

대구 도시철도 경산 연장에 따른 대구-경산 간 대학생 통학통행의 도시철도 전환수요 분석

- 개통 전 SP모형과 개통 후 RP모형의 비교 -*

윤대식** · 이찬휘***

Analysis of University Students' Modal Shift for Commuting Trip Due to the Introduction of New Urban Rail Transit in Gyeongsan City - Comparison between SP Model Before the Introduction and RP Model After the Introduction -*

Dae-Sic Yun**, Chan-Hwi Lee***

국문요약 본 연구에서는 대구 도시철도 경산 연장에 따른 대구-경산 간 대학생 통학통행의 도시철도 전환수요를 분석하기 위해 대구 도시철도 2호선 종착역(영남대역)의 직접적인 영향권에 있는 영남대학교를 사례지역으로 선정하여 대학생들의 도시철도 연장 개통 전과 후의 교통수단의 변화를 분석하였다. 분석대상은 대구광역시에 거주하면서 경산시에 위치한 영남대학교로 통학하는 대학생을 대상으로 하였다. 특히 본 연구에서는 도시철도 연장 개통 전과 후의 통학통행을 위한 교통수단 선택의 변화를 분석하기 위해 개통 전(2011년) SP자료와 개통 후(2013년) RP자료를 설문조사를 통해 수집하였다. 그리고 수집된 SP자료와 RP자료를 활용하여 도시철도 연장에 따른 교통수단별 도시철도 전환율을 분석하고, 도시철도로의 전환 여부에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해 두 가지 자료(SP자료와 RP자료)를 활용하여 별개의 로짓모형을 추정하였으며, 그 결과를 논의하였다. 아울러 분석결과의 정책적 시사점을 제시하였다. 본 연구의 분석결과 개통 전(2011년) SP자료와 개통 후(2013년) RP자료 모두에서 스쿨버스와 버스의 도시철도 전환율이 승용차의 도시철도 전환율보다 높은 것으로 확인되었다. 그리고 SP자료를 활용한 로짓모형 추정결과 통행시간 절약 변수가 도시철도 전환 여부에 가장 중요한 영향을 미치는 요인으로 확인된 반면, RP자료를 활용한 로짓모형 추정결과는 거주지(거주지 동의 도시철도 통과 여부) 변수가 도시철도 전환 여부에 가장 중요한 영향을 미치는 요인으로 확인되었다.

주제어 도시철도, 통학통행 전환율, 로짓모형, RP조사, SP조사

* 이 연구는 2016학년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임.

** 영남대학교 도시공학과 교수(주저자: dsyun@yu.ac.kr)

*** 두현ITS 과장(공동저자: leechanhui04@naver.com)

Abstract : The main objective of this paper is to analyze university students' modal shift for commuting trip due to the introduction of new urban rail transit in a satellite city of metropolitan area. The paper uses SP(2011)/RP(2013) data collected from Yeungnam University in Gyeongsan City, which is a satellite city of Deagu Metropolitan City. So far few researches, especially using before-and-after individual SP/RP travel survey, have been conducted on analyzing university students' modal shift due to the introduction of new urban rail transit. For this research, some descriptive statistical analyses were conducted. Furthermore, some empirical logit models were estimated for analyzing factors affecting the modal shift. Finally, some important findings and policy implications are discussed. The significant findings from this research are summarized as follows. From the descriptive statistical analyses of SP and RP data, it is found that the rate of modal shift to rail transit is relatively high especially for bus travellers. Furthermore, from the empirical SP model estimation, it is found that time saving is the most important factor affecting the modal shift to urban rail transit. On the other hand, from the empirical RP model estimation, it is found that residential location is the most important factor affecting the modal shift to urban rail transit.

Key Words : Urban Rail Transit, University Students' Modal Shift for Commuting Trip, Logit Model, RP Survey, SP Survey

1. 서론

1) 연구배경 및 목적

대구광역시외의 위성도시적 성격을 지니고 있는 경산시는 현재 인구 약 25만 명의 도농복합도시이자 13개 대학이 모여 있는 학원도시이기도 하다. 대구시 2010년도 교통관련 기초자료 조사결과에 따르면, 대구시 경계지역 19곳의 1일 교통량 가운데 경산방면의 1일 교통량이 절반 이상의 비중을 차지하는 것으로 조사되었고, 그 중에 출퇴근시간에 가장 혼잡한 것으로 조사되었다. 이러한 대구-경산 간 교통혼잡을 해소하고자 대구 도시철도 2호선은 2007년 연장 건설공사를 시작하여 2012년 9월 총 3개의 도시철도역(정평역, 입당역, 영남대역)을 연장(3.3km) 개통하였다.

대구 도시철도 2호선의 경산 연장은 경산시 소재 1,600여 개 기업체 직원의 통근통행뿐만 아니라 13개 대학 학생 및 교직원 12만여 명의 통학/통근통행에도 큰 영향을 미친 것으로 본다. 통학 시 승용차보다는 대중교통수단을 선호하는 대학생들의 경우 일반적으

로 직장인들보다는 도시철도 도입으로 인한 통행행태의 변화가 큰 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 대구 도시철도의 경산 연장 건설에 따른 대학생들의 도시철도 전환수요를 분석하기 위하여 개통 전 SP(Stated Preferences)자료(2011년)와 개통 후 RP(Revealed Preferences)자료(2013년)를 수집하여 도시철도로의 전환 여부를 분석하고, 도시철도 전환수요에 영향을 미치는 요인에 대해 두 가지 자료(SP자료와 RP자료)를 활용하여 분석하였다. 특히 본 연구에서는 연장 개통 전의 선호자료인 SP자료와 연장 개통 후의 실제자료인 RP자료의 분석을 통해 연장 개통 전 대학생들의 의사(intentions)와 연장 개통 후 실제로 나타난 행동(actual behavior) 사이에 어떠한 차이가 있는지 분석하였다.

2) 연구내용 및 방법

본 연구에서는 대구 도시철도 2호선 연장 개통의 종착역인 영남대역의 직접적인 영향권에 있는 이유리 말미암아 통행행태의 변화가 큰 것으로 판단되는 영

남대학교를 사례지역으로 선정하였다. 따라서 본 연구에서는 대구광역시에 거주하면서 경산시에 위치한 영남대학교로 통학하는 대학생들을 분석대상으로 하였다.

연구의 내용은 설문조사를 통해 수집된 영남대학교 학생들의 대구(출발지)-영남대학교(목적지) 간 통학통행 자료를 바탕으로 도시철도 연장 개통 전·후의 도시철도 전환수요를 분석하였다. 개통 전 SP자료(2011년)의 경우, 도시철도 연장 개통(2012년 9월) 후의 통학통행 선택은 SP조사를 통해 수집되었다. 그리고 개통 후 RP자료(2013년)의 경우, 도시철도 연장 개통(2012년 9월) 전·후의 모든 통학통행 선택은 RP조사를 통해 수집되었다.

연구의 방법은 수집된 2개 연도(2011년과 2013년)의 설문조사 자료를 활용하여 교통수단별 도시철도로의 전환 여부와 전환율을 기술통계분석(descriptive statistical analysis)을 통해 살펴보았다. 또한 도시철도 전환에 영향을 미치는 다양한 변수들을 이용하여 도시철도로의 전환 여부(전환/비전환)에 관한 이항로짓 모형(binary logit models)을 추정하여 분석하였다. 특히 본 연구에서는 SP자료와 RP자료를 활용하여 기술통계분석과 이항로짓모형 추정을 한 후, 두 자료의 분석결과를 비교하였다. 본 연구에서는 로짓모형의 추정을 위해서 LIMDEP 8.0 프로그램을 사용하였다.

2. 선행연구 검토

본 연구와 관련된 선행연구는 다소 제한되어 있다.

이영현 외(2003)는 대전광역시 지하철 도입에 따른 대전광역시 거주자의 선호의식조사(SP조사)를 실시하고 이를 분석하여 모형을 구축한 후, 도시철도의 요금 및 대기시간 변화에 따른 승용차와 버스에서 도시철도로의 전환수요를 분석하였다. 그러나 이 연구에서는 전환수요 자체를 종속변수로 하지 않고, 교통수단 선택을 분석하기 위한 로짓모형(logit model)을 추정 한 후, 지하철 요금과 대기시간 변화에 따른 교통수단 분담율의 변화를 예측하였다.

조응래 외(2008)는 광역철도 개통이 주변 교통체계에 미치는 영향을 중앙선 광역철도 사례를 중심으로 수송수요 측면에서 실증적으로 분석하였다. 실증적인 분석은 통계자료(2차 자료) 분석과 설문조사(통행실태) 분석을 병행하여 이루어졌으며, 이 두 가지 분석 결과를 비교하였다. 그러나 대중교통 수요변화의 요인에 대해서는 분석하지 않았다.

정병두 외(2009)는 기존의 철도 서비스 이외에 광역철도(급행철도) 서비스가 추가될 경우, 타 교통수단으로부터의 전환 여부와 열차이용 패턴이 어떻게 변화할 것인지에 대한 평가를 목적으로 SP자료와 전환가격(TP: Transfer Price)자료를 활용하여 로짓모형을 추정하였다. 모형 추정결과 광역철도의 통행시간이 승용차에서 광역철도로의 전환수요에 중요한 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

윤대식 외(2011a)는 대구 도시철도 경산시 연장에 따른 통행자(경산시민)들의 교통수단 변화를 RP/SP자료를 이용하여 통행목적 및 목적지별로 분석하였다. 또한 교통수단 변화 여부에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위하여 로짓모형을 추정하였다. 모형 추정결과를 보면, 통근통행의 경우 연령과 거주지가 교통수단 변화에 영향을 미치는 요인으로 확인되었고, 비통근통행의 경우 연령, 직업, 자가용 소유 여부, 거주지가 교통수단 변화에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

윤대식 외(2011b)는 대구 도시철도 경산시 연장에 따른 통행자(경산시민)들의 교통수단 변화를 RP/SP자료를 이용하여 통행목적에 따라 분석하였는데, 종속변수를 단순히 교통수단 변화 여부로 표현한 윤대식 외(2011a)의 연구와는 달리 종속변수를 도시철도로의 전환 여부로 명시하였고, 통행시간과 통행비용의 절약을 설명변수로 포함하여 자료를 구축하고 로짓모형을 추정하였다. 모형 추정결과를 보면, 통근통행의 경우 자가용 소유 여부, 거주지, 직장소재지, 통행시간 절약이 도시철도 전환 여부에 영향을 미치는 요인으로 확인되었고, 비통근통행의 경우 직업과 통행시간 절약이 도시철도 전환 여부에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

그 외 새로운 교통수단 도입으로 인한 통행행태의 변화를 예측한 연구는 박용화 외(2004), 윤대식 외(2005), 김익희 외(2007), 임삼진 외(2008), 김진희 외(2010)의 연구가 있다. 그러나 이들 연구들은 모두 지역(도시)간 통행을 위한 교통수단이나 도시내 수상대중교통 도입에 따른 파급효과분석을 주 내용으로 하였다.

국외연구로는 Knowles(1996)가 영국 맨체스터 대도시권에서 새로운 경전철(right rail) 시스템의 도입 전과 후의 교통수단 분담을 설문조사자료를 이용해 분석하였으나, 변화의 요인을 분석하지는 않았다.

Dueker 외(1999)는 포틀랜드시에서 경전철의 도입 후 10년 사이에 나타난 여러 가지 변화를 분석하면서 대중교통 분담율의 변화를 분석하였으나, 변화의 요인을 분석하지는 않았다.

Golias(2002)는 아테네에서 2개의 도시철도 노선이 추가적으로 도입됨에 따른 교통수단 변화를 분석하기 위해 설문조사를 통해 RP자료를 획득하고 교통수단 선택의 로짓모형을 추정하였으나, 구체적으로 전환수요를 분석하지는 않았다.

Fujii 외(2003)는 교토에서 새로운 도시철도 노선이 도입되기 전과 후에 통행자들로부터 수집된 패널자료를 이용해 새로운 도시철도 노선의 도입으로 인한 교통수단 변화를 분석하였으나, 그 요인을 분석하지는 않았다. 아울러 SP조사의 결과가 종종 실제행동(actual behavior)과 일치하지 않는 원인이 무엇인지 논의하였다.

Vuk(2005)는 2002년 가을에 1단계 개통된 코펜하겐 도시철도의 개통 전과 후의 설문조사 및 교통량 조사 자료(집계자료)를 이용하여 코펜하겐 도시철도의 다양한 파급효과를 분석하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 도시철도 연장에 따른 도시철도 전환수요를 분석한 대부분의 연구는 시민들과 직장인들을 대상으로 한 통근통행 및 비통근통행에 대한 연구가 주종을 이루고 있다. 그러나 새로운 교통수단의 도입에 따른 대학생들의 통학통행을 위한 교통수단 변화에 대한 연구는 거의 이루어지지 못하였다.

한편 대부분의 국내의 선행연구들은 새로운 교통수

단의 도입에 따른 통행행태 변화를 분석하면서 개통 전 SP자료 혹은 개통 후 RP자료 가운데 하나만을 활용하였다. 그러나 본 연구는 개통 전 SP자료와 개통 후 RP자료를 별도로 수집하여 분석하고, 그 결과를 비교하였다. 이러한 분석을 통해 SP모형과 RP모형의 차이점과 유용성, 그리고 한계를 확인하고자 하였다.

3. 조사의 개요 및 표본의 특성

1) 조사의 개요

본 연구를 위한 조사는 도시철도 연장 개통 전인 2011년 3월부터 5월까지와 연장 개통 후인 2013년 4월부터 6월까지 총 두 번에 걸쳐 영남대학교 학생들을 대상으로 설문조사 형태로 실시되었다. 본 연구에서는 대구광역시에 거주하면서 경산시에 위치한 영남대학교로 통학하는 대학생들을 분석대상으로 하였다.

설문조사는 2011년(SP조사)의 경우 현재 이용교통수단과 도시철도 연장 개통 후 이용교통수단에 대한 선택을 하도록 하였으며, 2013년(RP조사)의 경우 도시철도 연장 개통 전 이용교통수단과 연장 개통 후 이용교통수단에 대한 선택을 하도록 하였다. 아울러 각각의 경우 통행시간, 통행비용, 환승횟수에 대해서도 구체적으로 응답하도록 하여 자료를 수집하였다. 아울러 설문조사 항목에는 설문대상자들의 사회경제적 특성(성별, 거주지, 승용차 소유 여부 등)이 포함되었다.

설문조사는 대구(출발지)-영남대학교(목적지) 간 통학통행자를 대상으로 이루어졌다. 도시철도 연장 개통 전(2011년)과 도시철도 연장 개통 후(2013년)에 이루어진 설문조사는 목적에 맞게 표본을 추출하였고, 분석에 사용된 표본수는 각각 349개이다.

2) 표본의 특성

표본의 특성은 <표 1>과 같다. 2011년의 성별은 남성이 60.17%, 여성이 39.83%로 나타났고, 2013년의 성별은 남성이 56.16%, 여성이 43.84%로 나타났다. 2011년의 거주지(도시철도 통과 여부)는 도시철도가 통과하는 동(洞)지역이 51.86%, 도시철도가 통과하

〈표 1〉 설문대상자의 사회경제적 특성

(단위: 명, %)

구분		빈도	
		2011년	2013년
성별	남	210(60.17)	196(56.16)
	여	139(39.83)	153(43.84)
거주지 (도시 철도 통과 여부)	도시철도가 통과하는 동지역	181(51.86)	206(59.03)
	도시철도가 통과하지 않는 동지역	168(48.14)	143(40.97)
승용차 소유 여부	소유	29(8.31)	35(10.03)
	비소유	320(91.69)	314(89.97)
계		349(100.00)	349(100.00)

지 않는 동지역이 48.14%로 나타났고, 2013년의 거주지(도시철도 통과 여부)는 도시철도가 통과하는 동지역이 59.03%, 도시철도가 통과하지 않는 동지역이 40.97%로 나타났다. 2011년의 승용차 소유 여부는 소유 8.31%, 비소유 91.69%로 나타났고, 2013년의 승용차 소유 여부는 소유 10.03%, 비소유 89.97%로 나타났다. 여기서 승용차 소유의 의미는 가족 소유가 아닌 본인 소유의 승용차에 국한된다.

본 연구를 위해 수집한 2011년 설문대상자와 2013년의 설문대상자가 서로 다르기 때문에 두 모집단의 특성들이 동일한지(동질적인지) 여부를 검정할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 범주형 자료의 동질성 검정(tests of homogeneity)을 실시하였다. 이를 위한 검정통계량은 카이제곱 통계량(chi-square statistic)이 사용되며, 다음과 같이 계산된다(김우철 외 8인, 2000, p. 338).

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

단, χ^2 = 카이제곱 통계량

O_i = 관측도수(실제로 관측된 값)

E_i = 기대도수(귀무가설이 사실일 경우에 기대되는 값)

이렇게 계산된 χ^2 통계량 값을 유의수준 α 와 자유도

〈표 2〉 2011년과 2013년 설문대상자의 사회경제적 특성들의 동질성 여부

구분	동질성 여부
성별	동일($\chi^2=1.154$)
거주지(도시철도 통과 여부)	동일($\chi^2=3.625$)
승용차 소유 여부	동일($\chi^2=0.619$)

K(비교하는 모비율 개수-1)를 적용하여 카이제곱 분포표에서 찾은 χ^2 값과 비교하여 ' $H_0: p_1 = p_2$ '(2011년도와 2013년도 모집단의 특성이 같음)이라는 귀무가설의 기각 여부를 판정하게 되는데, 만약 계산된 χ^2 통계량값이 카이제곱 분포표에서 찾은 χ^2 값보다 작으면 귀무가설을 기각하지 못하여 두 모집단의 특성(모비율)이 동일하다고 할 수 있다.

본 연구를 위해 수집된 2011년(SP자료)과 2013년(RP자료) 설문대상자의 사회경제적 특성들의 동질성 검정 결과는 〈표 2〉와 같다. 〈표 2〉의 계산된 χ^2 값을 보면 유의수준 5%에서 χ^2 값의 임계치(3.84146)보다 모두 작은 값을 보여 ' $H_0: p_1 = p_2$ '(2011년도와 2013년도 모집단의 특성이 같음)이라는 귀무가설을 기각시키지 못하고, 2011년(SP자료)과 2013년(RP자료) 설문대상자의 사회경제적 특성들은 모두 통계적으로 동일한 것으로 확인된다. 즉 성별, 거주지(도시철도 통과 여부), 승용차 소유 여부 모두 통계적으로 동일한 것으로 볼 수 있다.

4. 대구 도시철도 경산 연장에 따른 도시철도 전환수요 분석

〈표 3〉은 교통수단별로 도시철도로의 전환 여부를 나타낸 것이다. 현재 교통수단은 마지막 이용교통수단을 기준으로 하여 버스, 스쿨버스, 승용차, 기타로 구분하였다. 2011년 설문조사에서 도시철도 연장 후 도시철도로 전환하겠다는 응답은 전체 349명 중 244명(69.91%)으로 나타났고, 도시철도가 연장된 후인 2013년에 실제로 도시철도로 전환한 학생 수는 246명(70.49%)으로 나타났다. 교통수단별로 살펴보면 2011

〈표 3〉 교통수단별 도시철도 전환 여부

(단위: 명, %)

구분	기존 교통수단 이용		도시철도로 전환		계	
	2011년	2013년	2011년	2013년	2011년	2013년
버스	61 (53.04)	49 (36.30)	54 (46.96)	86 (63.70)	115 (100.0)	135 (100.0)
스쿨 버스	26 (12.21)	42 (21.00)	187 (87.79)	158 (79.00)	213 (100.0)	200 (100.0)
승용차	18 (85.71)	12 (85.71)	3 (14.29)	2 (14.29)	21 (100.0)	14 (100.0)
계	105 (30.09)	103 (29.51)	244 (69.91)	246 (70.49)	349 (100.0)	349 (100.0)

년에 도시철도 연장 후 전환하겠다는 응답은 버스가 115명 중 54명(46.96%), 스쿨버스가 213명 중 187명(87.79%), 승용차가 21명 중 3명(14.29%)으로 나타났고, 도시철도가 연장된 후 2013년에 실제로 도시철도로 전환한 학생 수는 버스가 135명 중 86명(63.70%), 스쿨버스가 200명 중 158명(79.00%), 승용차가 14명 중 2명(14.29%)으로 나타났다. 대구 도시철도 연장 개통 전 스쿨버스 서비스가 대구 사월역~영남대학교 구간(3.3km)에서 제공된 후, 연장 개통 후 스쿨버스 서비스가 폐지된 것을 감안하면 스쿨버스 이용자의 도시철도 전환율이 가장 높은 것은 필연적인 결과로 볼 수 있다.

2011년과 2013년을 비교해 보면 버스 이용자는 SP 자료인 2011년보다 2013년 실제로는 더 많은 이용자가 도시철도로 전환하였고, 스쿨버스 이용자는 2013년에 실제로 도시철도로 전환한 이용자의 수가 더 적었음을 알 수 있다. 그리고 2011년과 2013년 공히 승용차 이용자의 전환율이 비슷한 비율로 낮게 나타났는데, 이는 승용차 이용자의 경우 대중교통으로 쉽게 전환하지 않는다는 사실을 보여주는 결과이다.

5. 대구 도시철도 경산 연장에 따른 도시철도 전환수요의 로짓모형 추정

1) 분석모형 및 변수

본 연구에서 대구 도시철도 경산 연장에 따른 도시철도 전환수요의 로짓모형 추정을 위해 '기존 교통수단 이용'(대안1)과 '도시철도로 전환'(대안2)의 두 가지 대안을 가지는 이항로짓모형을 구축하였다.

'기존 교통수단 이용'(대안1)은 도시철도 연장 개통 후에도 교통수단 선택의 변화가 없는 것을 나타낸 것이고, '도시철도로 전환'(대안2)은 도시철도 연장 개통 후 환승을 포함하여 도시철도를 이용하는 것을 나타낸다. 이처럼 도시철도로의 전환 여부 자체를 종속변수로 설정한 이유는 대학생들의 도시철도 전환수요에 영향을 미치는 요인이 무엇인지를 확인하기 위한 것이다.

본 연구에서는 도시철도 연장 개통 후 도시철도로의 전환 여부에 영향을 줄 것으로 예상되는 다양한 사회경제적 특성, 즉 성별, 거주지, 도시철도역(영남대역)에서 소속대학(단과대학)까지의 소요시간, 승용차 소유 여부 등으로 구분하여 설명변수로 포함하였다. 그리고 통행시간 절약과 통행비용 절약, 환승횟수 감소를 설명변수로 포함하였는데, SP자료(2011년)의 경우 통행시간 절약과 통행비용 절약, 환승횟수 감소는 현재 교통수단을 선택했을 때 소요되는 시간과 비용, 환승횟수에서 향후 도시철도로 전환하였을 때 소요되는 시간과 비용, 환승횟수를 뺀 값이다. 한편 RP자료(2013년)의 경우는 도시철도 연장 개통 이전 소요된 통행시간, 통행비용, 환승횟수에서 연장 개통 이후 도시철도로 전환하였을 때 소요되는 시간과 비용, 환승횟수를 뺀 값이다.

로짓모형에서 어떤 개인 n 이 대안 i 를 선택할 확률 $P_n(i)$ 는 아래 식으로 주어지며, 여기서 나타낸 로짓선택확률의 계산공식은 선택할 수 있는 대안의 수가 J 개인 경우를 나타낸다(윤대식, 2001, p. 237).

$$P_n(i) = \text{Prob}(U_{in} \geq U_{jn}, \forall j \in C_n)$$

$$= \frac{e^{V_n}}{\sum_{j=1}^J e^{V_j}}$$

단, $P_n(i)$ = 개인 n 이 대안 i 를 선택할 확률
 U_{in} = 개인 n 을 위한 대안 i 의 총 효용(total utility)
 V_{in} = 개인 n 을 위한 대안 i 의 결정적 효용(deterministic utility)
 C_n = 개인 n 이 선택할 수 있는 대안들의 집합(choice set)

모든 설명변수는 대안 특유의 변수(alternative-specific variables) 형태로 모형에 포함되었다. 일반적으로 교통수단 선택모형에서는 통행시간과 통행비용, 환승 횟수는 일반적 변수(generic variable)로 나타내는 것이 보통이나, 본 연구에서는 도시철도 전환수요 분석이 목적이므로 통행시간 절약과 통행비용 절약, 환승 횟수 감소가 도시철도로의 전환 여부에 미치는 영향을 확인하기 위하여 대안 특유의 변수 형태로 모형을 구축하였다. 아울러 결정적 효용(deterministic utility)의 함수형태(functional form)는 선형함수(linear func-

〈표 4〉 변수설명

종속 변수	도시철도 전환 여부	대안1: 기존 교통수단 이용 대안2: 도시철도로 전환
	성별(대안1)	남성 = 1, 여성 = 0
설명 변수	거주지(대안1)	도시철도가 통과하는 동지역 = 1 도시철도가 통과하지 않는 동지역 = 0
	도시철도역(영남대역)에서 소속대학까지의 소요시간(대안1)	통행시간(분)
	승용차 소유 여부(대안1)	소유 = 1, 비소유 = 0
	통행시간 절약(대안2)	비전환시 통행시간 - 전환시 통행시간
	통행비용 절약(대안2)	비전환시 통행비용 - 전환시 통행비용
	환승횟수 감소(대안2)	비전환시 환승횟수 - 전환시 환승횟수

주: 모든 설명변수는 괄호 속에 나타난 대안에 대한 대안 특유의 변수(alternative-specific variables)로 모형이 구축되었음.

〈표 5〉 양적 설명변수의 기술통계량

설명변수	2011년(SP자료)		2013년(RP자료)	
	평균	표준편차	평균	표준편차
도시철도역(영남대역)에서 소속대학까지의 소요시간(분)	11.13	2.884	11.28	2.458
통행시간 절약(분)	13.01	10.428	8.23	10.676
통행비용 절약(원)	14.76	530.063	-10.03	618.338
환승횟수 감소(회)	0.44	0.607	0.34	0.968

tion)로 모형을 추정하였다.

〈표 4〉에서 보는 바와 같이 거주지의 경우 도시철도가 통과하는 동(洞)지역과 도시철도가 통과하지 않는 동지역으로 구분하였는데, 이는 거주지와 도시철도역과의 인접성이 도시철도로의 전환 여부에 실제로 영향을 미치는가를 확인하기 위해서이다. 그리고 승용차 소유 여부는 가족소유가 아닌 개인소유의 차량 유무를 나타낸다.

〈표 5〉는 설명변수들 가운데 질적 변수들(qualitative variables)을 제외한 양적(quantitative) 설명변수들의 기술통계량(descriptive statistics)을 나타낸다. 2013년(RP자료) 통행비용 절약의 평균값이 (-)값을 보이는 것은 〈표 3〉에서 보는 바와 같이 다수의 스쿨버스 이용자가 도시철도로 전환함에 따른 결과로 판단된다.

2) 모형의 계수 추정결과

SP자료(2011년)와 RP자료(2013년)를 활용하여 도시철도 전환수요의 로짓모형을 추정한 결과는 〈표 6〉과 같다. 모형1은 〈표 4〉에 나타난 후보 설명변수들을 모두 포함한 것이고, 모형2는 통계적 유의성이 없는 변수들을 삭제한 것이다. 〈표 6〉의 SP모형(2011년 자료)에서 모형2의 경우 통계적으로 유의성이 없는 성별과 통행비용 절약 변수를 삭제하지 않은 이유는 그 두 변수를 삭제함으로써 다른 변수들에 좋지 않은 영향을 미치기 때문이다. 즉 모형2는 가장 많은 설명변수들이 통계적으로 유의한 모형을 찾은 결과이다.

SP모형(2011년 자료)의 계수 추정결과 유의수준

〈표 6〉 도시철도 전환수요의 로짓모형 추정결과

설명변수	SP모형(2011년 자료)		RP모형(2013년 자료)	
	모형1	모형2	모형1	모형2
	추정계수값(t-값)	추정계수값(t-값)	추정계수값(t-값)	추정계수값(t-값)
성별(대안1)	0.2907 (0.769)	0.2926 (0.775)	-0.4224 (-1.511)	-
거주지(대안1)	-0.0379 (-0.104)	-	-1.8873 (-6.005)	-1.9108 (-6.198)*
도시철도역(영남대역)에서 소속대학까지의 소요시간(대안1)	-0.1058 (-1.654)	-0.1056 (-1.652)*	-0.0926 (-1.656)	-0.1121 (-2.069)*
승용차 소유 여부(대안1)	1.3039 (1.992)	1.3016 (1.991)*	0.8284 (1.853)	0.7533 (1.772)*
통행시간 절약(대안2)	0.1960 (8.191)	0.1956 (8.277)*	-0.0069 (-0.548)	-
통행비용 절약(대안2)	0.0008 (1.396)	0.0008 (1.402)	-0.0026 (-1.177)	-
환승횟수 감소(대안2)	0.7414 (2.186)	0.7417 (2.231)*	0.5094 (2.376)	0.4176 (2.017)*
상수(대안1)	2.1579 (2.754)	2.1300 (2.897)*	1.1365 (1.756)	1.1919 (1.881)*
$L(\hat{\beta})$	-108.6548	-108.6602	-168.5569	-173.2777
$L(0)$	-241.9084	-241.9084	-241.9084	-241.9084
ρ^2	0.55084	0.55082	0.30322	0.28371

주: 1) 대안1은 '기존 교통수단 이용', 대안2는 '도시철도로 전환'을 나타냄.

2) 모든 설명변수는 괄호 속에 나타난 대안에 대한 대안특유의 변수(alternative-specific variables)로 모형이 구축되었음.

3) *는 유의수준 10% 이상(5% 포함)에서 유의한 변수임.

10%에서 도시철도역(영남대역)에서 소속대학까지의 소요시간, 승용차 소유 여부, 통행시간 절약, 환승횟수 감소가 통계적으로 유의한 변수로 분석되었다. 한편 RP모형(2013년 자료)의 계수 추정결과는 유의수준 10%에서 거주지(도시철도 통과 동지역 여부), 도시철도역(영남대역)에서 소속대학까지의 소요시간, 승용차 소유 여부, 환승횟수 감소가 통계적으로 유의한 변수임을 보여준다.

아울러 SP모형(2011년 자료)에서는 통행시간 절약 변수가 가장 통계적 유의성이 높은 변수로 포함된 반면, RP모형(2013년 자료)에서는 통행시간 절약 변수가 통계적 유의성이 없고 SP모형(2011년 자료)에서 통계적 유의성이 없었던 거주지(도시철도 통과 동지역 여부) 변수가 가장 통계적 유의성이 높은 것으로 확인되었다. 이러한 SP모형과 RP모형의 계수 추정결과로부터 도시철도가 연장 개통되기 전에는 통행시간 절약을 도시철도 전환수요를 결정하는 가장 중요한 변수로 대학생들이 생각했던 반면, 실제 도시철도가 연장 개통된 후에는 거주지 주변 도시철도 통과 여부(도시철도 통과 동지역 여부)가 도시철도 전환수요에 결

정적인 영향을 미친 것으로 해석할 수 있다.

변수별로 SP자료(2011년)와 RP자료(2013년)를 활용한 로짓모형 추정결과를 살펴보면, 성별은 SP모형과 RP모형 모두에서 통계적 유의성이 없는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 본 연구의 분석대상인 대학생들의 경우 성별이 도시철도 전환 여부에 특별히 의미 있는 영향을 미치지 않음으로 인해 성별 구분의 의미가 없음을 보여준다. 이는 대학생들의 경우 일반 기성세대와는 달리 성별에 따른 교통수단 선택행태의 차이가 거의 없기 때문이다.

거주지(도시철도 통과 동지역 여부) 변수의 경우 SP모형(2011년 자료)에서는 통계적 유의성이 없는 반면에 RP모형(2013년 자료)에서는 통계적 유의성이 가장 높은 것으로 확인되었다. 따라서 통행자(대학생)들의 도시철도 전환 여부에 실질적으로 가장 큰 영향을 미치는 변수는 거주지 주변 도시철도 통과 여부라고 볼 수 있다.

도시철도역(영남대역)에서 소속대학까지의 소요시간 변수는 SP모형(2011년 자료)과 RP모형(2013년 자료) 모두에서 (-)값을 가지고, 각각 유의수준 10%(SP

모형)와 5%(RP모형)에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 따라서 도시철도역에서 최종 통행목적지까지의 통행 소요시간이 오래 걸릴수록 도시철도 전환 수요가 증가함을 알 수 있으며, 특히 RP모형(2013년 자료)에서 그러한 경향이 더 뚜렷함을 추정계수값과 t-값으로 확인할 수 있다.

승용차 소유 여부는 SP모형(2011년 자료)과 RP모형(2013년 자료) 모두에서 (+)값을 가지고, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이는 승용차 소유자일수록 도시철도로 전환하지 않음을 보여준다. 대구-경산 구간의 도로교통체계가 승용차를 이용하기에 편리하게 구축되어 있고, 도로교통 소통이 비교적 원활하므로 승용차를 이용하더라도 통행시간이 오래 걸리지 않기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 승용차 이용자의 경우 단시간에 편리하게 통행할 수 있는 승용차를 포기하고 다른 교통수단으로 쉽게 전환하지 않음을 알 수 있다. 그리고 그러한 경향은 RP모형보다는 SP모형에서 상대적으로 더 뚜렷한 것을 추정계수값과 t-값으로 확인할 수 있다.

통행시간 절약 변수는 SP모형(2011년 자료)에서는 (+)값을 가지고, 통계적 유의성이 높은 것으로 나타났다. 반면에 RP모형(2013년 자료)에서는 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다. 이러한 분석결과로부터 통행자들이 원래는 통행시간 절약을 가장 중요하게 고려하여 도시철도 전환 여부를 결정하려고 하지만, 실제의 행동은 다르게 나타나는 것을 알 수 있다.

통행비용 절약 변수는 SP모형(2011년 자료)과 RP모형(2013년 자료) 모두에서 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다. 이는 현재 대구-경산 간 대중교통(버스, 도시철도)의 경우 무료환승제를 시행하고 있어 대구 도시철도의 연장 개통 이전에 대중교통수단으로 통학하는 대학생들이 도시철도 연장 개통 후에도 비용의 차이를 거의 느끼지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

환승횟수 감소 변수는 SP모형(2011년 자료)과 RP모형(2013년 자료) 모두에서 (+) 계수값을 가지고, 두 모형 공히 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이는 환승횟수가 감소할수록 도시철도로 많이 전환할 의사가 있을 것임(SP모형)은 물론이

고, 실제로도 전환하였음(RP모형)을 보여준다. 도시철도 연장 개통 전에는 영남대학교까지 통학하기 위한 도시철도 이용자들은 버스나 스쿨버스로 환승을 해야 접근이 가능하였지만, 도시철도가 영남대학교까지 연장 개통된 후에는 별다른 환승 없이 접근이 가능하기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

대안 특유의 터미 상수의 경우 SP모형(2011년 자료)과 RP모형(2013년 자료) 모두에서 추정계수는 (+)값을 가지고 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 일반적으로 대안 특유의 터미 상수는 각 대안의 표현되지 않은(unspecified) 특성들이 개인의 선택에 미치는 영향을 파악하기 위해 사용되는데, 모형의 추정결과를 보면 모형의 설명변수로 포함되지 않은 특성들이 도시철도로 전환하지 않는데 (+)의 영향을 미치는 경향이 있음을 보여준다.

모형의 적합도를 나타내는 우도비(ρ^2)는 SP모형(2011년 자료)의 경우 0.55082, 그리고 RP모형(2013년 자료)의 경우 0.28371로 상당히 높은 값이 나타났다. 일반적으로 우도비가 0.2~0.4 사이의 값만 가지더라도 좋은 모형이라 할 수 있는데(윤대식, 2001, p. 260), 그러한 의미에서 본 연구에서 추정된 SP모형과 RP모형 모두 매우 좋은 적합도를 가진다고 할 수 있다.

6. 결론

1) 연구결과의 요약과 정책적 시사점

본 연구의 분석결과와 정책적 시사점을 요약하면 다음과 같다.

첫째, SP자료(2011년)와 RP자료(2013년)의 교통수단별 도시철도 전환율을 분석한 결과 승용차 이용자보다 버스(스쿨버스 포함) 이용자의 도시철도 전환율이 높게 나타났다. 따라서 도시철도 도입에 따라 전환율이 낮게 나타난 승용차 통행자를 중심으로 도시철도도로의 전환율을 높일 수 있는 다양한 방안을 검토해야 할 필요성이 있다. 예컨대 대학에서 무료주차장을 억제하고 유료주차장만을 제공하거나, 학생차량의 대학

구내 진입규제, 학생들의 대중교통 이용 시 인센티브 제공 등의 방안이 검토될 수 있을 것이다.

둘째, SP모형(2011년 자료)의 계수 추정결과 유의 수준 10%에서 도시철도역(영남대역)에서 소속대학까지의 소요시간, 승용차 소유 여부, 통행시간 절약, 환승횟수 감소가 통계적으로 유의한 변수로 분석되었다. 한편 RP모형(2013년 자료)의 계수 추정결과는 유의수준 10%에서 거주지(도시철도 통과 동지역 여부), 도시철도역(영남대역)에서 소속대학까지의 소요시간, 승용차 소유 여부, 환승횟수 감소가 통계적으로 유의한 변수임을 보여준다. 따라서 SP모형(2011년 자료)에서는 통행시간 절약 변수가 가장 통계적 유의성이 높은 변수로 포함된 반면, RP모형(2013년 자료)에서는 통행시간 절약 변수가 통계적 유의성이 없고 SP모형(2011년 자료)에서 통계적 유의성이 없었던 거주지(도시철도 통과 동지역 여부) 변수가 가장 통계적 유의성이 높은 것으로 확인되었다. 이러한 SP모형(2011년 자료)과 RP모형(2013년 자료)의 계수 추정결과로부터 도시철도가 연장 개통되기 전에는 통행시간 절약을 도시철도 전환수요를 결정하는 가장 중요한 변수로 대학생들이 생각했던 반면, 실제 도시철도가 연장 개통된 후에는 거주지 주변 도시철도 통과 여부(도시철도 통과 동지역 여부)가 도시철도 전환수요에 결정적인 영향을 미친 것을 확인할 수 있다. 따라서 도시철도의 이용률을 높이기 위해서는 거주지에서 도시철도역까지 접근성을 향상시킬 수 있는 다양한 방안이 검토되어야 할 것이다. 예컨대 편리한 연계교통(지선교통)수단을 확충하는 방안이나, 굴곡도가 심한 버스의 노선조정을 통하여 도시철도역까지의 접근시간을 줄일 수 있는 방안 등이 검토될 수 있을 것이다. 또한 RP모형(2013년 자료)의 추정결과를 보면 도시철도로의 전환율을 높이기 위해서는 환승횟수를 줄일 수 있는 대안이나 환승의 불편을 획기적으로 줄일 수 있는 대안의 마련이 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 본 연구의 SP모형(2011년 자료)과 RP모형(2013년 자료)의 추정결과를 보면 두 모형의 차이점을 발견할 수 있다. 일반적으로 SP모형은 가상의 상황에서 조사된 개인의 반응이나 태도를 바탕으로 모형을

추정한 것이고, RP모형은 실제 상황에서 나타난 행동을 바탕으로 모형을 추정한 것이다. 따라서 본 연구의 모형 추정결과를 보면 SP모형을 활용해서 도시철도 전환수요를 예측할 경우 다소 한계가 있음을 알 수 있는 만큼, 이러한 한계를 감안하여 SP모형을 활용하여야 함을 알 수 있다. 아울러 더욱 정교한 SP모형을 추정하는 노력이 자료 수집단계에서부터 있어야 함을 알 수 있다.

2) 연구의 한계와 향후과제

본 연구의 한계와 향후과제를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 대구 도시철도 경산 연장에 따른 대구-경산 간 대학생 통학통행의 분석대상을 영남대학교 학생에 한정함으로써 10개 이상의 대학이 모여 있는 경산시 전체 대학생을 고려하지 못한 한계를 가진다. 물론, 연장되는 도시철도의 직접적인 영향권에 포함된 대학교는 영남대학교 밖에 없지만, 영남대학교를 제외한 경산시 소재 다른 대학교 학생들에게도 도시철도의 경산 연장은 간접적으로 영향을 미칠 것이다. 따라서 향후에는 간접적인 영향을 받을 것으로 예상되는 경산시 소재 다른 대학교 학생들과 일반 시민들을 대상으로 하는 연구가 필요하고, 일반화된 연구결과를 도출하기 위한 꾸준한 노력이 있어야 할 것으로 판단된다. 특히 일반시민들을 대상으로 대구(출발지)-경산(목적지) 간 통근통행의 도시철도 전환수요를 분석하는 연구는 대학생들과의 통행시간 가치의 차이로 인한 통행시간 절감의 기대효과 차이를 확인하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 이러한 연구결과를 바탕으로 다양한 정책대안을 제시하는 노력도 병행되어야 한다.

둘째, 본 연구의 로짓모형 추정에 사용된 일부 설명변수의 경우 자료수집단계에서 구체적인 설문조사 미흡으로 인해 다소 정확한 영향 요인의 분석이 어려운 부분이 있다. 예컨대 거주지(집)에서 도시철도역까지의 거리가 본 연구에서 설명변수로 사용된 거주지 변수(도시철도역이 통과하는 동지역)보다 더 적절한 설명변수가 될 수 있을 것으로 본다. 그리고 버스정류장

접근성이나 스쿨버스 서비스 여부도 영향을 미칠 수 있는 변수로 볼 수 있다. 따라서 향후에는 이러한 점을 보완한 설문조사와 분석이 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 본 연구에서 SP모형(2011년 자료)과 RP모형(2013년 자료)의 추정결과에 다소 차이가 있음이 발견된 만큼, 향후 더욱 정교한 SP모형을 추정하는 노력과 SP모형의 예측력을 높이는 노력이 필요할 것으로 판단된다. 아울러 지금까지 부진했던 SP모형과 RP모형을 비교하는 연구가 다양한 방법으로 추진될 필요가 있을 것으로 판단된다. 예컨대 SP모형(2011년 자료)과 RP모형(2013년 자료)의 추정결과 차이가 단순히 자료수집 시점의 차이에 기인하는지, 아니면 SP자료의 수집을 위한 설문조사의 내용과 설문조사방법에 기인하는지 등에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

김우철 외 8인 편저, 2000, 『통계학 개론』, 최신 개정판, 서울: 영지문화사.

김익희 · 김영진, 2007, 경부선(KTX) 직결운행 도입 효과에 관한 연구, 『대한교통학회지』, Vol. 25, No. 5, pp. 91-100.

김진희 · 정진혁 · 손기민, 2010, 잠재변수를 이용한 RP/SP 결합모형에 관한 연구, 『대한교통학회지』, Vol. 28, No. 4, pp. 119-128.

박용화 · 김연명 · 오성열, 2004, 고속철도 개통으로 인한 항공수요 변화에 대한 추정, 『대한교통학회지』, Vol. 22, No. 6, pp. 47-54.

윤대식, 2001, 『교통수요분석』, 서울: 박영사.

윤대식 · 박준호, 2011a, 대구 도시철도 경산시 연장에 따른 통행수단 변화 분석, 『지역연구』, Vol. 27, No. 2, pp. 43-62.

윤대식 · 박준호 · 유혜미, 2011b, 도시철도 연장에 따른 대도시 주변 위성도시 시민들의 도시철도 전환수요 분석, 『교통연구』, Vol. 18, No. 4, pp. 35-46.

윤대식 · 육태숙 · 윤성순, 2005, 경부 고속철도 2단계 개통 후 대구시민의 지역간 통행수단 선택행태와 전환수요 예측에 관한 연구, 『대한국토 · 도시계획학회지』, Vol. 40, No. 5, pp. 113-127.

이영헌 · 박병현 · 김명수 · 도명식, 2003, 지하철 도입에 따른 교통수단선택 모형 개발, 『2003년도 대한토목학회 정기 학술대회 발표논문집』, pp. 33-37.

임삼진 · 임강원 · 이영인 · 김경희, 2008, 저비용 항공 진입에 따른 항공과 고속철도수단 선택에 관한 연구, 『대한교통학회지』, Vol. 26, No. 4, pp. 51-61.

정병두 · 김현 · 황영기, 2009, 급행철도 도입에 따른 전환수요 분석, 『대한교통학회지』, Vol. 27, No. 3, pp. 131-140.

조응래 · 박경철 · 김집산, 2008, 광역철도 개통에 따른 대중교통 수요변화의 실증적 연구, 『대한교통학회지』, Vol. 26, No. 1, pp. 25-35.

Dueker, K. J. and Bianco, M. J., 1999, Light Rail Transit Impacts in Portland: The First Ten Years, Paper presented at the Transportation Research Board 78th Annual Meeting, January 10-14, Washington, D.C.

Fujii, S. and Gärling, T., 2003, Application of Attitude Theory for Improved Predictive Accuracy of Stated Preference Methods in Travel Demand Analysis, 『Transportation Research』, Part A, 37, pp.389-402.

Golias, J. C., 2002, Analysis of Traffic Corridor Impacts from the Introduction of the New Athens Metro System, 『Journal of Transport Geography』, 10, pp. 91-97.

Knowles, R. D., 1996, Transport Impacts of Greater Manchester's Metrolink Light Rail System, 『Journal of Transport Geography』, Vol. 4, No. 1, pp.1-14.

Vuk, G., 2005, Transport Impacts of the Copenhagen Metro, 『Journal of Transport Geography』, 13, pp. 223-233.

계재신청 2016.09.12
 심사일자 2016.09.21
 게재확정 2016.10.07
 주저자: 윤대식, 공동저자: 이찬휘