

■ 論 文 ■

취업자의 1일 통행수단선택 분석 및 모형의 시간이전성 검토

Analysis of Travel Modal Choice and the Temporal Transferability for Workers

김 대 응

배 영 석

이 명 미

(영남대학교 토목·도시·환경공학부 교수) ((주)교통시스템연구소 소장) (영남대학교 도시공학과 박사과정)

목 차

- I. 서론
- II. 취업자의 전형적인 통행패턴
- III. 취업자의 1일 통행행태분석
 - 1. 분석자료의 개요
 - 2. 개인속성분석
 - 3. 통행행태분석
 - 4. 개인속성별 수단분담특성
- IV. 교통수단선택모형의 구축 및 평가
 - 1. 적용모형
 - 2. 모형구축
 - 3. 모형의 이전성 검토
- V. 결론
- 참고문헌

요 약

본 연구는 도시 내에서 비교적 안정된 통행패턴을 이루고 있는 취업자를 대상으로 대구광역시 사람통행실태 자료(1988년, 1992년)를 이용하여 취업자가 1일에 행한 복수통행 간의 상관관계를 보다 체계적으로 명확히 규명하고, 이를 기초로 하여 취업자의 교통수단선택모형을 구축하여 그 모형의 이전가능성을 검토하였다. 먼저 취업자의 통행행태분석 결과, 통행패턴은 1일에 2통행의 피스톤형태로 비교적 단순하였으며, 교통수단선택패턴도 1일에 행한 복수통행 가운데 첫 번째 통행에서 이용한 수단을 최종 통행수단으로 이용하는 비율이 높은 것으로 나타났다. 또한 교통수단선택모형의 추정결과 채택된 설명변수의 추정계수 및 모형의 적합도가 모두 양호한 값을 나타내어 본 모형의 타당성이 입증되었다. 끝으로, 구축된 모형의 적용성 검토로서 1988년과 1992년 모형의 시간적 이전가능성을 검토한 결과 여러 지표들로부터 양호한 결과를 나타내어 본 모형의 시간이전성은 충분하다고 판단되어진다.

I. 서론

도시권의 통행자는 크게 직업과 소득을 가진 취업자와 그 외의 비취업자로 나눌 수 있다. 이때 도시권의 전형적인 취업자는 1일에 출·퇴근이라는 통근통행을 포함한 복수의 통행패턴을 가지는 자로서 비교적 1일내 통행발생의 시간과 빈도가 고정되어 있다. 이러한 취업자의 출·퇴근시 통행의 발생과 집중은 대중교통수단의 이용보다는 1인 승차의 승용차이용의 폭증으로 나타나 도시 내 교통정체의 주 원인으로 되고 있다. 따라서 취업자의 통행은 도시 내에서 중요한 비중을 차지하고 있다고 볼 수 있으며, 이들의 통행패턴과 수단선택의 정확함 분석은 도시권의 교통수단분담예측에 필수불가결하다.

이미 통행패턴이 복잡·다양한 비취업자에 대한 교통수단선택의 연구는 김대용외(1997) 그리고 출근통행의 교통수단선택에 관한 연구로서는 배영석외(1995) 등에 의해 보고된 바 있으며, 쇼핑통행에 대한 연구로서 김경철(1988), 이현구·조중래(1989)의 연구를 들 수 있다. 또한 출근통행의 시간가치 연구로서 원제무(1984), 김연동(1997) 등 여러 연구들로부터 통행행동 의사결정자의 특성이 개별행태모형에 의해 비교적 높은 정도의 추정이 가능하고 그 타당성과 적용성도 검증되어져 현재까지도 활발한 연구가 진행되어지고 있다.

한편, 개인의 1일 복수통행을 통행간의 연결성과 시간계획 및 활동 내에서 종합적으로 고려하려는 연구로서 활동중심적 접근(activity-based approach)과 통행사슬적 접근(trip chain approach)을 들 수 있다. 활동중심적 접근에서는 통행(trip)을 활동의 파생수요로 취급하고 이들 상호간의 관련성을 분석하고 있으며, 주요 연구학자로서 Damm and Lerman(1981), Damm(1982)은 취업자를 직장으로서의 도착시간 스케줄링이 대부분 개인의 사회경제적 속성이나 세대의 life style stage에 의존하고 있다고 밝혀내었다. 또한 Kondo(1986)와 Kitamura(1987) 등은 통행사슬(trip chain)과 관련한 시·공간프리즘 효율최대화연구를 수행하였다. 통행사슬적 접근은 특정 목적지에서 출발하여 하나 이상의 목적지를 방문하기 위한 통행의 연결성에 중점을 두고 있는 연구로서, Adler & Ben-Akiva(1979)는 효율최대화모형을 이용하여 tour수나 stop수(chain내 방문수)의 결정이라는 통행

사슬형성의 기본문제를 다루었다. 배영석(1990, 1996)은 네스티드 로짓모형을 이용하여 취업자와 비취업자 각각에 대해 1일에 행해지고 있는 복수통행의 상호관련성을 밝혀내고, 이들 모형의 도시권 교통수요예측을 위해 monte carlo simulation을 이용하여 그 적용가능성을 검토하였다. 이와 같은 접근들은 비교적 개인의 1일 복수 통행의 상호관련성이나 연결성문제를 정도 높게 규명해 내었다. 우리나라의 경우 통근통행자의 통행패턴을 활동중심적 접근방법을 이용하여 분석한 윤대식(1997)의 연구가 있다.

이상과 같이 복수통행의 상호의사결정을 고려한 통행사슬모형에 관한 연구들은 국외에서는 활발히 진행되고 있으나, 국내의 경우 비취업자의 교통수단선택연구를 제외한 연구들은 교통수단선택패턴분석을 특정 소수집단을 대상으로 한 설문자료에 대해 단순히 특정시점 및 특정장소의 통행량을 집계하여 그 자료로서 모형을 추정하고 있는데, 대부분의 연구들이 단순히 통행에 주목하여 분석을 행하는 통행중심적 접근방법(trip-based approach)으로서 통행자의 복수통행간의 연결성이나 통행자의 의사결정과정을 간과시켜 왔다.

따라서 본 연구는 도시권 통행에 있어서 중요한 비중을 차지하고 있고, 비교적 안정된 통행패턴이 보여지는 취업자를 대상으로, 도시권 전역에서 통행패턴을 본질적으로 파악가능한 사람통행실태자료(Person Trip Data)로부터 통행사슬적 접근방법을 이용하여 취업자의 1일 복수통행간의 상관관계를 규명하는 한편, 이를 근거로 하여 취업자의 1일 교통수단선택모형의 구축 및 통계적 검증을 행하고, 구축된 모형의 적용성 검토로서 모형의 시간이전성을 검토하고자 한다.

II. 취업자의 전형적인 통행패턴

개인의 연속적인 통행패턴을 살펴보면 실제로 대부분의 통행이 기중점(OD)이 동일한 복수의 통행을 행하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 취업자의 통행 특성을 분석하기 위해 본 연구에서는 tour¹⁾ 및 통행사슬을 본 분석의 기본단위로 하여 취업자의 1일 통행의 연결상태와 각 복수 통행간의 의사결정사이에 존재하는 상호관계를 명확하게 분석하고자 한다. 이하 본 연구에서 사용되어지는 용어에 대한 정의는 다음과 같다²⁾.

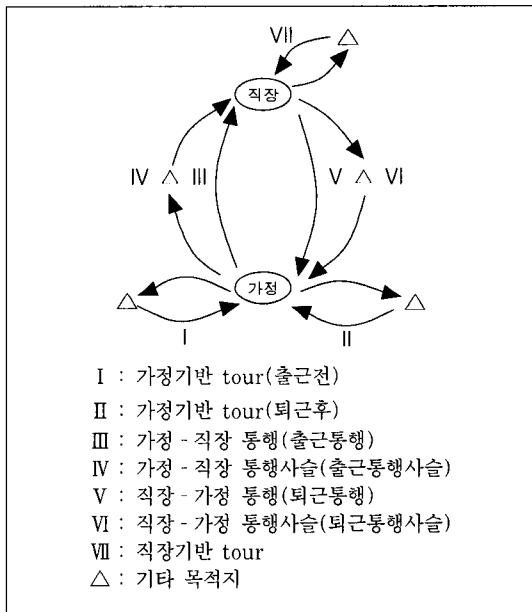
1) 연구자에 따라서는 tour와 동일한 의미로서 round trip, loop, cycle이라고 하는 용어를 사용하는 경우도 있다.

1. 기반(base)

개인의 복수통행에 있어서 통행의 기점을 기반으로 정의한다. 따라서 취업자의 경우는 집과 직장의 2개의 기반을 가지게 되며, 통행의 기점이 기반(집 또는 직장)이 아닌 경우의 통행을 비가정기반통행(non-home-based trip), 비직장기반통행(non-work-based trip)으로 정의한다.

2. tour 및 통행사슬(trip chain)

개인이 1일 복수의 연속적인 통행을 행할 때 통행의 기점이 후속 또는 최종통행의 종점이 되는 경우의 통행연쇄패턴을 tour라 정의한다. 취업자의 경우 기반이 집과 직장이므로 가정기반(home-based) tour와 직장기반(work-based) tour의 통행연쇄패턴이 이루어진다. 한편 통행의 기중점을 주목해 볼 때 다른 기반간의 이동 즉 집과 직장간의 복수의 연쇄통행패턴을 통행사슬이라 정의한다. 따라서 취업자의 경우 집에서 직장까지의 통행패턴은 출근통행사슬(home-to-work trip chain), 직장에서 집까지의 퇴근통행사슬(work-to-home trip chain)로 정의한다.



〈그림 1〉 취업자의 전형적인 1일 통행패턴

3. 취업자의 통행패턴

1일 취업자의 전형적인 통행패턴을 tour개념에서 보면 〈그림 1〉과 같다. 최초 출발지와 최종도착지가 집으로 일치하는 전형적인 취업자의 경우 최소한 가정기반(home-based) tour의 수는 1개 이상 형성된다.

III. 취업자의 1일 통행행태분석

1. 분석자료의 개요

본 연구에서 분석된 자료는 도시권 전역에서의 취업자 통행특성과 이를 통한 수단선택모형의 구축을 위해 1988년과 1992년에 실시된 대구시 사람통행실태조사자료를 이용하였으며 조사개요는 〈표 1〉에 나타내었다. 여기서 1988년의 자료는 대구광역시내에 거주하는 총 인구의 약 4.7%를 표본으로 추출하였으며, 보완조사의 성격을 가진 1992년 조사의 경우는 총 인구의 약 1.1%인 26,275인을 표본추출하였다.

한편 본 연구는 취업자를 대상으로 하고 있기 때문에 〈표 1〉의 사람통행실태조사 가운데 취업자를 분리추출하였으며, 이때의 취업자의 통행현황은 〈표 2〉와 같다.

분석결과, 분리 추출된 전체 취업자는 1988년, 1992년 각각 27,592인, 8,144인으로, 그 가운데 출근을 한 취업자는 각각 68.3%, 70.5%이며, 출근을 하지 않고 다른 통행을 한 취업자는 각각 25.0%, 21.4%, 그리고 하루종일 통행을 하지 않은 취업자가 6.7%, 8.1%인 것으로 나타났다.

또한 본 연구에서는 출근을 행한 취업자 가운데 통행패턴이 비교적 안정된 취업자를 분석대상으로 하기 위해 다음의 조건을 만족하는 취업자를 최종 선별하였다. 그 결과 본 연구의 최종 분석대상 취업자는 1988년 16,852인, 1992년 5,185인으로 전체취업자의 61.1%와 63.7%를 점유하고 있다. 이들 분석대상 취업자의 1인당 평균통행수는 1988년 2.49통행/인·일이며, 1992년의 경우 2.70통행/인·일로 도시내 취업자의 1일 통행수가 시간의 흐름에 따라 증가하는 것을 알 수 있었다.

2) 배영석(1996) : "개별행태모형을 이용한 통근인구의 교통행태분석에 관한 연구", 대한교통학회지, 제14권 제4호, 1996년 12월.

〈표 1〉 대구시 사람통행실태조사 자료의 개요

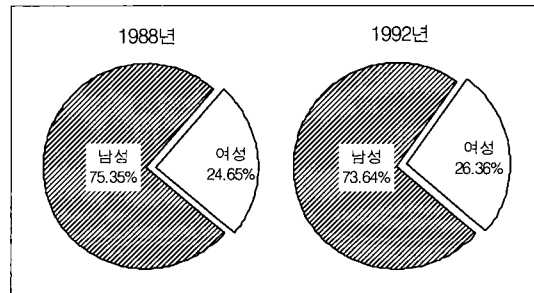
구 분	1988년 조사	1992년 조사
조사지역	136개 행정동	141개 행정동
조사기간	1988. 7. 5 ~ 7. 7	1992. 5. 6 ~ 6. 5
조사대상인원	92,433명	26,275명
추 출 율	4.7%	1.1%

〈표 2〉 취업자 통행현황

취업자 분 류	1988년				1992년			
	인수	통행수	평 균 통행수	구성비 (%)	인수	통행수	평 균 통행수	구성비 (%)
전체 취업자	27,592	65,827	2.39	100.0	8,144	20,515	2.52	100.0
출근취업자	18,845	47,159	2.50	68.3	5,744	15,440	2.69	70.5
비출근취업자	6,899	18,668	2.71	25.0	1,743	5,075	2.91	21.4
비통행취업자	1,848	—	—	6.7	657	—	—	8.1
분석대상 취업자	16,852	41,764	2.49	61.1	5,185	13,977	2.70	63.7

이하 본 논문에서는 이들 최종 분석대상 취업자에 대하여 분석하고자 한다.

- ① 직업을 가지며 월소득이 있는 자
- ② 최초출발지가 집이고 최종목적지가 집인 자로서 1일 통행패턴에서 반드시 출근과 귀가통행을 행한 자
- ③ 1일 통행이 대구시내에서만 이루어진 자



〈그림 2〉 분석대상 취업자의 성별 구성

2. 개인속성분석

본 연구는 1988년, 1992년의 서로 다른 두 시점에서의 취업자의 통행수단 선택분석을 행하기 때문에 두 시점의 표본 구성인이 서로 다르다. 따라서 경년 변화에 따른 분석대상 취업자의 표본특성을 알아보기 위해 성별, 연령, 승용차보유유무등의 개인속성들의 구성비율을 분석·검토하였다.

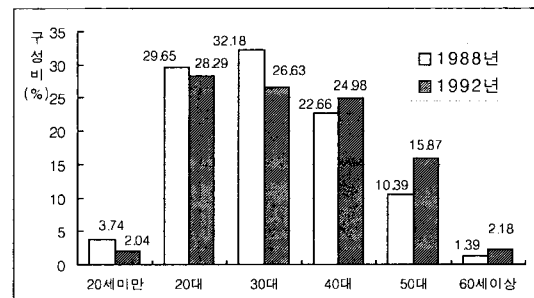
1) 성별 구성비율

분석대상 취업자의 성별 구성비율은 〈그림 2〉에 나타난 바와 같다. 1988년, 1992년 모두 남성이 여성에 비해 약 3배(1988년 3.1배, 1992년 2.8배)정도 높은 비율을 나타내고 있으며, 여성의 경우 1988년에 비해 1992년의 취업자 비율이 약 1.7%정도의 약간의 증가가 있으나 전체적으로는 비슷한 비율로 구성되어 있는 것을 알 수 있다.

2) 연령 구성비율

〈그림 3〉은 분석대상 취업자의 연령별 구성비율을 나타내고 있다. 연령별로는 1988년의 경우 30대가 32.18%로 가장 높고, 그 다음으로 20대(29.65%), 40대(22.66%)의 순으로 구성되어 있다.

1992년에는 20대가 28.29%로 가장 높은 것으로

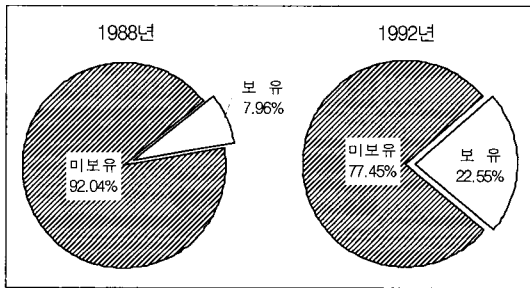


〈그림 3〉 분석대상 취업자의 연령 구성

나타났고, 그 다음으로 30대(26.63%), 40대(24.98%) 순으로 나타났다. 또한 전체적으로 볼 때 20~40대가 1988년 84.4%, 1992년 79.9%로 전체 취업자의 약 80% 정도를 점유하여 두 시점의 구성비율은 비슷하다고 볼 수 있다.

3) 승용차보유유무 구성비율

분석대상 취업자의 승용차보유유무 구성비율은 <그림 4>와 같다. 1988년의 경우, 승용차보유자가 약 8.0%에 지나지 않으나, 1992년에는 경제발전과 사회여건변화로 인해 22.6%로 크게 증가하였음을 알 수 있다.



<그림 4> 분석대상 취업자의 승용차보유유무 구성

3. 통행행태분석

1) 취업자의 1일 통행수

취업자가 1일에 행한 통행수 구성을 <표 3>에 나타내었다. 1988년, 1992년 모두 1일 2통행의 피스톤식 통행이 76.1%, 65.9%로 대부분을 차지하고 있다.

<표 4> 통행패턴별 통행수 구성

<1988년>						
유형 통행수	I	II	III/IV	V/VI	VII	합 계
1	0 (0)	0 (0)	16,831 (99.5)	14,912 (88.1)	0 (0)	31,753 (87.9)
2	52 (94.6)	510 (94.3)	73 (0.4)	1,498 (8.9)	1,402 (81.8)	3,525 (9.8)
3	3 (5.4)	26 (4.9)	9 (0.1)	333 (2.0)	228 (13.3)	599 (1.6)
≥4	0 (0)	5 (0.8)	4 (0.0)	174 (1.0)	84 (4.9)	267 (0.7)
합 계	55 (100)	541 (100)	16,917 (100)	16,917 (100)	1,714 (100)	36,144 (100)

<표 3> 1일 통행수 구성

통행수	1988년		1992년	
	인수	구성비(%)	인수	구성비(%)
2	12,816	76.1	3,415	65.9
3	1,363	8.0	472	9.1
4	1,796	10.6	947	18.2
5	433	2.6	176	3.4
6	427	2.5	168	3.2
≥7	17	0.2	7	0.2
합 계	16,852	100.0	5,185	100.0

2) 통행패턴별 통행수

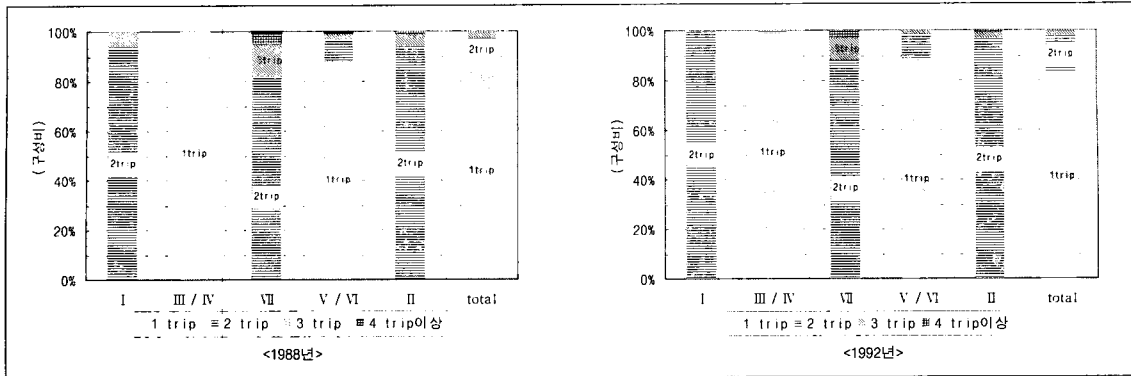
취업자의 통행패턴별 통행수 구성을 <표 4>와 <그림 5>에 나타내었다. 취업자의 경우 가정 또는 직장기반 tour인 I, II, VII패턴에서는 2통행이 대부분을 차지하고 있으며, 서로 다른 기반간을 이동하는 III/IV, V/VI패턴에는 1통행만으로 통행을 종결하는 사람이 1988년과 1992년 모두 80%이상을 점유하고 있다.

3) 1일 교통수단선택 행태

“1일 동일수단이용률”이란 취업자가 1일 내에서 첫 번째 통행의 수단을 변경하지 않고 최종통행까지 이용한 취업자의 구성으로 나타내는 것으로서 대도시 취업자의 대표수단인 승용차, 버스, 택시, 도보, 이륜차로 나누어 <표 5>에 나타내었다. 취업자의 “동일수단이용률”은 1988년, 1992년 각각 85.1%, 81.0%로서 취업자의 대부분이 첫 번째 통행의 수단을 그대로

<1992년>						
유형 통행수	I	II	III/IV	V/VI	VII	합 계
1	0 (0)	0 (0)	5,137 (99.0)	4,585 (88.4)	0 (0)	9,725 (83.0)
2	27 (100)	120 (96.8)	49 (0.9)	532 (10.2)	1,039 (88.0)	1,764 (15.1)
3	0 (0)	3 (2.4)	2 (0.1)	60 (1.2)	108 (9.1)	173 (1.5)
≥4	0 (0)	1 (0.8)	1 (0.0)	12 (0.2)	34 (2.9)	38 (0.4)
합 계	27 (100)	124 (100)	5,189 (100)	5,189 (100)	1,181 (100)	11,710 (100)

주) 유형은 <그림 1>의 각 통행패턴에 해당하는 번호

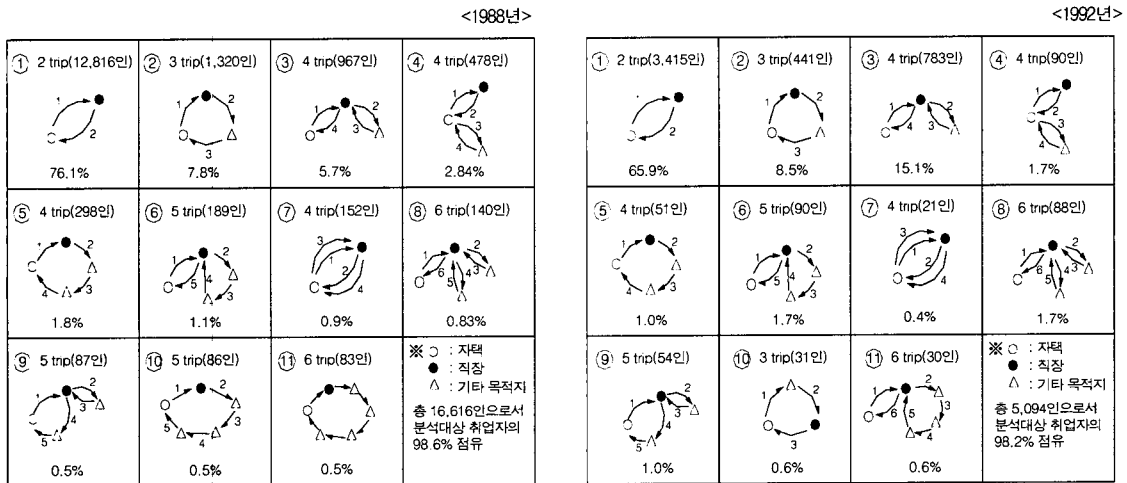


〈그림 5〉 통행패턴별 통행수 구성

〈표 5〉 첫 번째 통행수단의 1일 이용현황 (동일수단이용자와 수단변경이용자 분포)

<1988년>					<1992년>				
구분 \ 첫번째 통행수단	A	B	C	B/A (%)	구분 \ 첫번째 통행수단	A	B	C	B/A (%)
버스	10,354	8,860	1,494	85.6	버스	2,582	2,020	562	78.2
택시	616	364	252	59.1	택시	110	48	62	44.0
승용차	1,619	1,458	161	90.1	승용차	1,360	1,208	152	89.0
이륜차	1,375	1,265	110	92.0	이륜차	260	232	28	89.2
도보	2,888	2,400	488	83.1	도보	873	690	183	79.0
계	16,852	14,347	2,505	85.1	계	5,185	4,198	987	81.0

주) A:전체 이용자, B:동일수단이용자, C:수단변경이용자, B/A(%):동일수단이용률



〈그림 6〉 취업자의 1일 통행연쇄패턴

이용하여 1일의 통행을 완결한다는 것을 알 수 있다. 따라서 취업자의 1일 첫 번째 통행의 수단선택이 1일 전체의 수단선택 의사결정에 중요한 부분을 차지한다고 볼 수 있다.

4) 1일 전체의 통행패턴

취업자의 1일 통행연쇄패턴을 집과 직장에 주목하여 상위 11개 유형으로 나누어 〈그림 6〉에 나타내었다. 이 패턴들은 1988년과 1992년 모두 분석대상 취

업자의 98.6%와 98.4%를 점유하므로 대부분의 통행패턴이 여기에 속한다고 볼 수 있다. 유형 ① 2통행의 경우 1988년과 1992년의 비율은 각각 76.1%와 65.9%로서 취업자의 대부분을 차지하는 것으로 나타났으며, 그 외의 패턴은 연도에 따라 약간의 변동은 있으나 거의 동일한 통행패턴을 구성하고 있다.

4. 개인속성별 수단분담특성

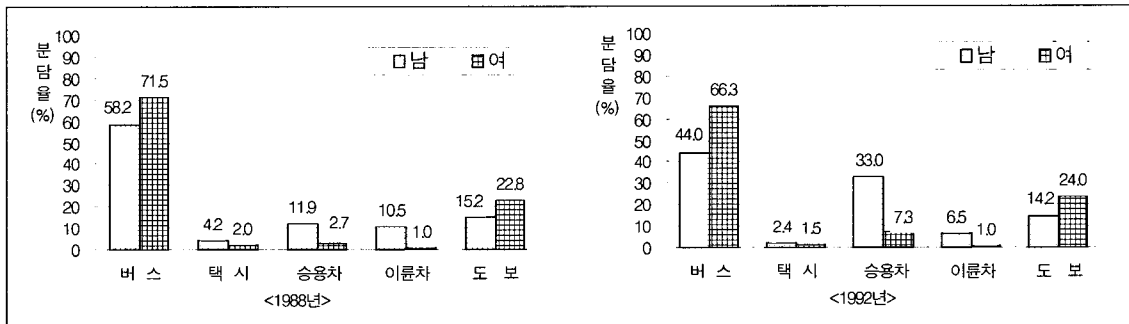
앞서 분석된 결과로부터 취업자의 첫 번째 통행에 이용한 수단을 개인속성별로 분석하였다. 본 분석을 행하는 것은 이를 기초로 하여 취업자의 교통수단선택모형의 구축을 위한 가장 설득력 있는 설명변수의 선정에 위한 것으로서, 분석내용은 개인속성자료인 성별, 연령, 승용차보유유무이다. 교통수단은 1988년과 1992년의 대구시의 대표수단인 버스와 택시, 승용차, 도보, 이륜차로 나누어 분석하였다.

1) 성별 수단분담율

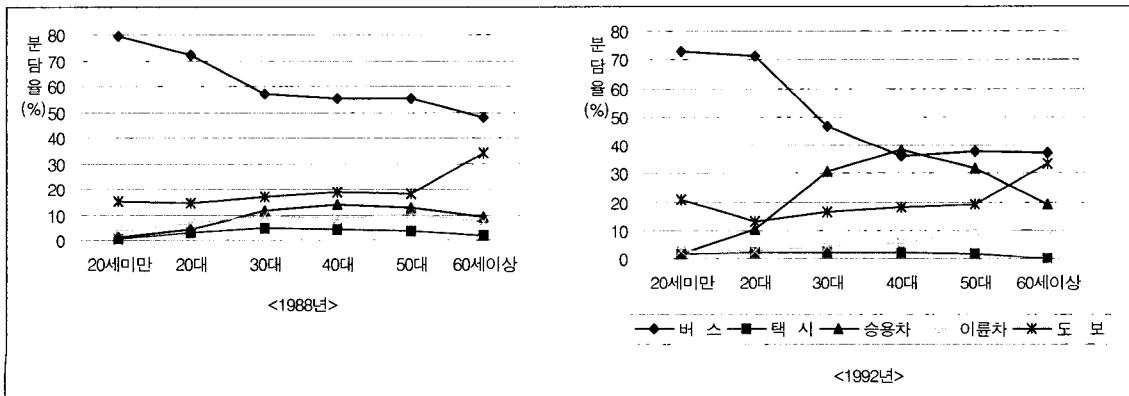
취업자의 성별 교통수단분담율을 <그림 7>에 나타내었다. 1988년의 경우 전체남성의 58.2%가 버스이용자였지만, 여성의 경우는 71.5%로서 여성이 남성보다 버스이용이 많았다. 승용차 이용의 경우 남성은 1988년과 1992년 각각 11.9%, 33.0%, 여성은 2.7%, 7.3%로서 버스수단과는 대조적으로 남성의 승용차 이용이 여성보다 월등히 높은 것을 알 수 있다.

2) 연령별 수단분담율

취업자의 연령별 교통수단분담율을 <그림 8>에 나타내었다. 버스 이용의 경우 20세 미만의 연령구성이 1988년, 1992년도 모두 79.6%, 72.9%로서 가장 높게 나타났다. 승용차 이용의 경우, 1988년에는 40대의 13.8%, 1992년에는 38.3%가 승용차를 이용하는 것으로 나타났다. 버스와 승용차를 제외한 그 외 수단분담분포는 연령별로 큰 차이 없이 고루 이용하고 있는 것으로 나타났다.



<그림 7> 성별 수단분담율



<그림 8> 연령별 수단분담율

3) 승용차보유 유무별 수단분담율

승용차보유 유무에 따른 교통수단분담율을 <그림 9>에 나타내었다. 분석대상 취업자의 승용차보유율은 1988년에 8.0%(1대/12.56인)에서 1992년에 22.6%(1대/4.43인)로 크게 증가하였다. 한편 동일 년도의 대구시 전체 평균보유대수는 1988년 1대/31.9인, 1992년 1대/11.1인이다. 승용차를 보유하고 있으면서 승용차를 이용한 취업자는 1988년은 85.2%에서 1992년 92.3%로 7.1%증가하였고, 반면에 승용차 비보유자의 승용차 이용은 1988년 3.1%에서 1992년 7.0%로 2배 이상 증가하였다. 또한 승용차를 이용한 취업자 가운데 승용차 비보유자의 비율은 1988년 29.6%에서 1992년 20.5%로 낮게 나타났다.

한편, 승용차가 없으면서 승용차를 이용하는 취업자의 연령별, 성별구성을 분석한 결과한 결과는 <그림 10>에 나타내었다. 연령별로 보면, 1988년의 경우는, 30대, 20대, 40대의 순으로 전체의 약 85%를 차지하고 있다.

1992년은 20대가 38.4%로 가장 많고, 그 다음으로 30대, 40대의 순으로 전체의 약 85%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 성별구성의 경우는 여성이 1988년의 23.8%에서 1992년에는 43.8%로 약 1.8배가 증가하였다.

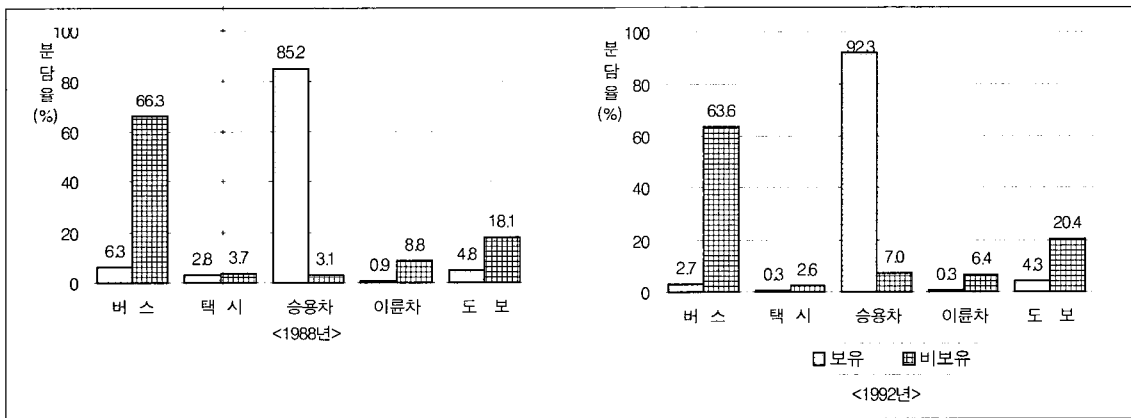
이상의 이들 구성비율의 경년변화는 경제력 향상에 따른 자동차보유의 증가(1가구 2차량보유 포함) 및 여성 및 청소년을 포함한 운전면허 보유자의 급증에 따른 현상에 기인하는 것으로 판단되어진다.

IV. 교통수단선택모형의 구축 및 평가

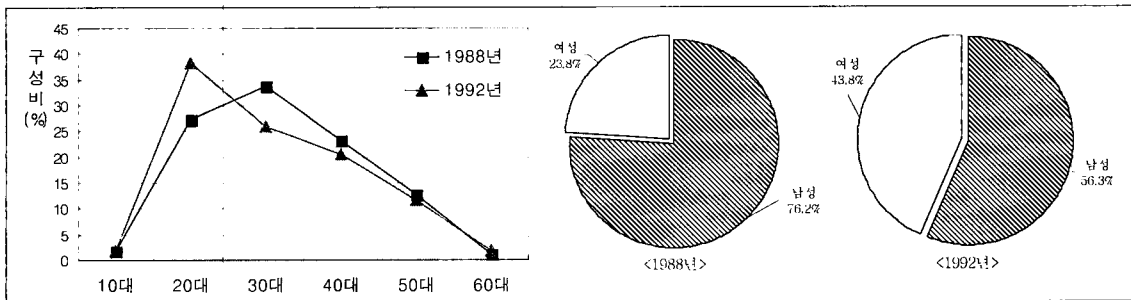
1. 적용모형

본 연구에서는 버스, 택시, 승용차를 대상으로 확률효용이론(random utility theory)을 기본으로 하는 개별행태모형 중 다항로짓모형을 적용하여 교통수단선택모형을 구축하였다.

개별행태모형은 행동의 기본적인 의사결정 단위인 각 개인은 어떤 선택상황 가운데서 자신에게 효용이



<그림 9> 승용차보유유무별 수단분담율



<그림 10> 승용차미보유자의 승용차이용자 연령 및 성별구성

가장 큰 선택대안을 선택한다고 하는 효용최대화 행동을 기본전제로 한다. 이러한 개별행태모형 중 본 연구에서 적용하는 모형인 다항로짓모형에서의 개인 n 이 선택대안 집합 A_n 에서 대안 i 를 선택하는 확률 P_{in} 은 식(1)과 같다.

$$P_{in} = \frac{e^{\lambda V_{in}}}{\sum_{j \in A_n} e^{\lambda V_{jn}}} = \frac{1}{\sum_{j \in A_n} e^{\lambda(V_{jn} - V_{in})}} \quad (1)$$

$(i \in A_n)$

- A_n : 개인 n 의 선택대안집합
- P_{in} : 개인 n 이 선택대안 $i(i=1, \dots, I_n)$ 을 선택할 확률
- V_{in} : 개인 n 이 선택대안 i 에서 받는 효용의 확정항
- λ : 효용의 확률항의 분산을 나타내는 파라메타

이때 효용항 V_{in} 은 선형(線形), 대수선형(對數線形), CES形 등이 고려되며, 식(2)에 나타난 선형이 모형적용상 편리성과 이해의 용이성으로 가장 잘 사용되므로 본 연구에서도 선형 효용함수형으로 모형을 구축하였다.

$$V_{in} = \theta' X_{in} = \sum_{k=1}^K \theta_k X_{ink}, \quad (i \in A_n) \quad (2)$$

- 단, $\theta = [\theta_1, \dots, \theta_K]'$ 는 파라메타 벡터
- $X_{in} = [X_{ink}, \dots, X_{ink}]$ 는 개인 n 의 선택대안 i 의 특성 벡터

한편, 추정된 모형의 통계적 검정방법으로는 각 추정계수에 대해서는 부호조건과 t-검정을 행하며, 모형 전체의 적합성을 나타내는 지표로서 우도비(ρ^2)와 적중률(Hit ratio)을 이용한다. 우도비는 회귀분석에서의 R^2 와 마찬가지로 0과 1사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 좋은 적합도를 나타낸다. 우도비는 일반적으로 R^2 보다 비교적 작은 값을 가지는데, 우도비가 0.2~0.4사이의 값을 가지면 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 가지는 것으로 평가할 수 있다(McFadden, 1976). 적중률은 모형에 의해 추정된 결과와 실제의 선택 결과의 적합성여부를 나타내는 지표로서 모형의 실제 적용 가능성을 판단할 수 있는 하나의 기준이 될 수 있다.

2. 모형구축

1) 자료추출 및 설명변수의 선정

본 연구에서는 대구시의 1988년과 1992년에 실시된 사람통행실태자료를 사용하였으며, 이때의 존(zone) 설정은 행정동을 기준으로 하여 대구시내 대존 7개, 중존 38개, 소존 141개로 구성되어져 있다.

본 연구에서는 대존 7개를 분석대상으로 하였으며, 대구시 취업자의 1일 동일수단이용률이 1988년, 1992년 각각 85.1%, 81.0%로서 모두 80%를 넘으므로 모형구축에서는 대구시의 대표수단인 버스, 택시, 승용차를 이용한 취업자의 첫 번째 tour중 출근통행을 대상으로 1988년 자료에서 756개, 1992년 자료에서 769개를 단순무작위 표본추출 하였다.

한편, 모형의 추정을 위해 개인특성변수(alternative-specific socioeconomic variables)와 대안특성변수(alternative-specific variables)를 설명변수로 채택했으며, 그 중 개인특성변수는 변수간 상관분석 결과 다중공선상의 문제가 발생하는 변수를 뺀 결과 성별(SEX), 연령(AGE), 자동차보유유무(AUTO)로 선정하였고, 대안특성변수로는 총통행시간(TIME)과 통행비용(COST)을 채택하였다.

본 연구에서의 존간 총통행시간은 차내통행시간 및 차외통행시간을 포함한 값으로서, 대구시 대존 7개를 분석대상으로 하여 대안수단별(버스, 택시, 승용차) 존간의 평균 통행시간을 집계·계산하였으며, 이때 존 내부 통행도 포함하여 산정하였다. 또한, 취업자가 하나의 통행목적에 복수의 통행수단을 이용하였을 경우에는 대표수단을 사용하였으며, 이때 버스-택시-승용차-이륜차-도보의 순으로 결정하였다.

존간 총통행시간 산정방법은, 존간 실거리(대구시 교통정비기본계획, 1995)를 존간 평균통행속도로 나눈 값을 적용하였다. 이때 존간 평균통행속도는 수단별 평균속도로서 표본 자료로부터 존간의 총통행거리/총통행시간으로 구하였다.

통행비용은 통행거리×각 수단별 평균통행비용(원/km)으로부터 산정 하였으며, 각 수단별 차량통행비용(원/km)은 <표 6>에 나타내었다. <표 6>에서 보는 바와 같이, 버스와 택시의 경우는 대구시의 해당 년도별 운행요금체계를 그대로 적용하였으며, 승용차의 차량운행비용은 승용차의 사용여부와

〈표 6〉 수단별 통행비용 산정

구 분			1988년	1992년
승 용 차	고정 비용	감가상각비(원/시간)	92	114
		보 험 료(원/시간)	63	75
		제세공과금(원/시간)	33	36
		시간당 고정비용(원/시간)	189	225
		거리당 고정비용(원/km)	8	9
	변동 비용	휘발유가격(원/ℓ)	418	652
		연간 주행거리(km/년)	20,000	20,000
		평균연비(km/ℓ)	12	12
		연간 유지관리비(원/년)	172,620	213,720
		연간 오일비(원/년)	75,000	80,000
연간 타이어비(원/년)		33,840	42,300	
합 계	거리당 변동비용(원/km)	48	70	
택 시 (거리별 균일요금)			기본요금600원(2km) 400m마다 50원추가	기본요금 800원(2km) 424m마다 100원추가
버 스 (균일요금)			140원/인	210원/인

〈표 7〉 모형구축을 위한 설명변수의 선정

변 수 명	내 용	단 위	
dummy 변 수	A - CNST	승용차의 상수항	-
	T - CNST	택시의 상수항	-
대 안 특 성 변 수	TIME	총통행시간	분
	COST	승용차:통행비용, 택시·버스:요금	원
개 인 특 성 변 수	SEX	남성: 1, 여성: 0	-
	AGE	20대~40대 1, 그외 0	-
	AUTO	보유자 1, 비보유자 0	-

관계없이 승용차 보유로 인해 발생하는 비용인 고정비용³⁾과 승용차의 사용빈도에 따라 변화하는 변동비용⁴⁾을 합한 값을 적용하였다⁵⁾.

한편, 채택된 설명변수는 연속변수와 카테고리변수 두 가지로 구분하였는데, 총통행시간과 통행비용은 연속변수로 취급하고, 개인특성변수는 카테고리화하였으며 그 내용은 〈표 7〉과 같다.

3) 교통수단선택모형의 추정결과

1988년과 1992년에 실시된 대구시 사람통행실태 조사 자료로부터 취업자의 교통수단선택모형의 추정

결과를 〈표 8〉에 나타내었으며, 모든 변수들이 논리적으로 합당한 부호를 나타내었다. 대안특성변수인 총통행시간(TIME)의 경우 1988년과 1992년 모두 음(-)의 부호 즉 통행시간이 길수록 그 수단을 기피하는 경향이 나타났으나 t값은 각각 -0.827, -1.756로서 통계적 유의성이 낮았다. 비용(COST)변수의 부호는 모두 음(-)의 부호로 양호하였으나 t값은 1988년과 1992년 각각 -0.971, -1.539로서 시간변수와 함께 통계적으로 유의성은 낮게 나타났다. 그러나 1988년에 비해 1992년의 모형의 t값이 더 높게 나타났다.

개인특성변수에 있어서 승용차의 경우, 성별변수(SEX)의 추정계수는 1988년과 1992년 모형 모두 통계적으로 유의수준은 낮게 나타났으나 양의 부호로 취업자의 남성은 승용차를 선호하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 연령(AGE) 및 승용차보유변수(AUTO) 역시 기대가능한 양(+)의 부호로 나타났는데 연령변수의 t값은 각각 3.669, 1.171로서 1988년 모형의 경우 유의수준 1%에서 유의한 것으로 나타나 20대에서 40대의 취업자는 버스보다 택시 및 승용차를 선호하는 것으로 나타났다. 또한 택시의 경우, 남성은 택시를 타 교통수단(버스)보다 선호하는 경향이 있다는 양(+)의 부호로 나타났는데 성별변수의 t값은 각각 1.999, 3.394로서 각각 유의수준 5%, 1%에서

3) 고정비용 : 자동차감가상각비, 보험료, 검사비, 운전자인건비, 제세공과금 등

4) 변동비용 : 연료비, 엔진오일비, 타이어비, 유지정비비, 주차비 등

5) 이병미(1996) : "취업자의 통행특성 및 로짓모형에 의한 교통수단선택 행태분석", 영남대학교 대학원 석사학위논문

〈표 8〉 교통수단선택 예측모형의 추정결과

선택 대안	1988년			1992년		
	변수	Coefficient	t 값	Coefficient	t 값	
A	A-CNST	-3.110	-5.715	-3.519	-5.230	
	A-SEX	0.170	0.506	0.169	0.404	
	A-AGE	1.288	3.669	0.496	1.171	
	A-AUTO	5.337	12.051	7.098	9.471	
T	T-CNST	-1.170	-3.131	-1.158	-4.396	
	T-SEX	0.417	1.999	0.744	3.394	
	T-AGE	1.225	5.290	0.915	3.916	
	T-AUTO	1.071	2.270	1.577	1.971	
A,T,B	TIME	-0.023	-0.827	-0.043	-1.756	
	COST	-0.001	-0.971	-0.001	-1.539	
Log-Likelihood			-530.122	-485.375		
Restricted Log-L			-830.551	-844.833		
Chi-Squared			601.706	718.919		
ρ^2			0.362	0.426		
적중률 (%)	승용차				84.8	88.7
	택시				57.0	65.5
	버스				57.3	55.1
	전체				67.5	69.3
표본수			756	769		

주) A:승용차, T:택시, B:버스

유의한 것으로 나타났다. 연령변수 및 승용차보유변수의 경우 역시 1988년과 1992년 모두 기대가능한 양(+)의 부호를 가지며 연령변수의 t값은 각각 5.290, 3.916, 승용차보유변수의 t값은 각각 2.270, 1.971로서 유의수준 1%, 5%에서 유의한 것으로 나타나 승용차의 경우와 동일하였다.

한편 모형의 적합도를 나타내는 ρ^2 값은 1988년과 1992년 모두 0.362, 0.426로서 양호한 적합도를 가지는 것으로 나타났으며, 적중률은 67.46%, 69.31%로서 비교적 양호한 적합도를 가지는 것으로 나타났다.

3. 모형의 이전성 검토^{6,7)}

1) 모형의 이전방법

구축된 모형의 이전방법은 크게 4가지로 나눌 수 있는데 ①모형을 그대로 이전하는 방법, ②모형을 이전시

키는 지역이나 시점의 자료에서 수정하여 이전하는 방법, ③이전시키는 시점에서 추가되는 대안특성변수의 계수를 재 추정하는 방법, ④동일 설명변수쌍(pair)에서 전체의 계수를 재 추정하는 방법 등으로 나누어진다.

본 연구에서는 이용한 이전방법은 ④동일변수쌍(pair)은 기존 모형과 동일(동일 설명변수쌍)하게 하고 매개변수는 이전 받는 측의 추가자료를 이용하여 모든 변수의 계수를 재 추정하는 방법을 이용하였다. 이 방법은 수정하여 모형을 구축하는 방법에 비해 설명변수의 조합을 탐색하는 순서를 생략할 수 있기 때문에 시간을 절약할 수 있다.

또한 이전 후 이전가능성 유무를 평가하는 지표로는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 ①pairwise t-검정에 의한 방법, ②모형의 대수우도(log likelihood)를 이용한 각종 평가지표에 의한 방법, ③이전 후 모형의 추정정도(推定精度)에 관한 지표에 의한 방법(집계치의 차이에 의한 평가)으로 모형의 시간이전성을 검토하였다.

2) 이전성 평가

(1) pairwise t-test에 의한 평가

동일변수쌍(pair)에서 모든 매개변수를 재 추정할 경우에는 2개 모형의 각 매개변수 차의 유의성에 대하여 t-검정(pairwise t-test)을 행하는 방법이다. 검정방법은 "2개 모형의 각 추정계수간에 차이가 없다"는 귀무가설(null hypothesis)을 설정하고 t-검정을 행하며, t값은 식(3)에 의해 산출한다.

$$t = \frac{|\hat{\beta}_{ik} - \hat{\beta}_{jk}|}{S_w \sqrt{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}}} \quad (3)$$

$$S_w = \sqrt{\frac{(n_i - 1)n_i S_{ik}^2 + (n_j - 1)n_j S_{jk}^2}{n_i + n_j - 2}} \quad (4)$$

$\hat{\beta}_{ik}, \hat{\beta}_{jk}$: 이전하기 전 모형 i , 이전한 후 모형 j 의 k 번째 파라메타

S_{ik}, S_{jk} : 이전하기 전 모형 i , 이전한 후 모형 j 의 k 번째 파라메타의 표준편차

6) 김대용, 배영석, 김연동, 권용운(1997) : "비취업자의 교통수단선택모형구축 및 시간이전성 검토", 대한토목학회논문집, 제17권 제1호.
7) 日本土木學會編(1995) : "非集計行動モデルの理論と實際", pp.130~143.

n_i, n_j : 이전하기 전 모형 i , 이전한 후 모형 j 의 sample 수

(2) 우도(likelihood)를 이용한 평가

모형의 대수우도를 이용한 평가방법은 ①METS를 이용하여 모형이전 전·후 각 매개변수 group간의 차이가 있는가를 검정하며, 이 값은 자유도(degree of freedom : df)가 매개변수 수와 동일한 χ^2 분포에 따르기 때문에 pairwise t-검정에 의한 방법과 동일한 방법으로 검정을 행한다. ②TTS는 이전하기 전 모형의 이전능력을 대수우도의 차이로 표현한 것으로서 χ^2 분포에 따른다. ③ROH는 우도비(ρ^2)와 동일한 의미를 가지며, 이전 받는 측에서 추정된 모형의 매개변수를 대신하여 이전하는 측의 모형의 매개변수를 대입하여 구함으로서 이전능력을 평가하는 방법이다. ④TI는 이전하는 측 모형의 매개변수와 이전 받는 측 모형의 매개변수 각각에서 산출한 이전한 후 모형의 대수우도의 개선 정도의 비를 표시하고 있다. 이 값은 1을 상한치로 가지며, 이때 2개 모형은 동일한 것을 의미한다.

$$\begin{aligned} \text{① } METS_{AB} &= -2[L_{A+B}(\theta_{A+B}) - L_A(\theta_A) - L_B(\theta_B)] \\ \text{② } TTS_B(\theta_A) &= -2[L_B(\theta_A) - L_B(\theta_B)] \\ \text{③ } ROH \text{ 또는 } TRS_B(\theta_A) &= \frac{L_B(\theta_A) - L_B(C_B)}{L^* - L_B(C_B)} \\ &= 1 - \frac{L_B(\theta_A)}{L_B(C_B)} \\ \text{④ } TI_B(\theta_A) &= \frac{L_B(\theta_A) - L_B(C_B)}{L_B(\theta_B) - L_B(C_B)} \end{aligned} \quad (5)$$

A : 이전하는 측

B : 이전받는 측

$L_B(\theta_A)$: A의 data에서 추정된 매개변수를 이용하여 B의 data에 적용하여 얻어진 대수우도값

$L_{A+B}(\theta_{A+B})$: A, B 양측의 data를 합한 data에서 추정된 모형의 대수우도값

$L_B(C_B)$: 정수항만에 의한 모형의 대수우도값

(3) 집계치 차이에 의한 평가

이전 후의 모형의 추정정도에 관한 지표로서 다음

의 식(6),(7)의 2가지로 대별할 수 있다.

① 추정 share의 관측 share에 대한 오차에 관한 지표(AE)

$$AE = \sum_{k=1}^{MOLF} |S_k(C_B) - S_k(\theta_A)| \times 100 \quad (6)$$

$S_k(C_B)$: B시점(지역) 수단 k 의 관측 share

$S_k(\theta_A)$: A시점(지역)에서 추정된 파라메타를 이용하여 추정된 B시점(지역) 수단 k 의 share

② 이전 후 모형에 의한 이전 전의 data에 대한 적응률의 비(CI)

$$CI = \frac{PC_B(\theta_A)}{PC_B(\theta_B)} \quad (7)$$

$PC_B(\theta_A)$: A시점(지역) data에 의해서 추정된 매개변수를 이용하여 B시점(지역) data에 대한 적응률

3) 시간이전성 검토결과

1988년과 1992년의 양 시점간에 추정된 모형의 t-검정(pairwise t-test)에 의한 유의성 검정결과를 <표 9>에 나타내었다.

공통변수인 통행시간(TIME)과 비용(COST) 변수의 t값이 각각 0.560, 0.065로서 유의수준 30%의 임계치보다 낮게 나타나 "이전하는 측의 모형과 이전 받는 측의 모형의 각 매개변수간에는 차이가 없다" 라는 귀무가설을 기각할 수 없어 2시점간의 통행시간(TIME)과 비용(COST) 변수는 이전가능성이 있다고 말할 수 있다. 성별변수간의 t값은 0.002, 1.081로 유의수준 25%의 임계치보다 보다 낮게 나타나 2시점간의 성별 변수는 이전가능성이 있다고 말할 수 있다. 연령변수의 t값은 1.435, 0.943으로 유의수준 10%에서 귀무가설을 기각할 수 없다. 선택대안 승용차의 경우 승용차보유변수의 t값은 2.015로 유의수준 5%의 임계치보다 높아 귀무가설이 기각되어 1988년 모형과 1992년 모형의 승용차보유 변수는 통계적으로 충분히 다른 것으로 나타났다. 따라서 1988년 모형과 1992년 모형의 각 매개변수간의 t검정

〈표 9〉 pairwise t-test에 의한 취업자의 교통수단선택모형의 검정결과

선택대안	설명변수	t-검정 통계치
승용차 (A)	A-CONST	0.506
	A-SEX	0.002
	A-AGE	1.435
	A-AUTO	2.015
택시 (T)	T-CONST	0.821
	T-SEX	1.081
	T-AGE	0.943
	T-AUTO	0.546
A, T, Bus	TIME	0.560
	COST	0.065

〈표 10〉 우도를 이용한 시간이전성 검정결과

이전가능성 지표	통계량	Likelihood ratio index
METS	16.12	
TTS	33.00	$L_{A+B}(\theta_{A+B}) = -1,023.55$
ROH	0.40	$L_A(\theta_A) = -530.12$
		$L_B(\theta_B) = -485.37$
T I	0.95	$L_B(\theta_A) = -501.87$
		$L_B(C_B) = -839.75$
AE(%)	17.16	$PC_B(\theta_A) = 0.66$
		$PC_B(\theta_B) = 0.69$
CI	0.96	

(pairwise t-test)결과, 승용차보유 변수는 이전가능성에 약간의 문제가 있는 것으로 나타났으나, 그 외 설명변수는 유의수준 25%, 통행시간, 통행비용 변수는 유의수준 30%의 임계치보다도 낮게 나타나 전반적으로 모형의 시간이전 가능성은 충분하다고 할 수 있다.

또한 구축된 모형전체의 이전가능성을 검토하기 위하여 우도(likelihood)를 이용한 방법과 집계치의 차이에 의한 방법을 행하였으며, 모형의 검정결과는 〈표 10〉과 같다.

먼저 METS와 TTS의 통계량은 16.12로 유의수준 5% ($\chi^2(df=10, \alpha=0.05)=18.30$)보다 작은 값을 나타내어 "어떤 group의 모든 추정계수값의 벡터가 다른 group의 그것과 같다" 라는 귀무가설을 기각할 수 없어 모형전체의 이전이 가능한 것으로 나타났다. 그러나 TTS의 통계량은 33.00으로 유의수준 0.5% ($\chi^2(df=10, \alpha=0.005)=25.19$)에서도 통계량이 커 귀무가설이 기각되어 모형전체의 이전에는 문제점이 있는 것으로 나타났다. 우도비(ρ^2)와 동일한 의미를

가지고 있는 ROH는 0.40, 대수우도의 개선정도의 비를 나타내는 TI는 0.95으로 양호한 결과로 나타나 이전가능성이 있다고 할 수 있다. 또한, 집계치의 차이에 의한 통계량을 보면 Share의 절대오차인 AE는 17.16%, 적중률의 비인 CI는 0.96으로 양호한 결과로 나타나 이전가능성이 있다고 할 수 있다.

V. 결론

본 연구는 도시 내에서 비교적 안정된 통행패턴을 이루고 있는 취업자를 대상으로 하여 이들의 통행패턴을 집과 직장에 주목하여 보다 체계적으로 분석하고, 이를 기초로 하여 교통수단선택모형을 구축하였다. 구축된 모형의 적용성 검토로서 1988년과 1992년 모형의 시간적 이전가능성을 검토하였다. 이하 본 연구의 성과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구는 취업자의 통행특성을 도시권 전역에서 분석가능한 사람통행실태조사 자료로부터 취업자를 선별하여 통행패턴을 분석하였으므로 도시권 취업자의 1일 통행패턴을 쉽게 규명해 낼 수 있었다. 1988년과 1992년의 대구시 취업자의 통행패턴은 1일 2 통행, 1 tour의 특성을 가지며, 1일에 행한 복수 통행 가운데 첫 통행에 이용한 수단을 최종 통행수단으로 이용하는 통행패턴이 대부분이므로, 취업자의 통행패턴은 비교적 단순하며 안정적인 것으로 분석되었다.
2. 취업자의 교통수단선택모형에 사용되어진 설명변수로는 성별(SEX), 연령(AGE), 승용차보유유무(AUTO) 변수가 채택되었고, 구축결과 각 추정계수들은 모두 논리적으로 합당한 부호를 나타내었으며, 모형의 적합도를 나타내는 ρ^2 값과 적중률도 모두 양호한 값을 나타내어 본 모형의 타당성이 입증되었다.
3. 1988년과 1992년 모형의 시간이전가능성 검토는 pairwise t-test, 우도를 이용한 설명력의 평가 및 집계치 차이에 의한 평가방법을 이용하였다. 모형전체의 이전가능성을 검토한 결과 METS, ROH, TI, AE, CI의 5가지 지표 모두 양호한 결과를 나타내어 본 연구의 수단선택모형의 시간이전성이 매우 높은 것으로 판단되었다.

본 연구를 수행함에 있어서 나타난 문제점과 향후 연구과제로서는 이하의 내용을 들 수 있다.

1. 본 연구에서는 대구시내 통행(internal trip)을 행한 취업자만을 대상으로 하였으나 인접 도시간의 연계가 높아지고 있는 현재 도시와 그 주변지역간 통행(external trip)을 하는 취업자들의 분석도 아울러 행하여진다면 취업자의 교통수단선택 분석이 좀더 명확해지리라 본다.
2. 본 연구에서의 교통수단선택모형 구축에는 자료수집 시기상의 문제로 현존하는 대구시의 대표교통수단인 버스, 택시, 승용차만을 가지고 구축하였으나 이후 지하철수단 등 다양한 수단의 선택집합을 설정하여 분석하고, 또한 취업자의 각 통행목적별로 모형의 구축도 함께 이루어져 대도시권 전체의 수단선택의 적용성을 높일 수 있는 연구가 필요하다.
3. 본 연구에서는 도시권을 대상으로 macro한 측면에서 개별행태모형의 적용가능성을 검토하기 위하여 모형의 통행시간 및 통행비용변수를 대존의 평균값으로 사용하였으나, 각 개인이 실제로 이용한 소존단위의 통행시간 및 통행비용변수 값을 적용하여 보다 미시적으로 모형을 추정해 볼 필요가 있다.

참고문헌

1. 김대웅, 배영석, 김언동, 권용운(1997) : "비취업자의 교통수단선택모형구축 및 시간이전성 검토", 대한토목학회논문집, 제17권 제1호.
2. 배영석, 김기혁, 김경식, 김언동(1995) : "개별행태 접근방법에 의한 교통수단선택 행태분석에 관한 연구-대구광역시 사례를 중심으로", 대한교통학회지, 제13권 제4호.
3. 김경철(1988) : "쇼핑통행의 목적지 및 교통수단선택에 관한 연구", 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
4. 이현구, 조중래(1996) : "네스티드로짓모형을 이용한 쇼핑통행의 행태분석에 관한 연구", 대한교통학회지, 제7권 제1호.
5. 원제무(1984) : "종로축 출근통행에 대한 로짓모형의 적용", 대한교통학회지, 제2권 제1호.
6. 김언동(1996) : "개별행태모형에 의한 교통수단선택모형구축에 관한 연구", 영남대학교 대학원 박사학위논문.
7. Damm, D. & Lerman, S. R.(1981) : "A Theory of Activity Scheduling Behavior, Environment and Planning A", Vol. 13, pp.703~818.
8. Damm, D.(1982) : "Parameters of Activity Behavior for Use in Travel Analysis." Transpn. Res., 16 a-2, pp.135~148.
9. Kitamura, R. & Kondo, K(1987) : "Time-Space constraints and the formation of trip chains. Regional Science and Economics." 17, 1.
10. Adler, R & Ben-Akiba, M.(1979) : "A Theoretical and Empirical Model of Trip Chaining Behaviour", Transpn. Res., Vol. 13B, pp.243~257.
11. 裴永錫(1990) : "ツアー概念を用いた非集計交通需要豫測モデルに關する研究", 名古屋大學 博士學位論文.
12. 배영석(1996) : "개별행태모형을 이용한 통근인구의 교통행동분석에 관한 연구", 대한교통학회지, 제14권 제4호.
13. 윤대식(1997) : "통근통행자의 통행패턴 선택행태의 분석", 대한교통학회지, 제15권 제4호.
14. 이명미(1996) : "취업자의 통행특성 및 로짓모형에 의한 교통수단선택 행태분석", 영남대학교 대학원 석사학위논문.
15. 日本土木學會編(1995) : "非集計行動モデルの理論と實際".