

하천변 자전거도로의 용량 분석 방법론 연구

Study on Capacity Analysis Methodology for Riverside Bike-Exclusive Road

전우훈 Jeon, Woo Hoon
이영인 Lee, Young-Ihn
양인철 Yang, Inchul

정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : cwmoon@kict.re.kr)
서울대학교 환경대학원 교수 (E-mail : yilee@snu.ac.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : ywinter75@kict.re.kr)
과학기술연합대학교대학원 교통물류 및 ITS공학과 부교수

ABSTRACT

OBJECTIVES : The objective of this study is to propose a capacity analysis methodology for riverside bike-exclusive roads.

METHODS : Three steps were performed to develop a methodology to estimate bikeway capacity. First, we reviewed previous studies on the vehicle-road capacity analysis and proposed their applicability to bikeways. Second, two assumptions were made based on the traffic flow characteristics of bikeways: (1) the capacitated state in bikeways occur within a bicycle platoon, and (2) a bicycle platoon consists of more than three bicycles running in close proximity. In addition, it is assumed that the mean time headway of a bicycle platoon represents the characteristics of the platoon. The normality of the mean-time headway of a bicycle platoon calculated using the central limit theorem leads to the development of a method that estimates the riverside bikeway capacity using data collected from two different riverside bike-exclusive roads (Han-river and Anyangcheon). We used a location-fixed video camera to record videos of running bicycles and wrote a special-purpose software program to code the time-headway data from the videos.

RESULTS : Time headways from 189 bicycle platoons were analyzed. The estimated mean-time headway of the capacitated bicycle flow is 1.01 s, from which the capacity of the bikeway is found to be 3578 vehicles/h.

CONCLUSIONS : The proposed method that estimates bikeway capacity could be applicable to the analysis of short-range congested area rather than planning the number of lanes. In other words, it determines the sections that are temporarily highly congested and proposes appropriate strategies to mitigate the congestion.

Keywords

Bikeway, Capacity, Bicycle Time Headway, Bicycle Platoon, Central Limit Theorem

Corresponding Author : Yang, Inchul, Senior Researcher
Highway & Transportation Research Institute, Korea Institute of Civil
Engineering and Building Technology, 283 Goyangdae-ro,
Ilseon-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0489 Fax : +82.31.910.0746
E-mail : ywinter75@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Oct. 01, 2016 Revised Nov. 25, 2016 Accepted Nov. 29, 2016

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

자동차가 국내에 도입된 이후 1970년대 들어서 폭발적인 증가를 보이면서, 이후 자전거는 교통수단으로서의 기능을 점차 상실하게 된다. 특히 자동차중심의 도로

정책이 수립 및 시행됨에 따라 도로는 자동차의 전용공간으로 인식되어 자전거의 차도 주행 안전성이 저하되었다. 2000년대 이후 자전거의 성능이 향상되면서 레저 중심의 자전거이용자가 점차 늘어나게 되었고, 자전거 교통량이 늘어감에 따라 자전거 인프라 확대에 대한

요구 또한 증가하게 되었다.

2000년대 후반 4대강사업을 포함한 대규모 국책사업에 자전거도로가 포함되면서 자전거인프라는 급격히 확충되었으며, 자전거이용자 역시 폭발적으로 증가한 계기가 되었다. 또한 최근에 일부 사업계획이 조정되거나 취소되기는 하였으나, 전국적으로 자전거도로는 4대강 뿐만 아니라 섬진강과 주요 대도시 접근로 등에서 구축되었다. 자전거수요가 가장 많은 서울시내의 한강과 안양천, 중랑천 등의 하천변 자전거도로에는 봄가을에 주말뿐만 아니라 주중에도 많은 자전거동호회와 가족 중심의 자전거이용자가 자전거도로를 이용하여 레저를 즐기고 있다. 특히 장거리통행을 목적으로 하는 자전거동호회는 한강에서 시작하여 남한강과 북한강을 거쳐 금강과 낙동강까지 라이딩을 즐기고 있다.

하천변의 자전거도로는 주로 일방향 1.5m에서 2m 정도의 폭으로 이루어져 있으며, 자전거의 점유폭과 여유폭을 감안할 때 1.5m에서의 차로 내에서는 정상적인 추월이 용이하지 않다. 하지만 속도가 높은 자전거동호회와 비교적 저속인 가족 중심의 자전거이용자는 주행속도 차이로 인해 끊임없이 추월이 발생하게 된다. 그로 인해 전체 자전거교통류는 불안정해지고 후면충돌과 측면충돌 등의 교통사고가 지속적으로 증가하고 있다. 하지만 자전거교통류에 대한 연구는 국내에서는 거의 이루어지지 않고 있으며, 국외에서도 도시부 자전거도로를 중심으로 일부 이루어지고 있다. 하천변 자전거도로는 기능적으로 연속류에 해당하며, 교통류에 대한 기초적인 특성분석이 이루어져야 전체 자전거교통류의 안정성을 파악할 수 있다. 또한 하천변 자전거도로는 현재 국내에서 자전거교통량이 가장 많고 그에 따른 교통사고도 급속히 증가하고 있어 본 연구의 대상구간으로 선정하였다.

기초적인 교통류 특성분석에서 가장 많이 사용되는 지표 중의 하나는 도로용량이다. 일반적으로 도로용량이란 주어진 조건 하에서 정해진 시간에 그 지점을 통과할 수 있는 최대 교통량이다(Do, 2004). 도로용량을 구하는 방법은 첫째, 차두시간 분포를 이용하여 구하는 방법과, 둘째, 실제 교통량의 관측자료를 이용하여 구하는 방법이 있다. 차두시간 분포를 이용하는 방법은 각 차량간 차두시간 또는 거리를 사용하여 도로용량을 산정하는 방법이다. 차두시간 분포를 이용하는 방법은 용량상태에서 모든 차량의 통행속도는 제약을 받는다는 가정을 기반하고 있다. 실제 교통량의 관측자료를 이용하는 방법은 용량상태에 도달하는 교통류를 측정하여 구하는

방법으로, 실제 도로용량을 산출할 때 가장 많이 사용되는 방법이다. 만약 자전거교통류에서 용량상태의 차두시간이 현장에서 관측된다면, 도로구간의 용량은 쉽게 구해질 수 있다. 하지만 자전거도로는 자동차도로와는 달리 현실적으로 용량상태를 관측하기가 쉽지 않으므로 도로구간의 용량을 구하기는 쉽지 않다. 반면 차두시간은 현장에서 조사가 가능하므로 차두시간 분포를 이용하여 용량을 추정할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 하천변의 연속류 자전거도로에서의 용량을 산출하는 방법론을 제시하고자 한다. 방법론 구축을 위해 기존의 용량분석 방법을 이용하여 자전거도로에 적용방법을 고찰하고 현장데이터 수집을 위한 기본적인 가정을 제시하였다. 또한 제시된 방법론의 현장 적용성을 판단하기 위해 실제 현장자료를 분석하여 국내 하천변 자전거도로의 용량을 추정하였다.

1.2. 연구의 방법

본 연구는 국내 하천변의 자전거도로에 대한 용량을 산출하기 위한 방법론을 제시하였다. 기존 도로용량 산출방법의 검토를 통해 자전거도로에 적용가능성 및 가정을 제시하였고, 실제 국내 하천변 자전거교통류의 데이터를 수집하여 자전거도로 용량을 추정하였다.

2. 기존문헌 고찰

2.1. 선행연구 검토

자전거도로의 용량분석에 대해서는 1970년대부터 국외를 중심으로 조금씩 연구가 이루어져 왔으며, 국내에서도 유사한 연구가 수행된 바 있다. 현재 도로용량편람에서는 자전거도로를 자전거전용도로와 겸용 등의 구분구간과 신호교차로, 도시가로상의 자전거도로로 구분하여 각 유형별 효과척도와 서비스수준을 제시하고 있으나, 본 연구에서 다루고자 하는 용량은 신호교차로 부분에서 포화교통류율과 유효녹색시간의 주기에 대한 비율을 이용한 방법만을 언급하고 있다. 따라서 본 연구에서는 연구의 범위를 하천변 자전거도로로 국한하였고, 대부분의 자전거도로용량 연구에서 다루고 있는 자전거도로 폭에 따른 용량을 검토하고자 한다. Raksuntorn and Khan(2003)은 신호교차로 접근로(On Street)의 자전거도로 포화교통유율(Saturation Flow Rate)에 대해 현장실험을 통해 제시하고자 하였다. 특히 자전거교통의 특성상 차로폭에 따라 1대 이상의 자전거 대기행렬이 존재한다는 점에 착안하여 보조차로(Sublane)의

개념을 도입하였다. 3.6m(12ft)의 차로폭과 2.4m(8ft)의 자전거폭을 가진 교차로에서 포화차두시간(Saturation Headway)은 0.8초로 관측되었고, 이를 통해 포화유율은 4,500대/시로 산정되었다. 또한 자동차와 자전거의 이격거리를 측정하여 2.4m의 자전거도로에는 3대의 자전거가 동시에 대기할 수 있고 1.8m(6ft)의 자전거도로에는 2대의 자전거가 대기하는 것으로 나타났다. 우리나라의 자전거도로와 유사한 폭(1.53m)에서는 3,000대/시로 산출되었다. 위 연구에서는 자전거도로의 폭과 보조차로의 수에 따른 포화유율을 제시하였으며, 각 보조차로당 포화유율은 1,500대로 제시하였다.

Li et al.(2014)은 기존의 자동차교통류에서 적용되는 속도, 교통량, 밀도 그래프를 이용하여 자전거교통류의 용량을 제시하고자 하였다. 자전거교통류는 혼잡교통류(Congested Traffic Flow)가 관측되지 않으므로, 차로가 감소되어 병목현상이 발생하는 4개 도로구간의 교통류를 측정하였다. 데이터의 수집방법은 일정거리를 띄운 2개 지점에서 통과시간을 측정하여 속도를 조사하고, 누적곡선(Cumulative Curve)을 도식화하여 동일시간의 차이를 측정하여 밀도를 조사하고 기울기를 측정하여 교통량을 수집하였다. 교통량의 집계시간은 5초, 15초, 30초, 60초 단위로 집계하여 비교하였고, 15초를 연구를 위한 집계단위로 선정하였다. 교통량-밀도 그래프를 이용하여 자전거도로의 용량을 측정하였으며, 1차로에서는 3,960대/시가 산출되었고, 2차로에서는 8,100대/시가 산출되었다.

이 외에도 Homburger(1976)는 미국 캘리포니아의 Davis에서 시행한 연구에서 3.3ft(1m)의 자전거도로에서 용량은 거의 2,600대/시에 이르는 것으로 제시하였다. Ferrara(1975)는 자전거도로 폭에 따라 용량을 시뮬레이션을 통해 계산하였으며, 1.2m(4ft)에서 3,060대/시의 용량이 산출되었다. 스웨덴의 용량편람(Vagverk, 1977)에서는 자전거도로 계획에 사용되는 용량을 1.2m 기준으로 1,500대/시를 제시하고 있으며, 캐나다의 Navin(1994)는 2.5m 기준으로 용량을 10,000대/시로 제시하고 있다. 중국의 Liu et al.(1993)은 1m의 자전거도로 폭을 기준으로 용량을 1,800대/시에서 2,100대/시로 제시하고 있으며, 네덜란드의 Botma(1995)는 2m의 자전거도로 폭에서의 용량은 6,400대/시, 3m폭에서의 용량은 9,600대/시로 제시하고 있다. 또한 네덜란드의 Stembord(1991)는 0.78m의 자전거도로 용량을 3,000대/시에서 3,500대/시로 제시하고 있다.

국내에서 Sohn et al. (2002)은 자전거교통류의 연속류 상태에서의 속도와 밀도, 교통량 관계를 통해 용량을 제시하고, 단속류 상태에서의 포화교통유율을 제시하고자 하였다. 기존의 자전거도로에서는 자전거이용자의 부족으로 데이터를 수집할 수 없어 실험자를 통한 Test-Track을 통해 연속류와 단속류를 모사하여 실험하였다. 실험 및 분석결과 1.5m의 폭에서는 2,610대/시로 제시되었다. 요약하면 국내의 자전거도로의 최소폭인 1.2m를 기준으로 할 때, 대부분 1,500대/시에서 3,960대/시로 용량을 제시하고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 고찰한 대부분의 자전거도로 용량에 대한 연구는 국가별로 자전거도로의 폭이 상이하고, 신호교차로 등의 단속교통류와 강변 등의 연속교통류인가에 따라 제시된 용량값에 차이가 있다. 이는 자전거도로의 용량은 차도와 달리 알지르기가 가능할 뿐만 아니라 신호교차로에서 대기행렬을 형성할 때 2대 이상이 나란히 대기하는 등 기본적으로 차도와 다른 특성을 보이기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 분석하고자 하는 자전거도로의 기하구조(폭, 도로형태 등)와 운영방법(단속류, 연속류 등)에 따라 용량값은 차이가 있을 수 있다. 국내·외 자전거도로의 용량을 자전거도로폭에 따라 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Results of Previous Studies on Bikeway Capacity

Division	Bikeway Width	Bikeway Capacity(vph)
Raksuntorn and Khan(2003)	1.53m(5ft)	3,000
Li et al.(2014)	1.2m	3,960
Homburger(1976)	1m(3.3ft)	2,600
Ferrara(1975)	1.2m(4ft)	3,060
Vagverk(1977)	1.2m	1,500
Navin(1994)	2.5m	10,000
Liu et al.(1993)	1m	1,800~2,100
Botma(1995)	2m 3m	6,400 9,600
Stembord(1991)	0.78m	3,000~3,500
Sohn et al.(2002)	1.5m	2,610

2.2. 선행 연구와의 차별성

자전거도로의 용량에 대한 선행연구는 1970년대부터 조금씩 이루어져 왔으나 제시된 값의 범위가 매우 크다. 이는 자전거교통류의 특성상 운전자 개인의 능력과 주위 교통류와의 상충 등이 상이한 점도 제시된 도로용량의 범위를 크게 만드는 이유이기도 하다. 하지만 무엇보다도 도로용량산정에 가장 중요한 현장요소인 포화교통류(Saturation Flow Rate) 상태가 관측되지 않음으로 인

해 도로용량값이 유사한 값으로 수렴하지 못하는 점도 중요한 이유 중의 하나이다. 이로 인해 시뮬레이션 분석을 통한 자전거도로의 용량을 제시하는 방법이 제시되고 있으나, 산출된 데이터의 검증(Validation)에 필요한 혼잡상태의 데이터 부재로 인해 실제 적용성은 떨어진다.

선행연구에서 최근 Li et al.(2014)은 포화교통류 상태를 관측하기 위해 차로수가 감소하는 구간을 대상으로 선정하여 교통량-밀도 그래프를 이용한 용량을 제시한 바 있다. 이는 일시적으로 기하구조에 의해 자전거교통류의 혼잡상태를 측정하는 방법이나, 교통량이 부족하여 비교적 짧은 15초 단위로 설정한 값을 사용하여 정확성이 부족하다. 또한 Sohn et al.(2002)의 연구에서는 속도와 교통량, 밀도 그래프와 신호교차로의 차두시간을 통해 도로용량을 제시한 바 있으나, 이는 실험조건 하에서 도출된 결과로 실제 현장의 교통류의 특성을 반영하지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 기존 자동차교통류의 용량분석 방법과 차별화된 자전거도로의 용량분석방법을 제시하고, 실제 자료분석을 통해 용량값을 추정하고자 한다.

3. 분석방법론 개발

3.1. 자전거도로 용량분석 방법론 정립

본 연구의 최종목표는 하천변 자전거도로의 용량분석 방법론을 정립하고, 실제 자전거도로 용량을 추정하는 것이다. 서론에서도 언급하였듯이 일반적인 도로의 용량이라 함은 주어진 도로 조건에서 일정시간(15분)동안 무리 없이 최대 통과할 수 있는 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값을 말한다.

도로용량을 분석하는 목적은 해당 도로의 용량을 정확히 산출함으로써 도로를 효율적으로 이해하고, 도로 투자를 적절히 하도록 하는데 있다. 도로용량을 산정하는 방법에는 차두시간 분포를 이용하여 구하는 방법과 실제 교통량의 관측자료를 이용하여 구하는 방법이 있다. 차두시간 분포를 이용하는 방법은 각 차량간 차두시간 또는 거리를 사용하여 도로용량을 산정하는 방법이다. 이 방법은 용량상태에서 모든 차량의 통행속도는 제약을 받는다는 가정을 기반으로 있으며, 도로의 한 지점에서 관측된 차두시간 분포도의 시-공간도를 이용하여 용량을 구할 수 있다. 시-공간도의 2개의 궤적간 수평선은 각 차량별 차두시간이며, 수직선은 차량간 차두거리를 말한다. 일정한 시간(T)동안 평균 차두시간과 평균 통행량은 Eq. (1)과 같은 공식과 같이 시-공간도로부터

유도할 수 있다.

$$h_m = \sum_i h_i / n \quad q = n / T = 1 / h_m \quad (1)$$

$$q = 3600 / h_m$$

여기서, h_m = 평균 차두시간(초)

h_i = 각 차량별 차두시간(초)

q = 교통량(대/시)

n = T 시간동안 통과한 총 차량 대수

T = 관측시간(초)

본 연구에서는 기존 용량분석 방법을 기초로 자전거도로의 용량분석을 위한 방법론을 선정하고자 한다. 기존의 용량분석 방법은 국내뿐만 아니라 국외에서도 많이 사용되는 일반적인 분석방법으로서 한국의 도로용량 편람(KHCM)에서도 고속도로 일반구간과 연결로구간, 다차로도로, 2차로 도로 등에서 적용하는 방법이다.

그러나 자전거도로는 기존의 자동차도로와 특성이 다르므로 기존의 방법을 그대로 차용하는 것은 무리가 있다. 그 이유는 기존 방법론에서 가장 중요한 조사내용 중의 하나가 혼잡상태에서의 교통류가 관측되어야 한다는 것인데, 자전거도로는 현실적으로 혼잡상태를 관측하기는 쉽지가 않기 때문이다. 자전거도로를 주행하는 자전거운전자는 주행의 안전성을 고려하여 도로의 혼잡 이전에 자전거도로의 진입을 포기하거나, 자전거도로 이외의 통행로(차도 혹은 비포장 여유공간 등)를 선택한다. 이는 2차로자동차도로의 용량분석에서 현장의 용량상태를 관측하지 못하여 정확한 용량을 산출하지 못하는 것과 유사하며, 국내뿐만 아니라 미국 HCM에서도 마찬가지이다.

용량상태를 현장에서 확인하기 위해 Li et al.(2014) 등의 연구에서는 차로수가 줄어드는 자전거도로를 선정하여 일시적인 용량상태의 교통량을 관측한 사례도 있다. 그러나 국내의 자전거도로 및 자전거이용자의 특성상 유사한 기하구조는 거의 없으며, 자전거이용자가 용량에 따른 지체를 감수하면서 자전거도로를 통행하는 교통류는 사실상 관측이 어렵다.

따라서 본 연구에서는 연속류 특성을 가진 자전거도로의 용량 산정을 위해 다음의 2가지를 가정하였다.

- [가정 1] 자전거도로의 용량은 연속적으로 이동하는 자전거 교통류군(Bicycle Platoon) 내(內)에서 발생

- [가정 2] 자전거 교통류군은 최소 3대 이상의 자전거로 구성됨

[가정 1]은 자전거교통류는 현실에서 용량상태로 도달하지 않으며, 자전거 교통류군은 용량상태는 아니지만 일시적으로 용량상태를 모사하고 있다고 판단되기 때문이다. [가정 2]는 최소 3대 이상의 자전거 교통류군을 일시적인 용량상태의 전제조건으로 제시하였는데, 연속된 2대의 자전거 역시 교통류군이긴 하나 주행속도의 차이로 인해 측정지점에서 일시적으로 형성된 교통류군일 가능성도 공존하기 때문이다. 따라서 자전거도로 용량 분석을 위해 최소 3대 이상의 자전거 교통류군을 대상으로 선정하였다. 이러한 가정에 따라 용량 상태의 차두시간 분포는 자전거 교통류군 내 차두시간 분포이므로, 자전거 교통류군 내 차두시간 분포를 알게 되면 Eq. (1)를 이용하여 자전거 도로의 용량을 추정할 수 있다.

중심극한정리(Central Limit Theorem)에 의하면 동일한 임의의 확률분포를 따르는 n 개의 독립변수의 평균은 n 이 충분히 클 경우 정규분포에 가까워진다. 예를 들어, 확률변수 Y 를 평균이 μ 이고 분산이 σ^2 인 n 개의 무작위표본의 합이라고 하면, Y 의 기댓값은 $n\mu$, 표준편차는 $\sigma\sqrt{n}$ 이고, 확률변수 $Z=(Y-n\mu)/\sigma\sqrt{n}$ 의 분포는 n 이 충분히 크면 표준정규분포로 근사한다. 여기에서 n 은 대략적으로 30보다 커야 한다고 알려져 있다.

자전거 교통류군 내 차두시간이 어떤 분포를 따르는지 알려져 있지는 않지만, 동일한 임의의 분포를 따른다고 가정하는데는 큰 무리가 없다. 따라서 자전거 교통류군 내 차두시간이 임의의 확률분포를 따르는 독립변수일 때, n 개의 자전거 교통류군의 평균차두시간의 분포는 n 이 충분히 클 경우 정규분포에 가까워진다. 즉, 충분히 많은 양의 자전거 교통류군에 대해 평균차두시간 데이터를 수집하여 자전거 교통류군 평균차두시간에 대한 정규분포모형을 추정함으로써 용량상태의 차두시간 분포를 산출할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 자전거 교통류군을 현장에서 충분히 조사하여(30개 이상) 실제 자전거도로의 용량을 산출하고자 한다. 이를 종합하여 자전거교통류의 용량 산출을 위한 방법론을 제시하면 다음과 같다.

[단계 1] 데이터 수집 및 필터링

- 연속류 자전거도로의 자전거교통류 주행영상 수집
- 타 교통류(인라인, 보행자 등)에 영향을 받은 데이터 등의 이상치 삭제

[단계 2] 데이터 집계

- 최소 3대 이상의 연속된 자전거 교통류군 구분
- 차두시간 분석 프로그램을 이용한 자전거 교통류군 내 차두시간 데이터 취득

[단계 3] 도로용량 산출

- 자전거 교통류군 평균차두시간의 정규분포모형 추정
- 자전거도로 용량 추정

3.2. 방법론 현장적용 및 용량추정

3.2.1. 현장조사

하천변 연속류 자전거도로의 용량분석을 위해 자전거통행이 많은 한강(Han-river)과 안양천(Anyangcheon) 자전거도로를 현장조사 대상구간으로 선정하였다. 한강 자전거도로는 서울시를 가로지르는 상징성이 높은 구간이며, 서쪽으로 파주·일산·김포 방향의 자전거이용자들과 서울시내의 자전거이용자들이 가장 많이 이용하는 구간이다. 안양천자전거도로는 서울 서부지역과 안양·광명 방향의 자전거이용자들이 자주 이용하는 구간이다.

조사방법은 비디오카메라를 이용하여 정해진 지점에서 연속적으로 이동하는 자전거교통류를 촬영하였다. 자전거도로의 용량은 도로구간의 경사에 따라 달라질 수 있으나 본 연구에서는 평탄한 구간을 대상으로 조사 지점을 선정하였다. 보행자 및 인라인스케이트 등 타 교통류가 진입하여 자전거교통류가 통행에 영향을 받았다고 판단되는 경우는 데이터수집에서 제외하였다. 앞의 자전거도로 용량분석 방법론에서 제시한 바와 같이 독립적으로 주행하는 자전거는 용량분석에서는 제외하였으며, 최소 3대 이상의 연속된 교통류라고 인지되는 자전거 교통류군만을 대상으로 자료를 수집하였다 (Fig. 1).

총 189개의 자전거 교통류군 데이터가 관측되었으며, 최소 3대에서 최대 11대까지 교통류를 형성하는 자전거 교통류의 평균 차두시간이 데이터화되었다.



Fig. 1 Example of Bicycle Platoons

데이터 분석방법은 고정식 카메라를 이용하여 녹화한 후 자전거 교통류군의 차두시간을 측정하는 방식을 사용하였다. 차두시간은 비디오화면에 가상의 선을 표시한 후, 선행하는 자전거와 뒤따라오는 자전거의 시간차이를 기록하여 측정하였다. 차두시간 데이터의 수집방법을 도식화하면 Fig. 2와 같다.

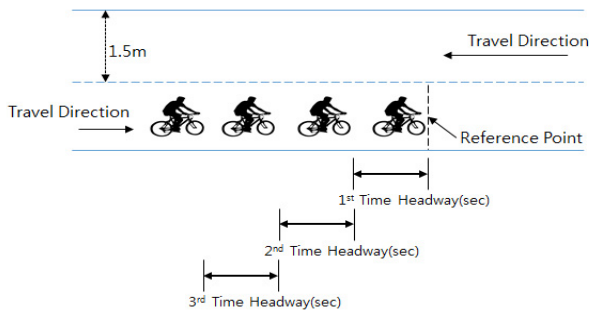


Fig. 2 Method to Measure Time Headway within a Bicycle Platoon

3.2.2. 자전거도로 용량 추정

한강 자전거도로와 안양천 자전거도로에서 조사된 총 189개의 자전거 교통류군 데이터를 이용하여 자전거도로의 용량을 추정하고자 하였다. 한강 자전거도로에서는 총 77개의 데이터가 수집되었고, 안양천 자전거도로에서는 112개의 데이터가 수집되었다.

한강 자전거도로 자전거 교통류군의 관측된 최대 차두시간은 2.56초이고, 최소는 0.31초였다. 평균 차두시간은 0.92초이며, 표준편차는 0.43으로 나타났다. 안양천 자전거도로는 최대 차두시간이 2.81초로 한강 자전거도로보다 조금 높게 나타났으며, 최소 차두시간은 0.27초였다. 평균 차두시간은 1.07초로 역시 한강 자전거도로보다 다소 높았으며, 표준편차는 0.49로 나타났다. Fig. 3과 Fig. 4는 한강 자전거도로와 안양천 자전거도로의 차두시간별 빈도수를 나타내고 있다.

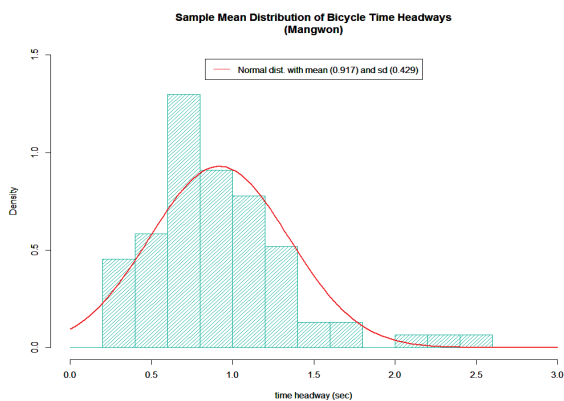


Fig. 3 Mean Time Headway Distribution (Han-river)

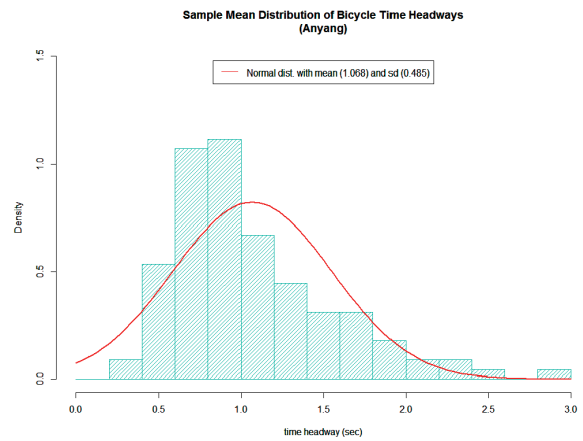


Fig. 4 Mean Time Headway Distribution (Anyangcheon)

전체 189개의 자전거 교통류군을 대상으로 자전거도로의 용량을 산출하였다. 가장 일반적으로 적용할 수 있는 방법은 전체 자전거 교통류군의 차두시간에 대한 평균값을 통해 용량을 산정하는 방법이다. 방법론분석에서 제시하였듯이, 임의의 분포를 따르는 차두시간의 합의 형태인 평균차두시간이 정규분포를 따른다고 가정하여 평균값을 적용하였다. 전체 자전거 교통류군의 평균 차두시간은 1.01초로서, 이를 용량으로 환산하면 3,578대/시가 된다. 이상적인 용량을 구하기 위해서 최소 자전거 교통류군의 차두시간인 0.27초를 적용하면 용량은 13,187대/시가 되나, 이는 자전거 교통류군 중 일부에서 나타나는 차두시간이다. 도로 및 교통 분야에서 자주 사용되는 전체 데이터값의 85퍼센트일 값을 적용하면 차

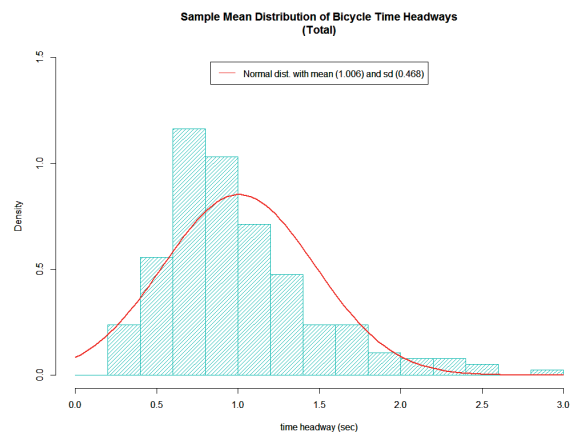


Fig. 5 Mean Time Headway Distribution (All)

Table 2. Estimated Bikeway Capacity

Division	Headway(sec)	Capacity(vp[h])
Max	2.81	1,280
Min	0.27	13,187
Ave	1.01	3,578

두시간이 0.59가 되어 용량은 6,061대/시가 된다. 각 구
분별로 자전거도로의 용량을 제시하면 Table 2와 같다.

국외의 자전거도로 용량을 산정한 연구결과는 최소
1,500대/시에서 최대 9,600대/시까지 다양하게 제시되
고 있다. 이는 자전거도로가 자동차도로와는 달리 자전
거도로 폭에 따라 2차로 또는 3차로처럼 운영되고 있기
때문이다. 본 연구의 대상구간인 한강 자전거도로와 안
양천 자전거도로는 1.5m의 폭에 추월행태가 자주 관측
되지 않았다. 그러나 자전거교통량이 현재보다 크게 증
가하게 되면 추월행태가 늘어나게 되어 본 연구에서 제
시된 용량보다 더 큰 값이 산출될 수 있으며, 이는 향후
자전거교통량의 증가 시에 추가적인 연구가 필요할 것
으로 판단된다.

3.2.3. 자전거도로 용량추정의 의미 및 활용

도로구간의 용량은 분석하고자 하는 특정 도로구간의
기하구조와 교통류 상태 등에 영향을 받지만, 일반적으
로 하나의 값을 산출하여 장래시설의 계획과 설계에 적
용된다. 특히 도로용량을 산출하기 위한 방법에서 어떤
방법론을 적용했는지, 과다추정되는 값은 배제하였는지
등에 따라 그 값은 달라질 수 있다. 본 연구에서 제시한
자전거도로의 용량 역시 혼잡상태를 측정할 수 없는 한
계를 극복하기 위해 자전거 교통류군을 이용하여 제시
하였다. 국내의 자전거도로의 폭은 최소 1.2m에서
1.5m를 규정하고 있으므로 본 연구에서 제시한 도로용
량은 동일한 자전거도로 폭에서는 적용이 가능할 것으
로 판단된다.

국외의 연구결과와 비교할 때, 유사한 자전거도로 폭
에 대한 도로용량을 보면 Raksuntorn and
Khan(2003)는 1.53m(5ft)에서 3,000대/시를 제시하
였으며, Li et al.(2014)는 1.2m에서 3,960대/시,
Ferrara(1975)는 3,060대/시를 제시하여 본 연구에서
제시한 1.5m에서 3,600대/시와 큰 차이를 보이지는 않
는다. 다만 Botma(1995)와 Navin(1994)의 연구에서
와 같이 자전거도로의 폭이 2m 이상이 되면 도로용량
이 각각 6,400대/시와 10,000대/시가 제시되어, 향후
이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

기본적으로 도로용량분석의 목적은 어떤 도로시설이
수용할 수 있는 최대교통량을 추정하는 것이다. 또한 교
통시설이 용량에 도달하게 되면 운영상태는 극도로 나빠
지므로, 교통시설을 계획 또는 설계할 때는 이러한 수준
에 이르지 않도록 해야 한다. 그러므로 어떤 교통시설이
초기에 주어진 일정수준의 운영상태를 유지할 수 있을

정도의 교통량을 추정하는 것이 용량분석의 또 다른 목
적이라 할 수 있다. 즉, 용량분석은 주어진 수준의 운영
상태를 나타낼 수 있는 교통량이 얼마인가를 추정하기
위한 일련의 과정으로서 기존시설을 분석하고 개선하며,
장래시설을 설계하거나 계획할 때 필요하다. 용량분석은
현재 교통시설의 상태를 분석하는 운영분석
(Operational Analysis)과 장래시설의 계획 및 설계분
석(Planning and Design Analysis)으로 나눌 수 있다
(Do, 2004). 본 연구에서 제시한 자전거도로의 용량분석
은 예상되는 교통조건과 계획하는 서비스수준이 주어졌
을 때 그 서비스수준을 유지하기 위해 필요한 교통시설
의 크기를 결정하는데 활용될 수 있다. 그러나 자전거이
용자는 일반적으로 교통용량 상태를 받아들이지 않을 뿐
아니라, 교통용량상태가 발생하면 노선을 변경하거나 때
로는 법적으로 이용할 수 없는 통행을 한다. 또한 대부분
의 자전거도로의 교통량은 용량에 비해 크게 작기 때문
에 차도와 같이 도로용량 상태가 계속되는 구간은 발생
하지 않는다. 반면 자전거교통량의 주행거리는 자동차에
비해 크게 작기 때문에, 만약 일반적인 도로용량의 목적
과 같이 교통시설의 크기(차로 수 등)를 결정하는데 활용
하기엔 무리가 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 자전거
도로의 용량은 기존의 도로용량과 같이 장거리 노선의
차로수 결정에 활용되기보다는 단거리 구간의 반복되는
정체구간을 분석하는데 활용이 가능하다. 남한강자전거
도로의 양평 등 일부구간과 같이 자전거교통량이 일시적
으로 증가하는 구간을 선정하고, 이러한 구간의 교통시
설에 대한 대책에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 적용
될 수 있는 교통시설은 일시적인 차로수 증가(1km 이상)
나 양보차로 혹은 추월차로(1km이하) 등 기존의 도로구
간에서 적용하고 있는 방법의 적용이 가능하다. 본 연구
에서 제시한 용량값은 목표 서비스수준 분석에 활용하여
교통시설에 대한 정책에 반영이 가능하다. 국내 도시부
자전거도로와 한강자전거도로 등은 교통량이 많으므로
목표 서비스수준을 D로 적용할 수 있으며, 낙동강 자전
거도로와 금강 자전거도로 등 교통량이 비교적 적은 자
전거도로는 목표 서비스수준을 C로 적용하여 교통시설
의 평가가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 연속류 자전거교통류의 도로용량
을 추정하기 위한 방법론을 제시하고 현장자료를 수집
하여 도로용량을 제시하고자 하였다. 일반적으로 도로
용량을 산정하는 방법은 차두시간 분포를 이용하는 방

법과 실제 교통량의 교통량-속도 관측자료를 이용하는 방법이 있으나, 이는 혼잡상태에서의 교통류가 반드시 관측되어야 한다. 그러나 자전거도로는 현실적으로 주행의 안전성을 고려하여 도로의 혼잡 이전에 자전거도로의 진입을 포기하거나, 자전거도로 이외의 통행로(차도 혹은 비포장 여유공간 등)를 선택하기 때문에 혼잡상태를 관측하는 것은 거의 어렵다. 따라서 본 연구에서는 혼잡상태를 모사할 수 있는 자전거 교통류군을 이용하여 용량을 산출하고자 하였다. 자전거 교통류군은 적어도 3대 이상의 교통류로 정의하고, 각 교통류군의 평균 차두시간은 교통류군을 대표한다고 가정하였다. 중심극한정리에 따른 자전거 교통류군 평균차두시간의 정규성을 활용하여 용량상태의 차두시간 분포를 예측함으로써 용량을 추정하였다.

한강과 안양천 자전거도로에서 조사된 전체 189개의 자전거 교통류군을 대상으로 자전거도로의 용량을 추정하고자 하였으며, 전체 자전거 교통류군의 차두시간에 대한 평균값을 통해 용량을 산정하는 방법을 적용하였다. 전체 자전거 교통류군의 평균 차두시간은 1.01초로서, 이를 용량으로 환산하면 3,578대/시가 된다. 이상적인 용량을 구하기 위해서 최소 자전거 교통류군의 차두시간인 0.27초를 적용하면 용량은 13,187대/시가 되나, 이는 자전거 교통류군 중 일부에서 나타나는 차두시간이다. 교통분야에서 자주 사용되는 전체 데이터값의 85퍼센트일 값을 적용하면 차두시간이 0.59초가 되어 용량은 6,061대/시가 된다.

본 연구에서 산출한 자전거도로의 용량은 1.5m의 추월이 거의 발생하지 않는 상태에서의 용량으로 적용이 가능하다. 만약 자전거도로의 폭이 커지거나 추월이 지속적으로 발생한다면, 도로구간의 용량은 본 연구에서 제시한 용량보다 더 커질 수 있다. 또한 자전거교통량이 지속적으로 증가하여 일반 차도와 같이 용량상태를 관측할 수 있다면 본 연구의 결과와 다른 결과가 제시될 수 있을 것이다.

또한 본 연구에서 제시한 자전거도로의 용량은 기존의 도로용량과 같이 장거리 노선의 차로수 결정에 활용되기보다는 단거리 구간의 반복되는 정체구간을 분석하는데 활용이 가능하다. 전체 노선 중에서 자전거교통량이 일시적으로 증가하는 구간을 선정하고, 이러한 구간의 교통시설에 대한 대책에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 적용될 수 있는 교통시설은 일시적인 차로수 증가(1km 이상)나 양보차로 혹은 추월차로(1km 이하) 등 기존의 도로구간에서 적용하고 있는 방법의 적용이 가능

하다. 끝으로, 분석방법론 측면에서는 추후 평균차두시간에 대한 정규성 가정을 완화하여 다른 분포에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(차량센서 및 빅데이터 기반의 도로혼잡 예측 핵심기술 개발, 과제번호 20160212-001)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Botma, H.(1995), "Method to determine level of service for bicycle paths and pedestrian-bicycle paths", *Transportation Research Record*, (1502), 38-44.
- Daniel, Gerlough and Matthew(1975), *Traffic Flow Theory*, Special Report 165, Transportation Research Board.
- Do, CW (2004), "Traffic Engineering (I)", Chungmugak.
- Ferrara, T. C.(1975), "A Study of Two-Lane Intersections and Crossings Under Combined Motor Vehicle and Bicycle Demands", Report 75-5. Civil Engineering Department.
- Homburger, W. S.(1976), "Capacity of Bus Routes, and of Pedestrian and Bicycle Facilities", *Institute of Transportation Studies*.
- Kim, JS, CH, Park (2006), "Freeway Design Capacity Estimation through the Analysis of Time Headway Distribution", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, 26(2D), pp. 251-258.
- Liu, X., Shen, L. D., and Ren, F.(1993), "Operational analysis of bicycle interchanges in Beijing", *China* (No. 1396).
- Navin, F. P.(1994), "Bicycle traffic flow characteristics: experimental results and comparisons", *ITE journal*, 64(3), 31-37.
- Raksuntorn, W., and Khan, S.(2003), "Saturation flow rate, start-up lost time, and capacity for bicycles at signalized intersections", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1852), 105-113.
- Sohn, YT, JH, Kim, YT, Oh, HS, Kim, WS, Park (2002), "An Experimental Study on Fundamental Characteristics of Bicycle Flows", *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 20, No. 4, pp. 19-26.
- Stembord, H.(1991), "Capacity Research and Applications: Country Report of the Netherlands", *International Symposium on Highway Capacity*.
- Vagverk, S.(1977), "Swedish Capacity Manual", National Swedish Road Administration.
- Zhibin Li, Zheng Li, Rong Huang, Zhao Yang, Wenzhu Zhon and Mao Ye(2014), "Operational Features in Bicycle Traffic Flow : An Observational Study", *Transportation Research Board 93th Annual Meeting*, Washington, DC, USA.