

다기준의사결정론을 적용한 자전거 과속방지턱 설계기법 연구

Methodology for Designing Bicycle Speed Hump Using Multi-criteria Decision Making Process

주 신 혜 Joo, Shinhye
오 철 Oh, Cheol
최 희 용 Choi, Hee Yong
장 지 용 Jang, Ji Yong

정회원 · 한양대학교 교통공학과 석사수료 (E-mail : noble0401@hanyang.ac.kr)
정회원 · 한양대학교 교통·물류공학과 교수 (E-mail : cheolo@hanyang.ac.kr)
한양대학교 교통공학과 학사과정 (E-mail : blank11@naver.com)
한양대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : sun_cnsrh@naver.com)

ABSTRACT

PURPOSES : Effective speed management is necessary for preventing traffic crashes on the road. Speed hump is known as an effective tool for managing speed. Unlike existing studies which are mainly focused on humps for vehicles, this study proposed a novel method to determine design parameters for bicycle speed humps based on a multi-criteria decision making process.

METHODS : Three objectives including the effectiveness of speed reduction, bicycle safety, and user's comfortability were incorporated into the proposed evaluation framework for determining design parameters. A multi-criteria value function was also derived and utilized as a part of the proposed method.

RESULTS : Extensive simulations and statistical tests show that an integrated bike-box way is identified as the best in terms of operational efficiency and safety.

CONCLUSIONS : It is expected that the outcomes of this study can be a valuable precursor for developing design guidelines for bicycle road and facility.

Keywords

bicycle, speed hump, multi-criteria decision making, bicycle speed, bicycle roll angle

Main Author : Joo, Shinhye
Department of Transportation Engineering, Hanyang University, 1271,
Sa 3-Dong, Sangrok-Gu, Ansan-Si, Gyeonggi-Do, 426-731, Korea
Tel : +82.31.400.4503 Fax : +82.31.436.8147
E-mail : noble0401@hanyang.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

현재 세계 각국의 교통정책은 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발이라는 측면에서 차량 이외에 녹색교통수단에 초점을 두고 있으며, 녹색교통수단으로서 자전거가 각광을 받고 있다. 「자전거 활성화를 위한 자전거도로 네트워크 구상」(신희철, 2009)에 따르면 자전거보

급률을 2009년 16.6%에서 2012년 30%으로 증가, 자전거도로 2009년 9,170km에서 2012년 17,600km으로 증가, 교통수단분담률 2009년 1.2%에서 2012년 5% 증가를 목표로 다양한 자전거 이용활성화를 위한 정책 및 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 주로 장려정책 및 도로등의 인프라 시설구축, 법·제도 측면의 연구가 이루어

어지고 있다. 그러나 자전거 도로 시설기준 및 관련지침은 마련되어 있으나 자전거 도로 구축 시 세부 요소에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

자전거-보행자 겸용도로에서의 자전거 과속주행은 보행자에게 위협을 줄 뿐만 아니라 충돌 시 심각한 부상으로 직결된다. 이처럼 교차지점에서의 자전거 과속은 자전거-보행자, 자전거-자전거, 자전거-차량간 사고위험성을 증대시키기 때문에 이를 미연에 방지할 수 있는 적절한 자전거 속도관리가 필요하다. 자전거 전용 과속방지턱은 자전거의 속도를 제어함으로써 유용한 속도관리 시설이 될 수 있을 것이다. 현재 자전거 도로에 과속방지턱이 설치되어 있는 곳이 있으나 일정한 기준 없이 설치되어 있어 과속방지효과를 확인할 수 없다. 자전거의 효과적인 속도관리를 위한 자전거 과속방지턱 설계기준마련이 시급하다.

따라서 본 연구에서는 자전거-보행자 혼합교통류의 안전증진방안의 일환으로 적정 자전거 과속방지턱 설계를 목적으로 연구를 수행하였다. 과속방지턱의 주 목적은 통행하는 교통수단에 대해 과속주행을 방지하기 위하여 설치하는 물리적인 수직 단차를 두어 진행 속도에 비례하는 물리적 충격을 가함으로써 속도저감 효과를 거두기 위해 설치하는 도로안전시설이다. 과속방지턱의 규격 및 설치간격이 부적합한 경우 속도감소량이 미비하여 과속을 유지할 가능성이 있으며, 또한 저속주행에도 과도한 충격이 발생할 가능성이 있다. 따라서 적정 자전거 과속방지턱 규격을 도출하기 위해서 자전거 GPS(Global Positioning System)속도계를 이용하여 자전거 속도자료를 수집하여 각 Case별 속도저감 효과를 평가하였다. 또한 자전거는 연석, 장애물, 과속방지턱 등 미세한 도로환경변화에도 몸체의 흔들림, 핸들 과대조작유발등의 반응을 일으켜 낙상의 위험이 존재하기 때문에 과속방지턱 설치 시 자전거 이용자의 주행안전성을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 관성센서를 통해 수집된 자전거 이용자의 낙상과 관련한 Roll각을 적용하여 주행안전성을, 설문조사를 통한 주행쾌적성 평가를 수행하였다. 자전거 속도감소효과, 주행안전성, 주행쾌적성의 세 가지 평가기준을 적용한 최적 자전거 과속방지턱 도출을 위하여 자전거 이용자의 주행자료와 전문가의 의견을 반영한 AHP(Analytic Hierarchy Process)기반 다기준 가치함수에 적용하여 분석하였다. 이를 통해 자전거 과속방지턱의 각 Case별 가치를 산출하여 우선순위를 선정하여 주목적인 속도저감효과를 유지하면서 주행안전성 및 주행쾌적성 확보가 가능한 자전거 과속방지턱의 적정 규격을 제시하였다.

본 연구의 2장에서는 자전거 도로 시설 및 과속방지턱에 관한 국내·외 기존문헌을 고찰하였으며, 3장에서는 자전거GPS속도계 및 관성센서를 장착한 자전거를 통해 수집된 속도 및 Roll각자료, 설문조사를 이용하여 다기준 의사결정론을 적용한 자전거 과속방지턱 도출방법론을 제시하였다. 4장에서는 수집된 자료분석을 통한 최적 자전거 과속방지턱을 도출하였으며, 5장에서는 본 연구에 도출된 결론과 향후과제를 제시하였다.

2. 기존문헌 고찰

본 연구에서는 자전거 과속방지턱 설계를 목적으로 자전거 도로의 안전시설 및 과속방지턱에 관한 국내·외 문헌을 고찰하였다.

오창수 등(1999)은 1995년 건설교통부의 「자전거이용시설의 구조 및 시설기준에 관한 규칙」에 제시된 설계속도, 폭, 갓길, 시거, 반경, 종단기울기 등의 기준에서 시설기준의 세부항목을 단계계획의 특성과 연계하여 문제점을 분석하고 개선안을 제시하였다. 행정안전부, 국토해양부(2010)에서는 자전거 도로의 설계 지침 및 조명시설, 난간, 시설유도시설, 표지등의 자전거도로 안전시설등에 대한 설치 지침을 제시하였다. Furth et al.(2008)는 차량으로부터 분리된 어린이 자전거 이용자 및 “Easy Rider”를 위한 도로상의 자전거시설 설계기준을 제시하였다. 추월차량, 주차, 회전차량등과 같은 Stress Mechanism을 분석하여 Stress를 줄일 수 있는 교통량, 속도, 차로폭 등의 교통 및 도로 조건을 제시하였다. Hunter et al.(2009)는 교차로 주변 엇갈림 구간에서 자전거도로의 포장색과 표지로 인한 자전거 이용자 및 차량운전자의 행동변화에 관한 연구를 수행하였다. Duthie et al.(2010)은 자전거시설의 유형과 폭, 교통량 보정, 주차회전율, 토지이용, 차량-자전거 상호관계 등의 설계요소의 영향을 조사하였다.

문무창 등(1994)은 국내에 일정한 기준을 갖춘 과속방지턱이 설치된 지점에 대하여 교통안전 및 차량소통에 대한 영향을 분석하여 과속방지턱 설계기준안을 제시하였다. 금기정(1996)은 국내에 설치되어 있는 과속방지턱의 실질적 효과분석과 함께 설치 및 관리상의 문제, 국내 교통환경에 적합한 과속방지턱 개발방향을 제시하였다. 금기정 등(1999)은 국내 적합한 규격의 재고에 초점을 맞추어 과속방지턱의 실험방법을 구축함과 동시에 과속방지턱의 폭과 높이에 따른 충격량 실험을 통하여 적절한 설치기준을 검토하였다. Fwa and

Liaw(1992)는 과속방지턱 통과 시 차량의 85th percentile 속도와 수직가속도를 이용하여 과속방지턱의 설계를 기하학측면에서 평가하였다. Pau and Angius(2001)은 Cagliari에 기 설치된 23개의 과속방지턱에 대하여 목적, 설치위치, 횡단 시 효과 등에 대하여 평가하였다. Antonelli et al.(2005)는 속도 profile을 이용하여 Rio Cuarto주변의 과속방지턱의 속도저감 효과를 평가하였다.

기존문헌 고찰결과, 자전거도로의 설계기준은 마련되어 있으나 세부적인 도로안전시설에 대해서는 연구가 미비한 실정이다. 차량 과속방지턱과 관련한 연구는 속도저감효과측면에서 설계기준 및 평가방법론을 제시하였다. 본 연구에서는 속도저감, 자전거 주행안전성, 주행쾌적성을 고려한 자전거 과속방지턱 설계기준을 제시하는데 차별성을 부여하고 연구를 진행하였다.

3. 분석방법론

3.1. 자전거 과속방지턱 적정규격 산출방법론

자전거 과속방지턱의 적정 규격 선정을 위해 평가항목을 속도저감과 주행안전성 확보, 주행쾌적성 확보라는 세 가지 평가지표를 선정하였다. 과속방지턱의 주목적은 통행하는 교통수단에 대해 과속주행을 방지하기 위하여 설치하는 물리적인 수직 단차를 두어 진행 속도에 비례하는 물리적 충격을 가함으로써 속도저감 효과를 거두기 위해 설치하는 도로안전시설이다. 과속방지턱의 규격 및 설치간격이 부적합한 경우 속도감소량이 미비하여 과속을 유지할 가능성이 있으며, 또한 저속주행에도 과도한 충격이 발생할 가능성이 있다. 따라서 적정 자전거 과속방지턱 규격을 도출하기 위해서 자전거 GPS(Global Positioning System)속도계를 이용하여 자전거 속도자료를 수집하여 각 Case별 속도저감 효과를 평가하였다. 또한 자전거는 연석, 장애물, 과속방지턱 등 미세한 도로환경변화에도 몸체의 흔들림, 핸들 과대조작 유발 등의 반응을 일으켜 낙상의 위험이 존재하기 때문에 과속방지턱 설치 시 자전거 이용자의 주행안전성을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 관성센서를 통해 수집된 자전거 이용자의 낙상과 관련한 Roll각을 적용하여 주행안전성을, 설문조사를 통한 주행쾌적성 평가를 수행하였다.

각각의 기준들을 동시에 고려하여 최적의 자전거 과속방지턱을 선정하기 위해 '다기준 의사결정기법(Multi-Criteria Decision Making: MCDM)을 사용하였다. 최

적의 대안을 선정하는 의사결정 과정에서 어느 하나의 기준이 아닌 여러 기준이 고려되어야 하는 경우를 '다기준 의사결정'이라 한다. 즉, 여러 개의 상충하는 목적을 고려해야 하는 의사결정으로써 상충하는 목적을 어떻게 절충할 것인가에 관한 의사결정방법이다. 다기준 의사결정방법은 문제의 정의 및 계층구조설정, 가치함수 선정, 상대적 중요도(가중치)산출, 가치함수를 통한 대안 선택의 과정으로 진행될 수 있으며, 다기준 의사결정의 자세한 내용은 참고문헌(Massimiliano Pau et. al., 2001)에 서술되어 있다.

3.1.1. 의사결정계층

의사결정기법의 적용에서 첫 번째 단계는 상호 관련되어 있는 여러 의사결정 사항들의 계층화이다. 계층의 최상층에는 가장 포괄적인 의사결정의 목적이 위치하게 되며, 그 다음의 계층들은 의사결정의 목적에 영향을 미치는 다양한 요소들로 구성된다. 이들 요소들은 낮은 계층에 있는 것일수록 구체적인 것이 된다. 한 계층 내의 각 요소들은 서로 비교 가능한 것이어야 하며, 계층의 최하층은 선택의 대상이 되는 여러 의사결정의 대안들로 구성된다.

3.1.2. 가치함수

가치함수는 의사결정자의 선호구조를 표현하는 함수이다. 즉, 대안간의 선호도 차이가 존재하면 선호를 나타내는 가치함수가 존재하고, 또한 가치함수의 값의 크기 순서에 따라 대안 간의 선호순서가 존재하게 된다.

본 연구에서는 각 Case별 자전거 과속방지턱의 가치를 산출하기 위하여 Kirkwood(1997)가 제시한 근사적으로 사용할 수 있는 지수가치함수를 사용하였다(C. Kirkwood, 1997).

- 증가함수일 때 가치함수

$$V(x) = \begin{cases} \frac{1 - e^{-c(x-x^0)}}{1 - e^{-c(x^* - x^0)}} & c \neq 0 \\ \frac{x - x^0}{x^* - x^0} & c = 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} 1(a) \\ 1(b) \end{matrix}$$

- 감소함수일 때 가치함수

$$V(x) = \begin{cases} \frac{1 - e^{c(x-x^0)}}{1 - e^{c(x^* - x^0)}} & c \neq 0 \\ \frac{x - x^0}{x^* - x^0} & c = 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} 2(a) \\ 2(b) \end{matrix}$$

여기서, x^* 는 가장 선호하는 값, x^0 는 가장 선호하지 않는 값을 나타내며, c 는 상수로서 함수의 곡률정도를 의미하며 Kirkwood(1997)에서 제시한 수표를 이용하여 적용 가능한 값을 선택할 수 있다(C. Kirkwood, 1997). 가치함수는 한 개의 대안에 따른 가치를 나타내므로 다목적의 가치함수를 구하기 위해서는 주로 단일 속성의 가치함수를 더한 형태인 덧셈 가치함수(Additive value function)를 사용한다. 단일속성 가치함수에 각 속성에 대한 가중치를 산출하여 덧셈 가치함수를 생성할 수 있다.

$$V(x, y, z) = w_x V(x) + w_y V(y) + w_z V(z) \quad (3)$$

3.1.3. AHP를 이용한 가중치 산정

다기준 의사결정 문제를 해결하기 위해 덧셈 가치함수를 사용하려면 단일 가치함수와 가중치를 산출해야 한다. 가중치는 평가항목 간 상대적 선호도를 나타내는 척도이다.

본 연구에서는 단일속성 가치함수의 가중치를 산출하기 위하여 AHP(계층화분석법: Analytic Hierarchy Process, Saaty et al.(1979))에서 사용되는 쌍대비교를 통한 설문조사 방법을 이용하였다(T. L. Saaty et. al., 1979). 쌍대비교과정에는 평가자의 판단을 어의적인 표현으로 나타내고 이에 상응하는 적절한 수치를 부여하는 수량화과정이 포함된다. AHP기법에서는 Miller(1956)에서 제시한 “인간은 7±2개의 대상을 혼동이 없이 동시에 비교 가능하다”는 실험결과를 기초로 9점 척도를 이용하여 쌍대비교를 실시한다(T. L. Saaty et. al., 1979).

한 계층 내에서 비교 대상이 되는 n 개 요소의 상대적인 중요도를 $w_i(i=1,2,\dots,n)$ 라 하면, 가중치를 산출하기 위한 쌍대비교행렬 A 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & \dots & w_2 / w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix}$$

행렬 A 에 평가항목 간 상대적 중요도를 나타내는 가중치인 열벡터 w 를 곱하게 되면 Eq. (4)의 관계를 갖는다.

$$\begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & \dots & w_2 / w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

이것은 선형대수론에서의 고유치방법에 의하여,

$$\begin{aligned} A \cdot w &= \lambda_{\max} \cdot w \\ w &= [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n] \\ \lambda_{\max} &= \text{행렬 } A \text{의 최대 고유치} \end{aligned} \quad (5)$$

n 개의 연립방정식 체계에서 non-zero해를 구하는 고유치 문제가 된다. 이 작업은 $|A - \lambda I| = 0$ 을 만족시키는 λ_{\max} 의 값을 구하는 특성방정식을 푸는 과정이다. AHP에서는 일반적으로 고유벡터를 통해 얻어지는 가중치(우선순위 벡터:priority vector)를 기하평균법이나 승수법을 사용하여 계산한다. n 의 크기가 3 이하인 경우에는 기하평균법을 이용하여 우선순위벡터를 간단하게 구할 수 있으며 그 결과는 승수법을 이용한 방법과 동일하다. λ_{\max} 는 항상 n 보다 크거나 같기 때문에 계산된 λ_{\max} 가 n 에 근접하는 값일수록 쌍대비교행렬 A 의 수치들이 일관성을 가진다고 말할 수 있다. 이러한 일관성의 정도는 다음과 같이 일관성지수(Consistency index: CI, Eq. (6))와 일관성 비율(Consistency Ratio: CR, Eq. (7))을 통하여 구할 수 있다. 일관성 비율의 수식에 있는 RI는 난수지수(Random Index)를 의미하며, 임의로 설정한 역수행렬의 평균 일관성지수를 산출한 값으로 일관성의 허용한도를 나타낸다. 일관성 지수를 통해 산출된 일관성 비율이 10% 이내에 들 경우, 응답자의 설문조사 수치, 즉 해당 쌍대비교행렬은 일관성이 있다고 할 수 있다.

$$\text{일관성 지수 (CI)} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (6)$$

$$\text{일관성 비율 (CR)} = (CI / RI) \times 100\% \quad (7)$$

본 연구에서는 다기준 의사결정방법은 문제의 정의 및 계층구조 설정, 가치함수 선정, 상대적 중요도(가중치)산출, 가치함수를 통한 대안 선택의 과정으로 진행될 수 있으며, 본 연구에서는 Fig. 1의 순서로 최적 자전거 과속방지턱 선정을 위해 가치함수를 이용한 의사결정 방법을 적용하였다.

자전거 과속방지턱 설계를 위하여 과속방지턱의 본래 목적인 속도저감효과와 이용자의 안전을 고려한 주행안전성, 이용자 주행쾌적성 만족도의 세가지 평가지표를 선정하여하였다. 자전거GPS속도계에서 수집된 속도자료를 이용하여 속도 감소정도를 평가하였으며 관성센서에서 수집된 Roll각 자료를 이용하여 주행안전성 확보를 평가하였다. 또한, 이용자 주행쾌적성 만족도 평가를 위해 설문조사를 수행하였다. 본 연구의 방법론을 적용하

여 자전거 과속방지턱 설계를 위한 가치함수를 도출하고 비교평가를 통해 최적 자전거 과속방지턱을 제시하였다.

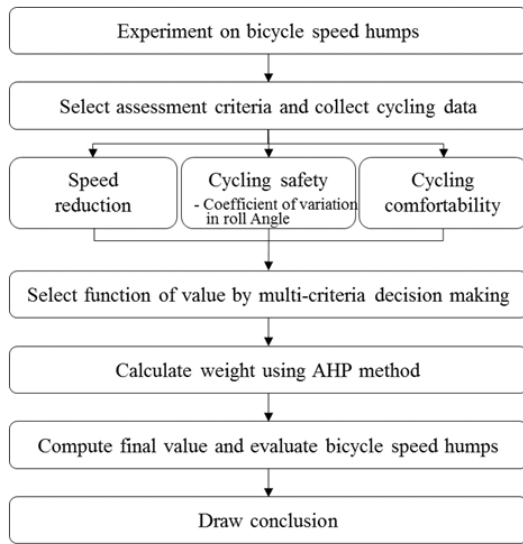


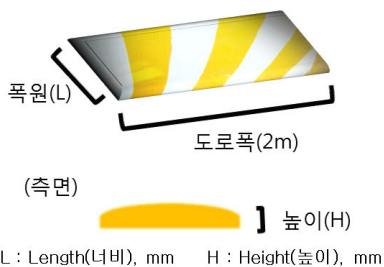
Fig. 1 Proposed Study Procedure

3.2. 자료수집

본 연구에서는 한양대학교 교내의 자전거-보행자 겸용도로를 자료수집구간으로 선정하고 폭원 및 높이가 다른 4개의 단일 자전거 과속방지턱을 설치하였다. Fig. 2에 자전거 과속방지턱 규격에 대한 설명을 나타내었으며, 4개의 Case 규격은 Table 1에 제시하였다. 본 연구에 사용된 자전거GPS속도계는 1초 간격으로 수집되며 매 초마다 이동한 거리를 이용하여 속도를 산출한다. 또한 관성센서는 1/100초 단위로 자전거의 가속



(a) Example of Bicycle Speed Hump(Case 1: L500-H50)



(b) Drawing of Bicycle Speed Hump

Fig. 2 Example of Bicycle Speed Hump

Table 1. Description of Bicycle Speed Hump Cases

Case	Size
Case 1	L500 + H50
Case 2	L600 + H60
Case 3	L1000 + H75
Case 4	L2000 + H75

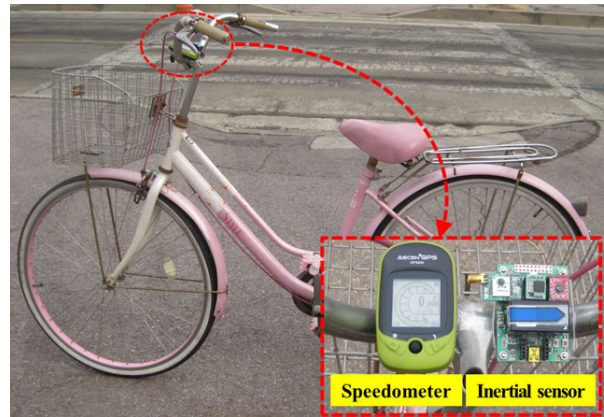


Fig. 3 Equipment for Data Collection

도 및 각속도의 측정이 가능하다. 자전거의 주행방향을 기준으로 X축(주행방향), Y축(횡방향), Z축(종방향)가 속도 및 각속도가 수집된다. 본 연구에서는 관성센서에서 수집된 자료중 자전거 이용자의 낙상과 관련한 Roll각을 이용하였다. Fig. 3에서는 자료수집에 사용된 자전거GPS속도계 및 관성센서를 제시하였다.

자전거 과속방지턱이 교통안전 시설물로서 갖추어야 할 기본적인 조건으로는 자전거의 주행속도 억제와 함께 주행안전성 확보이다. 주행중인 자전거 이용자는 과속방지턱과 같은 미세한 도로환경변화에도 직접적인 영향을 받아 사행운동의 폭 증가, 자전거 몸체의 불안정, 핸들의 과대조작등의 반응으로 이어진다. 이러한 반응은 차량에서는 발생할 수 없는 낙상(Falling)이벤트가 발생할 가능성이 높다. 그러므로 자전거 과속방지턱 설치 시, 자전거 주행안전성을 함께 고려하여 설치하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 조건을 만족시키기 위해 규격(폭원 및 높이)에 따른 속도저감효과와 함께 자전거의 주행안전성을 함께 평가하였다. 자전거의 속도저감효과는 속도변화를 통해 평가하였다. 자전거 주행안전성은 낙상이벤트를 대상으로 하여 지면의 수직선에서 자전거가 기울어진 정도를 표현하는 각도인 x축 각속도인 Roll각 자료를 수집하여 연구를 수행하였다. Roll각의 변동이 클수록 자전거의 몸체를 중심으로 좌우로 자주 흔들리게 되어 불안정하게 주행하기 때문에 본 연구에서는 Roll각의 변동계수를 이용하여 변동계수

함수를 더한 형태인 덧셈 가치함수의 형태로의 전환이 필요하다.

4.2. 가중치 산출

가치함수를 덧셈가치함수로 변환하는 과정에서 각 가치별 선호도에 따른 가중치의 산출이 필요하다. 본 연구에서는 전문가의 설문조사를 통해 가중치를 산출하는 AHP기법을 사용하였으며, 이를 위하여 18명의 교통 분야 전문가들에게 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 Table 3과 같이 속도감소량, 주행안전성, 주행쾌적성의 3가지를 쌍대비교 형식을 통해 9점 척도로 조사하였고, 각 응답자의 응답일관성 검증을 하기 위해 10% 미만의 CR값이 산출된 전문가의 의견을 반영하여 가중치를 산출하였다. 10% 이상의 CR값이 산출된 응답자 2명을 제외한 16명의 자료를 기하평균법으로 계산하여 가중치를 산정하였다.

여러 전문가의 설문조사 결과를 통합하기 위하여 기하평균법을 사용하였다. 속도감소-주행안전성 문항에서 전문가들의 응답수치의 기하평균값은 0.332로 계산되었고, 주행안전성-속도감소의 기하평균값은 속도감소-주행안전성 수치와 역수 관계인 3.016가 나왔다. 마찬가지로 방식으로 계산된 각 항목의 수치는 Table 4의 각 평가지표의 행렬을 구성하며, 각 행 별로 기하평균하여 그 비율에 따라 가중치를 산출하였다.

Table 4. Computation of Weight

Assessment criteria	Speed reduction	Cycling safety	Cycling comfortability	Geometric average	Weight
Speed reduction	1	0.332	0.909	0.671	0.195
Cycling safety	3.016	1	2.788	2.033	0.592
Cycling comfortability	1.100	0.359	1	0.733	0.213

가중치 산출 결과 주행안전성이 0.592로 가장 높은 중요도를 가지는 것으로 나타났으며, 속도감소는 0.195, 주행쾌적성은 0.213의 가중치를 가지는 것으로 산출되었다. 가중치를 사용한 덧셈 가치함수는 Eq. (8)과 같다.

$$\begin{aligned}
 V(x,y,z) &= 0.195 \left(\frac{1 - e^{-0.21(x-0.10)}}{1 - e^{-2.29}} \right) + 0.592 \left(\frac{1 - e^{0.78(y-1.81)}}{1 - e^{-0.91}} \right) \\
 &\quad + 0.213 \left(\frac{1 - e^{0.14(z-1)}}{1 - e^{1.09}} \right) \quad (8)
 \end{aligned}$$

- x : 속도감소효과
- y : 주행안전성
- z : 주행쾌적성

4.3. Case별 자전거 과속방지턱 평가

각 평가지표별 수집된 속도감소량, Roll각 변동계수, 주행쾌적성 설문결과를 이용하여 Eq. (8)에 적용하여 자전거 과속방지턱을 비교·평가하였다. 각 Case별 가치를 산출한 후 최종가치에 따라 우선순위를 도출하였다.

과속방지턱의 본래 목적인 속도감소효과는 각 Case 별로 큰 차이를 나타내지 않았으나 이용자측면의 주행안전성 및 주행쾌적성은 각 Case간 가치 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 주행안전성 및 주행쾌적성이 가장 좋은 Case 4의 최종가치가 0.74로 가장 큰 최종가치를 나타내는 것으로 도출되었다. 이는 과속방지턱의 높이(H)보다 폭원(L)이 주행쾌적성에 큰 영향을 미치는 요소로 자전거 과속방지턱 설계 시, 이용자의 주행안전성 및 주행쾌적성 확보를 위하여 폭원(L)을 고려해야 할 것으로 판단된다. 분석결과를 Table 5에 제시하였다.

Table 5. Evaluation Result of Bicycle Speed Hump

Case	Speed reduction	Cycling safety	Cycling comfortability	Final value	Priority
Case 1	0.46	0.72	0.31	0.58	3
Case 2	0.65	0.60	0.33	0.55	4
Case 3	0.49	0.69	0.51	0.61	2
Case 4	0.50	0.81	0.75	0.74	1

급격한 속도감소 시 속도감소효과는 크나, 주행안전성 및 주행쾌적성은 상반된 결과를 나타내므로, 본 연구의 방법론은 향후 자전거 과속방지턱 설계 및 설치 시, 3가지 평가항목의 절충된 대안선정에 활용 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 자전거-보행자 혼합교통류의 안전증진방안의 일환으로 적정 자전거 과속방지턱 설계를 목적으로 적정 자전거 과속방지턱 규격을 도출하였다. 적정 자전거 과속방지턱 도출을 위해 속도저감과 주행안전성 확보, 주행쾌적성 확보라는 세 가지 평가항목을 설정하였다. 차량 과속방지턱 규격 평가 시 속도감소량을 통한 속도저감효과와 수직가속도를 이용하여 주행속도에 따른 충격량을 통한 물리적 안정성을 평가한다. 그러

나 자전거의 경우 수직운동으로 인한 위험보다는 과속 방지턱으로 인한 자전거 몸체의 좌우흔들림, 즉 자전거 몸체가 좌우로 기울어져 낙상의 위험이 있다. 따라서 본 연구에서는 자전거 주행안전성 평가항목을 Roll각의 변화정도로 설정하였다. 또한, 이용자의 선호도를 반영하기 위하여 주행쾌적성 설문조사를 수행하였다. 자전거 GPS속도계를 이용하여 자전거 속도자료를, 관성센서를 통하여 자전거 낙상과 관련한 Roll각 자료를 수집하여 자전거 이용자의 주행자료와 전문가의 의견을 반영한 AHP기반 다기준 가치함수에 의하여 분석되었으며 이를 통해 자전거 과속방지턱의 각 Case별 가치를 산출하여 우선순위를 선정하였다.

최종가치에 따라 Case 4가 우선순위 1로 선정되었다. 과속방지턱의 본래 목적인 속도감소효과는 각 Case 별 큰 차이를 나타내지 않았으나 이용자측면의 주행안전성 및 주행쾌적성은 각 Case간 가치 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 과속방지턱의 높이(H)보다 폭원(L)이 주행쾌적성에 큰 영향을 미치는 요소로 판단되며, 자전거 과속방지턱 설계 시, 이용자의 주행안전성 및 주행쾌적성을 확보를 위하여 폭원(L)을 고려해야 할 것으로 판단된다.

본 연구의 방법론은 실험을 통한 자전거 이용자의 주행자료를 수집하여 이용자의 반응을 반영하며, 또한 이용자 설문 및 전문가의 의견을 모두 수렴하는 체계적인 분석방법을 제시함에 그 의의를 가진다.

본 연구에서 제시한 방법론 및 결과에 대한 높은 신뢰성을 확보하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 24~28세 피실험자를 대상으로 연구를 수행하였기 때문에 다양한 연령층의 피실험자를 선정하여 보다 많은 샘플수를 확보하고 이를 이용한 분석이 수행되어야 할 것이다. 둘째, 본 연구의 대상구간이 자전거-보행자 겸용도로이므로 자전거 전용도로 등 다양한 대상구간에 본 연구에서 제시한 방법론을 적용하여 각 구간특성에 적합한 주행속도 및 과속방지턱 규격선정이 필요하다. 셋째, 가상과속방지턱(Image hump)과 같이 자전거에 물리적인 충격을 가하지 않으면서 속도감속을 유도할 수 있는 다양한 노면표시에 대한 실험을 통해 최적의 자전거 속도관리시설 대안 도출이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 자전거 과속방지턱 설계기법은 자전거 도로의 시설기준 마련 시 유용하게 활용가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

- 강맹규(2009), “의사결정의 실제”, 희중당
- 「도로안전시설 정비 및 지침개정연구」, 국토해양부, 2008
- 신희철(2009), “교통으로 여는 녹색 미래-자전거 활성화를 위한 자전거 도로 네트워크 구상”, 행정안전부
- 「자전거이용시설 설치 및 관리지침」, 행정안전부, 국토해양부, 2010
- C. Kirkwood, *Strategic Decision Making: Multiobjective Decision Analysis with Spreadsheets*, Duxburg Press, Belmont, CA, 1997.
- Fwa, T F, Liaw, C Y(1992), “Rational Approach for Geometric Design of Speed-Control Road Humps”, *Transportation Research Record, Issue 1356, Transportation Research Board*, pp.66-72
- G. A. Miller, “The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information,” *Psychological Rev*, vol. 63, pp.81-97, Mar. 1956.
- Geum, G. J.(1996), “A Study on the Installation Effect Analysis and for Future Develop with Vertical Acceleration of Speed Hump”, *Journal of the Korean Society of Transportation*, Vol.14, No.4, Korean Society of Transportation, pp.77~89
- Geum, G. J., No, G. S., Kim, Y. S.(1999), “A study on the Hump of Installation Standard by the Vertical Acceleration test”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.19, No. III -4, pp.541~551
- Jennifer Duthie, John F. Brady, Alison F. Mills, Randy B. Machemehl(2010), “Effects of On-Street Bicycle Facility Configuration on Bicyclist and Motorist Behavior”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Issue 2190, pp 37~44
- Massimiliano Pau, and Silvano Angius(2001), “Do speed bumps really decrease traffic speed? An Italian experience”, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 33, Issue 5, pp.585-597
- Moon, M. C., Chang, M. S.,(1994), “Development of Guidelines for Installing Speed Control Humps”, *Journal of the Korean Society of Transportation*, Vol.12, No.1, Korean Society of Transportation, pp.131~149
- Oh, C. S., Lee, J. C., Choi, J. N., Park, H. H., Park, D. R., Kim, H. G., (1999), “On the Institution Standard of Bikeway”, *Proceedings of the KOR-KST Conference 36th*, Korean Society of Transportation, pp.275~280
- Peter G. Furth(2008), “On-Road Bicycle Facilities for Children and Other “Easy Riders”: Stress Mechanisms and Design Criteria”, *Transportation Research Board 87th Annual Meeting*,

Transportation Research Board

Sergio F. Antonelli, Nelson G. Cotella, Ariel H. Manelli(2005),
“Humps and Bumps: Correlation Among Their Geometric
Profile, Surpass Speed and Dynamic Effects on the Vehicle and
Their Occupants”, *3rd International Symposium on Highway
Geometric Design*, Transportation Research Board

T. L. Saaty and E. Erdener, “A new approach to performance

measurement - the analytic hierarchy process,” *Design Methods
and Theories*, vol. 13, no.2, pp. 64-72, 1979.

William Wesley Hunter, Raghavan Srinivasan, Carol Martell(2009),
“Green Bike Lane Weaving Area in St. Petersburg, Florida:
Evaluation”, *Transportation Research Board 88th Annual
Meeting*, Transportation Research Board

(접수일 : 2012. 1. 5 / 심사일 : 2012. 1. 8 / 심사완료일 : 2012. 6. 7)