

환승통행과 토지이용의 연관성 분석

Exploring the Relationship between Transfer Trips and Land Use

임수연* (Su-yeon Lim) (Hongik University)
이향숙** (Hyangsook Lee) (Incheon National University)
추상호*** (Sangho Choo) (Hongik University)

요약

본 연구의 목적은 서울시의 환승통행 특성을 분석하고 토지이용이 환승통행에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 이를 위해 서울시의 2013년 4월 평일 하루치 교통카드자료를 이용하여 환승통행의 일반적인 특성을 분석하고, 토지이용과 사회경제지표 등을 독립변수로 고려한 환승통행량의 다중선형 회귀모형을 구축하였다. 환승통행특성의 경우, 환승통행이 전체 통행의 26.7%를 차지하였으며, 이 중 1회 환승한 경우가 86.4%로 대부분이었다. 또한 버스-지하철간 환승이 64.7%로 큰 비중을 차지하였으며, 주로 지하철 역 및 업무시설이 다수 위치하는 곳에서 환승통행이 많이 발생하였다. 회귀모형 구축 결과, 업무시설면적비율 및 백화점시설의 면적비가 높거나 복합토지이용도가 높은 지역일수록 환승통행량이 많아지는 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 향후 복합환승센터와 같이 도시 내 환승통행을 고려하는 교통시설의 입지 선정에 관한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심어 : 대중교통, 교통카드자료, 환승통행, 토지이용, 회귀분석

ABSTRACT

This paper is to analyze characteristics of transfer trips and to identify impacts of land use on them. Using the smart transport card data of Seoul on a weekday in April 2013, we explored general characteristics of the transfer trips such as spatial and temporal distributions, transfer types, and geographical patterns of transfer trips. Then, the multiple regression model for the transfer trips was developed, considering land use as well as socio-economic variables as explanatory ones. For the characteristics of the transfer trips, their ratio to the total trips accounts for 26.7%. Nearly 87% of the trips are one-time transferred, and 64.7% are bus-subway transfer trips. In addition, the transfer trips are more likely to appear nearby subway stations and business facilities. The regression model indicates that land use variables such as the floor areas of business facilities and department stores and mixed land use index significantly positively affect the transfer trips. Our results can be used as basic data for choosing feasible locations of multi-modal transfer centers in urban areas.

Key words : Public transit, smart transport card, transfer trips, land use, regression analysis

† 이 논문은 인천대학교 2014년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음

* 주저자 : 홍익대학교 도시계획과 석사 과정

** 교신저자 : 인천대학교 동북아물류대학원 교수

*** 공저자 : 홍익대학교 도시공학과 교수

† Corresponding author : Hyangsook Lee(Incheon national University), E-mail hlee14@inu.ac.kr

† Received 5 April 2016; reviewed 12 April 2016; Accepted 15 April 2016

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

서울시는 2004년 7월 대중교통체계를 간선버스와 지선버스의 환승체계로 전면 개편하였으며, 환승센터설치 및 환승요금 할인제도도 도입하였다. 이로 인해 대중교통의 수단분담률은 높아진 반면, 환승할인이 적용되지 않는 서울시 경계에서는 승용차 분담률이 증가하였다[1]. 이후 2007년 경기도, 2009년 인천시에서 수도권 통합요금제를 실시함으로써 수도권 전철 및 버스간의 환승은 크게 증가한 것으로 나타났다. 실제 2012년 수도권의 대중교통 수단분담률은 48.1%로 비수도권과 비교하여 상대적으로 높은 대중교통 이용률을 보이고 있다[2]. 이는 수도권의 촘촘한 지하철 및 버스 노선망을 기반으로 한 대중교통 수단간 환승체계 구축 및 환승할인요금제도가 대중교통이용에 영향을 미치고 있기 때문이다.

수도권의 사례에서 보았듯이 대중교통수요의 증대를 위해서는 효율적인 환승시스템과 환승할인요금 정책이 필요하다. 특히 대중교통에서 환승은 향후 지속가능한 교통체계 구축에 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 따라서 대중교통의 이용을 더욱 활성화하기 위해서는 환승통행의 특성을 파악하는 것이 필요하다.

현재 수도권에서는 교통카드를 이용한 환승이 대부분이며, 교통카드 사용률도 98%로 이 자료를 활용하면 수도권 이용자 대부분의 대중교통 통행행태를 분석할 수 있다[3]. 과거에는 주로 3% 미만의 표본조사인 가구통행실태조사 자료를 이용하여 대중교통의 환승행태를 분석하였으나 최근에는 전수에 가까운 교통카드 자료를 이용한 환승통행 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.

환승에 관한 기존 선행연구들을 보면, 환승통행의 특성을 분석하거나 환승통행의 영향요인을 규명하는 연구가 주를 이루고 있다. 그러나 현재까지의 연구들은 주로 지하철 통행자료만을 이용하여 지하철역과 관련된 영향요인들만을 분석하고 있어 버스

와 지하철을 포함한 대중교통 전반에 관한 환승통행 연구는 미비하다고 할 수 있다. 특히 서울시는 버스와 지하철간 연계환승이 활발히 이루어지고 있어, 이들 수단 간의 환승통행자료를 종합적으로 분석하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 서울시 버스와 지하철을 포함한 대중교통 수단의 환승통행에 대한 특성을 분석하고, 토지이용이 환승통행에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 흐름

본 연구에서는 교통카드 자료를 이용하여 서울시 환승통행행태를 분석한다. 분석자료는 자료의 이용이 가능한 2013년 4월 17일 수요일의 서울시 교통카드자료를 대상으로 하였다. 교통카드자료는 카드정산사업자에 의해 지역별로 제공된다. 서울시 자료의 경우 한국스마트카드사가 담당하며, 다른 카드정산사업자가 제공하는 인천시 및 경기도 기점의 서울시 대중교통 이용 자료는 수집이 불가하여 본 분석에서 제외되었다. 또한 수집된 교통카드 자료 중 분석의 일관성을 위해 서울시 내부통행 자료만 사용하였으며, 여기서 서울시 내부통행은 목적통행 내의 모든 출발·도착지가 서울 내부에서 발생하는 통행을 의미한다.

본 연구의 흐름은 다음과 같다. 우선 환승통행에 관해 분석한 선행연구를 검토하여 본 연구의 착안점을 도출하였다. 이를 바탕으로 환승통행에 관한 연구를 수행하기 위하여 교통카드 자료를 수집하고, 분석방법론을 설정하였다. 환승통행의 다양한 행태를 상세분석한 후, 환승지점에서 발생한 환승통행량의 영향요인을 규명하기 위하여 다중선형 회귀모형을 구축하였다. 마지막으로 구축된 모형의 해석 및 시사점을 제시하였다.

II. 선행연구검토

1. 환승통행 관련 논문

기존 환승통행과 관련된 논문을 검토한 결과, 환

〈Table 1〉 Summary of Literature Review

Category	Authors(Year)	Data	Contents
Transfer trips characterization & type classification	Song et al. (2011)	In March 2010 Seoul transport card data (a weekday)	Analyzing transfer patterns for trips with more than 3 transfer frequencies and assessing regional connectivity of public transit service
	Sohn et al. (2012)	Incheon transport card data (a weekday)	Proposing index of transfer trips based on smart transport card data in Incheon
	Bin et al. (2012)	In April 2009, Gyeonggi transport card data (a weekday)	Classifying functions of transit stops with transfer trips using travel linking variable
	Lee et al. (2013)	Survey data targeted at Daegu Citizen (valid samples 818 copies)	Analyzing transfer behavior of public transport users and developing their transfer mode choice models
	Kim·Sohn (2014)	In 2011, 2013 Incheon transport card data	Analyzing changes in demand of transfer stations between 2011 and 2013 by transfer type in Incheon
Type classification & site selection transfer center	Kim·Sohn (2007)	The 2002 Passenger O/D trip survey (Seoul)	Developing design criteria for transfer facilities
	Gyeonggi Research Institute(2008)	The 2006 Passenger O/D trip survey (Seoul metropolitan area)	Evaluating feasibility of planned locations of transfer facilities using transfer trips by region and mode
	Kim·Lee (2012)	In September 2011, Daegu transport card data (a weekday)	Estimating transfer trips for Subway Line 3 and proposing locations of possible transfer centers
Influencing factors analysis on transfer trips	Gyeonggi Research Institute(2013)	In March 2012, Seoul metropolitan area transport card data (a weekday and a day weekend)	Suggesting bus linkage index at rail stations and analyzing factors to affect their demand
	Lim et al. (2013)	In 2011, Seoul transport card data	Developing regression models by catchment area and proposing TOD strategies
	Hwang (2014)	In October 2010, Daegu transport card data (Mon-Fri, 5days)	Analysing the factors to influence bus-subway transfer trips at subway stations using multiple regression models

승유형 구분 및 환승통행의 특성분석, 환승센터의 유형구분 및 입지선정, 환승에 대한 영향요인 분석 등 크게 세 개 주제로 분류되었다. 각 주제별 세부 분석내용은 다음과 같다.

환승유형 구분 및 환승통행의 특성 분석을 수행한 논문에서는 대부분 교통카드 자료를 활용하여 분석을 수행하였다. 통행에 이용된 교통수단을 토대로 환승유형을 구분하고, 통행시간 및 거리 등 환승통행의 특성을 분석한 연구가 주로 수행되었다. Song et al.(2011)은 서울시의 구단위 기종점 환승통행량 및 버스노선수를 분석하여 지역연결성을 분석하였다. 마포구-관악구 구간과 같이 버스노선수가 적고 환승통행량이 많은 지역은 지역 연계성이 낮은 지역으로 판단되었다[4]. Sohn et al.(2012)은 인천시의 환승통행 특성을 분석하였다. 환승횟수가

증가할수록 장거리 통행비율이 높아졌으며, 환승유형 중 버스-버스 1회간 환승이 가장 통행량이 많이 발생하였다[5]. Bin et al.(2012)은 교통수단연계, 이용시간 연계 등 통행연계 변수를 활용하여 버스정류장의 유형을 분류하였다. 기점 성격이 높은 정류장, 종점 특성이 높은 정류장, 단거리 통행 서비스를 하는 정류장, 일과 후 여가활동과 높은 관련이 있는 정류장으로 구분되었다[6]. Lee et al.(2013)은 대구광역시에서 실시한 설문조사자료를 바탕으로 환승행태를 분석하였다. 버스-지하철간 환승이 44%로 높게 나타났으며, 지하철 환승역이 위치한 중구에서 환승비율이 54%로 가장 높은 것으로 분석되었다[7]. Kim and Sohn(2014)은 인천시의 환승역사 4곳을 대상으로 지하철 7호선 연장 전·후의 환승수요 변화를 하차 태그통행과 미태그 통행으로 구분

하여 분석하였다. 버스 및 지하철 환승유형별 통행량을 비교하고, 환승수요량을 제시하였다[8].

환승센터의 유형구분 및 입지선정에 관련된 연구의 경우 환승유형별 환승통행량에 따라 환승시설의 유형을 구분하였으며, 이에 따라 환승센터로서 적합성 여부를 평가하는 내용으로 구성되었다. Hwang(2007)은 환승시설에 대한 환승패턴을 분석하고 기존의 환승시설 설계기준을 검토하여 환승거리가 과다하다는 문제점을 제기하였다. 또한 환승시설의 유형과 규모를 구분하여 환승시설의 설계기준을 제시하였다[9]. Gyeonggi Research Institute(2008)는 경기도의 각 시군별, 환승수단으로 구분되는 환승유형별 통행량을 도출하여 계획 중인 교통환승센터의 입지 적합성을 검토하였다. 전반적으로 환승통행량이 많은 지역과 계획 대상지가 일치하는 결과를 도출하였다[10]. Kim and Lee(2012)은 대구시의 버스정류장의 환승량 및 환승시간 등을 분석하였고, 하루의 총 통행량과 환승통행량을 고려하여 환승정류장의 최적입지를 제시하였다[11].

환승에 대한 영향요인 분석에 관한 연구는 교통카드 자료를 활용하여 회귀분석을 통해 영향요인을 규명한 연구가 이에 해당된다. Gyeonggi Research Institute(2013)은 지하철과 환승한 통행에 대하여 철도역의 버스연계 서비스지표를 도출하였으며, 지하철-버스 환승통행의 지하철 통행량과 버스 접근통행량의 영향요인을 분석하였다. 지하철 통행량에 영향을 미치는 요인은 버스이용수요, 버스정류장수 등이 있으며, 버스 접근통행량은 환승시간, 버스정류장 수가 높을수록 많아짐을 규명하였다[12]. Lim et al.(2013)은 대중교통 지향형 개발을 위하여 지하철역세권의 환승특성을 고려하여 환승유형별 회귀분석을 실시하였다. 지하철 중심 2교차 역세권은 토지이용 복잡도가 높을수록 대중교통 이용수요가 증가하며, 지하철-버스 2교차 역세권은 지하철 출입구 수의 영향력이 중요한 영향력을 가지는 등 환승유형별로 영향요인이 다름을 규명하였다[13]. Hwang(2014)은 대구시의 교통카드 자료를 이용하여 버스-지하철 환승통행량의 영향요인을 밝히고자 하였다. 지하철역의 버스노선 연계지수가 높을수록,

도심에 가까울수록 환승통행량이 많은 것으로 분석되었다[14].

2. 본 연구의 착안점

선행연구를 검토한 결과, 기존 환승통행 관련 논문은 주로 환승통행 특성을 분석한 연구가 다수 존재하였고, 최근에는 환승통행에 영향을 미치는 요인을 규명하기 위한 연구가 다수 수행된 것으로 나타났다. 또한 환승센터의 입지와 관련된 연구도 일부 수행된 것을 알 수 있었다.

환승통행 특성을 분석한 연구는 주로 최초출발지부터 최종도착지까지 도달하는 목적통행을 기준으로 통행량, 통행시간 및 거리 등의 지표를 분석하였다. 목적통행을 각 수단통행으로 구분하여 특성을 분석한 연구는 미미한 것으로 나타났다. 환승통행에 있어 각 수단통행의 출발·도착지는 환승지점이므로 수단통행에 대한 분석도 고려되어야 한다.

환승요인을 규명한 연구는 지하철 수단을 중심으로 지하철역 및 역세권에 대하여 분석을 수행하였다. 하지만 서울시는 버스 및 지하철 수단의 환승체계가 편리하게 갖추어져 있으므로, 환승통행에 관한 연구에 있어 버스수단의 이용수요도 필수적으로 분석되어야 한다. 선행연구에서 사용한 설명변수는 지하철역 및 역세권의 특성이 주를 이루었으며, 사회경제지표 및 토지이용변수의 활용은 일부의 연구에만 국한되었다. 대중교통 수요와 토지이용특성간의 관계를 규명한 연구는 다수 존재하며, 대중교통 환승수요 분석 시에도 토지이용변수가 고려되어야 한다[15, 16].

이에 본 연구에서는 선행연구와 달리 목적통행에만 한정하지 않고, 수단통행에 대한 환승행태분석도 수행하였다. 또한 환승행태 분석을 위해 환승유형 및 환승시간대 등 다양한 기준을 설정하였다. 환승통행과 연관된 요인을 밝히기 위해 지하철과 버스를 모두 포함하여 환승수요를 분석하였다. 분석단위를 지하철역 및 정류장이 아닌 서울시 행정동으로 설정하여, 사회경제지표 및 토지이용변수를 설명변수로 환승통행의 영향요인을 규명하였다. 본

연구는 보다 심도 있는 환승통행태분석과 지하철 및 버스 수단에 대한 환승통행의 행동 기준 영향 요인을 규명하였다는 점에서 선행연구와 차별성을 가진다.

Ⅲ. 분석방법론

1. 자료의 수집

본 연구에서 사용한 교통카드자료는 스마트카드사에서 제공받은 2013년 4월 17일 수요일의 교통카드자료이다. 교통카드 자료 중 서울시 내부통행에 해당하는 자료를 대상으로 분석하였으며, 서울시 내부통행은 최초출발지-최종도착지까지 서울내부에서만 이동한 통행으로 정의하였다. 수집된 교통카드자료 중 약 1,000만 건이 서울 내부통행에 해당되었다. 분석단위는 서울시 행정동 423개로 설정하였으며, 환승통행의 최초출발지를 제외한 환승승차지점을 기준으로 수단통행량을 집계하였다. 이는 환승통행이 발생하는 환승지점의 통행량을 연구하고자 하기 때문이다.

독립변수로 사용한 자료는 크게 토지이용 관련

〈Table 2〉 Independent Variables

Group	Variable	Unit	Data Source (Year)
Land use (facilities)	Residential floor area	m ²	KLIS account book for taxation data (2008)
	Commercial floor area		
	Business floor area		
	Education·welfare floor area		
	Industrial floor area		
	Cultural floor area		
	Other floor area		
	Land use mix	-	
Society & Economy	Haengjeong-dong area	m ²	Seoul statistics DB
	Population density	per./ha	
	Age population	per.	
	Worker	per.	
	no. of vehicles	veh.	
	amount of local taxes	won	

Note: Land use variables in 2008 are only available. Thus this study assumed that they seems to be little changed.

〈Table 3〉 Types of Building Facilities

Category	Descriptions
Residential facilities	multi-unit dwelling, multiplex house, detached house, row house, dormitory
Commercial facilities	neighbourhood living facilities, sales·sports facilities, accommodations, study room
Business facilities	public office·publicly used·business facilities, broadcasting and communication facilities, correctional·military facilities
Education/welfare facilities	medical·education·research·training facilities, facilities for the elderly
Industrial facilities	storage facilities, plant, a dangerous article handling facilities, power plant, cemetery facilities, transportation facilities, sewage&garbage treatment facilities
Cultural facility	recreational facilities, culture&assembly facilities, religious facilities, tourism and leisure facilities
Others	animal and plant facilities
Land use mix index	$-\frac{\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i}{\ln n}$ (p_i : Area ratio of land use type i , n : no. of land use type)

변수와 사회경제지표로 구분되며 분석단위에 맞춰 행정동 단위로 집계하여 사용하였다.

토지이용 관련 변수는 건축법 시행령의 ‘용도별 건축물의 종류’에 따라 분류되는 시설로 주거, 상업, 업무, 교육복지, 산업, 문화집회, 기타시설로 유형을 구분하였다. 각 시설별 연면적을 변수로 활용하였으며, 토지이용의 혼재된 정도를 파악하기 위해 토지이용엔트로피수를 활용하였다.

사회경제지표는 행정동 면적, 인구밀도, 연령별 인구, 종사자수, 자동차등록대수, 지방세과세액 등을 변수로 활용하였다. 이는 각 행정동의 사회 경제적 특성을 통제하기 위해서 변수로 반영하였다.

2. 분석방법론

환승통행의 영향요인을 밝히기 위한 분석기법으로 다중선형 회귀모형을 선정하였다. 다중선형 회귀모형은 종속변수와 여러 독립변수들의 상관관계를 나타내는 모형으로 종속변수가 독립변수에 대해

선형 함수의 관계에 있음을 가정한다. 따라서 영향 요인을 규명하는 선행연구에서 다수 사용되었다. 모형의 일반적인 구조는 식 (1)과 같다. 이 때 y 는 종속변수, x_i 는 독립변수를 나타내며, α 는 독립변수에서 고려되지 못했지만 종속변수에 영향을 미치는 상수항, β 는 독립변수의 계수, ϵ 은 오차항을 의미하며 정규분포를 가정한다.

$$y = \alpha + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n + \epsilon \quad (1)$$

IV. 환승통행행태분석

1. 환승통행 비율

서울시 내부통행 중 환승통행은 전체 통행의 26.7%인 204만 통행으로 나타났다. 2013년 서울시 평일 환승통행률은 38%로 기존 연구에 비해 환승 통행률이 낮은 것으로 보였다[17]. 이는 앞서 언급된 것처럼 본 연구에 사용된 자료가 인천시 및 경기도를 기점으로 하는 버스노선의 이용수요가 포함되어있지 않기 때문인 것으로 판단되었다.

〈Table 4〉 Distribution of Transfer trips

Type	Unlinked-trip	Linked-trip	Ratio
Single trips	5,627,386	5,627,386	73.3%
Transfer trips	4,417,463	2,046,481	26.7%
Total	10,044,849	7,673,867	100.0%

2. 환승횟수별 통행 분포

환승횟수별 통행 분포를 살펴보면, n 회 환승한 경우 목적통행은 $n+1$ 개의 교통수단을 사용하여 목적통행량은 수단통행의 $n+1$ 배로 나타난다. 환승통행 중 1회 환승한 경우가 86.4%로 가장 많은 유형으로 나타났다. 수도권에서 최대로 환승 가능한 경우인 4회 환승은 약 8,756통행으로 서울 내부통행 중 차지하는 양은 미미한 것으로 분석되었다. 서울 내에서 이동하는 대중교통 이용자들의 대부분인 98%가 1~2회 환승으로 최종목적지까지 도달할 수 있는 것으로 판단되었다.

〈Table 5〉 Distribution of Number of Transfer Frequencies

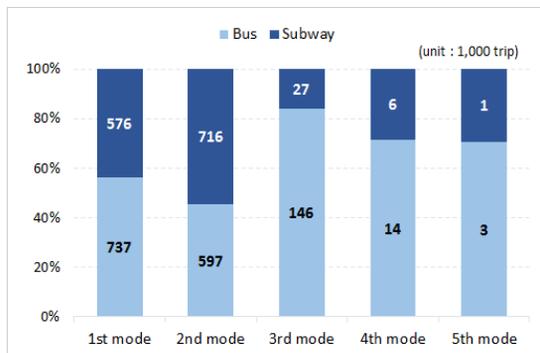
Number of transfers	Unlinked-trip	Linked-trip	Ratio
1	3,537,440	1,768,720	86.4%
2	719,331	239,777	11.7%
3	116,912	29,228	1.4%
4	43,780	8,756	0.4%
Total	4,417,463	2,046,481	100.0%

3. 환승횟수별 통행시간 분포

환승통행의 통행시간은 최종도착지에 도착한 시각에서 최초출발한 시각의 차이로 산출하였다. 이 때, 하차시각이 승차시각보다 빠르게 입력되어 오류가 발생한 교통카드자료(51 통행)를 제외하고 통행시간분석을 수행하였다. 환승횟수별 통행시간 분포를 살펴보면, 환승횟수가 많아질수록 통행시간이 길어지는 것을 알 수 있었다. 1~2회 환승한 경우는

〈Table 6〉 Travel Time Distribution by Number of Transfer Frequencies

Category	1 transfer	2 transfers	3 transfers	4 transfers
< 30 min	616,503	27,110	581	11
< 60 min	941,657	132,876	8,776	657
< 90 min	193,953	64,808	11,135	2,324
< 120 min	14,228	11,766	5,668	2,692
< 150 min	1,620	2,305	2,077	1,654
< 180 min	333	515	611	802
≥ 180 min	387	386	379	616
Total	1,768,681	239,766	29,227	8,756



〈Fig. 1〉 Sequential Modal Distribution of Transfer Trips

50%이상의 이용자가 30~60분을 통행하였으며, 3~4회 환승한 이용자는 각각 60~90분, 90~120분 사이에 많이 분포하는 것으로 나타났다. 환승횟수별 통행시간 분포를 통해 환승횟수가 많아지면 장거리통행이 많이 발생하는 일반적인 사실을 수치로 확인하였다.

4. 환승유형별 통행 분포

환승유형은 교통수단을 통해 분류하였다. 교통카드 자료에 등장하는 교통수단은 지하철과 버스가 있다. 환승유형은 환승횟수와 교통수단 이용순서에 상관없이 사용여부뿐만 버스-버스간 환승, 버스-지하철간 환승으로 분류하였다.

일반적으로 지하철 노선간 환승의 경우는 교통카드 자료에 하나의 수단통행으로 입력된다. 다만 환승게이트가 존재하는 역이 있어 지하철-지하철간 환승이 교통카드 자료에 일부 존재하나 이는 제외하고 분석하였다.

환승유형별 통행 분포로는 버스-버스간 환승이 35.3%인 72만 통행, 버스-지하철간 환승이 64.7%인 131만 통행으로 분석되었다. 다른 지역에 비하여 지하철 노선망이 많이 구축되어 있는 특성으로 인해 버스-지하철간 환승이 많이 집계된 것으로 판단된다.

추가적으로 버스-지하철간 환승유형을 이용순서별로 세밀하게 분석하였다. 대부분의 버스-지하철간 환승의 경우, 지하철이용은 1~2번째 통행에서 각각 43.8%, 54.6%로 많이 이용하는 것으로 나타났다. 3~5번째 수단으로는 70%이상의 이용자가 버스를 이용하는 것으로 분석되었다.

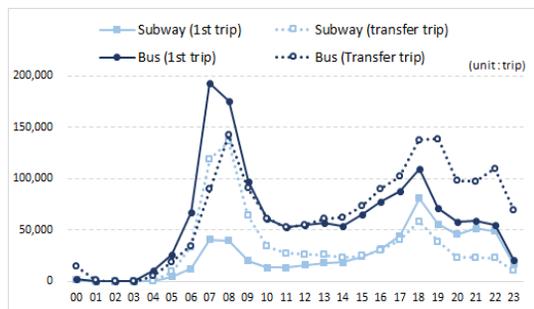
〈Table 7〉 Trip Distribution by Transfer Type

Type of transfer	Linked-trip	Ratio
Bus-Bus	715,246	35.3%
Bus-Subway	1,313,215	64.7%
Total	2,028,461	100.0%

Note: Subway-subway transfer data are excluded since they do not have any transfer record.

5. 통행횟수 및 시간대별 통행 분포

환승통행의 시간대별 분포를 분석해보면 대중교통 이용의 전형적인 패턴인 오전첨두와 오후첨두가 뚜렷하게 형성되는 것으로 나타났다[16]. 오전첨두시인 7~9시 통행 분포의 경우, 최초 승차 시에는 버스 이용수요에 비해 지하철 이용이 매우 낮은 반면 환승승차 시에는 약 14만 통행으로 버스와 지하철 이용이 비슷하게 나타났다. 이는 오전첨두에 지하철을 이용하기 위한 접근수단으로 버스를 이용하는 수요가 많이 발생하는 것을 의미한다. 오후첨두시인 18~20시의 통행 분포를 살펴보면, 오전첨두시와는 반대로 최초승차의 버스와 지하철 이용수요가 비슷하며, 환승승차에서는 지하철에 비해 버스의 이용수요가 많은 것으로 나타났다. 이를 통해 오전통행의 출발지인 거주지에서는 지하철을 이용하기 위해 버스로 접근해야하는 경우가 많으며, 오후출발지인 직장 및 상업지역은 첫 번째 수단으로 지하철을 이용할 수 있는 지하철 역세권 지역에 많이 분포하고 있는 것으로 판단되었다.



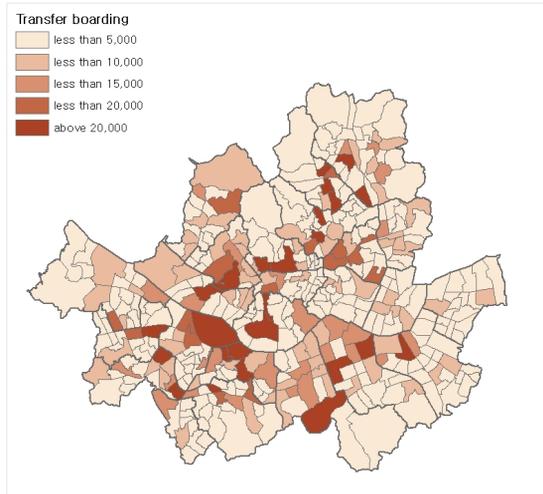
〈Fig. 2〉 Temporal Distribution of the 1st trip and Transfer Trips by Mode

6. 환승통행의 승하차 분포

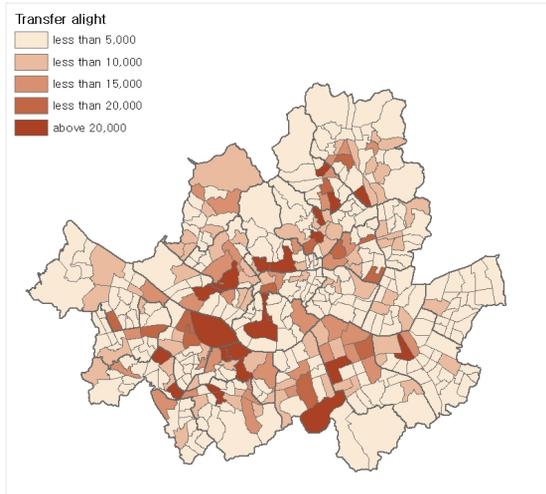
환승통행의 승하차 분포는 목적통행의 최초출발지와 최종도착지를 제외한 각 수단통행의 출발·도착 행정동의 수단통행수를 집계하여 산출하였다. 환승승하차 분포를 살펴보면 서울시 외곽에 비해 도심이나 부도심 등의 중심지역에서 환승통행이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 주로 영등포구 역의

도동, 구로구 구로동 및 신도림동, 종로구 1·2·3·4가
동, 용산구 남영동 등 지하철 역 및 업무시설이 다

수 위치하는 곳에서 환승통행의 승하차가 많은 것
을 확인하였다.



〈Fig. 4〉 Geographical Distribution of Transfer Trips (Boarding Trips)



〈Fig. 5〉 Geographical Distribution of Transfer Trips (Alighting Trips)

〈Table 8〉 Top 20 OD Pairs of Single and Transfer Trips

Rank	First origin — Last destination	Single trips (A)	First origin — Last destination	Transfer trips (B)	First origin — Last destination	Ratio (B/A)
1	Gangnam-gu — Gangnam-gu	152,227	Gangnam-gu — Gangnam-gu	22,184	Geumcheon-gu — Seodaemun-gu	223%
2	Gangseo-gu — Gangseo-gu	96,297	Gwanak-gu — Gangnam-gu	17,680	Gangbuk-gu — Eunpyeong-gu	218%
3	Seocho-gu — Seocho-gu	92,435	Gwanak-gu — Gwanak-gu	17,578	Seodaemun-gu — Geumcheon-gu	216%
4	Songpa-gu — Songpa-gu	91,670	Songpa-gu — Gangnam-gu	17,095	Geumcheon-gu — Gangnam-gu	215%
5	Gwanak-gu — Gwanak-gu	88,409	Seongbuk-gu — Seongbuk-gu	16,308	Gwanak-gu — Seongbuk-gu	182%
6	Nowon-gu — Nowon-gu	80,228	Gangnam-gu — Gwanak-gu	15,555	Gangnam-gu — Geumcheon-gu	180%
7	Yeongdeungpo-gu — Yeongdeungpo-gu	74,312	Gangseo-gu — Gangseo-gu	15,472	Geumcheon-gu — Songpa-gu	175%
8	Eunpyeong-gu — Eunpyeong-gu	69,745	Gangnam-gu — Songpa-gu	15,300	Dobong-gu — Seodaemun-gu	168%
9	Mapo-gu — Mapo-gu	68,373	Seocho-gu — Gangnam-gu	14,826	Gwanak-gu — Dongdaemun-gu	168%
10	Dongjak-gu — Dongjak-gu	66,380	Gangnam-gu — Seocho-gu	14,604	Seongbuk-gu — Gwanak-gu	166%
11	Gangdong-gu — Gangdong-gu	61,427	Seocho-gu — Seocho-gu	14,600	Eunpyeong-gu — Gangbuk-gu	163%
12	Guro-gu — Guro-gu	61,296	Dongjak-gu — Dongjak-gu	13,434	Yangcheon-gu — Seongbuk-gu	160%
13	Seocho-gu — Gangnam-gu	61,104	Seodaemun-gu — Seodaemun-gu	12,975	Dobong-gu — Gangseo-gu	160%
14	Seongbuk-gu — Seongbuk-gu	60,786	Gwanak-gu — Seocho-gu	12,303	Jungnang-gu — Gangbuk-gu	156%
15	Gangnam-gu — Seocho-gu	58,806	Songpa-gu — Songpa-gu	12,056	Seodaemun-gu — Dobong-gu	156%
16	Jongno-gu — Jongno-gu	57,597	Eunpyeong-gu — Eunpyeong-gu	11,925	Gwanak-gu — Nowon-gu	154%
17	Gangbuk-gu — Gangbuk-gu	53,705	Guro-gu — Guro-gu	11,501	Yangcheon-gu — Dobong-gu	153%
18	Dongdaemun-gu — Dongdaemun-gu	50,895	Gangnam-gu — Dongjak-gu	10,926	Nowon-gu — Gwanak-gu	153%
19	Seodaemun-gu — Seodaemun-gu	50,068	Nowon-gu — Nowon-gu	10,853	Dobong-gu — Gwanak-gu	151%
20	Gangnam-gu — Songpa-gu	46,960	Gangbuk-gu — Gangbuk-gu	10,705	Geumcheon-gu — Seocho-gu	150%

<Table 9> Regression Model Estimation for Transfer Trips

Variables	Non-standardized Coefficients	Standardized Coefficients	t-value	VIF
Ratio of business facilities (%)	10.056**	0.111	2.703	1.078
Ratio of green area (%)	-60.002**	-0.217	-3.790	2.097
Floor area of department stores (m ²)	0.0168**	0.105	2.371	1.245
Entropy index of land use	47.324**	0.156	2.962	1.780
Population density (person/ha)	-2.882*	-0.070	-1.386	1.648
Ratio of people aged 10-19 (%)	-237.814**	-0.094	-2.281	1.092
No. of registered cars	0.318**	0.127	2.636	1.487
No. of employees (accommodation/food)	2.532**	0.488	5.743	4.610
No. of employees (finance/insurance)	-0.269**	-0.100	-1.786	2.007
No. of employees (professional service)	-0.364**	-0.142	-2.160	2.777
No. of employees (health/welfare)	-0.627**	-0.077	-1.649	1.377
No. of employees (art/sport/leisure)	4.473**	0.134	2.287	2.201
sample size (n)	423			
R ²	0.358			
F-value(P-value)	19.079(0.000)			

Notes: ** P-value < 0.1, * 0.2 < P-value < 0.1

7. 최초출발-최종도착지별 환승통행 분포

환승통행 분포를 분석하기 위하여 최초출발지-최종도착지의 목적통행 OD를 구축하였다. 서울시 25개 구별 OD를 구축한 결과, 환승통행량으로는 강남구, 관악구, 송파구, 서초구를 통행하는 이용수요가 가장 많은 것으로 나타났다. 성북구 및 강서구 내부통행도 다른 지역에 비하여 많은 것이 확인되었다. 이는 서울내부통행 중 환승을 하지 않는 단독통행의 구별 OD에서도 비슷한 분포패턴을 보이므로, 환승통행만의 특성을 나타낸다고 판단하기 어렵다.

환승통행으로 연계되는 지역을 찾아보기 위해 단독통행 대비 환승통행비율을 산출한 결과, 환승통행량의 순위와는 달리 금천구-서대문구의 비율이 223%로 1순위를 차지하였다. 단독통행 대비 환승통행 비율이 높게 나타난 지역을 분석해본 결과, 금천구에서 서대문구, 강남구, 송파구로의 직결노선이 부족한 것으로 판단되었다. 이외에도 도봉구-강서구, 성북구-관악구 등 지리적인 거리가 먼 경우 환승을 이용한 수요가 많은 것으로 분석되었다.

V. 회귀모형구축

본 장에서는 환승통행량과 토지이용의 연관성을 분석하기 위해 행정동별 환승통행량을 종속변수로 설정하였다. 또한 토지이용 관련 변수를 주요 독립변수로 설정하고, 이 밖에 사회경제지표인 인구, 자동차대수, 종사자수 등의 변수를 포함하여 회귀모형을 구축하였다. 이 회귀모형을 구축하기 위해 먼저 환승통행량과 각 토지이용 변수들 간의 상관분석을 실시하였으며 상관계수가 높은 변수들을 우선적으로 모형에 포함시켜 분석하였다. 또한 회귀모형의 독립변수들 간의 다중공선성이 높은 변수들은 모형구축시 제외하였으며, 통계적으로 유의한 변수들로 최종 모형을 구축하였다.

최종 회귀모형의 결과는 <Table 9>에 나타나 있으며 모형의 설명력을 나타내는 결정계수(R²)는 0.358로 상대적으로 좋은 편이라 할 수 있다.

각각의 변수들을 살펴보면, 업무시설면적비율 및 백화점시설의 면적비가 높거나 복합토지이용도가 높은 지역일수록 환승통행량이 많아지는 것으로 분

석되었다. 이는 업무나 상업 밀집지역일수록 주요 환승거점에 적합함을 시사하고 있다. 반면에 녹지 지역비율이 높을수록 환승통행량은 적은 것으로 나타나 앞의 사실을 입증하고 있다.

또한 인구밀도는 환승통행량에 음의 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 이는 주거밀집지역이 주로 가정기반통행의 출발 또는 도착지에 해당되므로 환승통행의 발생이 상대적으로 적은 것으로 판단된다. 연령별 인구의 경우 학령인구에 해당하는 10-19세의 인구비율이 높을수록 환승통행량이 적은 것으로 나타났다. 이는 통학이 주로 단거리 통행의 단일수단의 목적통행 형태로 발생하고 있음을 보여 주고 있다. 한편 자동차등록대수가 많은 지역일수록 환승통행량이 높아지는 것으로 나타났다. 이들 지역은 인구밀도가 낮고 상대적으로 대중교통서비스도 낮아 대중교통통행의 출도착지점 보다는 환승통행지역으로 활용되고 있음을 의미하고 있다.

종사자수의 경우 업종별에 따라 환승통행량에 미치는 영향이 다른 것으로 분석되었다. 숙박·음식 및 예술·운동·여가 관련 분야의 종사자수가 많은 지역일수록 환승통행이 많이 발생하는 것으로 나타난 반면, 금융보험, 전문서비스, 보건복지 분야 관련 종사자수가 많은 지역은 환승통행이 적게 발생하는 것으로 나타났다. 이는 행정서비스시설이 많은 지역보다는 소비 및 여가취미 관련 상업시설이 많은 지역에 환승이 많음을 의미한다.

위의 회귀모형 분석결과를 종합해보면, 토지이용이 환승통행량에 미치는 영향이 통계적으로 유의함을 알 수 있다. 이 중 업무 및 상업시설이 많은 지역일수록 환승통행량이 많고 인구가 밀집한 지역일수록 환승통행량과의 관계는 적은 것으로 분석되었다. 또한 복합토지이용도가 높을수록 환승통행량이 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 소비나 여가관련 시설이 많은 곳일수록 환승통행이 많이 발생하는 것으로 나타났다.

VI. 결론

본 연구는 서울시 버스와 지하철을 포함한 대중

교통 수단의 환승통행에 대한 특성을 분석하고, 토지이용이 환승통행에 어떻게 영향을 미치는지를 분석하였다. 이를 위해 스마트카드사로부터 수집한 2013년 4월 17일의 서울시 교통카드 자료 중 내부통행 자료를 대상으로 하여 환승통행 비율, 환승통행 분포, 환승통행시간 분포, 환승유형, 시간대별 환승통행 분포, 환승통행 승하차 분포, 최초출발-최종도착지별 환승통행 분포 등 환승통행 특성을 분석하였으며, 이어서 환승통행량과 토지이용의 연관성을 분석하기 위해 행정동별 환승통행량을 종속변수로 하고 토지이용 관련 변수, 사회경제지표 등을 독립변수로 하는 다중선형 회귀모형을 구축하였다.

분석결과, 서울시 환승통행은 전체 통행의 26.7%인 204만 통행이었으며, 1회 환승한 경우가 86.4%로 가장 많았다. 1~2회 환승한 경우는 50%이상의 이용자가 30~60분을 통행하였으며, 버스-지하철간 환승이 64.7%로 절반이상을 차지하였다. 환승통행역시 전형적인 오전첨두와 오후첨두가 형성되었고, 주로 지하철 역 및 업무시설이 다수 위치하는 곳에서 환승통행의 승하차가 많이 발생하는 것으로 확인되었다. 구축된 회귀모형의 결정계수(R^2)는 0.358로 비교적 높은 설명력을 보였으며, 토지이용이 환승통행량에 미치는 영향이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 업무시설면적비율 및 백화점시설의 면적비가 높거나 복합토지이용도가 높은 지역일수록 환승통행량이 많아지는 반면, 인구 밀집지역과 환승통행량의 관계는 음의 관계인 것으로 분석되었다. 따라서 토지이용이 업무시설 및 쇼핑시설과 혼재되어 있고 지하철역과의 접근성이 좋은 지점에 복합환승센터를 입지시키는 것이 환승통행의 효율성을 증대시킬 것으로 판단된다.

본 연구는 지하철 통행자료만을 이용하여 서울시 통행행태를 분석했던 선행연구와는 달리 버스와 지하철을 함께 고려하여 환승통행 특성을 분석하였다는 데에 그 의의가 있다. 본 연구의 결과는 대중교통의 이용을 활성화하거나 환승통행의 효율성을 도모하기 위한 각종 정책 수립시 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 단, 자료수집의 제한으로 인천시 및 경기도 기점의 서울시 대중교통 이용 자료가

분석되지 못한 점과 하루치 자료만을 분석하였다는 점은 본 연구의 한계점이라 하겠다. 향후 보다 광범위한 자료 확보를 통해 신뢰성을 높일 필요가 있으며, 특히 주말/평일에 따라 달라지는 토지이용패턴에 관한 연구, 시간대-목적통행-토지이용 간 연관성 분석 등이 가능할 것이다.

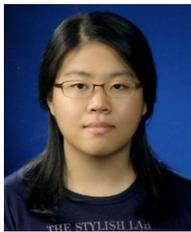
REFERENCES

- [1] Kim S. K. and Sohn K. M.(2008), "Desirable Metropolitan Transport System in Seoul Metropolitan Area: Present Condition of Transportation based on Transport Census Results," *SDI Policy Report*, vol. 9, pp.1-20.
- [2] Metropolitan Transportation Authority(2013), "2013 Passenger O/D Travel Update Co-project," pp.213-214.
- [3] Gyeonggi Research Institute(2011), "A Study on Analysis Travel Patterns and Applications Using Gyeonggi-Do Traffic Card Data," pp.39-76.
- [4] Song J. Y., Eom J. K., Park J. H., Kim D. S. and Choi M. H.(2011), "Analysis of Passenger Transfer Patterns Based on Transit Smart Card Data in Seoul," *The Korean Society for railway Conferences*, pp.563-570.
- [5] Sohn J. U., Kim J. H. and Kang M. H.(2012), "A Study on the Public Transit System by Using Transportation Card Data in Incheon," *Transportation Technology and Policy*, vol. 9, no. 6, pp.36-42.
- [6] Bin M. Y., Jung E. S., Lee W. D. and Joh C. H.(2012), "Classification and Profiling of Bus Stops in Gyeong-gi Province on the Basis of Trip Chain Variables," *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, vol. 15, no. 2, pp.332-342.
- [7] Lee S. H., Kim J. S., Kim M. S. and Woo Y. H.(2013), "A Study on Users' Travel Behavior Analysis of Transit Transfer," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport System*, vol. 12, no. 1, pp.147-157.
- [8] Kim J. H. and Sohn J. E.(2014), "Estimation of Railway Transfer Demand in Incheon," *The Korean Society for railway Conferences*, pp.541-546.
- [9] Hwang Y. H.(2007), "A Study on Developing Design Criteria of Transfer Facility Center," *Transportation Technology and Policy*, vol. 4, no. 1, pp.115-130.
- [10] Gyeonggi Research Institute(2008), "Analysis on Transfer Trip of GyeongGi-Do," pp.1-93.
- [11] Kim K. H. and Lee S. C.(2012), "A Study on the Development Directions of Transfer Stations with Traffic Cards Data- Focused on Daegu City," *Journal Of The Korean Society Of Civil Engineers*, vol. 32, no. 6D, pp.539-547.
- [12] Gyeonggi Research Institute(2013), "A Study on Development and Application of Rail Station Accessibility Measures Using Traffic Card Data, Gyeonggi Research Institute," pp.1-51.
- [13] Lim S. J., Park J. T. and Kim T. H.(2013), "Comparative Study on the Characteristics of Public Transport Users According to the Types of Transit Station Influence Areas in Seoul's Urban Railway's," *Journal of the Korean Society for Railway*, vol. 16, no. 2, pp.129-137.
- [14] 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.
- [15] Lee J. A., Cho M. S. and Koo J. H.(2013), "Relationship Between Mixed Land-Use Characteristics and Time-Based Patterns of Subway Users: Focused on the Surrounding Areas of Seoul Subway Stations," *Journal of the Korea Planning Association*, vol. 48, no. 4, pp.19-31.
- [16] Kim J. Y., Lim S. Y., Choo S. H., Park I. K.

"Analysis of Transit Ridership Patterns and Influencing Factors in Seoul," *The Korea Spatial Planning Review*, vol. 87, pp.49-65.

[17] Korea Transportation Safety Authority(2014), "2013 Public Transit Operation and Usage Survey," pp.167-186.

저자소개



임수연 (Lim, Su-yeon)

2015년 3월 ~ 현재 : 홍익대학교 도시계획과 석사과정

2015년 2월 : 홍익대학교 도시공학과, 공학사

e-mail : 03lsy03@naver.com



이향숙 (Lee, Hyangsook)

2014년 8월 ~ 현재 : 인천대학교 동북아물류대학원 교수

2011년 10월 ~ 2014년 8월 : 홍익대학교 환경개발연구원 연구교수

2007년 8월 ~ 2011년 10월 : Center for Advanced Infrastructure and Transportation(CAIT)

2007년 8월 ~ 2011년 10월 : Rutgers Univ., civil and environmental department (Ph.D.)

2002년 5월 ~ 2007년 7월 : 한국교통연구원 연구원

e-mail: hslee14@inu.ac.kr



추상호 (Choo, Sangho)

2010년 9월 ~ 현재 : 홍익대학교 건설도시공학부 도시공학전공 교수

2005년 9월 ~ 2010년 8월 : 한국교통연구원 연구위원/국가교통DB센터장

2005년 1월 ~ 2005년 7월 : 미국 University of California, Davis 토목공학과 Post-Doc

2004년 12월 : 미국 University of California, Davis 토목 및 환경공학과(교통공학전공) (Ph.D.)

1995년 8월 : 한양대학교 대학원 도시공학과, 공학석사

1989년 2월 : 한양대학교 공과대학 도시공학과, 공학사

e-mail : shchoo@hongik.ac.kr