

기상조건과 입지특성이 공공자전거 이용에 미치는 영향 분석

이장호¹ · 정경옥² · 신희철^{2*}

¹한국교통대학교 철도시설공학과, ²한국교통연구원

Impact Analysis of Weather Condition and Locational Characteristics on the Usage of Public Bike Sharing System

LEE, Jang-Ho¹ · JEONG, Gyeong Ok² · SHIN, Hee Cheol²

¹Department of Railroad Facility Engineering, Korea National University of Transportation, Gyeonggi 16106, Korea

²Department of Transport Safety and Highway, The Korea Transport Institute, Sejong, 30147, Korea

*Corresponding author: heshin@koti.re.kr

Abstract

This study aims to study the impact of weather conditions and locational characteristics of bike stations on the usage of public bike sharing system for efficient deployment and operation of public bike systems. Linear regression analysis is used to estimate the usage of public bikes of Goyang city. The statistical analysis shows that the usage rate increases with average temperature and decreases under high wind (over 7m/s) or high temperature (over 29°) condition. The usage rate of public bike sharing system can be differentiated by locational characteristics of bike station such as residential area, commercial area, park, school, and metro station. The usage rate increases in park and commercial areas from 10 AM to 3 PM, while it increases in school areas from 3 PM to 5 PM. Public bikes are highly used near the metro station from 5 PM to 8 PM. The stations in parks are highly used in late night, and the usage rate in CBD area increases after the midnight.

Keywords: linear regression model, locational characteristics, public bike, time of day, weather condition

초록

본 연구는 효율적인 공공자전거 도입과 운영을 위하여 기상조건과 스테이션 입지특성이 공공자전거 수요 및 이용패턴에 영향을 파악하고자 고양시 공공자전거 대여자료를 가지고 선형 회귀분석방법을 통해 시간대별 대여량 모형을 구축하였다. 기상조건에 따른 영향은 평균 기온이 상승할수록 대여량이 늘어나는 것으로 분석되었으며, 강수량이 10mm 이상 되거나, 평균기온이 29도 이상으로 높아지는 경우, 풍속이 7m/s 이상 되는 경우에 대여량이 떨어지는 것으로 분석되었다. 입지특성에 따른 영향은 새벽시간대는 유흥가가 위치한 중심상업지역이, 낮 시간대에는 공원지역과 중심 및 일반상업 지역의 대여량이 높은 것으로 나타났다. 하교시간대는 학교인근 스테이션의 대여량이 증가하고, 퇴근시간대는 지하철역 인근의 대여량이 두드러지게 높아진다. 심야시간대에는 공원지역에서의 대여량이 두드러졌다.

주요어: 선형회귀모형, 입지특성, 공공자전거, 시간대, 기상조건

J. Korean Soc. Transp.
Vol.34, No.5, pp.394-408, October 2016
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.5.394>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 3 May 2016

Revised: 31 May 2016

Accepted: 22 July 2016

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

1. 연구배경 및 목적

최근 에너지 및 환경에 대한 관심이 높아지면서, 지속가능한 교통체계 구현에 대한 관심이 대내·외적으로 높아지고 있으며, 특히 지속가능한 교통체계 중 하나인 자전거는 전 세계적으로 주목 받고 있다. 우리나라에서도 이러한 흐름에 맞추어 중앙정부와 지방자치단체에서 자전거에 대한 정책을 수립하고 있고, 대표적인 정책 중 하나가 공공자전거의 도입이라고 하겠다. 공공자전거는 일정 지역의 무인대여소에서 자전거를 대여하여 원하는 장소까지 이동을 한 후 다시 무인대여소에 반납하는 형태로 운영되어진다. 대표적으로 우리나라에서는 누비자(창원), 피프틴(고양), 타슈(대전) 등이 있다. 이러한 공공자전거는 성공적인 운영과 자전거 이용 증가로 다수의 지방자치단체에서 도입이 증가되는 추세이다.

그런데 지방자치단체의 효과적인 공공자전거 도입과 효율적인 운영을 위해서는 공공자전거 수요나 이용패턴에 영향을 미치는 요인을 파악하는 것이 필요하며, 시간대별 변화에 따라, 회원가입 유무 등에 따라 어떻게 달라지는지를 파악하는 것이 필요하다고 하겠다. 이에 따라 본 연구에서는 고양시 공공자전거 시스템의 시간대별 이용자료를 바탕으로 요일이나 기상조건, 대여스테이션의 입지특성 등에 따라 공공자전거의 이용규모가 시간대별로 어떻게 달라지는지 회귀분석방법을 이용하여 분석하고자 하였다.

2. 연구 내용 및 연구 방법론

본 연구는 우선 선행연구고찰을 통해 국내외 공공자전거와 관련된 연구의 흐름을 파악하였으며, 고양시 공공자전거 피프틴의 2012년 1월 1일-12월 31일까지의 대여자료를 가지고 이용패턴의 특성을 분석하였다.

또한, 선행회귀분석방법을 통해 시간대별 대여량을 종속변수로 하고, 일별 기상 자료, 요일 자료, 대여스테이션의 입지특성을 독립변수로 적용하여, 시간대별 대여량 모형을 구축하였다. 또한, 회원과 비회원으로 구분하여 모형을 구축함으로써 두 유형간 특성의 차이를 규명하고자 하였다.

끝으로 구축된 모형을 근간으로 스테이션 유형별 시뮬레이션 결과와 기상조건에 따른 시뮬레이션 결과 등을 제시하였으며, 이를 기초로 공공자전거 운영자로 하여금 기상조건이나 대여스테이션의 입지특성별 배차전략 수립 등에 기여할 수 있도록 하였다.

선행연구 고찰

1. 국내 선행연구 고찰

공공자전거와 관련하여 국내에서 연구된 사례를 살펴보면, 우선 공공자전거의 이용특성을 살펴 본 연구로는 Lee et al.(2012)과 Kim et al.(2012)의 연구를 꼽을 수 있다. Lee et al.(2012)은 공공자전거를 도입하여 운영 중인 창원, 고양, 대전 등 3개 도시를 대상으로 도시의 운영모델, 이용특성, 이용자 인식결과 등을 비교하여 공공자전거 도입결정 및 운영전략 수립에 필요한 시사점을 도출하였다. 이 연구에서는 공공자전거의 이용특성 분석과 관련하여 평균 이용률, 이용목적, 월별/요일별/시간대별 분포, 평균이용시간, 이용자만족도 조사결과 등을 제시하였다. 그러나 표본 수가 크지 않고 대략적인 특성 파악에 초점이 맞추어져 있다. Kim et al.(2012)은 고양시의 공공자전거 이용자료를 활용하여 날씨가 자전거 이용에 미치는 영향을 파악하였고, 추가적으로 휴일 및 공공자전거 회원 여부에 따른 날씨의 영향도 살펴보았다. 온도변수는 온도가 높아지거나 온도가 낮아지는 경우 자전거 이용이 감소하는 것으로 나타났다. 자전거 이용이 증가하다가 감소하는 온도는 23°C로 분석되었다. 한편, 강수량은 자전거에 부정적인 영향을 주는데, 강수량이 10cm 증가할 때마다 자전거 이용은 약 60% 감소하는 것으로 나타났다. 휴일 및 회원 여부에

따른 분석결과는 평일에 비가 오는 경우 비회원은 회원보다 자전거를 이용하지 않을 확률이 4.42배 커지는 것으로 분석되었다.

한편, 본 연구와 직접 관련성이 낮으나 최근 들어서는 공공자전거시스템의 편익산정과 관련한 연구가 진행되어, Han et al.(2013)은 창원시의 공공자전거 이용자들을 대상으로 하여 공공자전거 시스템 확대 보급을 위한 지불의사액을 추정하였으며, Kim et al.(2014)은 고양시와 창원시를 대상으로 공공자전거의 경제적 편익을 추정하기 위하여 조건부 가치측정법이 적용된 설문조사결과를 활용하여 가구당 평균 지불의사액을 추정하였다. Kim et al.(2015)은 수원시 시민을 대상으로 공공자전거 시스템의 지불의사액의 금액을 추정하였고, Oh et al.(2014)은 공공자전거의 이용자 만족도에 미치는 요인을 구조방정식을 이용하여 파악하였다.

2. 국외 선행연구 고찰

공공자전거와 관련된 국외 선행연구는 국내보다도 더 다양하게 이루어졌는데, 기상조건 등 자전거 이용에 영향을 미치는 요인을 분석한 연구와 공공자전거 이용특성과 관련한 연구로 나누어 살펴볼 수 있다.

우선 자전거 이용 자체의 영향요인을 분석한 연구로 Pucher et al.(1999)은 북미 도시들의 자전거 활성화와 관련하여 도시별 기상조건과 자전거 이용률을 분석하였는데, 자전거 이용이 높은 도시들은 온화한 겨울날씨를 가지고, 강수량이 많지 않은 지역이며, 매우 덥거나 습도가 높은 도시에서 자전거 이용률이 떨어지는 것으로 분석되었다. 또한, 향후 북미 도시들의 자전거 이용률이 지속적으로 상승하겠지만, 북유럽 도시들보다는 낮을 것으로 판단하였는데, 이는 북미 도시들이 승용차 중심의 교통체계를 가지고 있어서 자전거 이용은 여가목적에 국한되는 점에 기인한다고 보았다.

기상조건의 영향과 관련해서 Nankervis(1998)는 호주의 멜버른 지역 통학생들의 자전거 이용패턴을 분석하여 기온, 강우, 바람 등은 자전거 이용에 영향을 미치지 않지만, 계절적 기상변화는 통계적으로 유의한 영향이 없는 것으로 나타났고, Certero and Duncan(2003)은 미국 샌프란시스코 베이(bay)지역 통행조사자료를 근간으로 자전거 수단 선택모형을 구축하면서 자전거 이용률을 예측하였는데, 강수요인이 영향을 미치지 않는 것으로 분석하였다. Thomas et al.(2013)은 1987-2003년간 네덜란드 16개 자전거 도로의 이용과 기상조건의 영향을 분석하였는데, 기상조건이 변동요인의 80%를 차지하며, 강수, 기온, 일조량, 풍속 등이 모두 자전거 이용에 영향을 미치고, 특히 여가 통행에 영향을 주는 것으로 나타났다. Gebhart and Noland(2014)는 미국 워싱턴DC 지역 공공자전거 이용에 있어서 기상조건의 영향을 분석하였는데, 시간대별 온도, 강수, 안개, 풍속, 습도 등의 기상자료와 시간대별 대여량 및 대여시간의 관계를 통계적으로 모형화하였다. 추위(저온), 강수, 다습한 경우에 공공자전거 대여건수나 대여시간이 감소하며, 지하철역에서 1/4 마일 내에 있는 스테이션의 경우는 강수의 영향을 더 받는 것으로 분석되었다.

자전거 도로(차로) 등 자전거 시설과 자전거를 이용한 통근통행에 대한 관계를 분석한 연구로, Dill and Carr(2003)은 미국 주요도시의 자전거 시설과 자전거를 이용한 통근통행의 관계를 분석하였는데, 연간 강우일수나 기온이 영하인 날짜의 수는 자전거 이용을 떨어뜨리지만, 여름 최고온도와 평균 풍속은 영향이 없는 것으로 나타났다. Pucher and Buehler(2006)는 미국 보다 캐나다 시민들의 자전거 이용이 더 많은 이유를 분석하였는데, 자전거 이용률은 자전거 도로(전용차로)시설, 자전거 통행의 안전성, 학생 수에 비례하고, 자동차보유율이 높아질수록, 유류가격이 낮을수록 이용률이 떨어지는 것으로 분석되었다. 또한, 통근수단으로 자전거를 이용하는 비율은 온도와 강수량 등에 영향을 받는 것으로 나타났다. 이와 유사하게 Buehler and Pucher(2012)는 미국 내 90개 도시에서의 자전거를 이용한 통근통행에 대하여 분석하면서 자전거 도로시설의 중요성을 보였는데, 여기서는 기상조건이 통계적으로 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

공공자전거 이용특성 분석과 관련한 연구로는 Noland and Ishaque(2006)는 2004년 8월 런던 지역 해머스미스(Hammersmith)와 풀햄(Fulham)에서 이루어진 공공자전거 시스템 시범 도입과 관련하여 분석하였다. 공공자전거 시스템의 이용은 주로 대중교통 정거장(역)과 여가장소나 관광지를 연계하는 통행에서 활용될 수 있으며, 무료로 이

용하는 사람들의 경우는 통근통행에도 활용하는 것으로 나타났다. 이 연구에서도 월간 이용률 변화를 기초로 통계 기간과 강수시기에 자전거 이용이 낮아지는 것으로 분석되었다. Kim et al.(2012)은 공공자전거 이용에 미치는 영향요인으로 대역스테이션 영향권의 주거 및 상업 연상면적, 공원, 학교, 지하철역 등을 꼽았으며, 주말여부, 강우여부 등도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 주거지역보다는 상업지역이 더 큰 영향을 미치며, 공원지역은 학교나 지하철역보다도 3-5배 가량 이용률이 높은 것으로, 주말은 주중보다 2배 정도 이용률이 높은 것으로 나타났다.

Bachand-Marleau et al.(2012)는 2010년 여름 캐나다 몬트리올에서 조사된 자료를 기반으로 공공자전거의 이용가능성에 영향을 미치는 요인에 대하여 분석하였는데, 가장 중요한 요인을 집에서 공공자전거 대역스테이션까지의 거리가 꼽혔다. 또한, 공공자전거 연간회원에 가입한 경우 비회원에 비해 연간 15회 정도 추가로 이용하는 것으로 나타났다. Lathia et al.(2012)도 런던 Barclay Cycle Hire 시스템 도입과 관련하여 대역스테이션까지의 빠른 접근성이 이용률을 높이는 데에 중요한 요인으로 제시하였다. Wang et al.(2012)은 대역스테이션과 직장과의 근접성이 공공자전거 이용에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석하였으며, 상업지역 중에서도 음식료품/식당과 관련된 경우가 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. Hampshire et al.(2012)은 스페인 바르셀로나와 세비아 지역의 공공자전거 자료를 가지고 대역스테이션의 밀도와 용량이 이용률에 주요한 영향을 미치는 것으로 결론내렸다.

Buck and Buehler(2012)는 공공자전거 이용이 자전거 전용차로, 인구 수, 차량미보유 가구비율, 소매판매점 밀도와 비례하는 것으로 결론 내렸으며, Rixey(2013)는 미국 세 도시의 공공자전거시스템을 대상으로 월평균 이용률에 대한 영향요인을 분석하였는데, 인구밀도, 직장밀도, 소득수준, 통근수단의 분담률 등이 중요한 요인으로 나타났다.

Corcoran et al.(2014)는 호주 브리즈번의 공공자전거시스템(CityCycle)과 관련하여 이용률에 대한 시공간적 변화에 대하여 분석하였는데, 강우와 강풍이 공공자전거 이용을 떨어뜨리며, 이는 여가통행이나 통근통행에 모두 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기온은 통계적으로 유의한 영향이 없었는데, 이는 브리즈번의 아열대성 기후와 관련이 있는 것으로 판단하였다. 공휴일은 독립적으로는 유의한 영향이 없었지만, 다른 영향요인과 함께 모형화하는 경우에 유의한 영향이 존재하였다. 특히 중심업무지역(CBD)과 관련된 통행에서 영향이 큰 것으로 나타났다. Faghih-Imani et al.(2014)은 캐나다 몬트리올 공공자전거시스템(BIXI) 이용률과 토지이용 및 도시형태의 관계를 분석하였다. 2012년 4월과 8월 자료를 근간으로 분석한 결과, 주말에 이용률은 떨어지나, 금요일과 토요일 저녁에는 증가하는 것으로 나타났으며, 상업지역, 대학과 가까운 스테이션에서 이용률이 높고, 중심업무지역(CBD)에서 멀어질수록 공공자전거 통행량이 감소하는 것으로 나타났다. 이용률은 대역스테이션 영향권 내 인구밀도에 비례하며, 업무지역의 경우 오전과 오후에 영향이 반대로 나타났다. Croci and Rossi(2014)는 이탈리아 밀라노의 사례를 가지고 분석하였는데, 철도역, 대학, 박물관, 영화관 등과 관련된 대역스테이션의 공공자전거 이용이 높은 것으로 나타났다. 반면 트램이나 버스정류장, 공연장 등은 영향이 없거나 음(-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. Fishman et al.(2015)는 호주 멜버른과 브리즈번의 공공자전거 시스템 회원을 대상으로 이용에 영향을 미치는 요인에 대하여 분석하였는데, 헬멧의 강제여부, 이전 달의 이용수준, 개인소유 자전거의 이용가능성 등이 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 18-34세의 이용자나 대역스테이션 250m 이내에 직장이 있는 이용자가 이용률이 높은 것으로 나타났다.

3. 선행연구 시사점

공공자전거 이용에 영향을 미치는 외부요인으로는 도시규모나 도시특성, 기상조건, 통행자 이동특성, 인구밀도 사회경제적 특성, 지형적 특성, 재무적/정치적 여건 등을 꼽고 있다(OBIS(2011)).

이러한 요인 중 국내 연구는 기상조건에 따른 공공자전거의 이용특성을 분석한 연구와 공공자전거 시스템 도입에 따른 편익산정을 위하여 지불의사용의액을 추정한 연구가 주를 이루었다. 국외 연구들에서도 기상조건에 따른 연구가 가장 많았으며, 공공자전거의 스테이션 입지나 스테이션 접근성에 따른 영향을 분석한 연구가 주를 이루고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 기상조건과 함께, 요일특성, 스테이션 입지특성을 함께 반영하여 모형을 구축하였다. 또한 시간대별로 이용특성이 달라지는 점을 감안하여 시간대별로 모형을 구축할 수 있도록 하였다.

고양시 공공자전거 이용 분석

1. 자료 구축

본 연구에서는 고양시 공공자전거시스템인 피프틴의 2012년 1월 1일-12월 31일까지의 원자료를 활용하여 분석을 수행하였다. 다만, 고양시 전체를 대상으로 하지 않고 지리적으로 다소 이격되어 공공자전거 이용패턴이 다소 상이한 덕양구 자료를 제외하고, 일산동구 및 일산서구에 위치한 스테이션 대여자료만을 활용하였다. 이 기간 중 대여자료는 총 152만건이며, 이 중 회원대여자료가 약 110만건, 비회원 대여자료가 42만건 정도를 차지하고 있다.

2. 분석방법론

기상조건, 요일, 대여스테이션의 입지특성과 공공자전거 이용수요와의 관계를 규명할 수 있도록 공공자전거의 시간대별 대여량을 모형화하였으며, 모형은 일반적인 선형회귀모형으로 구축하였다. 또한 회원과 비회원으로 나누어 서로 다른 특성이 반영될 수 있도록 하였다.

종속변수는 시간당 공공자전거 평균대여건수로 설정하였고, 독립변수는 기온, 습도, 풍속, 일조량, 강수량 등의 기상조건 변수와 요일변수로 평일, 주말, 공휴일 여부 등을 변수로 설정하였으며, 대여스테이션의 입지특성은 공원지역, 주거지역, 학교인근, 일반상업지역, 중심상업지역, 지하철역(일산선) 등으로 구분하여 변수를 설정하였다.

특히, 기상조건 중 기온은 높아질수록 이용량이 증가하므로 연속변수로 설정하였지만, 일정 온도가 넘어가면 다시 이용량이 감소하므로 이를 반영할 수 있도록 고온에 따른 더미변수를 추가적으로 반영하였다. Figure 1에서 보는 바와 같이 대여량이 감소하기 시작하는 평균기온 29도 이상의 경우 고온더미변수를 추가하였다. 평균기온의 연속변수만 사용하는 경우보다는 고온더미변수를 추가하는 경우가 모형의 설명력도 더 높아졌다.

풍속이나 강수량이 공공자전거 이용에 미치는 영향은 그 변량에 비례하기 보다는 일정 수준 이상의 풍속이나 강수량에서 급격히 낮아지는 형태를 보이기 때문에 연속변수가 아닌 더미변수의 형태를 적용하였다. 풍속의 경우는 대여량이 급감하는 5m/s 이상인 경우와 7 m/s 이상의 바람이 부는 경우를 비교하여 결정계수가 높은 7m/s 이상의 강풍더미를 추가하였고, 강우의 경우도 대여량이 급감하는 강수량 10mm 이상을 경계로 더미변수를 반영하였다 (Figure 2, Figure 3 참조). 이들 두 변수의 경우도 연속변수를 사용하는 경우보다는 더미변수를 사용할 때에 모형 설명력이 높아졌다.

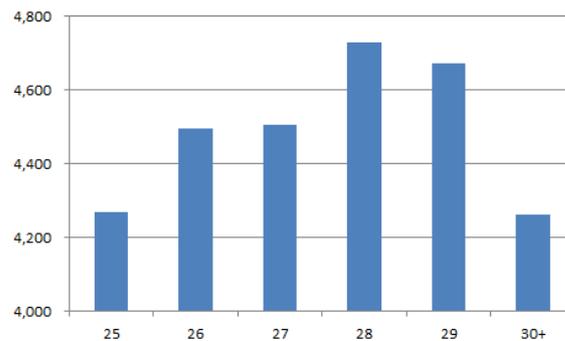


Figure 1. Bike-sharing ridership by average temperature (unit: °C)

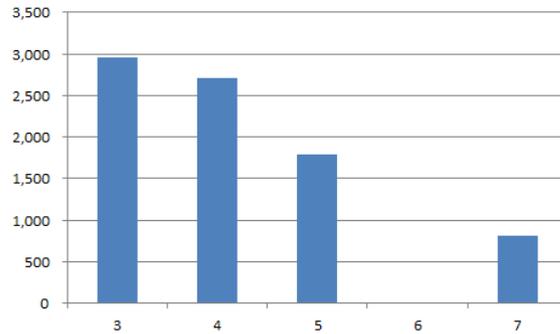


Figure 2. Bike-sharing ridership by average wind speed (unit: m/s)

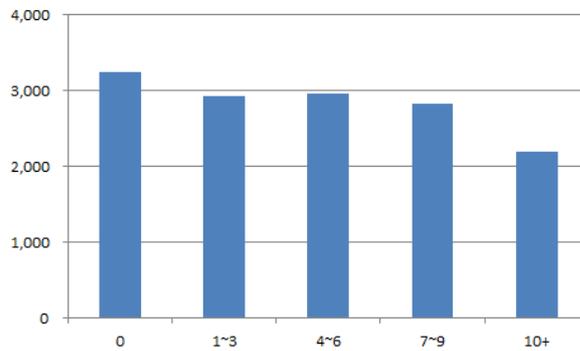


Figure 3. Bike-sharing ridership by precipitation (unit: mm/day)

시간대 구분은 앞서 시간대별 이용분포를 고려하여 새벽시간대(00:00-07:00), 출근시간대(07:00-10:00), 낮시간대(10:00-15:00), 하교시간대(15:00-17:00), 퇴근시간대(17:00-20:00), 심야시간대(20:00-24:00)로 구분하였다. 이에 따라 공공자전거 대여량 모형은 이상의 6개 시간대로 나누어 모형을 구축하였다.

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Usage_t = & \beta_{1t} \cdot Weekday + \beta_{2t} \cdot Weekend \\
 & + \beta_{3t} \cdot Holiday + \beta_{4t} \cdot Ave. Temp \\
 & + \beta_{5t} \cdot Hi. Temp + \beta_{6t} \cdot Hi. Wind \\
 & + \beta_{7t} \cdot Heavy.Rain + \beta_{8t} \cdot Park \\
 & + \beta_{9t} \cdot Residential + \beta_{10t} \cdot School \\
 & + \beta_{11t} \cdot Commercial + \beta_{12t} \cdot CBD \\
 & + \beta_{13t} \cdot Subway
 \end{aligned}$$

여기서, $Usage_t$: t시간대 1시간 대여량

$Weekend$: 주말 더미

$Ave. Temp$: 일평균기온

$Hi. Wind$: 초속 7m/s 이상의 강풍

$Park$: 공원지역

$School$: 학교인근

CBD : 중심상업지구

$\beta_{1t} \cdots \beta_{13t}$: 모수(parameters)

$Weekday$: 주중 더미

$Holiday$: 공휴일 더미

$Hi. Temp$: 평균기온 29도 이상

$Heavy.Rain$: 하루 10mm 이상 강우

$Residential$: 주거지역

$Commercial$: 일반상업지구

$Subway$: 일산선

3. 시간대별 모형구축결과 (회원 기준)

1) 새벽시간대

새벽시간대의 경우 평균기온의 상승에 따라 비례하여 시간당 대여량이 늘어나고, 10mm 이상의 비가 오는 경우 시간당 대여량이 떨어지는 것으로 분석되었다. 하루 중 온도가 가장 낮은 시기이다보니 평균기온 29도 이상의 고온 더미는 통계적으로 유의성이 없었고, 강풍더미도 마찬가지였다. 평일과 주말도 통계적인 영향은 없었다. 다만, 대여 스테이션 입지특성에 따라 유흥상가가 많이 밀집한 중심상업지역의 대여량이 월등히 높았으며, 지하철이 운행되지 않는 시간대라 지하철역 인근은 대여량이 떨어지는 것으로 분석되었다.

2) 출근시간대

출근시간대는 평일 대여량이 높고, 통근통행이 없는 주말과 공휴일에 대여량이 낮아지는 모습을 보였다. 평균기온의 상승에 따라 대여량이 증가하지만, 평균기온 29도를 넘는 날씨에는 대여량이 떨어지며, 7m/s 이상의 강풍이 불거나 10mm 이상의 비가 오는 경우에도 대여량이 떨어지는 것으로 나타났다. 스테이션 입지특성은 대부분의 지역에서 유사하지만, 지하철역 인근은 대여량이 떨어지는 것으로 분석되었는데, 고양시 출근통행의 특성 상 주거지 인근에서 공공자전거를 대여하여 지하철역 인근 스테이션에 반납을 하고 지하철로 환승하여 출근을 하므로 이러한 패턴을 보이는 것으로 판단된다.

3) 낮 시간대

낮 시간대에는 출근시간대와는 반대로 평일보다 주말의 대여율이 높았으며, 공휴일에는 미미하게나마 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 평균기온 상승에 따라 증가하는 패턴은 다른 시간대와 동일하지만, 온도가 하루 중 가장 높은 시간대라 한계증가량은 가장 작은 모습을 보인다. 이러한 배경에서 고온더미의 감소량은 상대적으로 적게 나타났다. 또한, 강풍이나 강수더미도 음(-) 부호를 나타내어 직관과 일관된 결과를 보여주고 있다. 스테이션 입지특성과 관련해서는 공원지역과 중심 및 일반상업 지역의 대여량이 높은 것으로 나타났다.

4) 하교시간대

낮 시간대와 시간대는 유사하지만, 학생들의 하교가 이루어지는 이 시간대에는 대여량이 낮 시간대에 비해 다소 늘어나는 모습을 보인다. 특히 평일의 대여량 증가가 두드러진다. 낮 시간대보다는 평균기온 상승에 따른 한계증가량이 더 높아지며, 고온더미에 따른 영향도 커짐을 알 수 있다. 강풍이나 강수더미도 음(-) 부호를 나타내어 직관과 일관된 결과를 보여주고 있으며, 스테이션 입지특성과 관련해서는 이 시간대에 학교 인근에서 대여하여 주거지역에서 반납하는 패턴이 증가하게 되어 학교인근 스테이션의 대여량이 증가하고, 주거지역 대여량이 낮아지는 모습을 보인다.

5) 퇴근시간대

퇴근시간대는 출근시간대와 마찬가지로 평일에 대여량이 높고, 통근통행이 없는 주말과 공휴일에 대여량이 낮아지는 모습을 보인다. 평균기온의 상승에 따른 대여량 증가가 타 시간대에 비하여 가장 높게 나타나며, 고온, 강풍, 강수 등에 따라 대여량 감소폭도 가장 크게 나타나 기상조건에 따른 영향이 가장 큰 시간대로 분석되었다. 스테이션 입지특성에 따라 결과는 출근시간대와는 반대로 지하철역 인근의 대여량이 두드러지게 높아지고, 반납을 하게 되는 주거지역의 대여량이 음(-)의 부호를 갖게 된다. 퇴근 후 모임 등의 영향으로 중심 및 일반상업지역의 대여량이 두드러지게 높아짐을 알 수 있다.

동시에 퇴근 후 여가를 즐기려는 사람들의 늘어나면서 공원지역의 대여량도 높게 나타났다.

Table 1. Regression analysis of bike-sharing ridership by members

Variables	00:00-07:00		07:00-10:00		10:00-15:00		15:00-17:00		17:00-20:00		20:00-24:00	
	Parameter	t-stats										
Weekday			0.2506***	7.9	0.1080***	5.2	0.2976***	9.2	0.5393***	12.2	0.1701***	4.2
Weekend			-0.5352***	-16.0	0.3214***	14.5	0.4664***	13.7	-0.0596	-1.3	-0.2767***	-6.4
Holiday	-0.0255**	-2.3	-0.5595***	-15.3	-0.0587**	-2.4	-0.0885**	-2.4	-0.3141***	-6.2	-0.1734***	-3.7
Ave.Temp	0.0155***	85.4	0.0536***	84.1	0.0354***	84.0	0.0417***	64.3	0.0893***	100.7	0.0812***	101.8
Hi.Temp			-0.7735***	-17.1	-0.1044***	-3.5	-0.4615***	-10.0	-0.8722***	-13.8		
Hi.Wind			-0.5553***	-5.3	-0.5879***	-8.5	-0.6445***	-6.1	-1.3206***	-9.1	-1.2219***	-9.1
Heavy Rain	-0.1767***	-22.5	-0.9761***	-36.5	-0.7496***	-42.3	-0.8558***	-31.4	-1.2440***	-33.4	-1.0877***	-31.7
Park	0.2036***	19.0	0.6856***	15.0	0.7504***	24.7	0.6488***	13.9	1.2748***	20.0	2.5320***	42.7
Residential	0.0907***	17.6	0.6022***	19.4	0.1456***	7.1	-0.0744**	-2.4	-0.1741***	-4.0	0.0544	1.4
School	0.1164***	20.2	0.6447***	33.5	0.4717***	37.0	0.6723***	34.3	0.8543***	31.9	0.5053***	20.3
Commercial	0.1927***	26.2	0.6861***	27.2	0.5693***	34.1	0.7322***	28.5	1.2782***	36.4	0.7408***	22.7
CBD	0.5553***	49.2	0.6097***	14.0	0.7793***	26.9	1.1225***	25.2	2.0493***	33.7	1.7491***	30.9
Subway	-0.0355***	-4.5	-0.4773***	-18.5	0.0271	1.6	0.3419***	13.0	0.9173***	25.5	0.9748***	29.2
R^2	0.5456		0.6324		0.6508		0.5386		0.6525		0.6123	
\overline{R}^2	0.5455		0.6323		0.6507		0.5384		0.6523		0.6121	

주 : * 유의수준 10%, ** 유의수준 5%, *** 유의수준 1%

6) 심야시간대

심야시간대에도 회원들의 대여량은 평일에 더 높게 나타나지만 그 차이는 타 시간대에 비해 크게 감소함을 알 수 있다. 강풍이나 강수에 대한 영향은 그대로 유지되지만, 새벽시간대와 마찬가지로 기온이 떨어지는 시기라 고온더미의 통계적 유의성은 없는 것으로 분석되었다. 스테이션 입지특성에 따라서는 호수공원을 중심으로 여가활동을 즐기려는 사람들이 많아 공원지역에서의 대여량이 가장 높아지는 시간대이며, 유흥가가 밀집한 중심상업지역에서의 대여량도 높게 나타나는데, 중심상업지역의 위치가 호수공원과 인접하여 이에 대한 영향도 배제할 수 없을 것으로 판단된다. 또한, 늦은 퇴근으로 인해 지하철역에서의 대여량도 여전히 높게 나타난다.

4. 회원과 비회원의 모형 비교

공공자전거 이용특성은 Kim et al.(2012)에서 언급된 바와 같이 회원과 비회원의 대여특성이 매우 다르게 나타났다. 따라서 본 논문도 비회원에 대한 모형을 별도로 구축하여 이 결과를 회원의 대여모형과 비교해 본다.

1) 새벽시간대

회원들의 경우 평일과 주말의 차이가 통계적으로 유의하지 않았던 데에 반하여 비회원의 경우는 이 시간대에도 평일보다는 주말과 공휴일의 대여가 훨씬 높게 나타났다. 또한, 평균기온의 상승에 따라 대여량이 늘어나거나 비가 10mm 이상 오는 날 대여량이 떨어지는 것은 유사하지만, 평균기온이 29도가 넘는 고온더미에 대해서는 회원의 경우 통계적 유의성이 없었지만, 비회원은 통계적으로 유의하게 하락하는 모습을 보였다. 대여스테이션의 입지특성에 따라서는 유흥가가 밀집한 중심상업지역에서의 대여량과 공원지역에서의 대여량이 회원의 경우보다 더 높게 나타났다.

2) 출근시간대

평일과 주말에 관계없이 비회원은 출근시간대에 대여량이 떨어지며, 기상조건에 따른 영향도 회원에 비해 전반적으로 낮게 나타났다. 스테이션 입지특성에 따른 영향은 이 시간대에 모든 지역에서 대여량이 낮아지는 모습을 보이고, 특히 주거지역에서의 대여량이 차이가 크다고 하겠다.

Table 2. Regression analysis of bike-sharing ridership by non-members

Variables	00:00-07:00		07:00-10:00		10:00-15:00		15:00-17:00		17:00-20:00		20:00-24:00	
	Parameter	t-stats										
Weekday	-0.0178**	-2.1	-0.0159**	-2.1	-0.0408***	-4.7	-0.0801**	-2.1	-0.0993**	-2.3	-0.1451***	-10.33
Weekend	0.0916***	10.1	-0.0081***	-1.0	0.2255***	22.1	0.5975***	14.5	0.3193***	7.1		
Holiday	0.0746***	7.6	0.0165***	1.9	0.3782***	21.0	0.8095***	17.9	0.7471***	15.1	0.2871***	8.7
Ave.Temp	0.0123***	66.3	0.0091***	54.3	0.0132***	42.2	0.0247***	31.5	0.0506***	54.3	0.0482***	79.0
Hi.Temp	-0.0557***	-4.5	-0.1318***	-11.9	-0.2695***	-12.1	-0.7457***	-13.4	-0.8160***	-13.2	-0.3007***	-7.2
Hi.Wind			-0.0441**	-1.8	-0.1950***	-3.8	-0.4219***	-3.3	-0.5629***	-4.0	-0.5192***	-5.5
Heavy Rain	-0.1069***	-15.4	-0.1573***	-24.6	-0.3180***	-24.3	-0.6131***	-18.6	-0.6885***	-19.3	-0.5939***	-24.7
Park	0.2730***	22.1	0.4352***	39.3	1.7171***	93.1	4.6277***	81.9	5.0998***	82.4	3.4349***	102.8
Residential	-0.0209**	-2.5	0.0568***	7.6			-0.1243***	-3.3	-0.2464***	-5.9	-0.0928***	-5.3
School	0.0452***	8.7	0.0583***	12.5	0.0622***	6.8	0.0932***	3.9	0.1226***	4.7	0.0934***	5.4
Commercial	0.1661***	24.4	0.0814***	13.4	0.1407***	11.4	0.2468***	7.9	0.3523***	10.3	0.4032***	18.3
CBD	0.7530***	63.9	0.1584***	15.0	0.3115***	16.5	0.8828***	16.4	1.1119***	18.8	1.4027***	40.7
Subway	0.0185***	2.7	-0.0426***	-6.8	0.0435***	3.5	0.2652***	8.3	0.3534***	10.2	0.2502***	10.7
R^2	0.4595		0.3441		0.4092		0.3868		0.4244		0.5026	
\bar{R}^2	0.4593		0.3438		0.4089		0.3865		0.4242		0.5024	

주 : * 유의수준 10%, ** 유의수준 5%, *** 유의수준 1%

3) 낮 시간대

낮 시간대에 회원의 경우는 공휴일 대여량이 떨어지지만 비회원의 경우는 공휴일 대여량이 가장 높게 나타났다. 출근시간대와 마찬가지로 기상조건에 따른 변화량은 상대적으로 회원에 비해 낮으며, 스테이션 입지특성과 관련해서는 대부분의 지역이 회원에 비해 대여량이 떨어지지만 공원지역만은 회원보다 더 높은 대여율을 보이고 있다.

4) 하교시간대

낮 시간대와 마찬가지로 회원과 달리 주말과 공휴일에 대여량이 높아지며, 평균기온 상승에 따른 대여량 증가는 크지 않지만 고온더미에 따른 감소폭이 크며, 강풍, 강수 등에 따른 영향은 유사한 모습을 보였다.

스테이션 입지특성과 관련해서는 회원과 마찬가지로 이 시간대에 학교 인근에서 대여하여 주거지역에서 반납하는 패턴이 증가하게 되어 학교인근 스테이션의 대여량이 증가하고, 주거지역 대여량이 낮아지는 모습을 보인다. 또한 공원지역 대여량에서 회원보다 월등히 높은 수치를 보이고 있다.

5) 퇴근시간대

다른 시간대와 마찬가지로 평일보다 주말과 공휴일의 대여량이 높아지는 모습을 보이며, 스테이션 입지특성에 따른 영향은 회원과 유사한 패턴을 보이지만 공원지역에서의 대여량이 회원여부, 시간대를 통틀어 가장 높은 대여량 규모를 보인다. 비회원의 경우 여가목적용 위해 공원지역에서 퇴근시간대에 대여하는 패턴이 가장 두드러짐을 확인할 수 있다.

6) 심야시간대

심야시간대에도 회원과는 달리 평일에 대여량이 떨어지고, 공휴일에 높아지는 모습을 보이며, 기상조건과 관련해서는 평균기온 29도가 넘는 날, 회원의 대여량은 통계적으로 유의하게 감소하지 않으나 비회원은 유의한 감소세를 보인다. 스테이션 입지특성과 관련해서는 퇴근시간대와 마찬가지로 공원지역에서의 대여량 증가가 두드러지고, 중심상업지역에서의 대여량도 상대적으로 다른 입지특성에 비해 높은 것으로 나타났다.

모형의 적용성 검토

본 연구에서 제시한 모형의 실제 적용성 검토를 위하여 실제 관측치와 모형에서 도출되는 결과의 비교를 수행하였는데, 월별 이용량, 시간대별 이용량, 그리고 스테이션 입지특성별 이용량을 실측치와 모형치를 비교하였다.

1. 월별 이용량 시뮬레이션

고양시 공공자전거 대여량의 월별 변화특성을 살펴보면, 전체적으로는 5-7월 사이에 월평균 약 20만건에 가까운 이용규모를 보이며, 12-2월 사이에는 월평균 5만건에도 미치지 못하는 이용규모를 보이고 있다. 이는 기상조건이 공공자전거 대여량에 큰 영향을 미치는 것으로 추정할 수 있다.

이러한 실측치의 월별 분포와 모형에서의 시뮬레이션 결과를 비교하면, 회원 이용실적의 경우 월별로 대부분 10% 내외의 오차를 보여 대체적으로 잘 모사하고 있으나, 3월과 8월 실적이 다소 과다 예측되고, 반대로 1월과 12월에 과소 예측되는 결과를 보여주고 있다. 본 연구에서 제시한 모형이 평균기온이 가장 높은 8월과 반대로 가장 평균기온이 낮은 1월과 12월의 오차가 커지는 것으로 볼 때에 기상조건에 대한 반영이 다소 부족한 것으로 판단된다. 비회원 이용실적의 경우도 이와 비슷하여 하절기에 과다예측, 동절기에 과소예측하는 결과를 보여주고 있다. 다만, 회원 실적보다 절대적인 규모가 작다보니 오차율을 좀 더 크게 나타냈다.

Table 3. Model validation results by month

Classification	Actual value	Estimated value	Error rate	
Member	JAN	37,868	29,343	-22.5%
	FEB	34,382	33,823	-1.6%
	MAR	57,539	65,039	13.0%
	APR	80,337	79,281	-1.3%
	MAY	138,424	147,848	6.8%
	JUN	154,785	155,186	0.3%
	JUL	139,199	133,877	-3.8%
	AUG	116,920	132,530	13.4%
	SEP	121,229	119,025	-1.8%
	OCT	120,911	110,531	-8.6%
	NOV	70,013	63,575	-9.2%
	DEC	27,183	18,273	-32.8%
Total	1,098,790	1,088,331	-1.0%	
Non-member	JAN	10,622	8,032	-24.4%
	FEB	11,510	5,736	-50.2%
	MAR	22,325	22,649	1.5%
	APR	40,846	32,083	-21.5%
	MAY	64,740	64,606	-0.2%
	JUN	61,248	69,524	13.5%
	JUL	49,807	58,561	17.6%
	AUG	43,023	53,450	24.2%
	SEP	48,982	55,023	12.3%
	OCT	49,149	46,608	-5.2%
	NOV	17,026	20,357	19.6%
	DEC	5,917	4,315	-27.1%
Total	425,195	440,942	3.7%	

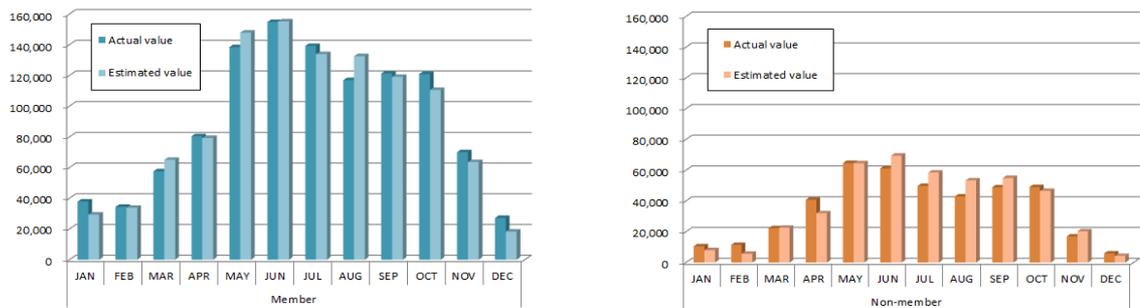


Figure 4. Model validation by month

2. 시간대별 이용량 시뮬레이션

시간대별 분포에서는 퇴근시간대인 오후 6-7시대에 전체적으로 가장 높은 대여량을 보이며, 학생들이 하교를 하는 오후 3시부터 대여량이 늘어나기 시작하여 오후 4-11시까지 전반적으로 높은 대여량이 나타난다.

회원과 비회원의 시간대별 분포 차이는 출근시간대와 심야시간대에 나타나는데, 회원의 경우는 출근시간대인 오전 7-9시대에 첨두특성이 나타나지만, 비회원의 경우는 이 시간대에 대여량이 오히려 낮아진다. 반면 심야시간대인 오후 11시-다음 날 새벽 1시까지는 회원들의 대여량은 절반 이하로 낮아지는 데에 반하여 비회원의 대여량은 일정 수준을 유지하는 모습을 보인다.

Table 4. Model validation results by time-of-day

Classification		Actual value	Estimated value	Error rate
Member	00:00-07:00	101,224	106,852	5.6%
	07:00-10:00	170,864	163,369	-4.4%
	10:00-15:00	199,421	201,606	1.1%
	15:00-17:00	128,325	103,878	-19.1%
	17:00-20:00	237,788	252,687	6.3%
	20:00-24:00	261,168	262,087	0.4%
	Total	1,098,790	1,090,479	-0.8%
Nonmember	00:00-07:00	68,441	75,251	10.0%
	07:00-10:00	21,603	22,506	4.2%
	10:00-15:00	76,542	65,157	-14.9%
	15:00-17:00	53,332	52,135	-2.2%
	17:00-20:00	91,587	106,792	16.6%
	20:00-24:00	113,690	116,208	2.2%
	Total	425,195	438,049	3.0%

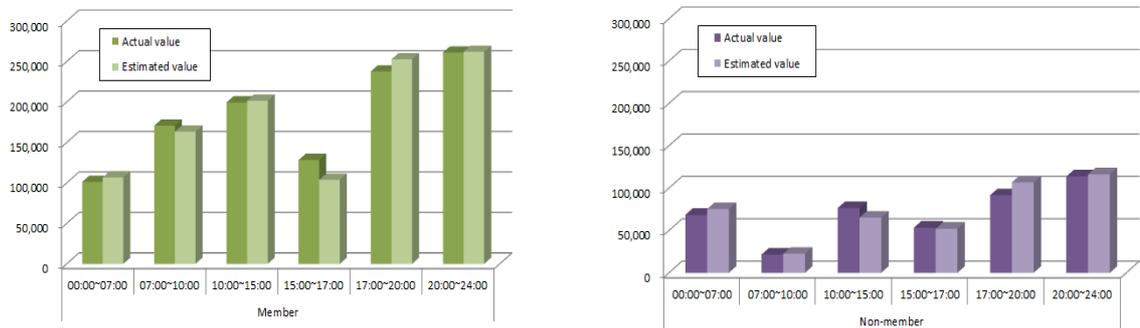


Figure 5. Model validation by time-of-day

모형의 예측결과도 회원실적의 경우 전반적으로 5% 미만의 오차율을 보이고 있어서 설명력이 높은 것으로 판단된다. 다만, 하교시간대의 이용실적이 과소예측되는 것으로 나타나 이 시간대 방과 후 학생들의 이용실적이 증가하는 패턴을 보다 잘 설명할 수 있는 변수의 추가가 향후 요청된다고 하겠다. 비회원 실적의 경우 10% 내외의 오차율로 회원실적보다는 오차율이 다소 크지만, 전반적인 시간대별 패턴변화는 잘 모사하고 있다.

3. 스테이션 입지특성별 이용량 시뮬레이션

스테이션 입지특성별로 스테이션 1개소당 대여량을 살펴보면, 공원지역은 약 3만 5천건의 대여량을 보이며, 중심상업지역이 약 2만 5천건의 대여량을 보여, 이들 두 지역에 위치한 스테이션에서의 이용규모가 큰 것으로 나타났다. 이러한 분포는 비회원의 대여특성에서 기인하게 되는데, 회원의 경우는 입지특성과 무관하게 거의 일정한 이용규모를 보이고, 중심상업지역만이 약간 더 높은 수치를 보이지만, 비회원의 대여량은 공원지역과 중심상업지역에서 월등히 높은 수치를 보인다.

Table 5. Model validation results by station locations

	Classification	Actual value	Estimated value	Error rate
Member	Park	14,044	14,044	0.0%
	Residential	10,566	9,823	-7.0%
	School	11,019	10,848	-1.5%
	Commercial	13,252	11,794	-11.0%
	CBD	16,573	16,211	-2.2%
	Subway	13,712	14,682	7.1%
	Park	22,657	20,986	-7.4%
Nonmember	Residential	2,913	2,938	0.9%
	School	2,585	2,796	8.2%
	Commercial	4,629	4,360	-5.8%
	CBD	9,836	9,820	-0.2%
	Subway	5,463	5,906	8.1%
	20:00-24:00	113,690	116,208	2.2%
	Total	425,195	438,049	3.0%

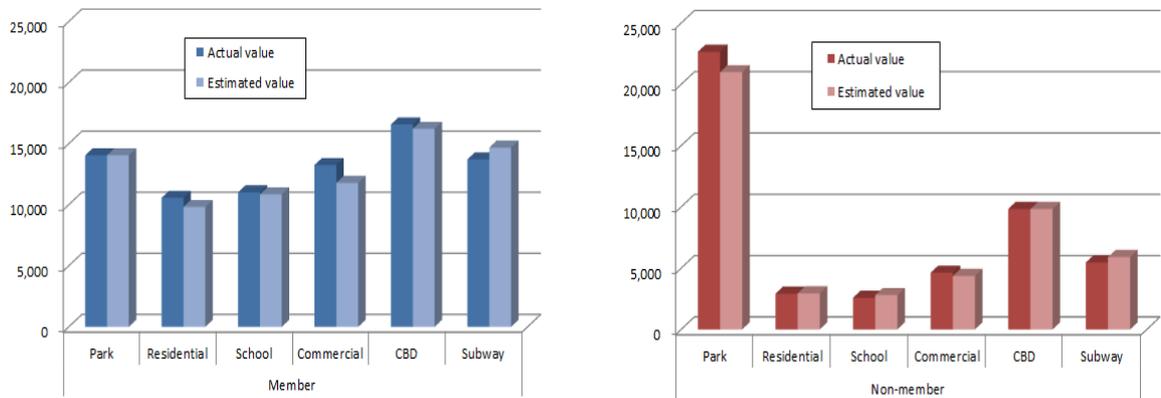


Figure 6. Model validation by station location

모형에서 예측된 결과를 실측치와 비교하면, 회원의 경우 공원지역, 학교인근, 중심상업지역의 예측결과는 2% 미만의 높은 정확도를 보인다. 다만, 주거지역, 일산선 주변지역과 일반상업지역의 오차율이 10%대로 높아지는 것으로 나타났다. 비회원 실적은 전반적으로 오차율이 10% 미만으로 분석되었다.

결론 및 향후 과제

본 연구는 지방자치단체의 효과적인 공공자전거 도입과 효율적인 운영을 위하여 공공자전거 수요 및 이용패턴에 영향을 미치는 요인과 영향의 정도를 파악하고자 하였다. 이에 따라 고양시 공공자전거 피프틴의 2012년 1월 1일 - 12월 31일까지의 대여자료를 가지고 선형회귀분석방법을 통해 시간대별 대여량을 종속변수로 하고, 일별 기상 자료, 요일 자료, 대여스테이션의 입지특성을 독립변수로 적용하여, 시간대별 대여량 모형을 구축하였다. 또한, 회원과 비회원으로 구분하여 모형을 구축함으로써 두 유형간 특성의 차이를 규명하였다.

기상조건에 따른 영향은 평균 기온이 상승할수록 대여량이 늘어나는 것으로 분석되었으며, 강수량이 10mm 이상 되거나, 평균기온이 29도 이상으로 높아지는 경우, 풍속이 7m/s 이상 되는 경우에 대여량이 떨어지는 것으로 분석되었다.

입지특성에 따른 영향은 시간대별로 영향이 상이한데, 새벽시간대는 유흥상가가 많이 밀집한 중심상업지역의 대여량이 높았으며, 지하철이 운행되지 않아 지하철역 인근 스테이션의 대여량은 떨어지는 것으로 나타났다. 출근시간대는 평일 대여량이 높고, 주말에 낮아지며, 지하철역 인근은 출근자들로 인해 반납이 늘고 대신 대여량은 떨어지는 것으로 나타났다. 낮 시간대에는 출근시간대와는 반대로 평일보다 주말의 대여량이 높았으며, 공원지역과 중심 및 일반상업 지역의 대여량이 높은 것으로 나타났다. 하교시간대는 학교인근 스테이션의 대여량이 증가하고, 주거 지역 대여량이 낮아졌다. 퇴근시간대는 출근시간대와 마찬가지로 평일 대여량이 높고, 통근통행이 없는 주말과 공휴일에 대여량이 낮아지는 모습을 보이며, 출근시간대와는 반대로 지하철역 인근의 대여량이 두드러지게 높아짐을 확인하였다. 심야시간대에는 호수공원을 중심으로 여가활동을 즐기려는 사람들이 많아 공원지역에서의 대여량이 가장 높아지는 것으로 나타났다.

비회원의 경우는 평일과 주말에 관계없이 출근시간대에 대여량이 떨어지며, 낮 시간대에 회원의 경우는 공휴일 대여량이 떨어지지만 비회원의 경우는 공휴일 대여량이 가장 높게 나타났다. 또한, 이 시간대 대부분의 지역에서 회원에 비해 비회원 대여량이 떨어지지만 공원지역만은 회원보다 더 높은 대여율을 보였다. 하교시간대는 회원과 마찬가지로 학교인근 스테이션의 대여량이 증가하며, 하교시간대, 퇴근시간대, 심야시간대 모두 공원지역 대여량에서 회원보다 월등히 높은 수치를 보였다.

끝으로 구축된 모형을 근간으로 월별 기상조건 변화에 따른 시뮬레이션 결과와 시간대별 시뮬레이션 결과, 스테이션 유형별 시뮬레이션 결과를 비교하여 모형의 적용성을 검토하였다. 회원의 경우 일부 경우를 제외하고는 전반적으로 5-10% 미만의 오차율을 보였고, 비회원의 경우 회원보다는 오차율이 다소 더 큰 것으로 나타났다.

그러나 기상조건과 관련해서는 하절기에 과다예측, 동절기에 과소예측하는 결과를 보여주어 평균기온 변수의 선형회귀식 적용에 다소 한계가 있는 것으로 판단되며, 이의 개선을 위해서는 비선형 함수식의 도입이 향후 필요하다고 하겠다. 또한, 통계분석상 어려움이 있지만, 본 연구에서 고려하지 못한 하절기 태풍, 동절기 잔설량 등의 영향도 별도로 고려되면 좋을 것으로 판단된다.

또한, 하교시간대의 이용실적과 일산선 지하철역 인근의 대여량을 과소예측하여 방과 후 학생들의 이용실적 증가를 보다 잘 설명할 수 있는 변수나 지하철역 인근 복합적 토지이용 패턴을 반영하는 변수의 추가가 향후 필요하다고 하겠다. 그 외에도 기종점 패턴에 대한 분석도 반영된다면 더 유의한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 일부 한계를 내포하고는 있지만, 기상조건과 스테이션 입지특성에 따른 공공자전거 이용영향을 분석함으로써 이들 요인들에 따른 공공자전거 이용패턴의 변화를 예측할 수 있도록 하며, 이를 기초로 공공자전거 운영자로 하여금 기상조건이나 대여스테이션의 입지특성별 공공자전거 배치전략 수립 등에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Bachand-Marleau J., Lee B. H., El-Geneidy A. M. (2012), Better Understanding of Factors Influencing Likelihood of Using Shared Bicycle Systems and Frequency of Use, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2314, 66-71.
- Buck D., Buehler R. (2012), Bike Lanes and Other Determinants of Capital Bikeshare Trips, Presented at the 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Buehler R., Pucher J. (2012), Cycling to Work in 90 Large American Cities: New Evidence on the Role of Bike Paths and Lanes, *Transportation*, 39(2), 409-432.
- Cervero R., Duncan M. (2003), Walking, Bicycling, and Urban Landscapes: Evidence From the San Francisco Bay Area, *American Journal of Public Health*, 93(9), 1478-1483.
- Corcoran J., Li T., Rohde D., Charles-Edwards E., Mateo-Babiano D. (2014), Spatio-temporal Patterns of a Public Bicycle Sharing Program: The Effects of Weather and Calendar Events, *Journal of Transport Geography*, 41, 292-305.
- Croci E., Rossi D. (2014), Optimizing the Position of Bike Sharing Stations: The Milan Case, Working Paper No.68 IEFE-The Center for Research on Energy and Environmental Economics and Policy at Bocconi University.
- Dill J., Carr T. (2003), Bicycle Commuting and Facilities in Major U.S. Cities: If You Build Them, Commuters Will Use Them - Another Look, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1828, 116-123.
- Fishman E., Washington S., Haworth N., Watson A. (2015), Factors Influencing Bike Share Membership: An Analysis of Melbourne and Brisbane, *Transportation Research Part A*, 71, 17-30.
- Gebhart K., Norland R. B. (2013), The Impact of Weather Conditions on Capital Bikeshare Trips, Presented at the 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Hampshire R. C., Marla L. (2012), An Analysis of Bike Sharing Usage: Explaining Trip Generation and Attraction From Observed Demand, Presented at the 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Han S., Shin H., Kim D. (2013), A Comparative Study for Willingness-to-Pay Estimation Models for Expansion of Public Bike System, *Journal of Transport Research*, 20(2) The Korea Transport Institute, 103-119.
- Imani A. F., Eluru N., El-Geneidy A. M., Rabbat M., Haq U. (2014), How Does Land Use and Urban Form Impact Bicycle Flows: Evidence from the Bicycle-Sharing System (BIXI) in Montreal, Presented at the 93rd TRB Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Kim D., Jeong S., Han S., Shin H. (2014), Economic Effect Analysis for Bike-Sharing in KOREA - Focus on Goyang and Changwon City, *International Journal of Highway Engineering*, 16(1), 63-73.
- Kim D., Shin H., Im H., Park J. (2012), Factors Influencing Travel Behaviors in Bikesharing, Presented at the 91st TRB Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Kim D., Shin H., Park J., Im H. (2012), The Impact of Weather on Bicycle Usage: Focus on Usage of Bike-sharing System in Goyang, *Journal of Transport Research*, 19(3), The Korea Transport Institute, 77-88.
- Kim J., Choi K., Kim S. (2015), Perceived Features of Cycling and Value of Public Bike System, *J. Korean Soc. Transp.*, 33(2), Korean Society of Transportation, 125-135.
- Lathia N., Ahmed S., Capra L. (2012), Measuring the Impact of Opening the London Shared Bicycle Scheme to Casual Users, *Transportation Research Part C*, 22, 88-102.

- Lee J., Park J., Leem Y. (2012), Characteristics and Strategic Lessons Through a Comparative Analysis of Public Bikes Usage in Three Cities of Korea, *Journal of the Korea Planning Association*, 47(3), 295-308.
- Nankervis M. (1999), The Effect of Weather and Climate on Bicycle Commuting, *Transportation Research Part A*, 33(6), 417-431.
- Noland R. B., Ishaque M. M. (2006), Smart Bicycles in an Urban Area: Evaluation of a Pilot Scheme in London, *Journal of Public Transportation*, 9(5), 71-95.
- OBIS (2011), *Optimising Bike Sharing in European Cities. A Handbook*.
- Oh J. S., Kim M. S., Lee C. (2014), A Study on Factors Affecting the Satisfaction of Public Bicycle System, *International Journal of Highway Engineering*, 16(2), 107-118.
- Pucher J., Buehler R. (2006), Why Canadians Cycle More Than Americans: A Comparative Analysis of Bicycling Trends and Policies, *Transport Policy*, 13(3), 265-279.
- Pucher J., Komanoff C., Schimek P. (1999), Bicycling Renaissance in North America? Recent Trends and Alternative Policies to Promote Bicycling, *Transportation Research Part A*, 33, 625-654.
- Rixey R. (2013), Station-Level Forecasting of Bikesharing Ridership, *Transportation Research 16 Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2387, 46-55.
- Thomas T., Jaarsma R., Tutert B. (2013), Exploring Temporal Fluctuations of Daily Cycling Demand on Dutch Cycle Paths: the Influence of Weather on Cycling, *Transportation*, 40(1), 1-22.
- Wang X., Lindsey G., Schoner J. E., Harrison A. (2012), Modeling Bike Share Station Activity: The Effects of Nearby Businesses and Jobs on Trips to and From Stations. Presented at the 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board.