

■ 論 文 ■

자전거 수단분담률 추정모형 구축 및 자전거 수요요인분석

A Bike Mode Share Estimation Model and Analysis of the Bike Demand Factor Effects

이 규 진

(아주대학교 건설교통공학과 박사과정)

최 기 주

(아주대학교 교통시스템공학전공 교수)

목 차

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 서론 <ul style="list-style-type: none"> 1. 연구배경 및 목적 2. 연구내용 및 방법 II. 기존 연구의 고찰 III. 자료 가공 및 현황 <ul style="list-style-type: none"> 1. 분석자료 가공 2. 자전거 수단분담률 현황 | <ul style="list-style-type: none"> IV. 모형 구축 <ul style="list-style-type: none"> 1. 로지스틱 회귀모형 2. 변수의 선정 및 분석기준 3. 모형 구축 결과 및 해석 V. 결론 및 향후과제 참고문헌 |
|--|---|

Key Words : 가구통행실태조사, 녹색교통, 자전거, 수단분담률, 로지스틱 회귀모형
Household Travel Survey, Green Transportation, Bicycle, Mode Share, Logistic Regression Model

요 약

녹색교통으로서 자전거 이용활성화가 사회적으로 큰 조명을 받고 있으나 효과적인 성과를 내기 위해서는 자전거 이용특성에 대한 구체적이고 치밀한 분석이 선행되어야 한다. 이는 1995년 이래 2007년까지 자전거도로를 9,170km나 정비하였음에도 불구하고 동기간동안 자전거 수단분담률이 오히려 감소(국토해양부, 2009)한 점을 통해 알 수 있다. 본 연구는 2006년 조사된 '수도권 가구통행실태조사' 자료(303,308개)를 이용하여 통행 주체별 자전거 수단분담률을 구체적으로 분석하였다. 그 결과 학원수강 목적과 오피스텔 거주자의 자전거 수단분담률이 각각 3.75%, 3.13%로 통행 주체 중 가장 높은 것으로 나타났다. 아울러 로지스틱 회귀분석을 통한 서울시의 자전거 수단분담률 추정모형을 구축하였다. 동시에 로지스틱 회귀계수에 대한 승산비(odds ratio)의 산출을 통해 자전거 수요에 영향을 미치는 관련 요인과 영향 정도를 분석하였다. 그 결과 단거리 통행, 학원가와 공원, 오피스텔 주택이 중심의 자전거 이용활성화가 효과적인 것으로 판명되었다.

As the green transportation mode, revitalization of bike usage attracts remarkable public attention. For the acquirement of effective outcome, however, the concrete and close analysis about bike utilization characteristics should be arranged first. One result by MLTM(2009) is support this opinion; the bike mode share has been decreased whereas 9,170km of the bicycle path was improved(1995~2007). This study analyzed the bike mode share classified by trip types by using the 303,308 data of 'Household Travel Survey of Seoul Metropolitan Area, 2006.'. The highest mode share rate was induced by the institute attendee and Officetel resident as 3.75% and 3.13%, respectively. Also this study established the bike mode share estimation model of Seoul by logistic regression, and analyzed related factors and level of effectiveness related bike demand by calculation of odds ratio in terms of logistic regression coefficients. In conclusion, short trips, institutes district, parks, and Officetel residential area oriented policy should be effective on the revitalization of bike usage.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

오늘날 세계 여러 나라에서는 교통 문제와 환경 문제를 고려하여 자전거 이용활성화를 중요한 국가적 사업으로 인식하고 있다. 특히 네덜란드, 프랑스, 독일 등의 국가는 각각 Bicycle Master Plan, Velib, Cycle Friendly City 등의 정책을 통해 자전거 이용이 크게 활성화되어 있는 것으로 알려져 있다. 네덜란드 자동차공업협회에 따르면 네덜란드의 7.5km 미만 구간에서는 자전거 수단분담률이 35%로 교통수단 가운데 가장 높으며, 덴마크 또한 수단 분담률이 20%수준에 달하고 있다.

현재 우리나라는 자전거 수단분담률이 1.2%수준에 불과하지만, 최근 '저탄소 녹색성장'을 국가의 새로운 비전의 축으로 제시하고 있으며, 21C 기후변화와 환경오염, 에너지, 교통체증 등의 문제해결을 위한 새로운 녹색교통 패러다임으로 '자전거 이용활성화' 정책을 적극적으로 추진 중에 있다. 그 일환으로 2009년 2월 출범한 대통령 직속기관인 녹색성장 위원회에서는 자전거의 위상을 교통수단의 하나로 정착시키고, 현 자전거 수단분담률을 2013년까지 5%로 향상시키는 등 다양한 목표를 수립하고 있으며, 2009년 11월 17일 행정안전부에서는 '자전거 이용활성화 종합대책'을 확정 발표하기도 하였다.

그러나 이와 같은 자전거 이용활성화 정책이 효과적인 성과를 얻기 위해서는 자전거 이용특성에 대한 구체적인 치밀한 분석이 선행되어야 한다. 이는 1995년 이래 2007년까지 자전거도로를 9,170km나 정비하였음에도 불구하고 동기간동안 자전거수단 분담률은 오히려 감소(국토해양부, 2009)한 점을 통해 알 수 있다. 지금까지 자전거 이용특성과 관련된 연구가 부족한 것이 사실이며, 관련 연구보다 정책이 먼저 추진되고 있다는 지적도 받고 있다.

따라서 본 연구는 "올바른 교통정책은 현실에 대한 명확한 인식과 정확한 판단 위에서 수립되어야 한다." (조중래 외, 1994)는 원론적 입장에서 출발하여, 자전거 이용활성화의 정책 방향에 대한 공헌을 목적으로 서울시의 자전거 이용특성을 다양하게 분석하였다. 이를 위해 2006년 조사된 '수도권 가구통행실태조사' 자료를 이용하여 통행 주체별 자전거 수단분담률을 구체적으로 분석하였다. 그리고 로지스틱 회귀분석을 통한 서울시의 자

전거 수단분담률 추정모형을 구축하였으며, 로지스틱 회귀계수에 대한 승산비(odds ratio)의 산출을 통해 자전거 수요에 영향을 미치는 관련 요인과 영향 정도를 분석하였다.

2. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 우선 '2006년 수도권 가구통행실태조사' 자료(303,308개) 중 서울시 통행 자료만 추출한 후 통행특성과 가구특성, 개인특성 자료를 결합한 횡단면 자료로 가공하였다. 해당 횡단면 자료에 포함되어 있는 항목에는 성별, 출생년도, 운전면허증 보유유무, 차량 보유유무, 주택종류, 출발시간, 도착시간, 통행목적, 직업, 소득, 선택수단 등이 있다. 이때, 출생년도는 나이로 재산정하였으며, 출발시간과 도착시간은 통행시간으로 재산정하였다. 그리고 결측치를 제외한 가공자료를 통해 통행 주체별 자전거 선택 유무의 분류표를 작성한 후 자전거 이용특성을 파악하였다. 아울러, 각 통행 주체와 자전거 선택간 관련성을 카이제곱 검증을 통해 통계적으로 살펴보았다.

그리고 선택수단 중 자전거를 '1'로 하고 나머지 수단은 '0'으로 하는 이항변수로 변환한 후 서울시 자전거 수단분담률 추정이 가능한 로지스틱 회귀모형을 구축하였다. 해당 모형의 로지스틱 회귀계수를 승산비(Odds Ratio: OR)로 계량화하여 각 설명변수가 종속변수(자전거 수단)의 결정에 미치는 영향 정도를 계량적으로 분석하고 이를 해석하였다.

II. 기존 연구의 고찰

이병주 등(2001)은 익산시민들을 대상으로 한 설문조사를 통해 자전거 이용활성화 정책에 방해가 되는 요인을 파악하였으며, LISREL모형을 이용하여 도로이미지의 인식이 자전거 이용에 미치는 영향정도를 살펴보았다. 그 결과 연령과 운전경력이 적고 승용차를 소유하지 않은 사람이 자전거를 더 이용하였으며 차량의 주행성과 위험성은 자전거를 이용하는데 부정적인 요인으로 작용하는 것으로 나타났다.

문대식(2007)은 대전시민을 대상으로 한 설문조사를 통해 대전시의 자전거 이용현황 및 실태분석을 하였으며, 주성분 분석을 통해 대전시민의 자전거 이용에 대한

의식을 파악·분석하였다. 그 결과 자전거 이용활성화를 위해 행정적 측면과 자전거 시설의 확충이 필요하다고 하였다.

김수성 등(2009)은 부산시민을 대상으로 한 시민의식조사를 통해 지역별 이용실태를 파악하였으며, 현재 자전거 이용만족도와 향후 이용의사에 영향을 미치는 요인들의 관계에 대해 구조모형을 통해 설명하였다. 그 결과 지역여건이 양호한 지역일수록 향후 자전거 이용의사가 높으며, 자전거 시설정비 및 정책정비의 필요성에 대한 인식이 높은 것으로 나타났다. 즉, 자전거 이용활성화를 위해 자전거 도로구축 및 도로구조의 개선과 같은 지역 여건에 대한 개선노력이 필요하다고 하였다.

김기혁(1994)은 대구, 부산, 포항, 창원, 구미, 경주, 영천, 경산시를 대상으로 한 가구방문조사를 통해 자전거 보유도에 영향을 미치는 요인을 파악하였으며, 이항로지모형을 사용하여 자전거 보유율 추정모형을 구축하였다. 그 결과 가구별 자동차 보유대수와 남성 비율이 가구의 자전거 보유율에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Jennifer Dill et al.(2007)은 포틀랜드와 오리건주의 성인을 대상으로 한 전화설문조사를 통해 개인특성과 지리적특성, 그리고 주변 환경에 대한 인식이 자전거 이용과 관련성이 있는지를 카이제곱검정을 통해 분석하였다. 그 결과 남성과 55세 이하의 성인이 자전거를 많이 이용하며, 소득과 자동차 보유유무는 자전거 이용과의 관련성이 낮은 것으로 나타났다. 그리고 아이들은 등하교 목적외에 놀이를 위해 자전거를 이용하는 경우가 더 많은 것으로 나타났다.

Gary Barnes et al.(2005)은 가구통행실태조사 자료를 활용하여 미국의 자전거 이용 인구를 살펴보았으며, 주요도시와 주, 미네소타주에 대한 인구수 대비 자전거 이용 비율(A)을 추정하는 단순선형회귀모형을 구축하였다. 설명변수는 자전거통근분담률(C)이며, 주요도시에 대한 모형식은 $A=0.3%+1.5 \times C$ 와 같다.

Mark Wardman et al.(2007)은 통행실태조사자료인 RP자료와 SP자료를 결합하여 자전거 수단선택 모형을 구축하였다. 자전거 전용도로의 설치로 인해 자전거 수단분담률은 현재 수준 대비 약 55%증가하고, 자전거 이용시 2유로의 격려금을 지불시 자전거 수단분담률은 현재 수준 대비 약 2배 증가하는 것으로 나타났다.

John Parkin et al.(2008)은 센서스 자료와 지리, 사회경제지표 자료를 사용하여 잉글랜드와 웨일즈의 자전거 수단분담률을 추정하기 위한 모형을 제시하였다.

해당 모형은 구단위의 집계화된 자료를 이용한 회귀분석 모형이며, 백인 비율과 남성 비율, 자동차수, 소득수준, 강수량, 평균기온 등을 설명변수로 반영하였다.

선행된 국내 연구의 경우, 대부분 자전거 수요와 관련된 요인을 파악하기 위한 연구로써 각 요인의 영향 정도에 대한 접근이 부족했던 반면 본 연구는 각 영향 요인별 승산비의 분석을 통해 영향 정도를 통계적으로 분석·해석한 차이점이 있다. 자전거 수요의 영향 요소뿐 아니라 영향 정도까지 명확히 분석된다면 보다 구체적인 자전거 이용활성화 정책의 수립이 가능하리라 판단된다. 또한 기존 국내 연구와 비교해 광대한 자료(139,564개)를 바탕으로 분석이 이루어졌으며, 통행자의 주택유형과 직업 등 기준에 고려하지 못한 설명변수를 반영한 차이점이 있다. 특히, 본 연구에서는 기존 국내 연구에서 접근한바 없는 비집계모형 기반의 자전거 수단분담률 추정모형을 제시함으로써 향후 자전거 수요추정 모형 연구의 초석을 제공하였다.

국내와 비교해 국외의 자전거 이용활성화 정책이 앞서가듯 자전거 수요와 관련된 연구 또한 국외 연구는 다양하게 진행되어 왔다. 그러나 국외의 자전거 이용수요에 영향을 미치는 인자 및 영향 정도는 국내의 것과 상이할 것이기 때문에 새롭게 연구되어야 하며, 특히 본 연구가 자전거 수단분담률 추정모형에 대한 로지스틱 회귀계수의 승산비 분석을 통해 자전거 수요의 영향 정도를 분석한 점에서 기존 국외 연구와도 명확한 차이점이 있다.

III. 자료 가공 및 현황

1. 분석자료 가공

‘2006년 수도권 가구통행실태조사’ 자료에는 서울시와 경기도, 인천시에 대한 통행 순서별 통행특성 자료와

<표 1> 가구통행실태조사의 조사항목

구분	조사항목
통행특성	가구원번호, 출생년도, 성별, 통행일자, 출발지, 통행순서, 통행목적, 출발시간, 출발분, 도착지, 도착시간, 도착분, 통행수단, 교통카드 사용여부 등
개인특성	가구원번호, 세대주와의 관계, 동거여부, 출생년도, 성별, 운전면허, 직업, 고용형태, 근무형태, 통행여부, 직장/학교 위치 등
가구특성	가구번호, 가구원수, 미취학 아동수, 차량보유여부, 주택종류, 거주형태, 월평균소득 등

<표 2> 가구통행실태조사의 자료수

구분		자료수
수도권	통행특성	303,308 개
	개인특성	159,643 개
	가구특성	47,109 개
서울시	통행특성	139,564 개
	개인특성	73,147 개
	가구특성	21,928 개

<표 3> 결측치를 제외한 자료수

구분	초기 자료수	결측치 제외한 자료수
서울시	139,564 개	132,407 개

조사대상의 개인특성 자료, 그리고 해당 개인이 속한 가구특성 자료가 포함되어 있다(<표 1>). 본 연구에서는 해당 자료 중 <표 2>에서와 같이 서울시에 대한 자료만을 추출하였으며, 이는 수도권 자료의 약 50% 수준이다.

그리고 각 통행특성 자료를 기준으로 각 통행자의 개인특성과 가구특성 자료를 결합하였으며, 그 결과 총 139,564개의 횡단면 자료를 구축하였다. 여기서, 통행특성과 개인특성 자료는 가구번호를 기준으로, 통행특성과 가구특성 자료는 가구번호를 기준으로 결합하였다. 결합된 자료인 139,564개에 대해 각 조사항목 중 결측치가 있는 자료는 제외하였으며, 최종적으로 총 132,407개의 분석 자료를 구축하였다(<표 3>).

<표 4> 서울시의 통행목적별 자전거 분담률

통행목적	총 통행수	자전거 통행수	자전거 분담률
누군가를 태워주려고	1,422	16	1.13%
귀가	59,010	1,052	1.78%
출근	26,679	355	1.33%
등교	16,591	294	1.77%
학원수강	7,410	278	3.75%
직업관련 업무	5,098	46	0.90%
업무 후 직장으로 돌아감	1,430	11	0.77%
물건을 사러	3,341	49	1.47%
여가/오락/친교	4,350	91	2.09%
기타(개인용무)	7,076	105	1.48%
전체	132,407	2,297	1.73%
$\chi^2: 242.20 \quad \chi^2 \text{ significant} (\rho < 0.05)$			

2. 자전거 수단분담률 현황

서울시의 자전거 이용 특성을 살펴보기 위해 각 통행주체별 자전거 수단분담률을 분석하였다.

통행목적의 경우, 학원수강과 여가/오락/친교의 목적 통행에 대한 자전거 수단분담률이 목적통행 중 가장 높은 것으로 나타났으며, 직업관련 업무와 업무 후 직장복귀에 대한 자전거 수단분담률이 목적통행 중 가장 낮은 것으로 나타났다(<표 4>). 이에 따라 직업별 자전거 수단분담률의 경우 학생의 자전거 수단분담률이 직업분류 중 가장 높았으며, 전문직/기술직/행정/사무/관리직의 자전거 수단분담률이 직업분류 중 가장 낮은 것으로 나타났다(<표 5>).

여성의 자전거 수단분담률은 1.06%인 반면, 남성의 경우 2.32%로 남성의 자전거 수단분담률이 여성에 비해 2배 이상 높은 것으로 나타났다(<표 6>). 운전면허증 보유유무에 따른 자전거 수단분담률의 경우 운전면허증을 미보유한 통행자의 자전거 수단분담률이 2.33%인 반면 보유자의 분담률은 1.21%로 나타나 운전면허증 보유유무는 자전거 이용여부와 관련이 있는 것으로 나타났다(<표 7>). 반면 차량 보유 유무별 자전거 수단분담률은 각각 1.73%와 1.75%로 비슷한 수준인 것으로 나타났다(<표 8>).

<표 5> 서울시의 직업별 자전거 분담률

직업	총 통행수	자전거 통행수	자전거 분담률
학생	44,477	1,068	2.40%
주무/무직/미취학 아동	19,680	322	1.64%
전문직/기술직	15,780	153	0.97%
행정/사무/관리직	18,291	122	0.67%
판매직	5,307	100	1.88%
서비스직	6,728	154	2.29%
농업/어업/수산업	1,215	34	2.80%
생산/운수/일반 노무자	6,223	136	2.19%
기타	14,706	208	1.41%
전체	132,407	2,297	1.73%
$\chi^2: 330.66 \quad \chi^2 \text{ significant} (\rho < 0.05)$			

<표 6> 서울시의 성별 자전거 분담률

성별	총 통행수	자전거 통행수	자전거 분담률
남성	71,124	1,650	2.32%
여성	61,283	647	1.06%
전체	132,407	2,297	1.73%
$\chi^2: 308.59 \quad \chi^2 \text{ significant}(\rho < 0.05)$			

<표 7> 서울시의 운전면허증 보유유무별 자전거 분담률

운전면허증	총 통행수	자전거 통행수	자전거 분담률
있다	70,741	859	1.21%
없다	61,666	1,438	2.33%
전체	132,407	2,297	1.73%
$\chi^2: 241.40 \quad \chi^2 \text{ significant}(\rho < 0.05)$			

<표 8> 서울시의 차량 보유유무별 자전거 분담률

차량	총 통행수	자전거 통행수	자전거 분담률
있다	93,986	1,623	1.73%
없다	38,421	674	1.75%
전체	132,407	2,297	1.73%
$\chi^2: 0.12 \quad \chi^2 \text{ significant}(\rho > 0.05)$			

<표 9> 서울시의 주택 종류별 자전거 분담률

주택 종류	총 통행수	자전거 통행수	자전거 분담률
아파트	62,981	952	1.51%
연립주택(빌라)	18,117	265	1.46%
다가구주택	22,975	522	2.27%
단독주택	25,663	508	1.98%
오피스텔	256	8	3.13%
기타	2,415	42	1.74%
전체	132,407	2,297	1.73%
$\chi^2: 77.04 \quad \chi^2 \text{ significant}(\rho < 0.05)$			

주택 종류별 자전거 수단분담률을 살펴본 결과, 아파트의 자전거 수단분담률이 1.51%로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 다세대/다가구주택과 오피스텔의 자전거 수단분담률이 각 2.27%, 3.13%로 가장 높은 것으로 나타났다(<표 9>). 그리고 주택 종류와 자전거 이용여부는 유의수준 5%에서 통계적으로 관련성이 있는 것으로 분석되었다.

<표 10> 서울시의 소득별 자전거 분담률

월평균소득	통행수	자전거 통행	자전거 분담률
100만원 미만	10,845	236	2.18%
100~200만원	29,373	644	2.19%
200~300만원	35,574	645	1.81%
300~500만원	42,686	599	1.40%
500~1000만원	12,563	148	1.18%
1000만원 이상	1,366	25	1.83%
전체	132,407	2,297	1.73%
$\chi^2: 100.19 \quad \chi^2 \text{ significant}(\rho < 0.05)$			

소득의 경우 100만원 미만 소득자의 자전거 수단분담률이 2.18%로 가장 높았으며, 500만원 이상 소득자의 자전거 수단분담률이 1.18%로 가장 낮은 것으로 나타났다(<표 10>).

IV. 추정모형 구축

1. 로지스틱 회귀모형

한 개의 종속변수와 여러 개의 독립변수간의 상호 관련성을 분석할 때 가장 널리 사용되는 분석방법이 회귀분석이다. 일반적인 회귀분석법은 독립변수들에 의해 종속변수의 변화가 직선적으로 변한다고 가정하기 때문에 자전거 수단 선택과 같이 종속변수가 선택유무로 표시되는 이항적인 사건을 다루는 데에는 적합하지 않다. 이에 반하여 종속변수와 독립변수와의 관계를 비선형이라 가정하여 로지스틱 회귀계수를 추정하는 로지스틱 회귀분석은 두 개의 값만을 가지는 종속변수와 여러 독립변수들의 관련성을 분석할 수 있다.

로지스틱 회귀모형은 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$p = \frac{\exp(\beta_0 + \sum \beta_j \chi_j)}{1 + \exp(\beta_0 + \sum \beta_j \chi_j)} \quad (1)$$

식(1)의 관계는 비선형이기 때문에 식(2)와 같이 확률을 로짓으로 비선형 변환하게 되면, 회귀모형이 갖는 몇 가지 성질을 그대로 갖게 된다. 이와 같은 변환을 로지스틱 변환(logistic transformation)이라 하고 p' 는 독립변수 χ 에 관하여 선형이 된다. 여기서 p' 를 로짓(logit)이라 부른다.

$$p' = \ln\left[\frac{p}{1-p}\right] = \beta_0 + \sum \beta_j X_j \quad (2)$$

단순 선형회귀분석에서는 회귀계수(β_0, β_j)를 추정하기 위해 잔차의 제곱합을 최소화하는 최소제곱법(Method of Least Squares: MLS)을 사용하지만 로지스틱 회귀분석에서는 우도 함수(likelihood function: \mathcal{L}) 즉 사건의 발생가능성을 크게 하는 최대 우도 추정법(Method of Maximum Likelihood: MLM)을 이용하여 계수를 추정한다. 여기서 우도 함수란 미지수에 따른 관찰 자료의 가능성을 함수로 표현한 것을 말한다. 로지스틱 회귀분석에서 우도함수 \mathcal{L} 는 식(3)과 같다.

$$\mathcal{L} = \prod [p_i^{y_i} [1-p_i]^{1-y_i}] \quad (3)$$

위 식에서 y_i 는 개인 i 의 이항형 관찰치를 p_i 는 로지스틱 모형을 통해 예측된 확률을 의미한다. \mathcal{L} 는 각 개인에게서 얻어진 $p_i^{y_i} [1-p_i]^{1-y_i}$ 을 모두 곱해서 얻어진다.

로지스틱 회귀모형에서 활용되는 변수선택법 중 우도비(Likelihood Ratio: LR)검정법이 있으며, 이는 포화모형의 로그우도함수를 기준으로 분석모형의 로그우도함수에 대한 유의성을 χ^2 검증하며, LR검증의 통계치는 식(4)와 같이 산정된다.

$$LR = -2\ln \mathcal{L}_M - (-2\ln \mathcal{L}_S) \quad (4)$$

본 연구에서는 종속변수가 이산적인 형태일 때 유용하게 사용되는 모형 중 하나인 로지스틱 회귀모형(Simon P. Washington et al, 2003)을 적용하여 서울시의 자전거 수단분담률 추정모형을 구축하며, 해당 모형의 각 변수에 대한 로지스틱 회귀계수를 재산정하여 자전거 수단분담률에 미치는 영향 요소 및 영향 정도를 다양하게 분석하였다.

2. 변수의 선정 및 분석기준

본 연구에서는 자전거 선택유무를 종속변수로 설정하였으며, 성별/연령/운전면허증 보유유무/주택종류/통행시간/통행목적/직업/소득을 독립변수로 설정하였다. 통행목적의 경우 가구통행실태조사에서는 10개 그룹으로 분류하였으나, 본 연구에서는 더미변수를 최소화하기 위

<표 11> 구축모형의 변수

구분	항목	
독립변수	이산형	성별, 운전면허증 보유유무, 주택종류, 통행목적, 직업, 소득
	연속형	연령, 통행시간
종속변수	자전거(1) 기타수단(0)	

<표 12> 존내·외 통행별 자전거 분담률

구분	총통행수	자전거통행수	분담률
존내	34,129	823	2.41%
존외	98,278	1,474	1.50%
전체	132,407	2,297	1.73%

<표 13> 최종 가공된 분석자료의 수단분담률

구분	통행수	분담률
승용차	4,039	49.8%
버스	2,553	31.5%
지하철	429	5.3%
택시	130	1.6%
오토바이	240	3.0%
자전거	718	8.9%
합계	8,109	100%

주: 존내 통행 중 도보 제외

해 4개 그룹(귀가/출근/등교, 학원수강, 쇼핑/여가/개인용무, 업무)으로 재분류하였다. 그리고 소득도 기존의 6개 그룹에서 3개 그룹(저, 중, 고)으로 재분류하였다.

서울시의 자전거 수단분담률은 1.73%수준에 불과하기 때문에 해당 자료를 바탕으로 로지스틱 회귀모형을 구축할 경우 결과의 편기(bias) 현상이 발생하는 문제가 발생한다. 이에 따라 분석범위를 조정하여 유의미한 자전거 수단분담률 추정모형의 구축이 가능하도록 하였다. 우선 <표 12>와 같이 자전거의 통행특성상 통행거리가 짧은 존내 통행에 대한 수단분담률이 상대적으로 높기 때문에 본 연구에서는 존내 통행만을 분석대상으로 설정하였다.

또한 종속변수의 설정에 있어 도보 수단을 자전거 수단의 상대변수로 설정할 경우 유의미한 모형 구축이 어렵기 때문에 도보는 분석에서 제외하였다. 도보의 경우 이항변수 중 동력 수단보다는 자전거 수단과 유사한 특성을 가질

것이라 판단되기 때문이다. 이에 따라 <표 13>과 같이 최종 가공된 자료의 개수는 8,109개이며, 존내 통행 중 도보를 제외한 자전거의 수단분담률은 8.9%수준인 것으로 나타났다.

3. 모형 구축 결과 및 해석

1) 서울시의 자전거 수단분담률 추정모형

최종 가공된 횡단면 자료를 통해 서울시의 자전거 수단분담률 추정모형을 구축하였다. LR검증을 통해 최종 선택된 변수는 성별, 운전면허증 보유유무, 주택종류, 통행목적, 직업이며, 연령과 소득수준은 서울시의 자전거 수단분담률 추정모형에 유의미한 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 해당 모형은 식(5)와 같으며, 상세 기호 설명은 <표 17>에 제시하였다. 예를 들어 터미 변수로 반영한 주택종류(X_1)의 경우 기저집단인 아파트는 $X_{41} \sim X_{45}$ 에 모두 0이 적용되며, 연립주택은 $X_{41}=1$ 이고 나머지 $X_{42} \sim X_{45}$ 에는 0이 적용된다. 마찬가지로 다가구주택은 $X_{42}=1$ 이고 나머지 $X_{41}, X_{43}, X_{44}, X_{45}$ 에는 0이 적용된다.

$$\begin{aligned} \text{Logit} = & -3.320 + 0.969X_1 - 1.321X_2 - 0.05X_3 \\ & + 0.16X_{41} + 1.292X_{42} + 0.256X_{43} + 2.189X_{44} + 0.313X_{45} \\ & + 0.763X_{51} + 1.022X_{52} + 0.797X_{53} \\ & + 0.714X_{61} + 1.214X_{62} + 0.373X_{63} + 0.541X_{64} \\ & + 1.309X_{65} + 0.372X_{66} + 0.587X_{67} \end{aligned} \quad (5)$$

$$P = \frac{\exp(\text{Logit})}{1 + \exp(\text{Logit})} \quad (6)$$

여기서, P : 서울시의 자전거 수단분담률

- X_1 : 성별(남성=1, 여성=0)
- X_2 : 운전면허 보유유무(보유=1, 미보유=0)
- X_3 : 통행소요시간
- X_{4*} : 주택종류(기저집단: 아파트)
- X_{5*} : 통행목적(기저집단: 업무)
- X_{6*} : 직업(기저집단: 행정/사무/관리직)

<표 14> Cox&Snell의 R-제곱값과 Nagelkerke R-제곱값

-2 Log 우도	Cox와 Snell의 R-제곱값	Nagelkerke R-제곱값
4162.796	.081	.181

2) 모형의 설명력

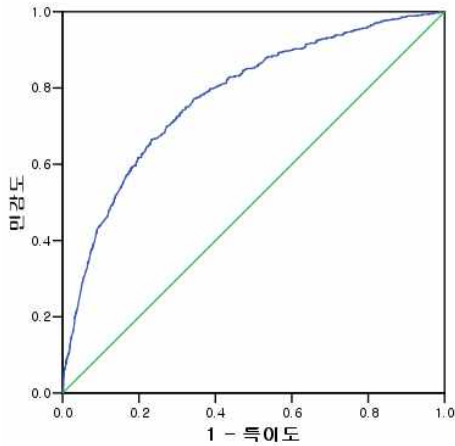
모형의 설명력을 계산하기 위해 로지스틱 pseudo R-제곱값을 사용하며, 본 연구에서 구축한 모형의 Cox & Snell R-제곱값은 0.081로, Nagelkerke R-제곱값은 0.182로 추정되었다. 해당 R-제곱값이 단순 회귀분석에서의 R-제곱값보다 낮은 수준이지만, 로지스틱 회귀 분석에서는 오차의 등분산성 가정이 만족되지 않고 예측된 확률인 P에 따라 R-제곱값이 달라지기 때문에 R-제곱값은 설명된 분산이라고 의미있는 해석을 하기가 어려운 것으로 알려져 있다.(Cohen et al, 2003) 또한 Hosmer&Lemeshow(2000)에 의하면 로지스틱 회귀분석에서 구한 R-제곱값은 대개 낮게 나오는 편이기 때문에 모형을 평가할 때 R-제곱값에 의존할 필요는 없다고 알려져 있다.

로지스틱 모형에서는 Hosmer&Lemeshow의 검정을 적합도 검정법의 하나로 사용하고 있다. 이는 예측값과 관측값이 얼마나 밀접한지 카이제곱분포를 통해 검정하는 것으로 모든 관찰값을 사건이 발생할 확률의 추정값에 근거하여 10개의 동등한 그룹으로 나누어 사건과 비사건의 관측수와 기대도수와의 차이를 구한다. 그러나 이 검정법을 적절하게 사용하려면 표본의 크기가 매우 커야 하며, 모든 그룹 내의 사건의 기대도수가 5를 초과하여야 한다. 본 연구에서는 표본의 크기가 클 뿐만 아니라 그룹 내 최소 기대도수 조건도 만족하였다.

본 연구에서 구축한 서울시의 자전거 수단분담률 추정 모형에 대한 Hosmer&Lemeshow 검정결과, 카이제곱검정 통계량은 15.165로 추정되었으며, 유의수준은 0.056으로 나타났다. 즉, “p값이 0.05보다 클 경우 추정된 모형이 자료를 적합시키지 못한다는 가설을 기각하므로 본 모형이 통계적으로 적합하다고 판단한다(김주안, 2005).”는 근거에 따라 본 모형식은 적합한 것으로 나타났다.

<표 15> Hosmer와 Lemeshow 검정결과

카이제곱 값	자유도	유의확률
15.165	8	0.056



<그림 2> 본 모형의 ROC곡선

<표 16> AUROC의 분석결과

영역	유의확률 ¹⁾	95% 신뢰구간	
		하한	상한
.778	.000	.760	.796

그리고 구축한 모형에 대한 ROC곡선(Receiver Operating Characteristic curve)에서 곡선 아래의 면적인 AUROC(The Area Under an ROC Curve)을 사용하여 모형의 설명력을 평가할 수 있다. ROC 곡선이 좌상의 꼭지점에 가까울수록 평가모형이 우수하다는 것을 나타내며, 곡선 아래의 면적인 AUROC이 0.7 이상일 경우 모형이 적절하다고 판단한다. <그림 1>에서 대각선은 우연직선(change line)을 의미하며 대각선 아래의 면적은 0.5가 된다. 본 연구에서 구축한 모형에 대한 AUROC의 분석결과 0.778로 나타나 모형의 설명력이 증명되었다.

3) 영향 요인에 대한 해석

본 연구에서 구축한 로지스틱 회귀모형을 통해 자전거 수단분담률에 영향을 미치는 영향 요인의 파악이 가능하며, 각 영향 요인에 따른 자전거 수단분담률이 각각 몇 배 정도 증가할 것인지 추정할 수 있다. 이를 위해 설명변수가 종속변수의 결정에 미치는 영향 정도인 승산비(Odds Ratio: OR)를 산정하여야 한다. 승산비는 설명변수인 x 의 로지스틱 회귀계수 b 를 $\exp(b)$ 로 변환한

것이며, x 가 증가하기 이전 승산 대비 증가한 이후의 승산 비율을 의미한다.

$$OR = \frac{\frac{P_n}{1-P_n}}{\frac{P_m}{1-P_m}} \tag{7}$$

P_n : 사후 자전거 수단분담률

P_m : 사전 자전거 수단분담률

성별에 대한 로지스틱 회귀계수가 정적(positive)이므로 남성은 기저집단인 여성에 비해 자전거 이용 확률이 높은 것으로 나타났다. 또한 해당 승산비는 2.637로 산정되며, 이는 동일 조건하에서 여성에 비해 남성의 자전거 수단분담률이 2.637배 많은 것을 의미하며, 변화 백분율 % Δ 를 계산해보면 $100(\exp(b)-1)=163.7$ 이 되어 남성의 승산이 여성의 승산에 비해 163.7% 높은 것을 의미한다. 따라서 여성 100명당 남성 263.7명 정도가 통행수단 중 자전거 수단을 선택하는 것으로 나타났다. 이는 “남성 비율과 가구의 자전거 보유율간 관계가 있다”(김기혁,1994)는 과거 연구결과와 “남성이 자전거를 많이 이용한다”(Jennifer Dill, 2007)는 해외 연구결과와 일치하는 결과이다. 이와 같은 결과는 성별 수단 선택에 대한 사회적 형평성 측면에서 여성의 특화된 자전거 이용활성화 정책이 필요함을 시사하며, 이러한 측면에서 서울시에서 추진예정인 “여성친화형 자전거친화도시 조성사업”은 긍정적 흐름이라 사료된다.

운전면허증 보유유무에 대한 로지스틱 회귀계수는 부적(negative)이며, 승산비인 $\exp(-1.321)$ 는 1보다 작은 0.267로 운전면허증 보유가 미보유보다 승산이 73.3% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 운전면허증 보유율이 낮은 지자체에 대한 자전거 이용활성화 정책이 타 지자체보다 더 큰 효과를 얻을 수 있음을 시사한다. 이는 “운전경력이 적을수록 자전거를 더 이용한다”(이병주, 2001)는 연구결과와 유사하다.

통행시간에 대한 로지스틱 회귀계수는 -0.05로 부적(negative)인 것으로 나타났으며, 승산비는 0.951로 나타났다. 이는 통행시간이 1분 증가하면 자전거 통행의 승산은 0.951배 감소하는 것을 의미한다. 가령, 기존 자전거 분담률이 8%라 가정할 때, 이때의 사전 승산

1) 영가설: 실제영역 = 0.5

<표 17> 서울시의 자전거 수단분담률 추정모형에 대한 계수

구분	식(5)의 변수값	B	S.E.	Wald	자유도	유의확률	Exp(B)	Exp(B)에 대한 95.0% 신뢰구간	
								하한	상한
성별	남성: $X_1=1$ 여성: $X_1=0$	.969	.096	101.749	1	.000	2.637	2.184	3.183
운전면허 보유	보유: $X_2=1$ 미보유: $X_2=0$	-1.321	.137	93.657	1	.000	.267	.204	.349
통행시간	X_3	-.050	.005	108.170	1	.000	.951	.942	.960
주택종류(아파트)	$X_{41} \sim X_{45}=0$			135.588	5	.000			
연립주택	$X_{41}=1$	.016	.143	.012	1	.913	1.016	.768	1.344
다가구주택	$X_{42}=1$	1.292	.119	117.772	1	.000	3.640	2.882	4.596
단독주택	$X_{43}=1$	.256	.111	5.283	1	.022	1.292	1.038	1.607
오피스텔	$X_{44}=1$	2.189	.541	16.375	1	.000	8.928	3.092	25.780
기타	$X_{45}=1$	.313	.345	.824	1	.364	1.367	.696	2.687
통행목적(업무)	$X_{51} \sim X_{53}=0$			12.838	3	.005			
출근/등/귀가	$X_{51}=1$	.763	.279	7.490	1	.006	2.145	1.242	3.706
학원수강	$X_{52}=1$	1.022	.300	11.619	1	.001	2.779	1.544	5.001
쇼핑/여가	$X_{53}=1$	.797	.322	6.119	1	.013	2.219	1.180	4.173
직업(행정/사무)	$X_{61} \sim X_{66}=0$			47.022	7	.000			
학생	$X_{61}=1$	.714	.240	8.854	1	.003	2.043	1.276	3.271
주무/무직	$X_{62}=1$	1.214	.252	23.165	1	.000	3.368	2.054	5.523
전문직/기술직	$X_{63}=1$	.373	.270	1.908	1	.167	1.452	.855	2.467
판매직	$X_{64}=1$	.541	.319	2.885	1	.089	1.718	.920	3.209
서비스직	$X_{65}=1$	1.309	.254	26.511	1	.000	3.701	2.249	6.090
농업/어업	$X_{66}=1$	.372	.334	1.238	1	.266	1.450	.754	2.790
생산/운수	$X_{67}=1$	.587	.269	4.780	1	.029	1.799	1.063	3.045
상수	-	-3.320	.374	78.667	1	.000	.036		

$(\frac{P_b}{1-P_b})$ 은 0.087이 되며, 승산비($\exp(-0.050)$)는 0.951 이기 때문에 통행시간이 1분 증가함에 따라 사후 승산은 $0.0827((\frac{P_b}{1-P_b}) \times Odds Ratio)$ 가 되어 사후 자전거 분담률(P_a)은 약 7.64%($\frac{\text{사후 승산}}{1+\text{사후 승산}}$)가 된다. 이는 장거리 통행일수록 자전거의 수단분담률이 낮아짐을 의미하기 때문에 단거리 통행을 중심으로 한 공공자전거 시설의 설치·운영이 효과적임을 판단할 수 있다.

주택종류의 경우 기저집단인 아파트에 대한 승산보다 오피스텔에 대한 승산이 8.928배로 가장 높으며, 다가구 주택의 승산이 3.640배 높은 것으로 나타났다. 그리고

단독 주택의 승산이 1.292배 높은 것으로 나타났으며, 연립 주택의 회귀계수에 대한 유의확률은 0.05보다 크게 나타났기 때문에 연립 주택과 아파트의 승산은 유사한 수준인 것으로 나타났다. 이는 아파트 보다는 오피스텔과 다가구 주택지 주변으로 자전거 도로망을 우선 구축하는 것이 아파트 주변의 자전거 도로망 구축보다 효과적임을 시사한다. 즉, 현재 아파트 위주의 신도시를 중심으로 자전거 도로망이 우선 구축되고 있으나, 이보다는 오피스텔/다가구 주택지 중심의 자전거 도로망이 우선 구축될 필요가 있을 것으로 사료된다.

통행목적의 경우 기저집단인 업무통행과 비교해 학원 수강 목적의 승산비가 2.779로 나타났으며, 쇼핑/여가와

출근/등교/귀가 목적의 승산비가 각각 2.145, 2.219로 나타났다. 이는 학교 및 학원가를 연계하는 자전거 도로망의 확충과 자전거 보관시설의 설치가 우선되어야 함을 시사한다.

직업의 경우 모든 직종의 자전거 수단분담률이 행정/사무/관리직보다는 높은 것으로 나타났다. 특히, 기저집단인 행정/사무/관리직에 대한 승산보다 학생의 승산이 2.043배 높은 것으로 나타났으며, 무직과 서비스직의 승산이 각각 3.368배, 3.701배 높은 것으로 나타났다. 따라서 주부 및 무직자 중심의 자전거 대여정책의 추진과 서비스직 회사의 자전거 보유에 대한 인센티브 정책의 도입은 해당 지자체의 자전거 수단분담률 향상측면에 서 큰 효과가 발생할 것으로 판단된다.

V. 결론 및 향후과제

최근 녹색교통으로서 자전거 이용활성화가 사회적으로 큰 조명을 받고 있으나, 효과적인 성과를 얻기 위해서는 자전거 이용특성에 대한 구체적인 분석이 선행되어야 한다. 이는 1995년 이래 2007년까지 자전거 도로를 9,170km나 정비하였음에도 불구하고 동기간 동안 자전거 수단분담률이 오히려 감소(국토해양부, 2009)한 점을 통해 알 수 있다. 본 연구는 2006년 조사된 '수도권 가구통행실태조사' 자료(303,308개)를 이용하여 통행 주체별 자전거 수단분담률을 구체적으로 분석하였다. 그 결과 학원수강 목적과 오피스텔 거주자의 자전거 수단분담률이 각각 3.75%, 3.13%로 통행 주체 중 가장 높은 것으로 나타났다.

아울러 로지스틱 회귀분석을 통한 서울시의 자전거 수단분담률 추정모형을 구축하였으며, 로지스틱 회귀계수에 대한 승산비(odds ratio)의 산출을 통해 자전거 수요에 영향을 미치는 관련 요인과 영향 정도를 분석하였다. 그 결과 통행시간에 대한 로지스틱 회귀계수는 부적(-)인 것으로 나타나 장거리 통행보다는 단거리 통행 중심의 공공자전거 시설의 설치가 효과적일 것으로 판명되었으며, 아파트와 비교해 오피스텔과 다가구 주택의 승산비가 각각 8.928, 3.640로 나타나 아파트보다는 오피스텔과 다가구 주택에 대해 자전거 전용도로를 우선 설치하는 것이 자전거 이용활성화 측면에서 효과적인 것으로 나타났다. 또한 업무통행과 비교한 학원수강과 여가/오락/친교 목적의 승산비가 각각 2.779, 2.219로

나타나 학교↔학원↔집, 공원 중심의 자전거 시설(전용도로, 보관소 등) 설치가 효과적인 것으로 나타났다. 이와 같은 본 연구결과는 자전거 이용활성화를 위한 다양한 정책방향과 향후 구체적인 자전거 수요 추정 모형의 구축에 공헌할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 본 연구에서는 자전거 이용 요인 등에 초점을 맞춰 접근하였으나, 보다 효과적인 연구를 위해서는 자전거를 이용하지 않는 요인분석 등 다양한 측면의 접근이 필요하다. 현재 자전거 이용률이 저조한 상황에서 자전거 이용 요인보다는 이용하지 않는 요인에 대해 접근하는 것이 더 유용한 결과를 얻을 수 있기 때문이다. 그리고 본 연구에서는 가구통행실태조사 자료를 통해 자전거 수단분담률 추정모형을 구축하였기 때문에 설명변수의 제약이 있었다. 자전거 수요는 날씨 및 도로구배, 위험성에 큰 영향을 받을 것으로 예상되기 때문에 향후 다양한 자료와의 융합을 통해 자전거 수요의 영향 요인과 영향 정도를 좀 더 다양하게 살펴보고 분석할 필요가 있다. 또한 효과적인 시설투자계획은 타당한 수요예측이 선행되어야 가능하기 때문에 향후 자전거 수요추정과 관련된 심도있는 연구가 진행되어야 하겠다. 그리고 본 연구의 범위는 서울시로 국한하였는데, 타 지역에서도 적용 가능한 자전거 수요추정 모형의 구축 또는 지역적 특성을 반영할 수 있는 자전거 수요추정 모형의 구축이 필요하다.

참고문헌

1. 국토해양부(2009), "자전거도로 시설기준 및 관리지침".
2. 김기혁(1994), "도시의 공간적 사회적 요인에 따른 자전거 보유도 추정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제12권 제1호, 대한교통학회, pp.85~95.
3. 김수성·송기욱·정현영(2009), "지역특성에 따른 자전거이용 활성화 접근방안과 영향요인에 관한 연구", 대한교통학회지, 제27권 제4호, 대한교통학회, pp.17~30.
4. 김순귀·정동빈·박영술(2003), "로지스틱 회귀모형의 이해와 응용", SPSS 아카데미.
5. 김주안(2005), "로지스틱 회귀분석을 이용한 제품군 판별에 영향을 미치는 커뮤니티 요인에 관한 연구", 산업경제연구, 제8권 제5호.
6. 문대식(2007), "자전거 통행 활성화에 관한 연구-대전

시를 중심으로”, 한밭대학교 학위논문.

7. 박광배(2007), “범주변인분석”, 학지사.
8. 이병주·박영석·남궁문(2001), “자전거 이용자의 행태분석 및 선택행동 LISREL 모델”, 대한토목학회논문집, 제21권 제1호, 대한토목학회.
9. 조중래·김채만(1998), “출근통행 교통수단 선택행태의 지역간 비교연구 : -서울과 일산신도시를 중심으로-”, 대한교통학회지, 제16권 제4호, 대한교통학회, pp.75~86.
10. 홍세희(2005), “이항 및 다항 로지스틱 회귀분석”, 교육과학사.
11. Cohen, J., Cohen, P., West, S., and Aiken, L.(2003), “Applied multiple regression/ correlation analysis for the behavioral sciences. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates”.
12. Gary Barnes and Kevin Krizek(2005), “Estimating Bicycling Demand”, Transportation Research Record, No. 1939, pp.45~51.
13. Hosmer, D. and Lemeshow, S.(2000), “Applied logistic regression. New York: John Wiley & Sons”.
14. Jennifer Dill and Kim Voros(2007), “Factors Affecting Bicycling Demand”, Transportation Research Record, No. 2031, pp.9~17.
15. John Parkin, Mark Wardman and Matthew Page(2007), “Estimation of the determinants of bicycle mode share for the journey to work using census data”, Transportation, pp.93~109.
16. Mark Wardman, Miles Tight and Matthew Page(2007), “Factors influencing the propensity to cycle to work”. Transportation Research A41(4), pp.339~359.
17. Simon P. Washington, Matthew G. Karlaftis, and Fred L. Mannering(2003), “Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis”, CHAPMAN & HALL/CRC.

✉ 주 작 성 자 : 이규진
 ✉ 교 신 저 자 : 이규진
 ✉ 논문투고일 : 2010. 2. 21
 ✉ 논문심사일 : 2010. 3. 20 (1차)
 2010. 3. 31 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2010. 3. 31
 ✉ 반론접수기한 : 2010. 10. 31
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필