

부산·울산광역시권 교통수단 선택모형 구축 방법론 개선

신강원*

¹경성대학교 도시공학과

Improving Methods for Estimating Transportation Mode Choice Model in Busan-Ulsan Metropolitan Area

Kangwon Shin^{1*}

¹Department of Urban Design and Development Engineering, Kyungsoong University

요약 본 연구는 부산·울산광역시권의 여객 통행 OD자료 구축을 위해 적용된 여러 교통수요예측 모형 중 다항로짓모형에 기반한 교통수단 선택모형의 문제점을 진단하고 이를 개선하기 위한 모형 구축 방법론을 제시하였다. 기존 교통수단 선택모형은 외관상으로는 적용 가능한 모형구조를 갖고 있으나, 모형 구축에 활용된 원시자료 상세 분석결과 교통혼잡간 총 통행량 미반영, 선택집합의 누락, 교통 혼잡 상태의 미반영, 교통존 특성변수의 미반영과 같은 문제점들이 내재되어 있는 것으로 나타났다. 본 논문에서는 전술한 기존 모형의 문제점들을 개선하여 다항로짓모형을 재구축하였으며, 재구축 결과 부산·울산광역시권의 교통수단 선택행태는 각 교통수단의 통행시간 및 통행비용보다는 각 교통수단의 고유특성 및 교통존 특성에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 추정모형의 계수 부호 및 적합도 또한 적용 가능한 수준으로 나타났다.

Abstract This study provides an improved transportation mode choice models applicable to the Busan-Ulsan Metropolitan area by scrutinizing previous study results developed using the multinomial logit model. Although the previous model has an appropriate modeling structure in terms of the sign of coefficient estimates and goodness-of-fit, the model ignores the total number of trips and traffic congestion condition between the two zones and partially reflects zone-specific variables and choice set. Therefore, this study considered all of these modeling faults by re-constructing the representative utility functions. The modeling results show that travelers in Busan-Ulsan metropolitan area tend to choose their mode using mode-specific characteristics rather than the classical travel time and/or cost variables.

Key Words : discrete choice model, mode choice, multinomial logit model, OD

1. 서론

교통수요분석의 기초가 되는 전국 여객통행 기종점 자료(이하 여객통행 OD 자료)는 가구통행 실태조사를 통해 수집한 표본자료를 센서스 및 정부 통계자료에 근거해 전수화하여 구축된다. 여객통행 OD 자료는 행정동으로 구분되는 교통존(TAZ, traffic analysis zone)의 총 유출량과 유입량의 추정, 교통존간 통행량의 분포 추정 과정을 거친 후 각 교통수단별 교차통행량을 추정하는 소위 교통수단선택 모델링을 통해 구축된다. 구체적으로

각 교통존의 여객 통행 유출량과 유입량은 주로 각 통행 목적별 회귀모형(regression model)을 통해 추정되며, 교통존간 교차통행량은 이중제약 중력모형(doubly constrained gravity model)을 통해 추정된다 [1-2]. 추정된 교통존간 교차통행량은 교통수단 선택모형인 다항로짓모형(multinomial logit model)이나 점진적 로짓모형 (incremental logit model)을 이용해 각 교통수단별 교차통행량으로 분리된다. 전술한 과정을 통해 추정된 여객 통행 OD자료는 주로 교통투자사업의 평가와 통행패턴 분석을 통한 교통정책 수립의 의사결정과정에 활용되

이 논문은 2014학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Kangwon Shin(Kyungsoong Univ.)

Tel: +82-51-663-4793 email: kangwon@ks.ac.kr

Received May 8, 2014

Revised (1st June 18, 2014, 2nd July 9, 2014)

Accepted July 10, 2014

는 바, 각 단계별로 적용되는 회귀모형, 중력모형, 수단선택모형은 현실을 반영할 수 있는 것이어야 한다.

본 연구는 부산·울산광역시권의 여객 OD 구축 시 사용된 기존 교통수단 선택모형의 문제점을 진단하고 이를 개선하기 위한 모형 정립 방향을 제시하고자 한다. 특히 교통수단 선택모형은 교통조건 집계 총 통행량(aggregated total trips) 자료를 사용해야 함에도 기존모형은 교통조건 총 통행량을 반영하지 않았고, 각 교통존의 사회경제 지표, 선택집합의 구성, 교통혼잡 상태가 교통수단 선택행태에 큰 영향을 미침에도 이에 대한 모형반영이 미흡한 측면이 있다. 따라서 본 연구에서는 전술한 기존 교통수단 선택모형의 문제점을 개선한 모형을 부산·울산광역시권 전수화 자료를 이용하여 구축하고 그 결과를 비교·분석하였다.

2. 선행연구 고찰

황기연 외 2인(1998)은 1996년도에 실시된 가구통행실태조사 자료를 이용하여 서울시의 교통수단선택모형을 구축하고 이를 이용하여 서울의 교통수요관리 구축방향을 제시하였다[3]. 이 연구에서는 수단별 효용함수 추정을 위해 각 수단별 통행시간 및 통행비용을 5가지로 구분하여 산정한 후 교통수단선택 모형을 추정하고 그 결과를 비교·분석하였다. 구체적으로 각 수단별 통행시간 및 통행비용은 편도통행비용 및 통행시간만 고려한 경우, 왕복통행비용 및 왕복통행시간을 고려한 경우, 편도통행비용과 편도통행시간을 차내시간과 차외시간으로 구분한 경우, 편도통행시간과 편도통행비용을 개인의 일소득으로 나눈 경우, 편도통행시간과 주차비를 제외한 편도통행비용을 개인의 일소득으로 나눈 경우로 구분하였다. 전술한 5가지의 독립변수 집합을 이용하여 수단선택모형을 추정한 결과 모형 적합도 측면에서는 편도통행시간과 주차비를 제외한 편도통행비용을 개인의 일소득으로 나눈 값을 독립변수로 설정한 모형이 가장 우수한 것으로 나타났으나, 시간가치 분석결과 각 수단의 편도통행시간 및 편도통행비용만을 고려한 단순 모형이 가장 적합하다고 제시하였다.

최기주 외 2인(2010)은 수도권 지역의 통합요금제를 고려한 수단별 효용산정 기법을 2006년 가구통행실태조사 자료를 활용하여 제시하였다[4]. 이 연구에서는 교통수단 선택

모형의 독립변수인 각 교통수단별 통행시간 및 통행비용 산출방법을 검토하여 해당 방법론이 2004년도 이전의 수단간 독립요금제를 기반으로 구축되었다는 문제점을 지적하고 이에 대한 해결책을 제시하였다. 구체적으로 이 연구는 독립요금제와 통합요금제가 혼재되어 있는 지역의 수단별 통행시간을 추출하기 위해 승용차 통행시간 대비 버스 통행시간의 상대비율을 가구통행실태조사 자료를 활용하여 재추정하였으며, 지하철 통행시간은 차내시간과 차외시간으로 구분하여 산정하되 차외시간을 접근시간과 대기시간으로 세분화하여 산정하였다. 전술한 독립변수 세분화 및 재추정을 통해 정립된 수단선택모형은 기존 모형에 비해 오차를 감소시키는 것으로 나타났다.

이처럼 수도권권을 대상으로 수행된 교통수단선택 모형 구축 연구들은 각 수단의 통행시간을 가용한 자료를 모두 활용하여 다양하게 세분화하고 재구성하여 각 모형을 비교·분석해나가며 진행된 반면, 부산·울산권의 교통수단 선택모형 모델링은 비교적 경직된 모형구조를 유지해 오고 있다. 과거 부산·울산광역시권의 교통수요 자료인 2008년 여객통행 OD 자료를 구축한 선행연구[5]는 각 수단의 통행시간 및 통행비용을 자유통행시간 및 구축 요금제도에만 의존하여 산출하여 교통수단 선택모형을 구축하였으며, 후속연구인 2010년 여객통행 OD 자료 구축 연구[6] 또한 각 수단의 존간 자유통행시간을 수단선택행위에 영향을 주는 통행시간변수로 설정하였다. 또한 2008년 여객 OD 구축연구에는 선택집합을 승용차, 버스, 철도, 택시로 세분화하였으나, 2010년 여객 OD 구축연구에서는 선택집합을 승용차, 버스, 철도로 축소하여 각 통행자의 선택행위를 단순화시킨 점도 문제점이라 할 수 있다(세부 문제점은 ‘4.2 기존 교통수단 선택모형의 문제점’에 상세 기술하였음).

다항로짓모형을 이용한 교통수단 선택모형 구축 관련 선행연구 고찰결과 부산·울산광역시권의 교통수단 선택모형은 선택행위 모델링 결과에 큰 영향을 줄 수 있는 각 수단별 설명변수들을 다양하게 고려하지 못했다는 한계점을 갖고 있는 것으로 나타났다. 비록 수도권권을 대상으로 하는 선행연구들에서는 각 교통수단의 설명변수를 세분화하여 다양한 모형구조를 고려하고 있으나, 본 연구의 대상지인 부산·울산광역시권의 자료 구조는 수도권권의 자료구조와 다르기 때문에 본 연구에서는 부산·울산광역시권에 적합한 교통수단 선택모형을 다양한 독립변수를 고려하여 구축하고 이에 대한 비교·분석을 수행하고자 한다.

3. 교통수단 선택모형

교통수단 선택모형은 McFadden의 이산선택모형(discrete choice model)을 주로 적용하는 바 본 절에서는 McFadden의 이산선택모형을 상세 설명하고 각 모형전개 과정에서 본 연구를 통해 개선하고자 하는 수단선택 모델링의 방향을 제시하였다.

이산선택모형은 교통수단 선택행위 시 의사결정자는 효용(utility)을 극대화시킬 수 있는 교통수단을 선택한다는 행위(utility-maximizing behavior)에 대한 가정에 기반한다[7-8]. 구체적으로 J 개의 선택 가능한 교통수단 선택집합(choice set)을 가진 의사결정자 n 이 특정 교통수단 j 에 대해 갖는 효용(utility or profit) U_{nj} 는 다음과 같이 정의된다.

$$U_{nj} = V_{nj} + \epsilon_{nj}, \quad \text{Eq. 1}$$

여기서 U_{nj} 는 의사결정자 n 이 교통수단 j 에 대해 갖고 있는 총효용을 의미하며, U_{nj} 는 분석자가 관측 가능한 효용(representative utility) V_{nj} 와 관측하지 못한 효용(random utility)인 오차항 ϵ_{nj} 로 구성된다 ($j=1, \dots, J$). 따라서 의사결정자 n 이 교통수단 i 를 선택할 확률은 아래와 같이 표현된다.

$$P_{ni} = P(U_{ni} > U_{nj}) = P(\epsilon_{nj} < \epsilon_{ni} + V_{ni} - V_{nj} \forall j \neq i). \quad \text{Eq. 2}$$

Eq. 2에서 랜덤변수 $\epsilon'_n = [\epsilon_{n1}, \dots, \epsilon_{nJ}]$ 의 결합함수를 $f(\epsilon_n)$ 으로 표기하면, Eq. 2는 Eq. 3과 같이 표기할 수 있다.

$$P_{ni} = \int I(\epsilon_{nj} < \epsilon_{ni} + V_{ni} - V_{nj})f(\epsilon_n)d\epsilon_n, \quad \text{Eq. 3}$$

여기서 $I(\cdot)$ 는 괄호안의 조건이 만족되었을 때 '1'의 값을 갖고 그렇지 않을 경우에는 '0'의 값을 갖는 지시함수이며, $f(\epsilon_n)$ 은 분석자가 가정한 오차항의 분포로 교통수단 선택모형 구축 시에는 주로 Type-I 극단치 분포(type-I extreme value distribution)를 적용하며, 이 때 비관측 효용인 오차항의 확률밀도함수는 아래와 같이 표현할 수 있다 [7].

$$f(\epsilon_{nj}) = \exp(-\epsilon_{nj})\exp(-\exp(-\epsilon_{nj})), \quad \text{Eq. 4}$$

또한 오차항의 누적확률밀도함수는 아래와 같다.

$$F(\epsilon_{nj}) = \exp(-\exp(-\epsilon_{nj})) \quad \text{Eq. 5}$$

따라서 누적함수형태를 띄고 있는 Eq. 2는 모든 j 에 대해서 각 누적함수의 곱(오차항은 서로 독립)으로 나타낼 수 있을 뿐 아니라, 이를 이용하여 Eq. 2는 아래와 같이 표현된다.

$$P_{ni} = P(\epsilon_{nj} < \epsilon_{ni} + V_{ni} - V_{nj} \forall j \neq i) = \int \left(\prod_{j \neq i} \exp(-\exp(-(\epsilon_{ni} + V_{ni} - V_{nj}))) \right) \exp(-\epsilon_{ni}) \exp(-\exp(-\epsilon_{ni})) d\epsilon_{ni}. \quad \text{Eq. 6}$$

마지막으로 Eq. 6을 풀이하면 아래와 같은 다항로짓 선택 확률을 얻을 수 있다(유도과정은 [7] 참조 : pp. 74-75).

$$P_{ni} = \frac{\exp(V_{ni})}{\sum_{j=1}^J \exp(V_{nj})}. \quad \text{Eq. 7}$$

이와 같은 다항 로짓 선택확률을 얻기 위한 자료구조의 종속변수 y_{in} 은 의사결정자 n 이 대안 i 를 선택했을 경우 1의 값을, 그 외는 0의 값을 가지는 이산형 구조를 가지며, 독립변수는 개체특성변수(case-specific variable)과 대안특성변수(alternative-specific variable)로 구성된다. 즉 Eq. 7에서 관측 가능한 효용 V_{ni} 는 주로 분석자가 관측 가능한 변수 z_{ni} 의 선형결합에 의해 표현된다 : $V_{ni} = \beta z_{ni}$. 여기서 z_{ni} 은 교통수단 선택 의사결정자 n 이 교통수단 i 선택 시 관측 가능한 변수 x_{ni} 와 의사결정자 n 의 특성변수 s_n 으로 분류할 수 있다 ($z_{ni} = z(x_{ni}, s_n)$). 따라서 계수벡터 β 는 아래 주어진 로그-우도함수를 최대화하여 추정된다[9].

$$LL(\beta) = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^J y_{ni} \ln(P_{ni}). \quad \text{Eq. 8}$$

한편 교통수단 선택모형 구축 시 선택집합은 아래 조건을 반드시 만족시켜야만 한다[3,7,10,11].

- 선택은 서로 배타적일 것 (exclusive)
- 선택이 모든 경우를 소진할 것 (exhaustive)
- 선택의 수가 유한할 것 (finite)

따라서 구축된 모형에서 사용된 선택집합이 위 조건을 만족시키지 못할 경우에는 현실성 있는 모형정산의 값이라고 할 수 없다. 또한 전술한 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation Method)에 의해 추정된 관측효용의 계수벡터 β 가 적절하게 추정되었는가는 추정된 모형의 적합도인 ρ^2 의 값이 0.2-0.4 사이의 값을 가져야만 한다[3,7-11]. 따라서 구축된 모형의 적합도를 비교·분석하는 것은 보다 현실적인 교통수단 선택모형 구축여부를 검증하는데 필수적이라 할 수 있다.

이산선택모형 구조의 상세 분석 결과, 선행연구[6]를 통해 구축된 모형은 교통존간 교차통행량의 미반영(교통존간 y_{in} 의 값 일부 누락), 교통존간 선택집합의 불완전성(선택의 모든 경우를 포함하지 못하고 있음), 교통존간 설명변수의 누락 및 비현실성(사회경제지표의 누락 및 자유통행시간 기반 통행시간 산출으로 관측 가능한 효용 V_{nj} 의 구조 불합리)의 문제점을 갖고 있는 것으로 나타났다(기존 교통수단 선택모형의 문제점은 4장에 상세 기술하였음).

4. 교통수단 선택모형 개선

본 장에서는 부산·울산광역시권내에 포함되어 있는 8개 도시(부산광역시, 울산광역시, 창원시, 포항시, 김해시, 양산시, 밀양시, 경주시)의 2010년 가구통행실태조사 결과를 이용하여 구축된 교통수단 선택모형의 문제점들을 진단하고 각 문제점들을 개선한 교통수단 선택모형 구축 결과를 제시하였다.

4.1 기존 교통수단 선택모형

부산·울산광역시권의 교통수요 자료인 여객통행 OD를 구축한 선행연구[6]에서는 8개 도시(총 431개 교통존)의 2010년 총 여객통행량이 '18,121,199통행/일'라고 제시하고 있으며, 각 교통존의 통행발생량은 가정기반 5개 통행목적과 비가정기반 3개 통행목적으로 분류한 후 각 통행목적별 회귀모형을 적용하여 추정하였다. 또한 각 교통존간 교차통행량은 전술한 8개 통행목적별 통행저항함수를 수정혼합형으로 구축한 후 이중제약 중력모형을 적용

하여 추정하였다. 전술한 방법론을 적용하여 산출한 각 교통존간 교차통행량은 총 26개의 변수(시간변수 5개, 거리변수 2개, 비용변수 13개, 더미변수 6개)를 활용하여 구축한 다항로짓모형을 기반으로 3개의 교통수단(승용차, 버스, 도시철도)별 통행량으로 재분류되었으며, 다항로짓 선택확률을 추정하기 위해 구축된 관측효용함수(representative utility function)의 구조와 추정계수의 값은 Table 1과 같다(모형에 사용된 원시자료 구축방법은 선행연구[6] 참조).

[Table 1] Existing Multinomial Logit Modeling Results

Variable	Auto	Bus	Metro
Travel Time(min)	-0.5157584	-0.5157584	-0.5157584
Travel Cost(100won)	-0.0070563	-0.0070563	-0.0070563
Mode Specific Dummy		-0.7617028	
Mode Specific Dummy			-0.2571524
Admin Dummy	-0.5743362		
ρ^2	0.3238		

* All coefficients are significant at $\alpha=0.01$

Table 1에서 통행시간과 통행비용은 각 교통존간 통행시간 및 통행비용으로 추정된 계수의 값은 모두 음(-)의 값을 가지며, 이는 모든 변수들이 일정할 때 존간 통행시간 및 통행비용이 증가할수록 각 교통수단의 효용은 감소함을 의미한다. 구체적으로 통행시간 및 통행비용의 증가에 따른 효용의 감소는 오즈(odds, $1-\exp(\beta)$)로 표현할 수 있으며, 각 교통존간 통행시간이 1분 증가 시 각 교통수단의 선택 오즈는 1.6% 감소하고 각 교통존간 통행비용이 100원 증가 시 각 교통수단의 오즈는 0.8% 감소함을 의미한다. 한편 Table 1에서 각 통행의 출발지 특성을 나타내는 'Admin Dummy(출발지가 행정동일 경우 1, 그렇지 않으면 0)'의 추정계수 값은 음의 값을 가지는데, 이는 출발지가 행정동인 통행자의 승용차 효용은 출발지가 읍 또는 면인 통행자가 체감하는 승용차 효용에 비해 낮음을 의미한다(출발지가 행정동인 통행자는 대중교통수단 선택의 기회가 높아 승용차의 선호도가 상대적으로 감소함). 또한 선행연구[6]는 대중교통수단인 버스와 도시철도의 관측효용함수에 상수항을 추가했는데, 이 값들은 음의 값을 가져 부산·울산 광역권 내 통행자는 승용차를 교통수단으로 선택했을 때 얻는 효용이 버스나 도시철도 선택 시 얻는 효용보다 더 높다는 것을 나타내고 있다.

4.2 기존 교통수단 선택모형의 문제점

이처럼 선행연구[6]를 통해 구축된 다항로짓모형은 해석 가능한 결과를 제시하고 있고 모형의 적합도 또한 $\rho^2 = 0.3238$ 로 수용 가능한 범위 내에 있어 부산·울산광역시권의 최종 교통수단 선택모형으로 활용되어 왔다. 그러나 기존 부산·울산광역시권의 교통수단 선택모형 구축 시 활용된 원시자료의 상세 분석결과 기존 모형은 아래 3가지의 문제점을 갖고 있는 것으로 파악되었다.

첫째, 기존 모형은 각 교통존간 교차통행량이 동일하다는 가정 하에 구축되어 교통수단 선택모형의 결과를 크게 왜곡시키고 있다. Fig 1. 은 기존 교통수단 선택모형 구축 시 사용된 LIMDEP 원시자료의 일부로 변수 'FZ'는 '통행기점 교통존의 번호', 변수 'TZ'는 '통행종점 교통존의 번호', 변수 'MODE'는 선택된 교통수단(1: 승용차; 2: 버스; 3: 도시철도), 변수 'MRATIO'는 '각 교통수단의 선택확률', 변수 'NIJ'는 '두 교통존간 통행에 선택된 총 교통수단의 수'를 나타낸다. 기존 모형은 전술한 원시자료를 그대로 활용하여 종속변수를 교통수단 선택확률인 'MRATIO'로 설정하여 존간 교차통행량의 양(magnitude)을 반영하지 못하였다(즉 교통존쌍 1→3을 승용차로 통행한 양은 비율에 의존하는 것이 아니라 해당 교통존쌍의 총 통행량에 선택확률을 곱하여 산출되어야 함). 이러한 문제점은 각 교통존쌍 별 총 통행량을 가중치로 설정하여 해결할 수 있다 [12].

	FZ	TZ	MODE	MRATIO	NIJ
1	1	3	1	0.482	2
2	1	3	2	0.518	2
3	1	4	1	0.459	3
4	1	4	2	0.402	3
5	1	4	3	0.139	3

[Fig. 1] Part of Raw Dataset used in Past Study

둘째, 기존모형의 교통수단별 통행시간은 교통 혼잡을 고려하지 않은 자유통행시간 기반 통행시간을 적용했을 뿐 아니라 선택모형 구축 시 선택집합으로 분류될 수 있는 '택시'를 제외하여 추정결과는 현실적인 값을 제공하지 못하고 있다. 따라서 각 교통수단별 통행시간은 선행연구[6]의 결과를 일부 수정하여 아래와 같은 기준을 적용하여 재산정할 필요가 있다.

- 승용차 통행시간 : 통행배정결과를 통행저항 값으로 갖는 교통존간 최단시간 적용
- 택시 통행시간 : 승용차 통행시간 + 대기시간(5분)

- 도시철도 통행시간 : 차내시간 + 차외시간(대기시간+접근시간)
 - 차내시간 : 도시철도 역간 소요시간 적용
 - 대기시간 : 배차간격의 1/2 적용
 - 접근시간 : 도보권(1km)은 도보속도 5km/h 적용, 비도보권은 버스 통행시간 적용
- 버스 통행시간 : 차내시간+차외시간(대기시간+접근시간 5분)
 - 차내시간 : 승용차 통행시간의 1.2-1.35배 적용
 - 대기시간 : 노선별 배차간격 적용

셋째, 기존모형의 관측효용함수에는 대안특성변수인 교통수단별 통행시간 및 통행비용이 주요 변수로 활용되고 있고, 개체특성변수인 각 교통존별 특성변수는 'Admin Dummy(출발지가 행정동일 경우 1, 그렇지 않으면 0)'만 활용되고 있다. 그러나 부산울산광역시권의 수단 통행량 특성은 각 교통존의 사회·경제·지리적 지표에 따라 달라질 수 있어 아래와 같은 교통존의 특성변수를 반영하여 교통수단 선택모형을 재구축할 필요가 있다.

- 통행 유형 : 도시 간 통행과 도시 내 통행
- 통행 출발 및 도착 교통존 내 대중교통망 형태 : 도시철도 역 존재 유무 및 버스 노선 형태
- 출발존의 대중교통 잠재이용수요 : 중·고·대학생 수 및 65세 이상 고령자 수
- 도착존의 대중교통 잠재이용수요 : 대학 수용학생 수

4.3 교통수단 선택모형 개선 결과

본 절에서는 전술한 기존 부산·울산광역시권 교통수단 선택모형의 문제점을 개선하기 위해 재구축된 다항 로짓 모델링 결과를 제시하였다. 기존 교통수단 선택모형과 본 연구를 통해 개선한 모형과의 차이점을 명시하기 위해 각 모형의 조건들을 Table 2에 제시하였다.

'Model 0'는 선행연구[6]에서 사용한 모형구조를 그대로 수용하였으며, 'Model 1~Model 3'은 전술한 기존 교통수단 선택모형의 문제점들을 순차적으로 개선하여 모델링한 것을 나타낸다. 구체적으로 'Model 1~Model 3'은 교통존간 총 통행량(Zone-pair trips)을 종속변수에 반영하였으며, 'Model 2~Model 3'은 통행자들의 선택집합(Mode Choice Set)에 '택시'를 추가했으며 'Model 3'에는 부가적으로 교통 혼잡을 고려한 교통수단별 통행시간을 반영하였다.

[Table 2] Modeling Conditions by each Model

Model	Modeling Conditions			
	Zone-Pair Trips	Mode Choice Set	Traffic Congestion	Additional Zone-Specific Variable
Model 0	X*	A, B, M**	X	X
Model 1	○	A, B, M	X	X
Model 2	○	A, T, B, M	X	○
Model 3	○	A, T, B, M	○	○

* 'X' means that the condition is not reflected in the model

** A : Auto, T : Taxi, B : Bus, M : Metro

'Model 2~Model 3'에는 각 교통존의 특성변수인 통행유형 (Intra-trip dummy, 도시 간 통행 =1, 도시 내 통행=0), 출발존의 대중교통 잠재이용수요(ratio of captive riders, [출발존의 15세~24세 인구+출발존의 65세 이상 인구]/출발존의 총 인구), 도착존의 대학 수용학생수 (number of university students), 출발존 또는 도착존 내 도시철도 역의 존재 유무 (Metro station dummy, 출발존 또는 도착존에 도시철도역이 있을 경우 =1, 그렇지 않을 경우=0)를 반영하였다(각 교통존의 사회경제지표 및 교통망 특성변수는 선행연구[6]의 원시자료 활용)

Table 3은 각 모형의 다항로짓 선택확률모형의 추정 결과를 나타낸다. 먼저 각 교통존쌍별 총 통행량을 반영할 경우 계수 추정값은 크게 달라짐을 알 수 있는데 특히 Model 0와 Model 1을 비교했을 때 각 계수의 부호는 동

일하나 통행시간의 계수의 절대값이 대폭 감소하고 대중 교통수단의 대안 상수값이 크게 증가하는 것으로 나타나 부산·울산 광역권 통행자의 교통수단 선택행위는 각 교통수단의 통행시간보다는 각 교통수단의 고유특성에 의해 민감하게 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 그러나 교통존쌍의 총 통행량 반영 시 모형의 적합도는 오히려 감소하는데 이는 개선 모형자체의 설명력 저하라기보다는 잘못된 자료구조에 기인한 기존모형의 우도비의 오 계산에 기인한다고 해석할 수 있다.

그러나 교통존쌍의 총통행량 반영, 교통존의 특성변수의 추가반영, 교통 혼잡의 반영, 선택집합의 확장 시 (Model 3)에는 모형 적합도가 0.2731로 증가하는 것으로 나타나 기존 교통수단 선택모형의 문제점을 모두 개선한 Model 3는 부산울산광역권의 최종 수단 선택모형으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

한편 Model 2와 Model 3를 통해 추정된 교통존 특성 변수의 계수값은 부산·울산광역권의 통행패턴을 비교적 합리적으로 보여준다. 구체적으로 통행유형을 나타내는 'Intra-trip dummy'의 계수값은 양의 값을 가져 부산·울산광역권의 통행자는 장거리 통행인 도시 간 통행의 경우 열악한 대중교통수단체계보다는 승용차를 선호하고 있음을 나타낸다. 또한 대중교통 잠재수요가 많고 대학교가 존재하는 교통존으로의 통행은 승용차의 선호도가

[Table 3] Multinomial Logit Modeling Results

Variable	Mode	Model			
		Model 0	Model 1	Model 2	Model 3
Travel Time(min)	All Modes	-0.5157584* (<0.001)	-0.0207307 (<0.001)	-0.02607 (<0.001)	-0.05204 (<0.001)
Travel Cost(100won)	All Modes	-0.0070563 (<0.001)	-0.009934 (<0.001)	-0.00013 (<0.001)	-0.00016 (<0.001)
Mode Specific Dummy (Taxi)	Taxi	-	-	-2.04597 (0.005)	-1.89631 (0.005)
Mode Specific Dummy (Bus)	Bus	-0.7617028 (<0.001)	-1.143063 (<0.001)	-1.98207 (0.005)	-1.61598 (0.005)
Mode Specific Dummy (Metro)	Metro	-0.2571524 (<0.001)	-0.4971141 (<0.001)	-2.26331 (0.006)	-1.69949 (0.006)
Admin Dummy	Auto	-0.5743362 (<0.001)	-0.691524 (<0.001)	-	-
Intra-trip Dummy	Auto	-	-	1.61256 (0.004)	1.25862 (0.004)
Ratio of Captive Riders in Origin Zone (%)	Auto	-	-	-5.36564 (0.022)	-5.42831 (0.022)
The Number of University Students in Destination Zone (Persons)	Auto	-	-	-0.00003 (<0.001)	-0.00003 (<0.001)
Metro Station Dummy in Origin and Destination Zones	Metro	-	-	1.12986 (0.003)	0.36021 (0.003)
Goodness-of-fit Statistics : ρ^2		0.3238	0.1084	0.2686	0.2731

* Parameter coefficient estimate (p-value)

상대적으로 낮게 추정되며, 출발존 또는 도착존에 도시철도 역이 존재할 경우에는 도시철도의 선호도가 높게 추정되었다.

즉 Table 3의 분석결과는 기존모형(Model 0)이 중간 교차통행량의 미반영 뿐 아니라 선택집합의 불완전성, 설명변수의 누락 등의 문제점을 갖고 있으나 우도함수의 오설정으로 인해 적합도가 높은 것으로 보일 뿐이며, 동일조건에서 중간 교차통행량을 Model 1과 같이 반영하면 적합도는 낮아진다는 사실을 보여준다. 또한 분석결과는 중간 교차통행량이 반영한 모형(Model 1, 2)이라 할지라도 선택집합이 불완전하거나 설명변수가 누락된 경우에는 가용한 선택집합과 설명변수를 합리적으로 반영한 모형(Model 3)이 보다 적합하다는 사실을 보여준다.

5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 부산·울산광역시권의 여객 통행 OD자료 구축을 위해 적용된 여러 교통수요예측 모형 중 다항로짓모형에 기반한 교통수단 선택모형의 문제점을 진단하고 이를 개선한 모형 구축결과를 제시하였다. 선행연구 [6]에서 구축된 교통수단 선택모형은 외관상(추정계수의 부호 및 적합도 측면)으로는 적용 가능한 모형구조를 갖고 있으나, 모형 구축에 활용된 원시자료 상세 분석결과 교통존공간 총 통행량 미반영, 선택집합의 누락, 교통 혼잡 상태의 미반영, 교통존 특성변수의 미반영과 같은 문제점들이 내재되어 있는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 전술한 기존연구의 문제점들을 해결할 수 있게끔 독립변수를 재구축하고 효용함수의 구조를 개선하여 부산·울산광역시권의 교통수단 선택행태를 보다 현실적으로 반영할 수 있는 교통수단 선택모형을 구축하였다. 전술한 문제점들을 해결한 개선모형(Model 3) 추정 결과, 부산·울산광역시권의 교통수단 선택행태는 각 교통수단의 통행시간 및 통행비용보다는 각 교통수단의 고유특성 및 교통존 특성에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 추정모형의 계수 부호 및 적합도 또한 적용 가능한 수준으로 나타났다.

본 연구는 교통수요분석의 기초자료인 교통수단별 여객 통행 OD자료를 보다 현실적으로 추정하기 위해 다양한 모형구조의 비교·분석과 상세 원시자료 분석을 통해 최종 모형을 도출했다는 점에서 의미가 있다고 할 수 있

다. 그러나 본 연구에서 제시한 최종모형은 장래 예측이 상대적으로 어려운 교통존 특성변수를 포함하고 있어 각 특성변수의 예측과정에 연구가 향후 보완되어야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] The Korea Transport Institute. Material for Explaining the Distributed Travel Demand Analysis Data. 2012.
- [2] K. Park, S. Choo, S. Lee, I. Kim. A Study on a Guideline for Urban Transport Analysis. The Korea Transport Institute, 2010.
- [3] K.Hwang, I. Kim, W. Lee. Parameter Estimation and Validation of a Multinomial Logit Model for the Prediction of Mode Shift as a Result of TDM Schemes in Seoul. Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 16, No. 4, pp. 53-62, 1998.
- [4] K.Choi, K. Lee, I. Ryu. Improvement of Railway Demand Forecasting Methodology under the Various Transit Fare Systems of Seoul Metropolitan Area-Focused on Mode Share. Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 28, No. 2, pp. 171-181, 2010.
- [5] Trustec Engineering and Busan Development Institute. Expanding Passenger OD and Travel Demand Forecasting : Busan-Ulsan Metropolitan Area. Busan Metropolitan City, 2009.
- [6] Sun-II E&C, Busan Development Institute, Korea Transport Institute. Expanding Passenger OD and Travel Demand Forecasting : Busan-Ulsan Metropolitan Area. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012.
- [7] K. E. Train. Discrete Choice Methods with Simulation. 2nd Edition, Cambridge Press, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511805271>
- [8] D. Yoon. Travel Demand Analysis : Theory and Model. Park-young sa, 2012.
- [9] A. C. Cameron, P. K. Trivedi. Microeconometrics Using Stata. STATA Press, 2010.
- [10] S. Woo. STATA for Economic Analysis. Jiphil Media, 2013.
- [11] M. Ben-Akiva, S. R. Lerman. Discrete Choice Analysis : Theory and Application to Travel Demand. MIT Press, 1985.
- [12] W. H. Greene, LIMDEP Version 8.0 : Econometric Modeling Guide Volume 2. pp. E19-44-45, Econometric Software, Inc., 2002.

신 강 원(Kangwon Shin)

[정회원]



- 2008년 12월 : 에리조나 주립대 토목환경공학과 (교통공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 경성대학교 도시공학과 조교수

<관심분야>

TOD 교통계획, 교통계량분석, 교통환경정책