

횡단자전거의 안전성을 고려한 교차로 기하구조에 관한 기초연구 - 교차로 가각부 곡선반경을 중심으로

황정훈*

Hwang, Jung-Hoon*

A Preliminary Study on Intersection Geometric Designs Considering Safety of Crossing Bicycle - Focusing on Curve Radius of Pavement Edge at Intersection

ABSTRACT

Recently there have been an increasing amount of bicycle accidents along with the increased usage of bicycles. Bicycle accidents occur frequently by perpendicular collision at the inner intersection. Bicycle traffic is especially concentrated in residential areas and around schools which results in the vulnerability of cyclists. This paper is to inform the potential risks of collisions between bicycles and cars turning right at the intersections using simulation analysis which focuses on the pavement edge of intersection geometric designs factor and checks on the drivers behavior. The result of the analysis shows that as the curve radius of pavement edge at the intersection becomes larger and the more attention drivers are paying to the rear by turning their heads to the right, the potential risk of collisions between bicycles and cars turning right will decrease.

Key words : Curve radius, Risk of collision, Crossing bicycle, Car turning right, Driver visibility

초 록

자전거 교통사고는 이용수요의 증대와 더불어 지속적으로 증가하고 있는 추세이며, 기존 교통사고 자료를 통해 자전거 교통사고의 특성을 살펴 보면 사고발생 지점은 주로 교차로 내부이며, 사고형태는 측면직각충돌사고가 빈번한 것으로 나타났다. 특히 자전거 교통이 상대적으로 집중되는 주택가 또는 학교주변의 이면도로 교차로에서의 자전거 안전이 취약한 실정이다. 본 연구에서는 교차로 자전거사고의 위험요인 중 교차로 가각부 곡선반경이 운전자의 시계에 미치는 영향에 주목하여 횡단자전거와의 상충위험성에 대해 이론적으로 분석하였다. 또한 운전자의 주위확인 행태가 시계에 미치는 영향에 대해서도 비교 분석하여 자전거의 안전성을 고려한 교차로 기하구조 및 운전자의 주위확인행태가 미치는 영향을 제시하고자 하였다. 그 결과 교차로 가각부 곡선반경이 클수록 횡단자전거와의 상충위험성 감소하며, 또한 운전자가 우측으로 고개를 적극적으로 돌려 주위를 확인할수록 상충위험성이 감소하는 것으로 나타났다.

검색어 : 교차로 곡선반경, 상충위험성, 횡단자전거, 우회전차량, 운전자 시계

* 정회원 · 교신저자 · 영남대학교 도시공학과 겸임교수 (Corresponding Author · Yeungnam University · hbighead@yu.ac.kr)

Received November 18, 2013/ revised January 3, 2014/ accepted March 18, 2014

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 자전거는 친환경적인 교통수단으로서 주목을 받아 왔으며 자전거이용 활성화를 위해 관련 시설 및 제도정비가 이루어져 왔다. 이러한 자전거에 대한 인식의 변화와 자전거 이용환경의 개선으로 자전거 이용자도 증가하였으나 또한 자전거 교통사고도 증가추세에 있다.

최근 3년간 자전거 교통사고의 유형은 차대차 사고가 94.6%를 차지하며, 이 중 측면직각충돌이 60.2%로 가장 많다. 또한 도로형태별로는 교차로내가 24.8%로 가장 많은 것으로 나타났다(Road Traffic Authority, 2010). 교차로에서 발생하는 자전거 교통사고 자료를 이용한 기존 연구에서는 회전차량이 교차로를 횡단하는 자전거를 인지하는데 어려움이 있어 충돌사고 발생빈도가 높다고 하였다(Oh et al., 2007; Wang and Nihan, 2004; Räsänen and Summala, 1998).

이와 같이 회전차량의 운전자가 자전거를 인지하기 어려운 이유는 직진차량은 전방의 시계가 확보되지만 회전차량은 회전으로 인해 시계에 제약이 있으며, 특히 우회전 차량은 차량의 진행방향과 직각으로 횡단하는 자전거가 우측 후방에서 진입하는 경우 운전자가 자전거를 인지하는데 많은 어려움이 있다. 이는 신호교차로의 경우라도 교차로 진입후 횡단보도의 경우 보행자의 신호가 녹색등화라도 도로교통법에서는 보행자가 없을 경우 주의하면서 통과할 수 있도록 되어 있어 보행자보다 주행속도가 높은 자전거의 경우 우회전차량의 우측 후방에서 진입할 경우 사고발생의 위험이 높아지게 된다.

또한 도시부의 간선도로 교차로는 많은 교통량의 신속한 처리와 교차로 내 교통사고 방지를 위하여 도류화에 의한 교차로의 면적 축소, 가각부 곡선반경 확보 등 개선사업을 추진하고 있다. 그러나 자전거 통행이 상대적으로 집중되는 주택가 또는 학교주변의 이면도로 교차로는 최소가각부 곡선반경 미확보, 자전거 안전시설 미흡 등으로 자전거 사고의 약 70%를 차지하고 있어 자전거 안전에 대해 취약한 실정이다.

이에 본 연구에서는 교차로 자전거사고의 위험요인 중 교차로 가각부 곡선반경이 우회전차량 운전자의 시계에 미치는 영향에 주목하여 횡단자전거와의 상충위험성에 대해 이론적으로 분석하고, 또한 운전자의 주위확인행태가 시계에 미치는 영향에 대해서도 비교 분석하여 자전거의 안전성을 고려한 교차로 기하구조 개선 및 사고감소를 위한 개선방안을 모색하고자 한다.

1.2 연구방법 및 내용

본 연구는 교차로의 가각부 곡선반경에 따라 우회전차량과 횡단

자전거 간의 상충위험성을 비교 분석하는 것을 주목적으로 두고 있다. 교차로에서 발생하는 교통사고와 관련된 기존 연구들은 대부분 교통사고 자료를 이용하였지만, 본 연구와 같이 특정 교통조건에서 발생하는 사고의 원인을 파악하기 위해서는 조건에 부합되는 다양한 사고자료가 충분하지 않다. 또한 사고자료 항목이 제한적이어서 운전자의 주위확인행태와 같이 세부적인 인적요인이 교통사고에 미치는 영향을 파악하는 데는 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 교차로의 가각부 곡선반경과 운전자의 주위확인행태에 따라 우회전차량과 횡단자전거의 상충위험성을 비교 분석하기 위하여 제한된 조건을 가정한 시뮬레이션을 이용하였다.

먼저 시뮬레이션 분석의 전제조건으로 우회전차량과 횡단자전거의 주행행태 및 특성, 교차로 기하구조를 설정하고 차량과 자전거의 상충형태 및 상충위험성 판단기준을 정하였다. 이를 바탕으로 교차로 가각부 곡선반경에 따른 상충위험성을 비교하기 위하여 5개 유형의 교차로 가각부 곡선반경과 3개 유형의 운전자 주위확인행태를 고려한 총 15개 CASE별로 횡단자전거의 주행시점(200개 지점)을 달리하여 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션 결과로는 각 CASE별로 횡단자전거의 200개 주행시점에 대한 우회전차량과의 상충위험성을 확률로서 나타내었으며, 이를 토대로 교차로의 가각부 곡선반경과 운전자의 주위확인행태에 따른 우회전차량과 횡단자전거의 상충위험성을 비교 분석하였다.

2. 선행연구 검토

본 연구와 같이 교차로에서 발생하는 자전거 교통사고에 대한 기존 연구는 제한적이 이루어져 왔다. Oh et al. (2007)는 교통사고 자료를 이용하여 도시부 교차로에서 자전거 사고에 영향을 미치는 주요 요인으로 교통량, 진출입구수, 지형, 자전거도로, 학교, 주거지역, 교차로의 크기, 버스정류장 등을 제시하였다. 또한 Kim et al. (2008)은 동일한 자료를 이용하여 자전거 사고유형을 좌우회전전, 좌우회전 후, 직전 전후로 구분하고 유형별 사고모형을 구축하여 각 유형별 영향요인들을 분석하였다.

Yang (2010)는 자전거 교통사고의 유형을 분석하여 가장 많이 발생하는 사고유형과 위험요소를 분석하였다. 도로유형별로는 단일로, 교차로(교차로 내, 교차로 부근), 횡단보도(횡단보도 내, 횡단보도 부근), 교량 위 순으로 사고가 많이 발생하고 사고형태로는 직각충돌이 가장 많다고 하였다.

또한 교차로에서 발생하는 자전거 교통사고에 대한 국외 연구로 Räsänen and Summala (1998)은 자동차 운전자와 자전거 이용자의 충돌사고의 37%는 운전자나 자전거 이용자가 위험성을 인지하지 못했거나 대처할 수 있는 시간이 충분하지 않아 사고가 발생한다

고 하였다. 또한 우회전차량과 횡단자전거간 사고의 대부분은 우회전 차량의 운전자가 안전한 우회전을 위해 좌측의 접근 차량에 집중하고 있을 때 운전자의 우측에서 주행해 오는 자전거를 인지하지 못하여 발생한다고 하였다.

Wang and Nihan (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 언급하였다.

대부분의 선행연구는 사고자료를 이용하여 사고의 형태 및 영향 요인에 대하여 분석하였으며, 그 결과로 공통적으로 회전차량과의 충돌사고의 위험성을 지적하고 있다. 또한 그러한 원인 중 하나로 운전자가 자전거를 인지하는데 어려움이 있음을 제시하고 있으나 제한된 사고자료로 인하여 그러한 원인에 대한 세부적인 연구는 미흡한 실정이다.

3. 우회전차량과 횡단자전거의 상충위험성 분석

3.1 시뮬레이션 조건

3.1.1 우회전차량 및 횡단자전거의 주행행태 설정

본 연구에서는 우회전차량의 주행행태로 본선을 등속으로 주행하는 본선구간, 우회전차로에 진입하여 회전을 위해 감속하는 감속구간, 회전하는 회전구간으로 구분하였다. 일반적으로 본선구간과 감속구간에서 우측 자전거도로에서 주행하는 자전거를 인지할 수 있으나 횡단여부를 파악하기 어렵고 운전자가 주의를 기울이지 않거나 야간의 경우에는 인지하지 못하는 경우도 있다. 안전속도 및 충분히 주위를 확인하는 경우는 사고의 위험성이 현저히 낮아지나, 본 연구에서는 차량이 회전구간 진입 전까지 횡단자전거를 인지하지 못했다는 상황을 가정하고 교차로 회전구간에서의 상충 위험성을 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 경우를 기준으로 기존문헌(Doh, 2007)을 참고하여 120°로 하였다. 즉 우회전차량의 운전자의 우측 시계는 전방주시의 경우 최대 60°이며, 고개를 돌려 확인할 경우 고개를 돌리는 각도만큼 차량 우측 후방의 시계가 증가하는 것으로 하였다.

교차로 횡단자전거의 주행행태는 크게 횡단보도 진입전 정지했다가 승차하여 횡단, 정지 없이 주행속도로 횡단, 자전거에서 하차

후 끌고 횡단하는 것으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 횡단자전거의 주행행태를 살펴보기 위해 성인남녀 자전거이용자 300명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사 결과, Fig. 1에 나타난 것과 같이 「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 위와 같은 횡단자전거의 주행행태 중 가장 위험성이 높다고 할 수 있는 속도를 유지하여 횡단하는 것으로 가정하였다. 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.

3.1.2 우회전차량과 횡단자전거간 상충형태

Fig. 2는 본 연구에서 설정한 우회전차량과 횡단자전거의 주행행태를 바탕으로 교차로 형태 및 차량과 자전거의 주행궤적, 우회전차량의 회전구간 시점인 지점 A와 상충지점까지 최소정지거리가 확보되는 지점 B에 위치했을 때의 차량운전자의 주위확인행태별 우측 시계범위를 나타낸 것이다. 이때 직선(4)는 최소정지거리 지점에서 운전자의 우측 시계 연장선으로 최소한 그 지점에서 자전거가 인지되어야 정지할 수 있다는 의미에서 최소정지시계로 정의하였다.

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 우회전차량의 회전구간이 시작되는 지점 A에서 차량의 최소정지거리 지점인

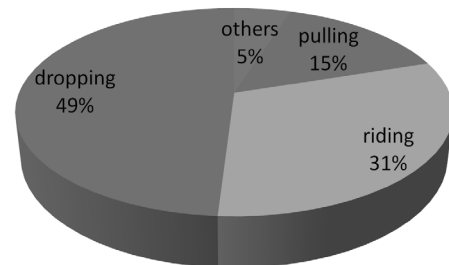
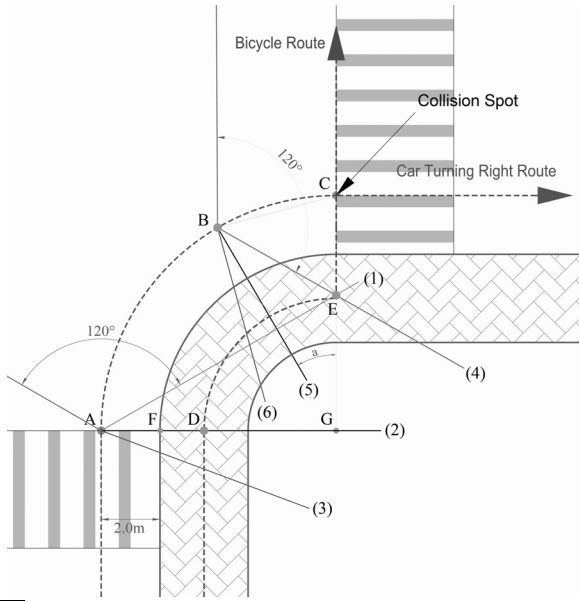


Fig. 1. Behaviors of Pedestrian Crossing of Bicycle Users



- \overline{FG} : Curve Radius of Pavement Edge
- \overline{AG} : Curve Radius of Car Turning
- \overline{DG} : Curve Radius of Bicycle Turning
- \overline{EC} : Stop Visibility of Car
- \widehat{ABC} : Car Turning Right Route
- \widehat{DEC} : Bicycle Route
- Point A : Car Turning Right Start Point
- Point B : Minimum Stop Distance Point
- Point C : Collision Spot
- Line (1), (4) : Driver's Visibility Line in case of Forward-Looking
- Line (2), (5) : Driver's Visibility Line in case of Turn Head 30° to the right
- Line (3), (6) : Driver's Visibility Line in case of Turn Head 45° to the right

Fig. 2. Layout for Intersection Designs and Route of Bicycle and Car Turning Right

지점 B까지 주행하는 동안 운전자의 시계 내에 위치하고 있어 상충위험성은 낮아진다. 또한 시계 외에 있더라도 보행자의 보행속도는 낮기 때문에 차량과의 상충위험성은 낮다. 반면 자전거는 횡단보도의 녹색등화를 보고 우회전차량의 우측 후방에서 주행하여 오거나 비신호교차로에서 우회전차량을 인지하지 못하거나 정지할 것으로 잘못 판단하여 주행한다면 상충위험성은 매우 커지게 된다.

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

본 연구에서의 상충위험성은 차량과 자전거간의 충돌뿐만 아니

라 회피동작을 위한 급정지, 심리적인 불안감 등을 고려한 것이다. 즉 우회전차량과 횡단자전거의 상충지점은 지점 C이나 상충위험을 인지하는 지점은 자전거 이용자의 인터뷰조사와 실험주행을 통해 우회전차량이 지점 C에 도달하였을 때, 횡단자전거의 위치가 상충지점으로부터 전후방 2m로 설정하였다.

3.1.3 상충위험성 판단기준

우회전차량과 자전거와의 상충위험성 판단여부는 다음과 같은 기준으로 하였다.

첫째, 우회전차량이 운전자의 주위확인행태에 따른 우측시계 (Fig. 2의 직선(1)과 (4)) 내에서 횡단자전거를 인지하고, 상충위험 회피지점까지 정지할 수 있는 최소정지거리가 확보되는 지점에서 횡단자전거가 운전자의 우측시계 내에 위치하는 경우이다. 즉 차량의 회전구간 시점인 지점 A에 위치할 경우 자전거가 직선(1)보다 앞에 위치한 경우를 의미한다.

둘째, 횡단자전거가 차량의 최소정지거리 지점(지점 B)에서 우측시계(직선(4)) 내에 위치하지 않고 상충지점에 도달할 때까지 자전거가 인지되지 않을 경우 횡단자전거의 상충지점까지 남은 거리가 2m 이상인 경우이다. 즉 운전자가 우회전 중 자전거가 인지되지 않더라도 자전거와 충분히 이격되어 상충위험성을 느끼지 못하는 경우를 의미한다.

셋째, 횡단자전거가 차량의 최소정지거리 지점에서 우측시계 내에 위치하지 않았으나 상충지점 도달 이전에 자전거가 최소정지거리 지점 이전에 인지되고 차량의 상충회피지점 도달시 횡단자전거의 위치가 상충지점으로부터 2m 이상인 경우이다.

3.1.4 교차로 기하구조 및 차량과 자전거의 주행특성 설정

먼저 분석대상 교차로는 직각 교차하는 4지 교차로 형태로 가각부 곡선반경은 가변조건으로 하였다. 우회전차량의 주행궤적은 분석대상이 운전자이므로 측방여유폭과 운전자의 위치를 고려하여 운전자의 가슴 중앙에서 연석까지 2m의 간격을 두고 회전하는 것으로 하였다.

우회전차량의 주행속도는 기존 연구(Traffic Science Institute, 2006)에서는 5~20km/h라고 제시하고 있으며, 본 연구에서는 중앙값인 12.5km/h로 설정하였다. 횡단자전거의 주행속도는 교차로 횡단보도에서의 횡단유형(정지했다가 횡단, 주행속도로 횡단, 자전거를 끌고 횡단)에 따라 달라지나 이 중 가장 위험성이 높은 주행속도로 횡단하는 경우를 고려하여 설정하였다. 기존 연구(Son et al., 2007)의 현장조사 결과에서 횡단자전거의 평균속도는 11.6km/h로 제시되고 있어 본 연구에서는 이 값을 수용하여 설정하였다.

다음으로 우회전 중 차량 운전자의 우측시계를 좌우하는 주위확인행태는 전방을 주시하는 경우와 고개를 우측으로 30°와 45°

돌려 확인하는 3가지로 설정하였다. 이때 운전자가 전방을 주시하는 경우 시계는 120°이며 우측시계는 60°이다. 운전자의 우측시계 내에서 자전거가 위치하여 인지하게 되면 상충을 피할 수 있다. 다만 운전자의 시계내에 자전거가 위치하더라도 상충을 피하기 위해서는 최소정지거리가 필요하게 된다.

교차로를 우회전하는 차량의 위치는 곡선구간이 시작되는 지점으로 하였으며, 횡단자전거는 곡선구간 시점부터 후방으로 20m지점까지 10cm 간격으로 위치하는 것으로 가정하였다. 차량과 자전거의 상대적인 위치에 따라 상충가능성은 달라지나 본 연구에서는 교차로의 가각부 곡선반경과 운전자의 주위확인행태에 따른 상충위험성을 비교분석하는 것이기 때문에 차량은 단일지점으로 자전거는 차량 운전자의 시계에서 벗어나는 후방으로 설정하였다. 교차로의 가각부 곡선반경(차도와 보도 경계선 기준)은 6~14m까지 2m간격으로 설정하였다.

3.2 시뮬레이션 방법

교차로 가각부 곡선반경에 따른 상충위험성을 비교하기 위한 시뮬레이션은 5개 유형의 교차로 가각부 곡선반경과 3개 유형의 운전자 주위확인행태 총 15개 CASE별로 횡단자전거의 주행시점 (200개 지점)을 달리하여 실시하였다.

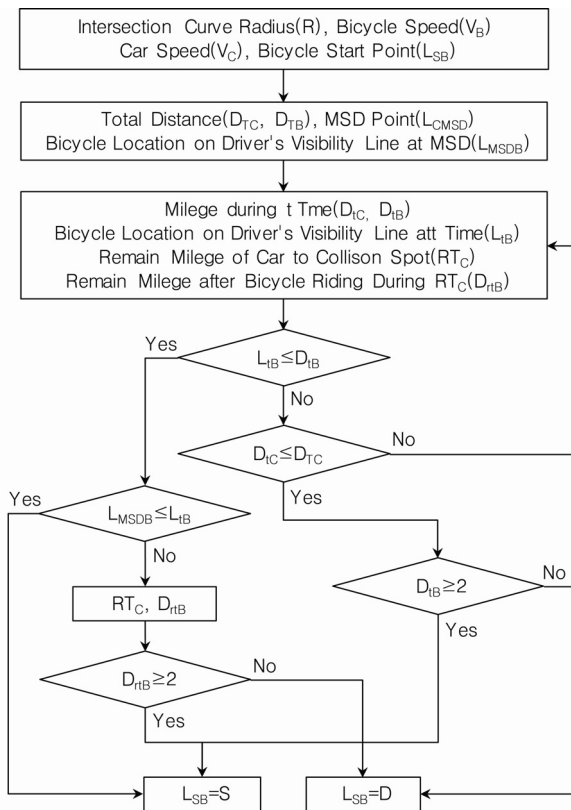


Fig. 3. Simulation Flow

세부적인 시뮬레이션 과정은 Fig. 3에 나타내었으며, 첫째, 각 CASE별로 교차로의 가각부 곡선반경, 차량 및 자전거의 주행궤적과 주행속도를 설정하고 우회전차량의 최소정지거리가 확보되는 차량 주행궤적상의 위치와 그 지점에서 운전자의 우측시계 연장선과 자전거 주행궤적이 교차하는 위치를 계산한다.

둘째, 우회전차량의 위치는 회전구간이 시작되는 지점으로 고정하고 횡단자전거의 위치는 회전구간의 시점으로부터 후방 20m에서 0.1m 단위로 달리하여 0.01초 단위로 차량과 자전거 주행하는 것을 가정하여 단위시간별로 차량과 자전거의 주행궤적상의 위치, 차량운전자의 우측시계선과 자전거의 주행궤적이 교차하는 자전거 주행궤적상의 위치를 계산한다.

셋째, 상충위험성 판단기준으로 따라 상충위험성 여부를 판단한다.

끝으로 각 CASE별로 횡단자전거의 주행시점 200개 지점 중 상충위험성이 발생하는 경우의 수를 이용하여 상충위험 발생확률을 계산한다.

3.3 상충위험성 분석결과

3.3.1 우회전차량의 최소정지시계

본 연구에서는 차량운전자가 자전거를 인지하고 정지할 수 있는 최소정지거리 지점에서 운전자의 우측 시계 연장선과 자전거의 주행궤적과의 교차점으로부터 상충지점까지의 거리를 정지시계라고 정의하였다. 즉 우회전하는 차량의 운전자가 우측 후방의 시계의 자전거를 인지하지 못하더라도 최소한 정지시계 시점부에서 자전거를 인지하면 상충위험성을 피할 수 있다는 것이다. 정지시계가 크다는 것은 그만큼 상충위험성이 적다는 것을 의미한다. 정지시계는 차량 및 자전거의 상대속도나 위치에 따라 달라지나 본 연구에서는 속도나 위치를 특정하고 교차로 가각부 곡선반경과 운전자의 주위확인행태에 따른 정지시계를 비교 분석하였다.

분석결과를 Table 1에 나타내었으며, 교차로 가각부 곡선반경이 클수록 운전자의 정지시계는 운전자의 주위확인행태에 관계없이 모두 증가하는 것으로 나타났다. 전방주시의 경우 곡선반경 6m인

Table 1. Stop Visibility by Curve Radius and Driver's Check around the Behavior

Curve Radius	Check around the behavior		
	Forward-looking	Turn head 30° to the right	Turn head 45° to the right
14m	6.89m	9.46m	10.43m
12m	6.65m	9.22m	10.19m
10m	6.34m	8.91m	9.88m
8m	5.89m	8.46m	9.43m
6m	5.23m	7.80m	8.77m

경우 정지시계는 5.23m이나 14m인 경우는 6.89m로 나타났다.

또한 가장 작은 곡선반경 6m인 경우 전방주시상태로 우회전하면 정지시계는 5.23m이나 45° 고개를 우측으로 돌리면 8.77m로 증가하는 것으로 나타났으며, 가각부 곡선반경에 관계없이 운전자가 전방주시상태로 우회전하는 것보다 적극적으로 우측으로 고개를 돌려 주위를 확인할수록 정지시계가 증가하는 것으로 나타났다.

차량운전자의 최소정지시계는 가각부 곡선반경이 클수록, 운전자가 적극적으로 고개를 돌려 확인할수록 커지며, 곡선반경을 두배로 확대하는 것보다 운전자가 고개를 우측으로 30°라도 돌리면 커지는 것으로 나타났다.

3.3.2 상충위험 발생 확률

교차로 가각부 곡선반경에 따른 상충위험 발생 확률을 Table

Table 2. Risk of Collisions by Check Around the Behavior

(a) Forward-Looking

Curve Radius (m)	Minimum Stop Distance Point (m)		Risk of Collisions	
	Car Point	Visibility	Number of Risk Case	Risk Probability (%)
14	17.5	16.2	20	10.0
12	14.4	13.3	23	11.5
10	11.2	10.5	25	12.5
8	8.1	7.8	27	13.5
6	4.9	5.3	30	15.0

(b) Turn Head 30° to the Right

Curve Radius (m)	Minimum Stop Distance Point(m)		Risk of Collisions	
	Car Point	Visibility	Number of Risk Case	Risk Probability (%)
14	17.5	13.7	-	-
12	14.4	10.8	-	-
10	11.2	7.9	2	1.0
8	8.1	5.2	5	2.5
6	4.9	2.8	13	6.5

(c) Turn Head 45° to the Right

Curve Radius (m)	Minimum Stop Distance Spot(m)		Risk of Collisions	
	Car Point	Visibility	Number of Risk Case	Risk Probability (%)
14	17.5	12.7	-	-
12	14.4	9.8	-	-
10	11.2	7.0	-	-
8	8.1	4.3	-	-
6	4.9	1.8	3	1.5

2에 나타내었으며, 차량운전자의 주위확인행태와 관계없이 교차로의 가각부 곡선반경이 클수록 차량 후방에서 진입하는 횡단자전거와의 상충발생 위험률은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 교차로의 가각부 곡선반경이 클수록 우회전차량의 최소정지거리 지점에서의 우측시계가 더 크게 확보되기 때문으로 판단된다.

또한 운전자의 주위확인행태가 전방주시하는 것보다 우측으로 고개를 적극적으로 돌릴수록 상충발생 위험률이 감소하는 것으로 나타났다. 교차로 가각부 곡선반경이 14m인 교차로에서 전방주시상태로 우회전하는 경우 상충위험률은 10.0%이지만, 곡선반경이 6m인 경우는 15.0%로 증가하였다.

여기에 차량운전자의 주위확인행태별로 상충위험률을 살펴보면, 운전자가 적극적으로 우측으로 고개를 돌려 확인할수록 낮아지는 것으로 나타났다. 운전자가 30° 고개를 돌리면 곡선반경 12m까지 상충위험이 발생하지 않으며, 45° 고개를 돌리면 곡선반경 8m까지 상충위험이 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이는 교차로의 가각부 곡선반경에 관계없이 운전자가 주위확인을 적극적으로 할수록 상충위험이 낮아지는 것으로 나타났다.

이는 우회전차량이나 횡단자전거의 속도 및 교차로 및 보도상의 주행 위치를 특정하여 교차로의 가각부 곡선반경과 운전자의 주위확인행태에 따라 상충위험성을 나타낸 것으로 상대적인 비교를 위한 값을 의미한다. 즉 동일한 조건에서 가각부 곡선반경이 클수록, 운전자가 우측으로 적극 고개를 돌려 주위를 확인할 때, 횡단자전거와의 상충위험성을 감소한다는 것을 의미한다.

이러한 분석결과는 교차로의 가각부 곡선반경이 작은 주택가나 학교주변의 이면도로 교차로에서 자전거로 출퇴근하거나 통학하는 이용자들이 교차로 횡단보도를 이용하여 횡단할 경우 우회전차량과의 상충위험성이 상대적으로 높다는 것을 나타낸다. 그러므로 교차로 가각부 곡선반경을 최대한 확보하고 자전거횡단도의 위치를 교차로 후방으로 설치하는 등의 개선이 필요할 것이다. 이는 운전자의 우측시계를 확대하여 차량의 최소정지거리 지점 이전에 횡단자전거를 인지하도록 하는 효과가 있을 것이다.

또한 자전거 이용자가 지속적으로 증가하고 있는 추세를 감안하여 운전자가 교차로에서 우회전할 경우 차량 우측 후방에서 자전거가 진입할 수 있음을 인지하고 서행운전 및 고개를 돌려 적극적으로 주위를 확인하는 운전습관이 필요할 것이다.

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 교차로의 기하구조 중 가각부 곡선반경에 따라 우회전차량과 횡단자전거의 상충위험성이 어떻게 달라지는지 분석하여 자전거의 안전성을 고려한 교차로 기하구조에 대한 기초자료를 제공하고 또한 운전자의 주위확인행태가 미치는 영향을 분석하

고자 하였다.

연구결과 교차로 각각부 곡선반경이 클수록 횡단자전거와의 상충위험성이 감소하며, 또한 운전자가 우측으로 고개를 적극적으로 돌려 주위를 확인할수록 상충위험성이 감소하는 것으로 나타났다.

이는 자전거이용이 저조했을 때는 교차로에서 우회전하는 차량과의 사고발생률이 낮았지만, 자전거이용의 지속적인 증가 추세를 감안할 때 향후 현재와 같은 교통시설 환경과 운전자의 의식 하에서 사고발생률이 증가할 수 있음을 시사한다.

이를 개선하기 위해서는 교차로 각각부 곡선반경이 작은 이면도로나 간선도로와 접속되는 교차로에 대한 안전시설 확충이 필요하며, 또한 우회전차량의 운전자가 횡단보도에서 부근의 보행자나 자전거뿐만 아니라 차량의 우측 후방에서도 횡단자전거가 진입할 수 있음을 인지하고 일시정지 및 적극적인 주위확인행태가 필요할 것이다.

나이가 교차로의 우회전차로가 대부분 공용차로로 운영되고 있어 직진차량의 소통을 원활히 하기위해 교차로 진입후 횡단보도에서 횡단보행자가 없을 경우 주의하면서 진행할 수 있는 규정을 개선할 필요가 있다. 특히 횡단보도를 이용하여 횡단하는 자전거는 하차하여 끌고 가도록 도로교통법에서 규정하고 있지만, 자전거횡단도가 설치되어 있는 경우는 승차상태로 횡단하기 때문에 차량의 우측 후방에서 진입할 가능성이 많다. 이러한 경우 차량과 직각측면 충돌의 위험성이 높게 되므로 법규정을 보완할 필요가 있으며, 또한 자전거횡단도의 설치위치에 대해서도 안전성을 고려하여 검토할 필요가 있을 것이다.

끝으로 본 연구에서는 이론적인 시뮬레이션 분석으로 분석대상 교차로의 기하구조 및 차량과 자전거의 주행행태 등이 제약되어 있어 자전거의 안전성을 고려한 교차로 기하구조의 개선을 위한 기준을 제시하는 데는 한계가 있다. 또한 우회전차량의 출발지점이 고정된 조건에서 분석하였기 때문에 우회전차량과 횡단자전거의 상대속도 차이에 따른 상충위험성을 분석하는 데에도 한계가 있다.

향후 회전차량과 자전거와의 사고자료 및 세부적인 현장조사 자료를 수집하고 보다 다양한 변수들을 고려하고 재현성을 높임으로서 연구결과의 신뢰성 및 범용성이 개선될 수 있도록 보완이 필요할 것이다. 나아가 교차로의 기하구조 개선은 자전거의 통행과 안전만을 고려하여 시행될 수 없으므로 보행자와 차량을 종합적으로 고려한 개선방안에 대해서 연구할 필요가 있다.

References

- Doh, T. W. (2007). *The principles of traffic Engineering-Second Edition*, Cheongmoongak Press (in Korean).
- Kim, D. H., Cho, H. S. and Kim, E. C. (2008). "A study on bicycle accident patterns at urban intersections." *Journal of Korean Society of Road Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 389-395 (in Korean).
- Oh, J. K., Kim, E. C. and Kim, D. H. (2007). "A study on the bicycle accident injury severity at urban intersections." *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 27, No. 4, pp. 389-395 (in Korean).
- Road Traffic Authority (2010). *Factor analysis for traffic accidents - Focusing on Bicycle Accidents*, pp. 17-60 (in Korean).
- Son, Y. T., Lee, J. K., Lee, S. H. and Kim, H. S. (2007). "Analysis of bicycle crossing times at signalized intersections for providing safer right of bicycle users." *Journal of Korean Society of Road Engineering*, Vol. 9, No. 3, pp. 83-89 (in Korean).
- Traffic Science Institute (2006). *Validity of auxiliary right turn signals and right turn traffic management* (in Korean).
- Wang, Y. and Nihan, N. L. (2004). "Estimating the risk of collisions between bicycles and motor vehicles at signalized intersections." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 36, No. 3, pp. 313-321.
- Räsänen, M. and Summala, M. (1998). "Attention and expectation problems in bicycle-car collisions : An in-depth study." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 30, No. 5, pp. 657-666.
- Yang, E. H. (2010). *A study on safety improvement strategies by the analysis of bicycle accident type*, Master's Thesis, University of Kongju, Kongju, Korea.