

순서형 프로빗 모형을 이용한 이용자 중심의 자전거 서비스 수준 모형 개발

Development of Bicycle Level of Service Model from the User's Perspective Using Ordered Probit Model

이겨라* 노종기** 강경우***
(Gyeo-Ra Lee) (Jong-Ki Rho) (Kyung-Woo Kang)

요약

현재 우리나라에서는 자전거 이용 활성화를 통해 교통문제를 해소하며, 고유가 시대의 에너지 절약 효과를 얻고자 하고 있다. 그러나, 자전거 인프라 시설의 부족 및 기존 자전거 도로 및 관련시설의 안전성과 연계성이 보장되지 않는 등의 이유로 자전거 이용이 불편한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 안전성, 편의성, 연계성 등의 다양한 영향요소들을 고려하여 이용자 중심의 자전거 서비스 수준(BLOS: Bicyclist Level of Service) 모형을 개발함으로써 기존 자전거 도로 및 시설의 서비스 수준을 정의하고 개선하는데 기여하고자 하였다. 또한, 순차적 의미를 주는 선택, 선호, 강도 등에 관련된 연구에 적합한 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 적용함으로써, 자전거 이용자의 만족도를 고려한 자전거 서비스 수준 평가 기준을 제시하고자 한다.

본 연구에서 개발한 모형을 통해 자전거 서비스 수준 평가를 수행함으로써 기존의 자전거 도로 및 시설을 이용자 관점에 맞도록 개선할 수 있으며, 이러한 과정을 통해 자전거 시설 이용 증진을 도모할 수 있겠다. 또한, 자전거 도로망 계획, 자전거 도로 설계, 개선 효과에 따른 자전거 도로 및 시설의 투자 우선순위 결정 등에 활용될 것으로 기대된다.

Abstract

The South Korean government is looking for a solution to the ever-growing problems of traffic congestion, and surging international oil prices: the use of the humble bicycle to get to places. However, Many people feel inconvenient using bicycle because of the insufficient bicycle infrastructure and lack of the safety and connectivity between existing pathways. In this study, bicycle level of service model using odered probit model is developed considering safety, convenience, connectivity, and factors that affect bicycle LOS. The ordered probit model would be recommended for the research which relates in choice, preference and strength etc. Bicycle level of service criteria is calculated by applying this model reflecting bicyclist's point of view.

The model which develops from this research which accomplishes a bicycle level of service evaluation and represent alternative solution to encourage bicyclist. It is believed that the proposed model would be greatly utilized in bicycle network planning, bicycle road and facility alternatives testing, projects funding priority.

Key words: Bicyclist, bicycle level of service(BLOS), ordered probit model, user's perspective, LOS score threshold

† 본 연구는 한국전철교통기술평가원 「교통연계 및 환승시스템 기술개발」 사업의 연구비지원(06교통핵심A02-02)에 의해 수행되었습니다.

* 주저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 석사과정

** 공저자 : 한국기술개발 전문

*** 공저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 11월 20일

† 논문심사일 : 2009년 2월 27일(1차), 2009년 4월 20일(2차)

† 게재확정일 : 2009년 4월 22일

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

현재 우리나라에서는 자전거 이용 활성화를 통해 교통문제를 해소하고 고유가 시대의 에너지 절약 효과를 얻고자 하고 있다. 그러나 자전거 인프라 시설의 부족 및 기존 자전거 도로 및 관련시설의 안전성과 연계성이 보장되지 않는 등의 이유로 자전거 이용이 불편한 실정이다.

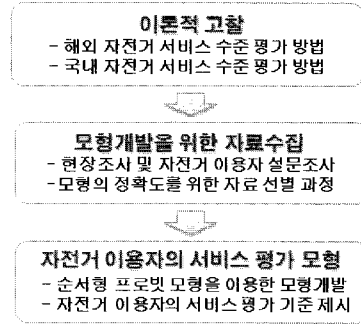
따라서 본 연구에서는 안전성, 편의성, 연계성을 반영할 수 있는 다양한 영향요소들을 독립변수로 설정하여 자전거 서비스 수준(BLOS: Bicycle Level of Service) 평가 모형을 개발함으로써, 기존 시설의 서비스 수준 평가 및 개선에 기여하고자 하였다. 또한, 자전거 이용자의 관점을 반영하고자, 설문조사를 통해 얻은 자전거 이용자의 만족도를 종속변수로 설정함으로써 이용자 중심의 서비스 평가 모형을 개발하였다.

본 연구에서 개발한 모형을 통해 자전거 서비스 평가를 수행함으로써 기존의 자전거 도로 및 시설을 이용자 관점에 맞도록 개선할 수 있을 것이다. 또한, 모형을 통한 평가와 개선 과정을 통해 이용자 중심의 자전거 도로망을 구축함으로써, 자전거 시설 이용증진을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 이용자 중심의 자전거 서비스 수준(BLOS)에 영향을 줄 수 있는 다양한 요소들을 고려하여 모형을 개발하고자 한다. 이용자의 입장에서는 자전거 보관 가능 여부와 같은 요소가 중요할 수 있으므로, 자전거 도로에만 국한하여 서비스 수준을 정의하는 것이 아니라, 시설적인 요소도 함께 고려하여 이용자 중심의 서비스 수준을 정의하고자 한다.

기존의 물리적인 시설에 대한 자료는 현장조사를 통해 얻으며, 지점조사를 통해 15분당 교통량과 상충횟수 등의 자료를 조사한다. 또한, 서비스 평가 모형에 이용자의 입장을 반영하고자 설문조사를 실시



<그림 1> 연구의 흐름
<Fig. 1> Research framework

하였다. 설문조사는 자전거 이용자의 만족도에 따라 매우 만족이면 1점에서 매우 불만족일 경우 6점까지 점수를 체크하도록 하였다.

자전거 이용자의 만족도를 바탕으로 서비스 수준 모형을 개발하고자, 이산선택형 자료의 분석에 적합한 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 적용하였다. 실제 자전거 이용자를 대상으로 설문을 수행함으로써, 대상 도로를 평소에도 이용하는 이용자가 설문 당시의 상황을 나타내는 15분당 교통량, 대면횟수 등에 따라 각 개인의 선호를 1~6의 범위에서 선택하도록 하였다.

즉, 이용자는 자전거 도로 자체를 선택 대안으로 보고 선호 순서를 매기는 것이 아니라, 주어진 상황에서 각 개인의 선호를 만족도 범위 내에서 선택하도록 함으로써, 선택대안 자체가 매우 만족(1)~매우 불만족(6)이 되도록 하였다.

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

II. 이론적 고찰

1. 국외 연구사례

미국의 'Highway Capacity Manual(2000)'에서는 자전거 서비스 수준의 평가 척도 및 기준을 다음과 같이 명시하고 있다. <표 1>과 <표 2>는 HCM에서 제시된 도시 부도로와 신호교차로의 자전거 서비스 수준이다.

<표 1> 도시부도로의 자전거 서비스 수준(HCM)
<Table 1> HCM bicycle LOS on urban streets

서비스수준	평균 자전거 속도
A	> 14mph
B	>9-14
C	>7-9
D	>5-7
E	>=4-5
F	<4

<표 2> 신호교차로에서의 자전거 서비스 수준(HCM)
<Table 2> HCM bicycle LOS at signals

서비스수준	평균 제어 지체
A	< 10secs
B	>=10-20
C	>20-30
D	>30-40
E	>40-60
F	>60

HCM에서는 도시부도로의 자전거 서비스 수준 평가를 위해 평균 자전거속도와 평균제어지체를 추정하는 절차를 제시하였다. 평균제어지체는 각 신호의 신호 시간에 근거하여 추정된다. 평균 자전거속도는 각 신호에서의 지체를 15mph로 가정하고 자전거 자유속도에서 이를 제한으로써 추정된다.

자전거·보행자 겸용도로의 경우에는 도로상의 자전거 이용자와 보행자가 상충하는 빈도수에 근거하여 자전거 서비스 수준을 평가한다. 양방향 및 2차로의 자전거 도로는 시간당 상충횟수가 40번 이하일 때 서비스 수준이 “A”가 되며, 시간당 상충 횟수가 195번 이상이면 서비스 수준은 “F”로 규정한다 [1, 2].

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 다

음과 같은 5가지 변수를 기반으로 평가된다.

- 자전거·자동차 겸용도로의 평균 유효 도로 폭
- 차량 교통량
- 차량 속도
- 중차량 교통량
- 포장상태

평균 유효 도로 폭은 자전거·자동차 겸용도로의 폭과 차선 및 분리시설의 폭, 도로상의 주차, 배수와 같은 요소들의 영향을 고려하여 광범위하게 정의하였다. 각 변수는 stepwise 회귀 모형에 의해 얻어진 계수에 의해서 가중치를 갖게 된다.

HCM(2000)의 자전거 서비스 수준 평가와 같은 경우는 평균통행속도라는 한가지 요소로 평가되는 반면에, FDOT의 자전거 서비스 수준은 다양한 요소에 근거하여 평가하였다는 점에서 차이가 있다.

FDOT의 자전거 서비스 수준 평가(BLOS) 지수는 식 (1)과 같은 모형에 의해 산정되고, 서비스 수준은 <표 3>과 같이 정의된다 [1, 3].

$$BLOS = 0.507 \ln(Vol_{15}/L) + 0.199 SP_t (1 + 10.38 HV)^2 + 7.066 (1/PR_5)^2 - 0.005 (W_e)^2 + 0.706 \quad (1)$$

여기서,

BLOS = 자전거 서비스 수준 평가지수,

V_{15} = 첨두 15분동안 방향별 자동차 교통량,

L = 방향별 직진 차량의 총 수,

SPt = 유효속도 factor = $1.1199 \ln(SPp - 20) + 0.8103$

SPp = 규정된 제한 속도(평균 주행 속도 대신)

HV = 중차량 비율

PR_5 = FHWA의 포장상태 평가 점수

W_e = 자전거·자동차 겸용도로의 평균유효도로 폭

이와 같은 자전거 서비스 수준 평가 모형을 통해 기존의 자전거 도로 및 시설의 서비스 수준을 평가하고 개선방향을 제시하는데 활용할 수 있다.

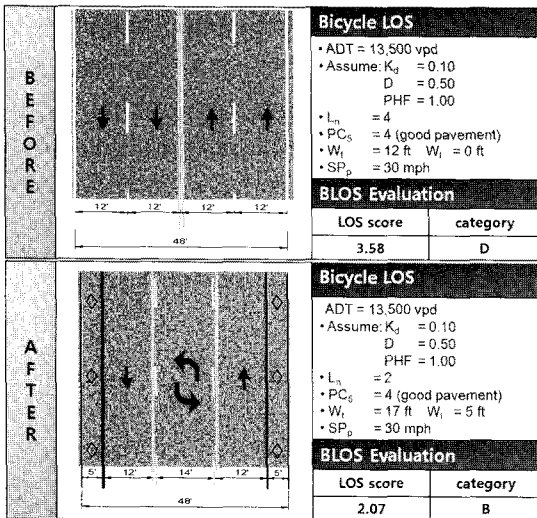
그 외에도 자전거 도로망 계획, 자전거 도로 설계, 개선 효과에 따른 자전거 도로 및 시설의 투자 우선 순위 정하기 등에 이용될 수 있다.

<표 3> FDOT 자전거 서비스 수준 평가 지수
<Table 3> FDOT bicycle LOS score thresholds

서비스수준	점수
A	< 1.5
B	>1.5 and <2.5
C	>2.5 and <3.5
D	>3.5 and < 4.5
E	>4.5 and < 5.5
F	>5.5

<표 4> 한국도로용량편람의 자전거도로 유형별 효과척도
<Table 4> KHCM BLOS MOE classified by bicycle road type

자전거 도로 유형	효과척도
자전거 전용도로	상충횡수
자전거·보행자 겸용도로	상충횡수
노상 자전거 도로 (기본구간)	상충횡수
신호교차로	정지지체
도시가로상의 자전거 도로	평균 통행속도



<그림 2> 자전거 서비스 수준 평가 모형 활용 사례
<Fig. 2> BLOS evaluation model application case

<그림 2>는 FDOT의 자전거 서비스 수준(BLOS) 평가 모형을 이용하여 미국 필라델피아 지역의 자전거 도로 서비스 수준을 평가하고 개선안을 제시한 사례로써, 평가 결과를 보면 서비스 수준이 D에서 B로 개선된 것을 알 수 있다.

2. 국내 연구사례

한국도로용량편람(Korean Highway Capacity Manual)에서 제시하는 자전거 서비스 평가 방법은 <표 4>와 같다.

국내의 자전거 서비스 수준은 자전거 도로 유형에 따라 단일의 척도로 평가가 이루어지므로, 자전거 이용자가 느끼는 서비스 수준에 대한 다양한 영향요

소들을 고려하지 못하고 있다. <그림 3>은 한국도로용량편람에서 제시하는 자전거 도로 서비스 평가 방법의 흐름도이다 [4].

본 연구에서는 국내 자전거 서비스 수준이 단일의 척도로 평가 되고 있음을 문제점으로 파악하고, 다양한 영향요소를 고려할 수 있는 자전거 서비스 수준 평가 방법론을 제시하고자 한다.

또한, 자전거 이용자 만족도 설문조사를 통해 이용자가 느끼는 만족도를 모형에 반영함으로써 이용자 중심의 서비스 평가 모형을 개발하고자 한다.



<그림 3> 한국도로용량편람의 자전거도로 평가 흐름도
<Fig. 3> KHCM bicycle LOS evaluation flow

III. 분석 방법론

본 연구에서는 이산 선택형 자료의 분석에 적합한 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 자전거 서비스 수준 평가 모형을 개발하고자 한다. 순서형 프로빗 모형은 종속변수가 3개 이상의 가치를 지니는 범주적인 이산 선택형 변수일 경우 사용하기 적합한 모형이다.

일반적으로 순서를 지니지 않은 종속변수의 경우에는 프로빗 모형(Probit Model) 또는 로짓 모형(Logit Model)을 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 경우에 프로빗 모형이나 로짓모형을 통한 분석은 오류를 범할 수 있다.

또한, 회귀분석에서는 종속변수 $y=0$ 과 $y=1$ 간의 차이와 $y=1$ 과 $y=2$ 간의 차이를 동일한 것으로 인식하여 분석을 함으로써 오류를 범할 수 있는 한계점을 지니고 있다 [5].

따라서, 이러한 한계점을 개선할 수 있는 모형으로는 종속변수가 순서를 지닌 경우($y=0, 1, 2$ 이상인 경우)에 사용할 수 있는 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)과 순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model)이 있다.

본 연구의 분석모형으로는 순서형 프로빗 모형을 적용하였는데, 그 이유는 다음과 같다.

로짓 모형과 프로빗 모형의 기본적인 특성은 유사하나, 오차항(ϵ_n)의 확률분포형태를 어떻게 가정하느냐에 따라서 구분된다. 로짓 모형에서는 오차항의 확률적 분포가 분산이 동일하고 독립적(IID: Identically and Independently Distribution)인 Gumble 분포를 따른다고 가정하고, 프로빗 모형에서는 오차항의 확률분포가 분산이 동일하지 않고 공분산이 0이 아닌 경우를 포함하는 정규분포(Normal Distribution)를 따른다고 가정한다.

일반적으로 모형설정이 좀 더 간편하다는 이유로 로짓모형이 보다 선호되는 경향이 있으나, 오차항의 확률분포를 정규분포로 가정하는 것이 가장 일반적이므로 프로빗 모형을 적용한 분석이 더 바람직하다

고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이산 선택형 자료의 분석에 적합한 순서형 프로빗 모형을 적용하여, 자전거 서비스 수준 평가 모형을 개발하였다.

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

순서형 프로빗 모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = \beta X_n + \epsilon_n, \quad \epsilon_n \sim N[0,1] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} y &= 0, \text{ if } y \leq 0 \\ y &= 1, \text{ if } 0 < y \leq \mu_1 \\ y &= 2, \text{ if } \mu_1 < y \leq \mu_2 \\ &\dots \\ y &= J, \text{ if } y \geq \mu_{J-1} \end{aligned} \quad (2)$$

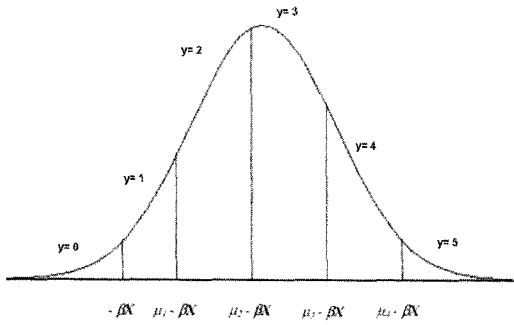
여기서, y 는 잠재효용으로 측정 가능한 효용과 측정이 불가능한 효용으로 나타낼 수 있다. μ 는 각 설명변수의 추정계수 β 와 함께 추정하는 한계값(Threshold)이라 하며, μ_0 과 함께, $J-1$ 개의 한계값($\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{J-1}$)을 갖는다. 이를 통하여 대안에 대한 선택확률을 계산하는데 이용할 수 있으며, 각 대안별 선택확률을 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Prob}[y=0] &= \Phi(-\beta X_n) \\ \text{Prob}[y=1] &= \Phi(\mu_1 - \beta X_n) - \Phi(\mu_0 - \beta X_n) \\ \text{Prob}[y=2] &= \Phi(\mu_2 - \beta X_n) - \Phi(\mu_1 - \beta X_n) \\ &\dots \\ \text{Prob}[y=J] &= 1 - \Phi(\mu_{J-1} - \beta X_n) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}w^2} dw \quad (4)$$

식 (4)는 누적정규분포를 나타내는 식이며, 각 범주별 선택확률을 그래프로 나타내면 다음과 같다.

최종적으로 도출된 모형의 적합성을 검증하기 위해서는 모형 전체의 적합도를 나타내는 ρ^2 (likelihood



<그림 4> 순서형 프로빗 모형
<Fig. 4> Ordered probit model

ratio index)를 사용한다. ρ^2 는 회귀분석에서의 R^2 와 마찬가지로 0과 1사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 좋은 적합도를 나타낸다. ρ^2 는 일반적으로 R^2 보다 비교적 작은 값을 가지는데, ρ^2 의 값이 0.2~0.4 사이의 값만 갖어도 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 갖는 것으로 평가할 수 있다 [6-8].

본 연구에서는 분석모형의 특성을 고려하여 본 연구의 목적에 적합한 모형을 선택하고자 하였으며, 순차적 의미를 주는 선택, 선호, 강도 등에 관련된 연구에 적합한 순서형 프로빗 모형을 적용하여 자전거 서비스 수준 평가 모형을 개발하였다.

IV. 자료수집 및 분석

1. 자료수집 방법

이용자 중심의 자전거 서비스 수준 평가를 위한 조사는 분당 야탑역과 수원역의 자전거·보행자 겸용도로와 분당 탄천과 안산 중앙역의 자전거전용도로로 총 4개의 지점을 대상으로 하였다.

서비스 수준 평가를 위한 조사항목은 <표 5>와 같으며, 각 조사지점의 자전거 이용자에게 자전거 도로 및 시설에 관한 만족도 조사를 통해 이용자가 1(매우만족)~6(매우불만족)점까지의 점수를 매기도록 함으로써 이용자의 입장을 반영하고자 하였다.

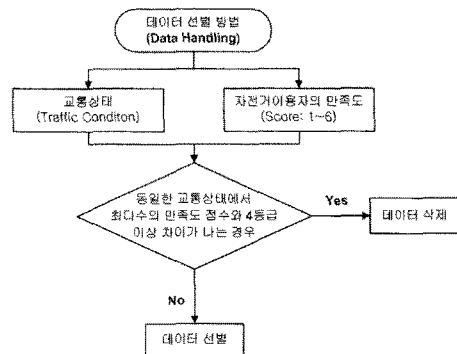
자전거 서비스 수준 평가 모형 개발을 위해 수집된 자료를 검토한 결과, 교통량, 도로 폭, 상충횟수 등이 동일한 상황에서 이용자에 따라 만족도 점수가

<표 5> 조사 항목

<Table 5> Description of the study variables

구분	조 사 항 목	단 위
종속 변수	자전거 이용자의 전체적인 만족도	1(매우만족)~6(매우불만족)
	자전거·보행자 겸용도로의 자전거교통량	대/15분
독립 변수	자전거 전용도로의 자전거교통량	대/15분
	자전거·보행자 겸용도로의 보행자교통량	명/15분
	상충횟수-대면횟수	회/15분
	상충횟수-추월횟수	회/15분
	자전거 주차장의 주차대(rack) 수	대
	자전거 주차대간의 간격	m
	자전거 도로 폭	m
	자전거 보행자 겸용도로의 보도폭	m

차이가 나는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 자전거 이용자 개인의 성향에 따라 동일한 상황에서도 느끼는 만족도가 다를 수 있음을 나타낸다. 따라서, 만족도가 6개의 등급으로 구분되는 것을 고려하여, 동일한 상황에서 최다수의 만족도 점수와 4등급 이상 차이가 나는 경우는 지극히 개인적인 특성에 따른 결과로 보고 <그림 5>와 같은 과정을 통해 분석에서 제외하였다.



<그림 5> 데이터 선별 과정
<Fig. 5> Data handling flow

2. 모형개발 및 결과분석

순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 자전거 이용자가 느끼는 서비스 수준에 영향을 주는 다양한 요소들을 복합적으로 고려하는 자전거 서비스 수준(BLOS: Bicyclist Level of Service) 평가 모형을 개발하고자 하였다. 독립변수는 현장조사를 통한 데이터를 적용하며, 종속변수로는 이용자들이 만족도에 따라 점수를 체크한 설문조사를 활용한다. 현장 조사를 통해 수집한 자료와 자전거 이용자가 직접 응답한 설문자료를 바탕으로 서비스 평가 모형을 개발함으로써 자전거 이용자의 입장을 반영한 분석 모형을 개발하고자 하였다. <표 5>에서 제시한 조사 항목을 바탕으로 모형1의 모수 값을 추정할 결과는 <표 6>과 같다.

모형1의 추정 결과인 <표 6>을 통해 자전거 서비스 수준(BLOS) 평가 지수는 보행자교통량, 대면횟수가 증가함에 따라 높아져서 서비스 수준 F에 근접하게 되고, 자전거 도로 폭과 자전거 보관대의 수가 증가함에 따라 낮아져서 서비스 수준 A에 근접하게 되는 것을 알 수 있다.

<표 6> 자전거 서비스 수준(BLOS) 평가 모형1 추정결과
<Table 6> BLOS estimation result (Model1)

독립변수	계수	t-statistic	S.E.
Constant	3.8363	9.91	0.0000
자전거도로 폭 (BW)	-0.8363	-6.05	0.0000
보행자교통량 (PVOL)	0.0145	4.34	0.0052
대면횟수 (C)	0.0110	2.79	0.0011
자전거보관대 수 (BPN)	-0.0216	-3.25	0.0000
Threshold value			
μ_1	0.9826	8.60	0.0000
μ_2	1.9089	15.01	0.0000
μ_3	2.3115	16.60	0.0000
μ_4	2.9639	16.47	0.0000
Number of observations	130		
LL(0)	-219.9225		
LL(β)	-193.5582		
ρ^2	0.1199		

* 95% 신뢰수준에서 t통계량은 2.132

<표 7> 자전거 서비스 수준 평가지수 범주 (모형1)
<Table 7> Bicycle LOS score thresholds (Model1)

서비스 수준	점수
A	< 1.0
B	>1.0 and <2.0
C	>2.0 and <2.9
D	>2.9 and < 3.3
E	>3.3 and < 4.0
F	>4.0

분석을 통해 도출된 한계값(Threshold)을 이용하여 <표 7>과 같은 서비스 수준별 평가지수 기준을 제시할 수 있었다. 자전거 이용자의 만족도는 1(매우만족)~6(매우불만족)점으로 분류하여 설문조사를 수행하였으나, 분석도구의 특성상 데이터를 0~5점으로 변환하여 적용하였다. 따라서 분석 결과로 도출된 한계값에 1을 더하여 기준치를 제시하였다.

도출된 모형의 적합성을 검증하기 위해서는 모형 전체의 적합도를 나타내는 ρ^2 (likelihood ratio index)를 사용한다. ρ^2 는 회귀분석에서의 R^2 와 마찬가지로 0과 1사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 좋은 적합도를 나타낸다. ρ^2 는 일반적으로 R^2 보다 비교적 작은 값을 가지는데, ρ^2 의 값이 0.2~0.4 사이의 값만 갖어도 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 갖는 것으로 평가할 수 있다.

그러나 모형1의 ρ^2 값은 0.1199로 모형의 적합도가 유의하지 않음을 알 수 있다. 이러한 이유는 자전거 이용자의 만족도를 나타내는 지표의 범위가 너무 넓어서 동일한 상황에서도 개인마다 느끼는 만족도가 매우 상이하게 나타나기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 현재 국내 자전거 도로 시설 현황과 이용수준이 다른 교통수단에 비해 활성화 되지 않았음을 고려할 필요가 있었다.

따라서, 승용차·버스·보행 등의 서비스 수준은 일반적으로 6등급(A~F)으로 구분하고 있으나, 자전거와 같은 경우에는 그 활용 정도와 규모를 고려하여 서비스 수준을 3등급(A~C)으로 정의하는 것이 더 합리적이라고 판단된다.

모형2에서는 <표 8>과 같이 이용자의 만족도를

<표 8> 자전거 이용자의 만족도 범위에 따른 모형 비교
<Table 8> Comparison model according to bicyclist satisfaction scope

모형	이용자의 만족도 범위
모형 1	매우만족(1) ~ 매우불만족(6)
모형 2	만족(1), 보통(2), 불만족(3)

만족, 보통, 불만족의 3가지로 구분하여 적용하였고, 이용자들의 만족도를 좀 더 명확하게 분류하여 분석함으로써 모형의 설명력을 높이고자 하였다.

모형2의 분석결과 자전거 서비스 수준(BLOS)은 보행자교통량, 대면횟수가 증가함에 따라 높아져서 서비스 수준 C에 근접하게 되고, 자전거 보관대의 수와 자전거 도로 폭이 증가함에 따라 낮아져서 서비스 수준 A에 근접하게 되는 것을 알 수 있다. 또한, 모형의 적합도를 나타내는 ρ^2 값은 0.2124로 모형 1에 비해서 약 2배 좋아진 것을 알 수 있었다.

최종 분석 결과, 이용자 중심의 자전거 서비스 수준은 자전거 도로 폭에 의해 가장 큰 영향을 받으며, 자전거보관대 수, 보행자 교통량, 대면횟수 순으로 정의되는 것을 알 수 있었다. 또한, 분석 모형에 의하면 자전거 교통량은 자전거 서비스 수준에 영향을

주지 않는 것으로 분석되었다. 이처럼 자전거 교통량이 자전거 이용자들에게 중요하지 않은 이유는 현재 우리나라의 자전거 교통량이 많지 않기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 자전거 이용자는 자전거 도로 상의 자전거 교통량이 아닌 자전거 도로 폭원이라는 시설적인 요소에 의해 서비스 수준을 평가하는 것을 알 수 있었다.

또한, 미국의 경우 대부분의 자전거 도로가 자동차·자전거 겸용도로로써 자동차교통량이 자전거 이용자의 서비스 수준에 영향을 주게 되지만, 우리나라의 자전거 도로는 대부분 자전거·보행자 겸용도로로써 보행자 교통량이 자전거 서비스 수준에 영향을 주게 되므로 이를 고려하여 분석하였다.

상충횟수는 대면횟수와 추월횟수를 합한 것이며 대면횟수란 자전거 이용자가 진행방향의 반대 방향에서 이동하는 자전거 또는 보행자와 만나는 횟수이며, 추월횟수란 자전거 이용자가 동일 방향에서 이동하는 자전거 또는 보행자와 만나는 횟수를 의미한다. 분석결과를 보면 대면횟수가 다른 변수에 비해 서비스 수준에 주는 영향이 가장 작은 것을 알 수 있는데, 이러한 이유 역시 자전거 교통량이 많지 않기 때문인 것으로 판단된다.

자전거 보관대의 수는 자전거 서비스 평가 수준에 자전거 도로 폭 다음으로 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 자전거 이용자가 다른 수단으로 환승을 하거나, 쇼핑 및 기타 업무를 위해 자전거를 이용할 때 자전거 보관 가능 여부가 자전거 서비스 수준을 결정하는 중요한 요소임을 의미한다.

분석을 통해 도출된 한계값(Threshold)을 이용하여 <표 10>과 같은 서비스 수준별 평가지수 기준을 제시할 수 있다. 모형2에서는 자전거 이용자의 만족도를 만족(1), 보통(2), 불만족(3)으로 분류하였고, 분석

<표 9> 자전거 서비스 수준(BLOS) 평가 모형2 추정결과
<Table 9> BLOS Estimation result (Model2)

독립변수	계수	t-statistic	S.E.
Constant	3.3489	6.81	0.0000
자전거 도로 폭 (BW)	-1.0025	-6.07	0.0001
보행자교통량 (PVOL)	0.0152	3.92	0.0011
대면횟수 (C)	0.0150	3.28	0.0012
자전거보관대 수 BPN)	-0.0248	-3.24	0.0000
Threshold value			
μ_1	1.39	8.04	0.0000
Number of observations	130		
LL(0)	-138.9640		
LL(β)	-109.4550		
ρ^2	0.2124		

* 95% 신뢰수준에서 t통계량은 2.132

<표 10> 자전거 서비스 수준 평가지수 범주 (모형2)
<Table 10> Bicycle LOS score thresholds (Model2)

서비스 수준	점수
A	≤ 1.0
B	>1.0 and ≤ 2.4
C	>2.4

도구의 특성상 데이터를 0~2점으로 변환하여 적용하였다. 따라서 분석 결과로 도출된 한계값에 1을 더하여 기준치를 제시하였다. 따라서, 서비스 수준에 따른 자전거 서비스 평가 지수는 서비스 수준 A~C로 분류하여 정의한다.

일반적으로 한국도로용량편람(Korean Highway Capacity Manual)에서 제시하는 서비스 수준은 A~F의 6등급으로 분류하여 정의하고 있지만, 본 연구 결과에 의하면 자전거 서비스 수준의 경우는 국내 자전거 이용의 활성화 정도를 고려하였을 때, A~C의 3등급으로 구분하여 평가하는 것이 더 합리적이라고 판단되었다.

V. 결 론

외국의 경우 자전거·자동차 겸용도로가 대부분이어서 자동차에 대한 변수를 고려하듯이 우리나라의 경우 자전거·보행자 겸용도로가 대부분인 것을 고려하여, 보행에 관한 변수를 적용하였다. 이 밖에도 국내 자전거 도로 및 관련 시설의 특성을 고려하여 이용자 중심의 자전거 서비스 수준 평가 모형의 변수로 적용하고자 하였다.

자전거 서비스 수준 평가 모형을 분석한 결과 자전거 이용자의 만족도는 자전거 도로 폭에 의해 가장 큰 영향을 받으며, 자전거보관대 수, 보행자 교통량, 대면횟수와 같은 독립변수들에 의해 정의되는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 무엇보다도 다양한 영향요소를 고려한 복합적인 자전거 서비스 수준 평가 모형을 개발하고, 자전거 이용자를 대상으로 하는 설문조사를 통해 이용자의 입장을 반영하고자 했다는 점에 그 의의가 있다.

또한, 본 연구에서는 분석모형의 특성을 고려하여 본 연구의 목적에 적합한 모형을 선택하고자 하였으며, 순차적 의미를 주는 선택, 선호, 강도 등에 관련된 연구에 적합한 순서형 프로빗 모형을 적용함으로써, 자전거 이용자의 만족도를 고려한 자전거 서비스 수준 평가 기준을 제시할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 자전거 서비스 수준 평가 모형은 기존의 자전거 도로 및 관련시설의 서비스 수준을 이용자 입장에서 평가하고, 개선방향을 제시하는데 활용될 수 있다. 그 외에도 자전거 도로망 계획, 자전거 도로 설계, 개선 효과에 따른 투자 우선 순위 결정 등에 이용될 수 있다.

향후 연구에서는 자전거 서비스 수준에 영향을 주는 요소들을 좀 더 명확히 파악하여 추가적인 조사를 수행하고, 모형을 확장한 후에 서비스 수준 평가 기준을 마련할 필요가 있다. 또한, 자전거 도로 유형별 특성에 따라 서비스 수준을 결정하는 영향요소가 다를 수 있으므로, 자전거 도로 유형에 따른 차별화된 서비스 수준 평가 모형 개발이 필요하겠다.

참 고 문 헌

- [1] R. Dowling and D. Reinke, "Multimodal level of service analysis for urban streets," NCHRP 3-70, 2008.
- [2] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual 2000*, TRB, 2000.
- [3] Florida Dept. of Transportation, *Florida Quality Level of Service Handbook*, 2002.
- [4] 건설교통부, *도로용량편람*, 2001.
- [5] 주미영, "프로빗과 순차적 프로빗 분석에 대한 이해와 적용," 정부학연구, 제6권, 제1호, pp. 24-48, 2000. 6.
- [6] 원제무, 성낙문, 오주택, 하오근, "순서형 프로빗 모형을 이용한 사고심각도 분석," *대한교통학회지*, 제23권, 제24호, pp. 47-55, 2005. 8.
- [7] 강경우, 백병성, "순서형 프로빗 모형을 이용한 속도선택행태에 관한 연구," *대한교통학회지*, 제16권, 제3호, pp. 93-100, 1998. 9.
- [8] D. S. Kirschner, *Development of Rural Freeway Level of Service Model Based Upon Traveler Perception*, Master Thesis, University of Florida, 2005.

저자소개



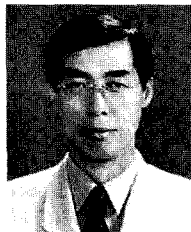
이겨라 (Lee, Gyeo-Ra)

2007년 2월 : 한양대학교 교통시스템공학과 졸업
2008년 ~ 현재 : 한양대학교 교통시스템공학과 석사과정



노종기 (Rho, Jong-Ki)

1985년 : 한국외국어대학교 경영학과 졸업
1974년 ~ 1981년 : 한국과학기술연구소(KIST), 연구조원
1981년 ~ 1983년 : 한국동력자원연구소, 위촉연구원
1983년 ~ 1985년 : 한국과학기술원(KAIST), 위촉연구원
1985년 ~ 1991년 : (주)선진엔지니어링 종합건축사사무소, 차장
1991년 ~ 2001년 : (주)도화종합기술공사, 상무
2001년 ~ 현재 : (주)한국기술개발, 전무



강경우 (Kang, Kyung-Woo)

1978년 : 한양대학교 공과대학 도시공학과 졸업
1983년 : 미국 펜실바니아대학 (교통학 석사)
1985년 : 미국 펜실바니아대학 (교통학 박사, 화물교통전공)
1981년 ~ 1984년 : 미국 펜실바니아대학, 연구 및 실험조교
1985년 ~ 1987년 : 미국 뉴욕-뉴저지 항만교통청, 연구원
1987년 ~ 1990년 : 미국 뉴욕-뉴저지 항만교통청, 수석연구원
1990년 ~ 1991년 : 미국 뉴욕-뉴저지 항만교통청, 연구위원
1992년 ~ 현재 : 한양대학교 공과대학 교통공학과, 교수
1998년 ~ 2003년 : 대한교통학회 상임임사
2003년 ~ 2004년 : 한국 ITS학회 부회장