

자동차와 자전거 간 추월 최소요구 이격거리 추정 방법론 연구

Methodology to estimate minimum required separation distance between vehicle and bicycle when overtaking

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

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)
한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원 (E-mail : leehyangmi@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to develop a methodology to estimate the minimum required separation distance (MRSD) between a vehicle and a bicycle when overtaking.

METHODS : Three steps have been conducted to develop a methodology to estimate MRSD. First, a literature review has been conducted on the measurement of MRSD, and how it may be applied in Korea. Second, two assumptions have been made to develop a methodology to estimate the MRSD. The first assumption is that the maximum separation distance between a vehicle and a bicycle can be observed when they are at the same location longitudinally. In addition, it is assumed that the separation distance is invalid when the contra-flow exists. Finally, three cameras were installed at a height of 10 m to record the vehicle-bicycle interaction. Moreover, the vehicle trajectories as well as the separation distance were coded and analyzed. Through the hypothesis test and the interval estimation, the sample mean was tested and the confidence interval was estimated.

RESULTS : 141 records of separation distance data were collected, and the hypothesis test demonstrated that the MRSD in Korea is significantly higher than other countries. In addition, the confidence interval of the population mean of MRSD is from 1.51 m to 1.65 m with 95% level of confidence.

CONCLUSIONS : It is expected that the proposed methodology to estimate MRSD would be beneficial in studying road safety of vehicles and bicycles. Also, the proposed MRSD is expected to be designated in the act of road and transportation.

Keywords

Bikeway, Bicycle Traffic Flow, Separation Distance, Central Limit Theorem

Corresponding Author : Yang, Inchul, Senior Researcher
Highway and Transportation Research Institute, Korea Institute of
Civil Engineering and Building Technology 283, Goyangdae-ro,
Ilsanseo-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 Aug. 03, 2017 Revised Aug. 08, 2017 Accepted Nov. 22, 2017

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

국내의 자전거이용자는 매년 꾸준히 증가하고 있으

며, 특히 도시부에서는 주로 하천변과 공원 주변의 자전거도로에서 생활형 자전거 이용자가 점차 늘어나고 있다. 또한 비교적 장거리를 주행하는 동호회 중심의 자전거 이용자 역시 매년 4월경부터 10월경까지 국내의 많

은 도로구간에서 라이딩을 즐기고 있다. 이러한 자전거 이용자들의 증가에 따라 자전거 관련 교통사고 역시 증가하고 있는데, 실제로 전체 교통사고는 연평균 증가율 0.43%로 소폭 증가하는 반면, 자전거교통사고는 연평균 증가율이 8.16%로서 2005년 7,976건에서 2014년 17,471건으로 2배 이상 증가하였고, 연평균 300명(총 2,995명)이 사망하고 있다(국민안전처, 2016).

특히 자전거만이 주행할 수 있는 자전거도로와는 달리, 차도는 자동차와 자전거가 정해진 차로폭 내에서 양보하면서 주행하게 된다. 그러나 자동차운전자 입장에서는 비교적 속도가 낮은 자전거가 차도를 이용하는 것을 꺼리며, 자전거이용자를 높은 속도로 추월하는 등 위험한 주행행태를 보이곤 한다. 실제로 2015년 속초방면으로 라이딩을 가던 자전거이용자가 고속버스와 충돌할 뻔한 일이 발생하였는데, 이때 차도에서 무리를 지어 운행하면서 교통정체를 유발하는 자전거의 잘못이라는 지적과 자전거는 법적으로 차도를 달릴 수 있음에도 자동차 운전자들이 자전거를 위협한다는 주장이 제기되면서 큰 사회적 이슈가 되었다.

도로교통법 제13조 2항에 따르면 자전거운전자는 자전거도로가 설치되지 아니한 곳에서는 도로 우측 가장 자리에서 주행이 가능하며, 19조에는 자동차의 운전자는 같은 방향으로 가고 있는 자전거운전자에 주의하여야 하며, 그 옆을 지날 때에는 자전거와의 충돌을 피할 수 있는 필요한 거리를 확보하여야 하는 것으로 규정하고 있다(법제처). 이처럼 도로교통법에 의해 자동차운전자가 자전거를 추월할 때는 필요한 거리를 확보하도록 하는 의무규정이 있으나, 실제 충돌을 피하기 위한 안전거리가 어느 정도인지에 대한 규정이 없다. 이로 인해 자동차운전자와 자전거이용자는 현장에서 필요한 거리에 대한 상충이 생길 수밖에 없어 이에 대한 실증적인 연구결과가 요구되고 있다.

한편, 국외의 많은 국가에서는 자동차가 자전거운전자를 추월 시 자전거운전자의 안전성 확보를 위한 정량적인 최소요구 이격거리(minimum required separation distance)¹⁾를 규정하고 있다. 프랑스, 스페인, 독일, 포르투갈 등에서는 자동차가 자전거를 추월할 때 최소요구 이격거리를 1.5m로 유지하도록 하고 있고, 호주에서는 도로의 제한속도에 따라 60kph 이상에서는 1.5m, 60kph 이하에서는 1.0m를 제시하고 있다. 미국은 주

(州)마다 법이 다르나 자동차가 자전거를 추월할 경우 이격거리를 3ft(0.9m) 또는 4ft(1.2m) 등 다양하게 규정하고 있다(Fig. 1 참조).

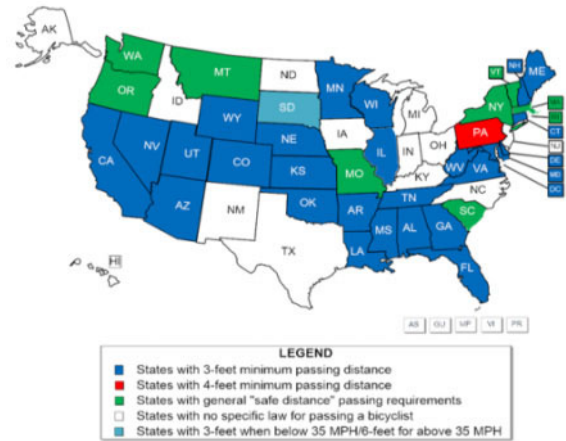


Fig. 1 Minimum Required Separation Distance in USA (source: <http://www.ncsl.org>)

하지만 국내에서는 아직 자동차와 자전거의 최소요구 이격거리를 분석할 수 있는 방법이나 실제 분석한 연구 결과 등이 제시된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 차도에서 자전거의 주행 시에 자동차의 추월 회피행태를 분석할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다. 또한 제시된 방법론의 현장 적용성을 판단하기 위해 실제 현장에서 실험을 통해 자전거를 추월하는 자동차의 이격거리 데이터를 수집하고 분석하여, 최종적으로 국내의 자동차와 자전거의 최소요구 이격거리를 추정하고자 한다.

1.2. 연구의 방법

본 연구는 국내 차도에서의 자전거와 자동차의 회피행태를 분석할 수 있는 방법론을 제시하였다. 먼저 국외에서 시도된 방법론을 검토하고 이를 통한 국내의 적용가능성을 제시하였고, 실제 차도에서 자동차와 자전거의 회피행태를 분석하여 최소요구 이격거리를 추정하였다. 왕복4차로 이상의 차도에서는 자동차가 차로변경을 통해 자전거의 추월이 가능하므로, 본 연구의 적용범위는 왕복 2차로 도로로 한정한다.

2. 기존문헌 고찰

2.1. 선행연구 검토

자전거와 자동차의 회피행태 분석과 관련한 연구는 국외에서 일부 수행된 내용을 제외하고는 제한적이다. Garcia et al.(2015)은 스페인의 지방부 도로에서 자동

1) 주행하는 자동차와 자전거의 간격은 '이격거리'로 정의하고, 관측되는 이격거리 중에서 자동차가 안전하게 자전거를 추월할 수 있는 이격거리를 '최소요구 이격거리'로 정의함

차와 자전거의 주행 중 측방이격거리를 기하구조(직선, 좌로 굽은 곡선, 우로 굽은 곡선)별, 차로폭과 길어깨폭의 합별로 실험을 통해 분석하였다. 주행 측방이격거리의 측정을 위해 레이저센서와 3개의 비디오 카메라, GPS 등이 장착된 자전거를 개발하였다. 스페인의 지방부 2차로 도로 7개 구간(차로폭과 길어깨폭의 합이 3.75m에서 5.65m)을 왕복하여 자료를 수집하였으며, 자전거는 스페인의 법에 따라 길어깨 가운데로 주행하였다. 분석결과, 측방이격거리는 차로폭과 길어깨폭 합이 증가함에 따라 커지는 것으로 나타났으며, 실험자전거의 형태(경기용자전거, 산악용자전거)에 따라서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 직선과 좌로 굽은 곡선, 우로 굽은 곡선을 이격거리와 비교해 본 결과 좌로 굽은 곡선에서 이격거리가 가장 크게 나왔으며, 직선과 우로 굽은 곡선이 그보다 작은 것으로 나타났다. 스페인에서는 법에 따라 자동차가 자전거를 추월할 때 1.5m 이상을 이격해야 하며, 이를 분석한 결과 자동차의 절반정도는 이를 어기는 것으로 나타났다. 본 연구는 자전거가 자동차와 평행하게 주행할 때 잠재적으로 위험한 기하구조요소를 찾고자 하였으며, 이를 통해 도로설계 시에 자전거를 고려한 설계기준을 적용할 수 있는 데이터를 제공하고자 하였다.

Harkey and Stewart(1997)에서는 주(州) 내의 3가지 도로 형태인 연석(Wide Curb Lane), 길어깨(Paved shoulder), 자전거전용차로(Bicycle Lane)에 대해 자동차가 자전거를 추월할 때 이격거리를 측정하여 자전거도로 형태별로 상충을 조사하였다. 자전거도로 형태별, 도시/지방부 별로 총 13개 지점에서 비디오카메라를 이용하여 자동차와 자전거의 이격거리를 측정하였다. 분석결과, 연석인 상태의 도로에서 이격거리가 가장 큰 1.95m로 나타났으며, 길어깨는 1.89m이고 전용차로는 1.81m로 나타났다. 이 외에도 Jilla, Robert J.(1974), Kroll, Bonnie and Melvin R. Ramey(1977), McHenny, Steven R. and Michael J. Wallace(1985), Tin Tin, S., A. Woodward and S. Ameratunga(2013)에서 자동차와 자전거의 영향 및 위험에 관한 유사한 연구가 수행되었다.

본 연구에서는 차도에서 자동차의 자전거 추월 회피행태에 대한 분석을 통해 자동차와 자전거의 최소요구 이격거리를 제시하고자 한다. 선행연구로 고찰한 Garcia et al.(2015)과 Harkey and Stewart(1997)의 연구는 방법론 등에서 참고할 수 있으나, 이격거리 결과값의 경우 국내와 국외의 운전 행태 상이성을 고려할 때

해외 사례를 국내에 직접 적용하는 것은 어려우므로 국내 환경에 적합한 최소요구 이격거리에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 참고로, 자동차의 자전거 추월 회피행태를 기하구조 조건과 평균 이격거리에 대해 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Results of Previous Studies on Vehicle Avoidance

Division	Geometric condition	Average separate distance
Garcia et al. (2015)	• Tangent, Left curve • Right curve	1.5m
Harkey and Stewart (1997)	• Wide curb lane • Paved shoulder • Bicycle lane	• Curb : 1.95m(6.4ft) • Shoulder : 1.89m(6.19ft) • Lane : 1.81m(5.93ft)

2.2. 선행 연구 검토결과

Garcia et al.(2015)의 연구는 주행하는 자전거에 센서를 장착하여 추월하는 자동차와의 이격거리를 산출하여 기하구조와의 연관성을 파악하고자 하였다. 또한 Harkey and Stewart(1997)의 연구는 길어깨가 존재하는 도로구간에서 자전거를 추월하는 자동차의 이격거리를 산출함으로써 본 연구 분석의 대상인 최소요구 이격거리와 개념이 유사하다. 그러나 앞에서도 언급하였듯이 국외와 국내의 운전자들의 운전행태가 동일하다고 볼 수 없으며, 국내에서는 대부분의 자전거이용자가 맨 우측 차로와 길어깨 사이에서 주행하는 것이 일반적이므로 자전거의 주행위치도 차이가 있다. 그 이유는 자전거의 주행위치에 따라 자동차가 자전거를 추월할 때 중앙선의 침범여부와 밀접한 관계가 있어 중요한 요소가 되기 때문이다.

자동차와 자전거의 이격거리 추정 방법론 측면에서 Garcia et al.(2015)는 자전거에 거리를 측정할 수 있는 센서를 장착하고, 자전거를 주행하면서 추월하는 자동차와의 이격거리를 측정하였다. 센서를 이용하는 방법은 자동차와 자전거의 비교적 정확한 이격거리 데이터를 측정할 수 있다는 점에서 유효한 방법이나, 측정된 데이터가 어떤 교통류 상황에서 수집된 것인지를 파악하기 어렵다. 특히 왕복 2차로의 경우에는 반대쪽 차로의 대향차량 유무 및 접근거리에 따라 이격거리에 영향을 미치게 되므로, 자전거와 자동차만의 상호영향에 의한 데이터인지를 확인하기가 어렵다는 단점이 있다. Harkey and Stewart(1997)는 주행하는 차량에서 영상촬영을 통해 자전거를 추월하는 자동차의 이격거리를 측정하였다. 이 방법은 측정하고자 하는 자동차와 자전

거의 주변 환경을 반영할 수 있다는 점에서 Garcia et al.(2015)의 방법보다 우수하나, 실제 현장에서 자동차를 이용하여 뒤따라가면서 촬영하는 방법을 사용함으로써 측정된 데이터의 정확성이 떨어진다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 위의 2가지 방법의 단점을 보완한 자동차와 자전거의 이격거리 측정 방법론을 제시하고, 제시된 방법론을 통해 실제 현장에서 국내에 적용이 가능한 최소요구 이격거리를 추정하고자 한다.

3. 분석방법론 개발 및 현장적용

3.1. 최소요구 이격거리 추정 방법론 정립

본 연구의 목적은 국내 자동차 운전자들이 자전거를 추월할 때 일반적으로 유지하는 자동차와 자전거 간 이격거리를 측정하는 방법론을 정립하고, 실제 도로구간에서 이를 적용하고 그 결과를 분석하는 것이다. 자동차와 자전거의 이격거리를 추정하는 목적은 국내의 자동차 운전자들이 자전거를 추월할 때 어느 정도의 이격거리를 유지하고 있는지를 알기 위함이다. 이는 서론에서 언급한 바와 같이 평균적인 자동차 운전자들의 추월 회피행태 분석을 통해 현재 불명확하게 제시되어 있는 자동차가 안전하게 자전거를 추월하기 위해 요구되는 최소요구 이격거리를 명확하게 규정할 수 있는 기초자료가 될 수 있다.

상대적으로 저속인 특성으로 인해 일정구간을 주행하는 자전거는 자동차에 의한 추월 경험을 여러 번 겪게 되므로 이를 관측하기 위해서는 실험구간 전체를 동시에 모니터링하는 방법이 요구된다. 따라서 실험구간 전체를 촬영할 수 있는 장비가 필요하며, 실제 이격거리를 측정하기 위해서 일정 간격을 실험 이후에 측정할 수 있는 노면 마킹 등의 표시가 필요하다. Harkey and Stewart(1997)의 연구에서는 자동차를 이용하여 지면과 평행인 방향으로 비디오를 촬영하는 방법을 사용하였으나, 이는 영상분석 단계에서 촬영하는 자동차의 위치에 따라 측정데이터의 오류가 발생할 가능성이 대단히 높다. 따라서 촬영 각도는 지면과 수직인 방향이어야 정확한 자동차와 자전거의 이격거리를 측정할 수 있다. 또한 하나의 추월 상황에서 이격거리는 증가하다가 감소하는 행태를 보이며 자동차와 자전거가 동일선상에 위치할 때 이격거리는 최대가 되고, 이때의 이격거리가 본 연구에서 관측하고자 하는 이격거리이다.

자전거를 추월하려는 자동차의 최소요구 이격거리는 자동차운전자와 자전거이용자가 충분한 정서적인 안정감을 느낄 수 있는 이격거리로 정의할 수 있다. 그러나

실제 현장 실험에서는 이를 정량적으로 관측하기가 어려우므로 본 연구에서는 자동차가 평균적으로 유지하는 이격거리에 정서적 안정감이 반영된 것으로 가정하고 이를 최소요구 이격거리로 정의한다. 따라서 추월 시 대향차로 교통류가 존재하는 경우 충분한 안정감이 확보되지 않은 것으로 가정하고 분석에서 제외한다.

이와 같은 논의에 따라 본 연구에서는 다음의 2가지 가정에 따라 이격거리 관측 및 추정 방법론을 개발한다.

- [가정 1] 자동차와 자전거의 이격거리는 서로 동일선상에 위치할 때 최대가 됨
- [가정 2] 추월하려는 자동차가 대향차로의 자동차로 인해 영향을 받는 경우는 자동차 운전자가 실제로 필요로 하는 최소요구 이격거리를 유지하지 못함

이를 종합하여 자동차와 자전거의 최소요구 이격거리 추정을 위한 방법론을 제시하면 다음과 같다.

[단계 1] 현장조사를 통한 데이터 수집 및 필터링

- 자동차가 자전거를 추월하는 상황 영상 수집(수직촬영)
- 대향차로의 자동차로 인해 영향을 받은 데이터 등의 이상치 제거

[단계 2] 데이터 집계

- 1/30초 프레임 단위 분석 프로그램을 이용한 자동차의 자전거 추월 시 이격거리 데이터 취득

[단계 3] 자동차-자전거 최소요구 이격거리 추정

- 이격거리를 산출을 위해 동일선상에 위치하는 점을 중앙으로 그래프 전환
- 통계적 분석을 통한 자동차-자전거 최소요구 이격거리 추정

3.2. 방법론 현장적용 및 최소요구 이격거리 추정

3.2.1. 현장조사

이전 장에서 제시된 방법론에 따라 자동차와 자전거의 이격거리를 측정하기 위해 다음과 같은 기준을 만족하는 구간을 선정하였다. 첫째, 왕복 2차로 도로로서 데이터수집의 용이성을 위해 자동차 교통량이 일정수준 이상 되는 구간이어야 하며, 둘째 영상촬영을 위한 노면 여유 공간이 확보되는 구간이어야 한다. 셋째, 급경사나 회전 반경이 작아 안전성이 확보되지 못하는 곳은 배제하였다.

추월 행태 데이터 수집 방법은 실험 구간으로 자동차

가 접근 시 피실험자가 자전거 주행을 시작하고, 자동차가 추월을 시작하고 종료할 때까지의 모든 과정을 10m 단위로 기록하는 것이다. 실험은 주중 오전 7시부터 시작하여 오후 4시까지 수행하였으며, 자전거 주행을 담당하는 피실험자의 안전을 위해 시작점과 끝점에는 안내요원을 배치하였다²⁾. 실험에 사용되는 자전거는 산악용이나 경기용이 아닌 일반 자전거를 선정하였다. 실험 구간 촬영을 위해 약 10m 높이에서 직각에 가깝게 카메라를 설치하였으며, 150m 구간 촬영을 위해 3대의 카메라를 사용하였다. 실험구간의 시점과 종점에서는 무전기를 통해 피실험자와 연락하였으며, 실험 중 과속 또는 대형차량이 실험구간에 진입하는 경우에는 안전을 위해 실험을 일시 중지하였다.

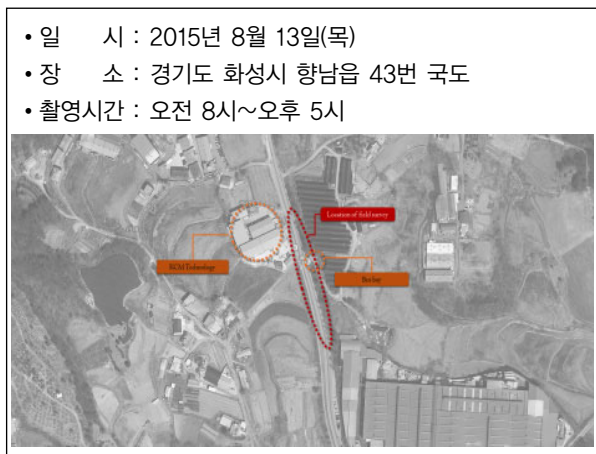


Fig. 2 Field Survey Location

실험구간의 자동차와 자전거의 위치를 파악하기 위해 노면에 일정간격으로 노면표시를 하였다. 횡방향은 길어깨와 중앙차로 사이에 1m 간격으로 원형마킹을 하였으며, 종방향은 10m 간격으로 원형마킹하여 분석의 기준점이 되도록 하였다. 총 마킹된 지점 개수는 16개(0~150m)이며, 횡방향의 마킹은 중앙선을 기준으로 10m씩 표시하고, 차선까지의 거리(30cm)는 영상분석 시에 고려하였다. Fig. 3은 노면마킹의 실제 표시와 형태를 보여주고 있다.



Fig. 3 Road Marking Method

2) 실험구간의 시종점에 안내요원의 존재로 인해 운전자들의 주행행태에 일부 영향이 있었을 수도 있으며, 영향의 최소화를 위해 안내요원을 시점과 종점에서 일정간격 떨어진 곳에 위치함.

자전거는 도로교통법에 따라 우측차로 또는 길가장자리 구역선으로 주행하는 것이 일반적이거나, 길어깨로 주행하는 경우도 많다. 길어깨의 본래 용도는 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(해설), 2012」에서 도로의 주요 구조부를 보호하거나 일시적인 대피장소 등이며, 자전거와 보행자 등의 통행장소로 제공되는 곳이라고 규정하고 있다³⁾. 하지만 대부분의 자전거이용자들은 길어깨가 충분하지 않을 경우 우측차로 끝을 이용하여 주행하므로, 본 실험에서도 우측차로 끝(길가장자리구역선)을 주행하면서 실험을 진행하였다. 실험에 참가하는 자전거운전자의 특성이 실험 결과에 영향을 끼치지 않도록 사전에 실험구간을 3회 이상 주행하면서 자전거의 주행동선을 익히도록 하였다.

3.2.2. 데이터 분석방법

수집된 데이터는 1/30초 프레임 단위 분석이 가능한 Adobe Premier 프로그램을 통하여 재생할 수 있는 코덱형태로 인코딩하는 작업을 수행하였다. 데이터 분석 단계에서 풍압으로 인한 촬영 각도 변화로 구간 마킹지점의 식별이 어렵거나 샘플자체가 부족한 경우, 오후시간대 가로수 등으로 인한 음영발생으로 구간 마킹지점의 식별이 어려운 경우는 데이터에서 제외하였다.

영상자료 코딩은 자전거를 회피하여 통행하는 차량 1대를 기준으로 차량이 10m를 지날때마다 차종(승용차·버스·소형트럭·중형트럭·대형트럭), 해당지점 도착시 통행 시각(1/30sec 단위), 갓길~조수석 전륜 횡방향 이격거리(조수석 측 전륜 기준 0.1m 단위), 갓길 통행수단의 상대 종방향 위치(종방향 1.0m 단위)를 기록하였다. 자전거가 통행을 시작하고 자동차와 동일선상에 위치할 때 데이터를 기록하였다.

3.3. 자동차-자전거 최소요구 이격거리 도출

3.3.1. 기초자료 분석

횡방향 이격거리는 영상촬영 중에 자동차가 자전거와 동일선상에 위치하는 경우를 1개의 Data Set으로 정의하였다. 자료수집 대상구간은 비교적 직선구간이긴 하나, 기하구조의 특성이 이격거리에 영향을 미칠 수 있으므로 상행과 하행으로 구분하여 데이터를 수집하였다. 횡방향 이격거리의 분석에 포함된 유효데이터는 Table 2와 같이 141개가 수집되었다. 중심극한정리에 따라 표본의 개수가 30이 넘으면 표본평균이 정규분포를 따르므로 수집된 유효데이터 개수는 적절한 것으로 판단하였다.

3) 자전거와 보행자는 자전거도로와 보행자도로가 있는 곳에서는 차도의 길어깨를 이용해서는 안됨.

Table 2. Number of Sample

Division	Upstream	Downstream	Total
No.	61	80	141

자동차와 자전거는 실험구간(150m)내에서 무작위적으로 동일선상에 위치하게 되므로 각 지점별로 이격분포가 발생하게 된다. 기본적인 이격거리를 산출하기 위해서 동일선상에 위치하는 점을 중앙으로 하는 그래프를 Fig. 4와 같이 도식화하였다.

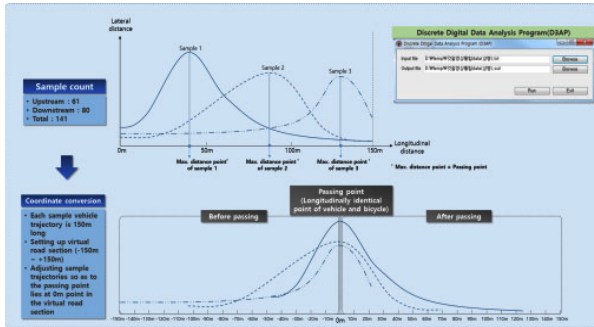


Fig. 4 Coordinate Transformation

자동차가 자전거와 동일직선상에 위치할 경우를 추월 지점이라고 정의할 때, 각 Data Set별로 X축의 범위가 다르기 때문에 본 연구에서는 추월지점을 0으로 하고 X축을 -100m에서 +100m로 설정하였다⁴⁾. 각 Data Set의 개수는 Table 3과 같다.

Table 3. Number of Data Set on Section

Division	Section	Number
Before passing	-100	47
	-90	59
	-80	63
	-70	79
	-60	84
	-50	89
	-40	101
	-30	114
	-20	131
Passing point	0	141
	0	141
After passing	+10	141
	+20	133
	+30	126
	+40	120
	+50	114
	+60	106
	+70	94
	+80	82
	+90	78
	+100	62

4) 100m 이상에서는 자동차가 자전거를 인지하지 않고 독립적인 주행을 한다고 판단하여 데이터범위를 ±100m로 정함.

이격거리를 상행과 하행으로 구분하여 도식화하면 Fig. 5와 같으며, 상행과 하행에서 유사한 분포를 보이고 있다.

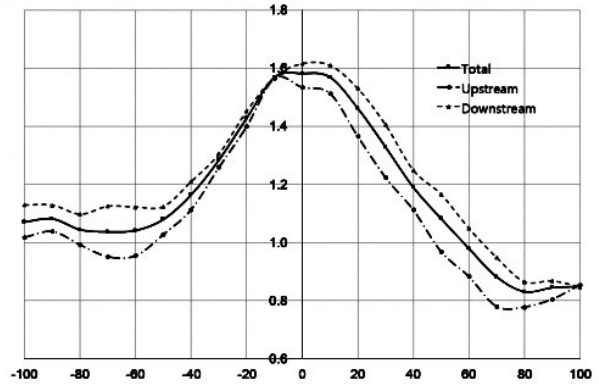


Fig. 5 Trajectory of Vehicle (Total/Upstream/Downstream)

추월전과 추월지점, 추월후를 기준으로 상행과 하행, 전체의 이격거리를 살펴보면 Table 4와 같다. 추월전에는 1m를 조금 상회하는 이격거리가 관측되었으며, 자전거와의 거리가 20m 이하가 되면 1.5m 가까이까지

Table 4. Separate Distance

Division	Section	Lateral separate distance					
		Upstream		Downstream		Total	
		Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Before passing	-100	1.02	0.42	1.13	0.25	1.07	0.35
	-90	1.04	0.41	1.13	0.25	1.08	0.34
	-80	0.99	0.40	1.10	0.28	1.04	0.35
	-70	0.95	0.41	1.12	0.33	1.04	0.38
	-60	0.95	0.40	1.12	0.28	1.04	0.35
	-50	1.03	0.42	1.12	0.28	1.08	0.35
	-40	1.11	0.42	1.21	0.28	1.16	0.36
	-30	1.26	0.38	1.30	0.39	1.28	0.38
	-20	1.40	0.38	1.45	0.39	1.43	0.38
Passing point	-10	1.57	0.40	1.57	0.38	1.57	0.39
	0	1.53	0.41	1.62	0.40	1.58	0.40
After passing	+10	1.51	0.44	1.61	0.39	1.57	0.41
	+20	1.36	0.44	1.53	0.39	1.46	0.42
	+30	1.22	0.43	1.41	0.35	1.33	0.39
	+40	1.11	0.41	1.25	0.35	1.19	0.39
	+50	0.97	0.39	1.17	0.35	1.08	0.38
	+60	0.88	0.34	1.05	0.31	0.98	0.33
	+70	0.78	0.34	0.95	0.34	0.88	0.35
	+80	0.78	0.33	0.86	0.34	0.83	0.34
	+90	0.80	0.34	0.87	0.32	0.84	0.33
	+100	0.85	0.30	0.85	0.31	0.85	0.31

이격하고 추월지점이 되면 평균 1.58m의 이격거리가 관측되었다. 상행과 하행을 구분하였을 때, 상행은 추월 지점에서 1.53m이고, 하행은 1.62m로 관측되어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 상행과 하행의 실제 추월의 궤적에서도 이격거리 값은 조금씩 차이가 있으나, 궤적 측면에서 시각적으로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

3.3.2. 최소요구 이격거리 추정

국외의 자동차-자전거 간 추월 시 이격거리는 1.5m 이하의 값을 갖는데 반해, 본 연구에서 관측된 이격거리의 평균은 1.58m이다. 이는 국내 자동차 운전자가 자전거 추월 시 안전하게 주행하는데 필요한 최소 이격거리는 국외 사례에 비해 크다는 것을 의미하는데, 이러한 결론이 통계적으로 유의한지 검정이 필요하다. 따라서 본 절에서는 통계적 방법을 통해 실험 관측치의 유의성을 검정한다.

귀무가설은 “최소요구 이격거리가 국외 사례 중 가장 큰 값인 1.5m(호주)이다”로 설정하고, 대립가설은 “최소요구 이격거리는 1.5m보다 크다”로 설정한 후, 0.05 유의수준으로 단측 검정을 수행하였다. 본 연구에서는 모집단의 표준편차를 모르지만 표본이 충분히 크기 때문에 정규분포를 활용하고, 따라서 검정통계량은 다음과 같이 계산한다(노부호 등, 1998).

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \sim N(0,1) \quad (1)$$

여기서, \bar{X} 는 표본평균치, μ_0 는 검정의 대상이 되는 모평균치, s 는 표본표준편차, n 은 표본의 개수를 의미한다.

$\bar{X}=1.581$, $\mu_0=1.5$, $s=0.402$, $n=141$ 이므로 $Z=2.387$ 이 되는데, 유의수준 0.05에 대한 임계값은 $z_{0.05}=1.645$ 이므로, $Z=2.387 > z_{0.05}=1.645$ 가 됨에 따라 귀무가설을 기각한다. 따라서 국내의 최소요구 이격거리는 국외의 1.5m보다 크다고 결론내릴 수 있다.

다음으로는 국내 최소요구 이격거리의 모집단 평균이 어떤 범위 내에 존재하는지 추정하기 위해 구간추정 방법을 통해 신뢰구간을 계산하였다. 모집단평균 μ 의 구간추정량은 표본평균 \bar{X} 의 표본분포로부터 구해질 수 있다. 만일 표본평균 \bar{X} 가 정규분포를 하고 있고 \bar{X} 의 평균을 $\mu_{\bar{X}}$, \bar{X} 의 표준편차를 $\sigma_{\bar{X}}$ 라 하면 Fig. 6과 같이 정규분포의 원리로부터 \bar{X} 값의 95%는 $\mu_{\bar{X}}$ 의

$\pm 1.96\sigma_{\bar{X}}$ 내에 있게 될 것이다. $\mu_{\bar{X}} = \mu$ 이므로, 이를 수학적으로 표현하면 Eq. (2)와 같이 나타낼 수 있다.

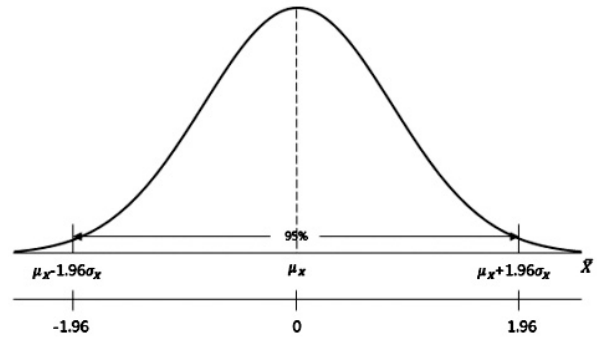


Fig. 6 Type of Normal Distribution (95% Level of Confidence)

$$P(\mu - 1.96\sigma_{\bar{X}} \leq \bar{X} \leq \mu + 1.96\sigma_{\bar{X}}) = 0.95 \quad (2)$$

Eq. (2)를 μ 에 대한 확률로 나타내면 Eq. (3)과 같으며, 이는 구간 $\bar{X} \pm 1.96\sigma_{\bar{X}}$ 에 μ 가 있을 확률이 0.95라는 것이다.

$$P(\bar{X} - 1.96\sigma_{\bar{X}} \leq \mu \leq \bar{X} + 1.96\sigma_{\bar{X}}) = 0.95 \quad (3)$$

모집단평균 μ 의 구간추정량은 표본평균 \bar{X} 의 표본분포로부터 구해질 수 있다. 만약 모집단표준편차 σ 의 값을 알고 있다면 신뢰구간은 Eq. (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\left(\bar{x} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (4)$$

본 연구에서의 자동차의 자전거 이격거리는 현장실험을 통해 수집된 데이터이며, 모집단의 표준편차를 알 수 없기 때문에 σ 를 s/\sqrt{n} 로 추정해야 한다. 표본의 크기 n 이 크면(≥ 30) 표준정규분포에 근사하므로 모집단평균 μ 의 신뢰구간은 Eq. (5)와 같이 구할 수 있다.

$$\left(\bar{x} - z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{x} + z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \quad (5)$$

Eq. (4)를 이용하여 자동차의 자전거에 대한 최소요구 이격거리를 구하고자 한다. 총 141대의 평균 이격거리(μ)는 1.58m이고, 표준편차(s)는 0.402이다. 따라서 자동차-자전거 간 추월 시 최소요구 이격거리를 95% 신뢰수준으로 구간추정하면 최소 1.51m에서 최대

1.65m이 된다.

이러한 결과는 신뢰수준에 따른 최소요구 이격거리의 상한치와 하한치를 통계적 추정을 이용하여 구한 값이므로 개략적인 최소요구 이격거리의 신뢰구간을 파악하는데 이용 가능하다. 자동차-자전거 간 이격거리는 자전거의 주행위치에 따라 조금 달라질 수 있는데, 만약 자전거가 길어깨를 이용하여 주행한다면, 기존의 국외 사례에서 보여지듯이 1.5m를 최소요구 이격거리로 볼 수 있다. 실제 스페인 등에서는 자전거가 차도를 주행할 시에 길어깨를 이용하는 것이 법으로 규정되어 있으며, 이런 경우 길어깨 주행에 따른 추가 이격거리를 고려하면 1.5m의 적용도 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 자동차의 자전거 추월에 따른 국내 운전자들의 이격거리를 실험을 통해 산출하였다. 산출된 이격거리는 추월지점에서의 평균 이격거리를 통해 신뢰구간 범위에서 적용가능한 최소요구 이격거리를 제시하였다. 본 실험에 의한 이격거리는 현장에서 조사된 이격거리를 이용하여 제시하였으나, 향후에는 자전거운전자 및 자동차운전자가 느끼는 안전성을 동시에 고려하는 것도 검토 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 차도에서 자전거의 주행시에 자동차의 회피행태에 따른 이격거리 분석방법론을 제시하고 실제 도로구간에서 현장적용성을 검증하였다. 국외의 유사한 연구사례의 검토를 통해 데이터의 정확성을 높일 수 있는 분석 방법론을 제시하였으며, 자동차와 자전거의 최소요구 이격거리를 위한 가정보고 실제 적용 시에 필요한 단계별 방법론을 제시하였다.

현장적용성 검토를 위해 교통량이 많은 2차로 도로구간을 실험구간으로 선정하였으며, 데이터의 신뢰성 확보를 위해 수직으로 총 3대의 카메라를 이용하여 자동차와 자전거의 이격거리를 측정하였다. 관측된 데이터는 추월지점을 0으로 기준을 설정하고, 추월전과 추월후의 이격거리를 분석하였으며, 추월지점에서의 평균 이격거리는 1.58m로서, 이는 자동차운전자들이 자전거를 만나면 평균적으로 1.58m를 이격하면서 주행함을 의미한다.

가설 검정을 통해 실험에서 관측된 국내 최소요구 이격거리가 국외의 기준보다 큰 것은 통계적으로 유의한 것으로 확인되었고, 구간추정 방법을 통해 산정한

국내 최소요구 이격거리의 모평균은 95% 신뢰수준에서 최소 1.51m에서 최대 1.65m 사이에 존재하는 것으로 확인되었다. 자동차와 자전거의 최소요구 이격거리는 자전거의 주행위치에 따라 조금씩 달라질 수 있으며, 본 연구에서는 우측차로 끝(길가장자리구역선)을 주행하면서 실험을 진행하였다. 따라서 만약 자전거가 길어깨의 일부를 이용하여 주행한다면 국외의 경우처럼 최소요구 이격거리를 1.5m의 적용이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구의 한계점은 실험이 실제 도로구간에서 이루어짐으로 인해 실제 자동차운전자의 주행특성을 최대한 반영할 수 있었으나, 자동차운전자의 성별, 나이, 운전경험 등 세부적인 정보를 취득할 수 없었다는 점이다.

본 실험에 의한 이격거리는 현장에서 조사된 이격거리를 이용하여 제시하였으나, 향후에는 이격거리에 따른 자전거운전자 및 자동차운전자가 느끼는 안전성을 반영한 최소요구 이격거리의 검토가 가능하다.

또한 본 연구에서 제시한 자동차와 자전거의 최소요구 이격거리는 현재 명확하지 않게 제시되어 있는 도로교통법의 자동차와 자전거 이격거리에 대한 법 개정의 중요한 기초자료로 사용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2017년 한국건설기술연구원 주요사업(차량센서 기반 주행환경 관측,예측,안전운행 도로기술 개발, 과제번호: 20170099-001)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Garcia, A., Domenech, A. A., Llorca, C., Gomez, F. A., and Ferrer, V. (2015). "Effects of Road Geometry on the Interaction between Cyclists and Vehicles on Two Lane Rural Highways", *Proc. of 5th International Symposium on Highway Geometric Design*, pp.1-17.
- Harkey, D., and Stewart, J. (1997). "Evaluation of shared-use facilities for bicycles and motor vehicles", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, TRB*, Vol. 1578, pp.111-118.
- Jilla, R. J. (1974). *Effects of Bicycle Lanes on Traffic Flow, Ph.D. Dissertation*, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
- Kroll, B. and Ramey, M. R. (1977). "Effects of Bike lanes on Driver and Bicyclist Behavior", *Transportation engineering journal of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 103, No. 2, pp.243-256.
- McHenry, S. R. and Wallace, M. J. (1985). *Evaluation of Wide Curb Lanes as Shared Lane Bicycle Facilities*, FHWA Publication No. FHWA/MD-85/06, Maryland Department of Transportation,

Maryland, USA.
Ministry of Gov. Legislation, *Act of Road and Transportation*,
Chapter 13, Article 2, Clause 19 (in Korean).
Ministry of Public Safety and Security (2016). “*Increasing*

accidents of bicycles”, Ministry of Public Safety and Security
press release (in Korean).
Rho, B. H., Min, J. H., Lee, G. H. (1998). *Understanding of
Statistics, Beopmoonsa* (in Korean).