

## GPS프로브 자전거 주행속도를 이용한 자전거 주행환경 평가방법론

### Methodology for Evaluating Cycling Environment using GPS-based Probe Bicycle Speed Data

홍 두 호 Hong, Duho  
길 은 지 Kil, Eunji  
김 수 진 Kim, Sujin  
주 신 혜 Joo, Shinhye  
오 철 Oh, Cheol

한양대학교 교통공학과 학사과정 (E-mail : ghdengh@nate.com)  
한양대학교 교통공학과 학사과정 (E-mail : rlfmswl90@nate.com)  
한양대학교 교통공학과 학사과정 (E-mail : sujinja77@daum.net)  
정회원 · 한양대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : noble0401@hanyang.ac.kr)  
정회원 · 한양대학교 교통공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : cheolo@hanyang.ac.kr)

#### ABSTRACT

The bicycle is an environment-friendly transport mode leading to a more sustainable transportation system. To innovatively increase the use of bicycle as a significant transport mode, bicycling-friendly roadway environment should be provided. From this perspective, the scientific and effective assessment of roadway environment in term of the bicyclist perception for safety and comfortability is of keen interest. This study develops a methodology for evaluation cycling environment using probe bicycles. A global positioning system(GPS) based speedometer was used to collect bicycle speed data. Cycling comfortability index(CCI) was derived for the purpose of evaluating cycling environment. The proposed CCI can be effectively used as an assessment tool in the field of bicycle transportation

#### KEYWORDS

probe bicycle, bicycle speed, cycling environment, cycling comfortability index(CCI)

#### 요지

자전거는 에너지 소모나 오염을 발생시키지 않는 지속가능한 녹색교통수단으로 정부는 자전거이용 활성화를 적극 추진하고 있다. 그러나 자전거 시장규모 증가와 함께 자전거 사고 또한 지속적으로 증가하고 있다. 현재 KHCM에서 제시하고 있는 자전거도로 평가는 자전거도로를 유형별로 구분하여 각기 다른 효과척도를 적용하여 자전거의 이동성과 안전성을 평가하고 있으며, 현장조사를 통한 자료수집을 통해 도로를 평가하고 있다. 본 연구에서는 공공자전거에 장착된 GPS수신기를 활용한 자전거 주행환경 평가 방안으로 수집된 자전거 주행속도자료를 이용하여 모든 자전거도로에 적용 가능한 구간단위의 자전거 주행환경을 평가하는 방법론을 제시하였다. 주행쾌적성 평가지표 개발을 위해 자전거GPS속도계를 장착한 실험자전거를 이용하여 도로선형, 신호교차로 및 과속방지턱의 유무 등 주행환경이 다른 자전거도로의 속도자료를 수집하였다. 분석시간동안 자전거 주행환경평가를 위해 자전거 주행속도 감소량을 분석하여 주행쾌적성을 0~1 사이의 값으로 계량화한 CCI(Cycling Comfortability Index)를 개발하였다. 실험구간별로 산출된 CCI를 분석한 결과, 주행쾌적성은 신호교차로와 종단구배의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 이를 바탕으로 도로환경에 따른 LOCC(Level of Cycling Comfortability)를 도출하였다. 본 연구의 결과는 GPS수신기를 장착한 공공자전거에 적용하여 자전거 교통의 모니터링 시스템으로 발전시키는데 유용한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

#### 핵심용어

프로브자전거, 자전거속도, 자전거 주행환경, 주행쾌적성, CCI

# 1. 서론

## 1.1. 연구의 배경 및 목적

자전거는 비동력, 무탄소 교통수단으로서 지속가능한 녹색교통수단으로 각광받고 있으며, 정부는 녹색교통사업의 일환으로 자전거 이용을 활성화 하기 위하여, 2009년 1만 5,000여대에 불과한 공공자전거를 2011년까지 6만 6,000대로 4배 이상 늘리고, 2009년 16.6%에 불과한 자전거 보급률을 2012년에는 30%로 증가시켜 자전거 시장규모를 40% 이상 확대할 계획이다(신희철, 2009). 또한 자전거도로를 2009년 9,170km에서 2012년 17,600km로 확대시킬 계획이다. 이런 정부의 정책에 맞추어 자전거 시장규모는 지속적인 증가추세에 있으나, 이와 더불어 자전거 사고 역시 증가하는 추세를 나타내고 있다. 도로교통공단에서 제시한 자료에 따르면 2006년부터 2010년까지 자전거 사고 발생건수는 연평균 13.5%씩 증가하였으며, 2010년에는 자전거 교통사고의 비중이 전체 교통사고의 5.0%를 차지하고 있다(도로교통공단, 2011).

자전거 사고 발생건수가 지속적으로 증가하고 있으나 자전거도로를 평가하는 기준은 미미한 실정이다. 현재 KHCM(Korea Highway Capacity Manual: 도로용량편람)에서 제시하는 자전거도로 평가기준은 자전거도로를 자전거 전용도로, 자전거-보행자 겸용도로, 노상 자전거도로, 신호교차로, 도시가로상의 자전거도로 등 다섯 가지 유형으로 구분하고 유형마다 상충횟수, 정지지체, 평균 통행속도 등의 각기 다른 효과적도를 적용하여 자전거도로의 이동성과 안전성을 평가하고 있다. 황호영(2004)은 자전거도로의 만족도를 인구학적인 배경, 자전거도로 자체의 만족도, 자전거도로의 이용여건으로 구분하여 설문조사를 실시하고, 조사결과를 바탕으로 자전거도로의 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 이수동(2008)은 자전거도로의 연결성을 확보해 주기 위해서 차도에 안전한 자전거도 설치기준, 자전거 횡단도 만드는 기준 등을 제시하였다. Alaitz Linares et al.(2010)은 자전거도로의 레이아웃과 설계기준의 차이를 기반으로 도로안전진단의 체크리스트를 적용해 자전거 이용과 관련된 체크리스트를 만들어 자전거도로의 안전성평가와 유지보수를 위한 가이드라인을 제시하였다. Thomas et al.(2006)은 자전거시설의 유형과 교통특성에 따른 사고빈도를 고려한 안전성합수를 개발하였다. 이 함수는 안전성을 극대화할 수 있는 자전거시설을 선택하는 지침이 된다. Kloubucar et al.(2007)은 자전거도로가 자전거 이용자에게 최적의 서비스 수준을

제공하는지를 평가하기 위해서 Network Evaluation Tool을 개발하였다. Petrisch et al.(2007)은 자전거 이용자가 간선도로 환경을 인지하는지에 관한 서비스 수준모형을 제시하였다. 이 자전거 서비스 수준모형은 자전거 운전자의 관점에서 도로의 기하구조나 운영특성을 평가한다. 이겨라 등(2009)은 자전거 이용자의 만족도를 종속변수로 설정하고 안전성, 편의성, 연계성을 반영할 수 있는 다양한 영향요소들을 독립변수로 설정하여 자전거 서비스 수준 평가모형을 개발하였다. 김경환 등(2011)은 자전거 이용자에게 영향을 미치는 인자들 중 피지적 성격을 지닌 자전거도로 폭, 대면횟수, 보행자 교통량을 선택하여 자전거도로 서비스 수준 분석을 위한 ANFIS(Adaptive Network-based Fuzzy Inference System)모형을 구축하였다.

KHCM 및 기존 관련연구 검토결과, 자전거도로를 평가하는 기준은 마련되어 있으나 현장조사를 통한 주행환경 요소 및 이용자의 만족도, 또는 자전거 이용시설 조사를 통해 자전거도로를 평가하고 있다. 이는 자전거도로 단일유형의 지점위주의 평가로 이루어진다. 또한 실제 주행을 통해 얻어진 자료보다는 도로환경요소를 중점적으로 검토하고 있기 때문에 자전거의 주행특성을 반영하기 어렵다고 판단된다. 자전거는 이용자의 인적요인이 크게 반영되는 교통수단으로서 과속방지턱 등의 장애물 및 타 수단과의 상충 등 주행환경의 미세한 변화에도 민감한 반응을 나타내기 때문에 현장 조사를 통한 도로환경평가만으로는 자전거의 주행환경을 평가하기에는 미비하다고 판단된다. 본 연구에서는 공공자전거에 장착된 GPS수신기를 활용한 자전거 주행환경 평가방안으로 수집된 자전거 주행속도를 이용하여 모든 자전거도로에 적용가능한 구간단위의 자전거 주행환경을 평가하는 방법론을 제시한다는 점에서 차별성이 있다.

## 1.2. 연구의 내용 및 수행과정

본 연구에서는 자전거 이용자의 주행특성이 반영되는 통행속도를 이용하여 자전거도로의 유형 구분 없이 적용하기 용이한 자전거도로의 주행쾌적성 평가지표 개발을 목적으로 연구를 수행하였다. 국립국어원에서 발행하는 「표준국어대사전」에 따르면 쾌적성이란 '시원하고 기분 좋은 느낌이 드는 성질'을 뜻한다. 쾌적성의 사전적 의미를 바탕으로 자전거 주행쾌적성이란 '자전거 주행 시에 속도를 감소시키는 요인 없이 이용자가 원하는 속도로 주행이 가능한 상태'라고 정의하였다. 즉, 주행

속도가 감소되지 않고 일정하게 유지될수록 주행쾌적성이 좋은 것이고, 반대로 주행속도가 일정하게 유지되지 못하고 감소하는 상황이 발생한다면 주행쾌적성이 좋지 않은 것으로 정의하였다. 따라서 주행쾌적성 평가지표를 개발 시, 자전거 속도감소에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다. 자전거 주행 시 쾌적성의 좋고 나쁨을 구분하는 기준속도를 설정하고, 자전거GPS속도계를 통해 수집된 자전거 주행속도자료를 이용하여 기준속도 이하로 주행한 속도감소량을 주행쾌적성을 평가하는 평가지표로 설정하였다. 또한 각 실험구간에서 산출된 면적을 신호교차로 개수나 오르막구간의 개수 등 도로환경에 따라 4개의 유형으로 구분하여 자전거도로의 주행쾌적성을 판단하는 지표인 LOCC(Level of Cycling Comfortability)를 도출하였다.

본 연구의 2장에서는 자전거 속도자료를 분석하여 자전거도로 주행쾌적성을 평가하는 연구방법론을 제시하였으며, 3장에서는 자전거GPS속도계를 이용한 자료수집방법 및 실험구간 자료수집결과를 제시하였다. 4장에서는 분석결과 및 분석된 결과를 통해 자전거도로 주행쾌적성을 판단하는 척도인 LOCC를 도출하였으며, 5장에서는 본 연구의 활용방안, 6장에서는 본 연구의 결론을 제시하였다.

## 2. 분석방법론

본 연구에서는 자전거 주행쾌적성 평가방법론 개발을 목적으로 자전거GPS속도계로부터 수집된 속도자료

를 이용하여 주행쾌적성 평가지표를 도출하였다. 본 연구의 분석흐름도를 그림 1에 제시하였다. 주행쾌적성 평가를 위해 주행방해요소가 없는 구간의 주행평균속도를 측정하여 그 값을 기준속도로 설정하였다. 본 연구에서 정의한 기준속도란 주행쾌적성의 좋고 나쁨을 구분하는 속도로서, 기준속도 이하로 속도가 감소하면 주행쾌적성이 좋지 않은 것으로 판단한다. 본 연구에서는 주행쾌적성을 계량화해서 나타내는 지표로서 CFA(Cycling Failure Area)에 대한 SRA(Speed Reduction Area)의 비율인 CCI(Cycling Comfort Index)를 제안하였다. 여기에서 SRA(Speed Reduction Area)란 자전거를 이용한 주행시간 동안 기준속도 이하로 속도감소가 발생하는 양(Quantity)을 의미하는데, 그림 1에서와 같이 음영으로 처리된 면적을 나타낼 수 있다. SRA는 속도감소량과 속도감소의 지속시간을 동시에 고려할 수 있기 때문에 자전거 주행쾌적성을 평가하는데 유용한 지표로 활용될 수 있다.

본 연구에서는 그림 2(a)에서 제시한 바와 같은 구분구적법을 이용하여 SRA에 해당하는 면적을 산출하였다(식 (1)참조). CFA(Cycling Failure Area)는 SRA를 산출하는 시간동안 자전거의 주행이 불가능한 경우로 속도가 0kph라는 가정하에 기준속도 이하의 면적으로 나타낼 수 있다(식 (2)참조). 그림 2(b)에 SRA와 CFA 개념을 도식화하였다. 따라서 CCI는 식(3)에서 제시한 바와 같이 CFA에 대한 SRA의 비율을 나타내며, 0~1 사이의 값을 갖는다. 이때, 속도감소량의 영역을 0~5kph(I), 5~10kph(II), 그리고 10~15kph(III)의

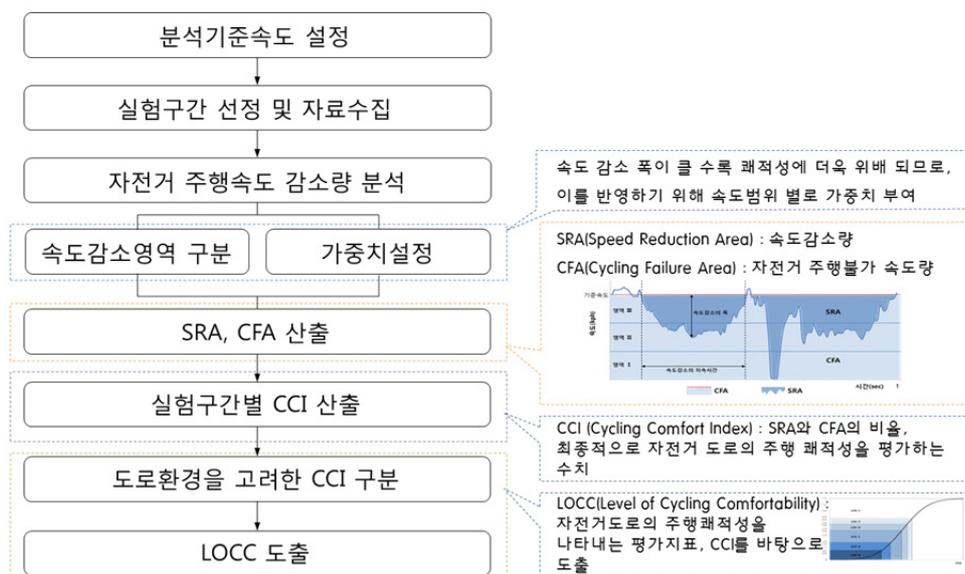
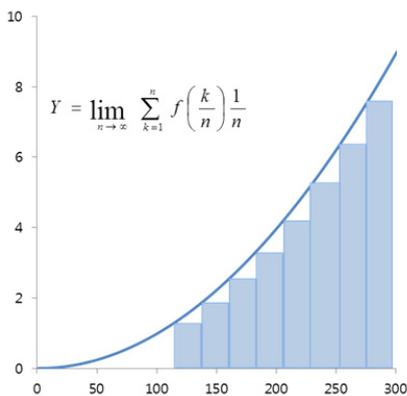
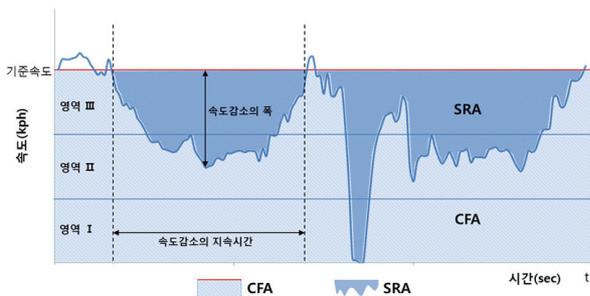


그림 1. 분석흐름도

세 가지 영역으로 구분하여 SRA 산출 시 가중치를 부여하였다. 영역 I 에 대해 다른 영역보다 큰 가중치를 부여하여 속도감소량이 클수록 주행쾌적성의 감소가 더 크게 산출되도록 하였다. 속도감소영역을 구분하지 않고 주행쾌적성을 판단할 경우, 단순한 핸들조작으로 인한 속도감소상황과 신호교차로에서의 정지상황을 동일시 판단하는 오류를 범하게 된다. 따라서 신호교차로, 종단선형, 과속방지턱 등과 같이 주행쾌적성을 저해한다고 판단되는 요인들에 대한 주행실험을 실시하고, 각 요인들에 의한 속도감소정도에 따라 영역을 구분하였다. 또한 구분된 영역에 따라 가중치를 부여하여 속도감소정도에 따른 주행쾌적성을 분석하였다.



(a) 구분구적법 개념



(b) 면적산출의 개념

그림 2. 속도감소 면적산출개념

$$SRA = [\kappa \times t - \int_0^t f(x)] \quad (1)$$

$f(x)$  : 속도면적 함수

$\kappa$  : 속도감소범위의 폭

$t$  : 통행시간

$$CFA = \kappa \times t \quad (2)$$

$\kappa$  : 속도감소범위의 폭

$t$  : 통행시간

$$CCI = \frac{SRA}{CFA} = \frac{[\kappa \times t - \int_0^t f_1(x)] \times w_1 + [\kappa \times t - \int_0^t f_2(x)] \times w_2 + [\kappa \times t - \int_0^t f_3(x)] \times w_3}{\kappa \times t \times (w_1 + w_2 + w_3)} \quad (3)$$

$f_i(x)$  :  $i$  에 따른 속도함수 ( $i$  = 속도감소범위)

$w_i$  :  $i$  에 따른 가중치

$\kappa$  : 속도감소범위의 폭

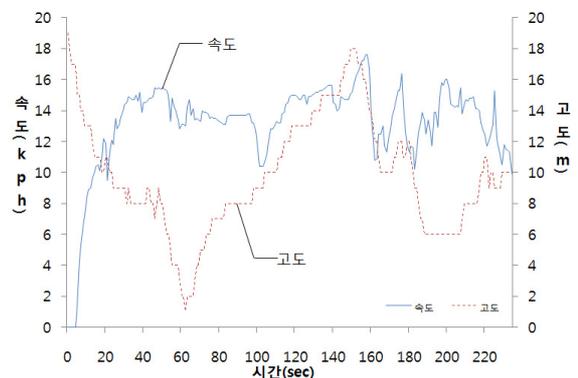
$t$  : 통행시간

### 3. 자료수집

자료수집에는 자전거GPS속도계를 장착한 실험자전거를 사용하였다. 실험에 사용된 자전거GPS속도계로부터 위도, 경도, 고도, 속도, 가속도, 주행거리 및 주행 궤적 등의 자료를 얻을 수 있으며, 자료는 1초 간격으로 수집된다. 본 연구에서는 자전거 속도자료를 사용하였으며, 속도는 1초 마다 자전거가 이동한 거리를 계산하는 방식으로 산출된다. 그림 3(a)에서 실험에 사용한 자



(a) GPS속도계



(b) 자료수집 예시

그림 3. 자료수집

전거GPS속도계를 장착한 실험자전거를 제시하였고, 그림 3(b)에서는 GPS속도계로부터 수집되는 자료의 예시를 제시하였다.

실험구간은 한양대학교 교·내외 2km에서 주행쾌적성 저해요인이라고 판단되는 신호교차로, 종단구배, 평면선형, 과속방지턱 개수 등 도로환경이 다른 다섯 구간을 선정하였다(그림 4 참고). 실험구간을 선정시, 도로환경 이외에 보행자수나 교통량 또는 주·정차되어 있는 차량 등 일정하지 않고 계속 변화하는 요인은 고려하지 않았다. 실험 구간 및 구간설명은 그림 4에 제시하였다. 각 실험구간을 자전거 조종이 능숙한 20세에서 27세로 이루어진 피실험자 10명이 실험구간을 2회씩 주행하여 속도자료를 수집하였다.



실험 구간	평면선형변화		종단선형변화		신호교차로 수	과속방지턱 수
	좌커브	우커브	상향구배	하향구배		
1	5	1	2	2	0	20
2	2	1	3	3	5	13
3	5	1	3	3	4	12
4	3	2	2	2	4	11
5	2	1	3	3	8	2

그림 4. 실험구간

표 1에 실험구간에서 수집된 속도에 대한 기술통계량을 제시하였으며, 그림 5에서 각 실험구간 별 속도분포를 제시하였다.

표 1. 실험구간 속도자료 기술통계량

실험 구간	주행거리 (km)	주행시간 (s)	기술통계량(kph)				
			평균속도	최고속도	최저속도	중위값	표준편차
1	1.90	510	13.85	18.1	2.4	15.3	2.48
2	2.20	657	12.23	20.2	0	14.7	5.46
3	2.63	923	10.22	21.4	0	14.1	4.87
4	2.16	1003	9.43	23.6	0	10.3	5.45
5	3.10	1897	5.63	17.8	0	6.6	4.82

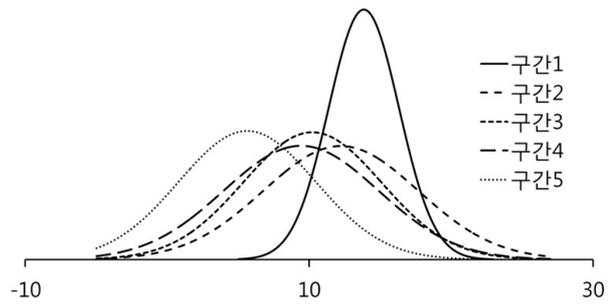


그림 5. 실험구간 별 속도분포

## 4. 분석결과

### 4.1. 기준속도 설정결과

기준속도를 설정하기 위한 실험구간은 과속방지턱, 종단구배 등의 주행방해요인이 없고, 노면상태가 균일한 안전한 상태의 구간이라고 판단한 한양대학교 교내의 호수공원으로 선정하였다. 실험방법은 자전거GPS 속도계를 장착한 실험자전거로 호수공원을 약 1.5km 주행하였으며, 이와 같은 실험을 총 5회 반복하여 자료를 수집하였다. 주행실험 결과 평균속도는 15.12kph로 도출되었다. 실험결과를 토대로 15kph를 기준속도로 설정하였다. 그림 6에서 호수공원에서의 속도변화를 제시하였으며, 수집된 속도의 기술통계량을 표 2에서 제시하였다. 고양시에서는 현재 운영되고 있는 공영자전

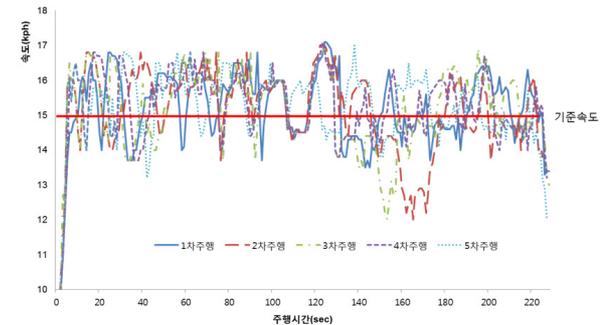


그림 6. 기준속도 실험구간의 속도변화

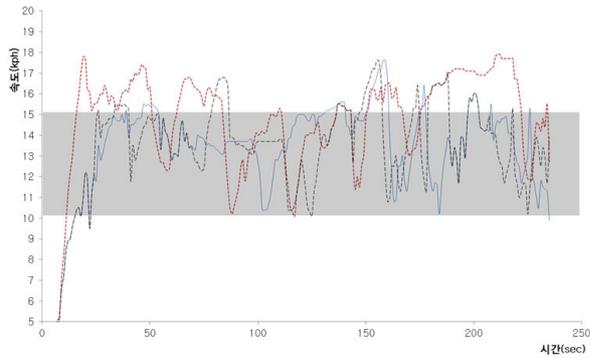
표 2. 기준속도설정 실험결과

실험 구간	주행 횟수	주행거리 (km)	평균주행시간 (s)	기술통계량(kph)				
				평균속도	최대속도	최소속도	중위값	표준편차
호수공원	1차주행	1.48	352	15.16	17.1	5.7	15.2	1.27965
	2차주행	1.52	367	15.06	17.0	4.8	15.3	1.40853
	3차주행	1.49	356	15.10	16.9	6.7	15.2	1.31959
	4차주행	1.51	360	15.09	17.3	5.3	15.3	1.26797
	5차주행	1.48	350	15.21	17.2	4.6	15.5	1.28473

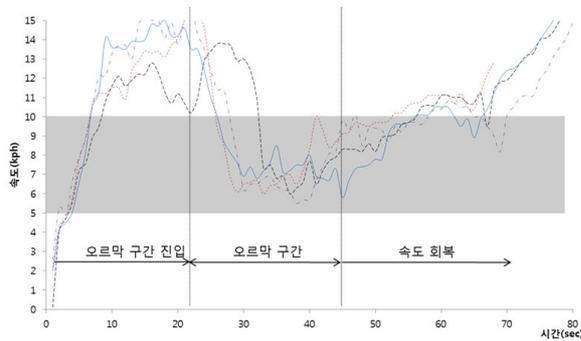
거의 이름인 “FIFTEEN” 또한 15kph가 자전거의 적정 주행속도라는 것에서 착안하였기 때문에 본 실험결과로 도출한 15kph의 기준속도는 타당한 것으로 판단된다.

#### 4.2. 속도감소범위구분 및 가중치 설정결과

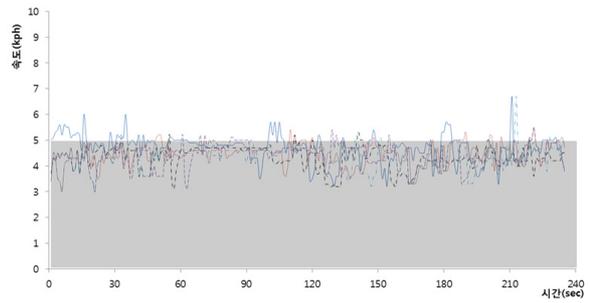
속도감소범위 구분을 위해 주행쾌적성 저해요인을 중단구배, 평면선형, 신호교차로, 기타 장애물로 나누고 각 요인들에 대한 주행실험을 실시하였다. 먼저 평면선형을 주행하거나 장애물을 피해가는 상황을 설정하여 직선구간을 찾은 핸들조작을 하며 지그재그로 주행하였다. 실험결과 그림 7(a)와 같이 핸들조작을 수행할 때는 10~15kph의 속도분포를 나타냈다. 중단구배를 반복적으로 주행하는 실험은 오르막구간에 진입하기 전, 가속을 하지 않고 기존에 주행하던 속도를 유지하며 실험을 수행하였다. 실험결과 그림 7(b)와 같이 오르막구간에서는 5~10kph의 속도분포를 나타냈다. 또한 자전거 GPS속도계를 휴대하고 1km 구간을 보행하는 실험을 실시하였다. 보행실험을 수행하는 것은 자전거의 주행속도가 보행속도보다는 빨라야 유용한 교통수단으로 의미를 부여할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다. 실험결과 그림 7(c)와 같이 평지 1km 구간에 대한 평균보행속도는 4.45kph가 도출되었다.



(a) 핸들조작 시 속도변화



(b) 중단구배 속도변화



(c) 보행속도 분포

그림 7. 속도감소범위구분 실험결과

표 3. 가중치 설정 결과

기준속도(kph)		1km 주행소요시간(min)		
15		4		
속도범위(kph)	범위 내 중간속도(kph)	1km 주행 소요시간(min)	가중치	
영역 I	0~5	24	6	
영역 II	5~10	8	2	
영역 III	10~15	4.8	1.2	

따라서 속도범위를 최종적으로 0~5kph, 5~10kph, 10~15kph의 세 구간으로 구분하였다. 속도범위를 구분한 후, 속도범위마다 가중치를 부여하였다. 가중치는 기준속도인 15kph로 1km를 주행했을 때의 소요시간과 각 속도범위의 중간속도인 12.5kph, 7.5kph, 2.5kph로 1km를 주행했을 때 소요되는 시간의 비율로 산출하였다. 즉, 15kph의 속도로 1km를 주행하면 4분이 소요되고 12.5kph로 주행하면 4.8분, 7.5kph는 8분, 2.5kph는 24분이 소요되는 것으로 계산된다. 따라서 0~5kph 구간의 가중치는 ‘24분/4분=6’ 이 되고 같은 방법으로 5~10kph 구간의 가중치는 ‘8분/4분=2’, 10~15kph 구간의 가중치는 ‘4.8분/4분=1.2’ 가 된다. 각 속도범위 영역별 산출된 가중치를 표 3을 통해 제시하였다. 자전거 주행속도 감소량 분석 시 속도감소범위가 큰 영역 I에 해당하는 0~5kph로 주행할 경우 상대적으로 속도감소에 큰 영향을 미치도록 가중치를 적용하였다.

#### 4.3. 실험구간 SRA, CFA 및 CCI산출결과

평면선형변화, 중단선형변화, 신호교차로수, 과속방지턱수 등 도로환경이 다른 5개 실험구간의 SRA 및 CFA를 도출하여, CCI를 산출하였다. 산출결과 주행쾌적성이 가장 좋은 구간은 한양대학교 2공학관 앞에서 출발하여 기숙사 앞까지 주행한 구간 1로써 CCI가 0.08로 산출되었다. 주행쾌적성이 가장 나쁜 구간은 2

표 4. 분석구간 SRA, CFA, CCI산출결과 및 도로환경

실험구간	SRA	CFA	CCI	도로환경						
				도로유형	평면선형변화		종단선형변화		신호교차로 수	과속방지턱 수
					좌커브	우커브	상향구배	하향구배		
1	1915	23506	0.08	차도겸용	5	1	2	2	0	20
2	12406	37614	0.33	차도겸용	2	1	3	3	5	13
3	9021	42872	0.21	차도겸용	5	1	3	3	4	12
4	5808	30038	0.19	차도겸용	3	2	2	2	4	11
5	29784	62790	0.47	차도겸용	2	1	3	3	8	2

공학관 앞에서 출발하여 고잔고등학교 사거리까지 주행한 구간 5로써 CCI는 0.47로 산출되었다. 구간 1은 실험구간 중에서 과속방지턱이 20개로 가장 많이 존재하지만, 상향구배 2개, 신호교차로는 존재하지 않는다. 구간 5는 실험구간 중에서 과속방지턱의 개수는 2개로 가장 적지만, 상향구배 3개, 신호교차로의 수는 8개로 실험구간 중 가장 많이 존재한다.

자전거 주행 시 속도감소에 영향을 미치는 도로환경 요인으로는 종단선형변화 및 신호교차로의 수가 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며 특히, 주행구간에 신호교차로의 수가 많을수록 CCI는 1에 가까운 값을 나타내어 주행쾌적성이 좋지 않은 것으로 도출된다. 이는 신호대기로 인한 지체시간 및 차량과의 상충위험을 고려하여 속도감소를 유발하여 주행쾌적성이 좋지 않은 것으로 판단된다. 도로의 평면선형 변화는 자전거 주행 시 속도감소에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 표 4에서 각 실험구간의 CCI 및 도로환경을 제시하였다.

#### 4.4. LOCC도출

본 연구에서는 CCI를 효과적으로 하여 보다 체계적으로 주행쾌적성을 평가할 수 있도록 자전거 주행쾌적성의 서비스 수준(LOCC : Level of Cycling Comfotability)을 제안하였다. 각 실험구간에서 산출된 CCI를 이용하여 백분위수(Percentile)를 적용하여 LOCC의 등급을 정의하였다. 백분위수는 표본의 분포를 100의 부분으로 분할했을 때의 분할량을 나타내며, A-F의 4등급으로 분할하였다. LOCC A는 CCI가 0~0.17일 경우이며, 도로환경요인의 영향 없이 자전거 이용자가 원하는 속도로 자유롭게 주행가능하며, 매우 쾌적한 주행상태를 나타낸다. LOCC B는 CCI 0.17~0.34에 해당한다. 종단구배, 신호교차로등의 도로환경요인의 어느 정도 제약을 받기 시작하지만 여전히 자전거 이용자가 원하는 속도로 주행이 가능하며 상당한 수준의 주행 쾌적성을 유지하는 상태로 정의하였다. LOCC C는 도

로환경요인의 영향으로 속도제약이 증가되어 원활한 주행을 위한 자전거 이용자의 주의가 요구되며, 작은 도로환경요인의 변화에도 주행속도가 민감하게 반응하게 되는 상태로 쾌적성이 저하된 상태이다. LOCC F는 CCI가 0.50 이상일 경우이며, 종단구배, 신호교차로 등의 도로환경요인으로 인해 저속주행 또는 정체의 상태가 진행될 가능성이 높은 상태이다. 주행의 대부분이 정지된 상태를 의미하므로 자전거 주행이 불가능한 상태로 정의하였다. 그림 8에서는 LOCC를 도식화 하였으며, 표

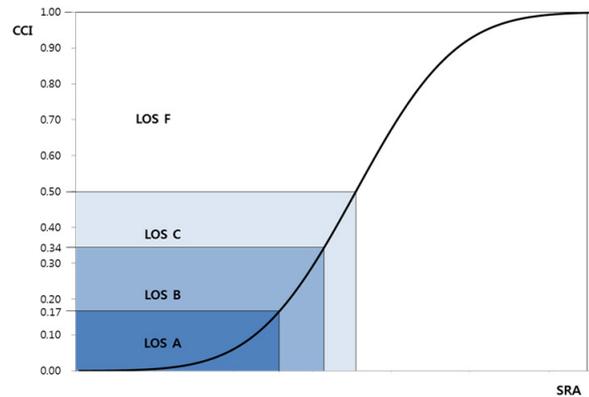


그림 8. LOCC(Level of Cycling Comfortability)

표 5. LOCC 도출 결과

LOCC	CCI	상태
A	0 ~ 0.17	도로환경요인의 영향없이 자전거이용자가 원하는 속도로 자유롭게 주행가능하며 매우 쾌적한 주행상태를 제공함
B	0.17 ~ 0.34	종단구배, 신호교차로 등의 도로환경요인의 영향으로 속도제약이 증가되어 자전거 이용자의 주의가 요구되며 도로환경요인에 크게 영향을 받지만 대체로 주행속도가 양호함
C	0.34 ~ 0.50	종단구배, 신호교차로 등의 도로환경요인으로 인해 주행속도가 제한되며 쾌적성이 저하된 상태임. 작은 도로환경요인의 변화에도 속도변화가 민감하게 반응함
F	0.50 ~	종단구배, 신호교차로 등의 도로환경요인으로 인해 저속주행 또는 정체의 상태가 진행될 가능성이 높음

5에서 LOCC 도출결과를 제시하였다.

본 연구에서 제시한 주행쾌적성 평가기법은 자전거의 주행속도를 반영함으로써 신호교차로대기, 오르막구배 등의 도로기하구조, 보행량 등의 주행환경 및 그에 따른 자전거 이용자 주행특성을 반영한 것으로 기존의 KHCM에서 제시한 도로유형별 효과적도인 상충횟수, 정지지체, 평균통행속도를 모두 포함한 구간단위의 자전거주행환경 평가로서의 의의가 있다.

## 5. 활용방안

현재 공영자전거 시스템이 활성화되어 있는 지역은 서울시, 고양시, 창원시, 대전시 등이 있으며, 창원시는 GPS수신기가 장착된 공영자전거를 운영 중이다. 본 연구에서 개발한 자전거 주행쾌적성 평가기법은 GPS수신기를 장착한 공영자전거 시스템에 적용하여 효과적으로 활용될 수 있다.

그림 9에서 활용방안을 도식화하여 제시하였다. GPS 수신기가 장착된 공영자전거를 이용하면 위도, 경도, 속도, 주행경로 등 자전거 이용자의 개별 주행자료가 저장된다. 공영자전거 거치대에 자전거를 반납하면, 거치대에 설치된 단말기를 통해 공영자전거에 수집된 개별자료들이 중앙센터로 전송된다. 중앙센터에서 수집된 자료들을 가공하여 각 공영자전거의 위치정보, 각 거치대별 자전거 보유대수 등을 실시간으로 모니터링 한다. 또한, 속도자료를 이용하여 공영자전거 이용자의 주행경로에 대한 LOCC를 도출하고 주행구간의 주행쾌적성을

평가한다. 쾌적성 평가에서 LOCC가 낮게 도출된 구간은 LOCC가 높게 도출된 구간과 비교하여 문제점을 분석하고 개선한다. 이와 같이 공공자전거에 기반하여 자전거 주행경로의 LOCC를 도출한다면, 효율적인 자전거 도로의 운영 및 개선이 가능해질 것이다.

## 6. 결론

본 연구에서는 자전거GPS속도계로부터 수집되는 자전거의 주행속도자료를 이용하여 자전거의 주행쾌적성 평가지표를 개발하였다. 수집된 실험구간의 자전거 주행속도자료를 이용하여 자전거 주행속도 감소량을 분석하여 주행쾌적성을 0~1사이의 값으로 계량화한 CCI를 산출하였다. 분석결과 주행쾌적성은 상향구배와 신호교차로 등의 기하구조에 영향을 많이 받으며, 특히 신호교차로에서는 신호대기로 인한 지체시간 및 차량과의 상충위험을 고려하여 속도감소를 유발하여 주행쾌적성이 좋지 않은 것으로 판단된다. 이는 자전거의 신호교차로 횡단 시, 자전거전용신호등 설치 또는 혼합교통류에서의 자전거통행방식 정립이 요구됨을 시사한다. 이러한 주행구간의 도로환경 특성을 토대로 CCI를 4단계로 구분하여 최종적으로 자전거 주행쾌적성을 평가하는 지표인 LOCC를 도출하였다.

본 연구에서 제시한 방법론은 신호교차로대기, 차량과의 상충에 대한 심리적 요인, 오르막구배 등의 도로기하구조, 보행량 등의 주행환경 및 그에 따른 자전거이용자 주행특성을 반영한 주행속도를 활용함으로써 기존의

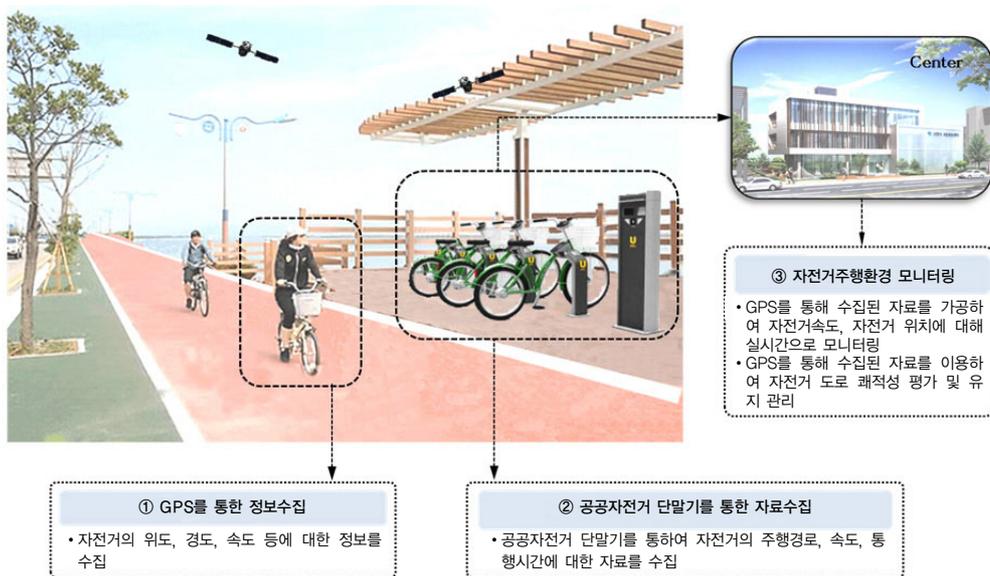


그림 9. 활용방안

KHCM에서 제시한 상충횟수, 정지지체, 평균통행속도 등의 효과적도를 대체할 수 있는 구간단위의 자전거주행환경 평가로서의 의의가 있다.

본 연구에서 제시한 자전거 주행쾌적성 평가기법에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 20~27세로 구성된 10명의 피실험자를 대상으로 연구를 수행하였기 때문에 다양한 연령층의 피실험자를 선정하여 다양한 샘플수를 마련하여 추가적인 분석이 수행되어야 한다. 둘째, 본 연구에서는 피실험자를 자전거 조작능력이 우수한 사람들을 대상으로 선정하였는데, 자전거 조작능력이 미숙하다면 같은 실험구간이라고 하더라도 CCI가 차이를 나타낼 것이다. 따라서 피실험자를 선정할 때 자전거 조작능력을 상·중·하로 구분하여 실험이 수행되어야 한다. 셋째, 본 연구에서는 CCI를 산출하는 실험구간을 다섯 구간으로 선정하였는데, LOCC의 등급을 구분한 근거를 뒷받침할 구간을 추가적으로 선정하여 실험을 진행하여야 한다.

본 연구의 결과는 GPS수신기를 장착한 공공자전거에 적용하여 자전거 교통의 모니터링 시스템으로 발전시키는데 유용한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 또한 자전거 주행경로의 LOCC 도출로 효율적인 자전거도로의 운영 및 개선에 기여할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029449).

## 참고 문헌

국도해양부, *도로용량편람*, 2001  
 김경환(2011), "적응 뉴로-퍼지를 이용한 자전거도로 서비스

수준 분석에 관한 연구", *대한토목학회 논문집*, 대한토목학회, 제31권, 제2호, pp.217-225

도로교통공단, <http://www.koroad.or.kr>, 2011

신희철(2009), "자전거 활성화를 위한 자전거 도로 네트워크 구상", *교통으로 여는 녹색 미래, 행정안전부*

이겨라(2009) "순서형 프로빗 모형을 이용한 이용자 중심의 자전거 서비스 수준 모형 개발", *한국 ITS학회, 한국ITS학회 논문지*, 제8권, 통권22호, pp.118-127

이수동(2008) "자전거 이용 활성화 방안-차도에 안전한 자전거 전용도로 만들기", *대한지방행정공제회, 지방행정* 7-225

최병길, 박흥기, 나영우(2011), "주변 환경요소를 고려한 자전거 도로 설계 개선 및 정보제공에 관한 연구", *한국측량학회지*, 제29권, 제1호, pp.11-20

황호영(2004) "자전거 전용도로의 이용 만족 사례 연구", *한국체육교육학회지*, 한국체육교육학회, 제9권, 제1호, pp105-111

Alaitz Linares, Hernan Gonzalo\_Orden, Marta Rojo(2010), "Applying Road Safety Audits to Bikeways", *Transportation Research Board 89th Annual Meeting*, Transportation Research Board

Klobucar, Michael S, Fricker, Jon D, "Network Evaluation Tool to Improve Real and Perceived Bicycle Safety", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Issue2031, pp.25-33

Luttrell P.E., Greg(2006), "Nonmotor Vehicle-Bicycle Crash Causal Factors Using Self-Reported Data: Initial Exploration", *Transportation Research Board 85th Annual Meeting*, Transportation Research Board

Petrtsch, Theodore Anton, Landis, Bruce W, Huang, Herman F, McLeod, Peyton Stewart, Guttenplan, Martin Crider, Linda B(2007), "Video Simulation of Roadway Bicycling", *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*, Transportation Research Board

Thomas, Natacha Elisabeth(2006), "Safety Performance Functions at Midblock for Bicycle Facilities", *Transportation Research Board 85th Annual Meeting*, Transportation Research Board

(접수일 : 2011. 8. 16 / 심사일 : 2011. 9. 5 / 심사완료일 : 2012. 1. 31)