

회귀분석기반의 자전거 직접수요추정 모형 구축

Development of Regression-based Bike Direct Demand Models

이규진* · 김건욱** · 최기주***
Lee, Kyu Jin · Kim, Keun wook · Choi, Keechoo

Abstract

Bike system is one of the green transportation systems and spotlighted recently. In the TOD (Transit-Oriented Development) based transportation and urban planning, bike system will be the major part as linkage modes. In this paper, bike demand estimation model was firstly established in Korea, with considering of personal and household characteristics of traveller, social and economic characteristics of city, weather conditions, and so on. The model reflects population density, the number of students except elementary school students, the number of vehicles, the length of bike roads, and monthly income. The adjusted R^2 was 0.738; the model is highly fitted. The results of this paper yield bike demand estimation in the urban planning area; further estimated results will be using to determine economic feasibility and size of bike facility. In other words, this paper is expected to provide the theoretical basis that supporting justification and investment efficiency of bike plans, which are actively progressed recently.

Keywords : bike demand, population density, direct demand model, correlation analysis, regression analysis

요 지

녹색교통수단의 하나인 자전거는 세계적으로 수요가 증가하고 있으며, 특히 TOD(Transit-Oriented Development)중심의 교통·도시 계획에서도 대중교통수단의 연계 수단으로써 핵심적 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 본 연구는 통행자의 개인·가구 특성, 도시의 사회·경제적 특성, 도로·교통 특성, 기상 특성 등의 변수를 고려하여, 기존 연구와 차별성이 있는 자전거 수요추정 모형을 구축하였다. 본 연구에서 구축한 모형에는 인구밀도, 초등학교를 제외한 학생수, 승용차 대수, 자전거 도로연장, 월평균 소득의 변수가 반영되었으며, 모형의 수정 R^2 는 0.738로 비교적 설명력이 우수한 것으로 나타났다. 본 연구결과를 통해 특정 도시계획 지역의 자전거 수요를 예측할 수 있을 것으로 판단되며, 이는 현재 활발히 진행되고 있는 자전거시설 투자계획에서의 시설규모 결정 및 타당성 평가에 본 연구가 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 자전거 수요, 인구밀도, 직접수요모형, 상관분석, 회귀모형

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 기후변화와 환경오염, 에너지, 교통체증 등의 문제 해결을 위해 국가의 새로운 패러다임인 ‘저탄소 녹색교통’이 부각되고 있으며, 그 중 ‘자전거 이용활성화’ 정책은 정부차원에서 적극적으로 추진 중에 있다. 그 일환으로 2009년 2월 출범한 대통령 직속기관인 녹색성장 위원회에서는 자전거의 위상을 교통수단의 하나로 정착시키고, 현 자전거 수단 분담률을 2013년까지 5%로 향상시키는 등 다양한 목표를 수립하고 있으며, 2009년 11월 17일 행정안전부에서는 ‘자전거 이용활성화 종합대책’을 확정 발표하기도 하였다.

우리나라 대부분의 도시에서도 자전거 수단에 많은 관심을 가지고 그 중요성을 인식하고 있으며, 새롭게 개발되는 택시 개발사업, 뉴타운사업은 물론 기존 도로정비 사업에서도 도로다이어트(Road Diet) 등을 통해 자전거 도로 확충에 많은 노력을 기울이고 있다.

자전거 수단이 관심을 받는 이유는 크게 두가지로 나타난다. 첫 번째가 자동차와 비교시 약 6%의 운동에너지만으로 15km/h 이상의 속력을 낼 수 있는 환경적, 에너지적 수단(김용진 외, 2008)이기 때문이며, 두 번째로는 자전거가 일상 생활에서 쉽게 이용되었던 잠재적 교통수단으로써 활성화 가능성이 충분하기 때문이다.

또한 도시교통 전략에 있어서도 최근 대중교통 역사를 중심으로 고밀도 복합개발을 유도하여 대중교통 접근성을 극

*아주대학교 환경건설교통공학부 연구교수 (E-mail : transjin@ajou.ac.kr)

**정회원 · 교신저자 · 아주대학교 환경건설교통공학부 석사과정 (E-mail : rjsdnr4@ajou.ac.kr)

***정회원 · 아주대학교 환경건설교통공학부 교수 (E-mail : keechoo@ajou.ac.kr)

대화하는 대중교통지향형 개발(Transit Oriented Development: TOD)이 꾸준히 논의되고 있는데, 자전거 수단은 TOD의 단말교통수단으로서 중요한 위치를 차지하고 있다.

이와 같이 교통계획은 물론 도시계획 측면에서 자전거 수단이 집중 조명되고 있지만, 과연 자전거 수단의 시설 투자 및 활성화 정책 등이 경제적으로 어느 정도 타당한 지에 대한 평가는 제대로 이루어지지 못하고 있다. 이에 따라 아직까지 정책적인 판단에 의존하여 자전거 수단에 대한 투자가 이루어지고 있다. 자전거 수단에 대한 투자평가와 적절한 시설 규모는 기본적으로 자전거 통행에 대한 수요추정이 선행되어야 하지만, 이에 대한 관련연구가 부족하기 때문에 이러한 문제가 발생하고 있는 것이다.

기존에는 총 발생통행량을 기초로 자전거 수단분담률을 추정 후 자전거 수요를 추정하는 것이 일반적인 방법이었다. 자전거 수단은 통행자의 특성을 포함하여 지리적 특성 및 날씨 등 기존 교통수단과는 다른 이용특성이 있을 것으로 예상되기 때문에, 기존 교통수단에 적용되어왔던 수요추정기법과 다르게 접근할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 우선 도시의 사회·경제적 특성, 도로·교통 특성, 기상 특성과 자전거 수요와의 관련성을 분석하고, 수도권 각 도시의 자전거 수요를 직접 추정하기 위한 모형을 구축하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구에서는 수도권의 자전거 수요추정 모형을 구축하기 위해 수도권 가구통행실태조사 자료, AWS(Automatic Weather System)기상청 자료, 각 시별 통계연보, 지자체별 현황자료, 수도권 네트워크 및 O/D자료 등을 수집하여 기초 자료를 작성하였다. 해당 자료들의 수집단위가 대부분 시·군·구 단위이기 때문에 공간적 위계를 일치시키기 위해, 본 연구에서는 다양한 자료들을 수도권내 66개 시·군·구 단위로 결합하여 분석을 실시하였다.

수도권 66개 지자체별 자전거 발생량을 종속변수로 설정하고, 자전거 수요와 관련성이 있을 것으로 예상되는 다양한 변수들을 독립변수로 설정한 후 각 변수간 상관분석을 통해 자전거 수요와 관련성이 있는 변수들을 선정하였다.

이때, 독립변수들은 운전면허보유자 수, 아파트 면적, 연립주택 면적, 다가구주택 면적, 주택 면적, 오피스텔 면적, 총 평균 소득(가구통행실태조사 자료), 인구수, 남자인구수, 인구밀도, 통학인구, 초등학생, 중학생(국립), 중학생(사립), 고등학생(국립), 고등학생(사립), 실업계(국립), 실업계(사립), 중학교 이상 학생수, 총 차량대수, 승용차대수, 행정구역 면적, 도로면적, 주거면적, 상업면적, 공업면적(통계연보 자료), 강우량, 강우일수(기상청 AWS 관측자료), 도로 총용량, 여객 통행량, 버스 통행량, 화물 통행량, 총 통행량(수도권 네트워크 및 O/D), 자전거 도로연장, 자전거 도로율, 하천길이(지자체 내부자료)등이며, 종속변수는 전수화된 수도권 자전거 O/D를 활용하여 각 시군구의 발생량을 집계하였다.

자전거 수요와 관련성이 있는 변수들을 독립변수로, 자전거 수요를 종속변수로 설정한 후 다중회귀분석을 통해 자전거 수요추정 모형을 구축하였으며, 구축한 모형에 대해서는

R-square, T-test, F-test, Durbin-Watson ratio 등을 이용하여 모형의 통계적 유의성을 판단하였다.

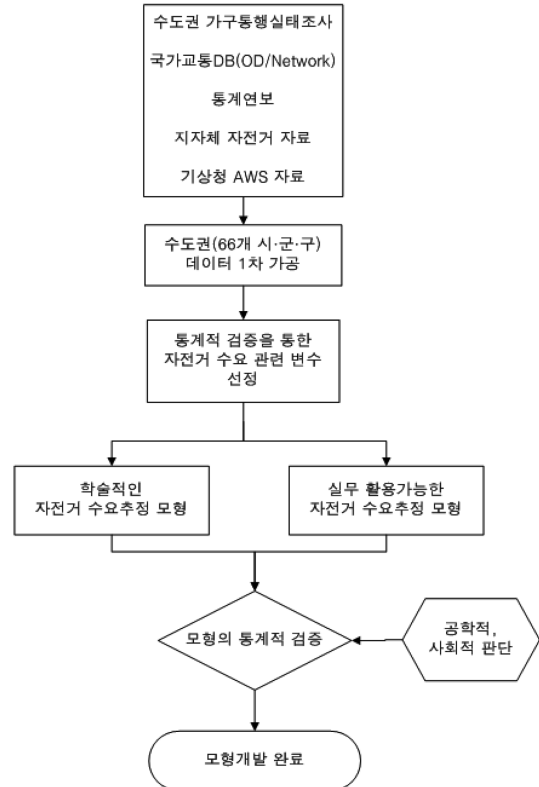


그림 1. 연구절차

2. 연구고찰 및 차별성

2.1 기존 연구고찰

김기혁(1994)은 도시의 공간적, 사회적 요인에 따른 자전거 보유대수 추정 모형을 제시하였다. 해당 연구에서는 분석 자료를 집계자료와 비집계자료로 구분하여 자전거 보유대수를 추정하였으며, 집계자료를 이용한 방법의 경우 다중회귀 모형으로 접근하였으며, 비집계자료를 이용한 방법의 경우 가구별 특성에 따른 인간의 선택행위를 설명하는 로짓모형으로 접근하였다.

오은미(1997)는 교통수단 중 자가용과 버스에 대한 교통수단 선택모형을 구축하고, 교통수단 선택 후에 기존 교통수단에서 타 교통수단인 자전거로 전환할 확률을 구하는 교통수단 전환률 추정 모형을 구축하였다.

황정훈 등(2005)은 교통수단 중 자동차, 자전거, 도보의 선택을 가지는 다항로짓 모형을 정립하였으며, 해당 모형에서 역까지 소요된 자전거 통행시간, 하차 후 도보 시간, 비용, 자전거의 등가시간 계수를 이용하여 자전거의 수요를 추정하였다.

노혁재(2007)는 캐나다 오타와시를 대상으로 인구 및 고용 증가에 따른 주중 오후 첨두시간의 통행수요 변화를 통해 도시 전체의 장래통행수요를 예측하였으며, 이때 장래 자전거 수단 분담률(modal share) 목표치를 적용하여 장래 자전거 수요를 추정하였다.

손영태 등(2008)은 전통적인 4단계 교통수요예측기법과 NCHRP 7-14의 Sketch planning 기법을 이용하여 자전거의 수요를 예측하는 방법론을 제시하였다. 전통적인 4단계 수요

추정방법은 센서스 자료 등을 이용하여 통행 유입·유출량을 준별로 구성하고, 통행분포 단계를 통해 O/D 자료를 산출하였으며, 자전거 도로 노선(Network)이 명확할 경우 해당 도로에 O/D 자료를 통행 배정하여 수요를 추정하였다. NCHRP 7-14의 Sketch Planning 기법은 영향권을 3가지(400m, 800m, 1,200m)로 구분하여 통행수요를 산출하는 방법을 제시하고 있으며, 통근자 수 및 성인, 아동 인구를 토대로 각 영향권 범위에 따라 가중치를 다르게 적용하여 새롭게 유발되는 자전거 수요를 추정하였다.

이규진 등(2010)은 수도권 가구통행실태조사 자료를 이용하여 로지스틱 회귀분석을 통한 자전거 수단분담률 추정모형을 구축하고, 자전거 수요요인을 분석하였다. 그 결과 단거리 통행, 학원가와 공원, 오피스텔 주택가 중심의 자전거 이용활성화가 효과적인 것으로 나타났다.

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

Jennifer Dill et al.(2007)은 포틀랜드와 오리건주의 성인을 대상으로 한 전화설문조사를 통해 개인특성과 지리적 특성, 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 목적 외에 놀이를 위해 자전거를 이용하는 경우가 더 많은 것으로 나타났다.

John Parkin et al.(2008)은 센서스 자료와 지리, 사회경제 지표 자료를 사용하여 잉글랜드와 웨일즈의 자전거 수단분담률을 추정하기 위한 모형을 제시하였다. 해당 모형은 구단위의 집계화된 자료를 이용한 회귀분석모형이며, 백인 비율과 남성 비율, 자동차수, 소득수준, 강수량, 평균기온 등을 설명변수로 반영하였다.

2.2 기존 연구와의 차별성

자전거 수요를 예측하기 위해 일반적인 4단계 수요추정기법의 적용을 고려할 수 있으나, 자전거 도로의 용량, 자유속도, PCU 등 자전거 통행 배분시 기초가 되는 각종 parameter의 불확실성과 더불어 자전거 Network 복잡성 때문에 4단계 수요추정기법을 통해 자전거의 선적인 수요를 추정하는 것은 비현실적인 것으로 판단된다. 특히 자전거의 통행 특성상 차도 및 자전거 도로를 이동하는 선적인 통행행태 보다는 보도 등의 사방으로 이동하는 면적인 통행특성을 보일 것으로 판단되기 때문이다. 따라서 자전거 수요는 도로나 철도와 같이 특정 구간의 수요가 아닌 특정 지역 중심으로 접근할 필요가 있을 것으로 판단된다.

국내의 자전거 수요추정에 관한 기존연구를 살펴보면, 개별형태모형을 통한 자전거 수단 분담률 추정과 타 교통수단에서 자전거 수단으로의 수단전환을 추정에 관한 연구가 주를 이룬 반면, 자전거 통행발생량을 직접적으로 추정하는 연구는 미미하다. 특히, 국내 연구의 경우 개인의 통행특성을

주변수로 설정하였을 뿐, 해당 지역에 거주하는 통행자의 개인 특성, 사회·경제 특성, 기후 특성을 종합적으로 고려하여 자전거 수요와 관련된 요인을 제시한 바 없으며, 해당 변수들을 활용하여 통계적으로 의미있는 자전거 수요추정 모형을 제시한 연구도 없기에 바로 이점이 본 연구가 기존 연구와 차별성이 존재한다고 볼 수 있다.

국외 관련연구의 경우 백인비율, 남성비율, 자동차수, 소득수준, 강수량, 평균기온 등의 다양한 사회·경제 변수들을 이용하여 자전거 수요를 추정하는 연구가 많이 진행되어 왔다. 국외 연구에서 자전거 수요와 관련된 것으로 알려진 통행행태, 사회·경제, 지리, 기후 특성은 국내의 경우와 상이하기 때문에 본 연구에서는 국외 연구들을 토대로 국내 실정에 맞는 자전거 수요추정 모형을 구축한다는 점에서 국외 연구와도 차별성이 있다고 볼 수 있다.

3. 모형 개발

3.1 추정·모형의 개요

본 연구에서는 자전거 수요에 영향을 미치는 변수를 각각의 독립변수로 설정하고, 수도권 66개 지자체의 자전거 통행발생량을 종속변수로 설정한 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)을 통해 모형을 구축하였다.

회귀분석이란 관찰된 연속형 변수들에 대해 독립변수와 종속변수 사이의 인과관계에 따른 수학적 모델인 선형적 관계를 구하여 어떤 독립변수가 주어졌을 때 이에 따른 종속변수를 예측하는 것을 말한다. 이때, 1개의 종속변수와 1개의 독립변수 사이의 관계를 분석할 경우를 단순회귀분석(Simple Regression Analysis), 1개의 종속변수와 여러 개의 독립변수 사이의 관계를 규명하고자 할 경우를 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)이라고 한다.

다중회귀분석은 모형 구축시 가정이 맞는지 아닌지 적절하게 밝혀지지 않은 채로 진행되어 그 결과가 오용되는 경우도 있다. 특히 통계소프트웨어의 발달로 분석이 용이해져서 결과를 쉽게 얻을 수 있지만, 적절한 분석방법을 선택했는지를 판단하는 것은 연구자의 선택에 달려있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 구축된 수학적 모형이 현실을 얼마나 잘 설명하고 있는지를 검증하기 위해서 표 1과 같은 통계적 검증을 통하여 모형의 신뢰성을 확보하도록 하였다.

표 1. 모형의 통계적 검증방법

검증	방법
상관관계	상관분석을 실시하여 종속변수와 상관계 정도와 변수들 간의 다중공선성 분석
자동상관	Durbin-Waston: 1.5~2.0(양호)
F검정	유의수준<0.05
계수 t검정	t-value>2
계수 검정	부호의 의미를 파악
설명력(R ²)	모형의 설명력

3.2 자료의 수집 및 가공

3.2.1 자전거 통행량 자료의 수집 및 가공

종속변수로 설정한 자전거 통행량에 대한 자료는 '2066년

수도권 가구통행실태 조사' 자료를 전수화한 2007년 기준의 수도권 자전거 O/D 자료를 이용하였다. 이때, 해당 자료는 읍·면·동 단위로 구축되어 있기 때문에 시·군·구 단위로 자료를 집합화 하였다.

3.2.2 개인·가구 특성 자료의 수집 및 가공

통행자의 개인·가구 특성을 고려하기 위해 '2006년 수도권 가구통행실태 조사' 자료에서 개인·가구 특성 303,308개의 자료 중 결측치와 이상치를 제거한 280,488개의 자료를 활용하였다. 해당 자료는 표본추출에 의해 수집된 자료이기 때문에 '2006년 수도권 가구통행실태 조사' 자료와 전수화된 O/D자료의 구별 총 통행량 비율을 이용하여 각 시·군·구별 개인·가구 특성 자료를 작성하였다. 즉, 각 지역 단위별 전수화 계수를 적용하여 각 시·군·구의 운전면허증 수, 아파트 면적, 연립주택 면적 등의 자료를 작성하였으며, 월평균소득은 각 구별로 평균화하여 사용하였다. 본 연구에서 고려한 개인·가구 특성 변수들은 표 2와 같다.

표 2. 개인·가구 특성 변수

구분	변수	내용
개인특성	운전면허	1: 있음
		2: 없음
가구특성	주택종류	1: 아파트
		2: 연립주택(빌라)
		3: 다세대/다가구주택
		4: 단독주택
		5: 오피스텔
		6: 기타
	월평균 소득	1: 100만원 미만
		2: 100~200만원
		3: 200~300만원
		4: 300~500만원
		5: 500~1,000만원
		6: 1,000이상

3.2.3 사회·경제 특성 자료의 수집 및 가공

본 연구에서 고려한 사회·경제 특성 변수는 표 3과 같이 각 지역의 인구수, 유형별 학생수, 유형별 차량대수, 유형별 면적 등이며, 각 지자체의 통계연보를 활용하여 수집하였다.

표 3. 사회·경제 특성 변수

변 수		자 료
인구수		통계연보
남자인구수		
인구밀도		
통학인구수		
초등학생수		
초등학생 제외 학생수	중학생수(국립)	
	중학생수(사립)	
	고등학생수(국립)	
	고등학생수(사립)	
	실업계 고등학생수(국립)	
	실업계 고등학생수(사립)	

표 3. 계속

변 수	자 료
총 차량대수	통계연보
승용차 대수	
행정구역 면적	
도로면적	
주거면적	
상업면적	
공업면적	

학생수의 경우 변수간 다중공선성이 상당수 존재하여 통행 특성이 다른 초등학교와 그 외 학생들로 구분하여 자료를 작성하였다.

3.2.4 도로·교통 특성 자료의 수집 및 가공

본 연구에서 고려한 도로·교통 특성 변수는 표 4와 같이 총 도로용량, 자전거 도로 연장, 수단별 교통량 등이며, 수도권 교통본부에서 제공한 수도권 네트워크와 O/D자료, 지자체의 내부자료를 활용하여 각 변수의 자료를 작성하였다. 여기서 각 지역의 총 도로용량은 네트워크 자료를 활용하여 가공하였으며, 수단별 교통량은 통행배정 후 각 지역의 수단별 교통량을 집계하여 작성하였다.

표 4. 도로·교통 특성 변수

변 수	자 료
도로연장×용량	수도권 교통DB
승용차, 택시 교통량	
버스 교통량	
화물 교통량	
전체 교통량	
자전거 도로연장	지자체 자전거자료
자전거 도로율	

3.2.5 기상 자료의 수집 및 가공

기상 자료는 기상청에서 제공하는 지역별 상세 관측자료인 AWS자료를 활용하여 수도권 66개 시·군·구별 강우량과 강우일수를 추출하였다. 서울특별시의 경우 대부분의 분석지역에 대한 AWS자료가 존재하는 반면, 경기도 일부 지역의 경우 수집되지 않은 AWS자료가 존재하기 때문에, 해당 지역의 기상자료는 인접 지역의 AWS자료를 참조하여 작성하였다.

즉, 본 연구에서 반영한 AWS자료는 표 5와 같으며, 월단위로 수집된 자료를 연단위로 가공하여 취합하였다.

표 5. 기상 변수

변수	자료
강우량(mm/년)	AWS 자료
강우일수(일/년)	

3.3 변수간 상관분석

자전거 수요와 관련성이 있을 것으로 예상되는 28개의 변

표 6. 종속변수와의 상관분석(N:66개)

변수	상관분석		변수	상관분석	
	Pearson 상관계수	유의확률(양쪽)		Pearson 상관계수	유의확률(양쪽)
인구수	Pearson 상관계수	0.759	강우일수*	Pearson 상관계수	-0.085
	유의확률(양쪽)	0.000		유의확률(양쪽)	0.496
남자인구수	Pearson 상관계수	0.755	자전거 도로연장	Pearson 상관계수	0.515
	유의확률(양쪽)	0.000		유의확률(양쪽)	0.000
인구밀도	Pearson 상관계수	0.499	자전거 도로율*	Pearson 상관계수	0.194
	유의확률(양쪽)	0.000		유의확률(양쪽)	0.119
통학인구수	Pearson 상관계수	0.764	도로연장×용량	Pearson 상관계수	0.453
	유의확률(양쪽)	0.000		유의확률(양쪽)	0.000
초등학생수	Pearson 상관계수	0.526	승용, 택시 교통량	Pearson 상관계수	0.562
	유의확률(양쪽)	0.000		유의확률(양쪽)	0.000
초등학생 제외 학생수	Pearson 상관계수	0.784	버스 교통량	Pearson 상관계수	0.482
	유의확률(양쪽)	0.000		유의확률(양쪽)	0.000
총 차량대수	Pearson 상관계수	0.679	화물 교통량	Pearson 상관계수	0.401
	유의확률(양쪽)	0.000		유의확률(양쪽)	0.001
승용차 대수	Pearson 상관계수	0.677	총 교통량	Pearson 상관계수	0.573
	유의확률(양쪽)	0.000		유의확률(양쪽)	0.000
행정구역 면적	Pearson 상관계수	-0.357	운전 면허수	Pearson 상관계수	0.768
	유의확률(양쪽)	0.03		유의확률(양쪽)	0.000
도로면적*	Pearson 상관계수	-0.104	아파트면적	Pearson 상관계수	0.559
	유의확률(양쪽)	0.407		유의확률(양쪽)	0.000
주거면적	Pearson 상관계수	0.644	연립주택면적	Pearson 상관계수	0.504
	유의확률(양쪽)	0.000		유의확률(양쪽)	0.000
상업면적	Pearson 상관계수	0.414	다가구면적	Pearson 상관계수	0.469
	유의확률(양쪽)	0.000		유의확률(양쪽)	0.000
공업면적*	Pearson 상관계수	0.127	오피스텔면적	Pearson 상관계수	0.380
	유의확률(양쪽)	0.309		유의확률(양쪽)	0.002
강우량*	Pearson 상관계수	-0.004	월평균소득의 합	Pearson 상관계수	0.424
	유의확률(양쪽)	0.975		유의확률(양쪽)	0.000

주) * : 분석간 제외된 변수

수들 중 실질적으로 자전거 수요와 상관성이 높은 변수를 선정하기 위해 변수간 상관분석을 시행하였다.

3.4 변수선정 결과

본 연구에서 고려한 28개 변수들 중 Pearson 상관계수가 낮으며, 유의확률이 0.05이상인 변수와 다중공선성이 발생하는 초등학생 수, 도로면적, 공업면적, 강우량, 강우일수, 자전거 도로율을 제외한 총 22개의 변수를 자전거 수요추정모형에 반영할 변수로 선정하였다(표 7).

표 7. 최종 선정된 변수(22개)

구분	최종 선정된 변수	평균	표준편차
사회·경제 특성	인구수	365,559명	234,818
	남자인구수	183,675명	117,221
	인구밀도	9,477명/km ²	8,465
	통학인구수	56,356명	40,591
	초등학생 제외 학생수	28,239명	21,045
	총 차량대수	111,065대	73,260
	승용차대수	84,833대	59,763
	행정구역 면적	179km ²	245
	주거면적	11,413,422m ²	11,413,422

표 7. 계속

구분	최종 선정된 변수	평균	표준편차
사회·경제 특성	상업면적	1,163,284m ²	1,160,116
	자전거 도로연장	35km	40
도로·교통 특성	도로총용량(연장×용량)	1,763,054	1,240,844
	승용, 택시 교통량	822,138대	623,411
	버스 교통량	41,696대	31,441
	화물 교통량	152,298대	119,245
	총 교통량	1,154,191대	821,754
개인·가구 특성	운전면허자 수	207,903명	136,056
	아파트 면적	5,237,824m ²	4,656,432
	연립주택 면적	1,672,682m ²	1,325,041
	다가구 면적	1,631,119m ²	1,682,107
	오피스텔 면적	229,762m ²	174,332
	월평균소득의 합	1,064,074만원	730,552

3.5 모형 구축 결과

3.5.1 모형 1(학술적 모형)

최종 선택된 22개의 변수를 바탕으로 자전거 수요와의 다

중회귀 분석을 실시한 결과 수식 (1)과 같은 회귀 모형식을 도출하였다. 본 모형식을 살펴보면 인구밀도, 초등학교 제외한 학생수, 자전거 도로연장, 월 평균소득이 높을수록 자전거 수요가 증가하는 +(양)의 계수를 나타내고 있으며, 해당 지역의 승용차 대수가 많을수록 자전거 수요는 감소하는 것으로 나타났다. 여기서 승용차 보유대수가 많을수록 자전거 수요가 감소하는 것으로 분석되었는데, 이는 자전거와 승용차가 서로 연계된 교통수단이 아닌 별도의 교통수단으로 이용되고 있기 때문으로 판단된다.

모형 1의 각 변수 중 월 평균소득의 표준화 계수가 가장 높은 것으로 나타났는데, 이는 고소득자의 레저·여가 자전거통행이 많기 때문으로 판단되며, 다음으로 표준화 계수가 높은 초등학교를 제외한 학생수의 경우, 학생의 자전거 수요가 많기 때문으로 판단된다. 또한 인구밀도가 높은 Compact City에서 자전거 통행발생량이 높음을 알 수가 있으며, 이는 고밀도 개발을 추구하는 TOD지역 계획시 자전거 수요에 대해 충분히 고려해야 한다는 것을 의미할 수 있다. 또한 자전거 도로연장의 경우 (+)양의 계수를 가지긴 하나 상관계수와 표준화계수를 통하여 아직까지는 수도권에서 자전거 통행발생량에 미치는 영향이 다른 변수들에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 이는 자전거 도로의 확장만으로 자전거 이용을 활성화하기에 한계가 있음을 시사한다.

$$y = -1,583.132 + 0.242x_1 + 0.281x_2 + 0.017x_3 - 0.202x_4 + 58.923x_5 \quad (1)$$

여기서, y : 자전거통행발생량

x_1 : 인구밀도(명/km²)

x_2 : 초등학교 제외 학생수(명)

x_3 : 월평균소득의 합(만원)

x_4 : 승용차대수(대)

x_5 : 자전거도로연장(km)

단, $\Sigma \beta_k x_k > 1,583.132$

해당 모형의 통계적 신뢰도를 살펴보기 위해 R제곱, Durbin-Watson ratio, F-test, T-test 등의 다양한 통계적 기법을 활용하였다.

모형에 대한 통계적 검증 결과 수정 R제곱값은 0.738로 분석되어 모형의 설명력이 우수한 것으로 나타났다. 또한 수도권 66개의 시·군·구의 공간적 배열의 수치들간 상관관계를 살펴보기 위해 Durbin-Watson Ratio 검증을 실시한 결과 1.715로 분석되었으며, 이는 1.5~2사이의 자기상관 무시영역에 포함되기 때문에 자기상관성이 없는 것으로 나타났다. 그리고 회귀모형식의 전체적인 유의성을 검증하는 F-test 값의 경우 유의확률이 0.000으로써 본 모형이 통계적으로 의미 있는 것으로 나타났다.

표 8. 모형 1의 통계적 검증

구분	Test_Value
R 제곱	0.758
수정된 R제곱	0.738
Durbin-Watson	1.715
F-test(유의확률)	37.529(0.000)

그리고 모형 1에 적용된 변수들의 유의확률이 모두 0.05 이하로 나타나, 해당 모형의 변수들은 모두 유의한 것으로 확인되었다.

표 9. 변수의 통계적 검증

구분	표준화계수	t-value	Sig
인구밀도	0.187	2.010	0.049
초등학교 제외 학생수	0.539	2.062	0.044
승용차대수	-1.1	-3.138	0.003
자전거 도로연장	0.218	2.166	0.034
월평균소득의 합	1.135	2.578	0.012

3.5.2 모형 2(실무 활용 모형)

앞에서 제시된 모형 1(학술적 모형)은 다양한 변수들을 결합하여 정확한 수도권 각 지역의 자전거 수요를 추정할 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 실무에 활용하기에는 자료의 결합과 가공에서 상당한 시간이 소요되며, 자료 취득이 용이하지 않기 때문에 적용성 측면에서 다소 한계가 있다. 따라서 현실적으로 자료취득이 용이하고 모형의 적용이 간편한 모형을 구축한다.

즉, 모형 1에서 자료 수집이 용이하지 않은 자전거도로연장, 월 평균소득을 제외한 자전거 예측 모형을 구축하였다. 해당 모형의 경우, 모형 1과 비교해 변수의 갯수가 적기 때문에 통계적 신뢰도 확보가 중요하다. 해당 모형의 통계적 검증을 위해 R제곱값, Durbin-Watson, F-test, T-test 등의 통계적 기법을 활용하였으며, 그 결과 R제곱값은 0.709로 나타났으며, Durbin-Watson은 1.792, 전체적 모형의 검증을 하는 F-test의 경우 0.000으로 나타났다.

앞서 구축한 모형 1(학술적 모형)에 비해 전반적으로 통계적 수치들이 다소 낮게 추정되었지만, 일반적인 통계적 신뢰성 구간은 만족시키는 것으로 나타났다.

표 10. 모형 2의 통계적 검증

구분	Test_Value
R 제곱	0.723
수정된 R제곱	0.709
Durbin-Watson	1.792
F-test(유의확률)	53.850(0.000)

구축된 모형 2는 수식 (2)와 같으며, 해당 모형의 계수의 부호는 모형 1과 동일한 것으로 분석되었다.

$$y = -1,544.364 + 0.383x_1 + 0.559x_2 - 0.72x_3 \quad (2)$$

여기서, y : 자전거통행발생량

x_1 : 인구밀도(명/km²)

x_2 : 초등학교 제외 학생수(명)

x_3 : 승용차대수(대)

단, $\Sigma \beta_k x_k > 1,544.364$

그리고 모형 2에 적용된 독립변수들의 유의확률도 모두 0.05이하로 분석되어 적용된 변수들은 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

표 11. 변수의 통계적 검증

구분	표준화계수	t-value	Sig
인구밀도	0.296	4.236	0.000
초등학생 제의 학생수	1.074	5.471	0.000
승용차대수	-0.394	-2.035	0.046

4. 결론 및 향후과제

최근 녹색교통의 하나인 자전거 수단은 사회적으로 큰 주목을 받고 있으며, 대중교통수단의 연계수단으로써 핵심적 역할을 담당할 것으로 기대되고 있다.

본 연구는 특정 지역의 자전거 수요를 직접적으로 예측할 수 있는 모형을 제시한 연구로써 총 수요에서 자전거 수단 분담률을 이용한 기존연구와 차별되며, 특히, 개인·가구 특성, 사회·경제 특성, 도로·교통 특성과 자전거 수요와의 관계를 통계적으로 살펴보았을 뿐 아니라 이론적/현실적으로 적용 가능한 모형을 각각 제시하였다. 본 연구결과를 통해 특정 지역의 자전거 수요를 보다 현실적으로 예측할 수 있으며, 예측된 결과를 통해 자전거 사업의 경제적 타당성 및 자전거 시설 규모 등을 결정할 수 있다. 즉, 본 연구결과는 근래 활발히 추진되고 있는 자전거 사업에 대한 정당성 및 투자 효율성을 뒷받침할 수 있는 이론적 근거가 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구를 통해 도출한 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서 고려한 28개의 변수들 중 22개의 변수가 자전거 수요와 관련성이 있는 것으로 분석되었으며, 그 중 학생수가 자전거 수요와 가장 큰 관련성이 있는 것으로 나타났다. 이를 통해 향후 도시 및 단지 계획시 도시기반 시설 중 하나인 교육시설의 계획에 대해 자전거 도로와 연계할 필요가 있을 것으로 판단된다.
2. 인구밀도가 높은 Compact City일수록 자전거 수요가 많은 것으로 판명되었으며, 이를 통해 향후 TOD 지역과 같이 인구밀도가 높은 지구의 계획시 자전거 도로와 보행 시설과 같은 자전거 시설에 관심을 가져야 할 것으로 보인다.
3. 자전거 도로연장이 높아질수록 자전거 통행량이 높아짐을 알 수 있으나, 아직까지는 대부분 도시의 자전거 도로체계가 미흡하기 때문에 다른 변수와 비교해 상관관계와 표준화계수가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 또한 자전거 도로 확충위주의 정책만으로 자전거 수요를 증진시키는데 한계가 있다는 점을 시사한다.
4. 해외 연구결과와 달리 국내 수도권 각 지역의 기상상황에 따른 자전거 통행량은 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 수도권 각 지역의 특성상 공간적 범위가 크지 않기 때문에 기상상황이 서로 유사하기 때문으로 판단된다. 한편, 이와 같은 결과는 본 기초자료의 한계에 기인한 것으로도 판단된다. 본 연구에 활용한 O/D의 경우 특정일에 조사된 결과를 전수화한 자료이고, 기상자료는 연평균 자료이기 때문에 두 변수간 시점 불일치 문제가 존재하기 때문이다.

그 외, 본 연구의 한계점은 크게 3가지로 정리된다.

1. 수도권 가구통행실태조사 자료를 기반으로 한 O/D자료의 한계점으로써, 수도권 가구통행실태조사는 평일을 기반으로 한 자료이기 때문에 주말에 주로 발생하는 여가·오락·친교 통행이 제대로 반영되었다고 보기 어렵다. 즉, 본 연구에서 구축한 모형이 현실을 제대로 모사하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 이는 향후 자전거 수요추정 모형 구축시 주말통행을 고려한 데이터 가공 후 모형을 구축하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
2. 수도권 가구통행조사 자료와 다양한 사회·경제적 변수들을 결합하였지만, 경사(구배), 구릉지 비율 등과 같은 지리적 변수는 자료수집의 한계로 인하여 본 연구에서 고려하지 못했다. 해당 변수들도 자전거 수요와 밀접한 관련이 있을 것으로 예상되나, 추후 자전거 수요추정 모형에 반영하여야 할 것으로 판단된다.
3. 공간적 범위를 수도권으로 한정하여 모형을 제시하였으나, 광역권과 도·농 통합도시 등의 도시 형태에 따른 자전거 수요와도 비교하여 각 지역의 자전거 수요 추정 모형을 구축할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029446).

참고문헌

김기혁(1994) 도시의 공간적, 사회적 요인에 따른 자전거 보유도 추정에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제13권 제1호, pp. 85-95

김용진, 이경환, 안건혁(2008) 자전거 통근률에 영향을 미치는 지역요인 분석:서울시 25개 자치구를 대상으로, **도시설계학회지**, 한국도시설계학회, 제9권 제1호, 통권 제30호, pp. 19-34

노혁재(2007) 캐나다 오타와시의통행수요 예측과정과 결과, **월간 교통**, 통권 제116호

문대식(2007) **자전거 통행 활성화에 관한 연구-대전시를 중심으로**, 석사학위논문, 한밭대학교.

수도권 교통본부(2007) **2006 수도권 가구통행실태조사**.

손영태, 이진각(2008) 자전거도로 건설에 따른 편익항목 계량화 방안, **한국도로학회지**, 한국도로학회, 제10권 1호, pp. 38-50.

오은미(1997) **자전거교통 수요관리의 효과분석: 청주시 교통수단 선택모형을 중심으로**, 석사학위논문, 충북대학교.

이경환, 김승남, 안건혁(2008) 중소 도시의 토지이용 및 도시형태와 자전거 통근통행의 상관관계 연구, **국토계획**, 대한국토·도시계획학회, 제43권 제5호, pp. 49-61.

이규진(2010) 자전거 수단분담률 추정모형 구축 및 자전거 수요 요인분석, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제28권 제3호 pp. 145-155.

이재영, 이재춘, 김형철(1998) 자전거 관련연구의 세계적 동향과 전망, **대한교통학회 추계 학술발표회 논문집**, 대한교통학회, pp. 216-225

조중래, 김채만(1997) 출근통행 교통수단과 선택행태의 지역간 비교연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제16권 제4호.

환경부(2007) **환경친화적 자전거문화 정착 연구**.

황정훈, 김갑수(2005) 자전거 주행환경 개선방안의 평가에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제23권 제8호, pp. 203~213

Dill, Jennifer and Voros, Kim (2007) *Factors Affecting Bicycling Demand: Initial Survey Findings from the Portland, Oregon, Region*.

Gary Barnes and Kevin Krizek (2005) *Estimating Bicycling Demand*, Transportation Research Record, No. 1939, pp. 45-51.

Jennifer Dill and Kim Voros (2007), *Factors Affecting Bicycling Demand*, Transportation Research Record, No. 2031, pp. 9-17.

John Parkin, Mark Wardman, and Matthew Page (2008) *Estimation of the determinants of bicycle mode share for the journey to work using census data*.

Juan de Dios Ortuzar, Andres Iacobelli, and Claudio Valeze (1999) *Estimating demand for a cycle-way network*.

(접수일: 2011.1.12/심사일: 2011.4.26/심사완료일: 2011.6.7)