순서형 프로빗 모형을 이용한 자전거 서비스 수준 평가 모형 개발[1)]

Development of Bicycle Level of Service Evaluation Model Using Ordered Probit Model

강 경 우 (한양대학교 교통공학과, 교수)
노 종 기 (한국기술개발, 전무)
이 겨 라 (한양대학교 교통공학과, 석사과정)

Key Words : 자전거, 서비스 평가, 서비스 수준 평가 지수

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구배경 및 목적
2. 연구범위 및 방법
Ⅱ. 이론적 고찰
1. 국외 연구사례
2. 국내 연구사례
Ⅲ. 자료수집 및 분석
1. 자료수집 방법
2. 분석방법 및 결과
Ⅳ. 결론
참고문헌

Ⅰ. 서론

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 반영한 모형을 개발하고자, 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 이용자의 관점에 맞도록 개선할 수 있을 것이다. 또한, 모형을 통한 평가와 개선 과정을 통해 이용자 중심의 자전거 도로 및 도로망을 구축함으로써, 자전거 시설 이용 증진을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

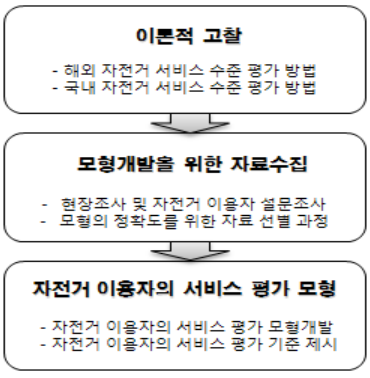
1) 본 연구는 한국건설교통기술평가원 「교통연계 및 환승시스템 기술개발」사업의 연구비지원(06교통핵심A02-02)에 의해 수행되었습니다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 자전거 서비스 수준(BLOS)에 영향을 줄 수 있는 다양한 요소들을 고려한 복합적인 평가 모형을 개발하고자 한다. 기존의 물리적인 시설에 대한 자료는 현장조사를 통해 얻으며, 지점조사를 통해 15분당 교통량과 상충횟수 등의 자료를 조사 한다. 또한, 서비스 평가 모형에 이용자의 입장을 반영하고자 설문조사를 실시하였다.

설문조사는 자전거 이용자의 만족도에 따라 매우 만족이면 1점에서 매우 불만족일 경우 6점까지 점수를 체크하도록 하고, 이를 바탕으로 자전거 서비스수준 평가를 위한 모형을 개발하였다.

자전거 이용자의 만족도를 분석하기 위하여 이산선택형 자료의 분석에 적합한 순서형 프로빗 모형을 적용하였고, 분석도구로는 최우추정법의 알고리즘을 행하는 LIMDEP(Limited Dependent Variables) 프로그램을 사용하였다.



<그림 1> 연구의 흐름

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 도시부도로의 자전거 서비스 수준이다.

<표 1> 도시부도로의 자전거 서비스 수준(HCM)

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)

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

HCM에서는 도시부 도로의 자전거 서비스 수준 평가를 위해 평균 자전거 속도와 평균 제어 지체를 추정하는 절차를 제시하였다. 평균제어지체는 각 신호의 신호 시간에 근거하여 추정된다. 평균 자전거 속도는 각 신호에서의 지체를 15mph로 가정하고 자전거 자유속도에서 이를 제함으로써 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 규정하고 있다.

FDOT(State of Florida Department of Transportation)의 'Florida Quality/Level of Service Handbook(2002)' 에서는 자전거 이용자의 관점에서 자전거가 자동차 교통량과 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 다음과 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. 일반적으로 서비스 수준 평가 지수는 0.5~6.5 범위의 숫자로 표시되며, A~F등급으로 구분된다.

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 아래의 모형에 따라서 측정되고, 서비스 수준은 <표 3>과 같이 정해진다.

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

여기서,

BLOS = 자전거 서비스 수준 평가지수,

V_{15} = 첨두 15분동안 방향별 자동차 교통량,

L = 방향별 직진 차로의 총 수,

SPt= 유효 속도 factor = 1.1199ln(SPp-20) + 0.8103

SPp= 규정된 제한 속도(평균 주행 속도 대신)

HV = 중차량 비율

PR_5= FHWA의 포장상태 평가 점수

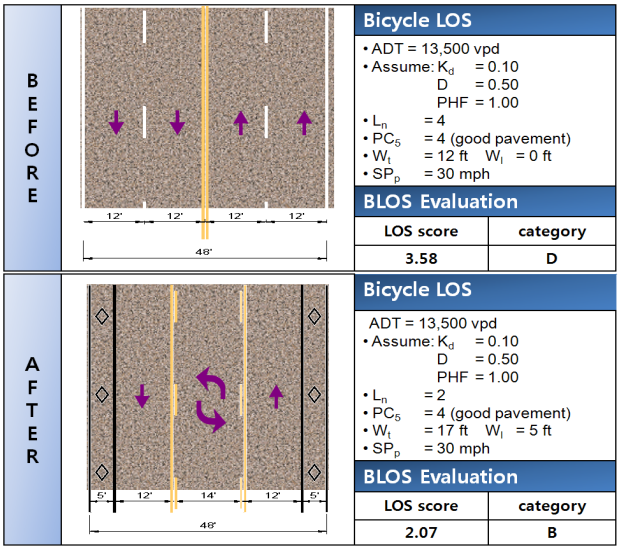
We= 자전거•자동차 겸용도로의 평균 유효 도로 폭

<표 3> FDOT 자전거 서비스 수준 평가 지수

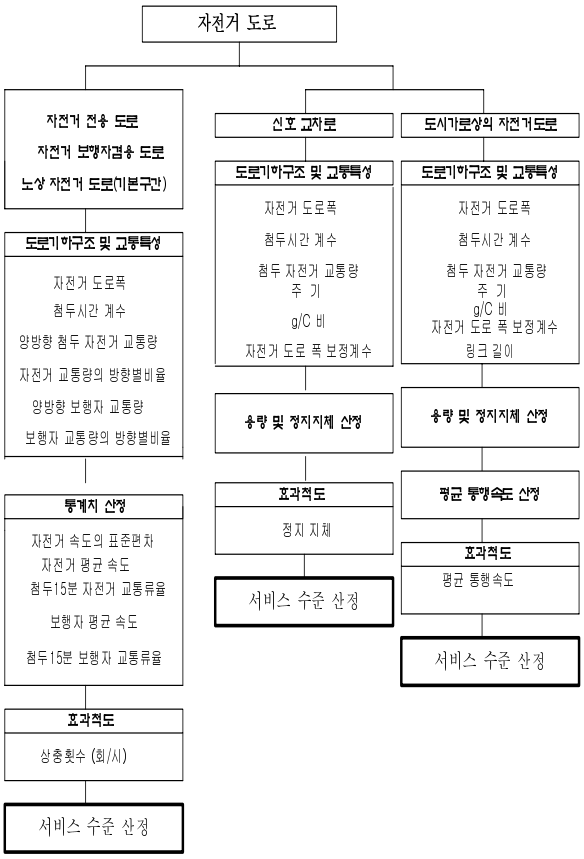
서비스수준	점수
A	< 1.5
B	>1.5 and <2.5
C	>2.5 and <3.5
D	>3.5 and < 4.5
E	>4.5 and < 5.5
F	>5.5

이와 같은 자전거 서비스 수준 평가 모형을 통해 기존의 자전거 도로의 서비스 수준을 평가하고 개선방향을 제시하는데 활용할 수 있다. 그 외에도 자전거 도로망 계획, 자전거 도로 설계, 개선 효과에 따른 투자 우선순위 정하기 등에 이용될 수 있다.

<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.



<그림 2> 서비스 수준 평가 모형 활용 사례



<그림 3> 한국도로용량편람의 자전거 도로 평가 흐름도

2. 국내 연구사례

한국도로용량편람(Korean Highway Capacity Manual)에서 제시하는 자전거 서비스 평가 방법은 자전거 도로 유형에 따라 <표 4>와 같은 효과척도로 서비스 수준을 평가하는 것이다. 자전거 도로 유형에 따라 단일의 척도로 평가가 이루어지므로, 자전거 이용자가 느끼는 서비스 수준에 대한 다양한 영향요소들을 고려하지 못하고 있다. <그림 3>은 한국도로용량편람에서 제시하는 자전거 도로 서비스 평가 방법의 흐름도이다.

<표 4> 한국도로용량편람의 자전거도로 유형별 효과척도

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

III. 자료수집 및 분석

1. 자료수집 방법

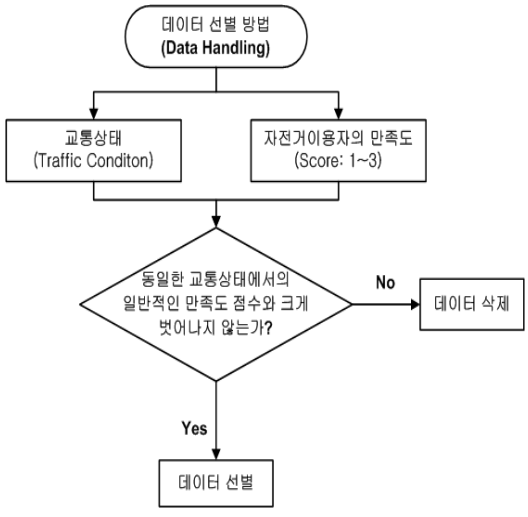
자전거도로의 서비스 수준 평가를 위한 조사는 분당 야탑역과 수원역의 자전거·보행자 겸용도로와 분당 탄천과 안산 중악역의 자전거·전용도로로 총 4개의 지점을 대상으로 하였다.

서비스 수준 평가를 위한 조사항목은 <표 5>와 같으며, 각 조사지점의 자전거 이용자에게 자전거 도로 및 시설에 관한 설문조사를 통해 이용자가 1~6점까지의 점수를 매기도록 함으로써 이용자의 입장을 반영하고자 하였다. 자전거 이용자의 만족도는 매우만족이면 1점과 매우불만족이면 6점을 주도록 하였다. 교통량, 상충횟수 등의 측정은 한 지점에서 15분을 기준으로 측정하였다.

<표 5> 조사 항목

구 분	조 사 항 목	단위
종속변수	자전거 이용자의 전체적인 만족도	1(매우만족)~6(매우불만족)
독립변수	자전거•보행자 겸용도로의 자전거교통량	대/15분
	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

자전거 서비스 수준 평가 모형 개발을 위해 수집된 자료를 검토한 결과, 교통량, 도로 폭, 상충횟수 등이 동일한 상황에서 이용자에 따라 만족도 점수가 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 자전거 이용자 개인의 성향에 따라 동일한 상황에서도 느끼는 만족도가 다를 수 있음을 나타낸다. 하지만, 동일한 상황에서 다수의 일반적인 만족도 점수와 상당한 차이가 나는 만족도를 보여주는 자료는 모형의 정확도를 저하시킬 수 있을 것으로 고려되어 <그림 4>와 같은 과정을 통해 데이터를 선별하였다.



<그림 4> 데이터 선별 방법

2. 분석 방법 및 결과

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.

분석을 위한 모형은 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 사용하였다. 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 경우에 프로빗모형이나 로짓모형을 통한 분석은 오류를 범할 수 있다. 또한, 회귀분석에서는 종속변수 y=0과 y=1간의 차이와 y=1과 y=2간의 차이를 동일한 것으로 인식하여 분석을 하는 한계점을 지니고 있다. 따라서 자전거 이용자의 만족도를 분석하기 위하여 이산 선택형 자료의 분석에 적합한 순서형 프로빗 모형을 적용하였고, 분석도구로는 최우추정법의 알고리즘을 행하는LIMDEP(Limited Dependent Variables) 프로그램을 사용하였다.

<표 5>에서 제시한 조사 항목을 바탕으로 모형1의 모수값을 추정한 결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> 자전거 서비스 수준(BLOS) 평가 모형1 추정결과

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

모형을 통해 자전거 서비스 수준(BLOS) 평자 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.

도출된 모형의 적합성을 검증하기 위해서는 모형 전체의 적합도를 나타내는 ρ^2(likeligood ratio index)를 사용한다. ρ^2는 회귀분석에서의 R^2와 마찬가지로 0과 1사이의 값을 가

지며, 1에 가까울수록 좋은 적합도를 나타낸다. ρ^2는 일반적으로 R^2보다 비교적 작은 값을 가지는데, ρ^2의 값이 0.2~0.4 사이의 값만 갖어도 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 갖는 것으로 평가할 수 있다.

그러나 모형1의 ρ^2값은 0.1199로 모형의 적합도가 유의하지 않으며, 각 변수의 통계치도 좋지 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. 따라서 모형2에서는 이용자의 만족도를 만족, 보통, 불만족의 3가지로 구분하여 적용함으로써 모형의 설명력을 높이고자 하였다.

<표 7> 자전거 이용자의 만족도 범위에 따른 모형 비교

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

<표 8> 자전거이용자의 서비스평가(BLOS) 모형2 추정결과

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

모형2의 분석결과 자전거 서비스 평가 지수(BLOS)는 자전거 교통량, 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 값은 0.2124로 모형1에 비해서 약 2배 좋아진 것을 알 수 있었다.

자전거 서비스 수준 평가 지수는 자전거 도로 폭에 의해 가장 큰 영향을 받으며, 자전거보관대 수, 보행자 교통량, 대면횟수 순으로 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한, 분석모형에 의하면 자전거 교통량은 자전거 서비스 수준에 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 이러한 이유는 우리나라의 자전거 교통량이 많지 않기 때문인 것으로 파악된다. 즉, 자전거 이용자는 자전거 도로 상의 자전거 교통량이 아닌 자전거 도로 폭원에 의해 서비스 수준을 평가하는 것을 알 수 있었다. 또한, 미국의 경우 대부분의 자전거 도로가 자동차·자전거 전용도로로써 자동차교통량이 자전거 이용자의 서비스 수준에 영향을 주게 되지만 우리나라의 자전거 도로는 대부분 자전거·보행자 겸용도로로 되어 있어서 보행자 교통량이 자전거 서비스 수준에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

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 파악된다.

자전거 보관대의 수는 자전거 서비스 평가 수준에 자전거 도로 폭 다음으로 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 이는 자전거 이용자가 다른 수단으로 환승을 하거나, 쇼핑 및 기타 업무를 위해 자전거를 이용할 때 자전거를 보관할 수 있는지의 여부가 자전거 서비스 수준에 큰 영향을 주게 됨을 의미한다.

분석 결과 서비스 수준에 따른 자전거 서비스 평가 지수를 다음과 같이 A~C로 분류하여 정의하였다.

<표 9> 자전거 이용자의 서비스 수준별 평가지수 범주

자전거 이용자 서비스수준	점수
A	≤1.0
B	>1.0 and ≤2.0
C	>2.0 and ≤3.0

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.

Ⅳ. 결론

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

자전거 서비스 수준 평가 모형을 분석한 결과 자전거 이

용자의 만족도는 자전거 도로 폭에 의해 가장 큰 영향을 받으며, 자전거보관대 수, 보행자 교통량, 대면횟수와 같은 독립변수들에 의해 정의되는 것을 알 수 있다.

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.

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.

참고문헌

1. “Development of the Bicycle Compatibility Index", FHWA, 1998
3. "Florida Quality/Level of Service Handbook", FDOT, 2002
4. "Multimodal Level of Service Analysis for Urban Streets", NCHRP 3-70, 2008
5. "Highway Capacity Manual" 2000
6. "Facility Performance Model Enhancements for Multimodal Systems Planning(Part II), Transportation Research Center, 2005
7. "Real-time Human Perceptions: Toward a Bicycle Level of Service, TRB, 1997
8. "A Comparative Analysis of Bicycle Lanes Versus Wide Curb Lanes", FHWA, 1999
9. "Federal Highway Administration University Course on Bicycle and Pedestrian Transportation Publication", FHWA, 2006
10. "도로용량편람", 건설교통부, 2001