



신호교차로의 측면직각 충돌사고 특성과 심각도

Characteristics and Severity of Side Right-Angle Collisions at Signalized Intersections

박 정 순* 박 길 수** 김 태 영*** 박 병 호****
 Park, JeongSoon Park, GilSoo Kim, TaeYoung Park, ByungHo

Abstract

This study deals with the side right-angle collisions of 4-legged signalized intersections in Cheongju. The goals are to analyze the characteristics of accidents and to find out the accident factors that affect severity using ordered probit model. In pursuing the above, the study uses the data of 580 side right-angle collisions occurred at the 181 intersections(2004~2005). The analyses show that more accidents were occurred in the nighttime and in going straight. The main cause was analyzed to be the red-light violation. Also, the main results of modeling are the following, First, the likelihood ratio index is 0.094 and t-ratio values that explain goodness of fit are significant. Second, minor road traffic volumes, minor road lanes, major road left-turn lanes, major road left-turn signal, major road yellow signal time, cross angle, major and minor road speed limits are significant factors affecting crash severities at signalized intersections.

Keywords : side right-angle collisions, accident injury severity, ordered probit model, marginal effect

요 지

본 연구는 청주시 4지 신호교차로에서 발생한 측면직각 충돌사고를 다루고 있다. 연구의 목적은 측면직각 충돌사고의 특성을 분석하고, 순서형 프로빗 모형을 이용하여 사고의 심각도에 영향을 주는 사고요인을 파악하는 것이다. 이를 위해 본 연구는 2004년과 2005년의 2년간 181개 교차로에서 발생한 580건의 측면직각 충돌사고 자료를 이용한다. 사고특성 분석결과, 야간과 직진 중에 가장 많은 교통사고가 발생하였으며, 주된 원인은 신호위반으로 밝혀졌다. 사고심각도 모형개발의 주요결과는 다음과 같다. 첫째, 모형의 적합도를 나타내는 우도비(ρ^2)값은 0.094이며, 변수의 적합성을 나타내는 t-ratio 값은 모두 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 둘째, 측면직각 충돌사고의 심각도에 영향을 미치는 변수로는 부도로 교통량, 부도로 차로수, 주도로 좌회전차로, 주도로 좌회전신호유무, 주도로 황색신호시간, 교차각, 주도로·부도로 제한속도가 선정되었다.

핵심용어: 측면직각 충돌사고, 사고심각도, 순서형 프로빗 모형, 한계효과

* 정회원 · 도로교통공단 대전·충남지부 · 공학박사
 ** 비회원 · 충북대학교 도시공학과 박사과정
 *** 비회원 · 충북대학교 도시공학과 박사과정
 **** 정회원 · 충북대학교 도시공학과 교수



1. 서론

청주에서 2년간(2004년~2005년) 발생한 6,201건의 교통사고 중 4지 신호교차로에서는 2,412건(181개소)으로 다른 형태의 교차로에 비해 사고빈도와 위험성이 높은 것으로 분석된다.¹⁾ 신호교차로의 대표적인 사고유형들은 후미추돌, 측면직각 충돌, 정면충돌 및 측면접촉사고 등으로 후미추돌 사고는 2년 동안 134개 교차로에서 690건이 발생하였으며, 이중 심각사고²⁾는 534건(77.3%)이다. 그리고 측면직각 충돌사고는 125개 교차로에서 524건으로 심각사고는 총 415건(79.2%)를 차지하여 후미추돌사고에 비해 사고의 심각도가 높은 것으로 분석된다. 이와 같이 측면직각 충돌사고의 심각도가 높은 이유 중의 하나는 정면충돌 및 후미추돌사고와는 달리, 강성이 강한 차량 전면부가 강성이 약한 차량 측면부를 높은 속도로 충돌함으로써 측면부가 차량 내부 공간까지 침투하게 되어 빠른 속도로 탑승객에게 직접적으로 피해를 주기 때문이라 판단된다. 이러한 측면직각 충돌사고의 심각성을 인식하여 본 연구에서는 사고발생 현황과 원인을 인적요인, 차량요인 및 환경요인 등으로 구분하여 사고특성을 체계적으로 분석하고자 한다. 또한 측면직각 충돌사고의 심각도의 관계규명을 위해 교통량, 도로기하구조 및 신호운영자료 등의 도로환경요인을 고려한 사고모형개발에 연구의 목적이 있으며, 연구결과는 측면직각 충돌사고의 감소를 위한 실질적 대책마련에 도움이 될 것으로 판단된다.

첫째, 측면직각 충돌사고의 특성분석을 위해 본 연구에서는 교통사고자료를 이용, 사고당시 조사된 인적요인, 차량요인 및 환경요인을 본 연구의 목적에 맞게 정리한다. 둘째, 사고당시의 상황분석을 위해 사고충돌도를 이용, 사고위치 및 사고유형 등을 파악한다. 셋째, 여러 교통사고 유발요인들 중 교차로 교

통사고에 영향을 미칠 것으로 판단되는 신호운영 및 도로환경요인 등에 대해서는 도로교통공단의 「2004년도, 2005년도 청주시 전자교통신호체계 운영 및 교통량자료」를 이용하고, 현장조사를 통해 미진한 자료를 보완한다. 아울러 사고요인 분석과 모형개발을 위해 LIMDEP 8.0을 이용하며, 연구의 수행과정은 그림 1과 같다.

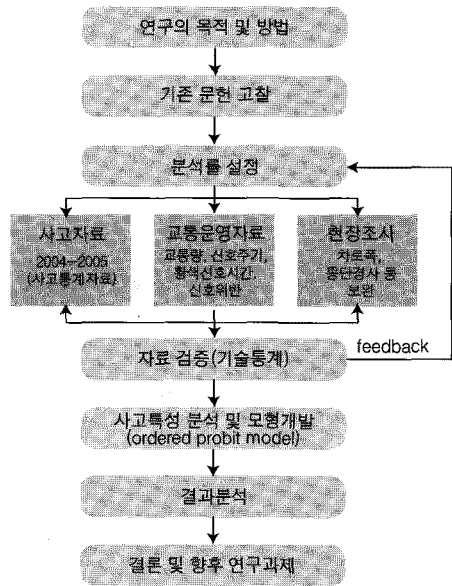


그림 1. 연구수행절차

2. 기존문헌 고찰

교통사고는 인적요인, 차량요인 및 도로환경요인 중 하나 또는 그 이상의 요인들의 복합적인 관계에 의해서 발생하기 때문에 국내외적으로 사고발생 지점의 안전성 향상과 사고예측을 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구들은 대규모의 사고자료를 이용하여 통계적으로 분석하는 사고자료기반

1) 2년간 총 3,331건의 교통사고 중 3지 신호교차로 62개소에서 540건 그리고 5지 신호교차로 4개소에서 169건이 발생하였다.

2) 우리나라에서는 교통사고로 인한 피해정도를 인피사고(사망사고+부상사고)와 물피사고로 구분하고 있다. 이에 본 연구에서는 탑승자가 직접적으로 피해를 입은 인피사고를 심각사고로, 단순히 차량이 파손된 사고를 물피사고로 분류한다.



연구와 사고자료수집에 따른 시간적인 문제를 해결하기 위해 빠른 시간내에 사고잠재력을 측정할 수 있는 비사고기반 연구로 구분할 수 있다.

2.1 사고자료기반 연구

교통사고 발생과 관련되는 요인들을 연구하는 방법 중에는 대규모의 사고자료를 이용, 통계적으로 분석하는 방법이 있다. 통계분석 접근방법은 교통안전 정책의 효율적 추진을 위한 교통사고 예측모형을 들 수 있다. 과거에 발생한 교통사고를 대상으로 사고건수, 사고율 및 사고심각도를 종속변수로 하고, 기하구조, 교통조건, 운영조건 등의 도로환경요인들의 함수식을 개발하는 것이다. 측면직각 충돌사고 자료와 도로환경요인, 교통량 및 신호운영 등의 상관성을 토대로 사고의 특성분석과 예측모형을 개발한 연구들을 정리하면 다음과 같다.

2.1.1 도로환경요인과의 관계

Poch·Mannering(1996)은 워싱턴주의 4지 신호 교차로 63개소에서 발생한 1,396건의 교통사고를 대상으로 측면직각 충돌사고의 영향요인은 교차로 기하구조, 도로환경요인, 신호운영방법 및 운전자의 행동이라고 하였다. Yin Hai Wang·Nancy L. Nihan(2003)은 도쿄의 4지 신호교차로 80개소에서 수집한 교통량, 교통통제, 기하구조, 접근로의 교차각 및 토지이용 등의 자료를 이용하여 직각충돌 사고의 위험도 평가모형을 개발하였다. Xuedong Yan(2005)은 교차로의 선형 및 접근도로의 중단경사가 다른 6개 신호교차로를 대상으로 비보호좌회전과 관련된 측면직각 충돌사고를 분석하여, 측면직각 충돌사고는 운전자의 시거장애, 의사결정 수락간격 부족, 접근차로수, 야간조명시설 및 날씨와 제한속도 등에 기인한다고 하였다. Xuesong Wang(2007)은 센트럴플로리다의 4지 신호교차로 197개소를 대상으로 한 연구에서 측면직각 충돌사고는 교통량, 직진차로수 및 심야시간대 점멸운영 등에 의해서 발생한

다고 하였으며, 모형개발을 통해 좌회전차로 offset, 교차로각, 제한속도, 황색 및 전적색신호시간이 측면 직각 충돌사고와 밀접한 상관관계가 있음을 밝혀냈다. 박정순(2008)은 청주시 4지 신호교차로 181개소에서 2년간 발생한 2,412건의 교통사고 자료를 이용하여 후미추돌사고, 측면직각 충돌사고 및 횡단보행자 등의 사고유형별 특성을 분석하였으며, 도로환경요인과 교통사고자료를 이용하여 다양한 사고 예측모형을 개발하였다.

2.1.2 교통량과의 관계

E. Hauer(1988)는 캐나다 토론토시의 145개 신호교차로를 대상으로 오전, 오후 침두시간 및 비침두시간의 각 접근 교통류 패턴을 이용하여 15개의 사고모형을 개발하였다. 남궁헌(2001)은 광주광역시의 4지 신호교차로 73개소의 교통량과 사고자료를 이용하여 14개의 사고유형별 예측모형을 개발하였다. 김정수(2001)는 대구광역시의 88개 4지 신호교차로를 대상으로 교통사고 요인을 인적요인, 차량요인 및 도로환경요인으로 구분하여 각각의 요인이 교차로 교통사고에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 주도로와 부도로의 각 방향별 교통량을 이용하여 후미추돌, 정면충돌, 측면직각충돌 및 측면접촉사고 모형을 개발하였다.

2.1.3 신호운영과의 관계

Benioff(1980)는 신호교차로의 전적색시간 도입은 측면직각 충돌사고 위험성을 40% 정도 감소시킬 수 있다고 하였으며, Hulscher(1984)은 교차로의 획일적인 황색신호시간 3초 적용은 바람직하지 않으므로 접근속도와 교통조건(교차로면적, 길이) 등을 고려해야 한다고 하였다. Van der Horst·Wilminck(1986)이 제시한 황색신호시간 동안의 운전자 의사결정 영향요인들은 운전자의 심리상태, 주변상황의 예측가능성, 교차로 통과 결정에 따른 측면직각 충돌사고, 신호위반 및 교차로통과에 대한 예측, 정지에 따른 결과예측, 정지선 거리와 속도 감속에 대한 예측, 황색 및 전



적색시간의 길이 및 선행차량의 정지와 주변 운전자의 영향 등에 기인한다고 하였다. Retting(2002)은 신호교차로에서 발생할 수 있는 모든 종류의 사고를 감소시키기 위해서는 황색 및 전적색신호시간의 미시적 조정이 필요하다고 주장하였다. 박주원(2002)은 광주광역시 4지 신호교차로 45개소를 대상으로 한 연구에서 딜레마 존의 길이가 길어짐에 따라 측면직각 충돌사고도 다소 증가하고 있음을 입증하였으나, 기존 연구결과와는 달리 둘 사이의 상관관계는 매우 미약하다고 하였다. James Bonneson(2004)은 교차로에서 신호위반에 의해 야기된 측면직각 충돌사고를 감소시키기 위해서는 전적색시간의 도입이 필요하다고 주장하였다.

2.2 비사고기반 연구

일반적으로 교차로의 안전성평가를 위해서는 사고 자료를 이용하나, 자료수집에 많은 시간이 소요되고, 기록상의 오차와 자료의 누락 등에 의한 신뢰성과 정확성의 결여로 인하여 교차로의 안전성평가에 많은 어려움이 있다고 할 수 있다.

따라서 보다 신속하고 정확하게 교차로의 위험도를 예측할 수 있는 기법인 비사고기반 연구들이 수행되었다. Ha, Tae-Jun(1994)은 신호교차로의 안전수준과 위험도를 예측하기 위해 상충기회모형을 이용하여 좌회전충돌 및 후미추돌사고 예측모형을 개발하였다. 김현상(1996)은 사고자료와 교통상충자료의 순위상관분석기법을 이용하여 추돌상충과 측면충돌상충을 분석하였다. 하태준외 3인(2002)은 교차로의 상충유형을 선행차량과 후행차량의 진행방향별 상충특성을 중심으로 후미추돌, 측면충돌, 직각충돌 및 대향좌회전 충돌유형의 4가지로 분류하여 상충측정기준을 정립하였으며, 각 사고유형별 위험도 예측모형을 개발하였다. P. Songchitruksa·A. Tarko(2006)는 측면직각 충돌사고의 위험성을 평가하기 위한 방법으로 PET(Post-encroachment time)를 이용 4지 신호

교차로의 측면직각 충돌사고 예측기법을 개발하였다. 김용철외 3인(2007)은 인천광역시의 4지 신호교차로를 대상으로 신호위반시 발생할 수 있는 대향좌회전 상충의 유형에 대해 상충심각도를 고려한 새로운 상충판단기준을 정립하였다.

2.3 기존연구와의 차별성

선행연구를 살펴본 결과, 신호교차로의 대표적인 사고유형이라 할 수 있는 측면직각 충돌사고와 후미추돌사고는 다른 유형에 비해 많은 연구가 수행되었다. 대부분의 국내외 연구들은 신호교차로의 안전성을 평가하기 위한 예측모형 개발에 주된 관심을 보이고 있다. 국외 연구에서는 교차로의 형태, 기하구조, 황색신호시간, 신호위반, 교차각 및 교통량 등의 다양한 요인들을 이용한 모형을 개발하였다. 그러나 국내에서는 사고자료 취득의 한계로 인하여 일부 자료가 누락된 교통사고 잦은 교차로를 대상으로 교통량과 같은 특정변수만을 이용한 사고자료기반 연구와 교통상충기법과 같은 비사고기반 연구가 진행되었다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 한계극복을 위하여 2년간의 사고자료와 사고충돌도를 활용한 특성분석을 실시하였다. 그리고 모형개발에 있어서 125개의 사고발생교차로(524건)와 미사고교차로 56개소를 통합·분석함으로써 모형의 신뢰도를 향상시켰다.

3. 분석틀의 설정

3.1 일반적 유형 및 특성

교차로내부는 서로 다른 유입부에서 접근하는 차량들이 유출부로 분산하려하기 때문에 회전 및 교행에 따라 측면직각충돌, 정면충돌, 후미추돌 및 회전접촉사고 등 모든 유형의 사고가 발생하는 다양한 사고 위험인자들을 내포한 공간이다. 일반적인

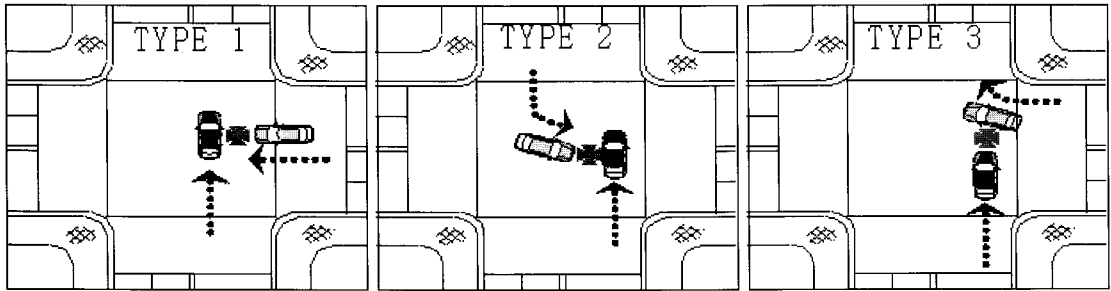


그림 1. 측면직각 충돌사고 유형 분류

교차로내 사고유형이라 할 수 있는 측면직각 충돌 사고는 서로 다른 방향의 접근 차량들이 상대 차량의 측면부를 충격하여 발생하는 사고로써 차량진행 방향에 따라 크게 그림 1과 같이 세 가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫째는 직진차량간의 사고로써, 시거가 좋지 않은 교차로에서 교차로 진입차량이 없는 것으로 판단하고 신호를 무시하고 진입함으로 발생된다. 둘째는 직진차량과 좌회전차량간의 사고로서, 신호위반에 의해 발생하기도 하며, 좌회전하려는 우측차로의 차량과 직진하려고 하는 좌측차로의 차량과의 사고로 구분할 수 있다. 셋째는 직진과 우회전차량간의 사고로서, 상대차량의 존재를 인지하고 서로 정지하거나 양보해 줄 것이라는 예측에 의해 발생하는 경우와 우회전차량과 직진차량 사이에 시거를 가로막는 제3의 차량에 의해 발생하는 경우가 있다.³⁾

이와 같은 측면직각 충돌사고는 정면충돌 및 후미추돌사고와는 다른 특성을 가지고 있다. 첫째, 다른 차량과의 충돌시 충격 에너지를 흡수할 수 있는 공간이 거의 없기 때문에 탑승객이 직접적으로 피해를 입는 정도가 매우 심하다. 둘째, 강성이 강한 차량의 전면부가 상대적으로 강성이 약한 측면부를 충돌함으로써 차량의 내부공간까지 많이 침투하게 된다.

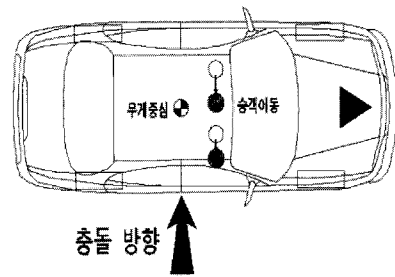


그림 2. 측면직각 충돌사고에 따른 승객이동

셋째, 측면 충돌시 탑승객의 신체와 차량의 변형된 부분의 직접적인 접촉이 정면충돌 및 후미추돌에 비해 상대적으로 빠른 속도로 진행된다.⁴⁾ 이 경우 그림 2와 같이 피해차량의 탑승객 중 조수석에 앉은 사람은 운전자보다 더 심각한 부상을 입게 된다. 이는 차량의 속도와 같은 만큼의 속도가 되기 위해 필요한 거리는 왼쪽에 앉은 사람에 비해 상당히 짧고, 충돌 사고로 인한 쏠림으로 인해 차량의 충돌영향을 직접 받기 때문이다.⁵⁾

3.2 측면직각 충돌사고 특성분석

신호교차로에서 발생하는 교통사고는 시·공간적으로 상이한 교통량과 신호운영 및 기하구조와 같은 사고 유발요인의 다양성, 불확실성 및 사고발생 지점이

3) 김준택의 8인(2000), "자동차사고감정공학, 골든벨", pp. 181-182.

4) 고정환(2000), "실험계회법을 이용한 전기자동차의 유럽기준 측면충돌 특성 연구", 석사학위논문, 서울대학교 대학원 pp. 3-4.

5) 차일남·장동근(2002), "교통사고재현공학, 교통정보연구소", pp. 351-352.



갖는 고유성 등에 의해 많은 차이가 발생한다. 따라서 보다 효과적인 사고특성분석을 위해 교통사고관리자료에 기록된 인적요인(법규위반, 차량진행상태), 차량요인(사고차종, 차량규모) 및 환경요인(시간대, 발생위치) 등을 활용하여 분석하는 것이 요구된다. 측면직각 충돌사고를 분석·정리하면 표 1과 같다. 사고발생 현황은 2004년 284건에서 2005년 240건으로 44건 감소하였다. 총 524건의 사고 중 탑승자가 직접 피해를 입은 심각사고는 전체의 79.2%로서 후미추돌사고(77.4%)보다 높은 것으로 나타났다. 이

는 후미추돌사고와는 달리 다른 차량과의 충돌시 충격에너지 흡수할 수 있는 공간이 거의 없기 때문에 탑승객이 직접 피해를 입게 되어 다른 유형에 비해 심각도가 높은 것으로 판단된다. 법규위반사항으로는 신호위반이 377건(71.9%)으로 가장 많으며, 구체적이고 직접적인 법규위반항목이라기보다는 포괄적인 개념을 의미하는 안전운전불이행(안·불)이 76건(14.7%)이며, 음주운전사고가 37건(7.1%)으로 나타났다. 사고차량의 진행방향에 따라 분류하면, 직진차량 사고 298건(56.9%), 좌회전차량 사고 172건(32.8%), 우회전차량 사고 23건(4.4%) 및 유턴차량 사고 15건(2.9%) 등의 순서로 분석된다.

표 1. 측면직각 충돌사고 분석

구분	계	심각사고		물피 사고	비율 (%)	
		사망	부상			
총 교통사고건수	2,412	26	1,809	307		
측면직각 충돌사고	합	524	4	411	109	100
	2004년도	284	1	214	69	54.2
	2005년도	240	3	197	40	45.8
법 규 위 반	신호위반	377	3	298	76	71.9
	안전거리	2	-	2	-	0.4
	음주	37	-	28	9	7.1
	안·불	76	1	57	18	14.5
	기타	32	-	26	6	6.1
차 량 진 행 방 향	직진	298	3	237	58	56.9
	좌회전	172	1	136	35	32.8
	우회전	23	-	15	8	4.4
	유턴	15	-	12	3	2.9
	기타	16	-	11	5	3.0
사 고 차 종	승용차	372	2	289	81	71.0
	택시	38	-	34	4	7.2
	버스	11	1	7	3	2.1
	승합차	25	-	20	5	4.8
	트럭	70	1	55	14	13.4
	기타	8	-	6	2	1.5
시 간 대	주간	193	2	154	37	36.8
	야간	331	2	257	72	63.2
위 치	유입부	13	-	4	9	2.5
	유출부	30	-	26	4	5.7
	횡단보도	13	-	8	5	2.5
	교차로내	468	4	373	91	89.3

차종별 사고발생현황을 살펴보면, 승용차 사고가 372건(71.0%)으로 가장 많고 다음으로는 화물차 사고 70건(13.4%), 택시사고 38건(7.2%), 승합차 사고 25건(4.8%)의 순으로 청주시의 차종별 구성비⁶⁾와 유사하게 사고가 발생한 것으로 나타났다. 주야간별 사고 현황 비교에서는 전체 교통사고 524건 중 주간사고는 193건(36.8%)인 반면에, 야간사고는 331건(63.2%)으로 야간시간대 사고발생확률이 높은 것으로 나타났다.⁷⁾ 사고 발생위치에 따라 사고특성과 유형이 상이하며, 특정 위치에서는 유사한 사고가 자주 발생하기 때문에 사고위치를 정확히 파악하는 것이 매우 중요하다.

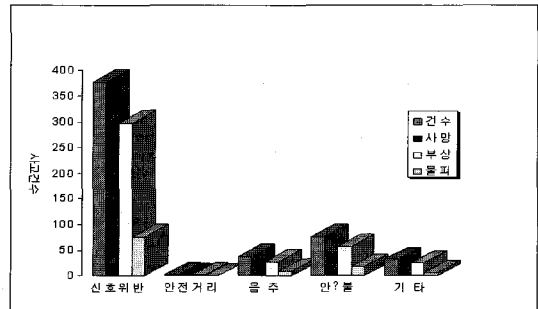


그림 3. 측면직각 충돌사고(법규위반)

- 6) 청주시 2004년도 차량등록대수는 203,725대이며, 이 중 승용차는 145,807대(71.6%), 택시 3,749대(1.8%), 버스 16,745대(8.2%), 트럭 36,016대(17.7%) 및 기타 1,408대(0.7%)로 구성된다.
- 7) 교통사고의 환경요인에 있어서 주간과 야간의 차이는 일반적으로 두 가지 측면에서 설명이 가능하다. 하나는 교차로 주변의 밝기이며, 또 다른 하나는 교차로의 교통량 차이에 따른 법규위반에서 그 원인을 찾을 수 있다. 즉 야간에는 운전자의 시야가 좁아지게 되며, 교통량이 감소하여 속도는 전반적으로 주간에 비하여 높아지게 되고, 신호위반 차량이 증가하기 때문이라 판단된다.

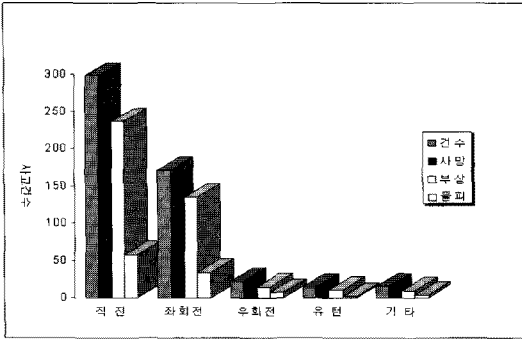


그림 4. 측면직각 충돌사고(차량진행방향)

일반적으로 후미추돌사고와 측면접촉사고는 교차로 유입부에서 선행차량과의 안전거리 미확보 및 시거불량, 차로변경 등에 의해서 많이 발생하는 특성을 가지고 있다. 측면직각 충돌사고와 동일방향 회전에 의한 접촉사고는 교차로내에서 주로 발생하는 사고로서 운전자가 고의로 신호위반을 하는 경우와 신호를 보지 못하거나 순간적 운전조작 실수에 의해 사고를 야기하는 경우에 발생하는 특성을 가지고 있다. 그리고 횡단보행자 사고는 어느 한가지의 요인에 의해서 일어나는 것이 아니라, 보행자, 운전자 및 도로환경요인들의 상호작용에 의해 발생하고 있으며, 횡단보도 주변에서 무단횡단에 의해 발생하는 특성을 가지고 있다.⁸⁾

125개 지점에서 조사된 측면직각 충돌사고는 교차로내로 468건(89.3%)이 발생하였으며, 유출부에서 30건(5.7%) 그리고 유입부와 횡단보도에서 각각 13건이 일어났다. 또한 교차로내 이외의 위치에서 발생한 사고는 운전자의 무리한 운전조작 및 유턴차량과의 충돌에 기인하는 것으로 분석된다.

4. 모형개발 및 결과분석

4.1 모형개발

교통사고는 심각도에 따라 개별사고를 미사고, 물피사고, 부상사고(중상 및 경상 포함), 사망사고로 분류할 수 있는데, 이처럼 어떤 특정 기준에 의해 종속변수가 순위 또는 순서로 나타날 때 사용되는 대표적인 분석방법은 순서형 프로빗 모형(ordered probit model)이다. 종속변수가 이분형 구조($y=0, 1$)를 갖고 있을 때 사용되는 프로빗 및 로짓 모형과는 달리 순서형 프로빗 모형은 종속변수를 그 순위에 따라 여러 그룹으로 분류할 수 있어서 각 그룹의 특징을 보다 엄밀하게 분석할 수 있는 장점이 있고, 이분형 선택(binary choice)모형을 일반화한 것이다. 따라서 본 연구에서는 청주시 4지 신호교차로에서 발생한 측면직각 충돌사고의 심각도를 분석하기 위하여 순서형 프로빗 모형을 적용하였으며, 자료의 분석에는 LIMDEP 8.0을 사용하였다. 일반적인 순서형 프로빗 모형은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$y = \beta'x_i + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N(0, 1) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} y_i &= 0, & \text{if } y \leq 0 & \quad (\text{미사고}) \\ y_i &= 1, & \text{if } 0 < y \leq \mu_1 & \quad (\text{물피사고}) \\ y_i &= 2, & \text{if } \mu_1 < y \leq \mu_2 & \quad (\text{부상사고}) \\ y_i &= 3, & \text{if } \mu_2 < y \leq \mu_3 & \quad (\text{사망사고}) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, y 는 잠재효용으로 관찰 가능한 효용($\beta'x_i$)과 관찰되지 않는 효용(ε_i)으로 나타낼 수 있다. μ 는 각 설명변수에 추정계수 β 와 함께 추정하는 한계값(Threshold)이며, 이를 선택대안에 대한 선택확률을 계산하는데 이용할 수 있다. 각 사고자료에 대한 오차항(ε_i)이 표준정규분포로 가정한 경우의 확률분포를 순서형 프로빗 모형이라고 하며, $\Phi(\cdot)$ 를 표준정규분포 누적함수라고 가정할 때 대안별 예측확률은 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.⁹⁾

8) 박정순(2008), "청주시 4지 신호교차로 특성을 고려한 사고모형개발", 박사학위논문, 충북대학교 대학원, pp. 39-68.

9) 강경우, 백병성(1998) "순서형 프로빗 모형을 이용한 속도선택형태에 관한 연구", 대한교통학회지, 제18권 제3호, pp. 93-100.



$$\begin{aligned}
 \Pr ob(y = 0) &= \Phi(-\beta'xi) \\
 \Pr ob(y = 1) &= \Phi(\mu_1 - \beta'xi) - \Phi(-\beta'xi) \\
 \Pr ob(y = 2) &= \Phi(\mu_2 - \beta'xi) - \Phi(\mu_1 - \beta'xi) \quad (3) \\
 &\vdots \\
 \Pr ob(y = j) &= 1 - \Phi(\mu_{j-1} - \beta'xi)
 \end{aligned}$$

한계효과(marginal effect)는 특정 설명변수 한 단위의 변화에 따른 예측확률의 변화를 의미한다. 즉, 도로환경요인들 중 특정 설명변수가 변화하게 되면 그 변수를 포함하고 있는 사고심각도의 확률값도 당연히 변화하게 된다. 확률에 대한 한계효과는 특정 설명변수에 대하여 편미분을 적용함으로써 쉽게 얻을 수 있으며, 한계효과의 방정식은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \Pr ob(y = 0)(x)}{\partial x} &= -\Phi(\beta'x)\beta, \\
 \frac{\partial \Pr ob(y = 1)(x)}{\partial x} &= [\Phi(-\beta'x) - \Phi(\mu - \beta'x)]\beta, \\
 \frac{\partial \Pr ob(y = 2)(x)}{\partial x} &= [-\Phi(\mu - \beta'x)]\beta \quad (4)
 \end{aligned}$$

예를 들어, 더미변수인 경우($x=0$ 또는 1), 설명변수가 측면직각 충돌사고 심각도에 미치는 영향정도를 나타내는 한계효과는 다른 설명변수를 고정한 상태에서 설명변수가 1인 경우의 선택확률과 0인 경우의 선택확률의 차이 (=Prob(1)-Prob(0))를 의미한다. 따라서 각 설명변수에 대한 한계효과의 합은 0이 된다.

모형의 설명력과 적합성 검증은 우도비(ρ^2)값을 그리고 변수의 적합성은 t-ratio를 이용하였다. 우도비는 다른 모델과의 비교를 통해 통계학적인 유의성을 판단할 수 있지만, y_i 에서의 변량을 설명하는 모

형의 전반적인 능력에 대한 직접적인 지표가 되지 않으며, 우도비가 높을수록 추정이 잘된 것으로 해석할 수 있으며,¹⁰⁾ 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높다고 평가된다.¹¹⁾

종속변수는 수학적으로 독립변수에 의해 변화되는 값이라는 의미를 가지며, 모형개발에 있어서 종속변수의 특성에 따라 독립변수의 값이 달라진다. 선행연구에서는 교통사고건수를 기초로 한 교차로 안전성 평가에 관한 연구들이 대부분이며, 사고심각도에 대한 연구는 미진하다.

따라서, 본 연구에서는 4지 신호교차로의 측면직각 충돌사고 심각도를 알아보고자 표 2와 같이 사고내용을 미사고, 물피사고, 부상사고(중상 및 경상)와 사망사고를 각각 0, 1, 2, 3으로 표현하여 종속변수로 선정하였다.

표 2. 선정된 종속변수¹²⁾

종속변수	기호	구분			정의
		사고내용	발생건수	표시방법	
사고내용	Y	미사고	56	0	교차로에서 발생한 측면직각 충돌사고의 사고내용
		물피사고	109	1	
		부상사고	411	2	
		사망사고	4	3	

교차로 교통사고는 인적요인, 차량요인 및 환경요인 이외에도 실제 교통현장에서 펼쳐지는 모든 도로 조건, 교통조건 및 교차로 운영조건 등이 직간접적으로 영향을 미치고 있다. 이러한 여러 가지 요인들 중 교통사고 변화추이에 대한 예측과 실질적인 개선대안의 수립을 위해 사용하는 대표적인 방법이 사고예

10) 주미영(2000), "프로빗과 순차적 프로빗 분석에 대한 이해와 적용", 정부학연구 제6권 제1호 p.37

11) Chandler S. Duncan, Asad J.Khattak and Forrest M.Council(1998), "Applying the ordered probit model to injury severity in truck-passenger car rear-end collisions", TRR 1635, p 66.

12) 건설교통부(2002.10), "사고 잦은 곳 개선사업 업무편람 작성연구", p.133. 사망사고는 교통사고가 주원인이 되어 사고 발생시로부터 30일 이내에 사망자가 발생한 사고를 말한다. 또한 부상사고는 교통사고가 주원인이 되어 3주 이상의 치료를 요하는 부상자가 발생한 「중상사고」와 5일 이상 3주미만의 치료를 요하는 부상자가 발생한 「경상사고」, 그리고 5일 미만의 치료를 요하는 부상자가 발생한 「부상사고」를 통틀어 말하고 있으며, 물피사고는 사고당사자의 손상은 없지만 물적인 피해를 수반한 사고를 말한다.



측모형의 개발이다. 사고예측모형은 도로에서 발생하는 교통사고자료를 통계적으로 모형화한 것으로 종속변수는 과거의 사고자료가 되고 설명변수는 주로 사고가 일어난 장소의 도로기하구조 조건, 교통조건 및 운영조건 등의 도로 속성자료를 이용하므로¹³⁾ 본 연구에서는 측면직각 충돌사고 심각도에 영향을 미칠 것으로 판단되는 변수를 문헌조사와 현장조사 자료를 바탕으로 총 16개의 변수를 선정하였으며, 그 내용을 정리하면 표 3과 같다.

표 3. 선정된 독립변수

번호	독립변수	기호	정 의
1	주도로교통량	X_1	첨두시간 교통량×일평균보정계수 (13.9) (대/일)*
2	부도로교통량	X_2	첨두시간 교통량×일평균보정계수 (13.9) (대/일)
3	주도로차로수	X_3	주도로의 편도 차로수 (차로)
4	부도로차로수	X_4	부도로의 편도 차로수 (차로)
5	주도로 좌회전차로수	X_5	주도로의 좌회전차로수 (차로)
6	부도로 좌회전차로수	X_6	부도로의 좌회전차로수 (차로)
7	주도로 좌회전신호유무	X_7	주도로 좌회전신호유무 (없다:0, 있다:1)
8	부도로 좌회전신호유무	X_8	부도로 좌회전신호유무 (없다:0, 있다:1)
9	주도로 황색신호시간	X_9	주도로 평균 황색신호시간 (sec)
10	부도로 황색신호시간	X_{10}	부도로 평균 황색신호시간 (sec)
11	교차각	X_{11}	주도로와 부도로가 이루는 교차각 (5단계로 구분: 80~90=1, 50도 이하=5)
12	주도로 유통구역 유무	X_{12}	주도로 유통구역의 유무 (없다:0, 있다:1)
13	현시수	X_{13}	교차로의 현시수
14	주도로 제한속도	X_{14}	주도로 제한속도(km/h)
15	부도로 제한속도	X_{15}	부도로 제한속도(km/h)
16	최대 중단경사	X_{16}	중단경사 중 최대중단경사 절대값(%)

주 * 도로교통공단의 『청주시 전자교통신호운영에 따른 교통량조사 자료』와 이두희(2005)의 연구에서 활용한 일평균 보정계수 (=13.9)를 적용하여 산출.

4.2 결과분석

전술한 방법으로 개발된 사고모형은 표 4와 같고, 독립변수들이 사고심각도에 미치는 영향을 나타내는 한계효과(marginal effect)는 표 5와 같다. 모형의 적합도를 나타내는 우도비(ρ^2)값은 0.094로 하오근(2005)이 제시하는 값 0.167보다 다소 낮은 값을 나타내고 있으며, 강경우·백병성(1998)와 Chandler(1998) 등이 각각 제시하고 있는 0.065, 0.075보다는 높은 값을 나타내며, 변수의 적합성을 나타내는 t-ratio 값은 모두 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

표 4. 순서형 프로빗 모형 결과

기호	변 수	Coeff.	t-ratio
-	Constant	-0.8771	-1.822
X_2	부도로교통량	0.0002	2.229
X_4	부도로차로수	-0.1276	-1.992
X_5	주도로 좌회전차로	0.2643	4.018
X_7	주도로 좌회전신호 유무	-0.4525	-2.156
X_9	주도로 황색신호시간	0.2046	2.641
X_{11}	교차각	-0.1641	-3.314
X_{14}	주도로 제한속도	0.0175	2.810
X_{15}	부도로 제한속도	0.0189	2.317
-	mu(1)	0.8550	11.650
-	mu(2)	4.1859	19.648
통 계 값	Number of observations		580
	Log likelihood function		-429.7996
	Restricted log likelihood		-474.5927
	Chi squared		89.586
	Degrees of freedom		8
	ρ^2		0.094

모형개발 결과, 사고심각도에 영향을 미치는 변수로는 부도로 교통량, 부도로 차로수, 주도로 좌회전차로, 주도로 좌회전신호유무, 주도로 황색신호시간, 교차각, 주도로·부도로 제한속도가 선정되었다.

각각의 변수를 살펴보면, 부도로 교통량은 정(+)

13) 한상진의 2인(2008), "전통적 사고예측모형의 한계 및 개선방안", 한국도로학회논문집, 제10권 제1호, pp. 19~29.



의 영향을 미치고 있으며, 이는 부도로 교통량이 많을수록 사고의 심각도가 커짐을 나타낸다. 또한 한계효과 분석결과, 부상사고 범위가 0.001로 부도로 교통량이 증가함에 따라 부상사고 발생 가능성이 높음을 알 수 있다.

부도로 차로수의 경우는 부(-)의 영향을 주고 있으며, 이는 부도로 차로수가 증가하면 사고심각도가 감소하는 것을 의미하며 한계효과 분석결과, 물피사고의 범위가 0.025로 가장 높게 나타났다. 이는 주도로와 부도로의 차로수가 도로위계에 부합되지 않은 경우 사고심각도가 높은 것을 의미하므로 도로설계시 도로의 기능 및 위계에 맞는 교차로형성이 매우 중요함을 알 수 있다.

주도로 좌회전차로는 정(+)의 방향을 보여주고 있어, 좌회전차로가 많을수록 사고심각도가 증가함을 의미한다. 한계효과 분석결과, 부상사고의 범위가 0.085로 가장 높게 나타났고, 주도로 좌회전차로가 많을수록 부상사고의 발생가능성이 높은 것으로 분석되었다. 주도로 좌회전신호는 부(-)의 방향을 나타내는 것으로 분석되었으며, 이는 좌회전신호가 있는 경우는 사고의 심각도가 감소함을 의미한다.

주도로 황색신호시간은 정(+)의 효과를 나타내며, 적정 황색신호시간에 비해 긴 경우 사고심각도가 증가하는 것으로 나타남을 의미한다. 한계효과 분석 결과는 부상사고의 범위가 0.066으로 가장 높은 것으로 접근속도와 교차로 규모를 고려한 적정 황색신호시간이 사고심각도를 감소할 수 있음을 나타낸다. James Bonneson(2002)¹⁴⁾은 신호위반사고와 황색신호시간의 관계분석 연구에서, 신호위반사고는 주로 황색신호시간대에 발생하는 것으로 황색신호시간의 연장이 신호위반사고를 감소시키지만, 4.5초를 넘어서게 되면 신호위반사고가 다시 증가추세를 보인다고 하였다.

주도로와 부도로가 이루는 교차각을 5단계로 세분

하여 분석한 결과, 사고심각도와 부(-)의 관계를 보임으로써, 예각교차로일수록 사고심각도가 높아지며, 정형적인 교차로일수록 사고심각도가 낮아짐을 의미한다. 따라서 교차로의 설계 및 개선사업시 정형적인 교차로의 안전성을 재인식할 수 있다.

주도로·부도로 제한속도는 사고심각도에 모두 정(+)의 영향을 주고 있으며, 이는 제한속도가 높을수록 사고심각도가 높아짐을 의미한다.

표 5. 한계효과 분석

변 수 명	한계효과			
	Y=0 (미사고)	Y=1 (물피사고)	Y=2 (부상사고)	Y=3 (사망사고)
부도로교통량	0.000	0.000	0.001	0.000
부도로차로수	0.018	0.025	-0.041	-0.001
주도로 좌회전차로	-0.036	-0.051	0.085	0.003
주도로 좌회전신호 유무	0.047	0.084	-0.124	-0.008
주도로 황색신호시간	-0.028	-0.040	0.066	0.002
교차각	0.023	0.032	-0.053	-0.001
주도로 제한속도	-0.002	-0.003	0.006	0.000
부도로 제한속도	-0.003	-0.004	0.006	0.000

한계효과 분석결과, 부상사고의 범위가 모두 0.006으로 가장 높게 나타났으며, 제한속도의 증가는 부상사고의 발생가능성을 높이는 것으로 분석되었다. 측면직각 충돌사고의 심각도 감소를 위해서는 도로의 위계 및 기능을 고려한 정형적 교차로의 개선정비가 요구되며, 교차로 및 주행차량의 특성을 고려한 좌회전운영 및 적정 황색신호시간이 필요한 것으로 사료된다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1 결론

14) James Bonneson, Karl Zimmerman(2002), "Engineering countermeasures to reduce red-light-running", FHWA/TX-03/4027-2.



본 연구는 4지 신호교차로에서 발생한 측면직각 충돌사고 자료를 바탕으로 시간대별, 위치별, 차종별 및 사고원인별 등으로 구분하여 사고특성을 알아보았으며, 순서형 프로빗 모형을 이용한 모형개발과 변수간의 한계분석을 실시하였다.

특성분석 결과, 주간(07:00~18:00)보다 야간(18:00~07:00)에 측면직각 충돌사고가 많이 발생하였다. 그리고 사고원인으로는 신호위반이 71.9%를 차지하고, 음주운전(7.1%) 및 안전운전불이행(14.5%) 등으로 나타났다. 그리고 차량진행 형태로는 직진중 발생한 사고가 56.9%이며 좌회전 및 우회전 중에 발생한 사고는 각각 32.8% 및 4.4%이며, 교차로이외의 지점에서 발생한 유틸 및 중앙선 침범과 관련한 사고도 각 5.9%나 되는 것으로 나타났다.

사고모형 개발의 주요결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 모형의 적합도를 설명하는 우도비(ρ^2)값은 0.094로 하오근(2005)이 제시하는 값 0.167보다 다소 낮은 값을 나타내고 있으며, 강경우·백병성(1998)와 Chandler(1998) 등이 각각 제시하고 있는 0.065, 0.075보다는 높은 값으로 사고영향 변수를 설명하기에 적합한 것으로 분석되었다. 또한 변수의 적합성을 나타내는 t-ratio 값은 모두 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 둘째, 측면직각 충돌사고 심각도의 영향요인으로는 부도로 교통량, 부도로 차로수, 주도로 좌회전차로, 주도로 좌회전신호유무, 주도로 황색신호시간, 교차각 및 주도로·부도로 제한속도가 선정되었으며, 부도로 교통량, 주도로 좌회전차로, 주도로 황색신호시간 및 주도로·부도로 제한속도는 정(+)의 관계를 보이고, 부도로 차로수, 주도로 좌회전신호유무 및 교차각은 부(-)의 관계를 보이는 것으로 분석되었다. 셋째, 측면직각 충돌사고의 심각도를 낮추기 위해서는 도로환경적 측면에서는 도로위계에 맞는 접근차로수와 정형적인 교차로의 설계 및 개선이 필요하다. 또한 교통운영적인 측면에서는 교차로의 특성에 부합되는 좌회전신호운영, 적정 황색신호시간 및 주·부도로의 제한속도 설

정이 요구되며, 신호위반을 줄일 수 있는 신호위반 단속카메라와 같은 강력한 대응책 마련이 필요할 것으로 판단된다.

5.2 향후 연구과제

본 연구의 목적은 측면직각 충돌사고의 특성분석과 심각도 모형을 개발하는 것으로, 아래의 향후 연구과제들의 보완을 통한 연구가 수행된다면, 신호교차로의 안전성 향상에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

첫째, 측면직각 충돌사고를 직진차량간 사고, 직진과 좌회전차량간 사고 및 직진과 우회전차량간의 세 가지 유형을 분류하였음에도 모형개발에 있어서는 이를 동일시하여 분석하였으므로 향후 연구에서는 보다 많은 사고자료를 이용한 사고모형개발이 요구된다. 둘째, 본 연구는 청주시의 4지 신호교차로를 대상으로 한 것으로 향후 연구에서는 연구의 신뢰도 향상을 위해 타지역 교차로, 다양한 교차형태 및 비신호교차로와의 비교검토가 필요하다. 셋째, 신호교차로의 각 접근로별로 다른 형태의 딜레마 존이 발생함에 따라, 본 연구에서 검토되지 못하였던 딜레마 존과 측면직각 충돌사고와의 관계규명 연구가 진행되길 바란다.

참고문헌

- 강경우, 백병성(1998) "순서형 프로빗모형을 이용한 속도선택형태에 관한 연구", 대한교통학회지, 제18권 제3호, pp. 93-100.
- 고정환(2000) "실험계획법을 이용한 전기 자동차의 유립기 존 측면충돌 특성 연구." 석사학위논문. 서울대학교.
- 김용철외 3인(2007) "신호교차로 대항좌회전 상충심각도 구분에 관한 연구." 한국도로학회논문집, 한국도로학회, 제9권4호, pp. 83-92.
- 김준택 외(2000). 자동차사고 감정공학, 골든-벨.
- 김정수(2001). "대도시 교차로의 교통사고 영향요인 분석에 관한 연구." 박사학위논문. 영남대학교.



- 남궁현(2001). "신호교차로 교통사고 예측모형의 개발 및 적용." 석사학위논문, 전남대학교.
- 도로교통안전관리공단(2005, 2006), "2004년도, 2005년도 청주시 전자교통신호체계 운영자료 및 교통량조사자료."
- 박주원(2002). "신호교차로에서 딜레마존과 직각충돌사고에 관한 연구." 석사학위논문. 전남대학교.
- 박정순, 김태영, 유두선(2007) "도로환경요인과 교통사고의 상관분석 및 사고추정모형 개발", 대한교통학회지, 제25권 제2호, pp. 63-72.
- 박병호, 박정순(2007) "청주시 4지 신호교차로의 후미추돌사고 분석", 대한교통학회지, 제25권 제5호, pp. 57-66.
- 박정순(2008) "청주시 4지 신호교차로 특성을 고려한 사고모형 개발", 박사학위논문, 충북대학교.
- 이두희(2005) "횡단보도 보행자의 동태적 행위관련 안전예측모형 개발", 대한토목학회지, 제25권 제3D호, pp.439-445.
- 장태연(2003) "과산포 검정을 통한 택시교통사고 모형 설정", 대한토목학회지, 23권 제1D호, pp.27-34
- 주미영(2000), "프로빗과 순차적 프로빗 분석에 대한 이해와 적용", 정부학연연구 제6권 제1호, pp.24-48
- 차일남, 장동군(2000) "교통사고재현공학." 교통정보연구소.
- 하태준외 3인(2002), "교차로 상충기준 개발 및 평가에 관한 연구", 대한교통학회지, 제20권 제2호, pp.105-115.
- 하오근(2005) "국도변 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형개발과 심각도 분석", 한양대학교 석사학위논문
- 한상진, 김근정, 오순미(2008) "전통적 사고예측모형의 한계점 및 개선방안", 한국도로학회논문집, 한국도로학회, 제10권 제1호 pp. 19~29.
- Benioff B., F. C. Dock, and C. Carson (1980) "A Study of Clearance Intervals, Flashing Operation and Left-Turn Phasing at Traffic Signals." Vol 2: learance Intervals. Report No. FHWA/RD/78/47, FHWA, Washington, D.C.
- Chandler S. Duncan, Asad J. Khattak and Forrest M. Council(1998), "Applying the ordered probit model to injury severity in truck-passenger car rear-end collisions", Transportation research record 1635, pp.63-71
- Ha, Tae-Jun and Berg, W,D(1995), "Development of safety-based Levels of-Service Criteria for Isolated Signalized Intersections", TRR 1484, pp. 98-104.
- Hulscher, F. R. (1984) "The Problem of Stopping Drivers after the Termination of the Green Signal at Traffic Lights", Traffic Engineering and Control, pp. 110-116.
- James Bonneson and Karl Zimmerman(2002), "Engineering countermeasures to reduce red-light-running", FHWA/TX-03/4027-2.
- James Bonneson and Karl Zimmerman(2004), "Development of Guidelines for Identifying and Treating Locations with a Red-Light-Running Problem," Texas Transportation Institute.
- Justin A. Bansen(2006) "Evaluation of traffic operations at intersections in malfunction flash mode," Georgia Institute of Technology.
- Poch and Mannering(1996) "Negative binomial analysis of intersection accident frequencies," J. Transport, Eng.122, pp.105-113.
- P.Songchitruksa and Andrew P. Tarko(2004) "Using imaging technology to evaluate highway safety", FHWA/IN/JTRP-2004, Grant No. SPR-2663, Purdue University.
- P. Songchitruksa and Andrew P. Tarko(2006) "Estimating Frequency of Right-Angle Collisions at Traffic Signals-A Practical Method", TRB Annual Meeting
- Retting, R. A., J. F. Chapline, and A. F. Williams (2002) "Changes in Crash Risk Following Retiming of Traffic Signal Change Intervals,"



-
- AAP, Vol. 34, No. 2, pp. 215-220.
- Van der Horst, R and A. Willmink(1986),
"Drivers' Decision-Making at Signalized Intersections : A Optimization of the Yellow Timing." Traffic Engineering & Control. Crowthome, England, pp. 615-622.
- Xuedong Yan(2005) "Safety Issue of Red-light Running and Unprotected Left-turn at Signalized Intersections," B.Sc. Xi'an University of Architecture & Technology M.Sc. University of Central Florida.
- Xuesong Wang·Mohamed Abdel-Aty(2007),
"Right-Angle Crash Occurrence at Signalized Intersections," TRR : Journal of TRB No .2019, pp. 156-169.
- Xuesong Wang·Mohamed Abdel-Aty(2008),
"Modeling left-turn crash occurrence at signalized intersections by conflicting patterns," AAP 40, pp. 76-88.
- Yinhai Wang·Nancy L. Nihan(2003) "Quantitative analysis on angle-accident risk at signalized intersections." World Transport Research, Selected Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research.

접 수 일 : 2008. 7. 30
심 사 일 : 2008. 8. 1
심사완료일 : 2008. 11. 17