit Section 3 (Exit 5,6)	0	0	0	0	211	542	753
Exit Section 4 (Exit 7,8)	0	0	0	0	57	149	206
Platform to Seolleung	855	2,416	3,203	1,375	0	0	7,849
Platform to Sports Complex	1,986	5,511	7,340	3,078	0	0	17,915
Sum (Destination)	2,841	7,927	10,543	4,453	655	1,652	Total 28,071

Table 5의 결과에서 주목할 사항은 오전 첨두시 삼성역으로 유입하는 통행 비율이 높으며, 종합운동장 방면의 승강장에서 하차하는 승객 비율이 높게 나타난다는 점이다. 이는 사당역(4호선), 교대역(3호선), 강남역(신분당선), 선릉역(분당선)과 연계되어 있는 방향적 특성이 반영된 것으로, 교통카드를 활용한 통행 패턴 분석을 통해 분석대상 역사와 관련된 타 노선과의 관계를 살펴볼 수 있는 자료로 활용 될 수 있을 것으로 보인다. 또한, 이러한 추세는 추후 종합운동장역과 연계되는 9호선 확장 및 서울시 동남권에서 추진하고 있는 영동대로-종합운동장역 주변 국제교류 지구 개발 사업이 완료되면 새로운 통행 패턴을 보이게 되어 본 연구에서 개발한 보행 기종점 추정 방법의 활용성이 증가 할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 도출된 보행 기종점을 검증하기 위해 자동 출·개찰 시스템 자료와 영상 촬영 자료를 이용하여 출발 통행(출입구→승강장) 2,307통행과 도착통행(승강장→출입구) 25,764통행에 대한 기종점 추정 결과를 검증하였다. 삼성역은 섬식 승강장으로 구성되어 있어 승강장에 대한 검증은 분석에서 제외하고, 출입구에 대한 결과를 검증하였다. Figure 6과 같이 자동 출·개찰 시스템 인근에 비디오 영상장치를 장착하여 혼잡 시간대에 역사 외부에서 내부로 들어오는 유입통행(inflow)과 역사 내에서 외부로 통행하는 유출통행(outflow)에 대하여 출입구 방향 별 비율을 산정하였으며, 삼성역 오전 첨두시간대 개찰구 별 통행량과 개찰구 별 출입구 방향 비율을 Figure 8에 제시하였다. 이 때, 유입통행은 유입한 출입구에서 가장 가까운 개찰구를 이용한다는 가정 하에 출입구 1구역과 4구역은 각각 개찰구 1그룹과 2그룹으로 100% 유입하는 것으로 설정하였으며, 출입구 2구역과 3구역에서 개찰구 3그룹으로 유입

하는 비율은 비디오 영상자료 분석을 통해 도출하였다. 유출통행 비율 또한 비디오 영상자료를 통해 각 개찰구에서 출입구로 분포하는 비율을 도출하여 분석에 활용하였다.

Figure 8. Throughput and ratio of AFC at Samseong station

교통카드 자료 기반으로 도출한 출입구 기종점 보행량 분석 결과를 현장조사와 AFC자료 기반으로 도출한 보행량과 비교하여 Table 6에 제시하였다. 검증에 위한 평가 척도는 OD 추정 시 일반적으로 활용되는 기준인 GEH를 사용하였으며, Figure 3에 의해 도출된다. GEH 값이 0%에 가까울수록 두 비교 데이터가 일치성이 높다고 판단할 수 있으며, 일반적으로 GEH가 10% 이내인 경우를 수용 가능한 수준으로 판단한다(Chitturi et, al., 2014). 분석 결과, 유출·입 통행에 대하여 모든 출입구에서의 GEH 값이 10% 이하로 나타나, 본 연구에서 제시한 공간정보 기반의 출입구 배정 방법론이 실제 보행자들의 통행과 유사한 패턴을 보이는 것을 확인하였다.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(Exit_{OD} - Exit_{AFC})^2}{Exit_{OD} + Exit_{AFC}}} \quad (3)$$

$Exit_{OD}$: estimated pedestrian volume using smart card data and spatial information

$Exit_{AFC}$: observed pedestrian volume using AFC and video recorded data

Table 6. Validated result between the estimates and AFC throughput at each exit

Type of flow	Exit section	Exit	OD estimation	AFC throughput	GEH (%)
Inflow (Exit to Platform)	1	1, 2	840	1,055	6.98
	2	3, 4	508	424	3.90
	3	5, 6	753	677	2.84
	4	7, 8	206	151	4.12
Outflow (Platform to Exit)	1	1, 2	2,841	3,125	5.19
	2	3, 4	7,927	8,140	2.38
	3	5, 6	10,543	9,549	9.92
	4	7, 8	4,453	4,950	7.25

결론

도시철도 역사 등 교통시설은 4단계 교통수요 모형에서 외부 존과 내부 존을 잇는 중요한 역할을 하고 있으나, 교통수단 수요예측을 위해 개발된 4단계 수요분석 모형은 내부 존 중심의 거시적인 분석을 표방하고 있다. 도시철도 역사를 중심으로 한 보행 기종점 자료 추정 기법은 교통 분야에서 널리 사용되고 있는 4단계 교통수요 모형에 있어서 분석 사각지대로 분류될 수 있다. 국가교통DB구축사업을 통해, 전국적으로 교통과 관련된 데이터베이스(KTDB)가

배포되고 있지만, KTDB의 주 수단 OD는 주 수단과 보조 수단을 분리하여 분석하기 때문에, 도시철도 역사 이용자의 이동·환승에 따른 연계 수단 분석이 불명확하고, 대중교통 노선 변화에 따른 전 주기 통행에 대한 변화를 반영하기 어렵다는 점이 있다. 이러한 문제는 KTDB와 보행자 기종점 자료의 활용 목적 및 분석 대상의 차이로 기인한 것으로 신뢰성 여부에 대한 논쟁보다는, 상이한 위계의 기종점 자료에 대한 연계성 및 정합성 유지를 위해, 유기적인 연구체계 하에서 연구의 고도화가 이뤄져야 한다. 이에 본 연구는 도시철도 역사 등 교통시설이 입지한 지역의 공간 정보 및 이용 특성을 고려하여 스마트카드 자료와 관련한 자료를 융합하고 도시철도 역사 내 보행기종점 분석 방법을 체계화하여, 보다 표준화된 분석 기틀을 마련하고자 하였다. 또한, 분석 방법의 기초 입력 자료를 공간 정보, 지속적으로 구득이 가능한 스마트카드 자료 및 추후 디지털화되어 구득이 용이할 수 있는 기술 기반의 정보로 한정하였다. 특히, 공간 정보는 추후 도시재생 등 다양한 도시계획 및 개발사업과 연계하여, 보다 객관적인 수요 예측을 위한 핵심 연계 정보로 활용될 예정이다.

본 연구에서는 보행 기종점 분석체계를 자료 수집과 보행 기종점 추정의 2단계 모듈로 구성하였으며, 삼성역을 대상으로 사례분석을 수행하였다. 2016년 11월 1일 삼성역을 이용한 이용객들에 대한 교통카드 실적 자료와 삼성역 자동 출·개찰 시스템 자료를 통합한 통합 스마트카드 자료를 수집하였으며, 삼성역 인근의 공간정보 자료로 주거인구 수, 직장인구 수, 상가업소 수, 버스정류장 등의 자료를 수집하였다. 또한, 도시철도 역사 내의 보행자 통행 패턴 분석을 위해 영상 자료를 수집하였다. 도시철도 역사 내의 주요 기·종점을 출입구, 승강장으로 정의하였으며, 출입구와 승강장에 대한 통행 배분 체계를 적용하여 최종 보행 기종점을 도출하였다. 도출된 삼성역의 보행 OD matrix에 대하여 각 출입구에 대한 통행량을 자동 출·개찰 시스템 자료와 영상 자료를 기반으로 하여 검증하고자 하였으며, 분석 결과 GEH 값이 모든 출입구에 대해 10% 미만으로 나타나 본 연구에서 제시한 공간정보 기반의 출입구 배정 방법론이 실제 보행자들의 통행과 유사한 패턴을 보이는 것을 확인하였다.

본 연구에서 나타난 한계점을 보완하고 보다 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 현재 삼성역과 같은 단일 노선을 대상으로 하는 도시철도 역사에 대한 분석 체계를 제시하였으나, 2개 이상의 노선이 교차하는 환승역에 대한 보행 기종점 분석 체계를 추가적으로 개발하여 적용 범위를 확장 할 필요가 있다. 둘째, 본 연구는 도시철도 역사 보행 기종점 수요분석을 위한 표준화된 방법론 혹은 분석 체계 구축에 중점을 두고 있기 때문에, 모형 신뢰성은 주요 스크린 라인에서 오차율 10% 이내로 검증 하였다. 추후, 검증 지점 추가 혹은 경로기반 통행을 비교 분석하는 방식 등 검증절차에 대해 상세화가 필요하며, 검증에 대한 신뢰성 확보가 필요할 것이다. 또한, 도시철도역사의 특성을 반영한 개별 모형의 신뢰성 향상을 위해, 건물별 연상 면적, 층별 시설이용 특성, 시간대별 활동인구 등 상세한 속성을 포함한 동적 공간 정보 DB를 통해 모형 확장하고자 하며, 이용자 설문조사를 통한 통행발생 지점을 열차 출입문 위치로, 핀 포인트 수준으로 상세화 하여, 수요추정 뿐만 아니라 수요예측 정밀도를 향상하고자 한다. 셋째, 보행 기종점 분석 체계를 승강장-출입구에서 승강장-개찰구-출입구로 확장하여 추후 보행동선 예측, 도시철도 역사 내 경로 선택 등에 활용 할 수 있는 세부적인 자료 구축을 위한 연구가 필요하다. 마지막으로 사례분석 관련하여, 현재 오전 첨두시간대를 대상으로 분석을 수행함으로써 업무통행만을 대상으로 분석을 수행하였으나, 역사에 대한 다양한 분석을 지원하기 위해서는 통행 목적에 대한 추가적인 자료 조사를 통해 비첨두 시간, 오후 첨두 시간 등의 다양한 시간대에 대한 동적 OD matrix를 도출 할 필요가 있다. 셋째, KTDB 등 기존 OD와 연계한 분석을 바탕으로 연구 결과의 정합성 추구하여, 이용자들이 보다 쉽게 이용할 수 있는 실용 학문적 근거 제시 등이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 도시철도 역사 내 보행 기종점 분석체계는 향후 도시철도 역사 시설 개선, 서비스 기술 개발 등을 위한 설계 및 효과분석 시 기초 자료로 활용이 가능 할 것이다. 또한, 도시철도 역사에서 복합 환승역사까지 다양한 범위의 철도 역사에 대한 분석을 가능하도록 지원함으로써 보다 효율적이고 편리한 역사 설계, 서비스 제공에 기여 할 것으로 기대된다. 이러한 자료의 디지털화, DB화, 그리고 교통 알고리즘과 연계한 시스템구축에 대한 연구는 보행자의 속성을 도출하기 위한 기술, 역사 내 모니터링 기술 등의 다양한 신기술이 개발되고 접목되어 도시철도 역사 계획, 설계 뿐만 아니라 통합 운영 및 유지·관리 차원의 활용이 가능할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant from the R&D Program of the Korea Railroad Research Institute, Republic of Korea.

REFERENCES

- Bagchi M., White P.R. (2005), The Potential of Public Transport Smart Card Data, *Transportation Policy* 12, 464-474.
- Blythe P. (2004), Improving Public Transport Ticketing Through Smart Cards, *Municipal Engineer* 157(1), 47-54.
- Chitturi M. V., Shaw J. W., Campbell IV J. R., Noyce D. A. (2014), Validation of Origin-Destination Data From Bluetooth Reidentification and Aerial Observation, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2430, 116-123.
- Jung R., Chung J., You S. (2016), Analysis of Route Choice Behavior in Subway Station: Focusing on Walking Distance, <http://dx.doi.org/10.15793/kspr2016.88..005>.
- Korea Railroad Research Institute (2015-2017), Technical Development of Public Transportation Planning & Operation Efficiency.
- Lee M.Y., Kim J.H. (2016), Analysis of Transit Passenger Movements Within Seoul-Gyeonggi-Incheon Area Using Transportation Card, *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems* 15(5), 12-19.
- Munizaga M., Palma C., Mora P. (2010), Public Transport OD Matrix Estimation From Smart Card Payment System Data, *The 9th International IEEE Conference on Transport Research*, Lisbon, 2988.
- Park J., Kim S., Jo J., Heo M. (2008), The Study on Error, Missing Data and Imputation of the Smart Card Data for the Transit OD Construction, *J. Korean Soc. Transp.*, 26(2), Korean Society of Transportation, 109-119.
- Pelletier M.P., Trépanier M., Morency C. (2011), Smart Card Data Use in Public Transit: A Literature Review, *Transportation Research Part C* 19 (2011), 557-568.
- Seaborn C., Wilson N.H., Attanucci J. (2009), Using Smart Card Fare Payment Data to Analyze Multi-Modal Public Transport Journeys (London, UK), 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.
- Seoul Metropolitan Government (2017), Report news, February 6, 2017.
- Shin K. (2016), Inferring the Transit Trip Destination Zone of Smart Card User Using Trip Chain Structure, *J. Korean Soc. Transp.*, 34(5), Korean Society of Transportation, 437-448.
- Statistics Korea (2010-2015), available: http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1259.
- Trépanier M., Chapleau R., Tranchant N. (2007), Individual Trip Destination Estimation in Transit Smart Card Automated Fare Collection System, *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations* 11(1), 1-15.
- Utsunomiya M., Attanucci J., Wilson N. (2006), Potential Uses of Transit Smart Card Registration and Transaction Data to Improve Transit Planning, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1971, 119-126.
- You S., Jung R., Chung J. (2016), An Analysis on Evacuation Scenario at Metro-stations Using Pedestrian Movement-based Simulation Model, *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems* 15(2), 36-49.
- You S., Kim K., Jeong E., Lee J. (2017), An Empirical Study for Analyzing an Integrated Mobility at Intermodal Transit Center, *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 16(5).