

교차로에서 우회전차량과 횡단자전거와의 상충위험성에 관한 연구

이진욱 · 김갑수* · 황정훈 · 김근욱

영남대학교 도시공학과

Potential Risk of Collisions at Intersections Between Crossing Bicycles and Right-turning Cars

LEE, Jin Wook · KIM, Kap-Soo* · HWANG, Jung-Hoon · KIM, Keun Uk

Department of Urban Planning and Engineering, Yeungnam University, Gyeongbuk 712-749, Korea

Abstract

Recently, bicycle accidents have increased with the ever-increasing number of cyclists. Bicycle accidents occurred frequently in intersections, and the perpendicular collision between a right-turning car and a crossing bicycle was the most prevalent accident type. In particular, the collision was caused by motorists' carelessness. In other words, the accident-involved motorists did not pay sufficient attention to a bicycle crossing behind them. Another cause was a cyclist's higher speed than pedestrians. This paper evaluated the potential risk of the collision between right-turning cars and crossing bicycles based on simulation experiments, with motorists' speed and carelessness focused on. Consequently, it was found that to reduce the potential risk of the collisions a motorist should slow down and pay more attention to the rear sight by turning his/her head.

자전거 교통사고는 이용수요의 증대와 더불어 지속적으로 증가하고 있는 추세이며, 기존 교통사고 자료를 통해 자전거 교통사고의 특성을 살펴보면 사고발생 지점은 주로 교차로 내부이며, 사고형태는 측면직각충돌사고가 빈번한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 교차로 내에서 발생하는 우회전차량과 횡단자전거 간의 상충위험성이 발생하는 원인으로 우회전차량 운전자의 주위확인행태와 차량속도로 가정하고 시뮬레이션 분석을 이용하여 그 위험성을 제기하고자 한다. 연구 결과 우회전차량의 주행속도가 낮을수록, 또한 운전자가 고개를 돌려 적극적으로 우측 후방을 확인할수록 상충위험성은 감소하는 것으로 나타났다.

Key Words

Car Turning Right, Crossing Bicycle, Driver Visibility, Intersection, Risk of Collision
우회전차량, 횡단자전거, 운전자 시계, 교차로 안전성, 상충위험성

* : Corresponding Author
kapkim@yu.ac.kr, Phone: +82-53-810-2435, Fax: +82-53-810-4623

Received 3 August 2012, Accepted 27 December 2012

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 고유가로 인한 에너지 절감, 대도시 지역의 교통 혼잡 완화, 대기오염 및 지구온난화 등의 환경문제 해소를 위한 대안으로서 자전거가 주목을 받고 있으며, 교통 정책에 있어서도 자전거도로 및 보관대 확충, 공공자전거 도입 등 물리적인 시설정비 뿐만 아니라 자전거 관련 법규 개정, 자전거문화 확산 등 다양한 제도 정비 및 의식 전환을 위한 시책들이 추진되고 있다.

이러한 정책적인 시설투자와 제도개선, 시민들의 의식전환으로 인한 자전거 이용수요는 증가 추세이나 자전거 교통사고도 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.

Road Traffic Authority (2010)의 자료에 의하면 전체 교통사고 발생건수는 지난 2000년 이후 연평균 2.5% 감소한 반면, 자전거 교통사고는 연평균 7.8% 증가한 것으로 나타났다. 자전거 교통사고의 사고유형은 자전거와 차량간의 사고가 전체의 95.7%로 거의 대부분을 차지하고 있으며, 사고유형으로 측면직각충돌 사고가 54.9%로 과반수를 차지하고 있다. 사고위치는 교차로 내가 전체의 22.7%로 가장 많았고 다음으로 교차로 부근 15.6%, 횡단보도 상에서 12.0%가 발생하였다.

이와 같이 자전거 교통사고는 이용수요의 증대와 더불어 지속적으로 증가하고 있으며, 기존 자전거 교통사고 자료로부터 사고발생 장소는 교차로 내, 사고형태는 측면직각충돌사고가 빈번함을 알 수 있다. 차량과 자전거와의 측면직각충돌사고는 직진차량과 회전자전거, 회전차량과 직진자전거, 회전차량과 회전자전거 간에 발생하는 사고형태로 본 연구에서는 이 중 교차로 내에서 우회전차량과 횡단보도나 자전거도로를 이용하여 횡단하는 자전거 간의 사고위험성에 주안점을 두었다.

우회전차량과 횡단자전거간의 상충위험성이 내재하는 원인으로는 차량 운전자의 시계보다 후방에서 횡단을 위해 진입하는 자전거에 대한 인식 부족과 운전자의 차량 우측에 대한 확인 부주의를 들 수 있다.

이에 본 연구에서는 교차로 내에서 발생하는 차량과 자전거 간의 측면직각충돌사고 중 우회전차량과 횡단자전거와의 상충위험성을 우회전차량의 속도와 운전자의 주위확인행태에 따라 어떻게 달라지는지를 시뮬레이션 분석을 이용하여 나타냄으로서 교차로에서의 차량 운전

자의 행태 및 자전거에 대한 인식을 개선하는데 기여하고자 한다.

2. 연구 방법 및 내용

본 연구에서는 교차로 내에서 발생하는 우회전차량과 차량의 우측 측면에서 주행하여 교차로를 횡단하는 자전거간의 상충위험성이 발생하는 원인으로 차량운전자의 주위확인행태와 차량속도에 따라 달라진다고 가정하고 시뮬레이션 분석을 이용하여 그 위험성을 제거하고자 한다.

먼저 교차로 내 우회전차량과 횡단자전거의 상충위험성에 대한 시뮬레이션 분석을 위해 교차로의 기하구조, 우회전 차량과 자전거 주행속도, 운전자의 시계 등을 기존 문헌자료를 이용하여 기본가정을 설정하였다. 이를 토대로 차량 및 자전거의 주행속도, 차량운전자의 운전행태를 고려하여 총 48가지의 CASE를 설정하고 각 CASE별로 상충위험성이 발생하는 확률을 분석하여 교차로에서의 우회전차량과 횡단자전거의 상충위험성을 살펴보았다. 끝으로 교차로에서의 자전거 안전성 제고를 위한 제도적, 시설적인 개선방안에 대하여 고찰하였다.

II. 선행연구 검토

교차로에서의 우회전차량과 횡단자전거와의 사고에 대한 국내의 기존연구는 그리 많지 않으나 기존의 교통사고 자료를 이용하여 통계적인 분석 결과를 제시한 연구들이 있다.

먼저 Oh et al. (2007)는 도시부 평면교차로에서 자전거사고를 유발시키는 요인으로 교통량이 증가할수록 자전거와의 상충횟수가 증가하며, 교통섬이 설치되어 있는 경우에는 심각도가 낮아지고, 사고발생시 경상사고의 발생확률이 증가한다고 하였다. 또한 교차로에서 횡단보도가 설치되어 있을 경우에 심각도가 낮게 나타난다고 하였다.

Kim et al. (2008)는 교차로에서 발생한 사고자료와 현장조사 자료를 통해 자전거 사고유형을 좌·우회전 전, 좌·우회전 후, 직전 전·후로 구분하고 유형별 사고모형을 구축하였다. 본 연구와 관련된 좌·우회전 후에 발생한 사고유형에 관한 유의한 설명변수는 도로위계, 날씨, 가해자 인적요인으로 나타났다. 부도로에 교통섬이 있으면 차량이 좌·우회전 전에 발생할 확률이 크며, 사고발생 당

시의 날씨가 맑을 경우에 좌·우회전 후에 사고가 발생할 확률이 높다고 하였다.

Yang (2010)는 자전거 교통사고에 대한 안전대책을 마련하고자 자전거 교통사고의 유형을 분석하여 가장 많이 발생하는 사고유형과 위험요소를 분석하였다. 도로유형은 단일로, 교차로(교차로 내, 교차로 부근), 횡단보도(횡단보도 내, 횡단보도 부근), 교량 위 순으로 사고가 많이 발생하며, 직각충돌 대 직각충돌 사고유형이 가장 많이 발생한다고 하였다. 또한 단일로, 교차로, 횡단보도에서 발생한 직각충돌 대 직각충돌 사고 중에서 1당사자가 자동차인 경우 자동차의 행동유형은 직진중, 좌우회전중이 가장 높다고 하였다.

외국의 경우에도 우회전 차량과 횡단자전거와의 사고에 대한 연구는 그리 많지 않은 편이나 본 연구와 같이 Rasanen (1998)는 비신호교차로를 대상으로 차량과 횡단자전거의 충돌사고의 형태 및 원인에 대해서 연구하였다. 자동차 운전자와 자전거 이용자의 충돌사고의 37%는 운전자나 자전거 이용자가 위험성을 인지하지 못했거나 대처할 수 있는 시간이 충분하지 않아 사고가 발생한다고 하였다. 또한 우회전차량과 횡단자전거간 사고의 대부분은 우회전 차량의 운전자가 안전한 우회전을 위해 좌측의 접근 차량에 집중하고 있을 때 운전자의 우측에서 주행해오는 자전거를 인지하지 못하여 발생한다고 하였다. 이러한 사고의 원인으로 교차로에서의 차량 운전자의 주의력 분산과 교통법규에 따라 차량이 양보운전을 할 것이라는 자전거 이용자의 기대감에 기인한다고 하였다.

또한 Wang and Nihanm (2004)는 도쿄에서 1992년부터 3년간의 115개 신호교차로에서 발생한 차대 자전거의 사고자료를 이용하여 교차로에서 발생하는 차량과 자전거 사고를 직진차량과의 충돌, 좌회전차량과의 충돌, 우회전차량과의 충돌로 분류하고 각 유형별 사고모형을 구축하였다. 사고모형을 이용한 분석 결과, 좌회전 차량과 우회전차량은 교차로를 횡단하는 자전거 이용자를 인지하는데 어려움이 많기 때문에 회전차량의 충돌사고 빈도가 높게 나타난다고 하였다.

기존의 연구 결과를 통해 교차로에서의 자전거사고 발생 비율이 높으며, 사고의 형태 중 회전차량과의 충돌사고 빈도가 높은 것을 알 수 있다. 그러나 대부분의 연구는 발생한 사고자료와 교통량, 기하구조, 신호조건 등을 이용하여 사고의 원인을 규명하고 있으나 운전자의 주변 확인행태나 차량의 주행속도에 따라 사고의 위험성이 어떻게 달라지는지에 대한 이론적인 연구는 미흡하다.

또한 기존 연구에서는 자전거사고 자료를 이용하여 사고분석모형을 구축하고 이를 통해 사고에 영향을 미치는 요인을 분석하거나 교차로에서 발생하는 자전거와 차량 간의 충돌사고가 발생하는 메커니즘을 연구하는 등 주로 사고원인에 초점을 두고 있다.

본 연구에서 대상으로 하고 있는 교차로 내 횡단보도상에서의 우회전차량과 횡단자전거와의 상충위험성은 기존 연구에서도 제시되고 있으며, 자전거 이용률이 낮아 교차로 통행에서 횡단자전거에 대한 인식이 낮은 국내 상황을 감안할 때 이론적으로 운전자의 주위확인행태에 따른 시계의 변화와 차량의 속도에 따른 횡단자전거와의 상충위험성을 연구하였다는 점에서 본 연구의 의의가 있다고 할 수 있다.

또한 자전거전용도로 건설에 있어 교차로에서의 자전거횡단도의 위치, 교차로에서의 우회전차량 통행방법 개선 및 보조신호등 설치의 타당성 연구 등에 기초적인 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

III. 우회전차량과 횡단자전거의 상충관계 설정

1. 우회전차량의 주행 및 주위확인행태

본 연구에서는 우회전차량의 주행행태로 본선을 등속으로 주행하는 본선구간, 우회전차로에 진입하여 회전을 위해 감속하는 감속구간, 회전하는 회전구간으로 구분하였다. 일반적으로 본선구간과 감속구간에서 우측 자전거 도로에서 주행하는 자전거를 인지할 수 있으나 횡단여부를 알 수 없으며, 운전자가 주의를 기울이지 않을 경우 인지하지 못하는 경우도 있다. 안전속도 및 충분히 주위를 확인하는 경우는 사고의 위험성이 현저히 낮아지나, 본 연구에서는 회전구간 진입하기 전까지 자전거의 유무를 모른다는 상황을 가정하고 교차로 회전구간을 대상으로 상충위험성을 분석하였다.

우회전시 운전자의 주위확인행태는 다양하게 나타날 수 있으나 본 연구에서는 전방주시와 고개를 우측으로 30° 돌려 확인, 45° 돌려 확인하는 세 가지로 구분하였다. 이 때 운전자의 시계는 운전자가 전방주시인 경우 기존문헌(Doh, 2007)에서 120-160° 사이에 있는 물체는 운전자에게 주의를 환기시키는 역할은 충분하다고 되어 있으나 본 연구에서는 중간값인 140°로 하였다. 즉 우회전차량의 운전자의 우측 시계는 전방주시의 경우 최대 70°로 가정하였으며, 고개를 돌려 확인할 경우 고개를 돌리는 각도만큼 시계가 증가하는 것으로 하였다.

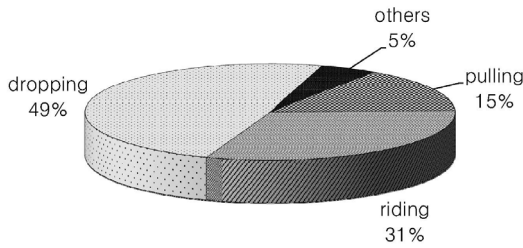


Figure 1. Behavior of pedestrian crossing of bicycle users

2. 횡단자전거의 주행행태

교차로 횡단보도에서의 자전거 횡단유형은 크게 정지했다가 횡단, 주행속도로 횡단, 자전거를 끌고 횡단으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 횡단자전거의 주행행태를 살펴보기 위해 성인남녀 자전거이용자 300명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사 결과 「속도를 감속해서 건넌다」는 응답이 49%로 가장 높았으며, 「속도를 유지하여 횡단」이 31%, 「자전거 하차 후 끌고 간다」가 16%로 나타나 대부분 자전거 이용자는 횡단보도에서 하차하지 않고 감속하거나 속도를 유지하여 횡단하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 상기와 같은 횡단자전거의 주행행태 중 가장 위험성이 높다고 할 수 있는 속도를 유지하여 횡단하는 것으로 가정하여 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 설문조사 결과에서는 감속하여 횡단하는 행태가 과반수를 차지하였으나 이를 고려하지 못한 이유는 횡단자전거의 감속 지점이나 감속도 등이 자전거 이용자의 특성이나 상황에 따라 다양하여 본 연구의 시뮬레이션에 적용하기에는 한계가 있었기 때문이다. 또한 앞서 기술한 것과 같이 속도를 유지하여 횡단하는 행태가 가장 위험한 상황이므로 감속하여 횡단하는 경우 위험성은 보다 감소된다고 판단하였기 때문이다.

3. 우회전차량과 횡단자전거간 상충형태

교차로에서의 우회전 차량은 본선구간에서 회전구간으로 진입하기 전 감속하게 되며 감속된 속도로 회전하다 운전자의 시계에 횡단을 위한 보행자 및 자전거를 확인하고 보행자 또는 횡단자전거가 있을 경우 정지하게 된다.

이 때 횡단보도 상에 대기 중인 보행자 및 자전거는 운전자의 시계 내에 위치하고 있어 상충위험성은 낮으

며, 시계 외에 있더라도 보행자가 뛰지 않는다면 보행속도가 낮기 때문에 차량과의 상충위험성은 낮다. 반면 자전거는 횡단보도의 녹색등화를 보고 우회전차량의 후방에서 주행하여 오거나 비신호교차로에서 우회전차량을 미처 인지하지 못하거나 정지할 것으로 잘못 판단하여 주행하다면 상충위험성은 매우 커지게 된다.

이는 우회전차량의 운전자가 후방에서 오는 자전거를 인식하지 못하거나, 교차로에서 보행자뿐만 아니라 자전거도 횡단할 수 있다는 인식의 부족, 운전자의 주위 확인 행태에 있어 전방주시에 의한 시계에만 의존, 횡단보도 녹색등화시 우회전차량이 통과할 수 있다는 상황에서 그 원인을 생각해 볼 수 있다.

본 연구에서는 교차로 내에서의 측면직각충돌 사고형태가 발생하는 우회전차량과 횡단자전거와의 상충관계를 기본가정을 통해 분석하였다.

4. 우회전차량의 최소정지시계

우회전차량과 횡단자전거의 상충지점은 자전거의 주행동선에 따라 다를 수 있으나 본 연구에서는 Figure 2에 나타낸 것과 같이 횡단보도의 좌측 끝단을 이용하여 횡단하는 것으로 가정하고 상충지점은 우회전차량의 동선과 교차되는 지점B로 가정하였다.

이 때 우회전차량의 운전자가 전방주시하는 경우 시계는 $\angle JAF(140^\circ)$ 이며 우측시계는 $\angle IAF(70^\circ)$ 이다. 운전자의 우측 시계연장선과 자전거 주행동선과 교차되는 지점F 전방에 자전거가 위치하면 운전자가 인지하게

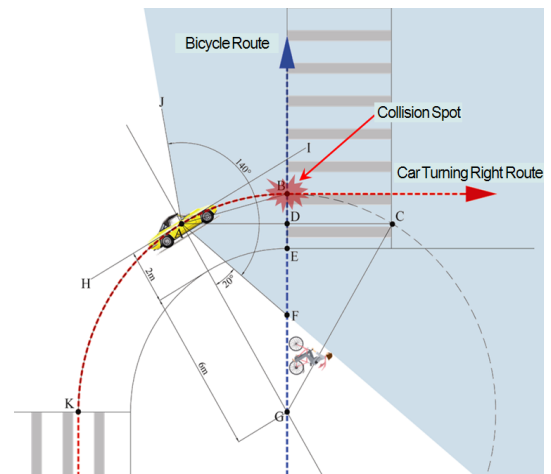


Figure 2. Minimum stop visibility in car turning right

되어 정지하게 된다. 다만 운전자의 시계내에 자전거가 위치하더라도 지점B에서 상충을 피하기 위해서는 최소 정지거리가 필요하게 된다.

본 연구에서는 우회전차량의 운전자가 전방주시 상태로 우회전하는 경우, 차량의 우측에서 주행하는 횡단자전거를 인지하여 정지할 수 있는 최소정지거리가 확보되는 지점에서의 운전자 우측시계 연장선과 자전거의 주행 동선이 교차하는 지점F에서 지점B간의 구간길이를 최소 정지시계(Minimum Stop Visibility, \overline{BF})라고 정의 하였다.

우회전차량 운전자의 최소정지시계는 삼각함수와 원의 중심각과 호 및 현의 길이 관계를 통해 산정할 수 있으며 계산과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{BF} &= \overline{BD} + \overline{DF}, \quad \overline{BD} = \cos(\angle ABD) \times \overline{AB} \\ \overline{DF} &= \tan(\angle DAF) \times \overline{AD} \\ \angle ABD &= (180 - \angle AGB)/2, \quad \angle AGB = \widehat{AB}/\widehat{AG} \\ \widehat{AB} &= \widehat{KB} - \widehat{KA}, \quad \angle DAF = 70 - \angle AGD \\ \widehat{KB} &= \overline{AG} \times \angle KGB, \quad \widehat{KA} = V \times T \end{aligned}$$

여기서,

\overline{BF} : 운전자의 우측시계와 상충지점까지의 거리(= 최소정지시계)

\widehat{AB} : 지점 A에서 상충지점까지의 거리

\widehat{KB} : 회전구간 시점에서 상충지점까지의 거리

\widehat{AG} : 차량운전자와 회전반경 중심과의 거리

V : 우회전차량의 회전속도(m/s)

T : 지점 K에서 지점 A까지의 소요시간(s)

이러한 최소정지시계는 Table 1에 나타낸 것과 같이 우회전차량의 주행속도가 높을수록 길어지게 된다. 이는 주행속도가 높을수록 최소정지거리가 확보되는 지점이 지점B에서 멀리 위치하게 되며, 또한 그 지점에서의 우측시계가 지점B에 가까운 위치보다 더 길어지게 되기 때문이다. 즉 우회전차량의 속도가 5km/h일 때, 최소한 지점B로부터 후방 3.11m에서 자전거를 인식하면 상충을 피할 수 있으나, 20km/h일 때는 5.26m에서 자전거 인식해야만 한다는 의미이다.

반면 Table 2에 나타낸 것과 같이 운전자가 우측으로 고개를 돌려 주위를 확인할 경우 전방주시의 최소정지시계보다 더 후방에 위치한 자전거까지 인지할 수 있는 시계가 확보되게 된다. 즉, 전방주시하는 경우보다 후방에

Table 1. Minimum stop visibility by driver behavior-car speed

Check around the behavior	Car Speed(km/h)	Minimum Stop Visibility(m)
Forward-looking	5	3.11
	10	4.47
	15	5.10
	20	5.26

Table 2. Visibility by driver behavior-car speed

Check around the behavior	Car Speed(km/h)	Visibility(m)
Trun head 30° to the right	5	27.70
	10	11.89
	15	10.14
	20	9.56
Trun head 45° to the right	5	∞
	10	40.86
	15	15.83
	20	12.54

서 주행해 오는 자전거를 사전에 확인할 수 있어 상충을 피할 수 있는 확률이 높아지게 된다.

전방주시의 최소정지시계와 달리 고개를 돌려 주위를 확인하는 경우, 우회전차량의 속도가 증가할수록 자전거 주행동선상의 자전거를 확인할 수 있는 시계가 감소하는 이유는 우회전차량이 곡선을 주행하기 때문이다. 즉, 지점B에 가까워질수록 운전자의 우측 시계 연장선은 후방으로 향하게 된다.

이러한 분석결과로부터 운전자가 우측으로 고개를 적극적으로 돌려 확인할수록 우측 측면에서 주행하는 자전거를 확인할 수 있는 시계가 보다 커짐을 알 수 있다. 특히 45° 고개를 돌려 확인할 경우 차량속도가 5km/h이면 운전자의 우측시계는 제한이 없는 것으로 나타났다.

IV. 우회전차량과 횡단자전거의 상충위험성 분석

1. CASE 설정

본 연구에서는 교차로 우회전차량과 동일방향 우측 후방에서 주행하는 횡단자전거간의 상충위험성을 차량 운전자의 우측시계를 좌우하는 주위확인행태와 차량 및 자전거의 주행속도로 CASE를 분류하고 차량운전자의 최소정지시계를 이용하여 상충위험성을 분석한다.

먼저 분석대상 교차로는 직각교차하는 4지 교차로 형태로 회전반경은 6m로 가정하였다. 우회전차량의 주행

레직은 분석대상이 운전자이므로 측방여유폭과 운전자의 위치를 고려하여 운전자의 가슴 중앙에서 8m의 회전반경으로 우회전하는 하는 것으로 하였으며, 이 때 회전구간의 길이는 12.57m가 된다. 우회전차량의 회전속도는 기존 연구(Traffic Society Institute, 2006) 결과를 바탕으로 5-20km/h를 5km/h 간격으로 변화시켜 설정하였다.

횡단자전거의 주행속도는 교차로 횡단보도에서의 횡단유형(정지했다가 횡단, 주행속도로 횡단, 자전거를 끌고 횡단)에 따라 달라지나 가장 위험성이 높은 주행속도로 횡단만을 고려하며 설정하였다. 기존 연구(Son et al., 2007)의 현장조사 결과에서는 1.94-8.99m/s, 평균속도는 3.21m/s로 제시되고 있으나 본 연구에서는 차량속도와 같이 5-20km/h를 5km/h 간격으로 변화시켜 설정하였다. 다음으로 차량 운전자의 우측시계를 좌우하는 주위확인행태는 전방을 주시하는 경우와 고개를 30°, 45° 돌려 확인하는 3가지로 설정하였다.

이와 같이 차량 및 자전거의 주행속도, 차량운전자의 우측시계를 고려하여 총 48개의 CASE에 대하여 최소정지시계를 이용하여 상충위험성을 분석하였다.

2. 상충위험성 판단 기준

상충위험성은 운전자가 주위 차량이나 보행자, 자전거에 의해 자신이 처음 의도한 진행방향으로 운전을 하지 못하도록 제한되는 위험을 말하며, 즉 현재의 진행상태나 속도로 운전행위를 계속할 경우 사고가 발생할 가능성을 의미한다.

우회전차량과 횡단자전거간 상충위험성은 다음과 같이 발생할 수 있다. 첫째, 최소정지시계 내에 자전거가 존재하지 않아 운전자가 인지하지 못하나 후방에서 차량보다 높은 속도로 횡단자전거가 진입하여 차량과 상충하는 경우이다. 둘째, 운전자의 최소정지시계 내에 차량이 존재하여 운전자가 인지가가능하나 상충지점 이전에 정지하기에 시간이 부족한 경우 상충위험이 발생하게 된다.

본 연구에서는 자전거 이용자의 인터뷰조사와 실험주행을 통해 상충위험성을 차량과 자전거간의 충돌뿐만 아니라 회피동작을 위한 급정지, 심리적인 불안감 등을 고려하여 자전거 주행속도별 상충지점으로부터 자전거의 위치가 운전자의 최소정지시계에서 ±2m 이내일 경우 상충위험성을 가지는 것으로 설정하였다.

즉 Figure 3에서 회전구간상의 지점A는 차량의 최소

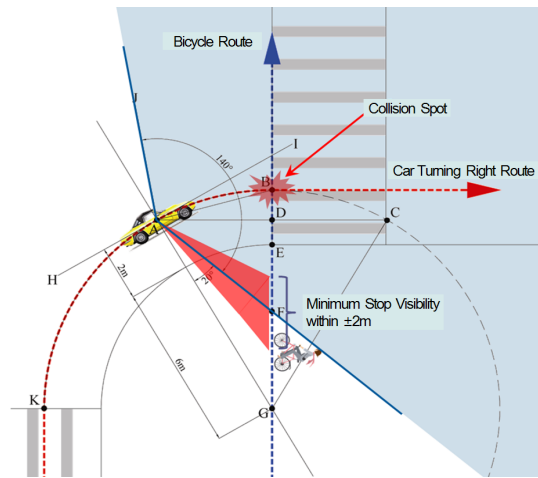


Figure 3. Rang of collision between bicycles and car turning right

정지거리 지점이며, \overline{BF} 는 운전자의 최소정지시계가 된다. 이 때 차량이 지점A로부터 상충지점B에서 정지하는데 소요되는 시간은 최소정지시간이며, 이 시간동안 자전거의 주행속도에 따라 역방향으로 주행거리를 계산하면 지점B에서 상충이 발생하는 자전거의 위치를 파악할 수 있다.

만약 자전거의 위치가 운전자의 최소정지시계와 같다면 지점B에서 상충이 발생하게 되며, 길거나 짧으면 상충을 피할 수 있게 된다. 그러나 앞서 언급한 것과 같이 회피동작을 위한 급정지나 심리적인 불안감 등을 감안하여 자전거속도별로 상충지점으로부터 자전거의 위치가 최소정지시계에서 ±2m 이내에 자전거가 위치할 경우 상충위험성이 있는 것으로 하였다.

3. 분석 방법

우회전차량의 속도별로 최소정지시계를 구하고 운전자의 주위확인행태 및 차량과 자전거의 속도별로 상충위험성을 분석하였다. 이때 우회전차량은 Figure 3의 지점K에서 우회전을 시작하는 것으로 하고 자전거의 위치는 상충지점B로부터 후방 20m에서 0.1m 간격으로 위치하는 것으로 하였다. 이는 자전거의 주행속도가 같더라도 지점K에서 차량이 우회전할 때 자전거의 위치에 따라 상충위험성 여부가 달라지기 때문이다. 즉 48개의 CASE별로 자전거의 위치를 200개 지점으로 구분하고 각 CASE별로 운전자가 자전거를 인식하게 되는 자전거

주행동선상의 위치로부터 상충지점B까지의 거리와 운전자의 최소정지시계를 비교하여 상충위험성 여부를 판단하였다. 분석결과는 각 CASE별로 200개의 자전거 위치에 대한 상충위험성을 확률로 나타내었다.

4. 분석 결과

우회전 차량과 횡단자전거의 속도, 운전자의 주위확인행태에 따른 상충위험성을 분석한 결과를 Table 3에 정리하였다.

먼저 운전자의 주위확인행태별로 비교하면, 전방주시보다 오른쪽으로 고개를 많이 돌려 확인할수록 상충위험성 발생 확률은 각 CASE별로 약 10% 이상 낮아지는 것으로 나타났다. 특히 30° 고개를 돌리고 차량속도가 5km/h 인 경우와 45° 고개를 돌리고 차량속도가 10km/h 이하인 경우에는 자전거의 주행속도와 관계없이 상충위험성이 이론적으로 발생하지 않는 것으로 나타났다.

또한 우회전차량의 속도가 높을수록 상충위험성은 증가하나 운전자가 고개를 많이 돌려 주위를 확인할수록 상충위험성은 상대적으로 감소하는 것으로 나타났다.

한편 분석결과에서 자전거가 차량보다 속도가 높으면 위험성은 낮아지는 것으로 나타났으나 이는 본 연구에서 차량의 출발지점은 고정된 상태에서 자전거의 위치를 상충지점으로부터 20m 후방에서 변화시켰기 때문에 자전거의 속도가 차량보다 높을수록 우회전차량과 이격되어 상충위험을 피할 수 있는 확률이 높게 나타난 것이다. 즉 본 연구에서는 우회전차량의 주행속도 및 주위확인행태에 주안점을 두고 제한된 시뮬레이션 조건 하에서 분석

하였기 때문에 자전거의 주행속도에 따른 상충위험성의 증감여부를 해석하는 데는 한계가 있으며, 추후 횡단자전거 및 우회전차량의 상대속도에 따른 상충위험성의 증감여부가 파악될 수 있도록 보다 재현성 높은 분석이 필요할 것으로 판단된다.

V. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 교차로에서 우회전차량과 횡단자전거의 상충위험성을 차량 및 자전거의 주행속도, 차량운전자의 주위확인행태를 고려하여 48개의 CASE를 설정하고 각 CASE별로 자전거의 위치를 고려하여 200개 지점에 대한 시뮬레이션 분석을 통해 차량속도 및 운전자의 주위확인행태에 따라 횡단자전거와의 상충위험성이 어떻게 달라지는지 비교하였다.

이 때 운전자가 전방주시로 우회전하는 경우 우회전 차량의 속도에 따라 달라지는 최소정지거리와 그 지점에서의 우측시계를 이용하여 최소정지시계를 정의하고 자전거의 속도와 위치에 따라 상충위험 발생 여부를 분석하였다.

연구 결과로는 운전자가 우측으로 고개를 돌려 적극적으로 확인할수록, 또한 우회전차량의 주행속도가 낮을수록 자전거와의 상충위험성이 감소되는 것을 나타내었다. 즉, 운전자가 회전구간에서 전방주시가 아니라 우측으로 고개를 돌려 후방을 보다 적극적으로 확인하는 것이 필요하며, 우회전차량이 저속으로 안전하게 주행하는 것이 사고의 위험성을 줄일 수 있다는 것을 나타내었다. 이러한 연구 결과는 다소 일반적인 것이며 기존 연구들에서도 제기되고 있으나 이론적으로 접근하여 교차로에서 자전거사고의 위험성을 제기하였다는 점에서 본 연구의 의의가 있을 것이다.

근본적으로 우회전차량이 신호교차로의 진입후 횡단보도가 녹색등화일 때 횡단보행자의 유무와 관계없이 반드시 정지하거나 주위를 적극적으로 확인한 후 안전하게 주행한다면 상충위험성은 현저히 낮아지게 된다. 그러나 현재의 도로교통법상 차량의 통행방법 및 자전거의 횡단보도 횡단방식, 운전자의 인식부족을 고려하면 본 연구에서 제기한 것과 같이 사고의 위험성은 항상 내재되어 있다. 또한 자전거 이용수요가 증가할수록 사고발생빈도는 증가할 가능성이 높아질 수 있다.

따라서 운전면허 시험시 우회전 통행방식에 대한 철저한 교육, 즉 서행하거나 정지를 통해 우측 후방을 적극

Table 3. Potential risk of collisions by CASE (Unit : %)

Check around the behavior	Car Speed (km/h)	Bicycle Speed(km/h)			
		5	10	15	20
Forward-looking	5	27.5	-	-	-
	10	41.5	33.5	20.5	5.5
	15	48.5	40.0	40.0	34.5
	20	54.0	51.0	48.0	45.0
Trun head 30° to the right	5	-	-	-	-
	10	20.0	9.5	-	-
	15	37.0	27.5	20.0	20.0
	20	40.0	40.0	40.0	37.0
Trun head 45° to the right	5	-	-	-	-
	10	-	-	-	-
	15	20.0	13.0	3.5	-
	20	31.0	28.0	25.0	22.5

적으로 확인하는 것과 더불어 횡단보행자 및 자전거 통행량이 많은 교차로에서는 우회전차량에 대한 보조신호기 설치, 자전거가 횡단보도에 진입할 때 속도를 낮출 수 있는 시설 등을 정비할 필요가 있다. 또한 자전거 이용 수요 증대와 더불어 운전자가 항상 자전거를 인식할 수 있도록 교육 및 계몽이 필요할 것이다.

끝으로 본 연구에서는 이론적인 시뮬레이션 분석으로 분석대상 교차로의 기하구조 및 차량과 자전거의 동선이 제약되어 있어 향후 우회전차량과 자전거의 사고자료 및 현장조사를 통해 보다 다양한 변수들을 고려하여 분석할 필요가 있다. 또한 우회전차량의 출발지점이 고정된 조건에서 분석하였기 때문에 우회전차량과 횡단자전거의 상대속도 차이에 따른 상충위험성을 분석하는 데는 한계가 있어 향후 횡단자전거 및 우회전차량의 상대속도에 따른 상충위험성의 증감여부가 파악될 수 있도록 보다 재현성 높은 분석이 필요할 것으로 판단된다.

나아가 우회전 차량과 자전거와의 상충위험성은 교차로 내에서 뿐만 아니라 간선도로변에 설치된 자전거·보행자겸용도로나 자전거 전용도로를 주행하는 자전거, 건물유출입이나 접속된 도로로의 우회전 차량간에도 발생할 수 있으므로 다양한 지점에서의 상충위험성에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

Doh T. W. (2007), The Principles of Traffic Engineering, Second Edition (교통공학원론-제2개정판), Cheongmoongak Press, Korea.

Kim D. H., Cho H. S., Kim E. C. (2008), A Study on Bicycle Accident Patterns at Urban Intersections, J. Korean Soc. Road Eng., Vol.10, No.4, Korean Society of Road Engineers, pp.389-395.

Oh J. K., Kim E. C., Kim D. H. (2007), A Study on the Bicycle Accident Injury Severity at Urban Intersections, J. Korean Soc. Civ Eng., Vol.27, No.4, Korean Society of Cive Engineers, pp.389-395.

Räsänen, M., Summala, H. (1998), Attention and Expectation Problems in Bicycle-car Collisions : an In-depth Study, Accid. Anal. and Prev., Vol.30, No.5. pp.657-666.

Road Traffic Authority (2010), Factor Analysis for

Traffic Accidents - Focusing on Bicycle Accidents (교통사고 요인분석 - 자전거사고 특성분석을 중심으로), pp.17-60.

Son Y. T., Lee J. K., Lee S. H., Kim H. S. (2007), Analysis of Bicycle Crossing Times at Signalized Intersections for Providing Safer Right of Bicycle Users, J. Korean Soc. Road Eng., Vol.9, No.3, Korean Society of Road Engineers, pp.83-89.

Traffic Science Institute (2006), Validity of Auxiliary Right Turn Signals and Right Turn Traffic Management (우회전 보조신호기 설치 타당성 및 우회전 교통처리 연구 방안).

Wang, Y., Nihanm, N. L. (2004), Estimating the Risk of Collisions between Bicycles and Motor Vehicles at Signalized Intersections, Accid. Anal. and Prev., Vol.36, pp.313-321.

Yang E. H. (2010), A Study on Safety Improvement Strategies by the Analysis of Bicycle Accident Type, Master's thesis, Kongju University.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제67회 학술발표회 (2012. 10. 20)에서 발표된 내용을 수정, 보완하여 작성된 것입니다.

- ☞ 주 작성자 : 이진욱
- ☞ 교신저자 : 김갑수
- ☞ 논문투고일 : 2012. 8. 3
- ☞ 논문심사일 : 2012. 11. 6 (1차)
2012. 12. 6 (2차)
2012. 12. 27 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2012. 12. 27
- ☞ 반론접수기한 : 2013. 6. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필