

국내 연속류 자전거도로의 차두시간 분포 모형 개발

Development of a Time Headway Distribution Model for Uninterrupted Traffic Flow Bikeway in Korea

전 우 훈* · 이 영 인** · 양 인 철***

* 주저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 도로관리통합센터

** 공저자 : 서울대학교 환경대학원 교수

*** 공저자 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 도로관리통합센터

Woo Hoon Jeon* · Young-Ihn Lee** · Inchul Yang*

* Integrated Road Management Center, Dept. of Infrastructure Safety Research, KICT

** Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University

† Corresponding author : Woo Hoon Jeon, cwmoon@kict.re.kr

Vol.18 No.5(2019)

October, 2019

pp.79~90

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.5.79>

2019.18.5.79

Received 11 September 2019

Revised 30 September 2019

Accepted 21 October 2019

© 2019. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

본 연구에서는 국내의 연속류 자전거도로에 대한 차두시간 분포 모형을 개발하고자 하였다. 현장조사를 통해 수집된 데이터를 교통량으로 구분하여 분석하였으며, 교통량의 기준은 전체 교통량을 분포를 고려하여 1분당 8대 미만은 낮은 수준의 교통량으로 하고 8대 이상은 높은 수준의 교통량으로 구분하였다. 차두시간의 집계간격은 기존의 자동차교통류에서 일반적으로 적용해오던 0.5초를 적용하였다. 적용된 분포는 기본적인 정규분포와 함께 음지수분포, 전이된 음지수분포, 피어슨 III분포이며, 카이스퀘어 검정 분석결과 음지수분포와 전이된 음지수분포에서 방향과 교통량 구분 모두에서 이론치와 관측치간에 적합한 것으로 나타났다. 제시된 자전거 차두시간 분포모형의 적정성을 판단하기 위한 분석결과, 역시 동일하게 음지수분포와 전이된 음지수분포가 적합한 것으로 나타났다.

핵심어 : 차두시간 분포 모형, 교통량, 음지수분포, 연속류 자전거도로

ABSTRACT

This study aims to develop time headway distribution models of bicycle traffic flow in a uninterrupted bikeway. The sample data were collected and classified into two groups of traffic volume levels. The lower level traffic volume is defined to be under 8 bicycles per minute, and the higher one is greater or equal to 8 bicycles per minute. The data aggregation interval size was set to be 0.5-second. Four distribution models including normal distribution, negative exponential distribution, shifted negative exponential distribution, and Pearson III distribution were tested, and Chi-square test results shows that the negative exponential distribution and the shifted negative exponential distribution are well fitted to the sample data. Another test results with different sample data also shows the same conclusion.

Key words : Time headway distribution, Traffic volume, Negative exponential distribution, Uninterrupted bikeway

I. 서론

교통류의 특성을 분석하기 위한 요소들은 속도(speed) 및 통행시간(travel time), 교통량(volume), 교통류율(flow rate) 및 그의 역수인 차두시간(time headway), 밀도(density) 등 여러 가지가 있으며, 각 요소들은 서로 밀접한 관계를 가지고 있다. 일반적으로 교통류 특성을 파악할 수 있는 가장 좋은 방법은 교통류 이론에 따라 모형화를 하는 것이며, 이러한 모형을 이용하여 교통류 특성의 여러 변수들을 평가하거나 측정할 수 있다(Dho, 2004). 특히 차두시간(time headway)은 교통류에서 수시로 발생하는 합류와 추월, 횡단 등을 분석하는 중요한 요소이다.

차두시간은 한 지점을 통과하는 연속된 차량의 통과시간 간격으로 정의되며, 현장조사시에는 자동차의 일정부(앞부분 또는 뒷부분)과 일정부분이 통과하는 시간으로 측정되며, 평균 차두시간은 평균 교통류율의 역수이다. 자동차 교통류에 대한 차두시간 분석 및 모형은 오래전부터 연구되어 왔으며, 현재도 많은 연구가 진행중에 있다. 자동차 교통류의 차두시간 분포는 정규분포를 이루는 속도와는 달리 음지수(negative exponential) 분포를 이룬다. 또한 교통량의 수준에 따라 Gamma 혹은 Erlang 모형이 차두시간 분포모형으로 제시되는 등 다양한 이론이 존재하고 있다.

그러나 자전거 교통류에 대한 차두시간 분포 모형 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 거의 이루어지지 못하고 있다. 이는 자전거이용자의 부족 및 이로 인한 자전거교통류 분석의 필요성이 요구되지 못하고 있어 관련 연구가 많이 없는 실정이다. 최근 우리나라의 자전거인구는 1,200만명이 넘어서는 것으로 알려져 있으며, 봄·가을 등 자전거이용이 활발한 시기에는 한강, 안양천 등 하천변 자전거도로와 이를 연계하는 시내 자전거도로에 많은 자전거이용자들이 지·정체를 반복하는 현상을 보이고 있다. 자전거이용자의 증가에 따라 자전거 교통사고 역시 크게 증가하고 있으나, 교통사고 감소를 위한 차두시간 분석 등과 같은 기초적인 데이터 분석 방법론조차 개발되지 못하고 있다. 차량간의 시간적 간격을 나타내는 차두시간은 도로의 안전성 뿐만 아니라 서비스수준 분석 및 용량분석 등을 시행하기 위한 가장 기초적인 데이터이다. 차두시간이 일정수준보다 작아지면 전체 교통류는 불안해지게 되며, 앞뒤 차량간의 추돌 등의 교통사고로 이어질 수 있다. 또한 도로설계의 가장 기초적인 분석인 용량분석시에도 차두간격은 가장 중요한 데이터이며, 이를 통해 차로수 등 도로계획상의 중요한 요소들이 결정되므로 차두시간에 대한 분석은 지속적으로 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 국내의 연속류 자전거도로에 대한 차두시간 분포 모형을 제시하고자 한다. 현재 우리나라에서는 자전거 교통류에 대한 연구가 거의 없으므로 기존 자동차 교통류에서 제시된 차두시간 분포 모형을 적용하여 자전거 교통류의 차두시간 분포 모형을 개발하였다. 또한 현장에서 수집된 실제 데이터를 이용하여 개발된 모형의 적용 및 평가성을 검증하였다.

II. 문헌고찰

교통류의 차두시간 분포 모형에 대한 연구는 대부분 자동차 교통류를 중심으로 이루어져 왔으며, 자전거 교통류에 대한 차두시간 분포 모형은 거의 제시되지 못하고 있다. 따라서 본 장에서는 주로 자동차 교통류에서 제시된 차두시간 분포 모형을 중심으로 분석하고 자전거 교통류의 모형 구축을 위한 방법론에 적용하고자 하였다.

Kim and Park(2006)는 개별차량의 차두시간분포 분석을 통해 고속도로에서의 설계용량 산정모형을 개발하고자 하였으며, 본 연구에서 참고한 부분은 고속도로의 용량산정을 위해 적용한 차수시간 분포특성 및 모형

에 관한 부분이다. 차두시간 분포특성을 분석하기 위하여 미국 FHWA의 차량간섭 연구를 위한 고속도로 수집자료를 사용하였다. 수집대상구간은 캘리포니아의 U.S. 101과 I-405이며, 시뮬레이션 소프트웨어 ProModel을 이용하여 속도별 추출된 차두시간의 통계적 분포를 추정하고 통계적 검정을 수행하였다. 속도별 도수가 15개 이하 또는 차두시간이 0.5초 이하인 자료는 분석에서 제외하였다. 차두시간의 통계적 분포추정에 사용된 확률밀도함수는 음지수분포, 정규분포, 감마분포, Pearson type V이며, 분석결과 Pearson type V 분포의 형태로 추정하였을 경우 통계적 검정값이 가장 우수한 것으로 나타났다.

Rattaphol Pueboobpaphan 등의 연구에서는 기존의 일반차량 데이터를 이용한 차두시간 분포모형 분석 대신 probe를 이용한 샘플링된 차두시간 분포를 이용하여 모형을 분석하였다. 텍사스의 휴스턴에서 수집된 probe 데이터를 이용하였으며, 1차로와 2차로 모두에서 전이된 음지수분포모형이 적정한 것으로 나타났다. 또한 일반 차량들의 차두시간이 전이된 음지수분포를 따른다면 probe의 차두시간 역시 동일하게 전이된 음지수분포를 따르는 것으로 제시하였다. Minh et al.(2005)은 이륜자동차(Motorcycle)에 대해 베트남 하노이의 4개 현장 데이터를 이용하여 속도-교통량 관계를 파악하고 차두시간을 분석하였다. 1,106대의 데이터의 차두시간을 0.5초 단위로 수집하였으며, 최소 0.34초에서 최대 4.31초인 것으로 나타났다. 수집된 데이터의 50% 이상이 0.5초에서 1.0초에 위치하여 일반적인 차량의 차두시간에 절반 정도인 것으로 제시하였다. 위 연구는 이륜자동차에 대한 실험결과이긴 하나 자전거교통류의 분석방법 검토 등에 참조가 가능하다.

이 외에도 Griffiths and Hunt(1991)은 도시지역에서의 차두시간 분포는 Double Displaced 음지수분포가 현상을 잘 묘사한다고 제시하였으며, Ouworie et al.(1980)은 지방부 도로에서 교통류의 간섭정도(추종과 비추종)에 따라 모형을 구분하여 Truncated Gaussian 분포와 음지수분포를 차두시간 분포모형으로 제시하였다.

또한 Khasnabis and Heimbach(1980)는 지방부 2차로도로의 차두시간 분포모형을 개발하였으며, 그 결과 기존의 음지수분포나 Pearson Type III, Schuhl 등은 적합하지 않고 수정된 Schul모형이 적정한 모형으로 제시하였다. Yin et al.(2009)는 교통상황을 구분하여 차두시간 분포모형을 제시하였으며, 자유교통류 상태에서는 Log-normal 분포모형이 적합하고 혼잡상태에서는 Log-logistic 분포모형이 적합한 것으로 제시하였다. Al-Ghamdi(2001)은 도시부도로의 혼잡한 상태에서의 차두시간 분포모형을 분석하였으며, 그 결과 Erlang 분포가 가장 적합한 것으로 제시하였다. 선행연구 검토결과를 요약하면 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Literature Review

Authors	Road Type	Time headway distribution
Kim J. S and Park C. H.(2006)	· Interstate Highway	· Person Type V
Pueboobpaphan R., Park D. J., Kim Y. C. and Choo S. H.(2013)	· Urban Freeway	· Shifted Negative Exponential
Griffiths and Hunt(1991)	· Urban Highway	· Double Displaced Negative Exponential
Ouworie et al.(1980)	· Rural Highway	· Truncated Gaussian · Negative Exponential
Khasnabis and Heimbach(1980)	· Rural Highway	· Modified Schul
Yin et al.(2009)	· Rural Highway	· Free flow : Lognormal · Congestion : Log-logistic
Al-Ghamdi(2001)	· Urban Highway	· Erlang

이상과 같이 검토한 기존 연구들은 도로의 유형(고속도로, 지방부도로 등)에 따라 자동차 교통류의 차두시간 분포 모형을 분석하고 가장 적합한 모형을 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 문헌고찰에서 제시된 차두시간 분포 모형을 근간으로 국내 자전거 교통류에서 적용가능한 분포 모형을 개발하고자 한다.

Ⅲ. 연속류 자전거도로의 차두시간 분포 모형 개발

1. 교통량 데이터의 구분

자동차교통류의 차두시간 분포 모형을 보면 교통량에 따라 차두시간분포 모형을 구분하여 제시하는 것이 일반적이다. 이는 교통량이 적으면 평균과 표준편차가 커지게 되고, 교통량이 많아지면 평균과 표준편차가 작아지는 특성을 구분하여 설명하기 위함이다. 따라서 자전거교통류의 차두시간 분포모형에서도 교통량의 기준에 따라 모형적용을 구분하여 적용하는 과정이 포함되어야 한다. May(1990)는 차량의 차두시간을 1분당 교통량을 기준으로 4개로 구분(10~14, 15~19, 20~24, 25~29)하여 그래프로 나타내었다. Y축은 1분당 교통량이고, 평균교통량으로 환산되어 표시되었다. X축은 차두시간(초)이며, 0.5초 간격으로 그래프에 표현되었다. 본 연구에서는 자전거교통량의 범위를 고려하여 낮은 교통량(Low)과 높은 교통량(High)로 구분하였다.

2. 기존 모형 및 전이된 모형의 적용

차두시간의 분포모형을 설명하기 위해 May(1990)는 <Table 2>와 같이 모형과 확률밀도함수를 제시하고 있으며, 그 외에도 많은 모형들이 있다. 본 연구에서는 제시된 모형중에서 대표적인 모형을 선정하여 실제 자전거도로의 현장에서 도출된 관측치와 모형에 따른 이론치를 비교하고자 하였다.

<Table 2> Pearson type III distribution family models (May, 1990)

Distribution Family	Estimating \hat{K}	Calculating λ	Probability Density Function, $(f(t))$	Probability Distribution $(P(h \geq t))$
Person III (K, α)	$\frac{\bar{t} - \alpha}{s}$	$\frac{K}{\bar{t} - \alpha}$	$\frac{\lambda}{\Gamma(K)} [\lambda(t - \alpha)]^{K-1} e^{-\lambda(t - \alpha)}$	$\int_t^\infty f(t) dt$
Gamma $(K, \alpha = 0)$	$\frac{\bar{t}}{s}$	$\frac{K}{\bar{t}}$	$\frac{\lambda}{\Gamma(K)} [\lambda t]^{K-1} e^{-\lambda t}$	$\int_t^\infty f(t) dt$
Erlang $K = 1, 2, 3, \dots, \alpha = 0)$	$\frac{\bar{t}}{s}$	$\frac{K}{\bar{t}}$	$\frac{\lambda}{(K-1)!} [\lambda t]^{K-1} e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t} \sum_{h=0}^{n=k-1} \frac{(\lambda t)^n}{n!}$
Negative exponential $(K = 1, \alpha = 0)$	$\frac{\bar{t}}{s}$	$\frac{1}{\bar{t}}$	$\lambda e^{-\lambda t}$ or $\lambda e^{-\frac{t}{\bar{t}}}$	$e^{-\lambda t}$ or $e^{-t/\bar{t}}$
Shifted negative exponential $(K = 1, \alpha > 0)$	$\frac{\bar{t} - \alpha}{s}$	$\frac{1}{\bar{t} - \alpha}$	$\lambda e^{\lambda(t - \alpha)}$ or $\lambda e^{-(t - \alpha)/(\bar{t} - \alpha)}$	$\lambda e^{\lambda(t - \alpha)}$ or $e^{-(t - \alpha)/(\bar{t} - \alpha)}$

제시된 모형들은 관측된 차두시간의 빈도수와 카이스퀘어 검정을 통해 모형의 적합성이 판단된다. 자전거교통류의 차두시간 분포모형은 아직까지 제시된 바가 없으므로, 본 연구에서는 자동차교통류에서 일반적으로 적용되는 기본적인 정규분포와 함께 음지수분포, 피어슨 III분포를 적용해보았다. 또한 전이된 모형에 대한 검토를 위해 기존의 음지수분포에서 전이값을 0.5초를 적용하여 비교분석하였다. 만약 제시된 정규분포와 음지수분포, 전이된 음지수분포, 피어슨 III분포를 적용하여 적절한 차두시간 분포모형이 없을 경우에는 추가적인 분포모형을 적용하기로 한다. 또한 전이된 음지수분포에서 적용한 전이값인 0.5초가 모형에 대한 1종 오류의 가능성이 클 경우 전이값을 수정하여 적용하기로 한다.

자전거교통류의 차두시간 분포모형에 적용가능한 방법론과 가정에 따라 실제 자전거교통류의 현장자료 수집을 통해 이를 적용해보았다. 자료수집방법은 직접 현장에서 자전거교통류를 촬영하여 데이터화하였으

며, 자전거교통류의 특성분석에 따라 운전자가 선택한 차두시간을 실험을 통해 산출하였다. 적용된 차두시간 분포모형은 정규분포와 음지수분포, 피어슨 III분포이며, 전이된 음지수분포는 전이값을 0.5초를 적용하여 비교분석하였다. 음지수분포의 전이값은 값의 변화에 따라 카이스퀘어 검정에 차이가 있을 수 있으므로, 전이값을 다양화하여 변화에 따른 검정결과를 살펴보았다.

3. 연속류 자전거도로의 차두시간 분포 모형 개발

자전거교통류도 자동차교통류와 형태가 유사할 것이라는 가정하에, 본 연구에서는 자전거교통류를 낮은 교통량(Low)과 높은 교통량(High)로 구분하였다. 교통량의 기준은 1분당 8대 미만은 낮은 교통량으로 하고 8대 이상은 높은 교통량으로 구분하여 분석하였다¹⁾. 그리고 데이터 분석단계에서 차두시간이 30초 이상은 거의 발생하지 않을 뿐 아니라, 차두시간의 개념에 벗어나는 것으로 판단하여 데이터에서 제외하였다.

선행문헌 고찰에서도 언급되었듯이 국내뿐만 아니라 국외에서도 자전거교통류의 분포 모형에 대한 연구는 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 자동차교통류에서 사용되는 대표적인 분포 모형을 자전거교통류에 적용해보았다. 적용된 분포는 정규분포와 음지수분포, 피어슨 III분포이며, 전이된 음지수분포는 전이값을 0.5초를 적용하여 비교분석하였다.

모형개발과 정산을 위해 데이터집단을 2개의 그룹으로 분할하였다. 시간대별로 총 4개의 데이터집단이 수집되었으며, 모형개발과 정산에 각각 2개의 데이터집단을 적용하였다. 모형개발에 사용된 데이터는 700개이고 정산에 사용된 데이터는 720개이다. 연속류 형태의 자전거 차두시간을 측정하기 위해 자전거교통량이 많은 하천변 자전거도로를 대상으로 하였다. 대상구간은 안양천 자전거도로이며, 비교적 교통량이 많은 주말을 이용하여 데이터를 수집하였다. 또한 데이터 수집단계에서 선행 자전거의 주행행태에 영향을 받지 않은 데이터는 포함시키지 않았다.

차두시간 모형의 통계적 유의성 여부를 분석하기 위해 카이스퀘어 검정을 사용하였으며, 유의수준은 0.01로 하였다. 통계적 유의성 검정을 위한 카이스퀘어 검정의 수식은 식(1)과 같다.

$$X^2_{cal} = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, χ^2_{cal} : 산출된 카이제곱 값
 E_i : 관측된 차두시간 빈도수
 O_i : 추정된 차두시간 빈도수

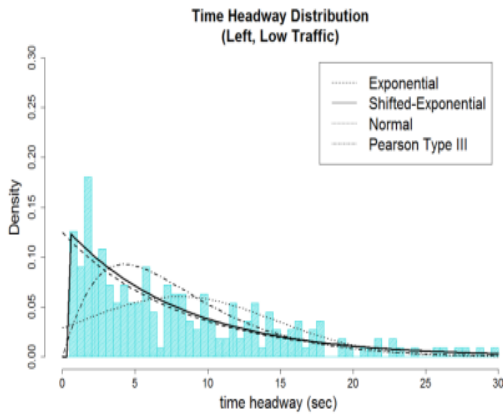
차두시간 모형선정을 위해 사용된 700개의 데이터에 대해 기초통계량을 분석하였다. 데이터의 개수는 좌측 낮은 교통량이 222개로 가장 많고 좌측 높은 교통량이 102개로 가장 적었다. 4개의 데이터그룹 모두 중앙값이 평균값보다 작게 나타났는데, 일반적으로 관측치가 균일하게 분포되어 있을 경우 중앙값과 평균값이 유사하게 나타므로 본 연구에서 사용된 차두시간 데이터의 분포가 좌측에 치우쳐있음을 의미한다. 교통량을 기준으로 높은 교통량에 비해 낮은 교통량의 평균 차두시간이 크게 관측되고 있음을 알 수 있다. 각 교통량과 방향에 따른 차두시간 데이터의 기초 통계량은 <Table 3>과 같다.

1) 8 / ,

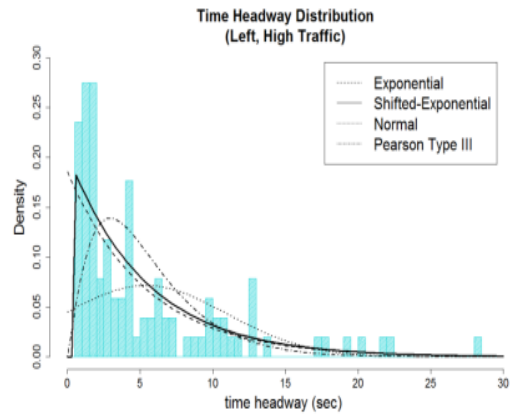
<Table 3> Descriptive statistics of time headway data

구분	Number of Data	Median	Mean	Standard Deviation
Left-Low Volume	222	5.968	8.025	6.609
Left-High Volume	102	3.126	5.382	5.583
Right-Low Volume	201	5.563	7.786	6.731
Right-High Volume	175	3.750	6.578	6.645

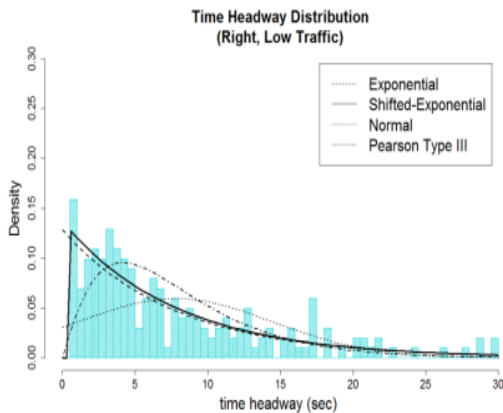
좌측교통류의 낮은 수준 교통량에 대해 정규분포와 음지수분포, 전이된 음지수분포, 피어슨 III분포를 적용한 이론치와 실제 현장에서 도출된 관측치를 그래프로 제시하면 다음과 같다.



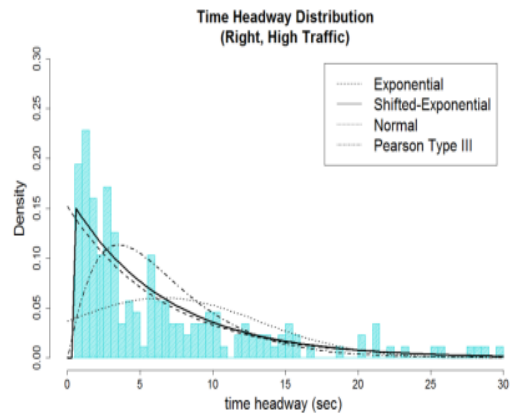
<Fig. 1> Distribution(Left, Low volume)



<Fig. 2> Distribution(Left, High volume)



<Fig. 3> Distribution(Right, Low volume)



<Fig. 4> Distribution(Right, High volume)

현장에서 도출된 관측치와 각 4개의 분포모형(정규분포와 음지수분포, 전이된 음지수분포, 피어슨 III분포)를 적용한 이론치에 대해 검정을 하기 위해 카이스퀘어 검정을 사용한 결과는 <Table 3>과 같다. 유의수준은 0.01이며, 각 방향별과 교통량 수준별에 따라 이론치와 관측치간의 유의확률을 제시하였다.

분석단위를 0.5초로 하고 좌측(안양)으로 이동하는 교통류와 우측(서울)으로 구분하여 4개 분포모형의 통계적 유의성을 분석하였다. 유의확률(p-value)이 유의수준과 비교할 때 음지수분포와 전이된 음지수분포에서 방향과 교통량 구분 모두에서 이론치와 관측치간에 1종 오류의 확률이 작은 것으로 나타났다. 반면, 정규분포와 피어슨 III분포는 통계적으로 1종 오류의 확률이 큰 것으로 나타났다. 음지수분포와 0.5초 전이된 음지수분포는 둘 다 유의확률이 유의수준보다 높아 귀무가설을 기각할 수 없는 것으로 나타났으나, 통계치를 비교하였을 때 전이된 음지수분포가 더욱 1종 오류의 확률이 적은 것으로 판단할 수 있다.

<Table 4> Statistical test results

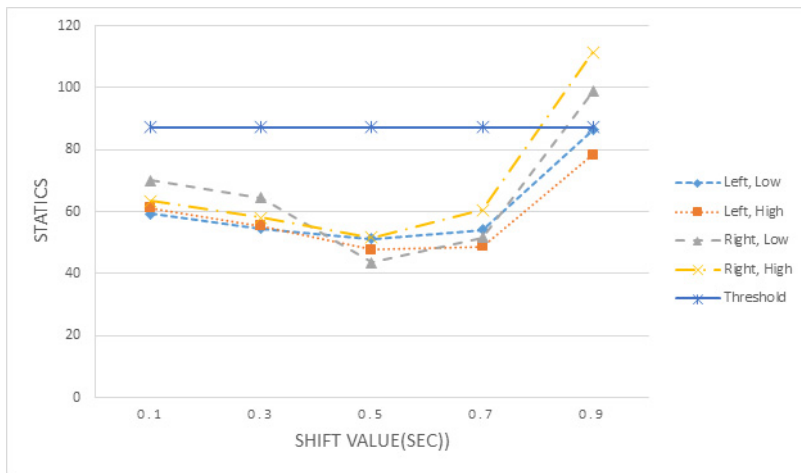
Statics		Distribution			
		Negative exponential	Shifted negative exponential	Normal	Pearson III
Left (Low)	χ^2	61.06	51.15	152.29	99.92
	$\chi^2_{0.01} (59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.4019	0.7567	0.0000	0.0007
Left (High)	χ^2	62.77	47.81	151.67	90.39
	$\chi^2_{0.01} (59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.3443	0.8510	0.0000	0.0053
Right (Low)	χ^2	73.06	43.68	158.12	119.08
	$\chi^2_{0.01} (59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.1031	0.9322	0.0000	0.0000
Right (High)	χ^2	65.51	51.59	214.08	126.56
	$\chi^2_{0.01} (59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.2613	0.7424	0.0000	0.0000

본 연구에서는 자전거도로의 차두시간 분포모형 중 가장 1종 오류의 확률이 작은 모형을 전이된 음지수분포로 제시하였다. 전이값은 0.5초를 적용하였으며, 전이값에 따라 모형의 1종 오류 확률이 달라질 수 있다. 많은 차두시간 분포모형개발에서 사용하는 전이값은 0.5초가 가장 많으나, 자전거교통류에 대한 차두시간 분포모형은 관련 연구가 부족하므로 다양한 분석이 필요하다. 따라서 음지수분포의 전이값을 다양하게 적용하여 카이스퀘어검정을 시행하여 전이값에 따른 통계량을 비교분석하면 <Table 4>와 같다.

전이값을 0.1초에서 0.2초 간격으로 변화하여 카이스퀘어 통계검정을 시행한 결과 0.9초에서 일부 임계치를 벗어났으나, 나머지 경우에는 유의한 것으로 나타났다. 카이스퀘어 통계량을 이용하여 비교하면 본 연구에서 제시한 전이값인 0.5초에서 가장 1종 오류의 확률이 작은 것으로 나타났으며, 나머지 전이값에서는 유의한 결과이긴 하나 1종 오류의 확률이 0.5초보다 큰 것으로 나타났다. 이는 기존의 음지수분포에서 전이된 음지수분포가 통계적 검정을 통과하며, 적용된 전이값에서는 0.5초가 가장 1종 오류의 확률이 작은 것으로 제시할 수 있다. 각 경우별 전이값에 대한 통계치를 비교하면 <Table 5>와 같이 제시된다.

<Table 5> Statistical test results of negative exponential distribution by shift parameter

Statics		Shift Parameter				
		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
Left (Low)	χ^2	59.29	54.63	51.15	54.10	86.37
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17	87.17
Left (High)	χ^2	61.10	55.45	47.81	48.81	78.30
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17	87.17
Right (Low)	χ^2	70.14	64.41	43.68	51.60	98.84
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17	87.17
Right (High)	χ^2	63.42	58.15	51.59	60.58	111.45
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17	87.17



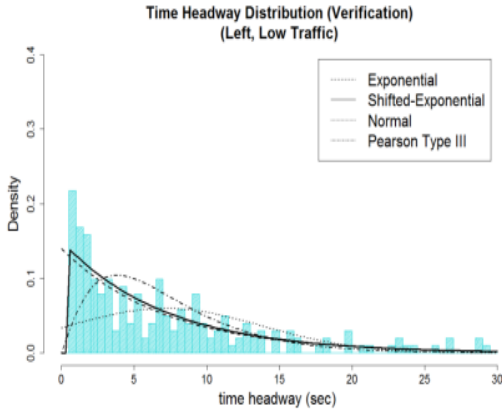
<Fig. 5> Statistical test results by shift parameter

4. 개발된 모형의 적용 및 평가

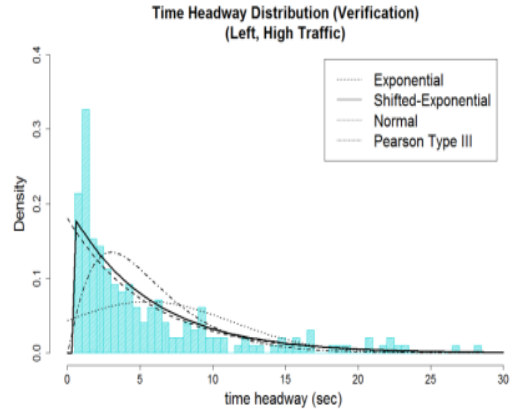
지금까지 자전거교통류의 차두시간 분포모형을 정립하는 방법론과 실제 현장데이터를 이용하여 4개의 모형에 대한 관측치와 이론치를 통계적 검정을 통해 시행하였다. 방법론에서는 자전거운전자가 다른 특정한 자전거에 영향을 받는 교통류에 대해 정의하고, 그러한 교통류를 찾는 방법을 제시하였다. 또한 교통량에 따라 차두시간 분포모형을 구분하여 제시하였으며, 기존의 정규분포와 함께 음지수분포, 피어슨 III분포와 함께 전이된 음지수분포를 적용하였다. 모형분석 결과 음지수분포와 전이된 음지수분포가 관측치와 비교하였을 때 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으며, 통계치 비교에서는 전이된 음지수분포가 음지수분포보다 1종 오류의 확률이 작은 것으로 분석되었다.

본 절에서는 개발된 모형에 대해 상이한 데이터를 이용하여 모형의 적용성을 판단하고자 한다. 이를 위해 3절에서도 언급하였듯이 모형개발과 정산을 위해 데이터집단을 2개의 그룹으로 분할하였다. 앞의 데이터집단은 모형개발을 위해 사용되었으며, 개발모형의 적용 및 평가를 위해 두 번째 그룹의 데이터를 적용하였다.

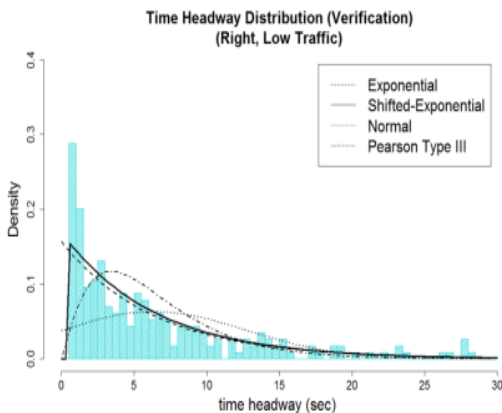
차두시간 모형의 통계적 유의성 여부를 분석하기 위해 모형개발 단계와 동일하게 카이스퀘어 검정을 사용하였으며, 유의수준 역시 동일하게 0.01로 하였다. 통계적 유의성 검정을 위한 카이스퀘어 검정의 수식은 식(1)과 같다. 적용 및 평가를 위한 차두시간 분포모형은 개발단계와 동일하게 정규분포, 음지수분포, 피어슨 III 분포, 전이된 음지수분포를 적용하였다. 자전거교통량의 범위를 고려하여 낮은 교통량(Low)과 높은 교통량(High)로 구분하였다.



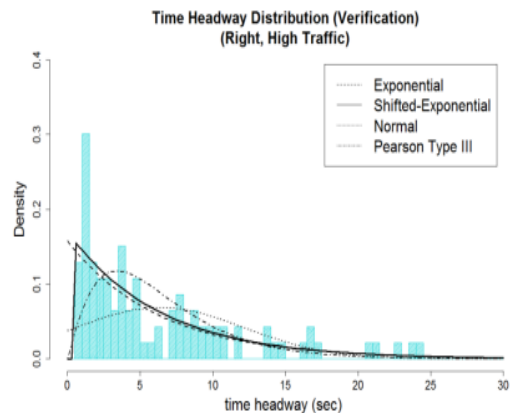
<Fig. 6> Time headway distribution(Left, Low Volume)



<Fig. 7> Time headway distribution(Left, High Volume)



<Fig. 8> Time headway distribution(Right, Low Volume)



<Fig. 9> Time headway distribution(Right, High Volume)

선정된 모형에 대해 다른 현장데이터를 이용하여 적용 및 평가를 시행하였다. 적용 및 평가방법은 개발단계와 동일하게 수행하였으며, 관측된 데이터를 교통량(Low, High)에 따라 0.5초 단위로 4가지 분포(정규, 음지수, 전이된 음지수, 피어슨 III)와의 유의성을 분석하였다. 적용 및 평가결과, <Table 6>에서 나타나듯이 음지수분포와 전이된 음지수분포는 개발단계와 동일하게 모두 관측치와 예측치가 적합한 것으로 나타났다. 또한 정규분포와 피어슨 III분포에서는 일부 구간만 적합한 것으로 나타났을 뿐 나머지 경우에는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

<Table 6> Statistical test results for application

Statics		Distribution			
		Negative exponential	Shifted negative exponential	Normal	Pearson III
Left (Low)	χ^2	68.74	48.63	217.4	159.96
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.1808	0.8301	0.0000	0.0000
Left (High)	χ^2	66.22	47.03	273.78	131.16
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.2419	0.8696	0.0000	0.0000
Right (Low)	χ^2	67.17	48.48	285.14	184.98
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.2175	0.8342	0.0000	0.0000
Right (High)	χ^2	41.89	29.36	122.17	57.72
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.9551	0.9996	0.0000	0.5229

IV. 결 론

본 연구에서는 연속류 자전거도로의 차두시간 분포 모형을 실제 현장데이터를 이용하여 개발하였다. 이를 위해 교통량을 구분하여 분석하였으며, 교통량의 구분은 차두시간 분포모형 개발에서 교통량이 적으면 평균과 표준편차가 커지게 되고, 교통량이 많아지면 평균과 표준편차가 작아지는 특성을 반영하기 위해 적용하였으며, 자전거교통류를 낮은 수준의 교통량과 높은 수준의 교통량으로 구분하였다. 교통량의 기준은 전체 교통량을 분포를 고려하여 1분당 8대 미만은 낮은 수준의 교통량으로 하고 8대 이상은 높은 수준의 교통량으로 구분하여 분석하였다. 차두시간의 집계간격은 기존의 자동차교통류에서 일반적으로 사용하는 0.5초를 적용하였다.

모형의 적용에서는 기존의 자동차교통류에서 사용되는 대표적인 분포 모형을 자전거교통류에 적용하였다. 적용된 분포는 기본적인 정규분포와 함께 음지수분포, 전이된 음지수분포, 피어슨 III분포이다. 전이된 음지수분포는 전이값을 0.5초를 적용하여 비교분석하였다. 만약 제시된 분포모형에서 자전거교통류의 예측치와 현장치에 대한 모형이 선정되지 않는다면 추가적인 모형을 제시하고자 하였다. 분석결과 음지수분포와 전이된 음지수분포에서 방향과 교통량 구분 모두에서 이론치와 관측치간에 적합한 것으로 나타났다. 반면, 정규분포와 피어슨 III분포는 통계적으로 적합하지 않은 것으로 나타났다. 음지수분포와 0.5초 전이된 음지수분포는 둘 다 적합한 것으로 나타났으나, 통계치를 비교하였을 때 전이된 음지수분포가 더욱 적합도가 높은 것으로 판단된다. 본 연구에서는 음지수분포의 전이값을 0.5초로 제시하였으며, 다른 전이값에 대한 1중 오류의 확률을 비교분석하기 위해 0.1초에서 0.2초 간격으로 0.9초까지 적용해 보았다. 분석결과 대부분의 전이값에서 통계적인 검정을 통과하는 것으로 나타났으며, 전이값 0.5초에서 가장 1중 오류의 확률이 작은 것으로 나타났다.

모형개발과 정산을 위해 데이터집단을 2개의 그룹으로 분할하였으며, 앞의 데이터집단은 모형개발을 위해

사용되었고 개발모형의 적용 및 평가를 위해 두 번째 그룹의 데이터를 적용하였다. 차두시간 모형의 통계적 유의성 여부판단은 모형개발 단계와 동일하게 카이스퀘어 검정을 사용하였으며, 유의수준은 0.01로 하였다. 모형 개발단계와 동일하게 분석단위를 0.5초로 하고 좌측(안양)으로 이동하는 교통류와 우측(서울)으로 구분하여 4개 분포모형의 통계적 유의성 여부를 분석하였다. 모형의 유의성 분석 결과, 모형 개발단계와 동일하게 음지수분포와 전이된 음지수분포에서 방향과 교통량 구분 모두에서 이론치와 관측치간에 적합한 것으로 나타났다. 정규분포는 모든 방향과 교통량에서 적합하지 않은 것으로 나타났으며, 피어슨 III분포는 우측 높은 교통량에서만 적합한 것으로 나타났을 뿐 나머지는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

본 연구에서 자전거교통류의 차두시간 분포모형으로 가장 1종 오류의 확률이 작은 모형은 음지수분포와 전이된 음지수분포이다. 포아송분포는 교통공학에서 사고발생분포와 차두시간분포, 차량도착분포 등에서 가장 많이 사용되는 분포이며, 음지수분포는 간격분포의 기본적인 형태로서 포아송분포에서 유도되는 분포이다. 따라서 본 연구에서 제시한 4가지 분포모형 중 정규분포와 피어슨 III분포보다 음지수분포를 따르는 것은 이론적으로도 합리적이라고 판단된다. 이는 자동차교통류의 분포모형과 유사한 결과인데, 자동차교통류의 차두시간 분포모형과 비교해 보면 Pueboobpaphan et al.(2013)과 Griffiths and Hunt(1991), Ouworie et al.(1980) 등 많은 연구에서 본 연구에서의 자전거교통류와 동일하게 음지수분포 또는 전이된 음지수분포를 따르는 것으로 나타났다. 이는 자동차교통류와 자전거교통류 모두 운전자에 의해 유사한 주행행태를 보이는 것으로 판단된다.

향후 본 연구에서 제시한 연속류 자전거교통류의 차두시간 분포 모형의 개발 방법론 및 적용결과를 이용하여 공간적 및 시기적으로 다양한 데이터를 활용한 분석이 필요할 것으로 판단된다. 먼저 본 연구에서는 차두시간의 수집단위를 0.5초로 분석하였으며, 향후연구에서는 수집단위에 대한 변화를 통해 적절한 분포모형의 제시가 필요하다. 또한 교통량의 높은 수준과 낮은 수준의 임계치인 1분당 8대는 본 연구에서 조사된 교통량에 의해 가정한 교통량으로써, 분석하고자 하는 대상구간의 교통량에 따라 변경이 가능하며, 향후연구에서는 본 연구에서 제시한 교통량의 구분에 따른 분석이 가능하다. 마지막으로 이번 연구에서는 유의수준을 0.01로 분석하여 모형의 적합성을 판단하였으며, 향후에는 유의수준의 변화에 따른 민감도분석에 따른 모형 제시가 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Al-Ghamdi A. S.(2001), "Analysis of time headways on urban roads: case study from Riyadh," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 127, no. 4, pp.289-294.
- Dho C. U.(2004), *Transportation Engineering*, pp.67-68.
- Griffiths J. D. and Hunt J. G.(1991), "Vehicle headways in urban areas," *Traffic Engineering and Control*, vol. 32, no. 10, pp.458-462.
- Khasnabis S. and Heimbach C. L.(1980), "Headway-distribution models for two-lane rural highways," *Transportation Research Record*, 772, pp.44-51.
- Kim J. S. and Park C. H.(2006), "Freeway Design Capacity Estimation through the Analysis of Time Headway Distribution," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, vol. 26, no. 2D, pp.251-258.
- Minh C. C., Sano K. and Matsumoto S.(2005), "The speed, flow and headway analyses of motorcycle

- traffic,” *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 6, pp.1496-1508.
- Ovuworie G. C., Darzentas J. and McDowell M. R. C.(1980), “Free movers, followers and others: a reconsideration of headway distribution,” *Traffic Engineering & Control*, 21(HS-030 711).
- Pueboobpaphan R., Park D. J., Kim Y. C. and Choo S. H.(2013), “Time headway distribution of probe vehicles on single and multiple lane highways,” *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 17, no. 4, pp.824-836.
- Yin S., Li Z., Zhang Y., Yao D., Su Y. and Li L.(2009), “ Headway distribution modeling with regard to traffic status,” *In Intelligent Vehicles Symposium, 2009 IEEE*, pp.1057-1062.