

## 영상데이터를 활용한 자전거 차두시간 분포 분석 연구

전우훈\* · 양인철

한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 도로관리통합센터

# A Study on Bicycle Time Headway Distribution Analysis using Video Data

Woo Hoon Jeon\* · Inchul Yang

Integrated Road Management Research Center, Dept. of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea

### [요약]

본 연구의 목적은 하천변 자전거도로의 차두시간 분포 분석을 위한 데이터 측정 및 데이터 필터링 방법론과 실제 연속류 자전거도로의 데이터를 이용하여 차두시간 분포를 제시하는 것이다. 자전거교통류는 기존 자동차교통류와 행태가 상이하며, 다음과 같은 조건에서 데이터 측정이 필요하다. 자전거교통류의 차두시간 측정은 첫째 측정구간내에 차로변경이 없어야 하고 둘째 타 교통류의 간섭이 없어야 한다. 셋째 타 교통류의 간섭이 없더라도 측정구간의 진입전에 영향을 받지 않아야 하며, 넷째 측정구간내에 추월이 발생하지 않아야 한다. 또한 자전거교통류는 가족 단위의 군집주행과 같이 자전거이용자가 차두시간을 선택한 교통류가 존재하므로 모의실험을 통해 판단기준을 분석하였다. 모의실험 결과 0.7초 이하가 되는 차두시간은 자전거이용자가 선택한 차두시간으로 가정하여 실제 차두시간 분포에서 제외하였다. 본 연구에서 제시된 차두시간 측정방법을 이용하여 실제 국내 하천변의 연속류 자전거도로의 차두시간 데이터를 수집하였으며 차두시간 분포를 제시하였다.

### [Abstract]

This study aims to propose a data manipulation methodology of bicycle traffic flow and to find appropriate time headway distributions of the flow in a uninterrupted environment. The behavior of bicycle traffic flow is different from the vehicle flow and thus it is necessary to measure the data under the certain conditions as follows: firstly lane-change is prohibited within the target segment of bikeway and secondly the interruption of other traffic flow is not permitted. The third condition is that no special event occurs before entering the target segment, and the last condition is no passing within the segment. In addition the method to separate the platoon running together with very short time headway out of the normal bicycle traffic flow is studied and it is found that the time headway under 0.7 sec between consecutive bicycles could mean that they are running together and those data were not included in the analysis. The time headway data were collected from a riverside bikeway using the proposed methodology and the time headway distribution of bicycle traffic flow were suggested. The proposed methodology is efficiently able to collect the time headway samples of bicycle traffic flow, and it is expected to use it to measure the time headway distribution of other bikeway segment.

색인어 : 영상데이터, 자전거도로, 연속류 교통류, 차두시간 분포

Key word : Video Data, Bikeway, Uninterrupted Bicycle Traffic Flow, Time Headway Distribution

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2019.20.12.2477>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 23 October 2019; Revised 20 November 2019

Accepted 15 December 2019

\*Corresponding Author; Woo Hoon Jeon

Tel: +82-31-910-0170

E-mail: cwsoon@kict.re.kr

## 1. 서론

자전거는 1970년대까지만 하더라도 단거리뿐만 아니라 비교적 장거리까지도 통행할 수 있는 중요한 교통수단이었다. 당시에는 서울 등 대도시를 제외하고는 자동차 보유대수가 크지 않아 자전거가 많은 국민들의 친근한 교통수단으로 인식되었다. 따라서 별도의 자전거도로라는 개념보다는 자전거는 자동차와 함께 차도를 이용하는 것이 자연스러운 현상이었다.

1980년대 이후 자동차의 보급이 급격히 늘면서 자전거는 점차 교통수단으로서의 기능을 상실하게 된다. 이는 자동차의 편리함에 의해 자전거의 이용이 줄어든 것도 하나의 이유지만, 자동차교통량이 점점 많아짐에 따라 안전성의 이유로 자전거를 이용하는 것이 어려워진 것도 중요한 이유 중의 하나이다. 2000년대 후반에 접어들면서 시작된 환경문제와 자전거에 대한 긍정적인 인식이 퍼지면서 자전거도로 등 관련 인프라에 대한 공급 역시 증가하기 시작했다. 특히 한강과 안양천, 중랑천 등 하천고수부지가 비교적 넓은 하천을 중심으로 자전거도로가 많이 설치되었는데, 이는 레저용 자전거이용자의 흡수 및 자전거도로의 설치 용이성과 밀접한 관련이 있다. 이에 하천변 자전거도로에는 봄가을이면 주말뿐만 아니라 주중에도 많은 자전거 동호회와 가족 중심의 자전거이용자가 자전거도로를 이용하여 레저를 즐기고 있다. 특히 장거리통행 중심의 자전거동호회는 한강에서 시작하여 남한강과 북한강을 거쳐 금강과 낙동강까지 라이딩을 즐기고 있다.

하천변의 자전거이용자는 크게 2가지 유형으로 구분할 수 있는데, 가족 중심의 저속교통류와 동호회 중심의 고속교통류이다. 가족 중심의 저속교통류는 특정한 목적지점 없이 자전거를 통행하는 교통류이며, 동호회 중심의 고속교통류는 특정한 목적지점을 선정하고 이동하는 교통류이다. 이러한 2개 교통류가 1.5m 내외의 도로폭 내에 혼재되어 있어, 많은 접촉사고가 발생하는 등 안전성 측면에서 매우 위험하다. 동호회 위주의 자전거 교통류는 기본적으로 정해진 시간 내에 목적지를 다녀오는 통행이 대다수이며, 이러한 자전거 교통류의 평균 주행속도는 제한속도인 30kph를 초과하여 주행하곤 한다. 반면 가족 단위의 자전거 교통류는 대부분 15kph 내외의 저속으로 운영됨으로 인해 2개 교통류의 속도차이로 인한 상충이 빈번하게 발생하고 있다. 하천변의 자전거도로는 주로 일방향 1.5m에서 2m 정도의 폭으로 이루어져 있으며, 자전거의 점유폭과 여유폭을 감안할 때 1.5m에서는 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 교통사고는 지속적으로 증가하고 있다. 특히 하천변 자전거도로는 기능적으로 연속류에 해당하며, 교통류에 대한 기초적인 특성분석이 이루어져야 전체 자전거교통류의 안정성

을 파악할 수 있다. 이질적인 교통류의 분석을 위해서는 차두시간의 분포 및 이를 설명할 수 있는 차두시간 분포모형을 이용하는 것이 일반적이나, 현재 국내뿐만 아니라 국외에서도 관련 연구가 부족하다.

따라서 본 연구에서는 국내 연속류 자전거도로에서의 차두시간 측정 방법론과 차두시간 데이터의 필터링 방법을 제안하고자 한다. 차두시간 분포를 위해 실제 현장데이터를 수집하였으며, 실제 하천변의 자전거도로 현장자료 분석을 통해 국내 연속류 자전거도로의 차두시간 분포를 제시하였다.

## II. 기존 문헌 고찰

### 2-1 선행연구 검토

대부분의 차두시간 분포에 대한 연구는 자동차교통류를 중심으로 이루어져 있으며, 자전거교통류의 차두시간 분포에 대한 연구는 거의 없다. 또한 자동차교통류의 차두시간 분포에 대한 연구는 기존의 음지수분포나 Erlang분포 등의 분포모형에 집중되어 있다. 따라서 본 선행연구 고찰에서는 주로 자동차 교통류의 차두시간 분포 모형에 관한 연구에 대해서 분석하고자 한다. Zhang et al.(2007)은 시애틀의 간선도로(I-5)에 설치되어 있는 교통량분석 시스템(Advanced Loop Event Data Analyzer, ALEDA)의 자료를 이용하여 기본차로(Regular Lane)와 HOV차로의 차두시간 모형을 분석하였다. 단일(Single)모형은 Lognormal분포와 Gamma분포를 적용하였으며, 감마분포의 매개변수에 따라 음지수분포와 전이된 음지수분포를 적용하였다. 복합(Mixed)모형은 Cowan M3모형과 Cowan M4, 그리고 Double Displacement 음지수분포를 적용하였다. 실제 데이터와 모형간의 검정은 카이스퀘어검정 검정과 K-S검정(Kolmogorov-Smirnov)검정을 검토하였으며, 카이스퀘어 검정은 일부 데이터간의 약한 적합도에 의해 쉽게 결과가 나빠지는 단점으로 인해 K-S검정을 수행하였다. 분석결과 기본차로와 HOV차로는 차두시간 분포가 다르며, 기본차로에서는 전이된 Lognormal분포가 적합한 것으로 나타났고 HOV차로에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 반면 중복치환 음지수분포는 기본차로와 HOV차로 모두에게 적합한 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 간선도로를 대상으로 한 모형이므로 다른 유형의 도로에 적용할 경우 정산(Calibration)이 필요함을 제시하였다. 문체필과 김동녕(2014)은 지방부 2차로도로를 대상으로 기존의 차두시간분포모형 적합여부를 제시하였다. 차두시간은 교통량의 수준에 따라 달라지므로 낮은 교통량 수준의 경우 무작위(Random) 차두시간 분포, 높은 교통량 수준의 균일분포, 실제로 자주 발생하는 무작위와 균일 차두시간 상태사이에 위치하는 중간 차두시간 형태로 구분하여 분석하였다. 수학적

모형은 Person Type III분포와 매개변수에 따라 Gamma분포, Erlang분포, 음지수분포, 전이된 음지수분포 등으로 구분하였으며, Schul 모형 등을 2차로도로의 현장데이터와 비교분석하였다. 총 11개 지점에서 7개 모형에 대해 카이스퀘어검정을 통해 적합도를 검정하였으며, 전체적으로 교통량 범위를 만족시키는 모형은 없는 것으로 나타났다. 이에 기존 Schul모형을 0.5 초 전이하여 Shifted Schul Model을 제시하였으며, 3개 지점을 제외하고는 관측치와 이론치간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 이 외에도 Akcelik and Chung(2003)은 Roundabout에서 기존의 음지수분포에서 응용된 Bunched Negative Exponential을 차두시간모형으로 제시하였으며, Luttinen(1999)은 비신호교차로에서의 차두시간 모형으로 Cowan의 M3 분포가 적절하다고 제시하였다.

**2-2 선행연구와의 차별성**

국내뿐만 아니라 국외에서도 자전거교통류의 차두시간 분포에 대한 연구는 제한적이다. 대부분의 연구는 주로 자동차교통류의 차두시간 분포와 그에 따른 모형에 대한 내용에 집중되어 있다. 따라서 기존 연구에서는 자전거교통류의 차두시간 분포에 대해 주로 방법론 중심으로 참고가 가능한 것으로 판단된다. 또한 향후 연구에서 자전거교통류의 차두시간 분포모형 분석이 이루어진다면, 자동차교통류의 분석방법론이 도움이 될 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 기존 자동차교통류의 차두시간 분포 측정방법과 차별화된 자전거도로의 차두시간 측정 방법론을 제시하고, 데이터의 필터링 방법 및 실제 자료분석을 통해 분포를 제시하고자 한다.

**III. 분석방법론 개발**

**3-1 차두시간의 분석방법과 목적**

교통공학에서 교통류에 관심을 가지고 분석하는 이유는 도로 등 교통시설을 계획하고 설계할 때 그 기준이 되기 때문이다. May(1990)은 교통류의 특성을 나타내는 기본요소는 다음과 같으며, 기본요소간에는 밀접한 관계가 있는 것으로 제시하고 있다.

- 속도(Speed) 및 통행시간(Travel Time)
- 교통량(Volume) 또는 교통류율(Flow Rate) 및 그의 역수인 차두시간(Time Headway)과 차량간의 차간시간(Gap)
- 교통류의 밀도(Density) 및 그의 역수인 차두거리(Spacing)

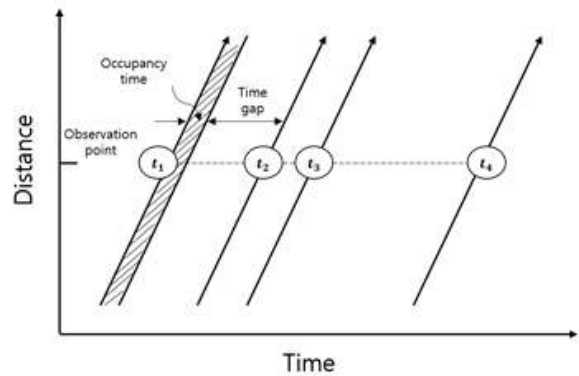
일반적으로 차두시간은 특정한 지점을 통과하는 연속된 차량의 통과시간 간격을 의미하며, 앞차의 앞부분이나 뒷부분과 뒷차의 앞부분이나 뒷부분까지의 시간 간격이다. 그러므로 평균 차두시간은 평균 교통류율의 역수이다. 평균 교통류율과 차두시간 간에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\bar{h} = \frac{3600}{\bar{q}} \quad \bar{h} = \text{Average Time Headway(sec)}$$

$$\bar{q} = \text{Average Traffic Flow Rate(vph)}$$

일반적인 차두시간의 분포는 Fig.1과 같이 시간과 거리의 관계에서 개별 차량의 궤적으로 표현된다. 각 차량의 관측지점에서 도착시간은  $t_1, t_2, t_3, t_4$ 라고 할 때, 차량간의 경과시간(elapsed time)을 차두시간(time headway)이라고 정의할 수 있으며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$(h)_{1-2} = t_2 - t_1, \quad (h)_{2-3} = t_3 - t_2, \quad \text{etc.}$$



**그림 1. 교통류의 흐름(May, 1990)**  
**Fig. 1. A microscopic view of traffic flow(May, 1990)**

자전거도로를 주행하는 자전거이용자는 종적(Longitudinal)으로 이동하는 타 자전거교통류와 지속적으로 상충이 발생하게 된다. 일정지점을 지나는 자전거이용자는 선행하는 자전거와 의 주행속도 차이로 인해 차두시간이 정해지고, 이러한 차두시간의 분포는 자전거도로 구간의 교통류의 특성을 나타내는 중요한 지표이다. 또한 포화차두시간을 형성하는 교통류의 역수는 한 지점을 일정시간동안 통과할 수 있는 최대 교통량을 의미하는 용량과 동일한 개념이다.

차량간의 영향력에 따른 차두시간(Time Headway)은 도로의 안전성과 서비스수준(LOS), 용량(Capacity) 등을 평가할 수 있는 가장 중요한 지표중의 하나로 인지되고 있다. 앞차량과 뒷차량의 시간적 간격인 차두시간은 급정거를 할 경우 교통사고로 연결된다는 점에서 중요한 안전 지표이며, 도로용량과 서비스수준 역시 도로의 설계와 소통 등에 영향을 미치는 지표이다. 이

런 이유로 도로설계와 교통운영 분야에서는 차두시간과 차두시간 분포에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 도로구간별로 실제 차두시간을 측정하여 분석함으로써 도로설계와 교통정책 수립에 적용하고 있다.

그러나 자전거교통류에 대한 차두시간 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 제한적이다. 자전거연구는 국내에서도 이미 누적기준 1,000만명이 넘는 것으로 추산하고 있으며, 기존의 자전거교통이 활성화된 덴마크와 네덜란드뿐만 아니라, 미국과 일본 등 대부분의 나라에서 자전거수단분담률이 증가하고 있다. 급증하는 자전거수요에 따라 자전거 교통사고 역시 증가하고 있어 자전거도로 등의 인프라구축 및 자전거교통류 처리 등의 정책이 시행되고 있으나, 정작 기본적인 자전거 차두시간 및 도로용량분석에 대한 연구는 제한적으로 이루어지고 있다. 이는 여러 가지 이유가 있을 수 있으나, 자전거 교통수단이 아직까지 정기적인 교통수단으로 인정받지 못하고 있고 교통사고의 예방 등에 대한 관심이 사회적으로 부족하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 도로구간의 용량은 도로신설 및 확대, 추월차로 등의 교통기법 등에 적용되는 중요한 요소이나, 아직까지는 국내에서 자전거도로의 용량에 대한 연구는 많이 부족하다.

따라서 본 연구에서는 문헌고찰에서 제시한 자동차교통류의 차두시간 분포 모형에 대한 내용을 참고하여, 자전거교통류에 적용이 가능한 차두시간 측정방법론을 개발하고 데이터 필터링 방법 및 자전거도로의 차두시간 분포를 제시하고자 한다.

### 3-2 자전거도로 차두시간의 분석 방법론 개발

서론에서도 언급하였듯이 국내뿐만 아니라 국외에서도 자전거교통류의 차두시간 분포모형 수립방법론에 대한 연구는 거의 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 먼저 자전거교통류의 데이터 수집방법에서 데이터의 필터링 방법까지 차두시간 분포를 제안하기 위한 방법론을 제시하고자 한다. 이를 위해 연속류 자전거교통류가 관측되는 현장에서 주행영상을 취득하고, 영상 분석을 위해 차두시간 분석 프로그램을 이용하여 개별 교통류의 차두시간을 추출한다. 자전거교통류의 특성에 따른 적정 차두시간의 유효데이터를 도출하기 위해 모의실험을 통해 데이터 적용범위를 산출한다. 이를 단계별로 정리하면 다음과 같다.

#### [단계 1] 데이터 수집

연속류 자전거교통류의 주행영상 수집  
차두시간 분석 프로그램을 이용한 데이터 취득

#### [단계 2] 데이터 필터링(Filtering)

자전거교통류의 차두시간 분포모형에 적용될 데이터 범위 규정

#### [단계 3] 자전거도로 차두시간 분포 제시

현장데이터를 이용한 자전거도로 차두시간 분포 제시

#### 1) 데이터 수집 방법론

자전거교통류의 차두시간 데이터 조사방법은 자동차교통류와 큰 차이가 있다. 자동차교통류는 기본적으로 정해진 폭을 가진 차로 내에서 주행하며, 추월을 하는 경우에는 옆 차로를 이용해야 한다. 따라서 특별한 경우를 제외하고는 동일 차로에서 계속적인 차두시간의 측정이 가능하다. 반면 자전거도로는 비교적 좁은 차로폭에서 속도가 다른 교통류가 통행하므로 동일한 차로에서 끊임없이 추월이 발생한다. 또한 자전거도로에는 자전거뿐만 아니라 보행자, 인라인, 퍼스널모빌리티(PM) 등 다양한 교통수단이 존재하며, 이러한 교통수단은 자전거교통류에 지속적으로 영향을 끼친다. 이로 인해 실제 자전거도로에서 유효한 자전거교통류만의 차두시간 측정은 어렵다. 따라서 자전거교통류의 차두시간 측정은 다음에 해당되는 데이터만 수집하여야 한다.

- 차두시간 측정구간내에 차로변경이 없는 데이터
- 차두시간 측정구간내에 타 교통류의 간섭이 없는 데이터
- 차두시간 측정구간내에 타 교통류의 간섭이 없더라도 진입 전에 영향을 받지 않은 데이터
- 차두시간 측정구간내에 추월이 발생하지 않은 데이터

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

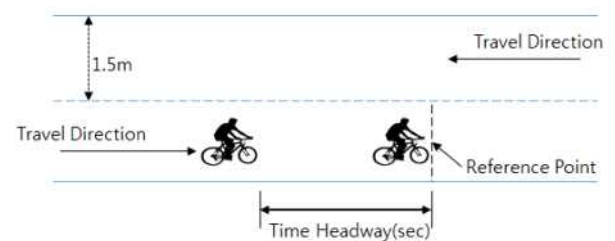


그림 2. 차두시간 측정방법

Fig. 2. Time headway measuring method

차두시간은 본 연구에서 개발한 자전거교통류의 차두시간 측정 프로그램을 이용하여 데이터화 하였다. 자전거가 지정된 지점(Reference Point)을 통과할 때 정해진 키를 누르면 자동으로 시간이 기록되고, 이전 자전거와의 차두시간이 산출된다. Fig. 3은 본 연구에서 개발한 차두시간 측정 프로그램의 데이터 조사장면이다.

```

ftn_headway.csv
-----
How to use
-----
- Type 's' to start over the work
- Type 'b' or space bar to record a follower
- Type 'c' to record a non-follower
- Type 'q' to quit the program
-----
START: Initialize the timer at 00:00:00:000
1, 00:00:00:000, 0, 00:00:06:818, 6818, 00:00:06:818,
6818, Y
2, 00:00:06:818, 6818, 00:00:08:814, 8814, 00:00:01:996,
1996, Y
3, 00:00:08:814, 8814, 00:00:13:136, 13136, 00:00:04:322,
4322, N
4, 00:00:13:136, 13136, 00:00:14:571, 14571, 00:00:01:435,
1435, N
5, 00:00:14:571, 14571, 00:00:15:850, 15850, 00:00:01:279,
1279, Y
6, 00:00:15:850, 15850, 00:00:16:724, 16724, 00:00:00:874,
874, N
7, 00:00:16:724, 16724, 00:00:17:644, 17644, 00:00:00:920,
920, Y
    
```

그림 3. 차두시간 분석 프로그램  
Fig. 3. Time headway analysis program

2) 데이터 필터링(Filtering)

일반적으로 자동차교통류의 차두시간 분포모형에서는 현장조사를 통해 무작위로 도착한 교통류 및 균일하게 도착한 교통류의 차두시간을 이용한다. 이는 비록 각각의 교통류들은 도착형태가 상이하지만, 교통량 등에 따라 앞 자전거와의 상호 영향력에 의해 차두시간이 결정된다는 가정이 기반이 된다.

반면 자전거교통류의 경우 촬영된 영상을 이용하여 차두시간 데이터를 관측하면서 자동차와 다른 자전거교통류의 특성을 인지할 수 있었다. 자동차교통류와는 달리 본 연구에서 자전거교통류의 촬영영상을 분석하면서 발견한 점은, 자전거교통류는 단지 교통량 등에 의해서만 차두시간을 형성하는 것이 아니라라는 것이다. 즉, 자전거교통류는 가족이나 연인 등이 자전거군(群)을 형성하여 움직이는 경우가 많고, 이러한 교통류는 교통량에 의해서라기보다는 본인들이 차두시간을 선택하여 주행할을 의미한다.

이 사실은 자전거교통류 분석에 중요한 요소로 판단되는데, 운전자가 다른 특정한 자전거에 의해 차두시간이 결정되는 교통류는 교통류 흐름에 의해 차두시간을 부여받는 것이 아니라, 운전자가 차두시간을 선택하여 주행하는 형태라는 사실이다. 다시 말하면 운전자 본인이 차두시간이 선택된 교통류는 교통류의 상호 영향력에 의해 결정된 차두시간이 아니므로, 일반적인 교통류분석에서는 포함되어서는 안 된다.

이러한 교통류의 차두시간을 교통류분석에서 제외할 수 있는 방법은 촬영영상의 데이터분석 단계에서 적정성을 판단한 후에 데이터분석에 포함시키지 않는 것이 바람직하다. 그러나 실제 영상분석에서 주어진 차두시간을 이용하는 교통류와 사전에 연계된 교통류를 구분하는 것은 정성적인 기준으로 판단되어야 하므로 사실상 불가능하다. 따라서 자전거교통류의 차두시간 모형개발에서는 선택된 차두시간과 교통량 등에 의해 결정된 차두시간의 구분방법이 필요하며, 이를 결정하기 위한 과정이 포함되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 실제 자전거도로에서의 차두시간 조사

이전에, 모의 현장실험을 통해 자전거교통류에서 운전자가 차두시간을 선택하였을 때의 시간을 구해보고자 하였다. 실험방법은 자전거운전이 숙련되었다고 판단되는 자전거동호회의 도움을 받아 자전거속도별로 차두시간을 측정하고, 이를 통해 운전자가 속도에 따라 선택할 수 있는 차두시간이 얼마인지를 알아보고자 하였다. 실험은 타 교통수단의 방해가 없는 자전거전용도로의 평탄한 직선구간에서 수행되었다. 안전한 실험을 위하여 자전거이용이 극히 적은 시간대를 선택하였고, 다른 자전거운전자가 타 교통수단이 실험구간 내에 진입할 경우에는 실험을 다시 시행하였다. 실험자는 총 5명으로 국내에서 자전거이용이 가장 많은 20대와 30대, 40대로 구성하여 대표성을 가지도록 하였다. 주행속도는 최소 5kph에서 국내 자전거전용도로의 제한속도인 30kph까지 5kph 간격으로 변화하면서 실험하여, 최대한 현장을 모사할 수 있도록 하였다. 날씨는 맑은 상태였으며, 도로시정은 양호하고 직선구간에 다른 교통류의 방해가 없는 이상적인 조건을 유지하였다. 모의 차두시간 실험의 현장실험방법은 Fig. 4와 같다.

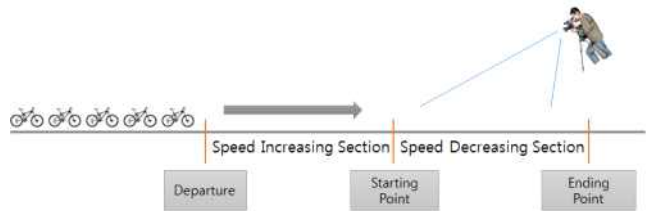


그림 4. 차두시간 실험 개요  
Fig. 4. Concept of time headway experiment

모의 현장실험은 다음과 같은 방법으로 진행되었다. 먼저 실험자는 실험이 시작되기 이전에 일정한 간격으로 일렬로 정렬하여 대기한다. 맨 앞의 운전자는 자전거의 속도계를 통해 각 실험단계별로 속도를 유지할 수 있도록 한다. 맨 앞의 운전자는 시작점에서 출발한 후 특정 지점에서부터 자전거에 부착된 속도계를 이용하여 정해진 속도를 유지하도록 하며, 후발 운전자들은 앞 자전거와의 속도를 유지하며 주행하였다. 실험은 각 속도별로 2회를 시행하였는데, 첫 번째에는 일반적인 차두시간 간격을 유지하면서 주행하고(CASE 1), 두 번째는 선행 자전거와 차두시간을 최소화하는 상태에서 주행하였다(CASE 2). 정해진 속도에 벗어났다고 판단되었을 경우 주행을 멈추고 다시 실험을 진행하였으며, 속도유지구간에서 각 실험자간의 주행속도와 차두시간을 측정하였다.



그림 5. 차두시간 실험 레코딩  
 Fig. 5. Recording of the time headway experiment

자전거운전자의 통행에 대해 행태로 구분(CASE 1, 2)한 이유는 앞뒤 자전거가 일행이라 하더라도 자전거운전능력에 따라 차두시간이 달라질 수 있기 때문에 2가지 행태로 실험을 진행하였다. 모의 현장실험을 통해 산출된 자전거 주행속도와 차두시간은 Table 1과 같다.

표 1. 주행속도에 따른 차두시간  
 Table 1. Time headway by travel speed

Bicycle Travel Speed (kph)	Time Headway(sec)		
	CASE 1	CASE 2	평균
5	1.56	1.54	1.55
10	0.95	0.84	0.9
15	0.8	0.61	0.71
20	0.54	0.43	0.48
25	0.49	0.41	0.45
30	0.46	0.37	0.41

Table 1의 실험결과를 보면, 자전거속도가 5kph일 때 평균 1.55초의 차두시간을 보이며, 속도가 증가할수록 차두시간은 감소하여 30kph일 때 0.41초까지 감소함을 알 수 있다. 자전거도로의 주행속도는 개인별로 차이가 발생하며, 대표적인 주행속도를 규정하는 것은 어렵다. 따라서 본 연구에서는 실제 자전거도로(안양천)의 차두시간 분석모형에 사용된 자전거의 주행속도 평균을 조사하여 Table 1에서 주행속도에 따른 차두시간을 찾고자 한다.

안양천 자전거도로의 차두시간 분석에 활용된 촬영영상에서 일정거리(6m)를 기준으로 시작점과 종료점의 통과시간을 측정하여 개별 주행속도를 측정하였다. 제시된 속도 중에서 차두시간의 선정을 위해 영상수집된 전체 자전거교통류의 평균 주행속도를 측정하였다. 측정된 자전거는 총 1,022대이며, 평균주행속도는 약 18kph로 분석되었다. 따라서 모의실험을 통해 자전거운전자가 선정한 차두시간은 Table 1에서 15kph와 20kph

에서 선정이 가능하며, 차두시간 선정에 따라 분석결과에 영향을 끼칠 수 있다. 본 연구에서는 2개의 값 중에서 큰 값인 0.7초 이하를 특정한 자전거에 의해 차두시간이 결정되는 교통류라고 정의하였다. 이에 따라 산출된 차두시간(0.7초)은 전체 차두시간 샘플에서 0.7초 이하가 되는 차두시간은 운전자가 선택한 차두시간으로 가정하여 실제 차두시간 분포 모형 추정을 위한 데이터분석에서는 제외하였다.

3-3 데이터 수집 및 차두시간 분포 제시

1) 데이터 수집

자전거교통류 중 연속류의 차두시간을 측정하기 위해 자전거교통량이 많은 강변 자전거도로를 공간적 범위로 선정하였다. 연속적인 자전거통행 데이터를 수집하기 위해서는 자전거도로가 타 교통수단에 방해받지 않고 통행해야 한다. 이러한 점을 고려하여 보행자와 인라인스케이트 등 타 교통수단과 상충이 비교적 적은 안양천 자전거도로를 대상지로 선정하였다. 데이터 수집의 용이성을 위해 주말 자전거통행이 많은 시간대를 선정하였으며, 측정된 자전거는 총 1,022대이다. 데이터 수집 단계에서 자전거도로를 벗어나거나 중앙선을 넘는 경우 또는 타 교통수단(인라인스케이트, 보행자 등)에 의해 일시적으로 정상적인 주행에 방해받았다고 판단되는 데이터는 수집에서 제외하였다.



그림 6. 강변자전거도로의 영상조사  
 Fig. 6. Sample video clip from riverside bikeway

2) 연속류 자전거도로의 차두시간 분포

현장조사 데이터를 차두시간과 교통량에 따라 구분하였다. 주말 자전거교통량은 목적지에 따라 방향 교통량이 차이가 발생하는 점을 고려하여 촬영지점을 기준으로 방향을 구분하여 분석하였다. 데이터 수집단위는 자료조사 지점을 기준으로, 좌측으로 진행되는 교통량(안양방면)과 우측으로 진행되는 교통량(서울방면)으로 구분하였다.

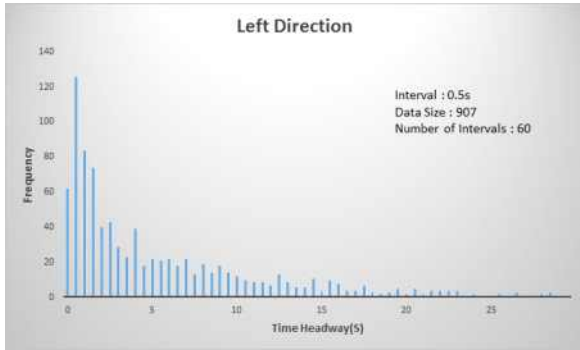


그림 7. 차두시간 분포(좌측방향)  
Fig. 7. Time Headway Distribution(Left Direction)

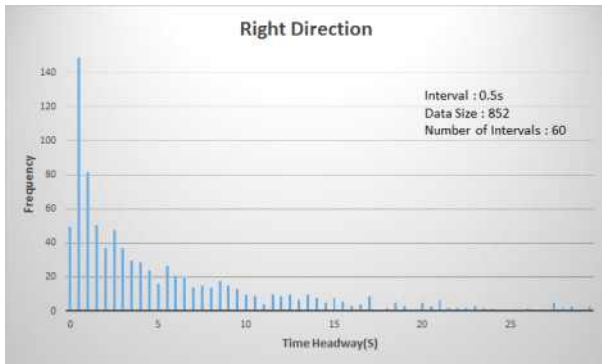


그림 8. 차두시간 분포(우측방향)  
Fig. 8. Time Headway Distribution(Right Direction)

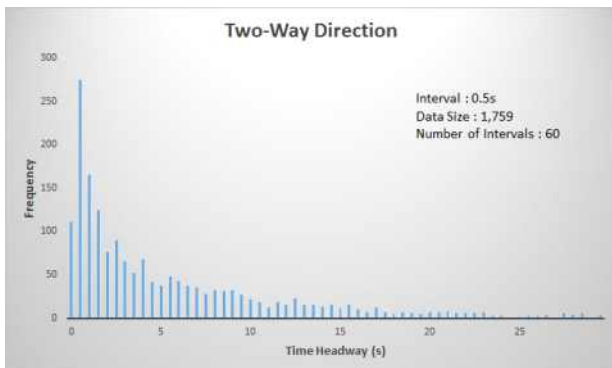


그림 9. 차두시간 분포(양방향)  
Fig. 9. Time Headway Distribution(Two-Way Direction)

차두시간(X축)은 자동차교통량의 분포에서 일반적으로 사용하는 0.5초를 기준으로 빈도수(Y축)를 표현하였다. 양방향 데이터를 살펴보면 총 관측된 차두시간 샘플은 1,759개이며, 차두시간 0.5초에서 1.0초 사이에 275대로 가장 높은 빈도수를 보이고 있으며, 0.5초 이하는 112대가 관측되었다. 앞에서 제시한 바와 같이 향후 차두시간 분포모형 개발시에는 0.7초 이하의 데이터는 포함시키지 않아야 한다. 이는 운전자가 선택한 차두시간은 실제 교통류의 차두시간 분석과는 차이가 있기 때문이며,

자전거 교통류의 특수성이 반영된 결과로 판단된다. 현장 실제 데이터를 통해 제시된 차두시간 분포는 자동차교통류의 차두시간 분포와 유사한 형태를 보이고 있으며, 향후 차두시간 분포 모형 개발 등의 연구가 가능하다.

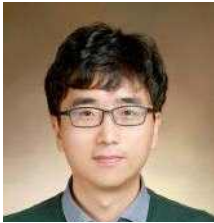
#### IV. 결론

본 연구에서는 연속류 자전거교통류의 차두시간 측정과 데이터 필터링 방법론을 제시하고, 실제 현장자료를 통해 실제 차두시간 분포를 제시하였다. 방법론에 포함된 항목은 현장데이터의 수집방법과 관측된 자전거교통류의 데이터 필터링방법이다. 데이터 필터링을 해야 하는 이유는 현재 국내의 자전거교통류는 가족 등의 자전거군(群)을 형성하여 움직이는 경우가 많고, 이러한 교통류는 교통량에 의해서라기보다는 본인들이 차두시간을 선택하여 주행함을 의미함을 알 수 있었기 때문이다. 차두시간 분석에서 운전자 본인이 차두시간이 선택된 교통류는 일반적인 교통류분석에서는 포함되어서는 안 된다고 판단하였으며 0.7초 이하가 되는 차두시간은 운전자가 선택한 차두시간으로 가정하여 실제 차두시간 분포에서 제외하였다. 본 연구에서 제시된 0.7초의 차두시간은 실험자의 수와 실험환경 등이 변화하면 달라질 수 있다. 차두시간의 집계간격은 기존의 자동차교통류에서 일반적으로 적용해오던 0.5초를 적용하였다. 본 연구의 결과는 첫째, 자전거교통류의 차두시간은 차로내에서의 자전거 통행방법과 타 교통류의 방해여부를 반영하여 조사되어야 한다는 것을 제시하였다. 둘째, 자전거교통류는 자동차교통류와 달리 선택된 차두시간이 존재하며, 이는 일반적인 차두시간 분포분석에서는 제외해야 한다는 것을 제시하였다. 향후 본 연구에서 제시한 연속류 자전거교통류의 차두시간 측정방법론은 향후 다양한 차두시간 분포모형의 개발에 적용할 수 있다. 특히 본 연구에서 제시한 자전거에 의해 차두시간이 결정된 교통류의 기준인 0.7초는 다양한 방법론 정립에 따라 변경될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] May, A., D., "Traffic Flow Fundamentals", Prentice-Hall, Inc, 1990
- [2] Moon, Jaepil·Kim, Dongnyong, "A study on Headway Distribution Models of Rural Two Lane Roads", *Korean Society of Road Engineers*, Vol.16 No.1 : 49-56, 2014.
- [3] Zhang, G., Wang, Y., Wei, H., and Chen, Y., "Examining headway distribution models with urban freeway loop event data", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2007

- [4] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, “Manual and Guideline of Rule on the Standard of Highway Structure and Facility”, 2009.
- [5] Akcelik, R., and Chung, E., “Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways”, Road and Transport Research, 1994.
- [6] Luttinen, R. “Properties of Cowan's M3 headway distribution”, Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, (1678), 189-196, 1999



**전우훈(Woo Hoon Jeon)**

2016년: 서울대학교 도시계획학 박사  
2001년: 한양대학교 교통공학 석사  
1999년: 한양대학교 교통공학 학사

2001년~현 재: 한국건설기술연구원 수석연구원  
※관심분야: 도로안전, 무동력 교통수단, 모바일 앱, 도로시설



**양인철(Inchul Yang)**

2011년: Ph.D. in Civil Engineering  
at Univ. of California, Irvine  
2000년: 연세대학교 도시공학석사  
1998년: 연세대학교 도시공학 학사

2011년~현 재: 한국건설기술연구원 연구위원  
※관심분야: 첨단교통, 자율주행, C-ITS, 도로안전, 도로시설