

# 대중교통 이용자의 환승교통수단선택 행태분석에 관한 연구

## A Study on Users' Travel Behavior Analysis of Transit Transfer

이 상 혁\*  
(Sang Hyuk Lee)

김 재 석\*\*  
(Jae Seok Kim)

김 민 석\*\*\*  
(Min Seok Kim)

우 용 한\*\*\*\*  
(Yong Han Woo)

### 요 약

본 연구는 개별형태모형 중에서 다항로짓모형을 이용하여 대구시의 대중교통 이용자를 대상으로 한 환승교통수단선택모형을 구축한 것이다. 다항로짓모형 추정을 위해 사용된 종속변수는 버스↔버스, 버스↔지하철, 지하철↔지하철, 버스↔기타교통수단, 지하철↔기타교통수단의 5가지 유형을 사용하였고, 환승교통 수단선택에 영향을 미칠 것으로 예상되는 설명변수로는 성별, 나이, 교통주체, 통행목적, 환승지역, 통행비용, 통행시간의 7가지를 사용하였다. 구축한 다항로짓모형을 이용하여 주어진 설명변수의 값에 대한 환승확률을 산정하였고, 모형의 적합도를 나타내는  $\rho^2$ 는 0.354로서 적합하게 나타났다. 설명변수(통행시간, 통행비용)값의 변화에 따른 확률변화를 가지고 한계효과를 분석하였다. 통행시간에 따른 환승의 한계효과는 통행시간이 증가하면 할수록 버스↔버스, 버스↔지하철의 이용객들이 지하철↔지하철로 전환되는 것으로 분석되었으며, 통행요금이 따른 환승의 한계효과 분석에서는 버스↔버스, 버스↔지하철의 이용요금이 증가함에 따라 버스 및 지하철↔기타교통수단으로의 전환이 증가하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 다항로짓모형, 대중교통, 환승통행, 수단선택, 개별형태모형

### Abstract

This study developed the transit transfer mode choice model aimed Daegu transit users using multinomial logit model. Dependent variables of estimating multinomial logit model were transit transfer modes such as bus to bus, bus to subway, subway to subway, bus to others, and subway to others, and explanatory variables which affect transit transfer mode choice were sex, age, occupation, handicap, transfer area, purpose of travel and travel time. Also probability regarding explanatory variables was estimated using multinomial logit model and limit marginal analysis was carried out according to explanatory variables(cost, time). In the results, indicating goodness of fit is very reasonable as  $\rho^2=0.354$ . According to the result of marginal analysis for the selection of probability, when travel time is increased, users of bus to bus and bus to subway prefer to use subway to subway. Furthermore users of bus to bus and bus to subway prefer to use bus to others and subway to others when travel cost is increased in the result of marginal analysis for the selection of probability.

**Key words** : Multinomial Logit Model, Transit, Transfer Travel, Mode Choice, Disaggregate Behavior Model

\* 주저자 : 한밭대학교 UCRC 연구원  
\*\* 공저자 : 경일대학교 건설공학부 교수  
\*\*\* 공저자 : 경일대학교 대학원 토목공학과 박사수료  
\*\*\*\* 공저자 및 교신저자 : 경일대학교 건설공학부 부교수  
† 논문접수일 : 2012년 12월 12일  
‡ 논문접수일 : 2012년 12월 27일  
‡ 논문접수일 : 2013년 1월 25일

## 1. 서 론

### 1. 연구배경 및 목적

대도시의 육상교통은 용량을 초과하는 교통량으로 인해 통행시간과 통행비용이 점점 증가하고 있다. 이러한 현상은 환경적인 피해도 크지만, 심각한 사회문제 중 하나로 인식되어 어떤 방식이든 개선할 필요성이 강력히 대두되고 있다. 이러한 교통문제를 해결하기 위한 가장 쉬우면서도 중요한 정책이 승용차 통행억제와 대중교통의 이용 활성화이다. 대都市는 보통 지하철을 근간으로 해서 대중교통체계를 구축하고, 버스가 지선의 서비스를 담당하는 형태로 역할분담체계를 구성하고 있다. 따라서 시민들의 통행은 지하철과 지하철, 연계수단과 지하철간의 환승통행이 많으며, 이에 대한 수요는 점점 증가할 것으로 예상된다. 수단 간 환승통행이 증가하면 보다 편리하고 효율적인 환승시설과 환경에 대한 욕구가 높아지게 된다. 새로운 정책들이 꾸준히 개발되고, 현장에서 적용되고 하는 것도 이러한 욕구를 충족시키기 위한 목적의 일환이다. 본 연구는 대중교통 이용자의 개인특성과 통행특성을 조사하여 개별행태모형(Disaggregate Behavioral Model) 중 다항로짓모형을 이용하여 환승확률을 분석하였다. 또한 주어진 설명변수값의 확률에 대한 한계효과를 분석하여 각 교통수단간의 환승특성을 분석하였다. 연구사례지역으로 설정한 대구광역시는 2006년부터 시내버스 준공영제를 시행하고 있으며, 현재 1회의 한해서 무료 환승서비스를 실시하고 있다.

대구광역시의 도로구조는 방사환상형으로 형성되어 다른 도시에 비해 교통여건이 양호하여 승용차의 부담률이 높은 편이다. 국가 D/B센터의 7대 특별시·광역시별 대중교통 점유율(2009년)을 비교해 보면, 서울 5.7%, 부산 4.9%, 인천 5.5% 보다 낮은 3.1%로 나타났다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 대중교통이용자 중심의 계획수립과 정책실행이 중요하다고 판단된다. 대구시는 도시철도 3호선의 완공을 금년 말로 계획하고 있다. 이를 계기로 지하철과 버스간의 환승, 지하철과 지하철간의 환

승수요가 증가할 것으로 판단되며, 이에 대처하기 위한 최적의 계획을 수립해야 할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 대중교통 이용자의 환승통행 특성을 분석하고, 모형을 정립함으로써 교통정책 및 계획수립 시 각각의 요인을 감안해서 보다 효율적인 대중교통체계를 구축할 수 있도록 기여하는 것이 목적이다.

### 2. 기존연구 고찰

배영석 외(1995)는 여러 목적통행 중 주요 비중을 차지하면서 행동성에 있어서는 비교적 안정적인 행태를 보이는 출근통행을 대상으로 개별행태분석을 행하였다. 또한, 어느 도시에 새로운 교통수단이 도입되었을 때 교통수단 선택행동의 변화에 대해 예측하기 위해 SP(Stated Preference) 자료를 이용한 개별행태모형을 구축하였다[1]. 양창화, 손의영(2000)은 환승이 경로선택에 어떤 영향을 미치는지를 분석하기 위해 서울시 지하철 이용자를 대상으로 SP 및 RP(Revealed Preference)자료를 이용하여 분석하였고, 차내시간, 환승회수, 환승시간, 에스컬레이터 유·무의 가치를 추정하기 위한 모형식을 구축하였다[2]. 윤대식, 박현철(2010)은 경산시 대중교통체계 개편 전·후의 통행패턴을 분석하였으며, 통행패턴 변화의 통계적 검정을 위해 카이제곱검정과 t-검정을 실시하였다. 또한, 대중교통 이용자들의 통행패턴 변화의 영향요인을 파악하기 위해 이항로짓모형을 구축하였으며, 개편 전·후 교통수단선택의 영향요인을 파악하기 위해 다항로짓모형을 구축하였다[3]. 본 연구에서는 교통약자의 환승형태와 환승지역 등을 고려한 개별행태모형을 구축하여 대중교통이용자들의 환승형태를 파악하였다. 이러한 분석을 통해 대중교통시설 및 환승체계구축 등 교통정책수립에 필요한 다양한 시사점을 제시하였다.

### 3. 연구범위 및 방법

대구광역시 대중교통 이용자들의 환승행태를 파악하기 위하여 시민들을 대상으로 설문조사를 실시

하였다. 설문조사는 개인특성, 환승특성에 관한 내용을 조사하였다. 이 자료를 이용하여 먼저 환승수단의 형태(버스↔버스, 버스↔지하철, 지하철↔지하철, 버스↔기타교통수단, 지하철↔기타교통수단)를 종속변수로 두고, 환승주체, 환승지역, 통행시간을 설명변수로 설정하여 변수상호간의 교차분석을 실행하였고, 독립변수간 상관관계를 분석하였다.

또한 환승교통의 수단선택에 미치는 요인들은 무엇이며, 어떤 환승특성들이 있는지를 분석하기 위해 대중교통 환승자 개인의 행동특성을 기반으로 한 개별행태모형 중 다항로짓모형을 이용하여 특성을 규명하였다. 다항로짓모형은 대중교통 이용자의 속성, 교통수단이 제공하는 서비스의 특성 및 통행목적 등 통행자체의 속성 등을 자유롭게 효용함수에 포함시킴으로써 통행자의 현실적인 수단선택 형태를 잘 설명할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서 적용한 다항로짓모형의 일반형은 아래식과 같다.

[4,5]

$$P_j = \text{Prob}(y = j) = \frac{e^{\sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k}}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} e^{\sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k}} \quad (1)$$

$P_j$  : 환승형태  $j$ 를 선택할 확률

$\beta_{jk}$  : 환승형태  $j$ 에 대한  $k$ 항목의 변수의 계수

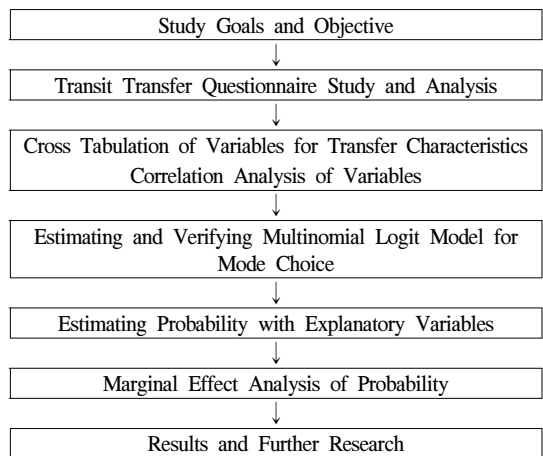
$x_k$  :  $k$ 항목의 설명변수

다항로짓모형을 구축하기 위해서 LIMDEP 8.0 소프트웨어를 이용하였다. 이 소프트웨어는 환승교통수단선택에 미치는 요인들을 개인의 행태에 초점을 맞춰 분석하는데 널리 사용되는 유용한 도구이다. 구축된 다항로짓모형을 활용하여 주어진 설명변수의 조건에 대한 예측 확률값을 산정하였다. 산정된 확률에 대한 한계효과는 확률식을 설명변수(통행요금, 통행시간)에 대해 편미분함으로써 구할 수 있으며 한계효과는 특정한 환승교통수단의 증·감소에 대한 대체 환승교통수단의 이용정도를 파악할 수 있다.

$$\frac{\partial \text{Prob}(y = j)}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left( \frac{e^{\sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k}}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} e^{\sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k}} \right)$$

여기서  $\Lambda = e^{\sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k}$  라고 하면,  
 $\text{Prob}(y = j) = P_j = \frac{\Lambda}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} \Lambda}$  가 되고,  
 이 식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \text{Prob}(y = j)}{\partial x_k} &= \frac{\partial}{\partial x_k} \left( \frac{\Lambda}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} \Lambda} \right) \\ &= \frac{\beta_{jk} \Lambda (1 + \sum_{j=1}^{J-1} \Lambda) - \Lambda (\sum_{j=1}^{J-1} \beta_{jk} \Lambda)}{(1 + \sum_{j=1}^{J-1} \Lambda)^2} \\ &= \frac{\Lambda}{(1 + \sum_{j=1}^{J-1} \Lambda)^2} \left\{ \beta_{jk} (1 + \sum_{j=1}^{J-1} \Lambda) - \left( \sum_{j=1}^{J-1} \beta_{jk} \Lambda \right) \right\} \\ &= P_j \left\{ \beta_{jk} - \frac{1}{\sum_{j=1}^{J-1} \Lambda} \left( \sum_{j=1}^{J-1} \beta_{jk} \Lambda \right) \right\} \\ &= P_j (\beta_{jk} - \sum_{j=1}^{J-1} P_j \beta_{jk}) \end{aligned} \quad (2)$$



<그림 1> 연구방법  
 <Fig. 1> Proposed Methodology

## II. 대중교통 이용자 환승행태 분석

### 1. 조사개요

설문조사는 대구시내 거주자 중 대중교통 환승 경험이 있는 시민들을 대상으로 실시하였다. 구체적인 조사범위와 항목은 <표 1>과 같다. 조사지는 총 1,000부를 배부하였지만, 회수된 유효 응답지는 818부였다. 설문조사내용 중 개인특성에서는 성별 등 4개 항목을 설정하였고, 환승특성에서는 환승유형, 총 통행시간 등 7개 항목을 설정하였다.

설문 응답자가 내용을 쉽게 파악할 수 있도록 각 항목별로 선택할 수 있는 내용을 구체적으로 표시

<표 1> 설문조사 개요  
<Table 1> Outline of Survey

Targets	Users of Transit Transfer in Daegu	
Contents of Survey	Personal Characteristics	Sex, Age, Occupation, Users Characteristics
	Transfer Characteristics	Transfer Types, Users, Areas, Purposes, Total Travel Time, Waiting Time, Bus Stop or Stations, Walking Time to Other Modes
Method	Individual Interview	
Number of Valid Survey	818 People out of 1,000	
Mode	①Bus↔Bus      ②Bus↔Subway ③Subway↔Subway      ④Bus↔Other ⑤Subway↔Other	
Users	①Ordinary Person      ②Elderly(over 65) ③Pregnant Woman      ④Handicapped Person ⑤Children(below 13)      ⑥Person with Child	
Areas	①Junggu ②Donggu ③Suseonggu ④Namgu ⑤Dalseogu ⑥Seogu ⑦Bukgu ⑧Dalseonggun ⑩Other	
Purposes	①Commute      ②Work ③Shopping/Leisure      ④Other	
Total Travel Time to Destination?	( )Minutes	
Total Waiting Time to Transfer?	( )Minutes	
Walking Time to Other Mode?	( )Minutes	

하였다. 특히, 환승유형은 어느 수단에서 어느 수단으로 행하는지를 5가지 유형으로 표시하여 판단이 용이하도록 배려하였다. 총 통행시간은 환승이 이루어지는 목적통행 1회를 대상으로 소요되는 총 시간을 의미하며, 환승지점까지의 소요시간은 도보기준으로 측정한 값이고, 대기시간은 환승지점 도착 후 환승수단에 승차하기까지 소요된 시간을 의미한다[6,7]

### 2. 일반적 기초특성

#### 1) 개인특성

설문조사 대상자의 성별분포를 살펴보면 남자가 49.9%, 여자가 50.1%로 비슷하게 나타났다. 연령분포는 20대가 32.9%로 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음으로 30대가 28.2%로 나타났다. 직업별로는 학생이 24.9%로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 행정/사무직 22.0%, 전업주부 19.4% 순으로 나타났다.

<표 2> 설문참가자 특성  
<Table 2> Characteristics of Survey Participants

Classification		Number of Participants(Rate)
Sex	Male	408 (49.9%)
	Female	410 (50.1%)
Age	10s	72 ( 8.8%)
	20s	269 (32.9%)
	30s	231 (28.2%)
	40s	95 (11.6%)
	50s	52 ( 6.4%)
	Over 60s	99 (12.1%)
Occupation	Student	204 (24.9%)
	House Wife	159 (19.4%)
	Profession/Engineer	114 (13.9%)
	Office Job	180 (22.0%)
	Sales	48 ( 5.9%)
	Service	53 ( 6.5%)
	Production/Transportation	31 ( 3.8%)
	Other	29 ( 3.5%)

## 2) 환승통행 특성

환승유형에서는 버스↔지하철의 환승이 가장 높은 44.0%를 차지하였고, 다음으로 버스↔버스의 환승이 32.5%인 것으로 나타났다. 이에 비해 버스 및 지하철과 기타교통수단간의 환승은 2.6~2.9%로 낮게 나타났다. 통행목적은 통근/통학통행이 57.2%로써 절반 이상을 차지했으며, 쇼핑/여가/오락목적은 24.9%로 나타났다. 1회 목적통행의 평균통행시간은 30분~60분이 가장 높은 66.4%를 차지하였고, 30분 이하의 통행은 20.3%로 나타났다. 또한, 60분 이상 소요되는 통행도 13.3%를 차지하는 것으로 분석되었다.

〈표 3〉 환승통행 특성  
〈Table 3〉 Characteristics of Transit Transfer

Classification		Number of Participants(Rate)
Modes	Bus ↔ Bus	266 (32.5%)
	Bus ↔ Subway	360 (44.0%)
	Subway ↔ Subway	147 (18.0%)
	Bus ↔ Other	21 ( 2.6%)
	Subway ↔ Other	24 ( 2.9%)
Purpose	Commute	468 (57.2%)
	Work	59 ( 7.2%)
	Shopping/Leisure	204 (24.9%)
	Other	87 (10.7%)
Total Travel Time	less 30 Minutes	166 (20.3%)
	30~60 Minutes	543 (66.4%)
	over 60 Minutes	109 (13.3%)

## 3. 환승변수간 교차분석

아래 분석에서 적용한 환승유형은 다음과 같다. 즉, ①버스↔버스, ②버스↔지하철, ③지하철↔지하철, ④버스↔기타교통수단, ⑤지하철↔기타교통수단의 5가지로 구분하였다.

### 1) 환승주체와 환승유형 교차분석

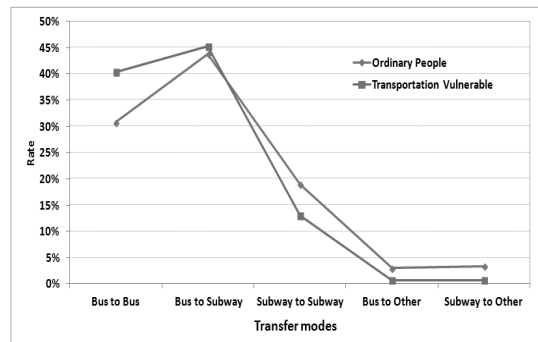
환승을 행한 응답자 중 일반인은 82.2%를 차지

하였고, 고령자 등 교통약자는 17.8%를 차지하였다. 일반인 중에서는 버스↔버스, 버스↔지하철간 환승이 74.6%로서 대부분을 차지하였으며 지하철간 환승은 19.0%를 나타내었다. 한편, 교통약자의 경우에도 비슷한 경향이 나타났는데, 버스↔버스 간 환승이 40.4%, 버스↔지하철간 환승은 45.2%를 차지하였다.

〈표 4〉 환승주체와 환승유형 교차분석  
〈Table 4〉 A Cross Tabulation of Transfer Users and Types

(Unit: Number of People)

Classification	Transfer Type					Total	
	①	②	③	④	⑤		
Ordinary People	207 (30.8%)	294 (43.8%)	128 (19.0%)	20 (3.0%)	23 (3.4%)	672 (100.0%)	
Vulnerable	Elderly	39	45	8	0	0	92
	Pregnant Woman	3	11	7	0	0	21
	Handicap Person	5	5	1	1	0	12
	Children	6	0	0	0	0	6
	Person with Child	6	5	3	0	1	15
	Total	59 (40.4%)	66 (45.2%)	19 (13.0%)	1 (0.7%)	1 (0.7%)	146 (100.0%)
Sum	266 (32.5%)	360 (44.0%)	147 (18.0%)	21 (2.6%)	24 (2.9)	818 (100.0%)	



〈그림 2〉 환승주체에 따른 환승유형의 비율  
〈Fig. 2〉 Ratio of Transfer Types

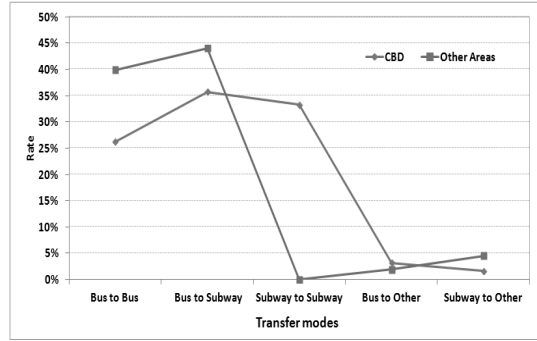
2) 환승지역에 따른 환승교통수단 분석

환승지역에 따른 환승교통수단선택은 중구(CBD) 지역에서 전체 환승비율 중 54.0%를 차지해 절반가량의 환승통행이 중구지역에서 발생한다고 볼 수 있다. 중구지역은 대구시의 중심에 위치하고 있으며, 상업밀집지역이고, 지하철 1호선과 2호선의 환승역이 위치하고 있다. 이는 현재 대구지역의 버스 노선이나 지하철노선이 중구를 중심으로 운영되고 있음을 알 수 있다.

중구지역은 버스↔지하철 환승형태가 35.7%로 가장 높게 나타났고, 지하철↔지하철 33.3%, 버스↔버스 26.2%로 골고루 분포하고 있다.

기타지역은 동구와 수성구, 달서구, 달성군은 버스↔지하철 환승형태가 58.6%~66.7%로 높게 분석되었다. 이는 수성구를 제외한 지역은 지하철 시·종점이 위치하고 있어 시·종점에서 환승이 많이

이루어지고 있는 것으로 판단된다. 북구와 남구, 서구는 버스↔버스 환승형태가 44.8%~82.4%로 높게 나타났다. 중구를 제외한 기타지역을 전체적으로 살펴보면, 버스↔지하철 44.0%, 버스↔버스 32.5%, 버스 및 지하철↔기타교통 5.5%순으로 나타났다.



〈그림 3〉 환승지역에 따른 환승교통수단선택 비율  
〈Fig. 3〉 Ratio of Transfer Mode Choice in Transfer Areas

〈표 5〉 환승지역과 환승교통수단 교차분석  
〈Table 5〉 A Cross Tabulation of Transfer Areas and Transfer Modes

(Unit: Number)

Transfer Area	Transfer Type					Total	
	①	②	③	④	⑤		
Junggu (CBD)	116 (26.2%)	158 (35.7%)	147 (33.3%)	14 (3.2%)	7 (1.6%)	442 (100%)	
N o n C B D	Domggu	22 (30.1%)	47 (64.4%)	0	0	4 (5.5%)	73 (100%)
	Suseonggu	43 (37.1%)	68 (58.6%)	0	1 (0.9%)	4 (3.4%)	116 (100%)
	Namgu	13 (44.8%)	10 (34.5%)	0	1 (3.4%)	5 (17.2%)	29 (100%)
	Dalseogu	30 (36.1%)	51 (61.4%)	0	1 (1.2%)	1 (1.2%)	83 (100%)
	Seogu	19 (51.4%)	14 (37.8%)	0	1 (2.7%)	3 (8.1%)	37 (100%)
	Bukgu	14 (82.4%)	1 (5.9%)	0	2 (11.8%)	0	17 (100%)
	Dalseong	3 (33.3%)	6 (66.7%)	0	0	0	9 (100%)
	Other	6 (50.0%)	5 (41.7%)	0	1 (8.3%)	0	12 (100%)
	Total	150 (39.9%)	202 (44.0%)	0	7 (1.9%)	17 (4.5%)	376 (100%)
	Sum	266 (32.5%)	360 (44.0%)	147 (18.0%)	21 (2.6%)	24 (2.9%)	818 (100%)

3) 총 통행시간과 환승유형 교차분석

총 통행시간에 따라 환승이 이루어지는 유형을 분석한 결과, 30분 이하의 통행에서는 버스↔지하철간 환승이 39.2%를 차지하고 있으며, 버스↔버스간 환승이 31.3%를 차지하였다. 60분 이상의 통행에서는 버스↔지하철간 환승이 53.2%를 차지하였다. 통행시간대는 특정시간대를 정하지 않았고 당일 환승통행이 이루어진 시간을 설문하였다.

〈표 6〉 총 통행시간과 환승유형 교차분석  
〈Table 6〉 A Cross Tabulation of Total Travel Time and Transfer Types

(Unit: Number of People)

	Transfer Type					Total
	①	②	③	④	⑤	
Less 30 Minutes	52 (31.3%)	65 (39.2%)	43 (25.9%)	1 (0.6%)	5 (3.0%)	166 (100.0%)
30~60 Minutes	176 (32.4%)	237 (43.6%)	97 (17.9%)	17 (3.1%)	16 (2.9%)	543 (100.0%)
Over 60 Minutes	38 (34.9%)	58 (53.2%)	7 (6.4%)	3 (2.8%)	3 (2.8%)	109 (100.0%)
Sum	266 (32.5%)	360 (44.0%)	147 (18.0%)	21 (2.6%)	24 (2.9%)	818 (100.0%)

전체적으로 살펴보면, 버스↔버스간 환승은 총 통행시간에 관계없이 비슷한 비율을 나타내고 있지만, 버스↔지하철간의 환승은 총 통행시간이 증가할수록 큰 폭으로 증가함을 알 수 있다. 반면, 지하철↔지하철간의 환승은 총 통행시간이 증가할수록 비율이 낮아지는 것으로 분석되었다.

4) 환승변수간 상관분석

조사자료 중 정량적 자료인 총 통행시간, 환승대기시간, 환승지점까지의 이동소요시간, 3가지 변수간의 기술통계분석과 상관분석을 실시하였다. 총 통행시간의 평균값은 49.4분, 최대 150분까지 통행한 것으로 나타났고, 환승대기시간의 평균값은 8.3분, 환승지점까지의 이동소요시간은 평균 6.2분인

<표 7> 기술적 통계량  
<Table 7> Basic Statistics

Classification	N	Min	Max	Mean	S.D.
Total Travel Time(min)	818	10	150	49.4	19.5
Transfer Waiting Time(min)		1	35	8.3	4.1
Walking Time to Other Modes(min)		1	20	6.2	3.0

<표 8> 환승변수간 상관분석  
<Table 8> Correlation Analysis of Variables

Classification		Total Travel time	Transfer Waiting Time	Walking Time to Other Modes
Total Travel time	Pearson Correlation	1	.242**	.247**
	Sig. (2-tailed)	-	.000	.000
Transfer Waiting Time	Pearson Correlation	.242**	1	.073*
	Sig. (2-tailed)	.000	-	.036
Walking Time to Other Modes	Pearson Correlation	.247**	.073*	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.036	-

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)  
\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

것으로 나타났다.

총 통행시간과 환승대기시간 및 이동소요시간에 대한 상관분석결과 상관계수는 각각 0.242, 0.247로 나타났고, 유의수준 1%에서 유의한 것으로 분석되었다. 환승대기시간과 환승지점까지의 이동소요시간에 대한 상관계수는 0.073이며, 유의수준 5%에서 유의한 것으로 분석되었다.

Ⅲ. 환승교통 수단선택모형 구축

1. 모형의 구조

대중교통 이용자들이 선택할 수 있는 환승유형 5가지 중에서 버스↔기타교통수단 및 지하철↔기타교통수단은 전체적인 환승비율이 낮기 때문에 2개 유형을 하나로 통합하여 4가지 유형을 종속변수로 설정하였다. 그리고 모형의 설명변수는 환승통행자의 개인특성의 경우 성별(Sex), 연령(Age), 교통약자(Weak), 통행목적(Object)으로 설정하였으며, 환승특성으로는 환승지역(Area), 총 통행시간(Time)을 설정하였다. 그리고 상관분석에서 변수 간 상관성이 낮은 환승대기시간과 환승지점까지의 이동소요시간 변수는 한 개의 새로운 변수로 통합하여 사용하였고, 이는 두 변수의 값을 비용으로 환산한 통행비용(Cost) 변수를 새로 만들어서 사용하였다. 모든 설명변수는 대안특성변수로 포함되었다. 그 중에서

<표 9> 모형에 사용된 설명변수  
<Table 9> Classified Variables for the Model

Variables			Unit
Alternative Specific Constant	BB CON	Constant of Bus↔Bus	-
	BT CON	Constant of Bus↔Subway	-
	TT CON	Constant of Subway↔Subway	-
	BC CON	Constant of Bus↔Other	-
Alternative Specific Variables	SEX	Male=1, Female=0	-
	AGE	Over 30s=1, Less 30s=0	-
	WEAK	Ordinary People=1, Transportation Vulnerable=0	-
	OBJECT	Commute=1, Other=0	-
	AREA	CBD=1, Other=0	-
	COST	Total Travel Cost	Won
	TIME	Total Travel Time	Min

성별, 연령, 환승지역, 총통행시간의 4개 변수는 모든 종속변수에 대해 대안특성화를 행하였다. 4가지 종속변수와 성별, 연령을 비롯한 7개 설명변수를 이용하여 환승교통 수단선택행태를 다항로짓모형으로 구축하였으며 변수설정 내용과 분석에 사용된 변수명은 <표 9>에서 나타낸 바와 같다.[1,8,9]

## 2. 모형의 계수추정 결과

대중교통이용자의 환승교통 수단선택 다항로짓 모형의 계수추정 결과는 <표 10>에 나타내었다. 본 연구에서 사용된 자료는 현시점에서의 환승수단 선택요인의 분석을 위한 RP조사자료에서 추출된 것이다. 모형의 계수를 추정된 결과, 통행비용은 모두 음(-)의 부호를 가지며, 유의수준 1%에서 유의한 것으로 나타났다. 이는 통행비용, 즉 환승대기시간이나 환승지점으로의 이동소요시간이 많이 소요될수록 환승을 기피한다는 것을 의미한다. 통행시간은 지하철↔지하철을 제외한 다른 수단에서는 양(+의 부호로 나타나 버스↔버스, 버스↔지하철, 버스↔기타교통수단의 환승유형에 있어서 통행시간이 증가하면 환승을 행할 확률이 높아지는 것으로 나타났다. 반대로 지하철↔지하철은 통행시간이 감소하면 환승을 선택할 확률이 높아지는 것으로 나타났다. 즉, 통행비용과 통행시간변수에 대해 분석한 결과로 미루어볼 때 비용과 시간이 많이 소요될수록 환승을 기피할 확률이 높음을 알 수 있다.

환승지역은 모두 양(+의 부호로 나타났는데 이는 지역이 이용자들의 환승유형선택 시 영향을 미칠 확률이 높음을 의미한다. 또한, 통행목적도 모두 양(+의 부호로 나타났기 때문에 직장인이나 학생이 통근/통학 시 어떤 유형이든 환승을 선택할 확률이 높은 것으로 나타났다.

다항로짓모형에 대한 적합도를 나타내는  $\rho^2$ 값은 0.354로 나타났다. 통상 0.2~0.4의 범위 내에 포함되면 추정모형이 아주 좋은 적합도를 가지는 것으로 평가하고 있다. 적합도를 평가하기 위한 다른 지표들도 표에서 나타낸 것처럼 양호한 것으로 나타났다.[1,10]

<표 10> 다항로짓모형의 계수추정 결과  
<Table 10> Results of Multinomial Logit Model

Transfer Type	Variables	Coefficients	t-value
BB	BB CON	5.51983648	4.914
BT	BT CON	4.90007234	4.417
TT	TT CON	0.55943557	0.362
BC	BC CON	- 0.47199268	- 0.454
BB	SEX_BB	- 0.94359323	- 1.857
BT	SEX_BT	- 1.03992066	- 2.072
TT	SEX_TT	- 0.71755027	- 1.345
BC	SEX_BC	- 0.30242989	- 0.455
BB	AGE_BB	- 0.45326427	- 0.960
BT	AGE_BT	0.07016320	0.151
TT	AGE_TT	0.46757598	0.926
BC	AGE_BC	- 1.21965879	- 1.924
BB	WEAK_BB	- 1.66797205	- 2.136
BT	WEAK_BT	- 0.93520613	- 1.204
TT	WEAK_TT	- 1.23678331	- 1.505
BB	OBJ_BB	0.66803644	1.888
BT	OBJ_BT	0.13347840	0.390
TT	OBJ_TT	0.92586236	2.368
BB	COST_BB	- 0.00113144	- 4.310
BT	COST_BT	- 0.00103935	- 4.273
TT	COST_TT	- 0.00098201	- 3.067
BB	AREA_BB	0.49713874	1.019
BT	AREA_BT	0.47528217	0.986
TT	AREA_TT	5.81763372	5.243
BC	AREA_BC	1.58226282	2.426
BB	TIME_BB	0.00527579	0.435
BT	TIME_BT	0.01081625	0.902
TT	TIME_TT	- 0.02698832	- 2.018
BC	TIME_BC	0.00809155	0.521

주) BB=Bus↔Bus, BT=Bus↔Subway, TT=Subway↔Subway, BC=Bus↔Other

Log Likelihood Function	- 850.1847
Restricted Log Likelihood	- 1316.5202
Chi Squared	321.67214
Pseudo R-Squared ( $\rho^2$ )	0.35422
Number of observations	818

## IV. 확률선택에 대한 한계효과 분석

### 1. 통행시간에 따른 한계효과 분석

확률에 대한 한계효과를 파악하기 위해 확률식을 설명변수(총 통행시간)에 대해 편미분을 행하였다. 다항로짓모형에 있어서 한계효과는 동일한 환승교통수단 내에서의 한계효과와 다른 환승교통수



단으로의 한계효과를 동시에 산출하는 것이 가능하다. 한계효과분석은 특정한 환승교통수단의 증가 또는 감소에 대한 대체가능한 환승교통수단의 이용 정도를 파악할 수 있다는 측면에서 중요한 정책적 의미를 가진다고 할 수 있다.

구축된 모형을 활용하여 주어진 설명변수들의 각 조건에 대한 환승수단선택의 확률값을 산정할 수 있다. 그리고 조건들의 값을 다양하게 적용해 시도함으로써 선택확률의 한계효과를 산정할 수 있다. 아래의 여러 가지 식은 각 이용자의 환승유형 선택의 효용함수를 정리한 것이다[4].

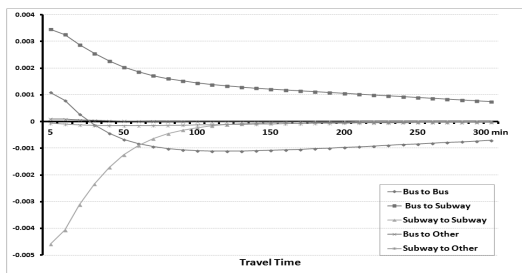
$$P_{BB} = -0.94359X_{SEX} - 0.45326X_{AGE} - 1.66797X_{WEAK} - 0.00113X_{COST} + 0.66804X_{OBJ} + 0.49714X_{AREA} + 0.00528X_{TIME} + 5.51984 \quad (3)$$

$$P_{BT} = -0.03992X_{SEX} + 0.07016X_{AGE} - 0.93521X_{WEAK} - 0.00104X_{COST} + 0.13348X_{OBJ} + 0.47528X_{AREA} + 0.01082X_{TIME} + 4.90007 \quad (4)$$

$$P_{TT} = -0.71755X_{SEX} + 0.46758X_{AGE} - 1.23678X_{WEAK} - 0.00098X_{COST} + 0.92586X_{OBJ} + 5.81763X_{AREA} - 0.02699X_{TIME} + 0.55944 \quad (5)$$

$$P_{BC} = -0.30243X_{SEX} - 1.21966X_{AGE} + 1.58226X_{AREA} + 0.00809X_{TIME} - 0.47199 \quad (6)$$

위의 식에서 통행시간을 제외한 나머지 설명변수들은 평균값을 입력하고, 총 통행시간은 5분에서 300분까지 10분단위로 변화시켜 확률변화를 분석하였으며, 그 결과는 <그림 4>에 나타난 바와 같다.



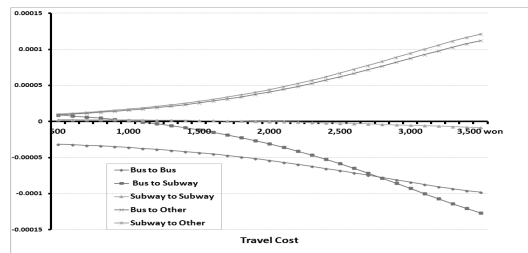
<그림 4> 환승유형별 통행시간에 따른 한계효과  
<Fig. 4> Marginal Effects of Travel Time in Transfer Types

버스↔버스, 지하철↔지하철간 환승하는 유형은 통행시간이 증가할수록 선택확률이 감소하고 있음

을 알 수 있고, 약 100분까지는 큰 폭의 감소세를 보이고 있다. 이와는 반대로 버스↔지하철간의 환승은 증가하는 것으로 나타났다. 그 외 버스↔기타 교통수단은 거의 변화 없이 일정 확률을 유지하는 것으로 분석되었다. 결과적으로 통행시간이 증가하면 버스↔버스, 지하철↔지하철의 환승이용객들이 버스↔지하철의 환승유형으로 전환될 확률이 높은 것으로 추정할 수 있다.

## 2. 통행비용에 따른 한계효과 분석

통행비용에 대한 한계효과분석도 통행시간에 대한 분석과 마찬가지로 구축된 모형을 활용하여 주어진 설명변수의 조건에 대한 예측 확률값을 산정할 수 있다. 통행비용을 500원에서 3,500원까지 100원단위로 변화시켜 확률변화를 분석하였으며, 그 결과는 <그림 5>에 나타내었다.



<그림 5> 환승유형별 통행비용에 따른 한계효과  
<Fig. 5> Marginal Effects of Travel Cost in Transfer Types

통행비용의 한계효과 분석결과를 살펴보면, 버스 및 지하철↔기타교통수단은 통행비용이 증가할수록 확률이 큰 폭으로 증가한다. 그와 반대로 버스↔버스, 버스↔지하철간 환승은 통행비용이 증가할수록 선택확률이 낮아지는 것으로 분석되었다. 이는 환승에 따른 통행비용이 증가(대기시간증가 및 이동소요시간 증가)하면 이용자들이 환승을 점점 회피하는 경향이 있는 것으로 추정할 수 있다. 또한, 버스 및 지하철↔기타교통수단(승용차 등)으로 전환될 가능성이 높은 것으로 추정할 수 있다. 지하철

↔지하철의 경우에는 선택확률이 약간 낮아지기도 하지만, 거의 변화가 없는 것으로 분석되었다[4].

## V. 결 론

본 연구는 대중교통 환승이용자 818명을 대상으로 환승행태를 분석한 것이다. 종속변수와 설명변수 간 교차분석과 상관분석을 실시하였고, 환승수단 선택확률에 대한 모형을 구축하기 위해 개별형태모형 중에서 다항로짓모형을 이용하였다. 구축된 모형을 기반으로 통행시간과 통행비용에 대한 조건을 변화시켜가면서 환승유형별 한계효과를 분석하였다.

환승유형별 설명변수간의 통계적 분석 결과를 살펴보면, 교통약자는 일반인에 비해 지하철↔지하철, 버스 및 지하철↔기타교통수단의 선택확률이 낮았고, 버스↔버스, 버스↔지하철의 선택확률은 높았다. 환승지역에 따른 환승교통 수단선택은 중구 지역에서 차지하는 비율이 전체의 54.0%를 차지하는 것으로 분석되었고, 중구지역에서의 환승유형별 비율은 버스↔버스 26.2%, 버스↔지하철 35.7%, 지하철↔지하철 33.3%로 나타났다. 또한, 통행시간에 따른 환승교통 수단선택비율과 독립변수간 상관분석결과는 본문에서 제시한바와 같다.

다항로짓모형을 이용한 환승교통 수단선택모형을 구축하였는데, 계수추정 결과는 다음과 같다. 통행비용은 모두 음(-)의 부호를 가져, 통행비용이 높을수록 환승확률이 낮아지는 것으로 나타났다. 통행시간은 지하철↔지하철을 제외한 나머지 환승유형은 양(+)의 부호로 나타났기 때문에 통행시간이 증가하면 선택할 확률이 높아지는 것으로 분석되었다. 모형의 적합도를 나타내는  $\rho^2$ 는 0.354로서 아주 만족스러운 결과를 나타내었다.

확률선택에 대한 한계효과 분석결과는 총통행시간이 증가하면 버스↔버스, 버스↔지하철의 환승은 점점 감소할 것으로 예측되었고, 지하철↔지하철의 환승은 증가할 것으로 분석되었다. 또한 통행요금에 대해서는 버스↔버스, 버스↔지하철간의 환승통행비용이 증가함에 따라 버스 및 지하철↔기타교통

수단으로 전환될 확률이 높은 것으로 나타났다.

본 연구를 통해서 대중교통계획수립 시 고려할 수 있는 부분은 다음과 같다. 먼저 대구광역시 중구(CBD)지역은 전체 환승비율 중 54.0%를 차지해 환승지역이 중심부로 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 향후 대구시 도시철도 3호선 개통과 함께 버스노선 재조정을 통해 환승지역을 분산시켜 대중교통이용자에게 편의를 제공해야 할 것으로 판단된다. 두 번째로 통행비용이 증가할수록 대중교통 환승비율이 낮아지고 다른 교통수단(승용차 등)으로 전환되어 대중교통활성화를 위해서는 무료환승 등의 정책을 유지되어야 할 것으로 보인다. 마지막으로 교통약자의 지하철↔지하철 환승통행이 비교적 낮아 지하철역의 환승시설 확충과 접근성을 높이는 서비스제공이 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Y. S. Bae, K. H. Kim, K. S. Kim and E. D. Kim, "A Study on the behavioral analysis of travel choice using disaggregate behavioral approach", *J. Korean Soc. Transp.*, vol. 13, no. 4, pp.47-59, Aug. 1995.
- [2] C. H. Yang and E. Y. Shon, "Estimation of transfer related values of Seoul subway users using stated preference and revealed preference analyses", *J. Korean Soc. Transp.*, vol. 18, no. 4, pp.19-30, Aug. 2000.
- [3] D. S. Yoon and H. C. Park, "A Study on change of travel patterns according to public transportation reform(a case study of Gyeongsan city)", *J. Korean Soc. Transp.*, vol. 28, no. 1, pp.51-61, Feb. 2010.
- [4] S. W. Lee, S. H. Min, J. Y. Park, and S. D. Yoon, "The Practice on logit & probit model", Parkyoungsa, pp.207-249, Jan. 2008.
- [5] D. S. Yoon, "Transportation demand analysis", Parkyoungsa, pp.221-275, Feb. 2010.
- [6] K. C. Park, J. J. Moon, S. M. Lee, and C. H. Park, "A Stochastic transit assignment model based

- on mixed transit modes”, *J. Korean Soc. Transp.*, vol. 2, no. 3, pp.111-120, Jun. 2007.
- [7] S. M. Park, B. J. Lee, S. L. Sung, and M. Nam-Gung, “Analysis of transfer mode choice behavior of Honam-high speed railway user: in Jeonbuk”, *J. Korean Soc. Civil Eng.*, vol. 25, no. 6D, pp.783-790, Dec. 2005.
- [8] W. S. Lee, “A Multinomial logit model for traveler’s Combined mode choice behavior”, Dissertation, Myongji University, pp.4-14, 2008.
- [9] Q. Li, T. Higuchi, M. Yanagihara, Y. Oeda, and T. Sumi, “A travel mode choice model of the commuters on mass transit based on their decision behaviors of time to and from work”, *J. Japan Soc. Civil Eng.*, vol. 20, no. 4, pp.827-834, 2003.
- [10] D. McFadden, “*The Theory and Practice of Disaggregate Demand Forecasting for Various Modes of Urban Transportation*”, University of California, Berkeley, Institute of Transportation Studies, Working Paper no. 7623, 1976.

저자소개



이 상 혁 (Lee, Sang Hyuk)

2011년 6월 ~ 현재 : 한밭대학교 UCRC 연구원  
 2007년 12월 ~ 2010년 12월 : Illinois Institute of Technology, Research Assistant  
 2010년 12월 ~ 2011년 4월 : Illinois Institute of Technology, Visiting Researcher  
 e-mail : sanghyuklee8612@gmail.com



김 재 석 (Kim, Jae Seok)

1992년 : University of Kentucky 대학원 졸업(공학박사)  
 1993년 ~ 현재 : 경일대학교 건설공학부 교수



김 민 석 (Kim, Min-Seok)

2002년 : 경일대학교 도시정보공학과 졸업  
 2003년 ~ 2010년 : (주) 교통시스템연구소 연구원  
 2004년 : 경일대학교 대학원 도시정보·측지지적공학과 졸업 (공학석사)  
 2011년 : 경일대학교 대학원 토목공학과 수료 (박사수료)  
 2011년 ~ 현재 : 경일대학교 도시문제연구소 연구원



우 용 한 (Woo, Yong Han)

2012년 ~ 현재 : 경일대학교 건설공학부 부교수  
 1987년 : 영남대학교 도시공학과 졸업  
 1989년 : 영남대학교 대학원 도시공학과 졸업 (공학석사)  
 1998년 : 영남대학교 대학원 도시공학과 졸업 (공학박사)  
 2003년 ~ 2006년 : (주) 다운도시교통연구소 대표  
 e-mail : yhwoo333@naver.com