

# 교통카드데이터를 활용한 교통약자 대중교통 환승통행패턴 분석: 버스 지하철 간 환승을 중심으로

## Evaluation of Transit Transfer Pattern for the Mobility Handicapped Using Traffic Card Big Data: Focus on Transfer between Bus and Metro

권민영\* · 김영찬\*\* · 구지선\*\*\*

\* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사과정

\*\* 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

\*\*\* 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사수료

Min young Kwon\* · Young chan Kim\*\* · Ji sun Ku\*\*\*

\* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul

\*\* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul

\*\*\* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul

† Corresponding author : Young chan Kim, yckimm@uos.ac.kr

Vol.20 No.2(2021)

April, 2021  
pp.58~71

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.2.58>

Received 10 January 2021  
Revised 25 January 2021  
Accepted 8 April 2021

© 2021. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요약

전 세계적으로 고령인구가 급증하고 이에 따라 이동에 불편을 겪는 교통약자의 수도 증가하고 있다. 이러한 추세에 따라 국내에서는 이동편의시설 설치 확대 등 교통약자에 대한 양질의 대중교통 서비스 제공을 위해 다양한 정책을 시행 중이다. 기존 대중교통 이동편의시설 설치는 역사의 면적, 층수, 시설 미확보역 등의 양적인 측면을 기준으로 우선적 확대·설치되고 있다. 하지만 양적 기준 보다는 실제 이용자 기준의 설치 필요 지역에 이동편의시설을 확보하는 것이 교통약자의 이동편의 증진에 더 효과적인 것으로 사료된다. 본 연구에서는 이용자 기반의 교통카드 빅데이터 분석을 통해 교통약자의 환승취약지점을 도출하고자 했다. 스마트카드 거래내역 데이터를 가공하여 환승통행데이터를 구축하고 이용자별 환승통행패턴 분석 및 환승통행시간 차이가 큰 경로를 기준으로 환승취약지점을 도출했다. 분석 결과 일반 이용자보다 교통약자의 환승시간이 오래 걸리는 것으로 나타났다. 일반과 교통약자의 환승통행시간 차이와 시설물 개수와의 상관관계는 미약한 것으로 나타났는데 현장 조사 결과 환승통행시간 차이는 시설물의 단순 개수보다는 해당 환승최단경로 내 이동편의시설의 부재로 인해 발생하는 것으로 나타났다. 향후 교통약자를 위한 이동편의시설 확대 시 실질적 이용자 기반 데이터 분석을 통한 환승취약지점을 기준으로 우선적 시설 확보 시 교통약자의 이동편의가 보다 더 향상될 것으로 사료된다.

핵심어 : 스마트카드데이터, 교통약자, 환승취약지점, 이동편의시설, 빅데이터

### ABSTRACT

The number of elderly people worldwide is rapidly increasing and the mobility handicapped suffering from inconvenient public transportation service is also increasing. In Korea and abroad, various policies are being implemented to provide high-quality transportation services for the mobility handicapped, and budget support and investment related to mobility facilities are being expanded. The mobility handicapped spends more time for transit transfer than normal users and their satisfaction with transit service is also lower. There exist transfer inconvenience points of the mobility handicapped due to various factors such as long transfer distances, absence of transportation facilities

like elevators, escalators, etc. The purpose of this study is to find transfer inconvenience points for convenient transit transfer of the mobility handicapped using Smart card Big data. This study process traffic card transaction data and construct transfer travel data by user groups using smart card big data and analysis of the transfer characteristics for each user group ; normal, children, elderly, etc. Finally, find transfer inconveniences points by comparing transfer patterns between normal users and the mobility handicapped. This study is significant in that it can find transfer inconvenience points for convenient transit transfer of the mobility handicapped using Smart card Big data. In addition, it can be applicated of Smart card Big data for developing public transportation polices in the future. It is expected that the result of this study be used to improve the accessibility of transit transportation for mobility handicapped.

Key words : Smart card data, Mobility handicapped, Transfer inconvenience point, Transportation facilities, Big data

## I. 서 론

국내 교통약자 인구는 2019년을 기준으로 전체 인구의 약 29.4%에 달한다. 급속한 고령화 추세를 보았을 때 교통약자 인구는 향후 더욱 증가할 것으로 전망되며 이들의 대중교통 이용률 또한 증가할 것으로 보인다. 이러한 추세에 따라 국내에서는 교통약자에 대한 양질의 대중교통 서비스 제공을 위해 다양한 정책을 시행 중이며 교통약자 이동편의시설 관련 예산지원 및 투자를 확대하고 있다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 교통약자의 대중교통 및 환승 서비스에 대한 만족도는 낮게 나타나고 있는 실정이다.

하나의 목적통행에는 여러 개의 수단 통행이 존재할 수 있으며 각 수단 통행 간에는 수단전환을 위한 환승시간이 소요된다. 기존 연구 사례에서는 환승 시간이 차내 통행시간보다 높은 시간가치로 인식되며 대중교통 이용 시 경로선택의 중요 요인이 될 수 있다고 언급한다.(Choi et al., 2011) 이동에 불편함이 있는 교통약자는 일반 이용객보다 환승시간이 오래 걸린다. 과거에는 이동편의시설의 부재 및 미흡으로 교통약자들의 대중교통 이용률이 낮았으나 2005년부터 시행된 교통약자의 이동편의를 위한 다양한 정책시행에 따라 대중교통 환경이 개선되고 교통약자의 이용률은 점차 증가되고 있다.

이에 따라 교통약자의 이동 시간에 절대적 영향을 미친다고 할 수 있는 대중교통 이동편의시설의 양질의 설치가 중요할 것으로 보인다. 기존 대중교통 이동편의시설 설치의 역사의 면적, 층수, 이용률, 시설 미확보 역 등의 공간적인 측면을 기준으로 우선적 확대·설치되고 있다.(Lee et al., 2017) 하지만 양적 측면의 시설공급 위주의 설치보다 실제 이용자 기준으로 우선 설치 필요 지역에 이동편의시설을 확보하는 것이 교통약자의 이동편의 증진에 더 효과적일 것으로 사료된다. 따라서 기존 단순 공간적 기준으로 선정되었던 이동편의 시설 확충 필요지점을 실제 이용자 기반의 빅데이터 분석을 통해 도출해 볼 필요성이 있다.

교통약자는 시설물간의 환승 시 일반 이용객보다 많은 통행시간이 소요된다. 따라서 환승 구간의 이동편의시설의 확보가 교통약자의 총 통행시간에 절대적 영향을 미친다고 할 수 있다. 이에 따라 교통약자의 환승 편의의 취약 지점의 도출 및 개선이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 교통약자 이동편의를 위해 스마트카드 빅데이터 분석을 이용하여 대중교통 이용자별 환승통행 패턴을 분석하고 환승 취약지점을 도출하고자 한다.

## II. 선행연구

### 1. 교통카드 빅데이터 관련 연구

교통카드 빅데이터를 활용한 연구는 최근 활발히 이루어지고 있으며 수도권에서 수집된 데이터를 중심으로 진행되고 있다. 주로 O/D 분석, 대중교통 노선 및 운영 조정, 대중교통 통행 패턴 분석 등 다양한 부분에서 연구 및 이용되고 있다. 그 중 교통카드 데이터를 이용하여 대중교통 통행패턴을 분석하는 연구들도 다수 진행되어왔다. Bin et al.(2011)은 통행사슬 개념을 적용하여 교통카드 데이터를 이용한 대중교통 통행패턴을 분석했다. 이를 통해 환승거점 정류장, 어린이를 위한 개선 등의 시나리오를 정립하고 각 정류소시설 개선방안을 모색했다. 본 연구는 교통카드 데이터를 이용해 대중교통 정책에 활용방안을 모색한 초기의 연구로서 의의가 있다. Lee and Jang(2015)는 개별 이용자들의 이동을 기반으로 하는 대중교통 이용특성 및 패턴을 파악하기 위해 교통카드 이용 실적자료를 활용했다. 이를 기반으로 대중교통 이용자들을 일반인, 초등생, 청소년, 경로, 장애인, 국가유공자 등으로 구분하고 이들의 통행비율 및 통행특성 등의 개별 이동 행태를 비교 분석했다. Lee(2015)는 수도권 통행분석을 위한 대중교통카드자료의 잠재적 활용성을 언급하고 이를 활용하여 수도권 통행비율 및 통행패턴 등에 대해 분석하고 향후 활용방안에 대해 기술한 바 있다.

환승통행에 관한 연구들도 다수 수행되었는데 Lee(2017)은 교통카드자료를 이용하여 대중교통 이용자들의 통행패턴을 파악하고 환승에 영향을 미치는 요인들을 분석했다. 분석결과 총 통행거리, 총 통행시간, 환승시간이 환승 통행에 가장 영향을 미치는 요인으로 분석되었다. Hwang(2014)은 일주일간의 교통카드 자료를 이용해 대구시 지하철과 버스 간의 환승통행을 대상으로 환승통행특성을 분석하고 다중회귀분석을 통해 환승시간, 버스노선의 개수 및 길이 등의 두 수단 간 환승통행량에 영향을 미치는 요인에 대해 연구했다. Choi et al.(2011)은 스마트카드 데이터를 활용하여 수도권 도시철도 역사에서 버스정류장까지의 환승시간에 대해 분석했으며 집계된 자료를 토대로 환승시간에 대한 서비스 수준을 평가하는 연구를 수행했다. Song et al.(2011)은 스마트카드 데이터로부터 추출된 환승횟수를 기반으로 환승패턴을 분석하고 이를 환승 유형별로 분류했다. 환승이 3번 이상 이루어지는 통행을 중심으로 패턴분석을 수행했으며 이를 토대로 대중교통 서비스의 지역 연결성을 평가했다.

### 2. 교통약자 관련 연구

교통약자의 대중교통 통행 관련 연구들은 크게 교통약자 이동편의 시설 및 만족도, 교통약자 통행특성 및 패턴 분석 관련 연구 중심으로 구분된다. 교통약자의 이동편의 증진 및 만족도와 관련된 연구들이 가장 활발히 수행되어왔는데, Lee(2017)은 스마트카드 데이터를 활용하여 대중교통 의존도가 높은 교통 취약 계층의 대중교통 이동성을 평가하는 연구를 수행했다. 대중교통 통행시간 당 도달할 수 있는 거리를 이동성 지표로 선정하고 스마트카드 기반자료의 출발정류장과 도착정류장의 위치 좌표 및 출발시간과 도착시간을 사용하여 결과 값을 산출했다. 이를 통해 각 취약계층의 대중교통 이동성 취약지를 식별 및 이동성 개선 우선지역을 선정했다. Kim et al.(2008)은 교통약자를 위한 대중교통정보와 이동지원체계에 대한 만족도 조사 등을 실시하여 교통약자 유형별 이동행태를 분석했다. 분석 결과 교통약자의 유형에 따라 이용을 원하는 시설물과 정보의 형태가 다르게 나타났으며 필요한 환승 정보제공의 부족함으로 인해 환승에 대한 부담감이 높다는 결론을 도출했다. Lee(2009)는 교통약자를 대상으로 실시한 교통수단 및 시설에 관한 만족도 조사 자료와 교통약자 편의시설 설치율 자료와 비교 분석하고 관련 개선 정책을 제시했다.

수도권 대중교통카드 자료를 활용하여 고령자를 대상으로 3년간 통행변화 추이 및 출·도착지, 통행경로, 통행량 등의 통행패턴을 분석(Lee and Chung, 2014) 연구도 존재했으나 이 외 교통약자를 유형별로 구분하거나 대중교통 이용자를 여러 유형으로 구분하여 통행 패턴을 상세히 비교 분석한 연구는 찾을 수 없었다.

본 연구 목적과 유사한 연구 사례도 존재했는데 Lee et al.(2017)는 고령자 이동편의를 위해 서울시 통행량 상위 31개 지하철 역사의 수직 이동시설을 자료포락분석을 이용하여 평가하고 개선방안에 대해 분석했다. 분석 결과 잠실역, 가산디지털 단지역 등 우수 지역으로 나타난 4개 역사를 참조그룹으로 설정하고 비교를 통해 각 역사의 수직이동시설을 제고하기 위한 방안들을 제시했다. 연구의 목적은 유사하나 해당 연구는 교통약자의 개별 통행 및 환승을 고려하지 않고 통행량이 많은 고령자 통행 비율 대비 지하철 역사의 단순 수직이동 시설물 개수의 효율성 지수를 비교하였다는 점에서 본 연구와는 차이점이 있다.

### 3. 기존 연구와의 차별성

기존 연구 고찰 결과 교통카드 빅데이터를 활용한 연구는 활발히 이루어지고 있으며 이를 교통약자와 관련하여 분석한 연구들도 다수 이루어지고 있다. 하지만 기존 교통카드 데이터는 주로 O/D 구축, 대중교통 통행특성에 관한 부분에서 수행되고 있으며 해당 데이터를 이용한 이용자별 환승패턴 분석이나 교통약자 환승편의 개선에 관한 연구는 다소 미흡했다. 또한 교통약자 관련 연구는 교통약자의 이동편의 증진 및 만족도, 영향요인에 관한 분석들 위주로 수행되고 있으며 교통약자를 유형별로 구분하여 통행패턴을 분석한 연구나 이용자 기반의 교통안전시설물 취약지점 도출 등과 같은 측면의 연구는 미진한 것으로 보인다.

선행연구를 바탕으로 대중교통 이용자의 전수에 가까운 교통카드 빅데이터를 활용하여 이용자별 환승패턴에 관한 비교분석에 대한 필요성을 제고하였다. 이에 따라 본 연구에서는 교통카드 빅데이터를 활용하여 환승통행데이터를 구축하고 이용자별 환승패턴 분석 및 교통약자 환승 취약지역을 도출하고 개선방안을 제시하고자 한다.

## III. 분석 방법론

### 1. 원시 데이터

한국 스마트카드 사에서는 교통카드 거래내역정보, 버스차량 운행정보 등의 대중교통 관리 및 운영 정보를 수집, 저장 및 관리 한다. 현재 스마트카드 이용률은 99%에 달하며 이는 대중교통 이용 데이터의 전수에 가까운 데이터이다. 본 연구의 분석에 사용한 데이터는 스마트카드 데이터 중 교통카드 거래내역데이터로서 카드번호, 교통수단코드, 사용자구분코드, 승·하차 일시 및 정류장ID, 환승정보 등을 포함한다. 한 이용객이 스마트카드를 태그하여 버스나 지하철을 타고 내릴 때 마다 1개의 데이터가 생성된다. 교통카드 거래내역데이터는 데이터 당 200자리수의 조합으로 형성되어 있으며 하루 약 25GB의 정보가 생성된다. 데이터는 하루 기준 약 20개의 파일로 저장되어 관리된다.

본 연구에서는 공간적 범위는 서울시 전역, 시간적 범위는 2017년 10월 23일로 설정하고, 교통카드 거래내역데이터의 사용자 구분코드와 승·하차 정보 등을 이용하여 환승통행 데이터를 생성했다.

## 2. 분석 데이터 구축 방법

### 1) 환승통행 데이터 구축

2004년 서울시 버스와 수도권 전철 간 통합 환승할인제도를 시작으로 2009년에는 수도권 전역으로 제도가 확대 시행되었다. 이는 수도권 대중교통요금을 통합하여 대중교통 이용의 수단에 관계없이 이용거리에 비례하여 요금을 징수하는 시스템이다. 적용 대상은 서울과 수도권의 버스 및 지하철이며 승·하차 시 단말기에 교통카드를 반드시 접촉해야 환승할인이 이루어진다. 4회 환승으로 5개 수단 탑승 시까지 환승 할인혜택을 적용받을 수 있으며 환승 유효시간은 7시부터 21시 사이에는 30분내, 21시에서 7시 사이에는 60분 내로 제한되어 있다.

이용자별 특성을 고려하여 일반 이용객과 노인 및 장애인 이용객의 환승 통행 데이터 구축 방법을 다르게 구성했다. 일반 이용자의 경우 환승 유효시간 내 환승이 이루어지면 교통카드 거래내역데이터의 ‘트랜잭션ID’ 항목이 같은 번호로 표기된다. 이를 통해 두 개 수단의 거래내역 데이터가 하나의 환승통행 데이터임을 식별할 수 있다. 하지만 지하철 무임이 적용되는 노약자 및 장애인 이용객의 경우에는 환승 적용 인정 시간 내 환승을 했더라도 거래내역 데이터 상에는 같은 트랜잭션ID로 인정되지 않는다. 따라서 노약자 및 장애인 이용객을 일반 이용객과 같은 방법으로 환승통행 데이터를 구축하면 누락되는 데이터가 많아 두 그룹 간 다른 구축 방법을 적용했다.

일반 이용자의 교통카드 거래내역 데이터는 <Table 1>과 같이 ‘사용자구분코드’가 1이다. ‘카드번호’와 ‘트랜잭션ID’가 동일하면 한 이용자의 환승데이터로 식별된다. 해당 예시에서는 한 이용객이 첫 번째 수단으로 2017년 10월 15일 10시 8분 7초에 ‘수유1동주민센터.파출소’ 버스정류장에서 승차하여 10시 19분 3초에 ‘수유역’ 버스정류장에서 하차했다. 이어 두 번째 수단으로 10시 20분 40초에 4호선 ‘수유’역 지하철에 승차하여 10시 33분 21초에 4호선 ‘노원’역에 하차하였다. 해당 데이터로부터 ‘수유역’ 버스정류장에서 하차하여 4호선 ‘수유’역 지하철까지 30분 내 환승으로 환승 적용을 받았으며 두 승·하차 일시 정보의 차로부터 환승통행시간을 97초로 산출할 수 있다.

<Table 1> Traffic Card Data Specification(Normal)

Card number	Transaction ID	Transit mode code	The number of transfers	User classification code	Boarding station ID	Boarding time	Boarding station	Boarding metro line	Getting off station ID	Getting off time	Getting off station	Getting off metro line
X+YRDVC	53	105	0	1	108900203	20171015100807	Suyu 1dong community service center.police		108900178	20171015101903	Suyu station	
X+YRDVC	53	201	1	1	414	20171015102040	Suyu	4	411	20171015103321	Nowon	4

교통카드 거래내역데이터의 ‘카드번호’와 ‘트랜잭션ID’를 이용하여 환승 통행 데이터를 구축하면 <Table 2>의 형태와 같다. 환승 통행 데이터에는 ‘카드번호’, ‘사용자구분코드’ 등의 사용자 정보에 ‘출발수단’, ‘출발ID’, ‘출발일시’, ‘출발명’의 환승 출발지정보, ‘도착수단’, ‘도착ID’, ‘도착일시’, ‘도착명’의 환승 도착지정보, 환승출발지로부터 환승도착지까지 걸린 시간을 나타내는 ‘환승시간’정보가 포함된다.

<Table 2> Transfer Data Specification(Normal)

Card number	User classification code	Transfer mode <sup>1)</sup>	Departure mode <sup>2)</sup>	Departure ID	Departure time	Departure station	Arrival mode <sup>3)</sup>	Arrival ID	Arrival time	Arrival station	Transfer time [sec] <sup>4)</sup>
X+YRDVC	1	1_0	1	108900178	20171015 101903	Suyu station	0	414	20171015 102040	Suyu	97

지하철 무임정책 적용을 받는 경로, 장애인 이용자의 경우에는 1차적으로는 일반 이용자와 같이 카드번호와 트랜잭션ID가 동일하면 환승데이터로 식별한다. 2차적으로 트랜잭션ID 불일치로 누락된 환승데이터를 식별하기 위해 같은 카드번호를 기준으로 수도권 대중교통 환승 유효시간 내 카드거래 데이터가 겹치면 하나의 환승으로 간주하여 데이터를 구축했다.

장애인 이용객의 교통카드 거래내역 데이터는 ‘사용자구분코드’가 7인 <Table 3>과 같다. 해당 데이터에서는 이용객이 첫 번째 수단으로 버스를 이용하여 10시 45분 57초에 ‘수유역’ 버스정류장에서 하차한 후 두 번째 수단으로 10시 47분 38초에 4호선 ‘수유’역 지하철에 승차하여 환승하였다.

<Table 3> Traffic Card Data Specification(Mobility Handicapped)

Card number	Transaction ID	Transit mode code	The number of transfers	User classification code	Boarding station ID	Boarding time	Boarding station	Boarding metro line	Getting off station ID	Getting off time	Getting off station	Getting off metro line
7GorCuP	93	105	0	7	108900131	20171015 103743	Hanbit blind school		108900178	20171015 104557	Suyu station	
7GorCuP	107	201	0	7	414	20171015 104738	Suyu	4	411	20171015 105717	Nowon	4

해당 이용객은 환승 인정범위인 30분 내에 환승했음에도 불구하고 데이터 상에서 트랜잭션ID가 다르게 구분되어 환승으로 인정되지 않은 것을 볼 수 있다. 이와 같이 경로 및 장애인 이용객의 환승 정보 누락을 방지하기 위해 환승 유효시간 내 데이터가 겹치면 하나의 환승으로 간주하여 데이터를 구성하였고 <Table 4>와 같다. 환승 유효시간을 기준으로 10%의 오차범위를 두어 승차일시와 하차일시의 차가 7시~21시의 30분 내 환승은 33분, 21시~7시의 1시간 내 환승은 66분 이하이면 하나의 환승 데이터로 생성했다. 또한 데이터 중 결측된 데이터가 포함된 행은 제거하는 과정을 수행했다.

<Table 4> Transfer Data Specification(Mobility Handicapped)

Card number	User classification code	Transfer mode	Departure mode	Departure ID	Departure time	Departure station	Arrival mode	Arrival ID	Arrival time	Arrival station	Transfer time [sec]
7GorCuP	7	1_0	0	108900178	201710151 04557	Suyu station	1	414	201710151 04738	Suyu	101

1) 환승수단 : 환승유형 구분을 나타냄 0: 지하철, 1: 버스 (예:1\_0, 버스→지하철 환승)

2) 출발수단 : 환승을 위한 출발수단 구분 0: 지하철, 1: 버스

3) 도착수단 : 환승을 위한 도착수단 구분 0: 지하철, 1: 버스

4) 환승시간 : 환승을 위한 출발지로부터 도착지까지의 시간차 (단위 : 초)

## 2) 환승경로별 환승시간 데이터 구축

본 연구의 목적인 이용자별 환승통행 시간의 비교를 위해 구축된 환승통행 데이터의 동일한 환승 출발지-도착지 데이터를 하나의 환승 경로로 간주하여 경로별 평균 환승시간을 이용자별로 구분하여 추출했다. 환승 경로별 환승시간 데이터 구축 예시는 <Table 5>와 같다. 환승 출발지ID와 도착지ID를 합하여 ‘출발지ID\_도착지ID’와 같은 형태의 ‘환승경로’ 속성으로 저장한다. 또한 ‘이용자구분’ 및 ‘환승수단’ 정보도 포함하며 환승출발·도착지ID 등과 같은 기본 정보에 행정동 정보와 각 정류소 및 역의 대중교통 이동편의시설물 정보도 포함한다. 대중교통 이동편의시설 정보는 대표적으로 에스컬레이터(ES), 엘리베이터(EV), 휠체어리프트(LF)의 정보를 나타냈다. 이어 각 환승경로별 환승횟수, 환승시간합계, 평균환승시간 정보를 산출하여 데이터셋을 구성했다. 경로별 이용자수가 30건 이하인 건은 자료의 타당성 문제를 감안하여 제외했다. 따라서 총 10,868개의 경로별 평균 환승시간 데이터를 추출했으며 이를 분석했다.

<Table 5> Transfer Time Data by Route Specification

Transfer route 1)	User classification code 2)	Transfer mode	Transfer Departure Info.									Transfer Arrival Info.							Number of transit 3)	Total transit time <sup>4)</sup>	Average transit time <sup>5)</sup>
			Dep. ID	Dep. mode	Dep. station	Dep. dong	Dep. gu	Dep. ES	Dep. EV	Dep. LF	Arr. ID	Arr. mode	Arr. station	Arr. dong	Arr. gu	Arr. ES	Arr. EV	Arr. LF			
4309_121000222	1	1_0	4309	1	Yangjae Citizen's Forest	Yangjae 2-dong	Seochogu	16	4	0	121000222	0	ATcenter, yangjae flower market	Yangjae 2-dong	Seochogu	0	0	0	724	212,403	293
4308_122900034	1	1_0	4308	1	Yangjae	Yangjae 1-dong	Seochogu	2	4	0	122900034	0	Yangjae station exit 4	Dogok 1-dong	Gangnamgu	0	0	0	45	26,311	585

## 3) 비교 분석 방법

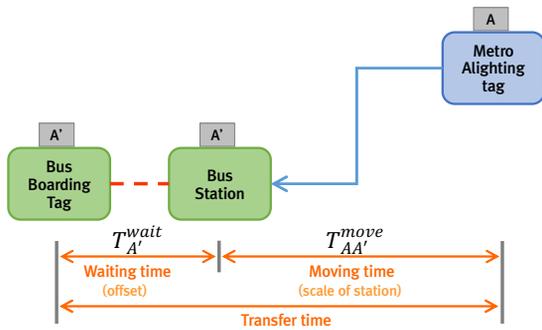
지하철과 버스 간 연계 환승에 대한 정의는 역사에서 환승을 위해 버스 정류장까지 이동한 환승 이동경로와 버스 정류장에서 버스를 기다리는 대기시간으로 나누어진다.(Choi et al., 2011) 해당 연구에서는 Equation 1 및 <Fig. 1>과 같이 역사 자체의 시설규모에 따른 환승에 필요한 이동시간( $T_{AA}^{move}$ )에 두 수단 간 연동성을 고려할 수 있는 버스 대기시간( $T_A^{wait}$ )을 포함시킨 총 환승시간을 연계 환승시간( $T_A^{Tr}$ )으로 정의했다. 지하철에서 버스로의 환승이나 버스에서 버스로의 환승은 버스 대기시간( $T_A^{wait}$ )이 포함되어 있다. 대기시간은 버스의 배차 및 운행시간 등의 영향을 포함하므로 이용자의 순수한 시설물간의 환승시간을 대표하기에 어렵다. 이에 따라 본 연구의 목적에 부합한 분석을 위해서는 버스 대기시간( $T_A^{wait}$ )이 배제된 데이터를 추출하여 분석하는 방안이 필요하다.

- 1) 환승경로 : 환승 ‘출발ID\_도착ID’를 나타냄
- 2) 이용자구분 : 이용자를 구분코드로 분류함 (일반:1, 어린이:2, 청소년:4, 경로:6, 장애인:7)
- 3) 환승횟수 : 해당 경로를 환승한 횟수의 합계
- 4) 환승시간합계 : 해당 경로를 환승하는데 걸린 통행시간의 합계
- 5) 평균환승시간 : 환승시간 합계를 환승횟수로 나눈 값

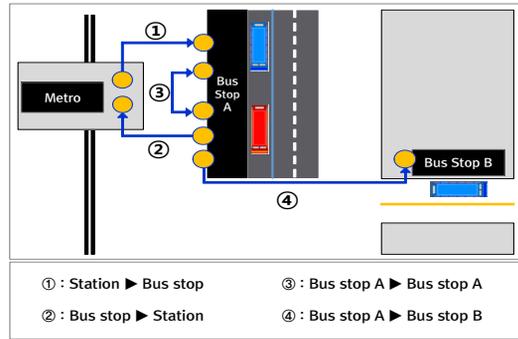
$$T_A^{Tr} = T_{AA'}^{move} + T_{A'}^{wait} \tag{1}$$

$T_A^{Tr}$  : transfer time at station A  
 $T_{AA'}^{move}$  : moving time between station A and stop A'  
 $T_{A'}^{wait}$  : waiting time at stop A'

스마트카드 태그 기준 대중교통 환승은 <Fig. 2>와 같이 크게 수단간 환승(①지하철 역→버스, ②버스→지하철), 수단 내 환승(③버스→버스(동일정류장), ④버스→버스(상이정류장))의 네 가지 유형으로 구분할 수 있다. ①지하철 역→버스, ④버스→버스(상이정류장) 환승통행의 경우 이동시간( $T_{AA'}^{move}$ )과 대기시간( $T_{A'}^{wait}$ )의 합만큼의 환승시간이 존재하며 ③버스→버스(동일정류장) 환승통행은 대기시간( $T_{A'}^{wait}$ )의 환승시간이 존재한다. 세 유형 모두 연계 환승시간 내에 대기시간이 포함된다. ②버스→지하철 환승통행의 경우 시설물 간의 이동시간만이 환승시간이므로 분석 목적에 적합한 유형이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 해당 유형의 데이터만 추출하여 분석했다.



<Fig. 1> Conceptual Diagram Transfer time of Public Transport



<Fig. 2> Classifying Transfer Types of Public Transport

## IV. 분석 결과

### 1. 환승 통행 데이터 정산 및 샘플링

교통카드 거래내역 데이터를 가공하여 구축한 환승 통행 데이터에 대한 데이터 정산 및 샘플링 과정을 수행했으며 결과는 다음과 같다. 먼저 분석에 사용된 교통카드 거래내역 데이터 중 1개의 교통카드ID를 1인으로 정의한 실제 이용자 수는 5,123,967명이다. 분석에 사용된 총 데이터 수는 12,405,958통행이며 이는 수단통행을 의미한다. 교통카드별로 트랙잭션 묶음 수인 목적통행은 9,788,642통행으로 나타났다. 이는 하루에 1인당 약 2.5회의 수단통행이 이루어지고 1개의 목적통행을 위해 약 1.3회의 수단통행을 하고 있음을 의미한다.

교통카드 거래내역 데이터를 가공하여 산출한 환승 통행 데이터 정산 결과 총 2,647,433건의 환승 통행량이 발생한 것으로 나타났다. 이용자별 환승통행횟수는 일반 이용자는 2,366,734건(94.7%)으로 가장 많았다. 다음으로 경로가 79,122건(3.2%), 어린이가 23,314건(0.9%), 청소년이 16,414(0.7%), 장애인이 15,122건(0.6%)순

으로 나타났다. 또한 환승통행 데이터에서 동일한 환승 출발지-도착지 데이터를 하나의 환승 경로로 간주하여 환승경로별 환승시간데이터를 구축한 결과 총 113,829건의 환승 통행 경로가 발생한 것으로 나타났다. 환승 경로는 <Table 6>과 같이 일반 이용자의 경로가 106,068개(62.1%)로 가장 많았으며 청소년(26,739개(15.7%)), 경로(21,209개(12.45%)), 어린이(9,334개(5.5%)), 장애인(7,344개(4.3%)) 순으로 많았다. 본 연구에서는 분석 결과의 타당성 확보를 위해 각 환승 통행 경로별 이용자수가 30건 이하인 경로는 제외했다. 이에 따라 샘플링 후 실제로 분석에 사용된 환승통행량은 2,118,131건, 환승 통행 경로는 9,408건이다.

<Table 6> The Number of Transfer Route by User

User classification code	User	The number of transfer routes	Ratio
02	Child	9,334	5.5%
04	Youth	26,739	15.7%
05	Normal	106,068	62.1%
06	Senior	21,209	12.4%
07	Handicapped	7,344	4.3%
-	etc	37	0.0%
Total		170,731	-

## 2. 이용자별 환승 통행 패턴 분석

환승통행 데이터를 분석하여 이용자별로 환승 통행 패턴을 비교했다. 이용자별 분석 결과 일반, 경로, 장애인 순으로 환승을 가장 많이 한 것으로 나타났다. 환승 유형 측면에서 일반 이용자는 수단 간 환승(지하철↔버스)을 가장 많이 했다. 반면 경로 및 장애인 이용자들은 ‘지하철→버스’, ‘버스→버스’, ‘버스→지하철’ 순으로 환승을 많이 했으며 두 이용자는 비슷한 통행패턴을 보였다.

이용자별로 환승자 수가 가장 높은 환승지점 상위 6개 지점을 추출했다. 일반 이용자의 최다 환승 지점은 <Table 7>과 같이 첫 번째와 두 번째 모두 구로디지털단지역 인근으로 나타났다. ‘구로디지털단지역(정류장)-구로디지털단지역’ 경로는 환승자수가 7,931인, ‘구로디지털단지역환승센터(정류장)-구로디지털단지역’ 경로는 6,922인으로 일반 이용자들이 가장 많이 환승했다. 평균 환승시간은 각각 192초, 96초로 산출됐다. 다음으로 서울대입구역(5,386인), 신도림역(5,233인), 잠실역(5,218인), 쌍문역(4,833인) 순으로 많은 일반 이용객이 환승했다.

<Table 7> Top 6 Most Transferred routes for Normal Users

Rank	Departure(Bus stop)	Arrival(station)	E/S	E/V	L/F	Average Transfer time(sec)	The number of transfer passengers
1	Guro Digital Complex Station	Guro Digital Complex	4	3	0	192	7,931
2	Guro Digital Complex Area Transit Center	Guro Digital Complex	4	3	0	96	6,922
3	Seoul Nat'l Univ. Station	Seoul Nat'l Univ.	8	2	0	163	5,386
4	Sindorim Station	Sindorim Station	9	4	2	263	5,233
5	Jamsil Station Exit 3	Jamsil	6	4	1	170	5,218
6	Ssangmun Station.Ssangmun Station Alley Market	Ssangmun	2	3	0	103	4,833

경로 이용자의 최다환승지점은 <Table 8>과 같다. 경로가 가장 많이 환승한 지점은 신림역, 쌍문역, 구로 디지털단지역 인근 순이었다. 경로이용자가 가장 많이 환승한 경로는 ‘신림역4번출구-신림’으로 총 332명의 경로 이용자가 환승했으며 평균 환승시간은 268초로 나타났다. 일반 이용자의 최다 환승 상위 6개 지점에도 포함되었던 경로인 ‘구로디지털단지역환승센터-구로디지털단지’는 경로 이용자가 세 번째로 많이 환승한 지점으로 나타났다. 이를 기준으로 평균 환승시간을 비교해보면 일반이용자는 96초, 경로 이용자는 228초로 경로 이용자가 환승하는 데 평균 2분 12초, 약 2.3배 더 오래 걸린 것으로 나타난다. 이 외에도 ‘쌍문역.쌍문역골목시장-쌍문’은 2.3배, ‘서울대입구역-서울대입구’는 1.1배 만큼 경로가 일반보다 환승하는데 오랜 시간을 소요했다.

<Table 8> Top 6 Most Transferred routes for Senior Users

Rank	Departure(Bus stop)	Arrival(station)	E/S	E/V	L/F	Average Transfer time(sec)	The number of transfer passengers
1	Sillim Station Exit 3	sillim	3	3	0	268	332
2	Ssangmun Station.Ssangmun Station Alley Market	Ssangmun	2	3	0	243	288
3	Guro Digital Complex Area Transit Center	Guro Digital Complex	4	3	0	228	263
4	Sindaebang Station	Sindaebang	8	3	0	248	254
5	Yangjae Station Exit 7. Plaza Pharmacy	Yangjae	2	4	0	269	144
6	Hongje Station Exit 3	Hongje	0	3	0	208	144

장애인 이용자의 최다 환승 상위 6개 지점은 <Table 9>와 같다. 장애인 이용자가 가장 많이 이용한 지점은 일반과 동일하게 구로디지털단지역 인근으로 나타났다. ‘구로디지털단지역환승센터-구로디지털단지’를 기준으로 장애인이용자의 환승시간이 일반, 경로에 비해 가장 오래 걸렸다. 이는 신체적 조건이 가장 불리한 장애인의 특성에서 기인한 결과로 생각된다. 다음으로 나타난 장애인 이용자의 최다 환승지점은 신림역, 신대방역, 쌍문역 등의 순이다.

<Table 9> Top 6 Most Transferred routes for Handicapped Users

Rank	Departure(Bus stop)	Arrival(station)	E/S	E/V	L/F	Average Transfer time(sec)	The number of transfer passengers
1	Guro Digital Complex Area Transit Center	Guro Digital Complex	4	3	0	258	64
2	Sillim Station Exit 4	sillim	3	3	0	251	47
3	Sindaebang Station	Sindaebang	8	3	0	252	46
4	Ssangmun Station.Ssangmun Station Alley Market	Ssangmun	2	3	0	217	38
5	Guro Digital Complex Station	Guro Digital Complex	4	3	0	290	34
6	Lotte Department Store	Mia Intersection	2	2	0	216	32

이용자별 환승패턴을 종합해보면 일반, 경로가 가장 많이 환승한 지점이 공통적으로 구로디지털단지역으로 나타났다. 경로는 신림역에서 가장 많이 환승을 했지만 경로가 세 번째로 가장 많이 환승한 지점도 구로

디지털단지역 인근이었다. 동일 환승 경로인 ‘구로디지털단지역환승센터(정류장)-구로디지털단지(역)을 기준으로 이용자별 평균 환승 통행 시간을 비교해보면 장애인(258초), 경로(228초), 일반(96초) 순으로 교통약자가 일반보다 오래 걸렸으며 장애인과 일반 이용자의 차는 약 3분여에 달하는 162초의 시간차가 발생하는 것으로 나타났다.

### 3. 환승 경로별 환승 시간 비교 분석

추출된 이용자별 환승통행시간 데이터를 이용하여 동일 경로를 기준으로 일반과 교통약자(경로, 장애인)의 각 이용자별 환승시간차이를 비교 분석 했다. 일반과 교통약자의 환승 시간차가 큰 순으로 환승 경로를 산출하면 <Table 10>과 같다. 분석 결과 환승 시간 차이가 가장 많이 나는 경로는 ‘수유(강북구청)역(정류장)-수유(역)’으로 나타났다. 해당 경로를 환승하는데 교통약자가 일반 이용자보다 212초(3분 32초)의 시간이 더 소요되는 것으로 나타났다. 두 번째로 환승시간차가 가장 큰 경로도 수유역 인근인 ‘강북구청(정류장)-수유(역)’으로 182초(3분 2초)의 환승시간차를 보였다. 이어 까치산(173초 차), 연신내(172초 차), 송실대입구(159초 차), 청량리(154초 차)역 순으로 환승시간 차이가 크게 나타났다. 반면 평균환승시간차가 가장 적은 경로는 홍대입구(5초 차), 사당(6초 차), 양재역(6초 차) 등으로 나타났다.

<Table 10> Comparison of Transfer Time Differences between Normal and Mobility Handicapped

Rank	Departure(Bus stop)	Arrival(station)	E/S	E/V	L/F	Mobile Convenience Facility	Average Transfer time of Normal (sec)	Average of Mobility Handicapped (sec)	Difference of Transfer time (sec)
1	Suyu (Gangbuk-gu Office) Station	Suyu	4	3	0	7	201	413	-212
2	Gangbuk-gu Office	Suyu	4	3	0	7	253	435	-182
3	Kkachisan Station Exit 2	Kkachisan Station	12	1	3	16	154	327	-173
4	Yeonsoo Market	Yeonsinnae	4	1	0	5	233	405	-172
5	Soongsil University Station	Soongsil University Entrance	10	3	0	13	301	460	-159
6	Cheongnyangni Station Transfer Center	Cheongnyangni	4	2	1	7	173	327	-154

동일 패턴이라도 각 버스정류장과 역사간 환승시간 차이가 다르게 나타날 수 있다. 이에 따라 수유역의 경우를 예시로 분석했으며 <Table 11>과 같다. 수유역으로 환승을 위해 가장 많은 시간 차이가 발생한 정류장은 수유(강북구청)역 212초, 강북구청 182초, 수유역. 강북구청 173초, 수유동약국 172초 등의 순이다. 그 중 수유동 약국과 강북구청 정류장은 지하철 역사와의 거리가 200m 이상 떨어져있어 보행시간의 영향을 받는 것으로 보인다. 하지만 수유(강북구청)역, 수유동약국 정류장은 거리가 70m 이하로 인접함에도 불구하고 일반 이용자와의 환승시간 차이가 큰 것으로 나타났다.

일반과 교통 약자의 환승시간 차이와 시설물 간의 상관관계 분석을 실시했다. 분석 결과 환승시간 차이와 에스컬레이터와의 상관관계는 상관계수 0.146으로 약한 양적 선형관계를 보였으며 엘리베이터(0.053)와 휠체어리프트(-0.006)와는 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 시설물 합계와의 상관관계는 0.133으로 또한 상관관계가 미약했다. 이에 따라 환승 시간차가 크게 나타난 경로 중 일부를 대상으로 현장조사를 수행했다.

<Table 11> Comparison of Transfer Time Differences at Suyu Station

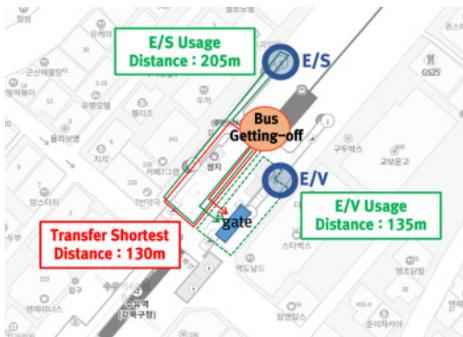
Rank	Departure(Bus stop)	Arrival(station)	Average Transfer time of Normal (sec)	Average Transfer time of Mobility Handicapped (sec)	Difference of Transfer time (sec)
1	Suyu (Gangbuk-gu Office) Station	Suyu	201	413	-212
2	Gangbuk-gu Office	Suyu	253	435	-182
3	Suyo station.Gangbuk-gu Office	Suyu	154	327	-173
4	Suyu-dong Pharmacy	Suyu	233	405	-172
5	Suyu Station	Suyu	301	460	-159

#### 4. 현장조사 결과

동일 환승 경로 기준 환승시간 차이 비교 분석 결과 일반 이용객과 교통약자 간 환승시간 차이가 크게 나타난 지역을 중심으로 현장조사를 수행했다. 현장 조사를 수행한 지역은 일반과 교통약자 간 환승시간 차이가 높게 나타난 지점인 ‘수유(강북구청)역(정류장)-수유(역)’과 ‘청량리역환승센터(정류장)-청량리(역)’이다.

일반과 교통약자의 환승시간 차이가 212초로 가장 컸던 ‘수유(강북구청)역(정류장)-수유(역)’ 환승 경로의 경우 환승 시 일반인은 <Fig. 3>과 같이 버스 하차지점으로부터 가장 가까운 지하철 입구인 2번 또는 7번 출구로 약 130m의 보도거리를 통해 환승하게 된다. 하지만 통행에 불편함이 있는 교통약자의 경우 이동편의시설을 이용하기 위해서 에스컬레이터가 있는 6번 출구를 이용하여야 한다. 해당 경로는 보도 거리가 약 205m로 일반 이용객의 최단 환승 경로보다 최소 75m 이상의 거리를 더 보행하여야 함을 의미한다. 엘리베이터 이용을 위해서는 135m를 이동해야하는 것으로 나타났다.

일반과 교통약자의 환승시간 차이가 151초로 나타난 ‘청량리역환승센터(정류장)-청량리(역)’ 환승 경로의 경우도 버스와 지하철의 최단환승경로 내 이동편의시설은 존재하지 않았다. 에스컬레이터 이용을 위해서는 최단환승경로(125m)보다 최소 36m를 더 이동해야하며 횡단보도 대기시간에 따라 추가 시간이 소요될 수 있다. 엘리베이터 이용을 위해서는 275m를 더 이동해야하는 것으로 나타났다.



<Fig. 3> Transfer Routes at Suyu Station



<Fig. 4> Transfer Routes at Cheongnyangni Station

## V. 결 론

본 연구에서는 교통약자와 일반 이용자의 평균 환승통행시간을 비교하여 그 차가 큰 환승취약지점을 도출하고자 스마트카드 거래데이터를 가공하여 환승통행데이터를 구축했다. 이를 통해 이용자별 환승 패턴을 분석하고 동일 환승 경로에 대하여 이용자별 평균 환승 통행시간을 비교 분석했다. 분석 결과 일반 이용자에 비해 교통약자의 환승통행시간이 긴 것으로 나타났다. 하지만 역사별 시설물 설치 대수와 이용자 간 환승시간차의 상관관계는 미약한 것으로 나타났다. 현장조사 결과 시설물 설치 대수와는 상관없이 일반이용자와 교통약자 간 환승시간차가 크게 나타난 경로의 환승 시 최단거리 인근에 이동편의시설이 부재했다. 이는 교통약자의 경우 해당 경로 환승을 위해 이동편의시설이 존재하는 경로로 우회하여 일반 이용자보다 더 많은 거리를 보행해야함을 나타낸다. 이와 같은 이유 등으로 인해 일반이용자와 교통약자간의 환승시간 차가 나타난 것으로 보인다.

기존 교통약자를 위한 대중교통 이동편의시설의 확대는 단순 역사의 시설물 설치 대수나 규모 등과 같은 수치 및 공간적 기준에 의거하여 우선적으로 설치되어 왔다. 하지만 이용자 기반의 교통카드 데이터를 통한 분석 결과 추출된 교통약자의 환승취약지점은 설치된 이동편의 시설의 개수보다는 해당 경로 환승을 위한 최단환승거리 내 이동편의시설 부재로 인한 영향이 큰 것으로 사료된다. 이에 따라 향후 교통약자를 위한 이동편의시설 확대 설치 시 이러한 실질적 이용자 기반 데이터 분석을 통해 환승취약지점에 우선적으로 시설을 확보하는 방안을 검토할 수 있다. 또한 환승 경로의 최단환승거리 내 적합한 이동편의시설물 위치 선정 등 문제점 도출 및 개선이 필요한 지점을 우선적으로 선정할 수 있는 가능성이 있다. 향후 본 연구결과가 교통약자를 위한 환승 접근성 개선 자료로 활용될 수 있음을 기대한다.

본 연구에서는 서울시를 공간적 범위로 한정하여 분석했다. 하지만 현재 통합 환승제도가 시행되고 있는 수도권 대중교통은 서울 내 환승 뿐 아니라 서울과 경기도간 환승 비율도 상당부분 존재한다. 따라서 향후 경기도 교통카드거래내역 데이터 확보가 가능하게 되면 공간적 범위를 경기도 지역까지 확장하여 분석할 수 있다. 또한 본 연구에서 분석한 1일치 데이터도 많은 양의 데이터를 포함하지만 앞서 기술한 바와 같이 몇 차례의 샘플링 과정을 거치고 연구의 목적에 맞게 ‘버스→지하철’ 환승 데이터만 추출하는 과정을 통해 분석에 사용한 데이터가 상당부분 줄어들었다. 따라서 향후 보다 장기간의 데이터로 공간·시간대별 패턴 등을 나누어 분석한다면 보다 면밀하고 신뢰성 있는 분석결과를 도출할 수 있을 것으로 생각된다. 마지막으로 교통약자의 중증 정도는 환승시간에 큰 영향을 미칠 수 있지만 교통카드 데이터가 포함하는 데이터의 한계점으로 인해 이를 반영하기 어렵다. 이에 따라 향후 설문조사 등을 활용한 추가적 분석을 통한 보완이 필요하다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 2020년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 지원되었음

## REFERENCES

- Bin M. Y., Lee S. J. and Jung E. S.(2011), “A Study on Analysis Travel Patterns and Applications Using Gyeonggi-Do Traffic Card Data,” *Gyeonggi Research Institute Policy Studies*, vol.

2011-58, pp.1-148.

- Choi M. H., Eom J. K., Lee J. and Kim D. S.(2011), "Evaluation of Transfer Services based on Transit Smart Card Data," *Korean Society for Railway Conference*, pp.1699-1706.
- Hwang J. H.(2014), "Analyzing Factors Affecting Public Transit Transfer Volume: Focused on Daegu City," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 32, no. 3, pp.179-186.
- Kim W. H., Lee S. H. and Kim S. H.(2008), "A Study on Travel Behavior of the Mobility Handicapped and Custom-made Transit Information System," *Seoul Studies*, vol. 9, no. 2, pp.105-119.
- Lee C. H. and Chung S. B.(2014), "Analysis of the Elderly Travel behavior with Using Transportation card data," *Korean Society for Railway Autumn Conference*, pp.1527-1530.
- Lee D. E.(2017), *Factor Analysis for Transit Transfer Volumes using Public Traffic Card Data: Focused on Pyeongtaek*, Master's Thesis, Korea National University of Transportation.
- Lee E. H., Ko S. Y. and Kim D. K.(2009), "Analysis of Improvement Measures of Vertical Moving Facilities at Subway Stations for Elderly Users based on a Data Envelopment Analysis," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 5, pp.60-71.
- Lee H. J., Ha J. H. and Lee S. G.(2017), "An Analysis on the Equity of Public Transit Service using Smart Card Data in Seoul, Korea: Focused on the Mobility of the Disadvantaged Population Groups," *Journal of the Korean Regional Science Association*, vol 33, no. 3, pp.101-113.
- Lee M. Y.(2015), "Analysis of the Seoul Metropolitan Area Using Public Transportation Card Data," *KRIHS Policy Brief*, no. 536, pp.1-6.
- Lee S. H.(2009), "Transit user's tempo-spatial pattern analysis and simulation with transportation databases," *Seoul Studies*, vol. 10, no. 1, pp.197-208.
- Lee S. J. and Jang D. I.(2015), "Transit user's tempo-spatial pattern analysis and simulation with transportation databases," *The Korea Transport Institute*, pp.1-71.
- Song J. Y., Eom J. K., Park J. H., Kim D. S. and Kim M. H.(2011), "Analysis of Passenger Transfer Patterns Based on Transit Smart Card Data," *Journal of the Korean Society for Railway*, pp.563-570.