

도시철도역 이용수요 추정 및 이동편의시설 규모 예측 비교 분석

김황배* · 이상화** · 배춘봉***

Kim, Hwang Bae*, Lee, Sang Hwa**, Bae, Choon Bong***

Comparative Analysis of Estimation of Demand for Urban Railway Stations and Forecast of Transportation Facilities Size Prediction

ABSTRACT

The size of the subway entrance should be calculated according to the user's demand, but Korea has the same size for each entrance by applying a uniform value. Recently, the installation of mobile convenience facilities such as escalators, elevators, etc. is mandated by the traffic weakness promotion law, but it is inconvenient to use the existing stations because it is mainly arranged in the place where it can be installed regardless of user demand. This study aims to establish a model for estimating the size of mobile convenience facilities by predicting the use demand of each station entrance so that the location and size of mobile facilities can be reflected in the design or construction of the station. To this end, a multiple regression model was established to forecast daily demand by utilizing the demand for getting on and off by station and the building association area for each purpose around the railway station. The actual data of Dongdaemun and Jonggak Stations were used to verify the estimated model. In addition, the escalator installation scale was compared / analyzed by doorway using domestic and overseas escalator equations. As a result, it was more accurate to estimate the usage demand for a single station. Also, Jonggak Station has an up and down escalator installed at exit 1, but it was analyzed that it is appropriate to install at exit 4. This study is an advanced form of the essay model for estimating the users of the entrance and exit users of urban railway stations published in 2018. In addition, it seems to be the basis of the current escalator installation criteria.

Key words : Urban railway station, Number of users per entrance, Transportation facilities size, Multiple regression model

초록

도시철도 출입구 규모는 이용자의 수요에 따라 산정되어야 하나, 우리나라는 일률적인 값을 적용, 출입구 위치에 따라 이용자의 편차가 많이 발생하여 불편을 겪는다. 최근 교통약자편의증진법에 의해 에스컬레이터, 엘리베이터 등의 이동편의시설의 설치가 의무화되고 있지만 기존 역의 경우 이용자 수요와 상관없이 설치 가능한 곳에 주로 배치가 되기 때문에 실질적으로 이용이 많이 불편하다. 이동편의시설 위치 및 규모가 역 설계 또는 건설시 반영될 수 있도록 본 연구에서는 역 출입구별 이용수요를 예측하여 출입구의 이동편의시설 규모 산정 모형을 정립하고자 한다. 이를 위해 역별 승하차 이용수요, 철도역 주변 용도별 건물 연상면적을 활용하여 1일 수요 예측을 위한 다중회귀모형식을 수립하였다. 추정된 모형의 검증용 위해 동대문역과 종각역의 실제 데이터를 이용하였으며, 추가적으로 국내의 에스컬레이터 산정식을 활용하여 출입구별 에스컬레이터 설치 규모를 비교/분석하였다. 그 결과 단일역을 대상으로 이용수요를 추정하는 것이 좀 더 정확하였으며, 종각역은 1번 출구에 상하행 에스컬레이터가 설치되어 있으나, 4번 출구에 설치하는 것이 타당한 것으로 분석되었다. 본 연구는 2018년 게재된 도시철도역 출입구 유출입 이용자 추정 모형 수립 논문의 발전된 형태로 향후 역 신설시 또는 이동편의시설물 설치 및 확장시 활용될 수 있을 것이라 판단된다. 더불어 현재 무분별하게 설치하는 에스컬레이터 설치 기준의 기초가 될 것으로 보인다.

검색어 : 도시철도역, 출입구별 이용자 수, 이동편의시설 규모, 회귀모형

* 정희원 · 남서울대학교 공간정보공학과 교수, 첨단교통환경연구소 소장 (Namseoul University · 88guardian@naver.com)

** 정희원 · 목원대학교 산학협력단 책임연구원 (Mokwon University · soboru2@hotmail.com)

*** 교신저자 · 남서울대학교 첨단교통환경연구소 연구교수 (Corresponding Author · Namseoul University · cbbae99@gmail.com)

Received November 9, 2019/ revised November 13, 2019/ accepted November 18, 2019

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

도시철도역의 출입구 이용자 수는 역 주변 시설물과의 출입구 배치, 이동편의시설 설치 여부, 토지이용계획 등에 많은 영향을 받고 있으나 이와 관련된 연구는 찾아보기 어려운 실정이다. 더불어 우리나라의 65세 인구는 2019년 현재 768만명으로 전체 인구의 약 14.9%를 차지하고 있으며 이미 2018년(14.3%)에 고령사회에 진입하여 앞으로 도시철도역 이용자 이동편의시설에 대한 이용자 수는 더욱 급증할 것으로 보인다. 특히 도시철도역 역사 주변 입주 건물(복지관, 공원, 보건소, 실버타운 등) 특성에 따라 주 이용객 유형이 정의되어지나 현재 이에 대한 고려없이 외부 출입구 주변 편의시설 설치시 공간 확보가 가능한 지역에 이동편의시설(엘리베이터, 에스컬레이터 등)을 설치한다. 역별 출입구 규모 설계 및 적절한 위치에 이동편의시설을 설치하기 위해서는 출입구 위치 특성에 따른 이용수요 추정 모형식이 필요하며, 이를 토대로 출입구 시설 규모(계단, 에스컬레이터, 엘리베이터 등)를 예측하여 비용 대비 효과적으로 시설물을 설치해야 한다.

따라서 본 연구에서는 도시철도역 출입구 시설 및 편의시설 적정 규모 예측을 위한 모형식을 정립하고 사례대상지역을 선정하여 모형을 검증, 국내외 산정식을 대상으로 에스컬레이터 설치 개수를 비교·분석하고자 한다.

1.2 연구 내용 및 방법

본 연구는 한국연구재단의 “2017년도 이공학개인기초연구” 중 지역대학우수과학자 신규과제 연구로 3년도 중 마지막 차년도 과제이다. 본 연구는 2018년 게재한 도시철도역 출입구 유출입 이용자 추정 모형 수립 논문의 발전된 형태로 기존 논문에서는 출입구 유출입 이용자 추정 모형을 수립했다면 본 연구에서는 해당식을 철도역 주변 용도별 건물 연상면적의 변수를 추가하여 모형식을 보완하였으며, 추가적으로 조사 값과 추정된 자료를 우선 비교한 후 교통약자를 비율대로 추정하여 국내외 이동편의시설 산정식에 추정된 일일 이용자수와 교통약자 이용자수를 적용하여 이동편의시설을 산정/비교하는 것이 목표이다. 이를 위해 다음과 같이 연구를 수행하였다. 첫째, 연구의 목적 및 연구 범위를 설정하고, 둘째, 이론적 고찰을 통해 이동편의시설 규모 산정식을 검토하였으며(도시철도역 유출입 이용수요와 관련된 요인은 2019년 게재 논문 참조; Kim et al., 2019), 셋째, 도시철도역 유출입 이용수요 추정을 위한 자료 수집 및 특성을 분석하여 회귀모형을 이용하여 도시철도역 유출입 이용수요 추정 모형을 정립하였다. 넷째, 추정된 모형식을 사례대상지를 선정하여 조사값과의 비교를 한 후 국내외 이동편의시설 산정식을 활용, 역별 에스컬레이터 설치대수

를 산정하였으며 마지막으로 연구의 결과를 요약하고, 한계점 및 향후 연구 과제를 제시한다.

2. 관련 문헌 고찰

2.1 본 연구 대상 범위 관련(교통약자)

대중교통을 이용함에 있어 특정 시설물이 없어 이동에 불편함을 겪는 계층을 우리는 흔히 교통약자라 정의한다. 본 연구는 지하철역 이용시 불편을 겪는 사람이라는 포괄적인 주제로 진행 중이나, 여러 문헌을 살펴본 결과 교통약자라는 개념은 다양한 의미를 포함함을 발견하였다. Shin(2000)은 고령자, 장애인이라고 하는 사회계층과 교통대책을 필요로 하는 이동제한자, 비장애인과의 중복관계를 도식화하고, 그 중 이동 제약에 곤란함을 느끼는 그룹을 정의하였다(Fig. 1 참조). 따라서 본 연구에서는 기존 연구의 이동제한자 정의를 차용하여 다음과 같이 연구 대상 범위를 정의하였다.

- 이동제한자 : 시설, 사람 등이 보조해야 이동이 가능한, 스스로 이동하기 어려운 사람

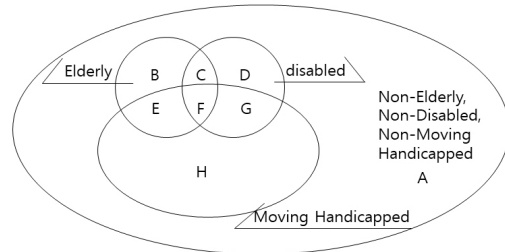


Fig. 1. Scope of This Study

2.2 이동편의시설 규모 산정 관련

도시철도 정거장 및 환승편의시설 설계지침(MOLIT, 2018) 및 복합환승센터 설계 및 배치기준(MOLIT, 2015)에는 출입구, 계단, 에스컬레이터, 엘리베이터 산정 기준에 대해 제시되어 있다.

도시철도 정거장 및 환승편의시설 설계지침에서는 외부 계단(출입구) 설치기준은 다음과 같이 최소 기준을 권고하고 있고, 이용자 수요 보다는 기존 설치된 현황에 근거하여 이동편의시설을 설치하도록 제시하고 있다(Table 1 참조).

복합환승센터 설계 및 배치기준에서는 이동편의시설에 대한 설계시 수율을 이용하여 규모를 산정하도록 제시하고 있다(Table 2 참조).

영국 런던 SPSP는 계단 폭원 및 에스컬레이터 개수 산정시 침투 이용수율을 활용하며, 계단의 경우 단방향은 LOS C, 양방향은 LOS D를 기준으로 설계한다(Table 3 참조).

Table 1. Design Guidelines for Subway Stations and Transit Convenience Facilities

1. Exterior Stairs (entrance)
(1) installation location and location
(omit text)When installing at the intersection, at least one entrance and exterior stairway should be installed at each corner of the intersection, and two or more entrance and exterior stairways should be installed at each sidewalk. (omit text)
2. Escalator (E / S)
(1) installation location and location
1) In case of installing escalator at the external entrance, the pedestrian moving line using the escalator should continue to the platform.(omit text)

Table 2. Complex Transfer Center Design and Layout Criteria

1. Entrance
(omit text) The width of the entrance should be such that the pedestrian traffic flow rate is less than 59.51 (person / minute / m) by applying the LOS D standard of pedestrian passages.
<Formula to calculate entrance width>
$W_s = \frac{V_1}{PFR_s}$ $W_s = \text{Width of entrance (m)}$ $V_1 = \text{Demand per minute of Entrance (person/minute)}$ $PFR_s = \text{Entrance pedestrian traffic flow rate (person/minute·m)}$
2. Stairs
(omit text) The width of the stairs should be more than the required width, but the minimum width should be more than 3 m (more than 1.5 m when installed in parallel with the escalator).
<Calculating staircase widths>
$W_s = \frac{V_1}{PFR_s}$ $W_s = \text{Width of stairs (m)}$ $V_1 = \text{Demand per minute of stairs (person / minute)}$ $PFR_s = \text{stairs pedestrian traffic flow rate (person/minute·m)}$
(omit text) Be more than required width, but minimum width should be more than 3 m (more than 1.5 m when installed in parallel with escalator)
3. Escalator (E/S)
The effective width of the escalator is based on 1.2m, and inevitable, it can be more than 0.8 m.
(omit text)
The number of escalators to be installed is designed to satisfy the occupied area 0.34 (m ² / person) by applying the service level (LOS) D standard of the air space.
<Calculating number of escalators>
$N_{es} = \frac{V_{es}}{PPR_{es}}$ $N_{es} = \text{Number of escalators (unit)}$ $V_{es} = \text{Escalator demand per minute (persons/minute)}$ $PPR_{es} = \text{Capacity per minute of escalator (person/minute·unit)}$
4. Elevator (E/V)
The number of elevator installations is designed so that the occupied area is over 0.34 (m ² / in) by applying the service level (LOS) “D” standard of the air space.
<Formula to find escalator installation number>
$N_{ev} = \frac{V_{ev}}{PPR_{ev}}$ $N_{ev} = \text{Number of elevators}$ $V_{ev} = \text{Elevator demand per minute (persons/minute)}$ $PPR_{ev} = \text{Capacity per minute of elevator (person/minute·unit)}$

Table 3. Station Capacity Planning Guidance (Network Rail, 2016)

1. Staircases
 (omit text) The formulae below shall be used to calculate the required staircase widths between handrails for one-way and two-way flows. One-way flows are based on Fruin stairways LoS D and two-way flows are based on stairways LoS C.

Calculating staircase widths	
two-way staircase width =	$\left\{ \frac{\text{average peak minute flow}}{28} \right\} \text{ m}$
one-way staircase width =	$\left\{ \frac{\text{average peak minute flow}}{35} \right\} \text{ m}$

2. Escalator (E/S)
 Generally, the number of escalators required at a station shall be calculated based on an assumed maximum throughput rate of 100 passengers per minute. At some stations a lower throughput rate may be appropriate depending on passenger behaviour and this shall be agreed with the NR SCT. The number of escalators required for any one direction with a standard throughput rate shall be calculated as follows:

Calculating number of escalators	
number of escalators =	$\left\{ \frac{\text{peak minute one-way flow}}{100} \right\} \text{ m}$

3. Elevator (E/V)
 Manufacturer’s plated capacity is often based on the weight carrying capacity of the lift rather than the physical space available inside the lift car. Where lifts are intended to be used primarily by unencumbered passengers, 70 % of the plated capacity shall be used to determine the number of lifts required. Where the lift is intended to be used by persons with reduced mobility (including those with luggage), only 25 % of the plated capacity shall be used.
 (omit text)

Calculating number of lifts	
number of lifts =	$\left\{ \frac{\text{peak minute passengers using lifts}}{\text{capacity of lifts}} \right\} \times \text{lift cycle time (min)}$

KONE(2009)은 에스컬레이터를 다음과 같은 순서에 의해 계획한다고 제시한다.

- 역 내 통행량이 많은 시간을 기준으로 양방향 이동량을 추정함 (이때 계단, 에스컬레이터 통행 구분)
- 목적에 적합한 속도와 너비 선택(보통 0.5 또는 0.65 m/s, 너비 1,000 mm, 용량은 Table 4 이용)
- 첨두시 최대 통행량을 기준으로 에스컬레이터 설치개수 산정 (반올림하여 정수로 도출)
- 방향 전환을 고려하여 에스컬레이터 1개 추가
- 고장을 대비하여 에스컬레이터 1개 추가

Table 4. Escalator Processing Capacity Considering Speed and Width

Step/pallet width (mm)	Nominal speed (m/s)		
	0.50	0.65	0.75
600	3600 persons/h	4400 persons/h	4900 persons/h
800	4800 persons/h	5900 persons/h	6600 persons/h
1000*	6000 persons/h	7300 persons/h	8200 persons/h

Note 1 Use of baggage carts will reduce the capacity by approximately 80 %
 Note 2 For horizontal/inclined autowalks with a pallet width in excess of 1.00 m the capacity is not increased as users need to hold the handrail; the additional width is mainly to enable the use of shopping trolleys and baggage carts.

엘리베이터 계획은 다음과 같은 순서에 의해 계획한다.

- 침두시 통행량과 이 중 엘리베이터를 이용하는 비율 추정(일반적으로 엘리베이터는 역 내 통행량의 5~20 % 이내로 계획됨)
- 엘리베이터 규모 산정(Fig. 2 참조)

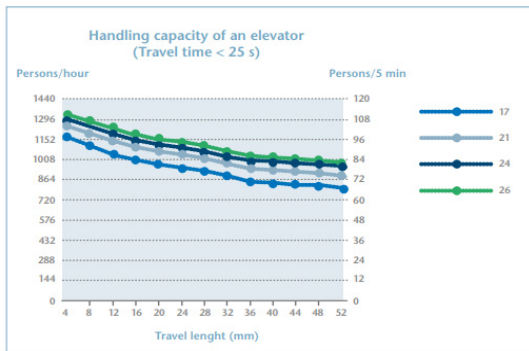


Fig. 2. Elevator Size with 17 to 26 Interactive Traffic Capacity (Compared to Distance)

- 침두시 통행량을 엘리베이터 한 대당 처리 용량으로 나누어 엘리베이터 수 산정(정수 반올림)
- 고장을 대비하여 엘리베이터 수를 1개 증가
- 산출된 엘리베이터 개수가 많으면 용량 증가

2.3 시사점

국내의 관련 문헌 검토 결과 도시철도역의 시설물의 기준은 모두 일반인을 대상으로 설계되어 있음을 파악하였다.

국내의 설치기준을 살펴보면 에스컬레이터 및 엘리베이터의 경우 분당 수요 및 분당 처리 용량을 고려한다. 엘리베이터의 경우 교통약자의 비율을 적용하는 것이 특징이라 할 수 있다. 국외의 경우 에스컬레이터 및 엘리베이터 설치대수 산정시 침두시 통행량

을 기준으로, 방향 전환, 고장 등을 대비하여 1개소씩 추가하는 것이 차이라 할 수 있다. 엘리베이터의 경우 특히 침두시 이용량 대비 5~20 % 정도가 엘리베이터를 이용한다는 가정 하에 그 안에서 설치대수 적정성 판단, 설치대수가 많이 산정될 경우 엘리베이터 용량을 증가하는 방향을 고려하는 것이 특징이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 수도권 도시철도역을 대상으로 이용자 추정 모형식 산정, 사례 대상을 바탕으로 에스컬레이터 및 엘리베이터 이용객을 조사, 추정된 모형식과 실제 이용객을 비교하여 추정된 모형식에 대한 검증은 수행하도록 한다.

더불어 사례 대상역을 토대로 출입구 주변 에스컬레이터 및 엘리베이터 설치대수를 국내의 설치 기준과 비교하도록 한다.

3. 연구자료 수집 및 특성

3.1 연구의 분석 절차와 방법

본 연구의 목적인 도시철도역 출입구 이용자 및 교통약자 이동편의 시설의 적정 규모를 산정하기 위한 분석 절차와 방법은 다음과 같다.

첫째, 도시철도역 1일 승하차 수요를 추정하기 위해 다중회귀모형을 정립하여 역세권을 선정하고 모형에 적합한 건물상면적 용도를 독립변수로 채택한다.

도시철도 역별 1일 승하차 이용수요는 철도역별 승하차 이용수요를 종속변수로 하고, 철도역 중심 2개 그룹 반경 500 m와 1,000 m 역세권을 설정하여 용도별 건물 연상면적을 독립변수로 활용하여 다중회귀모형을 정립하여 2개 그룹 모형의 결정계수(R^2)와 통계적 유의성을 검증하여 역세권 그룹을 선정한다. 선정된 역세권을 대상으로 종속변수(승하차 수요)에 영향을 미치는 독립변수(용도별 건물상면적) 선정을 위해 종속변수 및 독립변수에 로그변환을 취하여 최적의 모형을 정립한다.

둘째, 추정된 도시철도역 1일 승하차 이용수요와 침두시간 계수를 적용하여 침두 1시간 승하차 이용수요를 산정하고 이에 교통약자(장애인, 초등학교, 65세이상) 비율 또는 교통약자 추정 모형을 반영하여 도시철도역의 출입구 방향별 유출입 교통약자를 추정한다.

셋째, 모형에서 추정된 도시철도역의 1일 승하차 이용수요 및 교통약자의 수요를 토대로 철도역 이용 편의시설의 법정 서비스 수준을 고려한 철도역 유출입 방향별 일반 이용자와 교통약자의 편의시설의 적정 규모를 산정한다.

3.2 연구자료 수집 및 특성

서울시 도시철도역 이용자 및 교통약자의 이동 편의성을 개선하고 도시철도역 출입구 방향별 이동편의시설 적정 규모를 산정하기 위해 도시철도 역별 1일 이용수요를 추정하는 모형을 정립하고 침두시간 계수와 교통약자 이용비율을 반영하여 단위 시간당 철도역

출입구 방향별 이용수요를 추정하여야 한다.

도시철도 역별 1일 승하차 이용수요는 철도역별 승하차 이용수요를 종속변수로 하고, 철도역 중심 반경 500 m와 1,000 m 역세권의 용도별 건물 연상면적을 독립변수로 활용하여 다중회귀모형을 정립하여 추정한다. 도시철도 역별 이용수요 추정 모형의 정립을 위해 서울시 공간 Big_Data인 용도별 건물연상면적 DB 자료 654,595건을 수집하였고, 서울시 도시철도 1~5호선 170개 역별 이용특성(역별 승하차 및 무임승차 인원, 시간대별 이용수요) 자료를 수집하여 모형을 정립하였다.

도시철도역의 이동편의시설의 서비스 수준을 파악하기 위해 철도역 20개 지점의 출입구별 이용자를 5분 단위로 조사하여 계단 및 에스컬레이터(E/S) 이용 현황을 조사하였다.

- 철도역별 승하차 이용수요는 2018년도 서울시 도시철도 1~5호선 170개 역을 대상으로 자료를 수집하여 종속변수로 활용
- 서울시 공간 빅데이터인 건물 DB 654,595건의 건물 용도는 308개로 소분류 되어 있으며, 이를 22개로 대분류한 건물연상면적을 철도역 중심 500 m, 1,000 m의 역세권을 설정하고 GIS를 활용하여 역세권 내의 용도별 건물연상면적(1,000 m²당)을 독립변수로 적용
 - 모형적용 건물연상면적 용도 : 종속변수와 상관관계가 높은 단독주택, 공동주택, 제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설, 판매·영업, 교육·복지, 업무시설, 숙박시설, 위락시설
- 도시철도역 출입구 방향별 이동편의시설의 서비스 수준을 파악하기 위해 분당선 14개, 경부선 2개, 안산선 4개 등 총 20개 철도역을 대상으로 이용자 행태 및 정류장의 기하구조, 주변지역 특성을 조사하고, 계단과 에스컬레이터(E/S) 이용자는 침두시 5분 동안 출입구별 유출입 분포 조사

4. 도시철도역 이용수요 추정 모형 정립

4.1 회귀모형의 개념

회귀분석(regression analysis)은 하나 또는 그 이상의 독립변수(independent variable)들과 1개의 종속변수(dependent variable) 사이의 함수 관계를 설명하려는 통계적인 기법을 말한다. 회귀분석을 하는 주요 목적은 독립변수와 종속변수 간의 선형 상관 관련성 여부 파악, 상관관계가 있다면 크기 및 유의도, 변수들간의 종속관계의 성격(+ 또는 -), 회귀분석은 독립변수들과 종속변수와의 선형결합관계 유도 등이다.

회귀분석은 종속변수의 척도, 독립변수의 개수, 종속변수와 독립변수의 선형에 따라 단순 회귀분석, 다중 회귀분석, 더미 회귀분석, 로지스틱 회귀분석, 다항 회귀분석, 비선형 회귀분석 등의 형태로

나누어 진다. 다중회귀모형(Multiple Regression Model)은 한 개의 종속변수와 두 개 이상의 독립변수와의 선형관계를 파악하는 방법이다.

4.2 다중회귀모형의 추정 및 검증

4.2.1 회귀모형의 독립변수 선정

도시철도역의 이용수요를 추정하기 위해 본 연구에서는 다중회귀모형을 적용하여 분석하였다.

다중회귀모형에 포함되어야 할 독립변수들은 명확히 주어지는 것 보다 잠재적인 설명을 갖고 있다고 생각되는 여러 변수 중 종속변수와 상관관계가 높은 변수를 선택하는 것이 바람직하다. 본 회귀모형의 계수 추정은 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 종속변수와 상관관계가 높은 변수부터 하나씩 단계별 변수를 선택하는 방법을 적용하여 변수를 선별하고 합리적인 회귀식이 되도록 유도하였다.

도시철도의 역별 1일 이용수요를 추정하기 위한 독립변수(설명변수)는 철도역 반경 500 m, 1,000 m 범위의 22개 용도별 건물상면적과 종속변수인 역별 승하차 수요의 상관관계를 분석하여 0.05 수준(양쪽)에서 유의한 독립변수 9개 건물용도(단독주택, 공동주택, 제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설, 교육·복지, 업무시설, 판매·영업, 관광시설, 위락시설)를 선정하여 다중회귀모형을 정립하였다.

4.2.2 철도역 중심 반경 범위 선정

도시철도역의 승하차 이용수요를 추정하기 위한 다중회귀 모형을 도시철도역 중심 반경 500 m와 1,000 m 범위의 2개 그룹으로 나누어 용도별 건물연상면적을 독립변수로 적용하여 다중회귀모형 결정계수를 추정하고 비교 평가하여 철도역 이용자의 역세권 반경의 범위 및 독립변수를 선정하였다.

철도역 중심 2개 그룹 역세권의 용도별 건물 연상면적을 독립변수로 적용하여 최종적으로 정립된 모형 결과의 요약을 살펴보면, 철도역 중심 반경 500 m의 경우 모형의 적합성을 판단하는 R² 값은 1일 이용수요를 종속변수로 적용한 승차 0.672, 하차 0.675로 산정되었고, 독립변수로는 종속변수와 상관관계가 높은 9개 건물용도 중 6개 건물용도(단독주택, 제2종 근린생활, 업무시설, 판매·영업, 위락시설, 숙박시설)가 유의한 독립변수로 채택되었다. 또한 종속변수인 승하차 수요에 자연로그 변환을 취한 새로운 변수의 경우, R²은 log_승차 0.865, log_하차 0.866으로 산정되었고, 종속변수와 상관관계가 높은 7개 건물용도(단독주택, 공동주택, 제1종 근린생활, 판매·영업, 업무시설, 교육·복지, 숙박시설)가 유의한 독립변수로 채택되었다.

철도역 중심 반경 1,000 m 모형의 경우, R²은 승차 0.717,

하차 0.719로 산정되었고, 독립변수로는 승하차 모두 3개의 건물용도(단독주택, 제1종 근린생활, 제2종 근린생활)가 채택되었다. 종속변수에 자연로그 변환을 취하여 새로운 변수를 생성하여 적용한 모형의 R²은 log_승차 0.933, log_하차 0.934로 산정되었으며, 독립변수로는 승하차 모두 6개의 건물용도(단독주택, 공동주택, 제1종 근린생활, 교육·복지, 업무시설, 판매·영업)가 채택되었다.

도시철도역 중심 반경 500 m와 1,000 m의 역세권 그룹의 용도별 건물연상면적을 독립변수로 적용한 도시철도역별 승하차 수요추정 모형을 정립하여 적합성을 비교 검토한 결과, 도시철도역 중심 반경 1,000 m 이내 역세권의 용도별 건물연상면적 자료를 독립변수로 적용한 모형의 적합도가 통계적으로 더 유의한 것으로 분석되었다(Table 5).

4.2.3 최적 회귀모형 선정

도시철도역 1일 이용수요를 추정하기 위한 최적의 회귀모형을 정립하기 위해 도시철도역 중심 반경 2개 그룹 중 반경 1,000 m 역세권의 용도별 건물상면적을 독립변수로 적용하는 모형이 통계적으로 더 유의한 것으로 분석되었다. 따라서 도시철도역 중심 반경 1,000 m 역세권의 용도별 건물연상면적을 독립변수로 설정하고, 도시철도역별 1일 승하차 수요를 종속변수로 하는 회귀모형과 도시철도역별 승하차 수요에 자연로그 변환을 취하여 새로운 변수를 생성하여 종속변수로 적용하는 2개의 회귀모형을 정립하였다. 2개의 모형에서 추정된 계수 및 통계의 유의성을 비교 검증하여

도시철도역별 승하차 수요 추정을 위한 최적의 다중회귀모형을 선정하였다.

4.2.3.1 도시철도역 승하차 인원 추정 모형

서울시 도시철도 115개 역의 1일 승차 인원을 종속변수로 적용하여 정립한 회귀모형은 3개 용도의 건물연상면적(단독주택, 제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설)이 유의한 독립변수로 채택되었으며, R² 값은 0.717로 산정되었으며, 채택된 변수들에 의한 승차인원 추정 모형은 71.7 %의 설명력이 있는 것으로 분석되었다.

또한 분산분석표에서 분산비 F 통계량은 회귀모형의 통계적 유의성을 검증하기 위한 통계량이다. F 통계량의 귀무가설은 “모든 회귀계수가 0이다”이다. 주어진 귀무가설에 대한 통계량 F 값(F-value)이 94.755이고, 이에 대한 유의확률(p-값)이 0.000으로 귀무가설을 기각할 수 있다. 즉 도시철도역별 승차 인원 추정 모형의 회귀식은 유의하다고 할 수 있다.

도시철도역의 1일 하차 인원을 종속변수로 적용한 회귀모형은 3개 용도의 건물 연상면적(단독주택, 제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설)이 유의한 독립변수로 채택되었으며, R² 값은 0.719로 산정되어 채택된 변수들에 의한 하차인원 추정 모형은 71.9 %의 설명력이 있는 것으로 분석되었다. 또한 분산분석표에서 주어진 귀무가설에 대한 통계량 F-value가 92.62이고, 이에 대한 유의확률(p-값)이 0.000으로 귀무가설을 기각할 수 있다.

Table 5. Summary of Model for Estimating Demand for Boarding and Getting off the Metro Station

Station radius	Dependent variable	R	R ²	Modified R ²	Standard Error of Estimates	Durbin-Watson	Adopted independent variable
500 m	Boarding	.820	.672	.660	16160.64	1.483	Class 2 neighborhood life, detached house, amusement facility, business facility, sales, business, accommodation
	get off	.821	.675	.663	16253.44	1.448	
	Log_Boarding	.930	.865	.859	3.63598	1.518	Class I Neighborhood, Living Apartment, House, Sales and Marketing, Business Facilities, Education, Welfare, Accommodation
	Log_get off	.930	.866	.860	3.62478	1.519	
1000 m	Boarding	.847	.717	.710	15432.34	1.363	detached house, Class I Neighborhood, Class 2 Neighborhood
	get off	.848	.719	.712	15431.13	1.353	
	Log_Boarding	.966	.933	.929	2.60089	1.867	detached house, Class I Neighborhood, Apartment, Sales and Marketing, Business Facilities, Education, Welfare, Accommodation
	Log_get off	.966	.934	.930	2.56916	1.717	

Table 6. Summary of Model for Estimating Boarding and Getting off the Subway Station (Radius 1,000 m)

Dependent variable	R	R ²	Modified R ²	Standard Error of Estimates	Durbin-Watson	Analysis of variance		Independent variable
						F-value	Significance	
Boarding	.847	.717	.710	15432.34	1.363	94.755	.000	Class 2 neighborhood life, detached house, Class 1 neighborhood life
get off	.848	.719	.712	15431.13	1.353	92.620	.000	Class 2 neighborhood life, detached house, Class 1 neighborhood life

즉 도시철도역별 하차 인원 추정 모형의 회귀식은 유의하다고 할 수 있다(Table 6).

독립변수에 대한 계수 추정치의 결과를 살펴보면, 승차 인원을 종속변수로 하는 회귀모형의 경우 채택된 독립변수의 비표준화 계수 모두가 종속변수를 추정함에 있어 양의 관계가 있는 것으로 나타나고 있다. T 검정을 통한 유의확률은 유의수준 $p < 0.05$ 에서 모든 독립변수가 유의하다고 할 수 있다. 즉 추정된 회귀계수들은 도시철도역별 승차인원 추정에 영향을 미치는 변수로 볼 수 있다. 또한 독립변수들 간 상관관계가 존재하는지 여부를 진단하기 위한 공선성 통계량은 일반적으로 분산팽창요인 값이 10보다 크거나 공차한계가 0.1 보다 작은 독립변수는 다중공선성이 있다고 판단한다. 승차인원 추정 모형에서 VIF 값이 10 이하이고, 공차값은 모두 0.1 이상을 나타내고 있어 독립변수들간 다중공선성이 없는 것으로 분석되었다(Table 7 Boarding 참조).

도시철도역 하차 인원을 종속변수로 하는 회귀모형의 경우, 채택된 독립변수의 비표준화 계수 모두가 종속변수를 추정함에 있어 양의 관계가 있는 것으로 나타나고 있다. 독립변수 계수의 유의성을 판단하는 T 검정의 유의확률은 모든 독립변수는 유의수준 $p < 0.05$ 에서 유의한 것으로 나타나고 있다. 또한 독립변수들 간 상관관계 존재하는지 여부를 진단하기 위한 공선성 통계량을 살펴보면, VIF 값은 모든 독립변수에서 10 이하이고, 공차 값은 모두 0.1 이상을 나타내고 있어 독립변수들 간 다중공선성이 없는 것으로 분석되었다(Table 7 get off 참조).

4.2.3.2 도시 철도역별 승하차 인원 로그변환 추정 모형

서울시 도시철도 115개 역의 1일 승차인원을 로그 변환하여 새로운 종속변수를 적용하여 정립한 회귀모형은 6개 용도의 건물 연상면적(단독주택, 공동주택, 제1종 근린생활, 교육·복지, 업무시설, 판매·영업)이 유의한 독립변수로 채택되었으며, R^2 값은 0.933로 산정되어 채택된 변수들에 의한 승차인원 추정 모형은 93.3 %의 설명력이 있는 것으로 분석되었다. 또한 분산분석표의 주어진 귀무가설에 대한 통계량 F-value가 251.028이고, 이에 대한 유의확률이 0.000이므로 귀무가설을 기각 할 수 있다. 따라서 도시철도역별 승차인원에 로그 변환하여 새로운 종속변수를 적용하여 추정된 모형의 회귀식은 유의하다고 할 수 있다(Table 8 Ln_Boarding 참조).

도시철도역의 1일 하차인원을 로그 변환하여 새로운 종속변수로 적용한 회귀모형은 6개 용도의 건물 연상면적(단독주택, 공동주택, 제1종 근린생활, 교육·복지, 업무시설, 판매·영업)이 유의한 독립변수로 채택되었으며, R^2 값은 0.934로 산정되어 채택된 변수들에 의한 하차인원 추정 모형은 93.4 %의 설명력이 있는 것으로 분석되었다. 또한 분산분석표에서 주어진 귀무가설에 대한 통계량 F-value가 256.883이고, 이에 대한 유의확률이 0.000으로 귀무가설을 기각 할 수 있다. 즉 도시철도역별 하차인원에 로그 변환하여 새로운 종속변수 값을 적용하여 추정된 모형의 회귀식은 유의하다고 할 수 있다(Table 8 Ln_get off 참조).

독립변수에 대한 계수 추정치의 결과를 살펴보면, 로그 변환된 승차 인원을 종속변수로 하는 회귀모형의 경우 채택된 독립변수의 비표준화 계수 모두가 종속변수를 추정함에 있어 양의 관계가

Table 7. Estimation Model Coefficient of the Number of Boarding and Getting off the Subway Station (Radius 1,000 m)

model	Non-standardized coefficient		Normalization factor	t	Significance	Correlation coefficient			Multicollinearity		
	β	Standard error	β			0th	Partial correlation	Part correlation	Tolerance	VIF	
Boarding	Detached house	19.959	4.158	.353	4.800	.000	.719	.413	.241	.467	2.142
	Class 1 neighborhood life	21.557	7.216	.303	2.988	.003	.797	.272	.150	.245	4.075
	Class 2 neighborhood life	9.598	2.462	.312	3.899	.000	.712	.346	.196	.394	2.536
get off	detached house	17.952	4.158	.316	4.317	.000	.707	.378	.216	.467	2.142
	Class 1 neighborhood life	24.191	7.215	.339	3.353	.001	.805	.302	.168	.245	4.075
	Class 2 neighborhood life	9.550	2.461	.309	3.880	.000	.720	.344	.194	.394	2.536

Table 8. Summary of Boarding and Getting off Log Transformation Model by Urban Railway Station (Radius 1,000 m)

Dependent variable	R	R^2	Modified R^2	Standard Error of Estimates	Durbin-Watson	Analysis of variance		Independent variable
						F-value	Significance	
Ln_Boarding	.966	.933	.929	2.60089	1.703	251.028	.000	Detached house, Class 1 neighborhood life, Apartment, Sales and Marketing, Business Facilities, Education, Welfare
Ln_get off	.966	.934	.930	2.56916	1.717	256.883	.000	

있는 것으로 나타나고 있다. T 검정을 통한 유의확률은 유의수준 $p < 0.05$ 에서 모든 독립변수가 유의하다고 할 수 있다. 또한 공선성 통계량 VIF 값이 10 이하이고, 공차 값은 모두 0.1 이상을 나타내고 있어 독립변수들 간 다중공선성이 없는 것으로 분석되었다(Table 9 Ln_Boarding 참조).

도시철도역 하차 인원 에 로그 변환하여 새로운 종속변수를 적용하여 정립된 회귀모형의 경우, 채택된 독립변수의 비표준화 계수 모두가 종속변수를 추정함에 있어 양의 관계가 있는 것으로 나타나고 있다. 독립변수 계수의 유의성을 판단하는 T 검정의 유의확률은 유의수준 $p < 0.05$ 에서 모든 변수가 유의한 것으로 나타나고 있다. 또한 공선성 통계량 VIF 값은 모든 독립변수에서 10 이하이고, 공차 값은 모두 0.1 이상을 나타내고 있어 독립변수들 간 다중공선성이 없는 것으로 분석되었다(Table 9 Ln_get off 참조).

4.2.3.3 도시철도역 승하차 인원 추정 최적 모형 선정

서울시 도시철도 역의 1일 승하차 인원을 종속변수로 하는 회귀 모형과 승하차 인원 에 로그변환하여 새로운 종속변수를 적용하는 2개의 회귀모형을 정립하여 추정된 계수의 통계량을 앞절에서 비교 검토한 결과, 도시철도역의 승하차 인원 에 로그 변환하여 적용한 회귀모형이 적합성을 판단하는 R² 값이 Ln_승차 0.933, Ln_하차 0.934로 모형에 대한 설명력이 더 좋은 모형으로 나타나고 있으나, 6개 용도의 건물상면적이 독립변수로 채택되었기에 설명력이 높게 추정된 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 R² 값이 상대적으로 적지만 도시철도역의 승하차 인원 에 3개 용도의 1,000 m²당 건물연상면적(단독주택,

제1종 근린생활, 제2종 근린생활)을 독립변수로 하는 다중회귀모형을 최적 모형으로 선정하였다. 추정된 독립변수의 회귀계수의 유의확률이 모두 유의수준 0.05 이하에서 유의한 것으로 분석되었다. 최적 모형의 비표준화 계수에 의한 회귀식은 다음과 같다(Table 9 참조).

$$\text{역별승차(유입)인원(일)} = 19.959 \times \text{단독주택면적}(1,000 \text{ m}^2) + 31.557 \times \text{제1종 근린생활시설}(1,000 \text{ m}^2) + 9.598 \times \text{제2종 근린생활시설}(1,000 \text{ m}^2) \quad (1)$$

$$\text{역별하차(유출)인원(일)} = 17.952 \times \text{단독주택면적}(1,000 \text{ m}^2) + 24.191 \times \text{제1종 근린생활시설}(1,000 \text{ m}^2) + 9.55 \times \text{제2종 근린생활시설}(1,000 \text{ m}^2) \quad (2)$$

5. 도시철도역 이동편의시설 적정규모 산정

5.1 사례대상지역 선정을 통한 모형 검증

앞절에서 추정된 모형을 검증하기 위해 서울의 도시철도역 중 이용자 및 교통약자 이용자 수가 많은 종각역(단일 역)과 동대문역(1호선+4호선 환승역)을 선정하였다. 선정된 역의 출입구 방향(In-Out)별 이용수요를 조사·모형식을 활용하여 추정하였다. 이때 교통약자가 무임승차권을 주로 이용한다고 가정하고 교통약자 이용자 수는 역별 우대권(무임승차)의 비율을 이용하여 추정하였다.

모형 추정 결과, 모형의 적합성을 판단하는 R² 값은 0.782로 산정되었고, 독립변수로는 3개 건물용도(단독주택, 제1종 근린생

Table 9. Estimated Model Coefficient of Logarithmic Conversion for Boarding and Getting off the Subway Station (Radius 1,000 m)

model	Non-standardized coefficient		Normalization factor	t	Significance	Correlation coefficient			Multicollinearity		
	β	Standard error	β			0th	Partial correlation	Part correlation	Tolerance	VIF	
Ln_Barding	detached house	.004453	.001	.231	4.974	.000	.826	.430	.124	.286	3.496
	Apartment	.001747	.000	.383	8.588	.000	.872	.635	.214	.311	3.219
	Class 1 neighborhood life	.003013	.001	.124	2.161	.033	.848	.203	.054	.187	5.356
	Education, Welfare	.009640	.003	.173	3.512	.001	.868	.319	.087	.255	3.921
	Business Facilities	.002043	.001	.148	4.069	.000	.627	.363	.101	.469	2.133
	Sales and Marketing	.003255	.001	.106	2.699	.008	.551	.250	.067	.398	2.510
Ln_get off	detached house	.004395	.001	.229	4.970	.000	.825	.430	.122	.286	3.496
	Apartment	.001741	.000	.383	8.666	.000	.872	.639	.213	.311	3.219
	Class 1 neighborhood life	.003092	.001	.128	2.245	.027	.849	.210	.055	.187	5.356
	Education, Welfare	.009628	.003	.173	3.551	.001	.868	.322	.087	.255	3.921
	Business Facilities	.002053	.000	.149	4.140	.000	.629	.369	.102	.469	2.133
	Sales and Marketing	.003244	.001	.106	2.723	.008	.553	.252	.067	.398	2.510

Table 10. Summary of Boarding and Getting off Log Transformation Model by Urban Railway Station (Radius 1,000 m)

Dependent variable	R	R ²	Modified R ²	Standard Error of Estimates	Durbin-Watson	Analysis of variance		Independent variable
						F-value	Significance	
Barding	.884	.782	.776	1849.123	1.442	133.959	.000	Detached house, Class 1 neighborhood life, Sales and Marketing

Table 11. Estimated Model Factor for Free Ride Personnel in Railway Stations (1,000 m)

model		Non-standardized coefficient		Normalization factor	t	Significance	Correlation coefficient			Multicollinearity	
		β	Standard error	β			0th	Partial correlation	Part correlation	Tolerance	VIF
Free Ride	Detached house	3.642	.534	.472	6.820	.000	.789	.542	.301	.406	2.461
	Class 1 neighborhood life	3.504	.892	.361	3.930	.000	.832	.348	.173	.231	4.334
	Sales and Marketing	2.311	.821	.188	2.815	.006	.582	.257	.124	.435	2.301

Table 12. Estimating the Number of People Getting on and off at Dongdaemun Station and Jonggak Station

ST-Name	Gate	Boarding	Getting off	Handicapped (special discount pass)
Jonggak Station (Line 1)	1,2	6,310	6,333	211
	3,3-1	7,970	8,297	1,398
	4	16,936	17,669	1,757
	5,6	10,835	11,155	1,069
	Model total (A)	42,051	43,454	4,435
	Performance total (B)	43,754	41,616	5,140
	Error factor (%)	-4.0	4.2	-15.9
Dongdaemun Station (Line 1 + Line 4)	1,2,3	13,011	13,035	2,079
	4,5,6,7	13,312	13,917	2,413
	8,9	4,157	4,468	1,523
	10	5,673	5,968	574
	Model total (A)	36,153	37,388	6,589
	Performance total (B)	40,043	41,774	9,419
	Error factor (%)	-10.8	-11.7	-42.9

활, 판매·영업)가 유의한 독립변수로 채택되었다(Table 10 참조).

채택된 독립변수 계수의 유의성을 판단하는 T 검정의 유의확률은 모든 독립변수가 유의수준 $p < 0.05$ 에서 유의한 것으로 나타났다 (Table 11 참조).

도시철도역별 유입(승차), 유출(하차), 교통약자(우대권) 추정 모형식을 적용하여 사례 대상역의 유출입 방향별 이용수요를 추정한 결과 단일역인 종각역의 경우 추정된 1일 유출입 수요는 승차 및 하차 실제 유출입 인원보다 $\pm 4\%$ 정도, 교통약자는 -15.9% 적게 추정되었다. 환승역인 동대문역의 경우 모형식에 의해 추정된 1일 유출입 수요는 $\pm 10\%$ 정도, 교통약자는 -42.9% 적게 추정되었다(Table 12 참조).

5.2 국내외 도시철도역 이동편의시설(에스컬레이터) 설치 기준 비교·검토

2개의 역 중 단일역인 종각역의 수요 추정이 더 적합하였기 때문에 종각역을 대상으로 이동편의시설 중 에스컬레이터의 설치대수를 국내의 설치기준을 이용하여 비교/분석하였다.

그 결과 핀란드 설치기준이 설치대수가 가장 높게 분석되었으며, 우리나라, 영국 순으로 도출되었다. 특히 종각역에는 1번 출구에만 에스컬레이터가 상하행 각각 1대씩 설치되어 있는데, 분석 결과를 살펴보면 1번 출구보다는 4번 출구에 설치하는 것이 더 적합한 것으로 도출되었다. 그 외 출구의 경우 양방향 합쳐 1대 정도 설치하거나 혹은 설치하지 않아도 되는 것으로 분석되었다. 핀란드의

Table 13. Estimating the Number of People Getting on and off at Dongdaemun Station and Jonggak Station

Entrance	Actual installation number	Escalator demand per minute at peak hours (persons/minute)	Calculating number of escalators (unit)		
			Complex transfer center design and layout criteria (Korea)	Station Capacity Planning Guidance (England)	People Flow in transit stations (Finland)
1	Up	1	1.43	0.43	1.43
	Down	1		0.43	1.43
2	Up	-	1.53	0.46	1.46
	Down	-		0.46	1.46
3	Up	-	1.85	0.54	1.54
	Down	-		0.56	1.56
4	Up	-	3.93	1.15	2.15
	Down	-		1.20	2.20
5	Up	-	2.49	0.74	1.74
	Down	-		0.76	1.76
6	Up	-	2.43	0.74	1.73
	Down	-		0.73	1.73

분석 기준은 영국과 거의 유사하나 차이점으로는 고장이나 방향별 추가 필요 대수를 산정하였기 때문에 분석되었다(Table 13 참조).

6. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 도시철도역 유출입 이용수요 추정 모형을 정립하기 위해 수도권 도시철도역 115개소를 대상으로 종속변수로 1일 철도역 방향별 유출입(승하차) 이용수요를 설정하고, 철도역 반경 1,000 m 범위의 22개로 대분류된 용도별 건물연상면적을 독립변수로 하는 다중회귀모형을 추정하였다. 그 결과 3개 용도의 1,000 m² 단위 건물연상면적(단독주택, 제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설)을 독립변수로 하는 다중회귀모형이 최적의 모형으로 추정되었다.

추정된 모형을 검증하기 위해 서울도시철도역 중 단일역인 종각역과 환승역인 동대문역의 사례대상지역으로 선정하여 분석한 결과 단일역의 경우 모형의 예측이 좀 더 정확하였다.

종각역을 대상으로 이동편의시설 중 에스컬레이터에 대해 출입구별 설치대수를 분석한 결과 현재 1번 출구에 설치되어 있는 방향별 에스컬레이터는 4번 출구에 설치하는 것이 적합한 것으로 분석되었다. 또한 영국과 핀란드가 유사한 기준을 보유하고 있었으며 핀란드의 경우 고장이나 급작스런 상황 변화를 고려하여 추가적으로 1대 정도 설치하는 것을 권장하고 있다.

우리나라의 에스컬레이터 설치대수는 양방향 분당 수요를 활용하기 때문에 어느 방향으로 설치해야 할지 명확하게 방향을 제시하기 어렵지만 영국 및 핀란드의 경우 방향별 분당 수요를 활용하기 때문에 이와 같은 문제를 최소화할 수 있을 것으로 보인다.

향후 본 연구에서 개발된 모형을 바탕으로 교통약자 이용자

수를 역별로 추정할 수 있다면, 향후 도시철도역사 주변 토지이용계획에 따른 이용자 수 추정이 가능하고, 이를 토대로 출입구별 이동편의시설 규모 예측시 활용될 수 있을 것이다. 또한 영국의 설치기준에 추가적으로 고장을 고려하여 양방향으로 1대 정도 추가 설치하는 기준의 타당성 검토 분석을 수행한다면 현재 에스컬레이터 설치기준을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2017년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입(2017R1D1A3B03035516).

References

- Kim, H. B., Lee S. H. and Bae, C. B. (2019). "Establishment Model of Entrance and Exit User of Urban Railway Station." *J. Korean Soc. Civ. Eng., KSCE*, Vol. 39, No. 1, pp. 83-84 (in Korean).
- KONE Corporation (2009). *People flow in transit stations*, pp. 29-33.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2015). *Complex transfer center design and layout criteria*, pp. 17-27 (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2018). *Design guidelines for subway stations and transit convenience facilities*, pp. 12-13 (in Korean).
- Network Rail (2016). *Station capacity planning guidance*, pp. 27-29.
- Shin, Y. S. (2000). *Study on transportation provision and facility maintenance guide*, *The Korea Transport Institute*, 2000-13 Research Series, p. 9 (in Korean).