

대중교통카드를 이용한 환승요인분석

Factor Analysis for Transit Transfer using Public Traffic Card Data

이 다 은* · 오 주 택**

* 주저자 : 한국교통연구원 미래교통전략연구소 연구원

** 교신저자 : 한국교통대학교 도시·교통공학과 부교수

Da-Eun Lee* · Ju-Taek Oh**

* The Korea Transport Institute

** Korea National University of Transportation

† Corresponding author : Ju-Taek Oh, jutaek@ut.ac.kr

Vol.16 No.1(2017)

February, 2017

pp.50~63

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.1.50>

2017.16.1.50

Received 17 January 2017

Revised 26 January 2017

Accepted 6 February 2017

© 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

환승은 타고 있던 교통수단에서 다른 교통수단으로 갈아타는 것을 의미한다. 환승은 통행의 불편을 겪지만, 효율적인 대중교통을 이용하기 위해서는 어쩔 수 없이 발생할 수밖에 없다. 따라서 환승횟수를 최대한 줄이는 것이 대중교통의 활성화를 제공하고, 대중교통의 편의를 제공함에 있어서 아주 중요한 요소라고 할 수 있다. 본 연구에서 수집한 대중교통카드 자료는 평일시 평일 61,986건, 주말 69,100건이며, 수집된 교통자료카드를 이용하여 패턴분석 및 환승영향요인을 분석하였다.

Trip Chain 분석 결과, 주말에 주 통행이 통근 및 통행이 아닌 쇼핑, 여가 등의 목적으로 환승 횟수가 많아지며, 통행거리는 10km이상 증가하며 통행시간도 약 9.9분 늘어나는 것으로 나타났다. 또한 Structural Equation Model의 결과, Factor 1은 총 통행시간, 총 통행거리, Factor 2는 승·하차 인원수, Factor 3는 환승시간, 대기시간, Factor 4는 버스연계노선 수, 운행대수로 환승통행량에 영향을 주는 것으로 나타났다.

핵심어 : 대중교통카드, 환승패턴분석, 통행사슬, 환승요인분석, 구조방정식

ABSTRACT

While transit is inconvenient, it is also inevitable for the efficient public transportation. Reducing the number of transfers as much as possible is most important in providing the convenience of public transportation and facilitating the public transportation. As for the public transportation card data, 61,986 items on weekdays and 69,100 items on weekends were collected. Pattern analysis and traffic influence factors were analyzed using traffic data card.

Trip chain results revealed that people have more transit transfers for shopping and leisure than commuting purposes on weekends and that commuting distance and time increase by 10 km and 9.9 minutes, respectively. Besides, results of the structural equation model showed that factor 1(total travel time, total travel distance), factor 2(number of people getting on and off), factor 3(transit time), and factor 4(number of bus connections, number of operations) were found to have significant effects on the number of transfers.

Key words : Public Traffic Card Data, Transfer Pattern Analysis, Trip Chain, Transfer Factor Analysis, Structural Equation Model

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

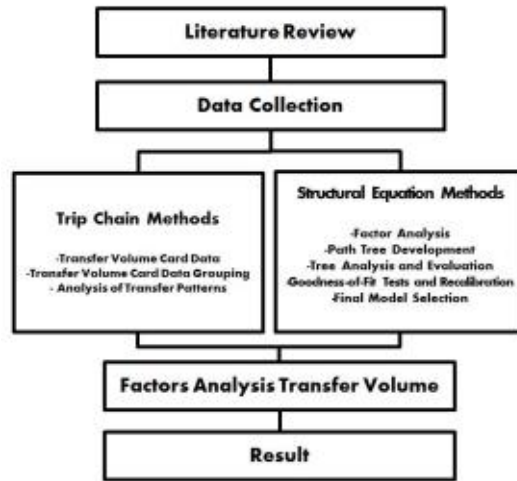
대도시로 갈수록 교통 혼잡으로 인해 도시교통문제와 환경문제가 심각해짐으로써 이를 해결하기 위하여 다양한 방안이 요구되며, 이들 중 하나가 대중교통의 활성화이다. 대중교통은 노선 운영에 있어서 많은 제약을 따른다. 하나의 노선이 모든 이용객의 통행 기종점을 한 번에 연결하는 것은 거의 불가능하다. 이를 해결하기 위하여 필연적으로 환승이 발생하게 된다. 대중교통 이용자 중 환승을 이용한 이용자 비율은 전체의 82.5%를 차지한다. 환승을 이용하는 대중 교통이용자 중 버스와 지하철간 환승 비율은 53.2%로 높게 나타나며, 버스 간 환승은 30.2%, 지하철 간 환승은 16.6%로 집계되었다. 평균 환승 이용자의 횟수는 1.46회이며, 환승 시 이동시간은 평균 6.08분, 대기시간은 평균 7.71분으로 환승을 하여 이동하는 시간보다 환승을 하기 위하여 대기하는 시간이 더 많이 걸리는 것으로 나타났다.

환승은 통행의 불편을 겪지만, 효율적인 대중교통을 이용하기 위해서는 어쩔 수 없이 발생할 수밖에 없다. 환승횟수를 최대한 줄이는 것이 대중교통의 활성화를 촉진시키고, 대중교통의 편의를 제공함에 있어서 제일 중요하다. 효율적인 환승체계를 구축하기 위해서는 이용자의 통행 패턴을 분석하는 것이 중요하며, 이용자의 통행 실태를 파악해야한다. 대중교통자료는 대중교통카드를 이용하여 이용자들의 통행 기종점 자료를 편리하게 수집 할 수 있다. 대중교통의 활성화를 위하여 대부분의 지자체에서는 교통카드를 사용 시 무료 환승을 실시하여 이용자들의 환승에 대한 편의를 제공하고 있다. 환승의 불편함을 줄이기 위하여 대중교통의 배차 시간 조정 및 환승 정류장 이동 등 대기시간을 줄이는 방법과 시설적인 측면에서는 대기환승공간을 확대시키는 방법 등 환승의 불편함을 줄이기 위하여 많은 방안들을 제시하고 있다. 환승의 편의에 대한 다양한 방법은 많으나, 불편함을 겪는 이용객이 많으며 환승의 편의를 위해 무엇이 중요한 부분인지에 대하여는 아직 연구가 필요하다. 또한 서울특별시 등 대도시를 중심으로 환승과 관련한 연구가 부분적으로 진행되어왔지만, 중소도시를 중심으로 한 연구들은 아직 미비하다.

따라서 본 연구에서는 대도시와 중소도시의 특징들이 복합되어있는 평택시를 중심으로 교통카드를 이용하여 환승자료를 구축 한 후, 환승통행을 대상으로 이용자들의 환승통행패턴을 Trip Chain을 이용하여 분석하며, Structural Equation을 이용하여 이용자들의 환승통행량에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 본 연구의 결과는 향후 대중교통의 환승편의를 제고하는 방법을 모색하는데 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 평택시 교통카드 중 내부 통행 자료를 대상으로 환승 통행비율, 환승통행 분포, 환승통행시간 분포, 환승 유형 등 환승에 대한 통행패턴을 분석하였으며, 환승 통행에 영향을 미치는 요인에 대한 분석을 하였다. 이를 위해 첫 번째, 환승패턴을 Trip Chain을 이용하여 환승 패턴을 분석하였고, 환승교통량이 있으므로 목적통행보다는 수단통행을 기준으로 파악하였으며, 환승통행량을 종속변수로, 통행요소, 환승요소, 기종점요소, 기타요소를 독립변수로 하는 Structural Equation을 구축하였다.



〈Fig. 1〉 Research Procedure Flow

II. 기존연구고찰

교통카드와 관련한 연구를 보면 Bin et al.(2012)의 연구에서는 교통카드 데이터를 이용하여 대중교통 이용과 관련하여 통행패턴을 분석하였고, 교통정책에 활용 방안을 제시하였다. 교통카드 데이터는 경기도를 대상으로 교통정책 의사결정방법론인 k평균 군집분석과 더불어 CHAID를 이용하여 분석을 실시하였고, 교통카드 데이터를 정책에 활용되기 위하여 개선되어야 할 정책적 함의를 제시하였다..

Lee et al.(2014)의 연구에서는 고령자의 통행사슬의 유형별 특성을 살펴보고, 시·공간적 분포 패턴을 분석한다. 또한 순서형 프로빗모형과 이항로지스틱모형을 구축하여 고령자 통행사슬에 영향을 미치는 다양한 요인을 규명하고, 고령자 통행의 수단선택 특성을 분석하였다. 이를 위해 Lee et al.(2014)의 연구에서는 2006년, 2010년에 실시하는 가구통행실태조사의 고령자 자료를 활용하였고, 분석결과고령자 통행사슬은 전반적으로 증가하는 추세이며, 단순통행사실이 전체의 85% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 모형구축을 통하여 2010년에 통행사슬에 영향을 미치는 개인·가구·통행특성이 과거에 비해 상대적으로 많아지고, 통행시간보다는 통행비용이 고령자가 교통수단을 결정하는 요인임을 규명하였다.

Lee et al.(2012)의 연구에서는 BMS(Bus Management System) 자료 중 차량별 상세통신정보와 교통카드자료를 이용하여 위치정보를 수집하였으며, 이를 기반으로 환승자료를 구축하였다. Lee et al.(2012)은 군집분석을 이용하여 환승량의 규모에 따른 정류장을 분류하였으며, 분류된 환승량 군집을 종속변수로 하는 판별분석을 실시하였다. 그리고 환승량을 추정하기 위하여 환승유형별 군집에 따른 회귀모형을 도출하였다. 도출된 모형의 검정을 통해서 현재 건설 중인 대구광역시 도시철도 3호선에 대한 환승량을 추정하였다.

환승과 관련한 연구를 보면 Hang et al.(2014)의 논문에서는 대구시의 지하철과 환승통행을 대상으로 환승통행특성을 분석하고 또한 다중회귀분석을 통해 버스와 지하철간의 환승통행량에 영향을 미치는 요인분석을 통하여 대중교통환승센터에서 보다 많은 환승통행량이 처리 도리 수 있는 방안에 대해 모색하였다. 그 결과 환승시간은 환승통행량과 반비례하는 반면 연계버스 노선수, 지하철역의 공간적 위치, 버스노선의 연계지수는 비례관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 표준화계수로부터 지하철역과 연계되는 버스노선의 특성을 반

영한 버스노선의 연계지수가 가장 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

Lim et al.(2016)의 연구에서는 서울시의 환승통행 특성을 분석하고 토지이용의 환승통행에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 이를 위하여 2013년 4월 평일 서울시 교통카드자료를 이용하여 환승통행의 일반적인 특성을 분석하고, 토지이용 및 사회경제지표 등을 독립변수로 고려한 환승통행량의 다중선형 회귀분석 모형을 구축하였다. 환승통행특성의 경우는 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, 자료 지하철 역 및 업무시설이 다수 위치하는 곳에 환승통행량이 많이 발생하였다. 회귀모형 구축 결과, 업무시설면적비율 및 백화점시설의 면적비가 높거나 복합토지이용도가 높은 지역일수록 환승통행량이 많아지는 것으로 분석하고 있다.

선행연구 결과, 기존 연구들은 환승과 관련된 논문들은 환승 통행의 특성을 분석한 연구가 주된 연구로써, 환승 통행에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위한 연구도 같이 진행 되어 온 것을 알 수 있었다. 또한 대부분의 지역 교통카드를 이용하여 환승통행패턴, 지점별 및 시간대별, 지역 간 환승통행량을 분석하였다. 그러나 환승통행량 및 통행패턴에 영향을 미치는 요인에 대한 연구가 아직 미흡한 실정인 것을 확인할 수 있었다. 또한, 환승 통행에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위한 기존의 논문들을 살펴보면 대부분이 다중회귀분석을 사용하여 분석하고 있음을 알 수 있다. 다중회귀분석이 종속변수에 영향을 주는 설명변수들을 찾아내는 데는 상당한 장점이 있는 것은 사실이지만, 변수들간의 다중공선성문제로 인해 주요 설명변수들을 제외해야하는 단점을 갖고 있는 것도 부인할 수 없다.

반면 구조방정식은 회귀분석에 비해 보다 복잡한 변수들간의 관계를 규명하는 노력을 하기 때문에 회귀분석 계열 분석에 비해 신경을 써야하는 부분이 많다. 특히 구조방정식에서 나타나는 여러 가지 GFI, AGFI, RMR 등을 충분히 고려하여 설명력이 높은 연구 모형을 제시해야한다는 것이고, 회귀분석은 영향력에 대한 단편적인 명력을 기준으로 하기 때문에 구조방정식에 대한 내용과는 질적으로 차이가 나게 된다.

따라서 본 연구에서는 평일과 주말에 환승패턴 분석을 하기 위하여 Trip Chain과 많은 독립변수들의 설명력을 찾고자 할 경우에는 여러 변수를 하나의 요인으로 포괄적으로 묶어 많은 변수로 환승통행량을 설명할 수 있는 구조방정식으로 분석하였다.

Ⅲ. 연구의 방법론


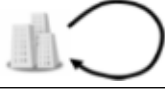
1. Trip Chain

통행사슬은 최초 출발지(집)에서 출발하여 다시 그 출발지(집)으로 돌아오는 동안 하나 이상의 목적을 가지고 발생하는 일련의 목적통행으로 정의된다(Strathman · Dueker, 1995). 통행사슬은 일반적으로 하나 이상의 목적이 서로 연계된(Chained) 통행형태를 의미하지만, 구체적인 정의는 연구자별로 약간의 차이를 보인다.

기존 연구들을 보면, 통행사슬은 크게 2가지의 형태로 정의 될 수 있다. 첫 번째는 최초 출발지에서 출발하여 다시 그 출발지로 되돌아오는 동안 발생한 일련의 목적통행을 의미하고, 두 번째는 최초 출발지에서 최종 목적지까지 이동하는 동안 발생한 일련의 목적통행들을 의미한다.

McGuckin and Nakamoto(2004)연구에서는 두 번째 정의에 체류시간 개념을 도입하여 30분 이하의 한 지점에서 머무른 경우는 해당 통행사슬 내 통행으로 포함시켰으며, 이를 초과한 경우는 다른 통행 사슬로 구분한다. 통행 사슬의 유형은 기존의 단일통행(Trip) 중심으로 연구에서는 통행 목적을 중심으로 통행특성을 비교 및 분석하였으며, 통행사슬 연구에서는 주로 통행사슬의 유형에 따른 통행특성을 비교 및 분석한다.

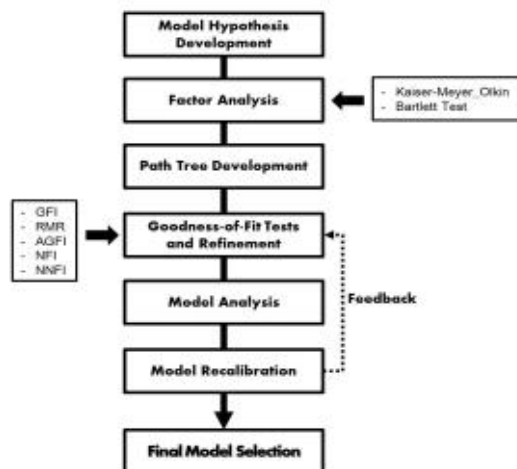
〈Table 1〉 Trip Chain Type

Division	Expression
Home-based trip chain	
rNon-home-based trip chain	

2. Structural Equation

구조방정식 모델은 사회학과 심리학에서 개발된 측정 이론을 토대로 확인적 요인분석과 계량경제학에서 개발된 연립방정식 모델에 토대를 둔 다중회귀분석 및 경로분석 등이 결합된 성격을 갖는 방법이라고 할 수 있다. 구조방정식 모델에서는 관측변수와 잠재변수를 구분하여 분석하는데, 이는 관측변수는 측정오차에 의해 오염되어 있지만 잠재변수는 측정오차에 의해 오염되어 있지 않은 순수한 성격을 가지고 있어 이들 간의 관계를 분석하는 것이 올바른 계수를 추정할 수 있기 때문이다(Bea, 2005). 구조방정식 모델은 연구자가 설정한 인과관계에 대한 모델을 검증하기에 가장 적합한 분석기법으로 기존의 회귀분석, 분산분석 또는 경로분석과는 달리 모델 내에 내재되어 있는 측정오차를 알 수 있으며, 이론변수와 측정변수 사이의 관계를 검증 가능한 것이 가장 큰 장점이라고 할 수 있다(Jo, 1996).

구조 방정식의 구성요소는 잠재변수, 관측변수로 나뉘 수 있다. 잠재 변수는 추상적이고 직접적으로 관찰할 수 없는 이론적인 개념으로 가설적 개념이라면, 잠재 변수는 외생잠재변수와 내생잠재변수로 구분되어진다. 관측변수는 잠재변수를 측정하기 위해 사용된 변수로서 관측변수 역시 외생관측변수와 내생관측변수로 구분되어진다. 외생관측변수는 외생잠재변수를 측정하기 위해 사용된 관측변수이고, 내생관측변수는 내생잠재변수를 측정하기 위해 사용된 관측변수이다. 구조방정식에서는 관측변수가 잠재변수를 완전하게 기술하지 못하는 정도를 오차라고 부른다.



〈Fig. 2〉 Structural equation modeling procedure flow

구조방정식을 추정하는 프로그램은 LISREL, AMOS, EQS 등 여러가지가 있으나, 본 연구에서는 AMOS를 이용하여 모형을 추정하였다.

IV. 분석 및 결과

1. 자료수집

수집한 대중교통카드 자료는 평택시의 2015년 평일/주말 자료로 버스와 지하철(도시철도)을 이용한 평일 61,986건, 주말 69,100건 자료를 수집하였고 교통카드의 주요 내용은 <Table 2>에 정리되어 있다. 본 연구에서는 교통자료카드를 이용하여 승·하차와 환승정보 등 대중교통의 필요한 자료를 이용하여 통행 패턴분석 및 통행영향요인을 분석하였다.

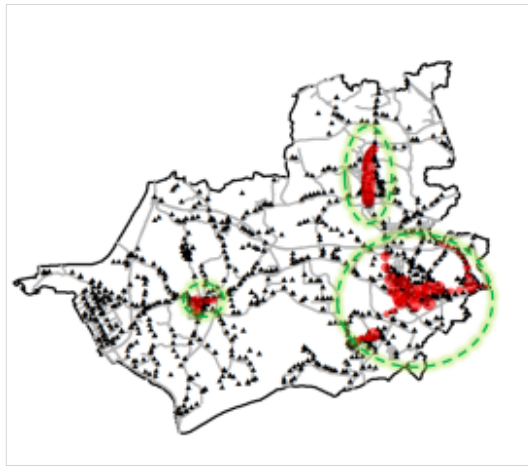
<Table 2> Transit Frequency

Division	Contents
Card Number	Card Number(ID)
Transfer Number	Transit number for public transportation
Traffic card user classification	user classification
Transportation code	Transit code
Route ID	Route information
Vehicle ID	Vehicle Information
Date of Get on	Transit time of public transportation
Date of Get off	Date and time of getting off public transportation
Travel distance	Total distance for public transportation
Time	Total time for public transportation
Date of First Get on	Date of First Get on
Date of First Get off	Date of First Get off
Get on station ID	Get on station ID
Get off station ID	Get off station ID
Cost	Total cost for public transportation

카드번호는 개인의 고유 ID를 나타내고, 환승횟수는 최초출발지에서 최종목적지까지 도달할 때 대중교통을 이용한 횟수를 나타낸다. 교통카드사용자구분은 교통카드를 사용한 사용자를 구분하는 것으로, 교통수단 코드는 교통수단뿐만 아니라 평택시에서 운행하고 있는 버스의 종류, 즉 급행, 일반, 간선 등의 버스노선을 구분하는 정보를 나타낸 것이다, 버스 ID는 대중교통을 이용한 전 노선의 ID를 나타냈으며 이것은 즉 버스 노선번호를 의미하여, 차량 ID 역시 전 차량의 ID를 나타낸 것으로 운행한 차량의 번호를 의미한다. 승차 일시, 하차일시는 년, 월, 일, 시간 순으로 표시하며, 총 통행거리, 소요시간, 이용금액은 대중교통을 이용한 총 통행한 거리, 소요된 시간, 이용한 금액을 나타내는 것으로 이것은 후에 환승통행영향요인의 분석할 때 이용하는 자료이다.

2. 대중교통 환승 통행패턴분석

본 연구에서 분석에 활용한 데이터는 평택시 2015년 4월 데이터로 교통카드를 이용한 승객에 대한 전일 데이터이다. 데이터를 사용자 구분에 따라 분류하고, 수단은 버스 및 지하철의 통행을 구분하였고, 또한, 데이터의 정확성을 위하여 승하차 정류장의 ID와 행정동 단위가 일치되는 자료만 분석하여 사용하였고, 하차 태그가 이루어지지 않은 자료나 데이터의 정확도가 떨어지는 통행 자료는 제외하여 분석하였다. 환승이 많이 일어나는 지점은 <Fig. 3>에서 알 수 있으며, 평택시의 환승이 많이 일어나는 지점은 평택시 시외버스 정류장 일일 환승 1125번/일로 평택시에서 가장 많이 환승이 일어나며, 그 다음으로는 평택전철역, AKPLAZA, 평택 경찰서사거리, 통복시장 순으로 환승이 많이 일어나는 것으로 분석되었다.



<Fig. 3> Transfer Locations in Pyeongtaek-si

1) 평일 통행 패턴 분석

평일 환승 데이터를 분석한 결과 환승 수는 5회 이하의 통행은 버스, 버스-지하철, 지하철, 지하철-버스, 버스-지하철-버스 등 32개의 환승유형으로 분석되었고, 환승을 하지 않은 경우가 58.8%로 1회 이상 환승한 경우가 전체의 41.2%인 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 대중교통과 지역 간의 연결성을 높이고자 평균통행거리와 평균통행비용, 평균탑승시간을 분석하였다. 분석 결과 평균 통행거리는 2회 환승한 경우가 76km, 평균통행비용은 3,385원, 평균 탑승시간은 70.6분으로 분석되었다.

〈Table 3〉 Weekday pattern analysis

(B=Bus, S=Subway)

pattern	Number of passengers	Distance	Cost	Time
B	36,491	9,003	1,937	15.49
B-B	16,291	18,493	2,048	30.01
B-B-B	392	29,602	2,288	44.61
B-B-B-B	54	30,681	2,429	51.57
B-B-B-B-B	9	52,626	2,892	82.00
B-S	3,519	52,641	2,630	39.89
S-B	3,565	55,863	2,692	40.56
B-B-S	252	34,971	3,269	21.98
B-S-B	988	60,817	2,775	55.9
B-S-S	53	88,218	3,290	47.17
S-B-B	243	69,709	3,165	60.06
S-B-S	23	83,493	3,606	64.74
B-B-B-S	19	65,966	3,383	79.84
B-B-S-B	5	83,512	3,670	89.4
B-S-B-B	3	72,356	3,283	76
S-B-B-B	16	65,553	3,084	64.88
S-B-B-S	18	106,571	4,017	80.17
B-B-B-B-S	7	96,130	3,841	92.67
B-B-B-S-B	1	86,740	3,900	73
B-B-B-SS	1	21,908	2,050	55
B-B-S-B-B	2	138,482	5,000	92
B-B-S-S-S	1	100,940	4,300	15
B-S-B-B-B	8	84,475	3,279	84.14
B-S-B-BS	3	88,399	3,233	83.67
B-S-B-S-B	1	71,170	2,550	133
S-B-B-B-B	3	83,873	3,783	52.67
S-B-B-B-S	4	140,964	4,450	118.25
S-B-B-S-B	4	148,773	5,600	78.5
S-B-B-S-S	1	61,950	3,100	121
S-B-S-B-B	2	64,940	3,100	92.5
S-B-B-B-S	4	140,964	4,450	118.25
S-B-S-S-B	3	83,873	3,783	52.67

2) 주말 통행 패턴 분석

주말 환승 데이터를 분석한 결과 환승 수는 5회 이하의 통행은 32개의 환승유형으로 분석되었고, 환승을 하지 않고 목적지에 도달했을 때 전체의 50.97%로 환승을 1회 이상 환승한 경우가 전체의 49.03%인 것으로 분석되었다. 대중교통과 지역 간의 연결성을 높이고자 평균통행거리와 평균통행비용, 평균탑승시간을 분석하였다. 분석 결과 평균 통행거리는 2회 환승한 경우가 80.6km, 평균통행비용은 3,464원, 평균 탑승시간은 79.9분으로 분석되었다.

〈Table 4〉 Weekend pattern analysis

(B=Bus, S=Subway)

pattern	Number of passengers	Distance	Cost	Time
B	36,491	9,003	1,937	15.49
B-B	16,291	18,493	2,048	30.01
B-B-B	392	29,602	2,288	44.61
B-B-B-B	54	30,681	2,429	51.57
B-B-B-B-B	9	52,626	2,892	82.00
B-S	3,519	52,641	2,630	39.89
S-B	3,565	55,863	2,692	40.56
B-B-S	252	34,971	3,269	21.98
B-S-B	988	60,817	2,775	55.9
B-S-S	53	88,218	3,290	47.17
S-B-B	243	69,709	3,165	60.06
S-B-S	23	83,493	3,606	64.74
B-B-B-S	19	65,966	3,383	79.84
B-B-S-B	5	83,512	3,670	89.4
B-S-B-B	3	72,356	3,283	76
S-B-B-B	16	65,553	3,084	64.88
S-B-B-S	18	106,571	4,017	80.17
B-B-B-B-S	7	96,130	3,841	92.67
B-B-B-S-B	1	86,740	3,900	73
B-B-B-SS	1	21,908	2,050	55
B-B-S-B-B	2	138,482	5,000	92
B-B-S-S-S	1	100,940	4,300	15
B-S-B-B-B	8	84,475	3,279	84.14
B-S-B-BS	3	88,399	3,233	83.67
B-S-B-S-B	1	71,170	2,550	133
S-B-B-B-B	3	83,873	3,783	52.67
S-B-B-B-S	4	140,964	4,450	118.25
S-B-B-S-B	4	148,773	5,600	78.5
S-B-B-S-S	1	61,950	3,100	121
S-B-S-B-B	2	64,940	3,100	92.5
S-B-B-B-S	4	140,964	4,450	118.25
S-B-S-S-B	3	83,873	3,783	52.67

3) 통행패턴 분석 결과

평일기준 평균 통행거리는 2회 환승한 경우가 통행거리 76km. 평균통행비용은 3,385원, 평균 탑승시간은 70.6분으로 분석되었다. 결과가 의미하는 것은 평균 통행비율이 단일 통행 58.8%, 환승횟수가 2회 이상 41.2%로 나타는 것은 대중교통이용객의 최종목적지로의 버스노선이 많이 부족한 것으로 나타난다. 이용자가 최종 목적지로 이동하는 노선이 부족하기에 대중교통을 이용하는 이용객 보다 개인 교통수단을 이용하여 최종목적지로 이동하는 통행자가 더 많을 것으로 판단된다. 평택시의 대중교통 활성화 및 대중교통의 이용자

만족도를 높이기 위하여 이용자의 통행 패턴을 이용하여 지역과 연결성을 중심으로 대중교통이용객이 최종 목적지까지 이동이 편리하여 대중교통을 많이 이용할 수 있도록 버스 노선 개편이 시급한 것으로 판단된다. 또한 주말기준 평일 대비 환승횟수 및 평균 통행거리, 통행비용, 탑승시간을 비교하면 환승횟수는 약 주말에 9%이상 증가하는 것으로 나타났다. 주말에 주 통행이 통근 및 통행이 아닌 쇼핑, 여가 등의 목적으로 환승 횟수가 많아지며, 통행거리는 10km이상 증가하며 통행시간도 약 9.9분 늘어나는 것으로 나타났다. 이는 주말에 환승이 더 많이 이루어지는 것은 쇼핑, 여가 등의 목적으로 장거리 통행이 많이 발생하며, 그만큼 통행시간도 길어지는 것으로 분석되어 진다. 따라서 보다 효율적인 대중교통을 요도하기 위해서는 평일/주말 환승 통행패턴분석을 기반으로 이에 대한 환승 효율화 방안을 마련해야 할 것이다.

3. 대중교통 환승 통행요인분석

본 연구에 사용한 데이터는 데이터 filtering을 통하여 형성된 데이터로, 버스정류장 ID와 행정단위의 매칭 결과, 승·하차태그여부, 승·하차시간오류, 승·하차 ID 등을 필터링하여 자료의 정확도가 떨어진다는 판단 하에 자료의 필터링을 통하여 자료를 구축하였고, 분석에 필요한 설명변수 및 종속변수는 다음과 같다. 본 연구에서 대중교통카드를 이용하여 버스-지하철 간의 환승 통행에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위하여 환승통행을 종속변수로 설정하고, 이 종속변수에 영향을 미칠 것으로 판단되는 설명변수들을 설정하여 구조방정식(Structural Equation)모형을 구축하였다. 채택된 설명변수는 총 이용금액, 환승횟수, 최초 승·하차 행정동, 총 통행시간, 대기시간, 정류장별 승·하차 인원, 대중교통운영과 관련하여 지하철역과 연계되는 버스노선 수, 지하철역의 공간적 위치 등을 변수로 사용하였다.

1) 환승통행 요인 분석

연구에서는 데이터 수집을 통하여 입력된 원 데이터자료를 분석하기 위하여 SPSS 20.0을 이용하였다. 데이터의 자료 검정을 위하여 KMO and Bartlett's의 검정한 결과는 다음과 같다.

<Table 5> KMO and Bartlett's Test

Test Method		Result
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.603
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	1055.9
	df	61,982
	Sig.	0.0000

KMO검정은 MSA 값은 0.603으로 분석되어 $MSA > 0.05$ 를 만족하므로 요인분석을 계속 진행 할 수 있다고 판단하였고, Bartlett 검정 또한 p값이 0.01보다 작기 때문에 통계적으로 유의하다고 판단하였다. 따라서 본 연구는 KMO MAS의 값과 Bartlett's 의 검정을 통하여 검정 결과가 모두 만족함을 확인할 수 있었고, 모형 및 연구가설을 위하여 회전요인부하량(Rotation Component Matrix)분석을 시행하였다. 분석결과는 총 통행거리, 총 통행시간, 평균 승차인원, 평균하차인원, 환승시간, 대기시간, 노선 수, 운행대수 총 8개의 변수가 채택되었다.

요인 분석결과는 요인 1에는 총 통행거리, 총 통행시간이, 요인 2에는 평균 정류장별 승차인원, 하차인원이, 요인 3에는 환승시간, 대기시간이, 그리고 요인 4에는 연계 버스 노선 수, 버스 운행 대수가 설정됨을 확

인할 수 있었고, 그 결과는 <Table 6>를 통해 확인할 수 있다.

<Table 6> Rotation Component Matrix

	component			
	1	2	3	4
Total distance	0.969	0.235	0.123	0.236
Total Travel Time	0.889	0.102	0.142	0.563
Average number of passengers	0.003	0.875	0.232	0.296
Average number of people getting off	0.013	0.898	0.112	0.235
Transit time	0.212	0.142	0.756	0.369
Waiting time	0.178	0.136	0.779	0.050
Number of bus routes	0.365	0.126	0.145	0.695
Number of vehicles	0.175	0.136	0.212	0.720

회전 후 요인 부하량(Rotation Component Matrix) 분석결과, 환승통행량에 영향을 미칠 것으로 판단되는 연구모형을 가설을 설정하였으며, 여러 수정을 통해 도출한 최종모형의 결과 값은 <Fig. 4>와 <Table 8>에서 확인할 수 있다. 최종모형의 분석결과 모델의 적합성은 전반적으로 수용 가능한 자료 적합도를 보여 주고 있다.

<Table 7>은 구조방정식 최종 모델 적합도 수치를 나타낸 표이다. 이에 대한 설명을 보다 구체적으로 하면 Chi-square = 0.530, RMR 0.038, GFI=0.956, AGFI=0.963, CFI=0.999, NFI=0.986, IFI=0.896, RMSEA=0.004으로 분석되었다. IFI가 부적합으로 적합하게 판정이 낮지만 적합도 기준 값 0.9에 약간 미치지 못하였지만 그 차이가 아주 미미하고 표본의 특성에 기인하여 비일관성으로 인하여 영향을 받을 수 있다고 판단하였기에 모델 적합도는 수용 가능한 수준으로 평가할 수 있다.

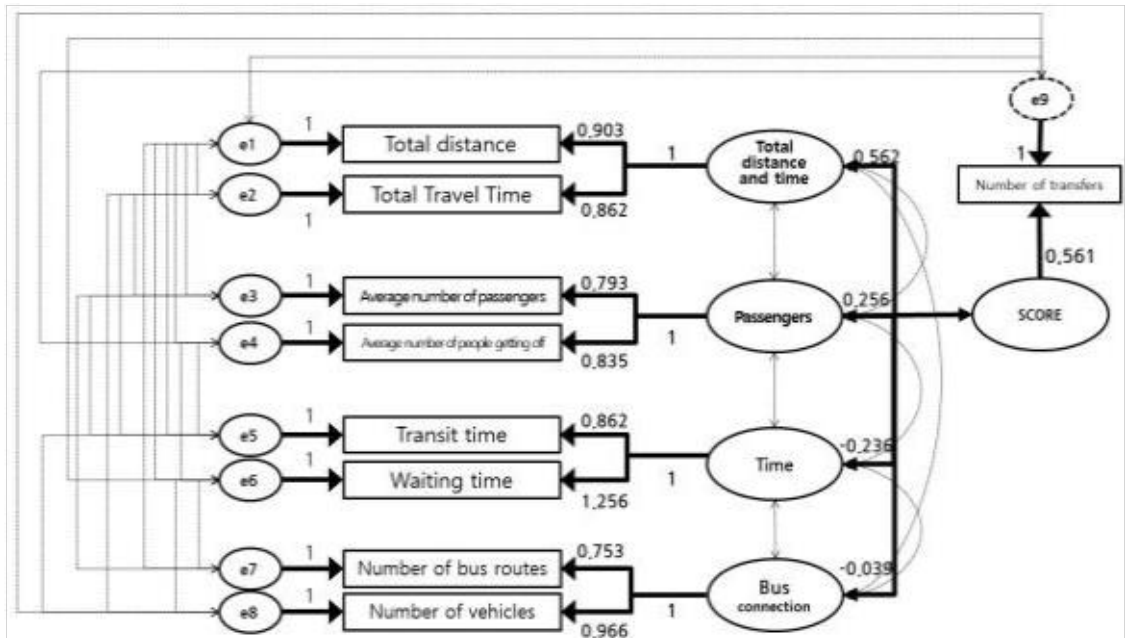
<Table 7> Goodness-of-Fits for the Final Model

Fit Measures	Titration Model	Basic Model	Final Model
Chi-square	p>0.05	0.042	0.530
RMR	below 0.05	0.086	0.038
GFI	above 0.9	0.863	0.956
AGFI	above 0.9	0.901	0.963
CFI	above 0.9	0.890	0.999
NFI	above 0.9	0.845	0.986
IFI	above 0.9	0.756	0.896
RMSEA	below 0.1	0.360	0.004

최종 모형에 대한 Standardized estimates 분석 결과를 요약하여 잠재요인을 수식화 하여 <Table 8>과 같이 나타낼 수 있다.

<Table 8> Weights for the Latent Factors

	Formula
Score	$0.562 \times \text{Factor 1} + 0.256 \times \text{Factor 2} + (-0.236) \times \text{Factor 3} + (-0.039) \times \text{Factor 4}$
Factor1(Total distance and time)	$0.903 \times \text{Total distance} + 0.862 \times \text{Total Travel Time}$
Factor2 (Passengers)	$0.793 \times \text{Average number of passengers} + 0.835 \times \text{Average number of people getting off}$
Factor3 (Time)	$0.862 \times \text{Transit time} + 1.256 \times \text{Waiting time}$
Factor4 (Bus Connection)	$0.753 \times \text{Number of bus routes} + 0.966 \times \text{Number of vehicles}$



<Fig. 4> Final Model

모형 결과, 총 4개의 Factor으로 구분되어 있으며, Factor 1(Total distance and time)은 0.562, Factor 2(Passengers)는 0.256, Factor 3(Time)은 -0.236, Factor 4(Bus Connection)는 -0.039으로 환승통행량에 영향을 주는 것으로 나타났다.

Factor 1(Total distance and time)는 총 거리와 시간에 연관된 변수로써 가중치가 0.562 양(+)적 영향을 나타내는 변수의 영향으로 인하여 환승교통량을 증가시키는 요인으로 분석된다. 총 통행거리는 0.903, 총 통행시간은 0.862로 총 통행거리, 총 통행시간이 증가할수록 환승횟수가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 거리와 시간이 길어질수록 통행자들에게 통행부담요소 작용하기 때문에 환승 횟수를 늘려서라도 최종 목적지까지 빨리 도달하기를 원하기 때문에 총 통행거리, 총 통행시간이 증가하면 환승 횟수가 증가하는 것으로 나타났다.

Factor 2(Passengers)는 평균 승·하차에 대한 변수로서 가중치가 0.256으로 양(+)적 영향을 나타내는 변수로 환승 교통량을 증가시키는 요인으로 나타난다. 평균 승차인원은 0.793, 평균 하차인원은 0.835으로 정류장별 평균 승·하차인원이 증가 할수록 환승횟수가 증가하는 것을 알 수 있으며 승·하차 정류장의 인원이 많으면 많을수록 이용할 수 있는 환승의 노선이 설계되어 환승교통량이 증가하는 것이다. 환승이 편리하게 하려고

적정대안을 마련하여 통행자의 안전 및 편리성 효율화에 도모해야하며, 장거리 지역에도 수요가 있는 지역에 한하여 노선을 재조성하며 이에 대한 대책마련도 시급하다.

Factor 3(Time)은 시간에 대한 변수로서 가중치가 -0.236으로 음(-)적 영향을 나타내는 변수로 환승 교통량을 감소시키는 요인으로 작용하였다. 환승시간 0.862, 대기시간 1.256으로 환승시간 및 대기시간이 길면 환승 횟수가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 통행자들이 환승 경로를 정하는데 가장 중요하게 여기는 것이 시간이다. 이용자들이 원하는 시간대에 목적지까지 이동할 수 있도록 노선을 기존보다 직선화시키고 노선 중복도 감소 및 노선 운행대수에 대한 대안을 만들어 이용자들의 불편을 최소화시켜야 한다.

Factor 4(Bus Connection)는 버스 연계에 대한 변수로서 가중치가 -0.039으로 음(-)적 영향을 나타내는 변수로 환승 횟수를 감소시키는 요인으로 작용하였다. 버스노선 수 0.753, 버스운행 대수는 0.966으로 대중교통 이용자가 연계되는 버스의 노선수가 많으면 환승횟수가 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 이용자들의 통행 최종 목적지를 파악하여, 버스 노선 연계 조정에 대안을 구축하여 환승통행의 효율성을 증대시켜야 한다.

V. 결 론

본 연구에서는 대도시의 교통 혼잡을 해결하기 위하여 대중교통 효율화 방안들에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다. 이에 따라 대중교통노선의 체계를 구축하는 연구는 많은 도시들의 과제이다. 대중교통의 체계를 개편하기 위하여 제일 중요한 것은 환승이다. 환승 체계를 구축하기 위해서 이용자의 통행패턴을 분석해야하며, 무엇보다 환승에 영향을 미치는 영향이 무엇인지 파악하는 것이 가능 중요하다. 환승통행에 대한 정확한 분석을 할 수 있는 자료가 매우 부족한 실정이다.

본 연구의 의의를 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

첫째, 거리 및 시간은 환승과 밀접한 연관이 있는 변수이다. 대전발전연구원(이범규, 2015)의 연구에 따르면, 환승을 하지 않을 경우에 비해 환승을 할 경우 통행시간이 약 2.4배 더 많이 필요한 것으로 나타났다. 이에 따라 환승시간을 줄이기 위하여 대책마련의 필요성이 제기되며, 우선 환승 시간을 줄이기 위하여 승하차 및 환승 관련 데이터를 활용하여 정류장 조정과 일정 규모의 환승이 이루어지는 공간에 대하여 환승 센터를 마련하여 환승시간을 줄이는 방안을 제시하여야 한다.

둘째, 평일보다 주말에 환승이 더 많이 일어나는 것으로 결과가 나타났다. 이는 주말엔 여가, 쇼핑 등 목적통행이 더 다양해지면서 통행거리, 통행시간 등이 증가하면서 환승이 더 많이 일어나는 것으로 나타났다. 통행수단 및 지역별 통행, 시간별 통행 특성에 맞는 서비스를 제공하고, 환승이 많이 일어나는 정류장 및 노선들에 대하여 특성을 파악하여 특성에 맞게 대중교통연계성 및 주말 버스노선 구축 등 주말 패턴에 맞는 서비스를 제공을 해야 한다. 이용자 측면에서는 질 좋은 서비스로 인하여 대중교통 이용에 대한 이용률이 향상될 것으로 기대된다.

마지막으로 수도권 교통카드를 기반으로 본 연구에서 고려한 변수들 이외에 추가적인 정보가 구축되면 보다 다양한 변수들을 이용하여 연구의 정확성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통해 수도권에서 대중교통 체계구축 시 환승에 영향을 미치는 주요요인들을 반영하여 대중교통 이용객이 환승이 편리할 수 있게 서비스체계를 개선한다면 대중교통 이용의 편리성 및 효율성은 크게 증대할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Bauer K. M. and Harwood D. W.(1997), Statistical Models of At-grade Intersection Accidents, Federal Highway Administration, FHWA-RD-96-125.
- Bea B. Y.(2005), LISREL Structural Equation Modeling : understanding and utilization, *Daegyeong Books*, p.9.
- Bin M. Y., Moon J. B. and Jo C. H.(2012), “A Study on Travel Pattern Analysis and Political Application using Transportation Card Data: In Gyeonggi-Do Case,” *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, vol. 15, no. 4, pp.615-627.
- Choo S. H.(2008), “Exploring Characteristics on Trip Chaining: the Case of Seoul,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 4, pp.87-97.
- Hang 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.
- Jo S. B.(1996), LISREL Structural Equation Modeling, *Youngji Books*, p.15.
- Lee H. S. and Lim J. H.(2011), SPSS 18.0 Manual, Korea.
- Lee H. S. Choo S. H. and Kim J. Y.(2014), “Analyzing the Characteristics of Trip Chaining Activities of the Elderly in Seoul Metropolitan Area,” *The Korea Intelligent Transport Systems*, vol. 13, no. 2, pp.68-79.
- Lee M. Y.(2016), “Analysis of Transit Passenger Movements within Seoul-Gyeonggi-Incheon Area using Transportation Card,” *The Korea Intelligent Transport Systems*, vol. 15, no. 5, pp.12-19.
- Lee S. C.(2012), “Estimation of Transfer Volume Between Public Transport Modes Using Traffic Card and BMS Data,” Keimyung University.
- Lim S. Y., Lee H. S. and Choo S. H.(2014), “Exploring the Relationship between Transfer Trips and Land Use,” *The Korea Intelligent Transport Systems*, vol. 15, no. 2, pp.1-12.
- McGuckin N. and Nakamoto Y.(2004), “Trips, chains, and tours-Using an operational definition,” National Household Travel Survey Conference.
- Oh J. T., Yoon I. S., Hang J. W. and Han w.(2014), “A Comparative Study On Accident Prediction Model Using Nonlinear Regression And Artificial Neural Network, Structural Equation for Rural 4-Legged Intersection,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 32, no. 3, pp.266-279.
- Strathman, J. G. and Dueker K. J.(1995), “Understanding trip chaining,” US Department of Transportation, 1990 NPTS Special Reports on Trips and Vehicle Attributes.