■ 論 文 ■

통근통행 이전의 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택행태 분석

Analysis of Prework Trip-Making and Modal Choice

윤 대 식
(영남대학교 지역개발학과 교수)

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 분석모형 : 네스티드 로짓모형
Ⅲ. 자료 및 표본의 특성
1. 자료
2. 표본의 특성
Ⅳ. 모형의 경험적 추정
1. 조건부 모형의 추정결과
2. 한계모형의 추정결과
Ⅴ. 결론
참고문헌

요 약

본 연구에서는 지금까지 통근통행자의 활동참여 분석(activity participation analysis)이 주로 일과후 활동참여(postwork activity participation)에 초점이 주어졌다는 점을 감안하여 일과전 활동참여(prework activity participation)를 분석하고자 하였다. 이러한 연구배경하에서 본 연구는 통근통행자의 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택의 행태를 네스티드 로짓모형을 이용하여 분석하였다. 본 연구는 모형의 경험적 추정을 위해 1995년 미국 Nationwide Personal Transportation Survey (NPTS)의 일부분으로 수집된 뉴욕 대도시지역의 설문조사자료를 이용하였으며, 추정된 경험적 모형을 바탕으로 의미 있는 결과를 논의하였다.

본 연구에서 추정된 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택의 네스티드 로짓모형은 통계적 측면이나 행태적 측면에서 볼 때 대체로 타당한 분석결과를 보여준다. 교통수단 선택모형(조건부 모형)의 추정결과를 보면 나이, 운전면허 소지여부, 가구내 차량보유대수, 가구내 직장인수, 연간 가구소득, 교통수단의 통행시간이 통근통행자의 교통수단 선택에 의미 있는 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 한편 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부 선택모형(한계모형)의 추정결과를 보면 나이, 성별, 가구내 차량보유대수, 가구의 생애주기가 통근통행자의 비통근통행 발생여부에 의미 있는 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

본 연구로부터의 중요한 발견은 추정된 네스티드 로짓모형의 inclusive value의 추정계수값을 살펴봄으로써 가능한데, 모형의 경험적 추정결과는 본 연구에서 가설화된 네스티드 로짓모형구조의 타당성을 입증시켜 준다. 아울러 직장인의 교통수단 선택은 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부의 선택과 밀접한 관련을 가지면서 이루어진다는 사실을 확인할 수 있었다.

이 논문은 1998학년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임.

Ⅰ. 서론

도시교통에서 통근통행(work trip)이 차지하는 비중은 감소하는 반면에 비통근통행(non-work trip)의 비중은 계속 증가하고 있다. 이러한 교통현실을 감안하여 교통수요분석에서 비통근통행의 행태를 분석하기 위한 시도가 다양하게 이루어지고 있다.

통근통행은 통행목적, 통행발생의 시간 및 빈도가 고정되어 있음에 비해, 비통근통행은 통행발생의 시간 및 빈도가 가변적이다. 이러한 관점에서 볼 때 비통근통행이 가지는 선택의 폭은 매우 크다고 할 수 있다.

특히 비통근통행 행태의 분석은 활동중심접근방법(activity-based approach)의 활용을 통해 다양하게 시도되고 있다. 활동중심접근방법은 통행발생을 유발하는 활동(activity)에 대한 분석을 통해 통행자의 통행행태를 설명하려는 시도로서, 특히 비통근통행 행태의 분석을 위해 유용하게 활용되어 왔다.

지금까지 통근통행자의 활동참여 분석(activity participation analysis)은 주로 일과후 활동참여(post-work activity participation)에 초점이 주어졌다. Mannering and Hamed(1990), Hamed and Mannering(1993), Bhat(1999a, 1999b)의 연구는 모두 통근통행자의 일과후 활동참여 행태를 분석하였다. 그러나 지금까지 통근통행자의 통근통행 이전 비통근통행(prework non-work trip) 발생행태를 분석한 선행연구는 전혀 없었다. 바로 이러한 점이 본 연구의 중요한 배경이 되었다.

본 연구는 통근통행자의 통근통행 이전 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택의 행태를 분석하고자 하였다. 통근통행 이전의 비통근통행은 통근통행자 개인의 통행수요를 충족시키거나 가구구성원의 통행수요를 충족시키기 위해 발생하는데, 자녀들을 목적지에 데려다 주거나 은행이나 상점 등에 들른 후 직장에 출근하는 경우가 여기에 해당한다.

본 연구는 네스티드 로짓모형(nested logit model)을 이용하여 이들 두 가지 측면의 선택행태를 분석하고자 하였다. 모형의 경험적 추정을 위해 1995년 미국 Nationwide Personal Transportation Survey (NPTS)의 일부분으로 수집된 뉴욕 대도시지역의 설문조사자료가 이용되었다.

Ⅱ. 분석모형 : 네스티드 로짓모형

본 연구에서는 통근통행자의 통행패턴을 분석하기 위해 네스티드 로짓모형(nested logit model)을 이용하였다. 네스티드 로짓모형은 표준로짓모형(standard logit model)의 일반화된 형태로 볼 수 있으며, 바로 표준로짓모형이 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 조건부선택확률(conditonal choice probability)의 곱으로 표현된다. 2단계의 '나무가지 구조(tree structure)'에 의해 표현되는 네스티드 로짓모형에서 선택확률 $P_n(ij)$는 다음과 같이 계산된다.

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

단 $P_n(j \mid i)$: i가 결정된 상황에서 j가 선택될 조건부확률

$P_n(i)$: i가 선택될 한계확률

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

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

단 X_{ij} : 대안 (i, j)를 위한 설명변수의 벡터

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

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

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.

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

단 Y_i : 대안 i를 위한 설명변수의 벡터

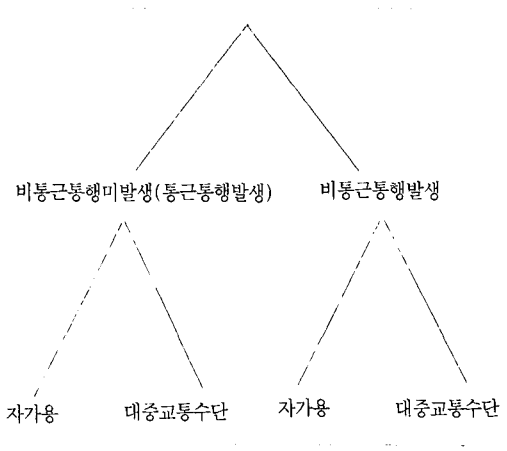
식(4)에서 설명변수들의 벡터 Y_i의 모수 α와 inclusive value I_i의 모수인 $(1-\sigma)$가 추정된다. $(1-\sigma)$는 하나의 '네스트(nest)'로 묶여 있는 대안들의 유사성(즉 대안간 상호대체성)의 정도를 나타내는데, 추정된 $(1-\sigma)$의 값이 0과 1 사이에 있어야 네스티드 로짓모형구조가 유효한 것으로 볼 수 있다. 한편 $(1-\sigma)$가 1이 되면 네스티드 로짓모형은 표준로짓모형과 같아지므로 구태여 네스티드 로짓모형을 사용할 타당성은 없다고 볼 수 있다. 즉 $(1-\sigma)$가 1과 같은 것으로 밝혀지면 단순히 표준로짓모형을 사용해도 문제가 없으며, 표준로짓모형을 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 '모수에 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 통근통행자의 통근통행 이전 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택의 행태를 2단계 나무가지 구조에 의해 표현된 네스티드 로짓모형을 이용하여 분석하였다. 본 연구에서는 통근통행자의 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부의 선택을 높은 단계, 교통수단 선택을 낮은 단계의 선택으로 하는 네스티드 로짓모형에 의해 표현된다고 가정한다. 통근통행 이전 비통근통행 발생여부의 선택대안은 통근통행 이전에 비통근통행을 발생시키지 않는 대안과 통근통행 이전에 비통근통행을 발생시키는 대안의 두 가지이다. 이들 두 가지 대안 가운데 통근통행 이전에 비통근통행을 발생시키지 않는 대안은 통행자의 하루중 최초통행이 통근통행이 되는 것을 나타낸다. 한편 교통수단 선택을 위한 대안은 자가용과 대중교통수단의 두 가지이다. 2단계에 의해 표현되는 네스티드 로짓모형구조는 선택을 위한 조건부(conditionality)의 방향을 나타내는 것이며, 의사결정의 순서를 나타내는 것은 아니다. 본 연구에서 이용된 네스티드 로짓모형구조는 〈그림 1〉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. 통근통행자의 통근통행 이전 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택행태는 통근통행자들의 사회경제적 특성 및 교통여건에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는 〈그림 1〉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
SEX	남성=1, 여성=0
LICENSE	운전면허를 소유하면 1, 그렇지 않으면 0
NCARS	가구의 차량보유대수
NWORKERS	가구내 직장인수
INCOME	연간 가구소득 1=$0-4,999, 2=$5,000-9,999, 3=$10,000-14,999, ... 20=$95,000-99,999, 21=$100,000 이상
LIFECYLE 1	가구에 자녀가 없으면 1, 그렇지 않으면 0
LIFECYLE 2	가구에 5세 이하의 자녀가 있으면 1, 그렇지 않으면 0
LIFECYLE 3	가구에 6~15세 사이의 자녀가 있으면 1, 그렇지 않으면 0
LIFECYLE 4	가구에 16~21세 사이의 자녀가 있으면 1, 그렇지 않으면 0
LIFECYLE 5	가구에 22세 이상의 자녀가 있으면 1, 그렇지 않으면 0
TTIME	통행시간 (단위: 분)
CONST	1 (대안 특유의 더미 상수)
LOGSUM	inclusive value

Ⅲ. 자료 및 표본의 특성

1. 자료

본 연구는 1995년 미국 Nationwide Personal Transportation Survey(NPTS)의 일부분으로 수집된 뉴욕 대도시지역의 설문조사자료를 바탕으로 수행되었다. 자료는 뉴욕 대도시지역에 거주하는 2,172명의 직장인을 표본(sample)으로 포함하였다.

2. 표본의 특성

앞서 언급한 바와 같이 본 연구는 통근통행자의 통근통행 이전 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택행태를 분석한다. 따라서 본 연구는 두 개의 대안들의 집합을 가지며, 각 대안들의 집합은 각기 두 가지 대안으로 구성되어 있다.

〈표 2〉는 본 연구를 위한 각 대안들의 선택빈도를 나타낸다. 표에서 보는 바와 같이 통근통행 이전에

〈표 2〉 대안들의 선택빈도 (단위:통행,%)

	비통근통행 발생	비통근통행 미발생	계
자 가 용	681(55.2)	552(44.8)	1,233(100.0)
대중교통	421(44.8)	518(55.2)	939(100.0)
계	1,102(50.7)	1,070(49.3)	2,172(100.0)

〈표 3〉 설명변수들의 빈도분포

설명변수	빈도(%)
AGE	
29세 이하	468(21.55)
30-39	661(30.43)
40-49	547(25.18)
50-59	350(16.11)
60세 이상	146(6.72)
SEX	
남성	1,090(50.18)
여성	1,082(49.82)
LICENSE	
운전면허 소지자	1,751(80.62)
운전면허 미소지자	421(19.38)
NCARS	
0대	612(28.18)
1대	698(32.14)
2대	627(28.87)
3대 이상	235(10.82)
NWORKERS	
1인	737(33.93)
2인	1,130(52.03)
3인 이상	305(14.04)
INCOME	
$19,999 이하	275(12.66)
$20,000-$39,999	587(27.03)
$40,000-$59,999	497(22.88)
$60,000-$79,999	333(15.33)
$80,000-$99,999	185(8.52)
$100,000 이상	295(13.58)
LIFECYLE	
LIFECYLE 1	1,038(47.79)
LIFECYLE 2	433(19.94)
LIFECYLE 3	455(20.95)
LIFECYLE 4	129(5.94)
LIFECYLE 5	117(5.39)
TTIME	
30분 이하	1,497(68.9)
31분-60분	456(21.0)
61분 이상	219(10.1)

비통근통행을 하는 통행자는 전체 표본의 50.7%이며, 자가용 통행자의 55.2%와 대중교통 통행자의 44.8%가 통근통행 이전에 비통근통행을 발생시키는

것으로 나타났다. 따라서 자가용 통행자가 대중교통 통행자보다 통근통행 이전에 비통근통행을 상대적으로 많이 발생시키는 것을 알 수 있다.

〈표 3〉은 본 연구에서 사용된 설명변수들의 빈도분포를 나타낸다. 표에서 볼 수 있는 바와 같이 본 연구를 위한 표본집단은 전반적으로 미국 대도시지역에 거주하는 직장인들의 일반적인 특성을 보여주는 것으로 평가된다.

Ⅳ. 모형의 경험적 추정

모형의 경험적 추정을 위해서는 최우추정법(maxi-likelihood method)이 이용되었으며, 본 연구에서는 Greene(1991)에 의해 개발된 LIMDEP Version 6.0을 이용하였다. 모형의 경험적 추정은 〈표 1〉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. 따라서 본 연구에서 경험적 모형의 추정결과는 모든 가능한 설명변수를 포함한 모형과 통계적 유의성이 있는 설명변수만을 포함한 모형의 두 가지가 제시되어 있다.

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. 조건부 모형의 추정결과

〈표 4〉는 모형의 낮은 단계, 즉 교통수단 선택모형(조건부 모형)의 추정결과를 나타낸다. 모형 1은 모든 가능한 설명변수를 포함하는 경험적 모형이고, 모형 2는 모형 1에서 통계적 유의성이 없는 설명변수를 제외한 후 다시 추정한 경험적 모형이다. 이들 모형의 추정결과를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 나이가 많을수록 대중교통수단보다는 자가용을 이용하여 통행을 하는 경향이 있다는 사실이 경험적으로 확인된다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (+)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 모형 1과 모형 2에서 모두 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다.

둘째, 성별은 교통수단의 선택에 중요한 영향을 미치지는 않는 것으로 확인된다. 우리 나라의 경우에는 남성이 여성보다 상대적으로 자가용을 이용하여 통행하는 경향이 클 것으로 예측될 수도 있겠으나 뉴욕 대도시지역의 경우에는 성별은 교통수단의 선택에 의미 있는 영향을 미치지 않음을 t-통계치의 값으로 판단할 수 있다.

셋째, 운전면허의 소지여부는 교통수단의 선택에 중요한 영향을 미치는 것으로 확인된다. 표에서 보는 바와 같이 변수 LICENSE의 추정계수가 (+)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 모형 1과 모형 2에서 모두 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 운전면허 소지자는 자가용을 선택하는 경향이 크다는 사실을 알 수 있다.

넷째, 가구내 차량보유대수가 많을수록 통행수단으로 자가용을 선택하는 경향이 뚜렷하다는 사실을 확인할 수 있다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (+)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 모형 1과 모형 2에서 모두 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다.

다섯째, 가구내 직장인수가 많을수록 통행수단으로 대중교통수단을 선택하는 경향이 뚜렷하다는 사실을 확인할 수 있다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (-)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 모형 1과 모형 2에서 모두 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 가구내 직장인수가 많다는 사실은 자가용 승용차에 대한 이용수요가 많다는 사실을 의미하므로 가구의 구성원은 상대적으로 자가용을 이용하여 통행할 확률이 줄어들 것이라는 사실을 알 수 있다.

여섯째, 연간 가구소득이 높을수록 통행수단으로 자가용을 선택하는 경향이 크다는 사실을 확인할 수 있다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (+)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 모형 1과 모형 2에서 모두 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다.

일곱째, 가구의 생애주기(life cycle)는 교통수단의 선택에 중요한 영향을 미치지는 않는 것으로 확인된다. 가구의 생애주기를 나타내는 5개의 변수 모두 교통수단의 선택에 의미 있는 영향을 미치지 않음을 t-통계치의 값으로 판단할 수 있다.

여덟째, 일반적 변수(generic variable)로 모형에 포함된 교통수단의 통행시간은 모형의 추정결과 (-)의 부호를 가지면서, 아울러 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 이는 교통수단의 통행시간은 통행자에게 비효용(disutility)을 가져다 준다는 사실을 확인시켜 주는 것이다.

아홉째, 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 사용된다. 모형의 추정결과는 비통근통행의 발생여부가 주어진 상황에서 일반적으로 통행자들은 자가용을 선택하는 경향이 상대적으로 크다는 사실을 반영한다.

〈표 4〉 교통수단 선택모형(조건부 모형) 추정결과

설명변수	모형 1	모형 2
AGE (대안 1)	0.17436 (2.608)	0.15988 (2.960)
SEX (대안 1)	0.12056 (0.730)	
LICENSE (대안 1)	1.5223 (5.731)	1.4707 (7.328)
NCARS (대안 1)	1.4519 (12.489)	1.4176 (13.348)
NWORKERS (대안 1)	-0.24244 (-1.967)	-0.30150 (-2.725)
INCOME (대안 1)	0.03492 (1.921)	0.03294 (1.955)
LIFECYLE 1 (대안 1)	0.04951 (0.099)	
LIFECYLE 2 (대안 1)	0.29183 (0.568)	
LIFECYLE 3 (대안 1)	0.46470 (0.870)	
LIFECYLE 4 (대안 1)	0.10345 (0.167)	
LIFECYLE 5 (대안 1)	0.46810 (0.727)	
TTIME (대안 1, 2)	-0.01143 (-3.629)	-0.01128 (-3.654)
CONST (대안 1)	0.48093 (7.757)	0.48143 (7.845)
Likelihood ratio index	0.1886	0.1854

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

한편 교통수단 선택모형(조건부 모형) 전체의 적합도(the overall goodness of fit)를 나타내는 Likelihood ratio index의 값은 모형 1이 0.1886, 모형 2가 0.1854로 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 매우 우수한 것으로 볼 수 있다.

2. 한계모형의 추정결과

〈표 5〉는 모형의 높은 단계, 즉 통근통행 이전 비통근통행 발생여부 선택모형(한계모형)의 추정결과를 나타낸다. 교통수단 선택의 조건부 모형과 마찬가지로 모형 1은 모든 가능한 설명변수를 포함하는 경험적 모형이고, 모형 2는 모형 1에서 통계적 유의성이 없는 설명변수를 제외한 후 다시 추정한 경험적 모형이다. 이들 모형의 추정결과를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 나이가 많을수록 통근통행 이전에 비통근통행을 발생시키는 경향이 크다는 사실이 경험적으로 확인된다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (-)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 모형 1과 모형 2에서 모두 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 나이가 많을수록 통근 이외에 각종 비통근통행의 수요가 증가할 것으로 예상되며, 이로 인하여 통근통행 이전에 비통근통행을 많이 발생시키는 것으로 보인다.

둘째, 여성 직장인이 남성 직장인에 비해 상대적으로 통근통행 이전에 비통근통행을 발생시키는 경향이 크다는 사실이 경험적으로 확인된다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (-)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 모형 1과 모형 2에서 모두 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 통근통행 이전에 이루어지는 비통근통행은 자녀들의 통학, 각종 가사활동과 관련된 통행이 많을 것으로 보인다. 모형의 경험적 추정결과는 이러한 목적을 위한 비통근통행이 여성들에 의해 상대적으로 많이 이루어짐을 보여준다.

셋째, 운전면허의 소지여부는 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부에 중요한 영향을 미치는 것으로 확인되지 않는다. 표에서 보는 바와 같이 모형 1에서 변수 LICENSE의 추정계수가 (+)의 부호를 가지기는 하지만 t-통계치의 값이 1.684로 통계적 유의성이 있는 것으로는 볼 수 없다. 뉴욕 대도시지역의 경

우 대중교통이 잘 발달되어 있어 운전면허의 소지여부에 관계없이 비통근통행이 발생할 것으로 전망되는 만큼 모형의 경험적 추정결과는 우리의 직관적인 판단과 일치한다고 볼 수 있다.

넷째, 가구내 차량보유대수가 많을수록 통근통행 이전에 비통근통행을 발생시키는 경향이 크다는 사실이 경험적으로 확인된다. 모형의 추정결과를 보면 추정계수가 (-)의 부호를 가지고, t-통계치의 값이 모형 1과 모형 2에서 모두 통계적 유의성이 큰 것으로 나타났다. 가구내 차량보유대수가 많다는 사실은 개인의 기동성이 크다는 사실을 나타내므로 그 만큼 통근통행을 발생하기 이전에 비통근통행을 발생시킬 확률이 상대적으로 높을 것으로 전망되는데, 이러한 사실이 경험적으로 확인된 셈이다.

다섯째, 가구내 직장인수는 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 확인된다. 모형의 추정결과를 보면 모형 1에서 t-통계치의 값이 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다.

여섯째, 연간 가구소득 역시 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 확인된다. 모형의 추정결과를 보면 모형 1에서 추정계수가 (+)의 부호를 가지기는 하지만 t-통계치의 값이 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다. 일반적으로 가구소득이 높을수록 비통근통행의 수요가 증가할 것으로 예상되긴 하지만 뉴욕 대도시지역의 경우 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부는 가구소득에 의해 의미 있는 영향을 받지는 않는 것으로 나타났다.

일곱째, 가구의 생애주기(life cycle)는 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부에 대체로 중요한 영향을 미치는 것으로 확인된다. 가구의 생애주기를 나타내는 5개의 변수 모두 비통근통행 발생여부에 의미 있는 영향을 미친다는 사실을 t-통계치의 값으로 판단할 수 있다. 한편 추정된 계수값들의 크기를 비교해보면 가구에 6~15세 사이의 자녀가 있으면 통근통행 이전 비통근통행의 발생확률이 상대적으로 가장 적은 것을 알 수 있는데, 이들 연령계층에 속하는 자녀의 통학은 주로 통학버스에 의존하기 때문에 통근통행자의 경우 통근통행 이전에 별도의 비통근통행을 발생시킬 필요가 상대적으로 적기 때문인 것으로 보인다.

여덟째, 대안 특유의 더미 상수의 추정계수는 (-)의 부호를 가지고 t-통계치의 값이 통계적 유의성이 없음을 보여준다. 앞에서도 언급한 바와 같이 대안 특유의 더미 상수는 각 대안의 표현되지 않은(unspecified) 특성들이 개인의 선택에 미치는 영향을 파악하기 위해 사용된다.

아홉째, inclusive value를 나타내는 LOGSUM의 추정계수값은 0과 1 사이의 값을 가진다. 아울러 t-통계치의 값은 LOGSUM 변수가 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 표준로짓모형(standard logit model)이 가진 IIA(Indepence from Irrelevant Alternatives: 비관련 대안으로부터의 독립성) 성질이 문제가 되어 네스티드 로짓모형을 사용하지 않고 표준로짓모형을 사용할 경우 편의된(biased) 추정계수값을 가지는 것으로 판단할 수 있다. 반면에 LOGSUM의 계수값이 1과 같은 것으로 밝혀지면 네스티드 로짓모형은 표준로짓모형과 같아지므로 구태여 네스티드 로짓모형을 사용할 타당성이 없다고 볼 수 있다. 따라서 모형의 경험적 추정결과는 본 연구에서 가설화된 네스티드 로짓모형구조의 타당성을 입증케 한다. 즉 직장인의 교통수단 선택은 통근통행 이전 비통근통행 발생여부의 선택과 밀접한 관련을 가지면서 이루어진다는 사실을 확인할 수 있다.

이러한 사실로부터 교통수단 선택은 개별 교통수단의 서비스 특성뿐만 아니라 통행자의 비통근통행 발생여부 및 통행목적지의 수에 의해서도 중요한 영향을 받는다는 사실을 확인할 수 있다. 교통수요의 이러한 특성을 감안한다면 1일 단위로 표현되는 통행자의 통행패턴을 고려하는 것이 교통수단 선택행태의 분석을 위해서도 중요하다는 사실을 또한 알 수 있다.

한편 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부 선택모형(한계모형) 전체의 적합도를 나타내는 Likelihood ratio index의 값은 모형 1이 0.1252, 모형 2가 0.1249로 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 우수한 것으로 볼 수 있다.

〈표 5〉 통근통행 이전 비통근통행 발생여부 선택모형 (한계모형) 추정결과

설명변수	모형 1	모형 2
AGE (대안 1)	-0.08977 (-2.389)	-0.08818 (-2.379)
SEX (대안 1)	-0.23433 (-2.610)	-0.21896 (-2.491)
LICENSE (대안 1)	0.22064 (1.684)	
NCARS (대안 1)	-0.55145 (-4.292)	-0.58824 (-5.056)
NWORKERS (대안 1)	-0.04375 (-0.659)	
INCOME (대안 1)	0.00894 (0.873)	
LIFECYLE 1 (대안 1)	0.57323 (2.050)	0.84062 (3.819)
LIFECYLE 2 (대안 1)	0.96083 (3.473)	1.30660 (5.751)
LIFECYLE 3 (대안 1)	1.11170 (3.919)	1.5235 (6.461)
LIFECYLE 4 (대안 1)	0.57568 (1.716)	0.61834 (1.931)
LIFECYLE 5 (대안 1)	0.61866 (1.893)	0.87863 (3.169)
CONST (대안 1)	-0.09543 (-1.567)	-0.08768 (-1.667)
LOGSUM	0.61921 (4.937)	0.63225 (5.220)
Likelihood ratio index	0.1252	0.1249

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

V. 결론

본 연구에서는 지금까지 통근통행자의 활동참여 분석(*activity participation analysis*)은 주로 일과후 활동참여(postwork activity participation)에 초점이 주어졌다는 점을 감안하여 일과전 활동참여(prework activity participation)를 분석하고자 하였다. 본 연구는 통근통행자의 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택의 행태를 네스티드 로짓모형을 이용하여 분석하였다. 본 연구는 모형의 경험적 추정을 위해 1995년 미국 Nationwide Personal Transportation Survey(NPTS)의 일부분으로 수집된 뉴욕 대도시지역의 설문조사자료를 이용하였으며, 추정된 경험적 모형을 바탕으로 의미 있는 결과를 논의하였다.

본 연구에서 추정된 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택의 네스티드 로짓모형은 통계적 측면이나 행태적 측면에서 볼 때 대체로 타당한 분석결과를 보여준다. 교통수단 선택모형(조건부 모형)의 추정결과를 보면 나이, 운전면허 소지여부, 가구내 차량보유대수, 가구내 직장인수, 연간 가구소득, 교통수단의 통행시간이 통근통행자의 교통수단 선택에 의미 있는 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 한편 통근통행 이전 비통근통행 발생여부 선택모형(한계모형)의 추정결과를 보면 나이, 성별, 가구내 차량보유대수, 가구의 생애주기가 통근통행자의 비통근통행 발생여부에 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 통계적 유의성이 큰 것으로 나타나 네스티드 로짓모형을 사용하지 않고 표준로짓모형을 사용할 경우 편의된(biased) 추정계수값을 가지는 것으로 판단할 수 있다. 아울러 모형의 경험적 추정결과는 본 연구에서 가설화된 네스티드 로짓모형구조의 타당성을 입증시켜주며, 직장인의 교통수단 선택은 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부의 선택과 밀접한 관련을 가지면서 이루어진다는 사실을 확인할 수 있었다.

이러한 사실로부터 교통수단 선택행태에 개별 교통수단의 서비스 특성뿐만 아니라 다른 통행과의 연계성이나 통행목적지의 수도 또한 중요한 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있었다. 따라서 교통수단 선택행태의 분석을 위해서도 1일 단위로 표현되는 통행자의 통행패턴을 어떤 형태로든 고려하는 것이 필요하다는 사실을 알 수 있다. 통근통행자의 교통수단 선택에 영향을 미치는 인자로서 비통근통행과의 연계성을 검토하는 것은 지금까지 교통수요분석에서 거의 무시되어 왔다. 이와 같은 점을 감안하면 향후 교통수요분석에서 통근통행과 관련된 선택행태를 분석할 때 비통근통행과의 관련성을 고려하는 것이 필요함을 알 수 있다.

한편 본 연구의 한계와 향후 연구과제를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 네스티드 로짓모형의 활용을 통해 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택의 상호관련성을 분석하는데 초점을 둔다. 따라서 교통수단 선택행태의 분석을 위해 일반적으로 많이 사용되어온 교통수단의 서비스특성변수 가운데 통행비용 변수가 포함되어 있지 않다. 이는 획득 가능한 자료의 제약에 기인하는데, 향후 연구에서는 교통수단의 서비스특성변수들의 추가가 필요하다.

둘째, 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부의 분석은 지금까지 거의 연구가 이루어지지 않은 분야에 속한다. 따라서 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부와 관련된 다양한 측면의 교통 선택행태의 분석이 요망된다. 특히 최근에는 통행을 발생시키는 시간대의 선택도 중요한 교통선택의 대상이다. 따라서 통근통행 이전의 비통근통행 발생여부와 집 출발시간(home departure time)의 관련성에 관한 연구가 요망된다. 이외에도 향후 출퇴근시간이 고정되지 않는 경향이 증가할 것으로 예상되는 만큼 통근통행 이전의 활동참여, 통근통행과 비통근통행의 관련성에 대한 다양한 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

1. 윤대식, 윤성순(1998), 도시모형론, 제2판, 서울: 홍문사.
2. Bhat, C. R.(1999a), "An Analysis of Evening Commute Stop-Making Behavior Using Repeated Choice Observations from a Multi-Day Survey", Paper presented at the 78th Annual Meeting of Transportation Research Board, January 10-14, Washington, D.C.
3. Bhat, C. R.(1999b), "Modeling the Commute Activity-Travel Pattern of Workers: Formulation and Empirical Analysis", Paper presented at the 78th Annual Meeting of Transportation Research Board, January 10-14, Washington, D.C.
4. Greene, W. H.(1991), LIMDEP User's Manual and Reference Guide, Version 6.0, Bellport: Econometric Software, Inc.
5. Hamed, M. M. and F. L. Mannering(1993), "Modeling Travelers' Postwork Activity Involvement: Toward a New Methodology", Transportation Science, Vol. 27, No. 4, pp.381~394.
6. 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.