대한국토 · 도시계획학회지「국토계획」제36권1호 2001.2

대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택의 분석

Analysis of Travel Mode and Home Departure Time Choice for University Students' Commuting Trips

윤대식*
Yun, Dae-Sic

Abstract

This research develops a model of travel mode and home departure time choice for university students' commuting trips. A nested logit model was found to be an appropriate approach. Data from students of Yeungnam University, collected in 1999, were used for empirical estimation of model parameters. The empirical results confirmed several behavioral aspects associated with travel mode and home departure time choice for university students' commuting trips. The paper presents a discussion on implications that can be inferred from the empirical results. Finally, future potential research questions are also discussed.

키 워 드 · 등교통행, 통학통행, 비통근통행, 교통수단 선택, 통행시간대 선택, 네스티드 로짓모형

Ⅰ. 서론

전통적으로 교통계획 분야(특히 교통수요분석 분야)의 연구는 직장인의 통근통행(work trip)에 대한 연구가 주종을 이루었다. 이처럼 직장인의 통근통행에 대한 연구가 주종을 이루었던 이유는 통근통행이 도시교통에서 차지하는 비중이 상대적으로 크고, 비통근통행(non-work trip)이나 대학생의 통학통행의 비중이 상대적으로 작았기 때문으로 보인다. 비통근통행이나 통학통행에 대한 연구가 부진했던 이유는 전체 교통(통행) 가운데 이들 통행이로 차지하는 비중이 통근통행에 비해 상대적으작았다는 점에 1차적인 원인이 있고, 이들 비통근통행이나 통학통행이 통근통행과는 달리 모형정립(modeling)에 있어 몇 가지 어려움을 내포하고 있기 때문이다.

직장인의 통근통행은 통행발생의 시간대가 고정되어 있음에 반해 대학생의 통학통행은 통행발생의 시간대가 고정되어 있지 않다. 지금까지 대학생의 통학통행이 교통연구자들의 관심을 끌지 못했던 또 다른 이유는 대학생들의 승용차 이용이 직장인들에 비해 상대적으로 적었기 때문이다. 그러나 최근 들어 대학생들의

* 이 논문은 2000학년도 영남대학교 학술연구조성비 지원에 의한 것임.
** 영남대학교 지역개발학과 교수

승용차 이용이 계속 증가하고 있고, 대학생들의 통학통행이 도로혼잡뿐만 아니라 대학교 및 그 주변지역의 주차난을 가중시키고 있어 이에 대한 계획적인 대처가 요구되고 있다.

최근 도시교통에서 통학통행의 비중이 도시에 따라 약간의 차이가 있긴 하지만 대체로 20-40% 정도를 차지하는 현실을 감안하면 교통계획이나 교통수요분석에서 통학통행이 차지하는 중요성을 간과할 수 없는 것이 현실이다. 이러한 측면에서 볼 때 대학생의 통학통행에 대한 분석은 통학통행에 대한 교통정책수단을 강구하는데 중요한 기초자료를 제공할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대에 대한 선택을 분석하고자 하였다. 지금까지 교통수요분석에서 교통수단 선택에 대한 분석은 많이 이루어졌으나 통행시간대 선택에 대한 분석은 연구자의 관심을 끌지 못하였다. 교통수요분석에서 시간대별 교통량의 분석이 하나의 중요한 분석대상임에도 불구하고 대부분의 교통수요분석에서 분석의 중요한 대상으로 자리 잡지 못한 배경은 지금까지 통근통행이 전체 통행에서 큰 비중을 차지했고, 이들 통근통행의 경우 통행시간대가 고정되어 있었던 것과 무관하지 않은 것으로 보인다.

그러나 최근 들어 교통혼잡의 시간대별 분산이 교통시스템의 효율적 이용을 도모할 수 있다는 점을 감안하여 통행시간대 선택의 분석이 교통수요분석의 새로운 연구주제로 떠오르고 있는데, 이에 관한 선행연구로는 Mannering and Hamed(1990), De Palma, Khattak, and Gupta (1997), Bhat(1998), Yun, Lee, and Sinha(2000) 등의 연구가 있다. Mannering and Hamed(1990)는 시애틀지역 통근통행자의 퇴근통행시간대 선택행태를 다항로짓모형을 추정하여 분석하였다. De Palma, Khattak, and Gupta(1997)는 벨지움 브루셀의 통근통행자의 출근 및 퇴근 통행시간대의 선택행태를 회귀모형과 토빗(tobit)모형을 추정하여 분석하였다. Bhat(1998)는 샌프란시스코지역 쇼핑통행자의 교통수단과 통행시간대 선택행태를 다항로짓모형과 OGEV (ordered generalized extreme value)모형을 추정하여 분석하였다. Yun, Lee, and Sinha(2000)는 뉴욕지역 통근통행자의 통근통행 이전 비통근통행 발생여부와 집 출발시간대의 선택행태를 네스티드 로짓모형을 추정하여 분석하였다.

대학생의 통학통행의 경우 통행시간대의 선택 폭이 다양하다는 점을 고려하면 대학생의 등교 통행시간대 선택의 분석이 갖는 의의를 알 수 있다. 직장인의 통근통행의 경우 통행시간대의 선택이 사실상 고정되어 있음에 반해, 대학생의 통학통행의 경우 등교 통행시간대의 선택이 상대적으로 가변적이라는 점을 감안하면 대학생의 통학통행이 통행시간대 선택의 중요한 분석대상이 됨을 알 수 있다. 한편 대학생의 등교 통행시간대 선택은 이용하는 교통수단에 따라 다를 수 있다. 바로 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 교통수단 선택을 높은 단계로 하고 등교 통행시간대 선택을 낮은 단계로 하는 2단계 '나무가지 구조(tree structure)'로 표현되는 네스티드 로짓모형을 추정하고, 모형의 추정결과를 논의하였다.

II. 분석모형: 네스티드 로짓모형

본 연구에서는 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택의 분석을 위해 네스티드 로짓모형(nested logit model)을 이용하였다. 대

학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택의 상호관련성을 네스티드 로짓모형을 이용해 분석하고자 하는 것은 이들 두 가지 선택측면이 상호 관련되어 있을 것으로 판단되었기 때문이다. 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택의 상호관련성에 관한 분석은 이용하는 교통수단에 따라 통행시간대의 선택이 다를 것이라는 가설(hypothesis)에 입각한다.

네스티드 로짓모형은 표준 로짓모형(standard logit model)의 일반화된 형태로 볼 수 있으며, 바로 표준 로짓모형이 갖는 IIA(Independence from Irrelevant Alternatives: 비관련 대안으로부터의 독립성) 문제를 극복하기 위하여 개발되었다. 네스티드 로짓모형구조의 기본착상은 하나의 선택측면이 다른 선택측면과 분리되어 결정될 수 있는 계층적 구조를 가진다고 가정하는 것이다. 비록 실제로는 선택을 위한 의사결정이 동시에 이루어진다고 하더라도 네스티드 로짓모형에서는 모형구조만을 단순히 계층화시켜 표현할 뿐이며 의사결정의 순서가 꼭 계층화되어 있음을 가정하는 것은 아니다(윤대식, 윤성순, 1998, p. 321).

네스티드 로짓의 선택확률은 한계선택확률(marginal choice probability)과 조건부 선택확률(conditional choice probability)의 곱으로 표현된다. 2단계의 '나무가지 구조(tree structure)'에 의해 표현되는 네스티드 로짓모형에서 선택확률 $P_n(ij)$는 다음과 같이 계산된다.

$$P_n(ij) = P_n(j \mid i) \cdot P_n(i) \qquad (1)$$

단 $P_n(j \mid i)$ = i가 결정된 상황에서 j가 선택될 조건부 확률

$P_n(i)$ = i가 선택될 한계확률

여기서 선택된 j와 선택되지 않은 j에 관한 표본관측치의 자료를 이용하여 조건부 확률함수 $P_n(j \mid i)$의 파라메터(parameters)를 추정한다. $P_n(j \mid i)$은 미지의 파라메터의 벡터 β를 포함한다.

$$P_n(j \mid i) = e^{\beta X_{ij}} / \sum_{m=1}^{n} e^{\beta X_{im}} \qquad (2)$$

단 X_{ij} = 대안(i, j)를 위한 설명변수의 벡터

β = 파라메터

식 (2)에서 파라메터의 벡터 β가 추정되고 나면 다음과 같이 각각의 i에 대하여 inclusive value I_i가 계산된다.

$$I_i = \log \sum_{m=1}^{n} e^{\beta X_{im}} \qquad (3)$$

inclusive value(종종 logsum이라 불리기도 함) I_i는 어떤 하나의 주어진 대안 i에 속하는 대안 j의 최대효용의 기대값이다.

다음에 어떤 하나의 대안 i를 선택할 한계확률함수 $P_n(i)$는 다음과 같이 추정된다.

$$P_n(i) = e^{\alpha Y_i + (1-\sigma) I_i} / \sum_{k=1}^{1} e^{\alpha Y_k + (1-\sigma) I_k} \qquad (4)$$

단 Y_i = 대안 i를 위한 설명변수의 벡터

α, $(1-\sigma)$ = 파라메터

식 (4)에서 설명변수들의 벡터 Y_i의 파라메터 α와 inclusive value I_i의 파라메터인 $(1-\sigma)$가 추정된다. $(1-\sigma)$는 하나의 '네스트(nest)'로 묶여 있는 대안들의 유사성(즉 대안간 상호대체성)의 정도를 나타내는데, 추정된 $(1-\sigma)$의 값이 0과 1 사이에 있어야 네스티드 로짓모형구조가 유효한 것으로 볼 수 있다. 한편 $(1-\sigma)$가 1이 되면 네스티드 로짓모형은 표준 로짓모형과 같아지므로 구태여 네스티드 로짓모형을 사용할 타당성은 없다고 볼 수 있다. 즉 $(1-\sigma)$가 1과

같은 것으로 밝혀지면 단순히 표준 로짓모형을 사용해도 문제가 없으며, 표준 로짓모형을 사용한 추정계수값이 결코 편의된(biased) 추정치가 아님을 알 수 있다(윤대식, 윤성순, 1998, p. 330).

각 개인에 대한 대안의 선택확률이 관찰되지 않으므로 종속변수는 선택된 대안의 경우 1을, 그렇지 않은 대안의 경우 0의 값을 취하게 된다. 모형의 설명변수는 결정적 효용함수에 포함될 변수를 나타내며, 본 연구에서 결정적 효용함수는 '파라메터에 대해 선형(linear in parameters)'이라는 가정 아래 추정된다.

네스티드 로짓모형은 어떻게 대안들이 분류되고 계층화되는가에 따라 모형의 구조가 달라진다. 네스티드 로짓모형에서 어떤 '나무가지 구조(tree structure)'가 적절한지는 분석자의 직관적인 판단이나 사전지식에 부분적으로 의존하지만 모형의 '나무가지 구조'의 적절성 여부는 경험적 모형의 추정결과를 보고 논의가 가능하다.

본 연구에서는 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택의 행태를 2단계 나무가지 구조에 의해 표현된 네스티드 로짓모형을 이용하여 분석하였다. 본 연구에서는 대학생의 등교통행 교통수단의 선택을 높은 단계, 대학생의 등교 통행시간대 선택을 낮은 단계의 선택으로 하는 네스티드 로짓모형에 의해 표현된다고 가정한다. 교통수단의 선택대안은 버스와 승용차의 두 가지이다. 한편 통행시간대(home departure time) 선택을 위한 대안은 오전 8시 이전 출발과 오전 8시 이후 출발의 두 가지이다. 2단계에 의해 표현되는 네스티드 로짓모형 구조는 선택을 위한 조건부(conditionality)의 방향을 나타내는 것이다. 본 연구에서 이용된 네스티드 로짓모형구조는 그림1.에 나타낸 바와 같다.

네스티드 로짓모형을 포함한 모든 확률선택모형의 기본가정은 교통대안들 사이의 비교는 효용함수(utility function)를 통해 가능하다는 것이다. 따라서 통행자는 가장 큰 효용을 가져다주는 교통대안을 선택하게 된다. 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택은 대학생들의 사회경제적 특성 및 교통여건에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는 그림1.에 나타낸 모형구조를 이용하여 경험적 모형을 추정하기 위해 표 1.에 나타낸 설명변수들을 이용하였다.

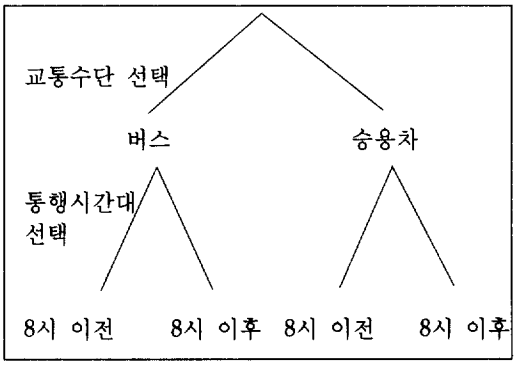

그림 1. 모형의 '나무가지 구조'

표 1. 설명변수들의 정의

변수명	변수의 정의
AGE	나이
GRADE	학년
SEX	남성=1, 여성=0
COST	통행비용(단위: 원)
DSTIME	등교소요시간(차내통행시간) (단위: 분)
JKTIME	승용차주차장에서 강의실까지의 도보시간(단위: 분)
KDTIME	버스정류장에서 강의실까지의 도보시간(단위: 분)
CONST	1 (대안 특유의 더미 상수)
LOGSUM	inclusive value

III. 자료 및 표본의 특성

1. 자료

본 연구는 1999년 8월 16일에서 20일까지 5일 동안 대구광역시에 인접하여 있는 경산시 소재 영남대학교 학생들을 대상으로 수집된 설문조사자료를 바탕으로 수행되었다. 설문지는 1,000명의 대학생들에게 배포되었으며, 회수된 설문지 가운데 도보, 자전거 등을 이용하는 학생들을 제외한 후 경험적 모형의 추정을 위해 641명의 대학생을 표본(sample)으로 포함하였다.

2. 표본의 특성

앞서 언급한 바와 같이 본 연구는 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택을 분석한다. 따라서 본 연구는 두 개의 대안들의 집합을 가지며, 각 대안들의 집합은 각기 두 가지 대안으로 구성되어 있다.

표2.는 본 연구를 위한 각 대안들의 선택빈도를 나타낸다. 표에서 보는 바와 같이 8시 이전에 등교통행을 출발하는 통행자는 전체 표본의 64.4%이며, 버스 통행자의 71.0%와 승용차 통행자의 30.1%가 8시 이전에 등교통행을 출발하는 것으로 나타났다. 따라서 버스 통행자가

표 2. 대안들의 선택빈도 (단위: 통행, %)

	8시 이전	8시 이후	계
버스	382(71.0)	156(29.0)	538(100.0)
승용차	31(30.1)	72(69.9)	103(100.0)
계	413(64.4)	228(35.6)	641(100.0)

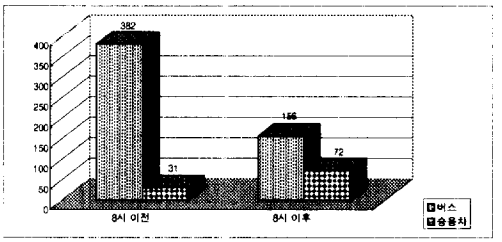

그림2. 대안들의 선택빈도

승용차 통행자보다 8시 이전에 등교통행을 상대적으로 많이 발생시키는 것을 알 수 있다. 한편 그림2.는 등교통행의 출발시간대별 교통수단의 선택빈도를 그림으로 나타낸 것이다.

표3.은 본 연구에서 사용된 설명변수들의 빈도분포를 나타낸다. 표에서 볼 수 있는 바와 같이 본 연구를 위한 표본집단은 전반적으로 우리나라 대학생들의 일반적인 특성을 보여주는 것으로 평가된다. 한편 그림3.~그림9.는 개별 설명변수들의 빈도분포를 그림으로 나타낸 것이다.

표 3. 설명변수들의 빈도분포

설명변수	빈도 (%)
AGE	
19세 이하	154(24.0)
20-22	235(36.7)
23-25	168(26.2)
26세 이상	84(13.1)
GRADE	
1학년	162(25.3)
2학년	162(25.3)
3학년	160(25.0)
4학년	157(24.5)
SEX	
남성	359(56.0)
여성	282(44.0)
COST(버스)	
1,000원 이하	447(69.7)
1,001-2,000	93(14.5)
2,001-3,000	60(9.4)
3,001원 이상	41(6.4)

COST(승용차)	
1,000원 이하	88(13.7)
1,001-2,000	111(17.3)
2,001-3,000	213(33.2)
3,001원 이상	229(35.7)
DSTIME(버스)	
20분 이하	89(13.9)
21-40	122(19.0)
41-60	232(36.2)
61-80	104(16.2)
81분 이상	94(14.7)
DSTIME(승용차)	
20분 이하	215(33.5)
21-40	259(40.4)
41-60	160(25.0)
61-80	5(0.8)
81분 이상	2(0.3)
JKTIME	
5분 이하	50(7.8)
6-10	426(66.5)
11분 이상	165(25.7)
KDTIME	
5분 이하	33(5.1)
6-10	275(42.9)
11분 이상	333(52.0)

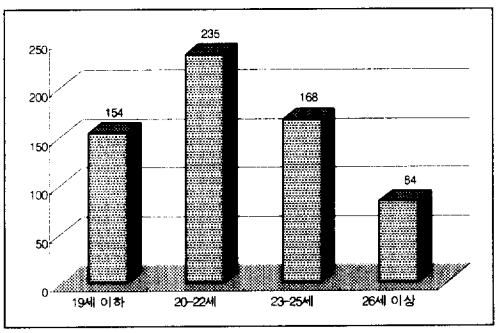

그림 3. AGE의 빈도분포

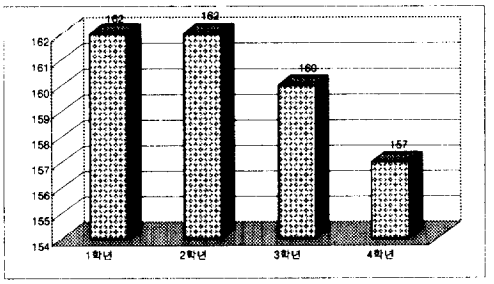

그림 4. GRADE의 빈도분포

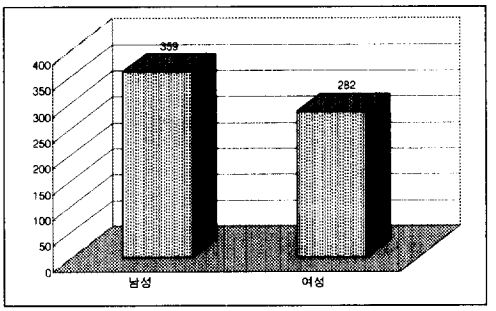

그림 5. SEX의 빈도분포

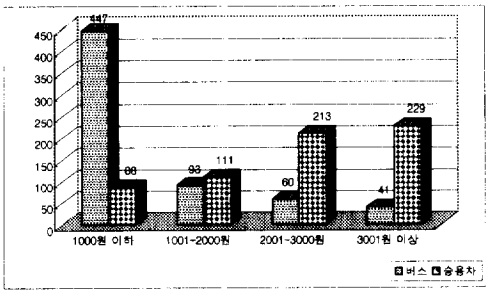

그림 6. COST의 빈도분포

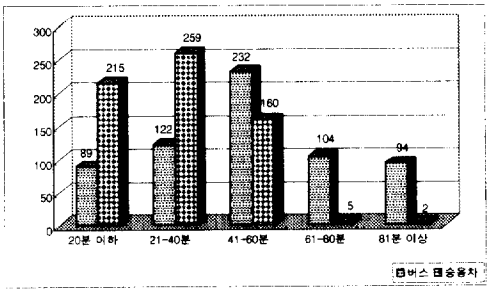

그림 7. DSTIME의 빈도분포

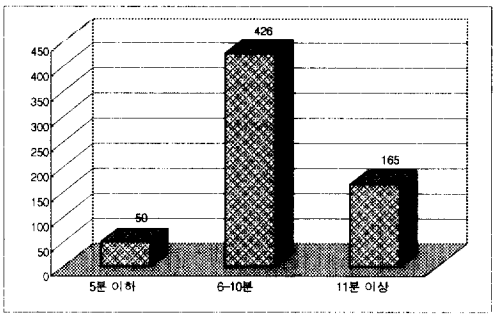

그림 8. JKTIME의 빈도분포

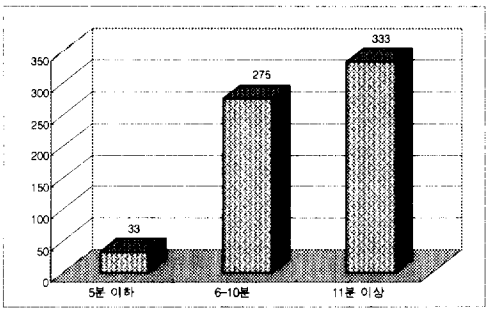

그림 9. KDTIME의 빈도분포

IV. 모형의 경험적 추정: 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택의 분석

모형의 경험적 추정을 위해서는 최우추정법(maximum likelihood method)이 이용되었으며, 본 연구에서는 Greene(1991)에 의해 개발된 *LIMDEP* Version 6.0을 이용하였다. 모형의 경험적 추정은 표1.에 나타낸 후보변수(candidate variables) 가운데 적절한 변수들의 조합을 찾아내는 경험적 탐색(empirical search)의 과정을 거쳤다. 적절한 모형을 찾기 위한 경험적 탐색은 먼저 모든 가능한 설명변수를 포함하여 경험적 모형을 추정한 후 통계적 유의성이 없는 설명변수를 제외하여 다시 경험적 모형을 추정하는 과정을 거쳤다.

네스티드 로짓모형의 추정은 '나무가지 구조'에서 낮은 단계의 네스트(nest)로부터 높은 단계의 네스트로 순차적인 추정과정(sequential estimation process)을 거친다는 점을 감안하여 먼저 모형의 낮은 단계를 위한 추정결과를 살펴보고, 다음에 높은 단계의 추정결과를 살펴보기로 한다.

1. 통행시간대 선택모형(조건부 모형)의 추정결과

표4.는 모형의 낮은 단계, 즉 통행시간대 선택모형(조건부 모형)의 추정결과를 나타낸다. 모형의 추정결과를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 학년이 높아질수록 8시 이후에 등교통행을 출발하는 경향이 있다는 사실이 경험적으로 확인된다. 이는 저학년일수록 일찍 등교통행을 출발하고 고학년일수록 늦게 등교통행을 출발하는 경향이 있음을 보여준다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (-)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다.

둘째, 남학생은 여학생에 비해 8시 이전에 등교통행을 출발하는 경향이 있다는 사실이 경험적으로 확인된다. 남학생이 여학생에 비해 상대적으로 일찍 등교통행을 출발하는 것은 남학생들의 경우 취업준비 등을 위해 상대적으로 많은 시간을 학교에서 보내기 때문으로 보인다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (+)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다.

셋째, 등교소요시간(차내통행시간)이 오래 걸릴수록 8시 이전에 등교통행을 출발하는 경향이 있다는 사실이 경험적으로 확인된다. 이는 학교로부터 멀리 떨어져 사는 학생들이 상대적

으로 일찍 집에서 출발하는 경향이 있음을 보여준다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (+)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다.

넷째, 대학교내 승용차주차장에서 강의실까지의 도보시간이 오래 걸릴수록 8시 이전에 등교통행을 출발하는 경향이 있다는 사실이 경험적으로 확인된다. 앞서 살펴본 등교소요시간 외에도 승용차주차장에서 최종목적지인 강의실까지의 도보접근시간이 통행시간대 선택에 중요한 영향을 미친다는 사실이 확인된다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (+)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다.

다섯째, 버스정류장에서 강의실까지의 도보시간이 오래 걸릴수록 8시 이전에 등교통행을 출발하는 경향이 있다는 사실이 경험적으로 확인된다. 앞서 살펴본 승용차주차장에서 강의실까지의 도보시간의 경우와 마찬가지로 버스정류장에서 최종목적지인 강의실까지의 도보접근시간이 통행시간대 선택에 영향을 미친다는 사실이 확인된다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (+)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 1.940으로 다른 변수들의 t-통계치보다 다소 작은 값을 가지기는 하지만 어느 정도 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다.

여섯째, 대안 특유의 더미 상수의 추정계수는 (-)의 부호를 가지고 t-통계치의 값이 통계적 유의성이 있음을 보여준다. 일반적으로 대안 특유의 더미 상수는 각 대안의 표현되지 않은(unspecified) 특성들이 개인의 선택에 미치는 영향을 파악하기 위해 사용되는데, 모형의 추정결과를 보면 모형의 설명변수로 포함되지 않은 특성들이 대체로 8시 이후에 등교통행을 출발하는데 (+)의 영향을 미치는 경향이 있음을 보여준다.

표 4. 통행시간대 선택모형(조건부 모형) 추정결과

설명변수	추정계수
GRADE (대안 1)	-0.20494(-2.317)
SEX (대안 1)	0.73068(3.690)
DSTIME (대안 1)	0.01772(4.267)
JKTIME (대안 1)	0.06463(2.916)
KDTIME (대안 1)	0.00034(1.940)
CONST (대안 1)	-0.74601(-3.810)
Likelihood ratio index	0.1662

주 1) 대안 1: 8시 이전 출발, 대안 2: 8시 이후 출발
2) 모형의 추정계수는 괄호속에 나타낸 대안에 대한 추정치임.
3) 괄호안의 값은 t-통계치임.

한편 통행시간대 선택모형(조건부 모형) 전체의 적합도(the overall goodness of fit)를 나타내는 Likelihood ratio index의 값은 0.1662로 계산되었다. 일반적으로 Likelihood ratio index의 값은 0.2와 0.4 사이의 값만 가지더라도 아주 좋은 적합도를 갖는 것으로 평가할 수 있음에 비추어 본다면 모형의 경험적 추정결과는 적합도의 측면에서 우수한 것으로 볼 수 있다.

2. 교통수단 선택모형(한계모형)의 추정결과

표 5.는 모형의 높은 단계, 즉 교통수단 선택모형(한계모형)의 추정결과를 나타낸다. 모형 1은 학생들의 사회경제적 특성을 나타내는 변수로 나이(AGE)를 설명변수로 포함하는 경험적 모형이고, 모형 2는 나이(AGE) 대신에 학년(GRADE)을 설명변수로 포함하는 경험적 모형이며, 모형 3은 나이(AGE)와 학년(GRADE)을 모두 설명변수에서 제외한 후 다시 추정한 경

험적 모형이다. 이들 모형의 추정결과를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 대학생의 나이는 등교를 위한 교통수단 선택에 중요한 영향을 미치는 것으로 확인되지 않는다. 표에서 보는 바와 같이 모형 1에서 변수 AGE의 추정계수가 (-)의 부호를 가지기는 하지만 t-통계치의 값이 -1.244로 통계적 유의성이 있는 것으로는 볼 수 없다.

둘째, 학년은 등교를 위한 교통수단 선택에 다소 영향을 미치는 것으로 확인된다. 표에서 보는 바와 같이 모형 2에서 변수 GRADE의 추정계수가 (-)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 -1.775로 90% 유의수준에서 계수값이 0이라는 귀무가설이 기각된다. 따라서 학년이 높을수록 등교를 위한 교통수단으로 승용차를 선택하는 경향이 다소 크다는 사실이 경험적으로 확인된다. 이러한 모형의 추정결과는 앞서 살펴본 나이에 비해 학년이 대학생의 교통수단 선택에 상대적으로 더욱 중요한 영향을 미치는 것으로 해석이 가능하다.

셋째, 일반적 변수(generic variable)로 모형에 포함된 교통수단의 통행비용은 모형의 추정결과 모형 1, 2, 3 모두에서 추정계수가 (-)의 부호를 가지면서, 아울러 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 이는 교통수단의 통행비용은 통행자에게 비효용(disutility)을 가져다준다는 사실을 확인시켜 주는 것이다.

넷째, 통행비용과 마찬가지로 일반적 변수로 모형에 포함된 등교소요시간(차내통행시간)은 모형의 추정결과 모형 1, 2, 3 모두에서 추정계수가 (-)의 부호를 가지면서, 아울러 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 통행비용과 마찬가지로 등교소요시간(차내통행시간)도 통행자에게 비효용(disutility)을 가져다준다는 사실이 경험적으로 확인된 셈이다.

다섯째, 대학교내 승용차주차장에서 강의실까지의 도보시간이 오래 걸릴수록 등교를 위한 교통수단으로 버스를 선택하는 경향이 크다는 사실이 경험적으로 확인된다. 표에서 보는 바와 같이 모형 1, 2, 3 모두에서 추정계수가 (+)의 부호를 가지면서, 아울러 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 이러한 모형의 추정결과는 승용차주차장에서 최종통행목적지인 강의실까지의 접근성이 대학생들의 교통수단 선택에 중요한 영향을 미친다는 사실을 확인시켜주는 것이어서 흥미롭다.

여섯째, 버스정류장에서 강의실까지의 도보시간은 등교를 위한 교통수단 선택에 모형 1과 2에서는 다소 영향을 미치는 것으로 확인되지만, 모형 3에서는 영향을 미치지 않는 것으로 확인된다. 모형의 추정결과를 보면 모형 1과 2에서는 추정계수가 (-)의 부호를 가지면서 t-통계치의 값이 각각 -1.738과 -1.919로 90% 유의수준에서 계수값이 0이라는 귀무가설이 기각된다. 따라서 모형 1과 2의 추정결과를 바탕으로 보면 버스정류장에서 강의실까지의 도보시간은 등교를 위한 교통수단 선택에 다소 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다. 한편 모형 3의 추정결과를 보면 추정계수가 (-)의 부호를 가지면서 t-통계치의 값이 -1.514로 추정계수의 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 추정결과를 앞서 살펴본 승용차주차장에서 강의실까지의 도보시간 추정결과와 비교해 보면 추정계수의 절대값과 t-통계치의 값 모두 승용차주차장에서 강의실까지의 도보시간(JKTIME)이 버스정류장에서 강의실까지의 도보시간(KDTIME)에 비해 상대적으로 크다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서 승용차주차장에서 최

표 5. 교통수단 선택모형(한계모형) 추정결과

설명변수	추정계수 (모형 1)	추정계수 (모형 2)	추정계수 (모형 3)
AGE (대안 1)	-0.12369(-1.244)		
GRADE (대안 1)		-0.97425(-1.775)	
COST (대안 1,2)	-0.00164(-4.788)	-0.00168(-4.734)	-0.00166(-4.879)
DSTIME (대안 1,2)	-0.18055(-5.076)	-0.18253(-5.149)	-0.18934(-5.279)
JKTIME (대안 1)	0.52406(2.342)	0.51659(2.606)	0.33818(2.659)
KDTIME (대안 1)	-0.00307(-1.738)	-0.00333(-1.919)	-0.00222(-1.514)
CONST (대안 1)	5.74540(4.329)	5.87930(4.343)	5.37890(4.342)
LOGSUM	0.85481(1.816)	0.78134(1.761)	0.86730(2.485)
Likelihood ratio index	0.9340	0.9361	0.9320

주 1) 대안 1: 버스, 대안 2: 승용차
2) 모형의 추정계수는 괄호속에 나타낸 대안에 대한 추정치임.
3) 괄호안의 값은 t-통계치임.

종통행목적지인 강의실까지의 접근성이 버스정류장에서 강의실까지의 접근성에 비해 대학생들의 등교 교통수단 선택에 상대적으로 중요한 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있다.

일곱째, 대안 특유의 더미 상수의 추정계수는 모형 1, 2, 3 모두에서 (+)의 부호를 가지고 t-통계치의 값이 통계적 유의성이 있음을 보여준다. 일반적으로 대안 특유의 더미 상수는 각 대안의 표현되지 않은(unspecified) 특성들이 개인의 선택에 미치는 영향을 파악하기 위해 사용된다. 따라서 모형의 설명변수로 포함되지 않은 특성들은 대체로 등교 교통수단으로 버스를 선택하는데 (+)의 영향을 미치는 경향이 있음을 보여준다.

여덟째, inclusive value를 나타내는 LOGSUM의 추정계수값은 0과 1 사이의 값을 가진다. 아울러 t-통계치의 값은 LOGSUM 변수가 대체로 통계적 유의성이 있음을 보여준다. LOGSUM의 계수값이 0과 1 사이의 값을 가지면 네스티드 로짓모형의 구조가 유효한 것으로 볼 수 있다. 일반적으로 네스티드 로짓모형에서 계산된 LOGSUM의 계수값이 1과 충분히 다르면서 0과 1 사이의 값을 가지면 표준 로짓모형(standard logit model)이 가진 IIA(Independence from Irrelevant Alternatives: 비관련 대안으로부터의 독립성) 성질이 문제가 되어 네스티드 로짓모형을 사용하지 않고 표준 로짓모형을 사용할 경우 편의된(biased) 추정계수값을 가지는 것으로 판단할 수 있다. 반면에 LOGSUM의 계수값이 1과 같은 것으로 밝혀지면 네스티드 로짓모형은 표준 로짓모형과 같아지므로 구태여 네스티드 로짓모형을 사용할 타당성이 없다고 볼 수 있다. 따라서 모형의 경험적 추정결과는 본 연구에서 가설화된 네스티드 로짓모형구조의 타당성을 입증케 한다. 즉 대학생의 등교 통행시간대 선택은 교통수단 선택과 밀접한 관련을 가지면서 이루어진다는 사실을 확인할 수 있다. 이러한 사실로부터 대학생의 등교 통행시간대 선택은 개인의 사회경제적 특성, 주거입지, 최종통행목적지의 입지적 특성뿐만 아니라 등교통행을 위한 교통수단에 의해서도 중요한 영향을 받는다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서 대학생의 등교 통행시간대 선택행태의 분석을 위해 교통수단의 선택에 따른 차이를 고려하지 않을 경우 편의된(biased) 추정계수값을 가질 것으로 판단할 수 있다. 아울러 교통수요의 이러한 특성을 감안한다면 교통수단별로 통행시간대의 선택이 다름을 알 수 있으며, 이러한 교통수요 특성이 교통계획과정에서 중요하게 고려되는 것이 바람직함을 또한 알 수

있다.

한편 교통수단 선택모형(한계모형) 전체의 적합도를 나타내는 Likelihood ratio index의 값은 모형 1이 0.9340, 모형 2가 0.9361, 모형 3이 0.9320으로 계산되었다. 앞에서도 언급한 바와 같이 Likelihood ratio index의 값은 0.2와 0.4 사이의 값만 가지더라도 아주 좋은 적합도를 갖는 것으로 평가할 수 있음에 비추어 본다면 모형의 경험적 추정결과는 적합도의 측면에서 매우 우수한 것으로 볼 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 지금까지 대학생의 통학통행에 대한 연구가 직장인의 통근통행에 대한 연구에 비해 극히 부진하였다는 점을 감안하여 대학생의 통학통행을 분석하고자 하였다. 대학생의 통학통행의 여러 가지 행태적 측면 가운데 본 연구는 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대에 대한 선택을 분석하고자 하였다. 지금까지 교통수요분석에서 많이 다루었던 교통수단 선택에 대한 분석 외에 통행시간대 선택에 대하여 분석을 시도한 이유는 통학통행의 경우 통근통행에 비해 통행시간대의 선택이 상대적으로 자유롭고, 최근 들어 교통혼잡의 시간대별 분산이 교통시스템의 효율적 이용을 도모할 수 있다는 점을 감안하여 통행시간대 선택의 분석이 교통수요분석의 새로운 연구주제로 떠오르고 있기 때문이다.

본 연구는 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택을 네스티드 로짓모형을 이용하여 분석하였다. 본 연구는 모형의 경험적 추정을 위해 영남대학교 학생들을 대상으로 수집된 설문조사자료(1999)를 이용하였으며, 추정된 경험적 모형을 바탕으로 의미 있는 결과를 논의하였다.

본 연구에서 추정된 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택의 네스티드 로짓모형은 통계적 측면이나 행태적 측면에서 볼 때 대체로 타당한 분석결과를 보여준다. 통행시간대 선택모형(조건부 모형)의 추정결과를 보면 학년, 성별, 등교소요시간(차내통행시간), 승용차주차장에서 강의실까지의 도보시간, 버스정류장에서 강의실까지의 도보시간이 대학생의 등교 통행시간대 선택에 의미 있는 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 한편 교통수단 선택모형(한계모형)의 추정결과를 보면 학년, 통행비용, 등교소요시간(차내통행시간), 승용차주차장에서 강의실까지의 도보시간, 버스정류장에서 강의실까지의 도보시간이 대학생의 교통수단 선택에 의미 있는 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

본 연구로부터의 중요한 발견은 추정된 네스티드 로짓모형의 inclusive value를 나타내는 LOGSUM의 추정계수값을 살펴봄으로써 가능하다. 본 연구에서 추정된 LOGSUM의 계수값은 0과 1 사이의 값을 가지면서 대체로 통계적 유의성이 있는 것으로 나타나 네스티드 로짓모형을 사용하지 않고 표준 로짓모형을 사용할 경우 편의된(biased) 추정계수값을 가지는 것으로 판단할 수 있다. 아울러 모형의 경험적 추정결과는 본 연구에서 가설화된 네스티드 로짓모형구조의 타당성을 입증시켜주며, 대학생의 등교 통행시간대 선택은 교통수단의 선택과 밀접한 관련을 가지면서 이루어진다는 사실을 확인할 수 있었다.

이러한 사실로부터 대학생의 통행시간대 선택에 교통수단 선택이 중요한 영향을 미친다는

사실을 확인할 수 있었다. 통행자의 통행시간대 선택에 영향을 미치는 인자로서 교통수단 선택과의 연계성을 검토하는 것은 지금까지 교통수요분석에서 거의 무시되어 왔다. 이와 같은 점을 감안하면 향후 교통수요분석에서 통행시간대 선택을 분석할 때 교통수단 선택과의 관련성을 고려하는 것이 긴요함을 알 수 있다.

따라서 본 연구의 분석결과는 교통계획 실무에 다음과 같은 정책적 함의(policy implication)를 제공한다.

첫째, 대학생들이 이용하는 교통수단별로 통행시간대 선택이 다르다는 점이 본 연구에서 경험적으로 확인된 만큼 전통적인 4단계 교통수요분석에서도 이러한 점들이 충분히 반영되어야 할 것으로 본다.

둘째, 본 연구에서 추정된 경험적 모형을 살펴보면 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택에 통행목적지의 특성(승용차주차장에서 강의실까지의 도보시간, 버스정류장에서 강의실까지의 도보시간)이 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이러한 모형의 경험적 추정결과는 대학당국이 대학생들의 통행목적지인 캠퍼스의 주차정책이나 버스정류장의 위치조정 등과 같은 정책수단을 적절히 구사함에 따라 대학생들의 통행행태가 변할 수 있는 가능성을 시사한다고 볼 수 있다.

본 연구는 대학생의 등교통행 교통수단과 통행시간대 선택에 영향을 미치는 인자를 경험적으로 확인하고, 아울러 이들 두 가지 선택측면의 연계성을 확인하는데 초점을 두었다. 본 연구는 이러한 연구의 목적을 기본적으로 충족시키긴 하였으나 다음과 같은 한계를 가진다.

첫째, 일반적으로 대학생의 교통수단 선택에 결정적인 영향을 미칠 수 있는 설명변수는 대학생의 승용차 소유여부라고 할 수 있는데, 본 연구에서는 대학생의 승용차 소유여부가 설명변수로 포함되지 않았다. 대학생의 승용차 소유여부가 교통수단의 선택 이전에 이미 결정되어 있다는 점을 감안하면, 향후 연구에서는 승용차 소유여부가 또 하나의 선택측면으로 간주되어 3단계 네스티드 로짓모형구조를 이용하여 분석하거나 교통수단 선택모형(한계모형)의 설명변수로 승용차 소유여부가 포함될 수 있을 것으로 본다.

둘째, 일반적으로 대학생의 등교 통행시간대 선택에 중요한 영향을 미칠 수 있는 설명변수로는 이들 학생들의 강의시작시간이라고 할 수 있는데, 본 연구에서는 학생들이 선택한 강의시작시간 변수가 모형에 포함되지 않은 한계를 가진다. 따라서 향후 연구에서는 대학생들의 강의시작시간이 등교 통행시간대 선택모형에 포함되는 것이 바람직할 것으로 본다. 한편 본 연구의 한계와 관련된 연구과제 외에 향후 연구가 요망되는 과제를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 본 연구의 표본집단인 영남대학교 학생들의 경우 대학당국이 학생들에게 무료 주차장을 제공하고 있으나, 많은 대학들이 유료 주차장만을 제공하거나 학생차량의 대학구내 진입규제를 현재 시행하거나 혹은 향후 진입규제 시행대상 대학이 증가할 것으로 전망된다. 따라서 이러한 여건을 반영할 수 있는 모형의 정립과 추정이 요망된다.

둘째, 대학생의 통행행태에 대한 분석은 지금까지 연구가 거의 이루어지지 않은 분야에 속한다. 지금까지 대학생의 통행행태에 대한 분석의 부진은 전체 도시교통에서 승용차를 이용한 대학생의 통행비중이 상대적으로 적은 것에 기인하는데, 향후에는 승용차를 이용한 대

학생의 통행비중이 증가할 것으로 전망된다. 따라서 대학생의 통행행태에 관한 다양한 측면의 분석이 향후 연구과제이다. 대학생의 교통수단과 통행시간대에 대한 분석 외에 대학생의 통학통행과 비통학통행의 연계행태, 1일 활동패턴 등에 대한 분석이 요망된다.

셋째, 통행시간대 선택에 대한 분석은 지금까지 연구가 거의 이루어지지 않은 분야에 속한다. 지금까지 교통수요분석에서 통행시간대 선택에 대한 분석이 극히 부진하였으나, 사실은 통행을 발생시키는 시간대의 선택도 중요한 교통선택의 대상이다. 통행시간대 선택은 특히 통행목적별로 다른 선택패턴을 보일 것으로 판단되는 만큼 다양한 통행목적별 통행시간대 선택에 대한 분석이 요망된다.

인용문헌

1. 윤대식, 윤성순(1998), 「도시모형론」, 제2판, 서울: 홍문사.
2. Bhat, C. R.(1998), "Analysis of Travel Mode and Departure Time Choice for Urban Shopping Trips", *Transportation Research-B*, Vol. 32, No. 6, pp. 361-371.
3. De Palma, A., A. J. Khattak, and D. Gupta(1997), "Commuters' Departure Time Decisions in Brussels, Belgium", *Transportation Research Record* 1607, pp. 139-146.
4. Greene, W. H.(1991), *LIMDEP User's Manual and Reference Guide*, Version 6.0, Bellport: Econometric Software, Inc.
5. Mannering, F. L. and M. M. Hamed(1990), "Occurrence, Frequency, and Duration of Commuters' Work-to-Home Departure Delay", *Transportation Research-B*, Vol. 24B, No. 2, pp. 99-109.
6. Yun, Dae-Sic, Jeong-Yeob Lee, and K. C. Sinha(2000), "Modeling Prework Trip-Making and Home Departure Time Choice", *Journal of Transportation Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 126, No. 4, pp. 308-312

접 수 일 : '01. 1. 5.