

■ 論 文 ■

이용자 중심의 자전거도로 서비스수준 모형 개발
 Development of the Bicycle Level of Service Model from the User's Perspective

강 경 우
 (한양대학교 교통시스템공학과 교수)

이 겨 라
 (한양대학교 교통시스템공학과 석사)

목 차

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구배경 및 목적</p> <p>2. 연구범위 및 방법</p> <p>II. 이론적 고찰</p> <p>III. 분석 방법론</p> <p>1. 효과척도</p> <p>2. 모형구축 방법론</p> | <p>IV. 자료수집 및 분석</p> <p>1. 자료수집</p> <p>2. 모형개발 및 결과분석</p> <p>3. 민감도분석</p> <p>V. 결론 및 향후연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|---|---|

Key Words : 자전거, 서비스수준, 자전거도로 축, 자전거 이용자 만족도, 순서형 프로빗 모형
 Bicycle, Level of Service, Bicycle road corridor, Bicyclist's satisfaction, Ordered probit model

요 약

현재 우리나라에서는 심각한 교통 혼잡문제와 도시 환경문제를 해결하고자 자전거 이용 활성화 정책을 추진하고 있다. 그러나 정부의 이러한 정책에도 불구하고, 자전거 이용자들은 여전히 자전거를 이용하는데 불편을 느끼고 있다. 따라서 본 연구에서는 이용자 중심의 자전거도로 서비스수준 모형을 개발하여 기존의 자전거도로 및 시설을 이용자 입장에서 평가하고 개선하는데 활용하고자 하였다. 본 연구에서는 실제 자전거 이용자들이 자전거 도로를 이용하면서 느끼는 만족도로 자전거도로의 서비스수준을 정의하였다. 분석모형은 순차적 의미를 주는 선택, 선호와 관련된 분석에 적합한 순서형 프로빗 모형을 이용하였다. 또한, 자전거도로의 서비스수준은 실제 이용자들이 구별할 수 있는 수준인 3개(A~C) 범위로 정의하였다. 분석 결과, 이용자 중심의 자전거도로 서비스수준은 자전거도로 폭, 자전거도로축의 진·출입로 수, 자전거도로 유형, 보행자교통량, 대면횟수 순으로 정의되었다.

South Korea is seeking for a solution to the problems of traffic congestion and environment: the increase of bicycle use. However many people feel that using a bicycle is inconvenient. Therefore, we developed bicycle level of service model from the user's perspective so that the existing bicycle roads can be evaluated and improved. The purpose of this paper is to develop a bicycle level of service (LOS) model by considering user's satisfaction and multiple factors that affect bicycle LOS. Bicycle LOS criteria is estimated by applying an ordered probit model, which is suitable for research relating to choice. In addition, we determine the bicycle LOS using three-level(A-C) LOS structure from the user position considering the satisfaction level that people can distinguish clearly. The results show that the bicycle LOS is largely determined by the bicycle road width. Other factors are involved as well, including bicycle road type, the number of access and egress point on the bicycle road corridor, pedestrian volume, and frequency of meetings.

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

현재 우리나라에서는 자동차 보유대수가 지속적으로 증가함에 따라 심각한 교통체증 문제를 겪고 있다. 또한, 교통량 증가와 더불어 이산화탄소 배출량이 증가함에 따라 도시 환경문제도 심각한 실정이다. 정부에서는 자전거 이용 활성화 정책을 추진함으로써 자동차에 의한 대기오염, 소음 등의 환경오염 문제와 교통사고 및 혼잡 문제를 감소시킬 수 있을 것으로 기대하고 있다. 또한, 자전거 인프라 시설을 구축하고 자전거 이용자가 만족할 수 있는 서비스를 제공함으로써 기존의 자동차 위주의 도로를 자전거 중심의 교통체계로 전환하고자 하고 있다.

본 연구에서는 정부의 저탄소 녹색성장(Low Carbon, Green Growth) 실현을 위한 자전거 이용 활성화 정책과 더불어 이용자 중심의 자전거 서비스수준 모형을 개발함으로써 자전거 도로 계획 및 평가에 활용하고자 한다.

자전거 이용자의 만족도를 고려한 이용자 중심의 자전거 서비스수준을 정의하는 것을 목표로 하며, 자전거 도로의 시설 특성 및 운영 특성 등의 다양한 영향요소를 복합적으로 고려하고자 하였다. 또한, 자전거도로측을 대상으로 진출입로의 수를 고려함으로써 실제 자전거 이용자의 경로 상에서 이용자가 느끼는 영향 요소를 반영한 모형을 개발하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 국내 도시부의 간선자전거도로를 대상으로 이용자 중심의 자전거도로 서비스수준 모형을 개발하고자 하였다.

조사 대상지는 자전거·보행자 겸용도로인 야탑역과 수원역, 자전거 전용도로인 분당 탄천과 안산 중앙역의 4개 지점을 대상으로 하였다. 특히, 분당 탄천의 자전거도로는 레저형으로 이용된다는 특성이 있다. 기존의 물리적인 시설에 대한 자료는 현장조사를 통해 얻을 수 있었고, 지점조사를 통해 15분당 교통량과 상충횟수 등의 자료를 조사하였다.

본 연구에서는 국내 자전거도로의 특성상 기존의 자전거도로 서비스수준 효과적도인 속도와 지체, 상충횟수보다는 실제 자전거 이용자들이 자전거도로를 이용하면서 느끼는 만족도로 자전거도로의 서비스수준을 정의하는 것이 더 합리적이라고 판단하였다. 따라서 자전거도

로 서비스수준을 이용자 입장에서 정의하기 위하여 자전거 이용자의 만족도 점수를 효과적으로 선정하였다. 이는 이용자 입장에서 속도, 지체, 자전거 도로 폭, 교통량 등의 다양한 요소들을 만족도라는 점수로써 포괄적으로 평가하는 것이라 할 수 있다.

자전거 이용자의 만족도를 바탕으로 서비스수준 모형을 개발하고자, 이산선택형 자료의 분석에 적합한 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 적용하였다. 또한, 자전거도로의 서비스수준은 실제 이용자들이 구별할 수 있는 수준인 3개(A~C) 범위로 정의하여 모형을 구축하였다.

자전거도로 서비스수준 모형에 다양한 영향 요소들을 고려하기 위하여, 자전거도로의 운영특성, 시설특성, 교차로특성, 안전성을 나타내는 항목들을 선정하여 현장조사를 수행하였다. 또한, 자전거 이용자의 만족도는 조사 대상지에서 실제 이용자를 대상으로 설문조사를 수행함으로써 얻을 수 있었다. 자전거 이용자는 주어진 상황에서 각 개인의 만족도를 선택대안의 범위 내에서 선택하게 된다. 선택대안은 매우 만족(1점)~매우 불만족(6점)으로 하였다.

분석도구로는 최우추정법의 알고리즘을 행하는 LIMDEP(Limited Dependent Variables) 프로그램을 사용하였다.

II. 이론적 고찰

David L. Harkey(1998)는 자전거와 차량이 도로를 효율적으로 공존하도록 하기 위하여, 자전거 이용자가 특정도로의 이용 여부를 결정하는데 도로의 교통운영상태와 기하구조 특성이 어떠한 영향을 주는지를 도로의 자전거 호환성지수(Bicycle Compatibility Index)로 정의하였다. 자전거 호환성지수 모형은 회귀분석을 통해 산정되었고, 차로수, 폭원, 교통량, 속도제한, 밀도, 지역유형, 주차에 의해 정의되었다.

FDOT(State of Florida Department of Transportation)의 'Florida Quality/Level of Service Handbook(2002)'에서는 자전거 이용자의 관점에서 자전거가 자동차와 함께 도로를 안전하게 공유하는 것에 초점을 맞춰 서비스 질을 평가하고 있다. 이러한 평가는 Sprinkle Consulting Inc.(SCI)에 의해 개발된 자전거 서비스 수준 평가 모형을 기반으로 하며, 미국과 캐나다의 20만 마일 이상의 도로에 적용되어 왔다. 이 모형은 자전거·자동차 겸용도로의 평균 유효 도로 폭, 차량

교통량, 차량 속도, 중차량 교통량, 포장상태 변수를 기반으로 하며, 각 변수는 stepwise 회귀 모형을 통해 도출된 계수에 의해서 가중치를 갖는다.

Bruce W. Landis(2003)는 신호교차로를 이용하는 자전거 이용자의 안전성과 편의성을 측정기 위한 자전거 서비스수준 모형을 개발하였다. 실제 자전거 이용자들을 모집하여 해당구간을 이용하고 만족도를 표시하도록 하였고, 이 결과를 바탕으로 stepwise 회귀모형을 통해 교차로에서의 자전거 서비스 수준을 정의하였다. 분석결과 자전거 도로 폭, 교차로 횡단 거리, 15분 교통량, 교차로 접근 차로 수에 의해서 교차로에서의 자전거 서비스수준을 정의하였다.

Theodore A. Petritsch(2007)는 기존연구의 분석 범위를 도심지로 확장하여 여러 구간과 교차로에서의 자전거 도로 환경을 자전거 이용자들이 어떻게 인지하는지를 예측하는 모형을 개발하고자 하였다. 따라서 자전거 도로 구간에 대한 서비스 수준 모형과 비신호 교차로를 대상으로 하는 서비스 수준 모형을 기반으로 하여 도심지를 대상으로 하는 자전거 서비스 수준 모형을 구축하였다. 분석방법은 실험자들의 이용자 만족도를 바탕으로 stepwise 회귀모형을 이용하였다. 최종모형은 자전거 도로 구간의 평균 서비스 수준과 1마일당 비신호교차로의 수로 정의된다.

Soren Underlien Jensen(2006)은 교차로 사이의 도로 구간에 대하여 보행자와 자전거 이용자의 만족도를 정량화하기 위한 모형을 개발하였다. 실험자들은 비디오 자료를 보고 6개의 범위에서 만족도를 선택하며, 도로운영 및 기하구조 특성 등을 고려하여 누적로짓모형(cumulative logit regression)을 활용한 서비스 수준 모형을 개발하였다. 분석결과 만족도 수준에 영향을 주는 요인으로는 승용차 교통량과 속도, 토지이용, 시설 유형 및 폭원, 차로수, 보행자 교통량, 주차차량의 수, 버스 정류장의 유무가 있었다. 국내의 자전거 서비스 수준 평가는 한국도로용량편람에서 제시하는 방법을 따르고 있다. 자전거 도로 유형별로 상충횟수, 정지지체, 평균 통행속도와 같은 단일의 척도로 서비스 수준을 정의하고 있다.

III. 분석 방법론

1. 효과척도

본 연구에서는 자전거도로 서비스수준의 효과척도(MOE: Measure of Effectiveness)로 자전거 이용자



<그림 1> 자전거도로 서비스수준의 효과척도

의 만족도를 고려하였다. 한국도로용량편람에서 제시하는 간선도로 서비스 수준의 효과척도는 속도와 지체이며, 자전거도로의 효과척도는 속도, 지체, 상충횟수이다. 차량을 이용하여 간선도로를 통행할 때는 빠른 이동성을 보장해야 하므로, 속도와 지체를 효과척도로 간선도로의 서비스수준을 정의하는 것이 타당할 것이다.

그러나 자전거는 빠른 이동성을 최우선의 목적으로 하는 수단은 아님을 고려할 필요가 있다. 또한, 국내에는 자전거 전용 신호등이 없기 때문에, 자전거 이용자는 차량 신호와 보행자 신호를 자유자재로 이용하게 된다. 즉, 자전거도로에서의 속도, 지체, 상충횟수로 자전거도로의 서비스수준을 정의하는 것은 이용자의 입장은 고려하지 않고, 설계자의 입장에서 운영적 특성을 기준으로 서비스수준을 정의하는 것이라 할 수 있다. 즉, 국내 자전거도로의 특성상 속도와 지체보다는 실제 이용자들이 자전거 도로를 얼마나 만족스럽게 느끼는지를 나타내는 이용자 만족도 점수가 자전거도로의 서비스수준을 정의하는 효과척도로써 더 합리적이라고 판단하였다. 즉, 자전거 이용자의 만족도 점수는 이용자 입장에서 속도, 지체, 자전거 도로 폭, 교통량 등의 다양한 요소들을 포괄적으로 평가한 것이라 할 수 있다.

자전거 이용자의 만족도를 바탕으로 서비스수준 모형을 개발하고자, 실제 이용자를 대상으로 설문을 수행하였다. 대상 도로를 평소에도 이용하는 이용자가 설문 당시의 상황을 나타내는 자전거도로 운영특성, 시설특성 등에 따라 각 개인의 만족도를 매우 만족(1)~매우불만족(6)의 범위 내에서 선택하도록 하였다.

‘Multimodal Level of Service Analysis for Urban Streets, NCHRP 3-70’에 의하면 기존의 서비스수준은 도로용량편람(HCM)에서 제시한 6개(A~F) 범위를 적용해오고 있으나, 수많은 통계적인 결과에 따르면, 이용자들이 현실적으로 분별할 수 있는 만족도 범위의 수준은 2~3개 정도라고 언급하고 있다. 그럼에도 불구하고, 서비스수준의 범위를 6단계로 적용하는 것은, 공공기관의 설계자 입장에서 시설의 서비스수준을

세분화하여 정의함으로써 수용할 수 없는 수준의 서비스 수준을 예측하기 위한 것이라고 한다. 즉, 서비스 수준을 6개의 범위로 정의하는 것은 이용자들이 6개 수준을 구별하여 인식하기 때문이 아니라, 설계자 입장에서 정의되었기 때문이라 할 수 있다.

본 연구에서는 자전거도로의 서비스수준을 이용자 입장에서 정의하고자 하였으므로, 서비스수준의 범위를 실제 이용자들이 구별할 수 있는 수준인 3개(A~C)로 정의하는 것이 더 합리적이라고 판단하였다. 즉, 만족도 범위를 만족(1), 보통(2), 불만족(3)으로 집합화하여 적용하도록 하였다.

2. 모형 구축 방법론

순서형 프로빗 모형은 종속변수가 3개 이상의 가치를 지니는 이산 선택형 변수일 경우 사용하기 적합한 모형이다. 일반적으로 순서를 지니지 않은 종속변수의 경우에는 프로빗모형 또는 로짓모형을 통하여 분석이 가능하다. 그러나, 종속변수가 단지 이항(y=0 또는 1)이 아닌 그 이상(y=0, 1, 2 이상인 경우)으로 특히 순서를 지닌 경우에는 오류를 범할 수 있다.

따라서, 이러한 한계점을 개선할 수 있는 모형으로는 종속변수가 순서를 지닌 경우에 사용할 수 있는 순서형 프로빗 모형과 순서형 로짓 모형이 있다.

로짓 모형에서는 오차항의 확률적 분포가 분산이 동일하고 독립적(III: Identically and Independently Distribution)인 Gumble 분포를 따른다고 가정하고, 프로빗 모형에서는 오차항의 확률분포가 분산이 동일하지 않고 공분산이 0이 아닌 경우를 포함하는 정규분포를 따른다고 가정한다(주미영, 2000).

일반적으로 모형설정이 좀 더 간편하다는 이유로 로짓모형이 선호되는 경향이 있으나, 오차항의 확률분포를 정규분포로 가정하는 것이 일반적이므로 프로빗 모형을 적용한 분석이 더 바람직하다고 할 수 있다. 순서형 프로빗 모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = \beta X_n + \epsilon_n, \epsilon_n \sim N[0,1] \tag{1}$$

$$y = 0, \text{ if } y \leq 0$$

$$y = 1, \text{ if } 0 < y \leq \mu_1$$

$$y = 2, \text{ if } \mu_1 < y \leq \mu_2 \tag{2}$$

...

$$y = J, \text{ if } y \geq \mu_{J-1}$$

여기서, y는 잠재효용으로 측정 가능한 효용과 측정이 불가능한 효용으로 나타낼 수 있다. μ 는 각 설명변수의 추정계수 β 와 함께 추정되는 한계값(Threshold)이며, μ_0 와 함께, J-1개의 한계값($\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{J-1}$)을 갖는다. 이 값을 통해 서비스수준기준을 도출하게 되며, 이 값으로 대안에 대한 선택확률을 계산할 수 있다. 각 대안별 선택확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Prob}[y=0] &= \Phi(-\beta X_n) \\ \text{Prob}[y=1] &= \Phi(\mu_1 - \beta X_n) - \Phi(-\beta X_n) \\ \text{Prob}[y=2] &= \Phi(\mu_2 - \beta X_n) - \Phi(\mu_1 - \beta X_n) \\ &\dots \\ \text{Prob}[y=J] &= 1 - \Phi(\mu_{J-1} - \beta X_n) \end{aligned} \tag{3}$$

최종적으로 도출된 모형의 적합성을 검증하기 위해서는 모형 전체의 적합도를 나타내는 ρ^2 (likelihood ratio index)를 사용한다. ρ^2 는 0과 1사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 좋은 적합도를 나타낸다. 원제무(1998)에 의하면, ρ^2 는 일반적으로 0.2~0.4 사이의 값만 갖더라도 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 갖는 것으로 평가할 수 있다.

또한, 각 설명변수에 대하여 편미분을 적용함으로써 설명변수가 자전거 이용자의 만족도에 미치는 영향을 나타내는 한계효과를 알아볼 수 있다. 이러한 한계효과는 설명변수를 고정한 상태에서 설명변수가 1인 경우의 선택확률과 0인 경우의 선택확률의 차이를 의미한다. 따라서 각 설명변수에 대한 한계효과의 합은 0이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \text{Prob}[y=0]}{\partial x} &= -\psi(\beta'x)\beta \\ \frac{\partial \text{Prob}[y=1]}{\partial x} &= [\psi(-\beta'x) - \psi(\mu - \beta'x)]\beta \\ \frac{\partial \text{Prob}[y=2]}{\partial x} &= \psi(\mu - \beta'x)\beta \end{aligned} \tag{4}$$

IV. 자료수집 및 분석

1. 자료수집

본 연구에서는 도시부의 간선자전거도로 축을 대상으

로 이용자 중심의 서비스수준 모형을 개발하고자 하였다. 자전거도로 측은 1km 구간을 대상으로 하며, 조사 대상지는 야탑역과 수원역, 분당 탄천, 안산 중앙역의 4개 지점으로 하였다. 분당 탄천과 안산 중앙역의 자전거도로는 보도와 자전거 도로가 완전히 분리되어 있으며, 야탑역과 수원역의 자전거도로는 보행자와 자전거가 함께 이용하는 겸용도로로 되어 있다. 자전거도로의 연계성 등을 고려하면 자전거도로망을 대상으로 분석을 수행하는 것이 타당하지만, 본 연구에서는 이용자 만족도 조사가 실제 도로에서 개별 면접식으로 이루어짐에 따라 도로망 전체를 대상으로 하기에는 조사인원 등의 실험적 제약이 있었다. 따라서 1km 구간을 설정하여 그 구간 내에서 실험적 범위를 제한하고 연구를 수행하였다.

국토해양부의 “자전거도로 시설기준 및 관리지침(2009)”에 의하면, 자전거도로의 종류는 각각 기능별, 횡단구성별, 통행목적별, 그리고 이용형태별로 구분하고 있다. 본 연구는 이를 고려하여 다양한 유형 중에서도 도시부의 간선자전거 도로를 대상으로 자료수집을 수행하였으며, 자전거도로 유형은 통행목적에 의한 분류를 적용하였다. 따라서 탄천 자전거 도로는 여가 및 스포츠에 이용되는 레저형 자전거도로로 구분되며, 야탑역, 수원역, 중앙역의 자전거 도로는 비레저형 유형(통근/통학/생활형)으로 분류하였다.

조사개요는 <표 1>과 같으며, 1차 조사에서는 자전거 이용자의 만족도 조사와 운영특성, 시설특성에 관한 자료를 수집하였고, 2차 조사에서는 교차로특성 및 안전성에 관한 조사를 추가적으로 수행하였다. 자전거도로 폭은 일방향 도로폭원을 적용하였다. 자전거 이용자의 만족도 조사는 자전거 이용자가 많은 맑은 날씨에 수행하였고, 총 198개의 자료를 얻을 수 있었다.

자전거 이용자의 만족도는 1(매우만족)~6(매우불만족)점의 범위 내에서 체크하도록 하였고, 설문 응답시점

<표 1> 조사개요

장소	자전거도로 유형	1차 조사일시	2차 조사일시	설문 자수
야탑역	비레저형	2008.5.8(목)	2009.7.18(토)	50
탄천	레저형	2008.5.8(목)	2009.7.18(토)	90
수원역	비레저형	2008.5.7(수)	2009.7.17(금)	30
중앙역	비레저형	2008.4.3(목)	2009.7.17(금)	28

<표 2> 조사내용

구분	세부항목		단위
종속 변수	자전거 이용자 만족도		1~6점
설명 변수	운영 특성	자전거 교통량	대/15분
		보행자 교통량	대/15분
		대면횟수	회/15분
		추월횟수	회/15분
	시설 특성	자전거도로 폭	m
		자전거도로 유형	레저형: 1 비레저형: 0
	교차로 특성	교차로 횡단거리	m
		교차로 접근차로 수	개
	안전성	자전거도로측의 진·출입로 수	개/1km

과 동일한 시간대의 자전거도로 운영특성과 해당도로의 시설특성 등을 고려하여 모형을 개발하였다.

이용자 만족도 설문은 순위적인 개념으로 매우만족을 나타내는 1부터 숫자가 6으로 갈수록 매우불만족에 가까운 것으로 적용하였다. 실제 설문시 이용한 만족도 점수 체계를 분석시에도 그대로 반영하여 분석하고자 하였으며, 분석결과에서는 특정 영향요소의 변화에 따라 종속변수가 1에 가까워질수록 서비스수준 “A”에 근접하는 것으로 해석하였다.

이용자 중심의 자전거도로 서비스수준 모형 개발을 위한 조사내용은 <표 2>와 같다. 자전거도로의 운영특성, 시설특성, 교차로특성과 안전성을 복합적으로 고려하여 이용자 중심의 자전거도로 서비스수준 모형을 개발하고자 한다. 자전거도로측을 대상으로 진출입로의 수와 교차로 횡단거리 등을 고려함으로써 실제 자전거 이용자의 경로 상에서의 서비스수준 영향요소를 모형에 반영하고자 하였다.

자전거 이용자의 만족도 설문조사 데이터를 검토한 결과, 동일한 상황에서 이용자에 따라 만족도 점수가 상이한 것을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 자전거 이용자의 개인적 성향에 따른 차이로, 동일한 상황에서도 이용자의 개별 특성에 따라 느끼는 만족도가 다를 수 있음을 나타낸다. 만족도가 6개의 등급으로 구분되는 것을 고려하여, 동일한 상황에서 최다수의 만족도 점수와 4등급 이상 차이가 나는 경우는 지극히 개인적인 특성에 따른 편익된 결과로 보고 분석에서 제외하였다. 따라서 초기자료는 198개였으나, 데이터 선별과정을 통해 130개

<표 3> 기초통계량

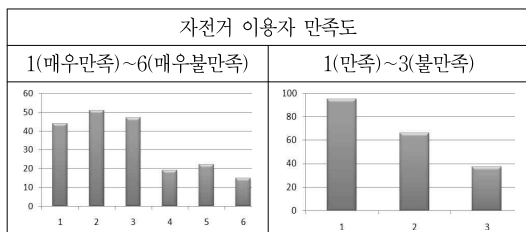
변수	최소값	최대값	평균	표준편차
자전거 이용자 만족도	0	5	2.1	1.5
자전거교통량	1	72	18.3	0.5
보행자교통량	0	148	35.5	44.8
대면횟수	0	100	27.9	28.1
추월횟수	0	34	6.1	6.3
자전거도로폭	1.3	3.5	2.6	0.8
자전거도로 유형	0	1	0.4	0.5
교차로 횡단거리	8	35	15.4	10.4
교차로접근차로수	1	5	2.4	1.4
자전거도로측의 진출입로수	2	8	5.6	2.2

의 데이터로 분석을 수행하였다. 본 연구에서 수집한 자료의 기초통계량은 <표 3>과 같다.

2. 모형개발 및 결과분석

본 연구에서는 대상 도로를 평소에도 이용하는 이용자가 설문 당시의 상황을 나타내는 자전거 도로 운영특성, 시설특성 등에 따라 각 개인의 만족도를 매우 만족(1)~매우 불만족(6)의 범위 내에서 선택하도록 하였다. 그러나 통계적인 결과에 의하면, 이용자들이 현실적으로 분별할 수 있는 만족도 범위의 수준은 2~3개 정도이다. 따라서 본 연구에서는 만족도 범위를 만족(1), 보통(2), 불만족(3)으로 집합화하여 서비스 수준 모형을 산정하였다. 국내의 자전거 이용 활성화 정도를 고려하더라도, 자전거 서비스 수준은 A~C의 3등급으로 구분하여 평가하는 것이 합리적이라고 판단된다.

<그림 2>는 실제 자전거 이용자에게 설문을 수행한 결과로, 자전거 도로 및 시설에 대한 자전거 이용자의 전체적인 만족도를 6개 범위와 3개 범위로 정의하여 그래프로 나타낸 것이다. 만족도 범위에 따른 서비스 수준 모



<그림 2> 만족도 수준별 응답지수

형의 비교는 “순서형 프로빗 모형을 이용한 이용자 중심의 자전거 서비스 수준 모형 개발(2009)” 연구에서 제시하였다.

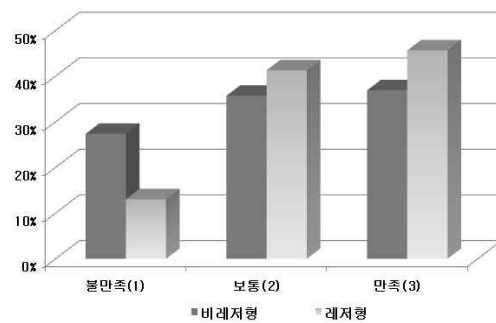
본 연구에서는 레저형과 비레저형(통근/통학/생활형)의 두 가지로 자전거도로를 분류하여 이용자 만족도 조사 결과를 비교하였다. 그 결과, 레저형 자전거도로의 경우 불만족 13%, 보통 41%, 만족이 46%로 나타났으며, 비레저형 유형(통근/통학/생활형)의 경우는 불만족 27%, 보통 36%, 만족이 37%로 나타났다.

<그림 3>에서 보듯이, 레저형 자전거도로의 이용자들은 비레저형 자전거도로에 비해 만족도가 높은 것을 알 수 있으며, 비레저형 자전거도로 이용자들은 레저형 자전거도로의 이용자에 비해 불만족에 대한 응답률이 높은 것을 알 수 있었다. 즉, 자전거도로 유형에 따라서 자전거 이용자의 만족도가 달라지는 것을 확인하였다. 현실적으로 우리나라의 자전거 도로는 레저형이 비레저형보다 상대적으로 시설적인 면에서나 운영적인 면에서 더 우수한 것이 사실이다.

따라서 탄천 자전거 도로는 여가 및 스포츠에 이용되는 레저형 자전거도로로 구분되며, 야탑역, 수원역, 중앙역의 자전거도로는 비레저형(통근/통학/생활형)으로 분류하여 분석을 수행하였다.

분석결과, 이용자 중심의 자전거도로 서비스수준 모형은 자전거도로 폭에 의해 가장 큰 영향을 받으며, 자전거도로 유형, 자전거도로측 진출입로 수, 보행자교통량, 대면횟수 순으로 정의되는 것을 알 수 있었다. 모형의 모수값을 추정한 결과는 <표 4>와 같으며, 모형 전체의 적합도를 의미하는 R² 값은 0.2198인 것으로 분석되었다.

분석결과를 통해 이용자 입장에서의 자전거도로 서비스수준은 자전거도로 폭에 의해 가장 큰 영향을 받는 것



<그림 3> 통행목적별 자전거 이용자 만족도 비율

<표 4> 분석결과

독립변수		계수	t-statistic	S.E.
Constant		2.1569	4.502	0.4790
자전거도로 폭	x1	-3.0518	-4.389	0.6953
자전거도로측의 진·출입로 수	x2	1.0740	3.139	0.3422
보행자교통량	x3	0.0247	3.158	0.0078
대면횟수	x4	0.0116	2.263	0.0051
자전거도로 유형 (레저형:1,비레저형: 0)	x5	-2.9520	-3.472	0.8503
Threshold value				
μ_1		1.3916	8.083	0.1722
Number of observations		130		
LL(0)		-138.96		
LL(β)		-108.42		
ρ^2		0.2198		

을 알 수 있었다. 앞서 언급하였듯이, 우리나라는 국토면적이 협소하며 자동차 위주로 교통체계를 구축해 온 결과 자전거 이용자들을 위한 시설이 부족했던 것이 사실이다.

자전거도로가 존재하더라도 기존의 보행자 도로의 일부분을 자전거도로로 이용하게 되는 경우가 대부분이므로, 자전거 이용자는 자전거도로 폭원의 부족으로 인한 불편을 많이 겪게 된다. 분석결과 자전거도로 폭의 파라미터 값이 가장 큰 것은 자전거도로 폭의 부족을 이용자들이 가장 불편하게 느끼고 있다는 사실을 반영한다고 할 수 있다.

자전거 이용자가 자전거도로의 서비스수준을 정의할 때 영향을 미치는 두 번째 영향요소는 자전거도로 유형인 것으로 분석되었다. 자전거도로 유형은 레저형과 비레저형으로 구분하였으며, 레저형 자전거도로일 때 자전거 이용자들의 만족도가 높은 것을 알 수 있었다. 이러한 이유는 레저형 자전거도로가 시설적인 측면에서 상대적으로 우수하기 때문이라고 할 수 있다. 통근·통학·생활형 자전거도로를 의미하는 비레저형 자전거도로는 대부분 보행자도로의 일부분을 이용하게 되어 있어서 자전거도로 폭원도 협소할 뿐만 아니라, 보행자와의 상충 가능성이 높으며 분리시설 또한 존재하지 않는 경우가 대부분이므로 이용자들이 불만족스러워 하는 것으로 판단된다.

자전거 이용자가 자전거도로의 서비스수준을 정의할 때 영향을 미치는 세 번째 영향요소는 자전거도로측의 진·출입로 수인 것으로 분석되었다. 자전거도로측의 진·출입로 수는 1km 구간 내의 진·출입지점의 개수를 의미

하는 것이다. 자전거도로측을 대상으로 진·출입로의 수를 고려함으로써 실제 자전거 이용자의 경로 상에서 이용자가 느끼는 영향 요소를 반영하고자 하였다. 분석결과, 자전거도로측의 진·출입로 수가 증가할수록 자전거 이용자의 만족도는 감소하여 서비스수준 “C”에 근접하게 되는 것을 알 수 있었다. 자전거 이용자의 입장에서 진·출입 지점에서 차량 및 보행자와 상충이 일어날 수 있으므로, 진·출입로 수가 많을수록 불만족스러워 하는 것을 알 수 있었다.

또 다른 영향요소는 보행자교통량이며, 자전거·보행자 겸용도로에서의 15분당 보행자 교통량을 의미한다. 국내의 자전거도로가 대부분 자전거 보행자 겸용도로인 것을 고려하여 자전거 이용자가 보행자에 의해 통행에 방해받을 것을 반영하고자 한 변수이다. 분석결과 보행자교통량이 증가할수록 자전거이용자의 만족도는 불만족(3)에 가까워지고, 서비스수준도 낮아지는 것을 알 수 있었다. 미국의 경우는 안전상의 이유로 자전거·보행자 겸용도로가 거의 존재하지 않는 반면에, 국내의 경우는 제한적인 국토 면적 등의 이유로 레저형 자전거도로가 아니고서는 대부분 보행자와 자전거가 도로를 함께 이용하고 있다.

자전거도로의 서비스수준을 결정하는 마지막 영향요소는 대면횟수이다. 대면횟수란 자전거 이용자가 진행방향의 반대 방향에서 이동하는 자전거 또는 보행자와 만나는 횟수이다. 대면횟수가 다른 변수에 비해 서비스수준에 미치는 영향이 가장 작은 것을 알 수 있다. 즉, 대면횟수가 증가할수록 서비스수준은 “C”에 근접해지지만, 그 영향이 다른 시설적인 요소에 비해서 미비한 것을 알 수 있었다.

분석결과를 전체적으로 살펴보면, 자전거도로 폭이 증가하고, 레저형 자전거도로 일 때, 이용자 만족도는 만족(1)에 가까워져서 서비스수준은 “A”에 근접하게 되는 것을 알 수 있다. 또한, 자전거도로측의 진·출입로 수, 보행자교통량, 대면횟수가 증가할수록 이용자 만족도는 불만족(3)에 가까워져서, 서비스수준은 “C”에 근접하게 되는 것을 알 수 있었다.

또한, 국내의 경우 다른 수단의 교통량에 비해서 자전거 교통량은 상대적으로 그 규모가 작기 때문에 보행자 교통량, 대면횟수와 같은 운영적인 요소보다는 자전거도로 폭, 자전거도로 유형, 자전거도로측의 진·출입로 수와 같은 시설적인 요소가 서비스수준에 상대적으로 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이러한 분석 결과

<표 5> 서비스수준 기준

서비스수준	점수
A	≤ 0
B	$0 > \text{and} \leq 1.39$
C	> 1.39

는 자전거 도로의 서비스수준을 보장하기 위해서는 시설적인 개선이 무엇보다도 중요하다는 것을 나타낸다고 할 수 있다. 따라서 향후 자전거도로를 계획하고 건설할 때에는 이용자 중심의 자전거도로 서비스수준 모형을 통한 평가 및 개선과정을 통해 이용자들이 만족할 수 있는 자전거도로 및 관련시설을 제공하도록 해야 할 것이다.

또한, 각 설명변수의 추정계수 β 와 함께 추정되는 한계값(Threshold)을 이용하여 <표 5>와 같이 서비스 수준별 평가 기준을 제시할 수 있었다.

또한, 각 설명변수에 대하여 편미분을 적용함으로써 설명변수가 자전거 이용자의 만족도에 미치는 영향을 나타내는 한계효과를 알아보려 하였다.

자전거 도로 폭의 한계효과를 살펴보면, 만족($y=0$)의 범위가 1.1340, 보통($y=1$)이 -0.4063, 불만족($y=2$)이 -0.7277로 자전거 도로 폭이 증가함에 따라 이용자가 만족일 확률이 높은 것을 알 수 있다. 즉, 자전거 도로 폭이 증가할수록 자전거 이용자의 만족도는 높아지는 것을 의미한다.

자전거도로 유형의 영향을 한계효과를 통해 살펴보면, 만족($y=0$)의 범위가 0.8595, 보통($y=1$)이 -0.3493, 불만족($y=2$)이 -0.5102로 나타남으로써, 자전거 이용자의 만족도는 자전거도로가 레저형일 때, 만족일 확률이 더 높은 것을 알 수 있다.

또한, 자전거도로축의 진출입로 수에 대한 한계효과는 만족($y=0$)의 범위가 -0.3991, 보통($y=1$)이 0.1430, 불만족($y=2$)이 0.2561로 나타남으로써, 자전거 이용자의 만족도는 진출입로 수의 증가에 따라 불만족일 확률이 높은 것을 알 수 있었다. 따라서 자전거도로축의 진출입로 수가 증가할수록 자전거 이용자의 만족도는 감소하게 될 것이다.

한계효과 분석을 통해서도 이용자의 만족도에 영향을 주는 요소로써 자전거 도로 폭이 가장 영향력이 큰 것을 알 수 있었다.

3. 민감도분석

본 연구에서 개발한 이용자 중심의 자전거도로 서비

<표 6> 한계효과

변수명	한계효과		
	y=0 (만족)	y=1 (보통)	y=2 (불만족)
자전거도로 폭	1.1340	-0.4063	-0.7277
자전거도로 유형	0.8595	-0.3494	-0.5102
자전거도로축의 진출입로 수	-0.3991	0.1430	0.2561
보행자교통량	-0.0092	0.0033	0.0059
대면횟수	-0.0043	0.0015	0.0028

스수준 모형을 통해 자전거도로 및 시설을 평가하고 개선안을 제시할 수 있으며, 자전거 도로망 계획 및 개선사업 등에 활용될 수 있을 것이다.

따라서, 민감도 분석을 통해 다양한 도로 및 교통상황에 따른 자전거도로 서비스수준의 변화를 알아보았다. 분석을 위해 수집된 자료의 평균치를 기준 자료로 하여 서비스수준 모형에 적용한 결과 자전거도로 서비스수준 점수는 0.26점으로 서비스수준 "B"에 해당되는 것을 알 수 있었다. 이를 기준으로 특정 영향요소의 변화가 자전거 이용자의 서비스수준에 어느 정도의 영향을 주는지를 파악할 수 있었다. 자전거도로 서비스수준에 높은 영향력을 주는 것으로 분석된 자전거 도로 폭, 자전거도로축의 진출입로 수를 대상으로 민감도 분석을 수행한 결과는 <표 7>과 같다.

자전거 도로 폭의 평균치는 2.6m 이며, 자전거 도로 폭 0.1m의 변화량에 따라 서비스수준 점수가 약 119%의 변화를 보이는 것을 알 수 있었다. 또한, 자전거 도로 폭이 2.7m에 이르렀을 때, 서비스수준 "A"를 나타내었고, 2.2m에 이르렀을 때, 서비스수준 "C"를 나타내는 것을 알 수 있었다. 따라서 자전거 이용자들이 만족/불만족 하는 수준의 자전거 도로 폭원을 알 수 있었으며, 이를 고려하여 자전거 도로 계획자들은 자전거 도로의 적정 폭원을 결정하는데 서비스 수준 모형을 유용하여 활용할 수 있을 것이다. 또한, '자전거 이용시설의 구조 및 시설기준에 관한 법칙'에 의하면 국내 자전거도로의 폭은 1.1미터 이상으로 하도록 되어 있으며, 본 연구에서 수집한 자료에서는 자전거 도로 폭원이 1.3~3.5m의 값을 갖고 있었다.

자전거도로축의 진출입로 수의 평균치는 5.6개였으며, 진출입로 수를 정수 단위로 1개 증가 또는 감소시키면서 그 변화를 알아보았다. 그 결과, 자전거도로축에 진출입로 수가 5개 이하일 때, 서비스수준 A를 나타냈으

<표 7> 자전거 서비스 수준 모형 민감도 분석

변수	변화량	접수	LOS	% 변화량
자전거 도로 폭	x1= 2.2	1.48	C	476% 증가
	x1= 2.6	0.26	B	0%
	x1= 2.7	-0.05	A	119% 감소
자전거 도로측 진출입로 수	x2= 5	-0.39	A	251% 감소
	x2= 5.6	0.26	B	0%
	x2= 7	1.76	C	587% 증가

며, 7개 이상일 때, 서비스 수준 C를 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한, 기존의 자전거도로측 상의 진출입로 수를 무조건 최소화 할 수는 없으며, 도로의 연계성을 어느 정도 보장하기 위해서는 이러한 분석을 통해 이용자들이 만족할 수 있는 수준을 파악하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

V. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 국내 자전거 도로의 특성을 고려하여 이용자 중심의 자전거도로 서비스수준 모형을 개발하고자 하였다.

기존의 자전거도로 서비스수준은 속도와 지체, 상층 횡수로 정의되었지만, 본 연구에서는 실제 자전거 이용자들이 자전거 도로를 이용하면서 느끼는 만족도로 자전거도로의 서비스수준을 정의하였다. 또한, 이용자 만족도 설문조사를 수행함으로써 자전거 이용자의 입장을 서비스수준 모형에 반영할 수 있었다.

분석결과, 자전거도로 서비스수준은 자전거도로 폭, 자전거도로 유형, 자전거도로측의 진출입로 수, 보행자 교통량, 대면횡수 순으로 정의되는 것을 알 수 있었다. 자전거도로 폭의 영향이 가장 크다는 것은 대부분의 자전거도로가 기존 보행자도로의 일부분에 설치되면서, 충분한 자전거도로 폭원을 확보하지 못했기 때문이라 할 수 있다. 또한, 국내의 경우 다른 수단의 교통량에 비해서 자전거 교통량은 상대적으로 그 규모가 작기 때문에 보행자교통량, 대면횡수와 같은 운영적 요소보다는 자전거도로 폭, 자전거도로 유형, 자전거도로측의 진출입로 수와 같은 시설적 요소가 서비스수준에 상대적으로 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이러한 분석 결과는 자전거도로의 서비스수준을 보장하기 위해서는 시설적인 개선이 무엇보다도 중요하다는 것을 나타낸다고 할 수 있다.

본 연구에서는 자전거도로의 서비스수준을 이용자 입장에서 정의하고자 하였으므로, 서비스수준의 범위를 실

제 이용자들이 구별할 수 있는 수준인 3개(A~C)로 정의하였다. 국내의 자전거 이용 및 시설 규모를 고려하더라도 A~C의 3등급으로 자전거도로의 서비스수준을 정의하는 것이 합리적이라 판단된다.

또한, 자전거도로 서비스수준 모형의 민감도 분석을 통해 수집된 자료의 평균치를 기준으로 각 영향요소들의 변화에 따른 서비스 수준의 변화를 알아볼 수 있었다. 이러한 분석을 통해 다양한 도로 및 교통 상황에 따른 자전거도로 서비스수준을 예측할 수 있었다. 또한, 민감도 분석을 통해 이용자가 특정 영향요소에 대하여 어느 수준까지 만족할 수 있으며, 불만족을 느끼게 되는 한계점은 어느 시점인지도 알 수 있었다.

본 연구에서 개발된 이용자 중심의 자전거도로 서비스수준 모형을 통해 기존의 자전거도로 및 관련시설의 서비스수준을 이용자 입장에서 평가함으로써 개선방향을 제시할 수 있을 것이다. 또한, 자전거 도로망 계획과 자전거도로 설계, 개선 효과에 따른 투자 우선순위 결정 등에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 개발한 모형은 한정된 지역에서 자료를 수집하여 도출된 것이므로, 국내의 모든 자전거도로의 특성을 반영하였다고는 할 수 없다. 즉, 자료의 부족으로 인한 모형의 한계성을 갖고 있다고 할 수 있다. 본 연구에서는 자전거도로의 서비스수준 모형을 개발하기 위한 방법론을 정립하였다는 점에 의의를 두고자 하였다. 또한, 자료의 부족으로 자전거도로 유형별 모형을 구분하여 제시하지 못한 한계점이 있으므로, 향후 연구에서는 추가적인 조사를 통해 자전거도로 유형별 특성을 반영한 모형을 제시할 필요가 있겠다.

또한, 정부의 자전거 이용 활성화 정책과 더불어서 새롭게 신설되는 자전거도로 및 관련 시설들의 특성을 파악하여 이용자들의 서비스수준에 미치는 영향을 규명할 수 있는 모형으로 발전시켜야 할 것이다.

본 연구에서는 기존의 자전거 도로 현황 및 이용자들을 대상으로 조사를 수행하였고, 그에 따른 서비스수준 모형을 개발하였기 때문에 현재에 국한된 모형이라는 한계점이 있을 수 있다. 따라서 미래지향적인 관점으로 모형을 발전시키기 위해서는 변수 자체를 선정하는데 있어서 향후 고려되어야 할 항목들도 적용을 해야 할 것이다. 특히, 2009년 국토해양부에서 제시한 ‘자전거도로 시설기준 및 관리지침’을 참고하여 자전거도로와 관련된 포장재료, 포장상태 등의 중요한 영향요소들을 고려할 수 있을 것이다.

본 연구는 자전거 이용자 만족도 점수를 효과적으로

정의함으로써 이용자의 입장을 반영한 서비스수준 모형을 개발하였다. 이용자 만족도는 실제 조사 대상지에서 이용자들에게 설문을 통해 얻을 수 있었으며, 이러한 조사 방법은 각 조사대상지의 이용자에게 따른 편차를 가져올 수 있다. 따라서, 향후에는 실험자를 대상으로 다양한 도로 상황을 비디오로 촬영하여 보여주는 실험자조사를 통해 만족도 조사를 수행함으로써 좀 더 정확한 자료를 얻을 수 있을 것이다.

알림 : 본 논문은 대한토목학회 제35회 정기학술대회 (2009.10)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 주미영(2000), “프로빗과 순차적 프로빗 분석에 대한 이해와 적용”, 정부학연구, 제6권, 제1호, 고려대학교 정부학연구소, pp.24~48.
2. 이겨라·노종기·강경우(2009), “순서형 프로빗 모형을 이용한 이용자 중심의 자전거 서비스 수준 모형 개발”, 한국ITS학회 논문지, 제8권 제22호, 한국ITS학회, pp.108~117.
3. 강경우·백병성(1998), “순서형 프로빗모형을 이용한 속도선택행태에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제16권 제3호, 대한교통학회, pp.93~100.
4. 원제무·성낙문·오주택·하오근(1998), “순서형 프로빗 모형을 이용한 사고심각도 분석”, 대한교통학회지, 제23권 제24호, 대한교통학회, pp.47~55.
5. Harkey, David L.(1998), Donald W. Reinfurt and Matthew Knuiiman, “Development Of The Bicycle Compatibility Index”, Transportation Research Record No. 1636, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.13~20.
6. Bruce W. Landis, Venkat R. Vattikuti, Russell M. Ottemberg(2003), “Intersection level of service for the bicycle through movement”, Transportation Research Record No. 1828, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.101~106.
7. Theodore A. Petritsch, Bruce W. Landis, Herman F. Huang, Peyton S. McLeod (2007), “Bicycle Level of Service for Arterials”, Transportation Research Record No. 2031, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.34~32.
8. Soren Underlien Jensen(2007), “Pedestrian and Bicycle Level of Service on Roadway Segments”, Transportation Research Record No. 2031, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.43-51, pp.34~42.
9. 2002 Quality/Level of Service Handbook (2002), Florida Department of Transportation, Office of the State Transportation Planner, pp.17~19.
10. Landis, B.W., Vattikuti, V., and Brannick, M.(1997), Real-Time Human Perceptions: Toward a Bicyclist Level of Service. Transportation Research Record, No. 1578, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.119~126.

✉ 주 작성자 : 강경우

✉ 교신저자 : 이겨라

✉ 논문투고일 : 2009. 9. 9

✉ 논문심사일 : 2009. 12. 1 (1차)

2010. 5. 24 (2차)

✉ 심사판정일 : 2010. 5. 24

✉ 반론접수기한 : 2010. 10. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필