

지방부 무신호교차로 교통사고의 영향요인 분석 및 통계적 모형 개발

박정순^{1*} · 오주택² · 오상진³ · 김영준¹

¹도로교통공단 교통과학연구원, ²한국교통대학교 도시공학과, ³충북발전연구원

Analysis of Contributory Factors in Causing Crashes at Rural Unsignalized Intersections Based on Statistical Modeling

PARK, Jeong Soon^{1*} · OH, Ju Taek² · OH, Sang Jin³ · KIM, Young Jun¹

¹Traffic Science Institute, Korea Road Traffic Authority, Gangwon 26466, Korea

²Department of Urban Engineering, Korea National University of Transportation, Chungbuk 27469, Korea

³Chungbuk Research Institute, Chungbuk 28517, Korea

*Corresponding author: js1487@koroad.or.kr

Abstract

Traffic accident at intersections takes 44.3% of total number of accidents on entire road network of Korea in 2014. Although several studies addressed contributory factors of accidents at signalized intersection, very few is known about the factors at rural unsignalized intersections. The objective of this study is therefore to investigate specific characteristics of crashes at rural unsignalized intersection and to identify contributory factors in causing crashes by statistical approach using the Ordered Logistic Regression Model. The results show that main type of car crashes at unsignalized intersection during the daytime is T-bone crashes and the number of crashes at 4-legged intersections are 1.53 times more than that at 3-legged intersections. Most collisions are caused by negligence of drivers and violation of Right of Way. Based upon the analysis, accident severity is modeled as classified by two types such as 3-legged intersection and 4-legged intersection. It shows that contributory factors in causing crashes at rural unsignalized intersections are poor sight distance problem, average daily traffic, time of day(night, or day), angle of intersection, ratio of heavy vehicles, number of traffic violations at intersection, and number of lanes on minor street.

Keywords: ordered logistic regression, safety, severity, traffic violation, unsignalized intersection

초록

교차로는 국가 도로체계에 있어서 작은 부분을 차지하고 있지만, 2014년 통계에 따르면 교차로 교통사고는 전체 교통사고의 약 44.3%를 차지하고 있다. 이에 신호교차로에 대한 연구는 지속적으로 수행되고 있는 반면에, 무신호교차로에 대한 연구는 아직도 미진한 상태이다. 따라서 본 연구의 목적은 지방부 무신호교차로 교통사고의 특성분석과 순서형 로지스틱 모형을 이용한 사고 심각도의 영향요인을 파악하는 것이다. 무신호교차로의 교통사고들은 대부분 주간시간에 측면직각 충돌에 발생하였으며 4지 무신호교차로의 교통사고가 3지 무신호교차로에 비해 약 1.53배 많이 발생하였다. 교통사고의 주요 원인들은 운전자의 안전운전불이행 및 교차로 통

J. Korean Soc. Transp.
Vol. 34, No.2, pp. 123-134, April 2016
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.2.123>
pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 19 October 2015

Revised: 27 November 2015

Accepted: 18 February 2016

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

행방법 위반에 의해 발생한 것으로 나타났다. 사고 심각도 모형의 개발 결과, 지방부 무신호교차로의 2가지 형태(3-지, 4-지)와 3개의 모형식이 개발되었다. 주요 영향요인으로 교차로 시거 장애, 일평균교통량, 주야간시간대, 교차각, 중차량 비율, 교통법규위반 및 부도로 차로수 등이 선정되었다.

주요어: 순서형 로지스틱 모형, 안전, 심각도, 교통법규 위반, 무신호교차로

서론

1. 연구의 배경 및 목적

2014년도 교통사고 통계에 따르면 223,552건의 교통사고로 하루 613건, 이로 인한 사망자수는 4,762명으로 하루 13명, 부상자수는 337,497명으로 하루 약 925명 정도가 발생하였다. 이중 교차로 교통사고는 전체의 44.3%나 될 정도로 교통사고의 많은 부분을 차지하고 있으며 사고 위험성 또한 매우 높고 교통사고의 많은 부분을 차지하고 있다.

교차로는 국가 도로체계에 있어서 작은 부분을 차지하고 있지만 도로망을 구성하는 가장 중요한 요소로서 교통류의 효율성과 안전성을 확보하기 위해 전 세계적으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 신호교차로에서의 교통사고 발생률이 높아 이에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있는 반면에, 무신호교차로 관련 연구는 자료수집의 어려움 등으로 교차로 시거 산정, 설계요소 및 적정 교차로 간격 등의 운영적 측면에 관한 연구가 대부분으로 무신호교차로의 교통안전성 향상을 위한 다양한 연구들이 국내외적으로 매우 미진한 실정이다.

외국과는 달리 우리나라 무신호교차로는 신호등이 아닌 양보, 정지 등의 교통제어방법이나 운전자의 자의적 판단과 차량 간의 상호작용에 의한 상황에 따라 통행우선권이 부여되는 등 많은 판단기준과 불분명한 적용기준으로 운전자의 혼란을 초래하고 있다. 또한 신호교차로와는 달리 진입차에 대해 통행우선권을 부여함으로써 운전자들이 우선권 확보를 위해 교차로 접근부에서 과속을 하거나 교차로 주변의 시거불량과 상충기회 증가로 사고발생건수 및 사고 심각도가 높아질 수 있다. 이에 본 연구는 지방부 무신호교차로 교통사고의 특성분석과 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 진단함으로써 무신호교차로의 교통안전성 향상방안 마련과 더불어 관련 연구에 기여하기 위함이다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 지방부 무신호교차로 56개소를 대상으로 현장조사를 통하여 다양한 도로환경요인들을 수집하였다. 그리고 도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS)에서 수집한 최근 3년간(2011-2013)의 사고 자료를 기초로 다음과 같은 절차에 따라 연구를 수행하였다.

첫째, 문헌고찰을 통해 연구의 방향설정과 분석 방법론을 결정하여 기존연구와의 차별성을 제시한다. 둘째, 현황 및 문제점 분석으로, 무신호교차로의 다양한 환경이 교통사고에 미치는 영향을 파악하기 위해 교통사고의 영향요인에 대한 문헌 자료 및 현장조사 자료를 수집 분석한다. 셋째, 교통사고의 제1당사자와 제2당사자와 관련된 인적요인, 사고 차종 및 규모에 관련된 차량요인, 사고 당시의 날씨 및 노면상태와 같은 환경요인, 사고가 발생한 교차로의 기하구조와 같은 도로환경요인 등으로 구성된 교통사고자료에 대해 미시적 접근으로 사고 특성을 분석한다. 넷째, 교통사고 변화추이에 대한 예측과 실질적인 개선대안의 수립이 가능한 도로환경요인등과 사고의 상관관계 분석을 바탕으로 예측모형을 개발하는 단계로 통계프로그램인 SPSS 20.0을 활용한다. 마지막 단계는, 결론을 정리하고 본 연구에서 미진하게 검토된 사항들과 앞으로의 연구 과제를 제시한다.

기존 문헌 고찰

1. 교차로 관리방안 연구

NCHRP Report 500(2003)에서는 무신호교차로의 문제점을 고찰하고, 교통사고 감소를 위한 지침서를 통해, 교차로의 안전성 향상을 위해 다음과 같은 몇 가지 추진전략 및 목표를 제시하였다. 추진전략들은 포괄적 범위의 공학적, 규제적, 교육적 접근방안들을 포함하고 있다. 또한 무신호교차로의 물리적 개선을 위한 목표는 접근로와 교차로의 기하구조 정비 및 다양한 교통관리방안들을 포함하고 있다.

- 교차로 주변 접근로에 대한 접근관리 방안
- 도로기하구조
- 교차로 시거 개선
- 운전자의 의사결정 수락 간격 개선
- 교차로 예고시스템 개선(럼블 스트립 등)
- 합리적인 통제 운영방식 선정
- 교통관련 법규, 통제 운영방식의 준수
- 교차로의 효율적 관리 및 유도

2. 교차로 설계요소 연구

교차로 안전성 평가와 관련한 많은 선행연구들은 교차로의 기하구조적 요인 (좌우회전 차로, 도류화 시설, 교차로의 갈래수, 교차각, 교차로 시거, 접근차로수 및 폭원, 야간조명시설, 교통량 등)과 같은 설계요소들이 교통사고에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 중점적으로 검토하였다.

Vogt(1999)는 4지 무신호교차로에 있어서 1개 이상의 좌회전차로를 설치할 경우, 전체 교통사고가 줄어든다고 하였다. Harwood et al.(2002)은 지방부 무신호교차로(stop-controlled)에 있어서 주도로의 일방향 우회전차로의 설치에 교차로 사고를 약 5% 감소시키며, 양방향 우회전차로의 설치에 사고를 약 10% 감소시킨다고 하였다. Harwood(2003)는 지방부와 도시부의 신호·무신호 교차로(3지, 4지 교차로)에 대한 좌회전차로의 설치 전후의 총 사고, 사망, 부상사고, 좌회전관련 사고 감소효과에 대한 연구결과, 좌회전관련 사고 감소효과는 4지 교차로의 경우 지방부에서는 약 37%, 도시부는 약 13-25%의 감소효과를 나타내었으며, 3지 교차로의 경우 약 62%의 감소효과가 있는 것으로 나타났다.

Son(2010)은 무신호교차로의 좌회전차로 설치에 대한 시뮬레이션 분석 연구에서, 주도로의 접근교통량이 700vph, 대향교통량이 300vph 수준까지의 교통량인 경우 좌회전차로를 설치하여 운영하는 것이 공유차로로 운영하는 것보다 안전하다고 하였다.

Bauer and Harwood(1996)는 지방부와 도시부의 무신호교차로에 있어서 4지가 3지보다 사고가 2배정도 많으며, 특히 지방부 4지의 경우 연평균 1.1건의 사고가 일어나는 반면에 3지는 연평균 0.6건이, 도시부에서는 각각 2.2건과 1.3건으로 나타난다고 하였다.

Kulmala(1997)은 부도로의 교통량이 적을 경우는 2개의 3지 교차로보다 1개의 4지 교차로가 안전한 반면, 부도로의 교통량이 많은 경우에는 안전하지 않다고 하였다. Park et al.(2008)는 3지 무신호교차로의 경우 교차각이 90° 에 가까워질수록, 시거가 확보되어 사고가 감소되는 것으로 분석하였다. Kim et al.(2008)는 교차로의 교차각이 주행의 안전성 및 쾌적성에 미치는 영향이 크기 때문에 예각의 교차로는 운전자의 시거가 충분히 확보될 수 없어 사고의 발생위험이 증가할 수 있으므로, 교차각이 작아질수록 사고빈도가 많아진다고 하였다. Lee(1995)는 무신호교차로의 안전에 영향을 미치는 요소 중 가장 중요한 것은 교차로 시거로 보았다.

Poch and Mannering(1996)은 교차로 시거 상에 장애물이 존재함은 교통사고의 빈도를 상당히 증가시킨다고 하였다. 반면에, Fambro et al.(1997)은 교차로 시거가 감소할수록 교통사고율과 교통사고건수가 증가할 것으로 생각하는 것이 일반적이지만, 아직까지 시거와 교통사고와의 상호관련성을 명확히 규명하지 못한다고 하였다.

Pasanen(1991)은 차량의 주행속도와 사망자 발생확률에 대한 연구를 통해, 차량 속도가 증가하면 충돌시 보행자에게 미치는 영향이 절대적으로 증가하게 되고, 30km/h에서 10% 정도인 사망발생률은 80km/h에서 100%까지 급격히 증가하는 것으로 분석결과를 제시하였다.

3. 예측모형 개발 연구

Lee et al.(2008)는 전라북도지역의 3지 무신호교차로에서 발생한 1년간의 사고 자료와 현장조사 자료를 토대로 순서형 프로빗모형을 활용한 사고 심각도 예측모형을 개발하였다. 모형 개발 결과, 심각도에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 교차로주변 토지이용이며, 그 외에는 주도로 ADT, 사고발생당시의 계절인 것으로 분석되었다.

Haleem et al.(2010)은 3년간(2003-2006) 플로리다주의 3지, 4지 무신호교차로 2,043개소를 대상으로 충돌 사고 심각도를 분석하였다. 분석방법으로는 프로빗모형과 로짓모형을 사용하였으며, 사고 영향요인으로는 교통량, 도로의 기하구조적 요인, 길어깨폭, 교차로 접근 차로수, 운전자 요인 등이라고 하였다.

Kim et al.(2010)은 지방부 교차로의 교통사고 요인 분석을 위해 포아송, 음이항 및 감마 모형을 이용하여 지방부 신호 및 무신호 3지 교차로의 사고예측 모형을 개발하였다. 모형개발 결과, 지방부 3지 신호교차로에서 주도로 좌회전 전용차로 유무, 주도로 좌회전 시거, 부도로 횡단보도 유무, 부도로 조명시설 유무, 주도로 버스 정류장 유무, ADT가 유의한 변수로 선정되었다. 그리고 3지 비신호교차로에서는 진출입구수, 주도로 좌회전 전용차로 유무, 주도로 우회전 전용차로 유무, 부도로 중앙분리대 유무, 주도로 길어깨폭, ADT로 나타났다.

Chang et al.(2011)은 서울시의 생활도로내 무신호교차로에서 2년간(2007-2008년) 발생한 1,204건의 사고 자료를 기초로 3지, 4지 무신호교차로의 사고예측 모형을 개발하였다. 모형개발 결과 3지 교차로에서는 교통량과 접근차 차로폭 크기의 증가에 따라 사고와 양(+)의 관계가 증가하는 것으로 나타났지만, 교차로 시거, 보차분리 유무, 조명시설 유무에 따라 사고와 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고 4지 교차로에서는 교통량, 교차로 면적과 교차각이 사고와 양(+)의 관계로 증가하는 것으로 나타났지만, 교차로 시거, 보차분리 유무, 조명시설 유무에 따라 사고와 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 교차로 시거, 보차분리, 조명시설 설치 사고의 감소에 영향이 있는 것을 알아냈다.

교통사고 특성분석

1. 자료수집 및 정리

본 연구의 궁극적 목적은 지방부 무신호교차로의 교통안전성 향상방안을 마련하기 위함에 있으므로 필요한 사항들을 다음 세 가지로 구분하여 수집 정리하였다.

Table 1. Distribution of unsignalized intersection

Area	Local Government	Road Type	Road Code	Intersection	
				3 Legged	4 Legged
Total	8	-	14	26	30
Kyung Gi	An Sung, Yang Pyeong	General National Road	17	2	1
		Local Streets	23,302,341	6	5
Chung Nam	Gong Ju, Asan, YeSan	General National Road	-	-	-
		Local Streets	604,609,619,623	7	12
Chung Buk	Eum Sung, Jin Chun, Jeung Pyeong	General National Road	17,21,34	5	5
		Local Streets	515,540,583	6	7

첫째, 교통사고 자료는 도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS)을 이용, 사고당시 조사된 인적요인, 차량요인 및 환경요인을 본 연구의 목적에 맞게 정리한다.

둘째, 지방부 무신호교차로에서 발생한 모든 교통사고에 대해 관련 자료를 수집·정리하는 것은 현실적으로 어려움이 많기 때문에 Table 1과 같이 지역별/형태별 연구 대상 교차로를 선정하여 사고 원인을 분석한다.

셋째, 실내작업을 통해 구축된 교통사고 자료와는 별도로, 문헌고찰을 통해 파악한 교차로 교통사고와 밀접한 관련성이 있는 영향요인들에 대해 항공사진 및 현장조사를 통해서 자료를 수집한다.

넷째, 교통량 및 교차로 접근속도에 관한 현장조사는 사고당시와 큰 변화가 없다는 가정 하에 오전, 오후 침두 1시간을 설정하여 비디오 녹화를 통한 프레임 분석으로 시간 교통량, 중차량 비율, 교차로 평균주행속도 등의 자료를 수집한다. 교통사고에 있어서 가장 큰 영향요인이라 할 수 있는 일평균교통량과 평균주행속도의 기술통계는 Table 2와 같이 정리할 수 있다.

Table 2. Descriptive statistics of adt and speed

	3 Legged		4 Legged	
	Adt	Speed	Adt	Speed
Mean	6,645.2	55.54	8,957.3	47.90
Minium	3,931	30	2,945	15
Maximum	10,631	87	16,166	87
Standard Error	296.72	2.109	487.68	2.355
Standard Devia	1,899.92	13.506	4,279.4	20.664
Variance	3,609.70	182.40	18,313,168.8	426.99
Kurtosis	-.317	-.108	-1.007	-1.234
Skewness	.708	.091	.500	-.103

2. 교통사고 특성

무신호교차로는 운전자의 의사결정이 다양하게 이루어지는 중요 지점이자 안전성이 요구되는 지점이다. 교통사고의 특성분석은 교차로의 안전성 향상을 위해 매우 중요한 작업이라 판단된다. 최근 3년간(2011-2013) 경기도, 충청남도 및 충청북도의 지방부 무신호교차로 56개소에서 발생한 119건의 교통사고를 Table 3과 같이 정리할 수 있다. 3지 교차로의 경우 26개 지점으로 43건의 교통사고로 교차로당 평균 1.654건이, 4지 교차로는 30개소에서 76건의 교통사고로 교차로당 평균 2.53건이 발생하였다. 따라서 4지 교차로가 3지 교차로보다 교통사고가 약 1.53배 많이 발생하였으며, 사고 심각도는 3지 교차로가 전체의 79.0%로서 4지 교차로보다 약 10% 정도 높게 발생한 것으로 분석되었다.

Table 3. Distribution of traffic crashes (2011-2013)

		Total	3 Legged	4 Legged
Total	Frequency	119	43	76
	Fatal	7	2	5
	Serious Injury	80	32	48
	Slight Injury	105	36	69
Vehicle to Vehicle	Frequency	98	33	65
	Fatal	3	1	2
	Serious Injury	67	24	43
	Slight Injury	94	29	65
Vehicle to Pedestrian	Frequency	18	8	10
	Fatal	2	1	1
	Serious Injury	8	3	5
	Slight Injury	8	4	4
Single Vehicle	Frequency	3	2	1
	Fatal	2	1	1
	Serious Injury	4	4	-
	Slight Injury	1	1	-

성별 사고유형을 비교한 결과는 Table 4이다. 전체 교통사고 119건 중 남성에 의한 사고는 전체의 84.9%이며, 여성에 의한 사고는 15.1%로서 남성이 여성에 비해 5.5배 이상 사고를 많이 일으킨 것으로 나타났다.

Table 4. Distribution of crashes by driver's gender

		Total	Male	Female
Total	Sum	119	101	18
	3-Legged	43	36	7
	4-Legged	76	65	11
Vehicle to Vehicle	Sum	98	81	17
	3-Legged	33	27	6
	4-Legged	65	54	11
Vehicle to Pedestrian	Sum	18	17	1
	3-Legged	8	7	1
	4-Legged	10	10	-
Single Vehicle	Sum	3	3	-
	3-Legged	2	2	-
	4-Legged	1	1	-

이 중 여성은 상대적으로 차대차 사고가 많았으며, 남성은 차대사람 사고와 차량단독 사고를 많이 일으켰다. 특이점으로는 차량단독 사고는 3건으로 전체사고에서 차지하는 비율은 2.5%에 불과하지만, 치사율은 66.7%로서 차대사람 사고 11.1%, 차대차 사고 3.1%와 비교할 때 매우 높은 수치를 보이고 있다. 이는 야간조명을 포함한 노측공간의 다양한 안전성과 차량과속 등과 깊은 관련성이 있을 것으로 판단된다.

교통법규위반 사항을 살펴보면, 안전운전불이행으로 처리된 사고건수는 사망사고 4건을 포함하여 전체 44건으로 37%이다. 교통사고의 원인을 정확하게 판단할 수 없을 경우에 대부분 안전운전불이행으로 처리되는 점을 감안하면 무신호교차로에서는 교차로 통행방법 위반에 의한 사고가 29.4%, 음주운전 사고는 10.1%로서 사실상 가장 심각한 사고 원인이라 할 수 있다. 성별 비교에 있어서는 여성운전자에 비해 남성운전자는 음주운전, 중앙선 침범 및 보행자 충돌 사고 등 사회적으로 심각성이 높은 교통사고들을 많이 일으킨 것으로 나타났다.

Figure 1의 성별/연령별 교통사고 발생현황에서는 사회적 활동이 많은 특성이 반영되어 남성운전자는 40-50대에 그리고 여성운전자는 30-40대에 교통사고를 많이 유발한 것으로 나타났다. 도시부와 상이한 지방 부도로의 일반적인 교통사고 특성이라 할 수 있는 고령운전자의 점유율과 심각사고 발생비율은 다른 연령층에 비해 높았으며, 대부분 남성운전자인 것으로 나타났다. 운전자의 연령대가 높아질수록 조향능력과 전방 차량과의 간격 유지 등 다각적인 운전부하가 요구되어 사고율이 높아진 것으로 판단된다.

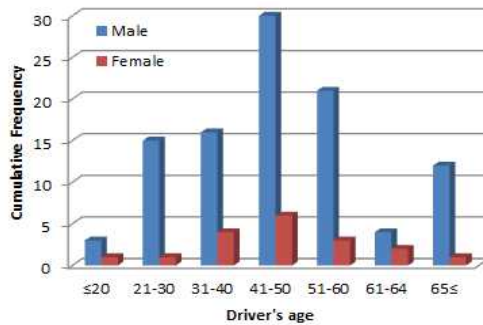


Figure 1. Cumulative frequency of driver's age

Table 5는 교통사고를 가해/피해 차종별로 구분한 것이다. 제1당사자¹⁾ 차종(Party #1)으로는 승용차가 70건으로 가장 많았으며, 다음으로는 화물차 23건, 승합차 12건의 순이다. 제2당사자 차종(Party #2)은 승용차 51건, 화물차 23건이 된다. 그리고 지방부도로에서 쉽게 접할 수 있는 이륜차, 자전거 및 농기계 사고가 22건

1) 제1당사자란 교통사고에 관계한 사람 가운데 과실이 무거운 쪽을 의미하며, 제2당사자는 제1당사자 다음으로 사고 관련성이 높은 경우를 의미한다. 단순 충돌사고의 경우 가해자 혹은 과실이 높은 쪽이 제1당사자가 되며, 피해자 혹은 과실이 낮은 쪽이 제2당사자가 된다.

이나 되며 이중 약 86.4%가 중상이상의 심각사고를 당한 것으로 분석되었다. 이 차량들은 사고발생시 차량에 의해 보호받을 수 없고, 운전자 자신이 모든 충격을 받기 때문에 다른 차종에 비해 피해정도가 매우 높을 것으로 예상된다. 따라서 사고발생시 피해정도를 완화시키기 위해서는 운전자나 동승자 모두 운전 중에 반드시 보호 장구를 착용하도록 하고, 야광표지판 부착, 무면허 및 음주 운전 등에 대한 지속적 계도와 단속이 수반되어야 할 것이다. 또한 도시부의 도로와는 달리 보행자 도로나 갓길도 충분히 확보되지 않아 교통사고에 그대로 노출되어 발생한 보행자사고도 18건이나 된다.

이처럼 우리나라 지방부도로의 대부분은 갓길이 충분히 확보되지 않거나 좁고 비포장으로 되어 보행자, 자전거, 농기계 등이 차도 통행을 하는 경우 많다. 충분한 갓길 공간은 운전자의 교통안전성 증진과 보행자, 자전거 및 농기계 등이 안전하게 통행할 수 있는 공간으로 활용할 수 있으며, 긴급 상황발생시 교통의 혼잡을 방지하는 공간으로도 이용될 수 있으므로 갓길을 확보장하고 야간주행시 차로 이탈방지를 위한 노면요철 포장 등의 필요성이 대두되고 있다.

Table 5. Distribution of crashes by vehicle type

# 2	Party # 1	Pass. Car	Truck	Bus, Van	Motor-cycle	Others	Total
Passenger Car		32	12	-	7	-	51
Truck		12	3	5	3	-	23
Bus, Van		2	-	-	-	-	2
Motorcycle		11	3	1	-	-	15
Bike		2	-	1	-	-	3
Pedestrian		8	5	5	-	-	18
Single Vehicle		1	-	-	2	-	3
Others		2	-	-	1	1	4
Total		70	23	12	13	1	119

연구대상 교차로에서 가장 많이 발생한 교통사고 유형은 측면직각 충돌로 3지, 4지 교차로에서 각각 27건, 29건이 일어났다. 이는 신호교차로에서 운전자들의 신호위반에 의해 발생하는 측면직각 충돌사고와는 달리 무신호교차로에서는 불명확한 통행우선권 문제로 일반적으로 발생하는 유형이라 할 수 있다. 7건의 사망사고 중 2건이 측면직각 충돌사고에 의해 발생될 정도로 치사율 또한 매우 높은 것으로 나타났으며 단독사고에 의한 전도전복 및 공작물 충돌로 인한 중상 이상의 심각사고도 3건이나 발생하였다.

일반적으로 차량 특성, 이용자 특성 및 도로환경적 특성(교차로 간격, 통행속도, 교통량 및 운영적 측면)에서 지방부 교차로의 일반적 특성은 도시부 교차로와 많은 차이가 있다. 지방부 교차로의 차량 특성으로는 중·대형차 및 승합·화물차 위주의 계절별 이용의 편차가 크며, 초행 운전 또는 비일상 이용자가 차지하는 비중이 크다. 그리고 교통량이 적으며 통행속도는 비교적 높고 교통안전에 대한 의식도 도시부에 비해 상대적으로 낮다. 이용자 특성으로는 도시부 교차로에 비해 운전자의 운전행태가 급출발이나 급가속이 아닌 정상 운행의 특성을 보이고 있다. 상충위험과 여성 운전자 비율 그리고 통행시간이 도시부 교차로에 비해 전반적으로 낮으며, 주야간 시간대의 차량이용의 편차가 심하다. 자전거 및 보행자 에 있어서는 도시부의 학생층 또는 젊은층 등 다양한 연령층으로 교통량이 형성된 반면, 지방부에서는 소규모의 고령층 위주의 이용 특성을 보이고 있다. 그리고 마지막으로 교차로 간격, 교통안전시설 및 도로기반시설 등과 같은 도로환경적 특성으로, 도시부에 비해 많은 부분이 열악한 상황으로 지방부 교차로에서 발생하는 교통사고는 다양한 여러 가지 환경에 의해 건수 및 심각도 측면에서 도시부 교차로와 다른 특성을 보이고 있다.

주야간 교통사고 비교에 의하면, 전체 119건 중 주간에 발생한 사고건수는 74.8%인 반면에, 야간에 발생한 교통사고는 전체의 25.2%로서 주간 교통사고가 야간의 약 3배 정도 많이 발생한 것으로 나타났다. 현장에서 파악된 도로환경적 특성으로는 교차로내의 버스정류시설 설치와 더불어 교차로 주변의 가로수, 가옥, 담장 및 입간판 등이 운전자의 시거를 가로막는 장애물로 전락한 경우가 있으며 보행자의 안전한 통행권을 확보할 횡단보도가 없이 버스정류시설만을 설치하여 무단횡단을 방조하는 경우도 많았다. 따라서 교차로 접근로의 시거 확보와 안전성을 위한 적극적 정비가 필요한 것으로 조사되었다.

연구방법론

1. 순서형 로지스틱 모형

순서형 로지스틱 모형이란 순서형 변수를 종속변수로 사용하는 분석방법으로 교통사고의 심각도에 따라 개별사고를 경상, 중상 및 사망사고로 분류할 수 있는데, 이처럼 어떤 특정 기준에 의해 종속변수가 순위 또는 순서로 나타날 때 사용되는 대표적인 분석방법이다.

종속변수가 취할 수 있는 결과가 3개 이상일 때 순서형 로지스틱모형은 누적확률에 대한 승비(Odds ratio)로 해석한다. 독립변수 수준 x 에서 종속변수 순위가 특정 순위 m 이하일 확률은 Equation 1과 같다.

$$P(Y \leq m|x) = \sum_{j=1}^m P(Y = j|x) \quad (1)$$

$$m = 1, 2, 3, \dots, g-1$$

여기서, $P(Y \leq m|x)$: 독립변수 수준 x 에서 종속변수 순위가 m 이하일 확률

이때, 독립변수들의 수준 x 에서 종속변수 순위가 m 보다 클 경우에 비교하여 순위가 m 이하가 될 승산(Odds)은 Equation 2와 같이 정의된다.

$$\Omega_m(x) = \frac{P(Y \leq m|x)}{1 - P(Y \leq m|x)} = \frac{P(Y \leq m|x)}{P(Y > m|x)}$$

$$= \exp(\alpha_m + x'\beta) \quad (2)$$

$$= \exp(\alpha_m + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_j X_j + \dots + \beta_k X_k)$$

$$(m = 1, 2, \dots, g-1)$$

여기서, $\Omega_m(x)$: 독립변수 수준 x 에서 종속변수 순위가 m 이하가 될 승산(Odds)

α_1 : 상수,

β_1 : 회귀계수

Equation 2로부터 종속변수 결과가 어떤 순위 m 이하가 될 누적확률을 유도하면 Equation 3과 같은 누적확률을 유도할 수 있다.

Table 6. Definitions of dependent variables

Variable	Average	Range
Ln ADT	8.90	7.98-9.69
Ratio of Heavy vehicle	0.53	0.24-0.75
Season (winter 0, spring 1, summer 2, fall 3)	1.52	0-3
Day and Night (Daytime 0, Nighttime 1)	0.25	0-1
Accident Pattern (Others 0, Vehicle-Pedestrian 1, Vehicle-Vehicle 2)	1.80	0-2
Crash Type (Others 0, Rear-end 1, Side right angle 2)	1.03	0-2
Gender of the Party #1 (Female 0, Male 1)	0.85	0-1
Age of the Party #1 (<20=0, 20~29=1, 30~39=2, 40~49=3, 50~59=4, ≥60=5)	3.08	0-5
Alcohol Use (Yes 0, No 1)	0.88	0-1
Traffic Violations (Way intersection traffic violation 0, Safe Driving Failure 1, Others 2)	1.17	0-2
Vehicle of the Party #1 (Others 0, Truck 1, Van·Bus 2, Car 3)	2.16	0-3
Vehicle of the Party #2 (Van·Bus 0, Truck 1, Car 2, Others 3)	2.07	0-3
Gender of the Party #2 (Others 0, Female 1, Male 2)	1.73	0-2
Age of the Party #2 (<20=0, 20~29=1, 30~39=2, 40~49=3, 50~59=4, ≥60=5)	3.21	0-5
Crosswalk of Major Street (Yes 0, No 1)	0.59	0-1
Sight Distance Obstruction (Within an intersection 30m) (No 0, Yes 1)	0.72	0-1
Pedestrian Road or Shoulder (Yes 0, No 1)	0.66	0-1
Angle of Intersection (80~90° 0, 70~79° 1, 60~69° 2, <60° 3)	0.62	0-3
Exceeding the Speed Limit (No 0, Yes 1)	0.57	0-1
Bus Stop of Main Street (Yes 0, No 1)	0.63	0-1
Lanes of Minor Street	1.11	0.7-2
Land Use (Others 0, Agriculture 1)	0.33	0-1

$$P(Y \leq m|x) = \frac{\exp(\alpha_m + x'\beta)}{1 + \exp(\alpha_m + x'\beta)} \quad (3)$$

여기서, $P(Y \leq m|x)$: 독립변수 수준 x 에서 종속변수 순위가 m 이하일 확률

또한, 종속변수의 결과가 세 가지 순위로 측정될 때 종속변수가 특정한 순위를 취할 확률은 Equation 3을 이용하여 Equation 4와 같이 구할 수 있다. 여기서 마지막 순위에 대한 확률은 다시 계산하지 않아도 자동적으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(Y=1|x) &= \frac{\exp(\alpha_1 + x'\beta)}{1 + \exp(\alpha_1 + x'\beta)} \\ P(Y=2|x) &= \frac{\exp(\alpha_2 + x'\beta)}{1 + \exp(\alpha_2 + x'\beta)} - \frac{\exp(\alpha_1 + x'\beta)}{1 + \exp(\alpha_1 + x'\beta)} \\ P(Y=3|x) &= 1 - P(Y=1|x) - P(Y=2|x) \end{aligned} \quad (4)$$

도출된 모형에 대하여 모형의 검증방법은 설명력을 나타내는 우도비(ρ^2)와 모형의 적합성을 검증하는 x^2 (Chi-Square)값을 이용한다.

여기서 우도비(ρ^2)는 McFadden의 결정계수(R^2) 라고도 불리며 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높다고 평가되며 0.2-0.4의 값이면 충분히 높은 적합도를 가진다고 볼 수 있다(Seong, 2001).

2. 분석 결과

지방부 무신호교차로 56개소를 대상으로 사고 심각도를 분석한 결과 Table 7과 같은 변수들이 통계적으로 유의미하게 선정되었다. 로지스틱 회귀분석에서 B는 회귀계수를, S.E는 표준오차(standard error)를 나타낸다. 영향요인에 대한 분석결과, 회귀계수(B)값이 양(+)으로 나타난 변수는 절대 값이 클수록 심각도에 영향을 많이 주며, 입력변수에 대한 회귀계수의 유의성은 Wald 통계량으로 검증할 수 있다. Wald 통계량은 유의확률과 함께 해당 변수가 통계적으로 유의한지를 판단할 때 사용되며 Wald 통계량 값이 크면 클수록 독립변수가 종속 변수에 미치는 영향력을 더 크다고 해석할 수 있다.

개발된 모형은 교차로 전체, 3지 교차로, 4지 교차로의 3개이며 모형의 적합도(McFadden R^2)는 각각 0.259, 0.392, 0.384으로 나타났다. 교차로 전체 모형의 Wald 통계량 값을 살펴보면, 일평균교통량(7.855), 교차각(5.913), 교차로 시거장애(5.787), 부도로차로수(4.185), 주야간시간대(3.553) 및 피해자의 연령(2.867) 순으로 사고 심각도에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

3지 교차로 심각도에 영향을 미치는 변수를 Wald 통계량 값으로 살펴보면 교차로의 시거장애가 4.795로 가장 큰 영향을 주며, 다음은 음주 여부로 3.001의 값을 보이고 있다. 본 연구의 한계점이라 할 수 있는 표본수가 적기 때문에 단정적으로 말할 수는 없으나, 분석결과에 따르면 교차로 시거가 불량할수록 위험성이 높아지며 음주운전 사고보다는 정상 주행 중에 발생한 교통사고의 심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 이는 무신호교차로의 안전에 있어서 가장 중요한 영향요소는 교차로 시거이며, 충분한 교차로 시거를 확보할 수 없을 경우 사고 발생위험이 높아진다고 밝힌 Lee(1995)와 Kim et al.(2008)의 연구와 같은 결과를 도출하였다.

4지 교차로 심각도 모형의 관련변수를 영향이 큰 순서대로 나타내면, 일평균교통량, 교차로 시거장애, 중차량 비율, 교차각, 부도로 차로수, 교통법규위반, 피해자 연령 및 음주여부의 순으로 선정되었다. 개발된 모형에 있어서 음(-)의 변수는 일평균교통량과 중차량 비율이다. 일반적으로 교통량과 중차량 비율이 증가하면 교통사고가 증가하는 것으로 알려져 있다. 그러나 지방부 무신호교차로의 사고 심각도를 분석한 본 연구에서는 일평균교통량 및 중차량 비율이 적은 곳에서 발생한 사고의 위험성이 높은 것으로 분석되었다.

Table 7. Result of ordered logistic regression

Parameter	Estimation	B Estimation	S.E	Wald	PAR (P-value)	90% Confidence interval		
						Lower	Higher	
All Intersection	Limit	Severity 0	-18.690	6.773	7.614	.006	-29.832	-7.549
		Severity 1	-14.595	6.673	4.784	.029	-25.571	-3.619
	Location	Ln ADT	-1.936	.691	7.855	.005	-3.072	-.800
		Day and Nighttime	1.076	.571	3.553	.059	.137	2.015
		Age of the Party #2	.287	.169	2.867	.090	.008	.565
		Sight Distance Obst.	1.380	.574	5.787	.016	.436	2.323
		Angle of Intersection	.620	.255	5.913	.015	.201	1.039
Lanes of Minor. St	1.603	.784	4.185	.041	.314	2.892		
3-Legged	Limit	Severity 0	9.864	25.599	.148	.700	-32.243	51.971
		Severity 1	15.116	25.911	.340	.560	-27.504	57.737
	Location	Alcohol Use	4.854	2.802	3.001	.083	.245	9.463
4-Legged	Limit	Sight Distance Obst.	3.188	1.456	4.795	.029	.793	5.582
		Severity 0	-17.442	9.541	3.342	.068	-33.135	-1.749
	Location	Severity 1	-12.481	9.441	1.748	.186	-28.011	3.048
		Ln ADT	-2.878	1.130	6.492	.011	-4.736	-1.020
		Ratio of Heavy.Vehicle	-10.227	4.494	5.179	.023	-17.618	-2.835
		Alcohol Use	2.778	1.594	3.036	.081	.156	5.400
		Traffic Violation	.969	.546	3.150	.076	.071	1.867
		Age of the Party #2	.552	.313	3.109	.078	.037	1.066
		Sight Distance Obst.	2.667	1.153	5.353	.021	.771	4.564
		Angle of Intersection	.940	.428	4.830	.028	.236	1.643
Lanes of Minor. St	2.983	1.393	4.584	.032	.691	5.275		

이는 대표성을 갖을 만한 표본수의 부족에 의한 결과일 수도 있겠으나 도시부에 비해 차량단독사고의 비율이 크며, 높은 주행속도 등에 의해 사고에 따른 피해가 커진 것으로 사료된다. 그리고 양(+)의 영향을 미치는 요인으로는 교차로의 시거장애, 교차각, 부도로 차로수, 주야시간대, 교통법규위반, 음주여부, 피해자 연령과 같은 변수들이며 이 변수들이 한 단계 증가할수록 중상 이상의 심각사고 비율도 높아지는 것으로 분석되었다. 즉, 교차로 주변 30m 이내에 장애물이 있어 운전자의 시거를 방해할수록, 교차각이 예약화되어 접근차량을 인지할 수 없는 운전 사각지대가 커질수록, 교통법규위반에 있어서 교차로통행방법 위반보다는 안전운전불이행 등에 그리고 음주운전보다는 정상운전시에, 사고에 따른 피해자 연령대가 젊은층에서 고령층으로 갈수록 심각도가 커지는 것으로 나타났다.

연구대상 교차로에서는 주간 교통사고건수가 야간 교통사고의 약 3배 정도 많이 발생하였으나, 사고 심각도에 있어서는 야간 교통사고가 통계적으로 높아지는 것으로 나타났다. 그리고 차로수와 교통사고의 관계는 아직까지 명확하게 분석된 바가 없으나, 일반적으로 차로수가 많으면 차량들의 갖은 차로변경과 횡단거리의 증가 등과 같은 사고 발생 요인의 증가로 인해 교통사고가 많이 발생할 것으로 사료된다. 또한 한 개의 이동류가 교차로를 기점으로 여러 이동류로 분류되거나 또는 여러 이동류가 한 개의 이동류로 되기 때문에 이 과정에서 많은 교통사고가 발생하기도 하고 이에 따른 피해도 늘어날 것으로 판단된다. 교통사고는 여러 요인 중 하나 또는 그 이상의 요인들이 복합적으로 결합되어 발생하기 때문에 사고의 예방을 위해서는 이러한 것들을 고려한 다각적 예방대책이 필요하다.

결론 및 시사점

본 연구는 지방부 무신호교차로에서 발생하는 교통사고의 심각성을 인식하여 사고예방을 위해 특성분석과 영향요인을 알아보기 위함이다. 첫째, 특성을 분석한 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다. 119건의 교통사고 중 차대차 사고는 전체의 82.3%(98건)이며, 차대사람 사고는 15.1%(18건), 차량단독 사고는 2.5%(3건)으로

구성된다. 차량단독 사고의 비율은 매우 낮지만 치사율은 66.7%로서 차대사람 사고 11.1%, 차대차 사고의 3.1%와 비교하면 대단히 높다. 가장 많이 발생한 교통사고 유형은 측면직각 충돌로 3지, 4지 교차로에서 각각 27건, 29건이 일어났다. 이는 신호교차로에서 운전자들의 신호위반에 의해 발생하는 측면직각 충돌사고와는 달리 무신호교차로에서는 불명확한 통행우선권 문제로 일반적으로 발생하는 유형이라 할 수 있다. 남성 사고가 전체의 84.9%로서 여성에 비해 5.5배 이상 높았으며, 연령별로는 남성은 40-50대, 여성은 30-40대에 교통사고를 많이 일으켰다. 그리고 고령운전자의 사고점유율과 심각사고 비율 또한 높은 것으로 나타났다.

우리나라 무신호교차로는 운전자의 양보, 정지 등의 교통제어방법에 대한 준수 의식이 정착되지 못하였을 뿐만 아니라 이의 운영에 대한 확신이 없기 때문에 교통량이 적은 교차로에서 조차 신호기를 운영하거나 아무런 표지가 없는 무통제 방식으로 운영되고 있어 교통류의 비효율적/비안전적 문제를 내포하고 있는 실정이다.

교통사고 원인을 정확하게 판단할 수 없을 경우에 대부분 안전운전불이행으로 처리됨(전체의 37%, 44건)을 감안하면 교차로통행방법위반에 의한 사고(29.4%), 음주운전 사고(10.1%)가 사실상 가장 심각한 사고 원인이라 할 수 있다. 차종별 교통사고 분석결과, 가해 차종은 승용차가 58.8%(70건)가 가장 많았으며, 피해 차종 또한 승용차 42.8%(51건)이다. 지방부에서 쉽게 접할 수 있는 이륜차, 자전거 및 농기계 사고가 18.5%(22건)나 되며 전체의 86.4%가 중상 이상의 심각사고를 당한 것으로 나타났다. 사고건수는 4지 교차로가 3지 교차로보다 많았으나, 중상 이상의 심각사고는 3지 교차로에서 많이 발생하였다.

둘째, 개발된 모형은 교차로 전체, 3지 교차로, 4지 교차로의 3개이며 모형의 적합도(McFadden R^2) 값은 3지 교차로(0.392) > 4지 교차로(0.384) > 교차로 전체(0.259)의 순으로 분석되었다. 전체적으로 심각도에 영향을 미치는 변수는 일평균교통량, 중차량 비율, 주야시간대, 음주여부, 교통법규위반, 피해자 연령, 교차로 시거장애, 교차각 및 부도로 차로수 등 9개가 선정되었다.

개발된 3개 모형에 모두 포함된 것은 교차로 시거장애 변수로서 무신호교차로의 교통안전성 확보를 위해서는 통행우선권의 정립과 더불어 미국 AASHTO의 설계지침²⁾(접근속도별 교차로 안전시거 및 노변시설 정비관리 범위)과 같은 관련 규정의 마련이 필요하다. 그리고 야간 조명시설의 설치, 길어깨 포장, 교차로 구조개선을 통한 교차각 정비 등이 요구된다.

향후 연구에서는 다음과 같은 한계점을 보완한 관련연구가 지속되길 바란다. 우선 56개의 무신호교차로를 대상으로 하여 표본수가 다소 적으므로 대표성을 가질 수 있는 보다 많은 사고 자료를 이용한 연구가 추가적으로 진행될 필요가 있다. 그리고 일평균교통량 및 교차로 접근속도 등에 대해 사고당시와 큰 변화가 없다는 가정 하에 조사를 하다 보니 현실성을 충분히 반영하지 못하였다. 마지막으로 현재 국내의 경우 지방부 무신호교차로들의 상당수가 회전교차로로 전환되어 운영되고 있다. 일반적으로 회전교차로가 교통의 안전성을 향상시키는 효과가 있다고 알려져 있지만 그 효과에 대한 구체적인 분석과 무신호교차로 자체에 대한 안전성향상 연구들이 미흡하다는 점에서 이에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

AASHTO (2004), A Policy on Geometric Design of Highway and Streets.

Bauer K.M., Harwood D.W. (1996), Statistical Models of At-grade Intersection Accidents, TRB.

Chang I.J., Kim J.W., Lee H.R., Lee S.B. (2011), Model for Predicting Accidents at a Unsignalized Intersections in Community Road, Korean Society of Civil Engineering, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 31(3), 343-353.

2) AASHTO(2004)에서는 교차로 정지선에 정지한 차량 운전자는 교차로 좌우측 도로에서 접근하는 차량에 대한 시야가 제한을 받기 때문에 접근속도별로 무신호교차로에서 확보되어야 하는 안전거리 및 노변시설 정비관리 범위를 규정하고 있다.

- Fambro D.B., Fitzpatrick K., Koppa R.J. (1997), Determination of Stopping Sight Distances, NCHRP Report 400, TRB.
- Haleem K., Avdel-Aty M. (2010), Examining Traffic Crash Injury Severity at Unsignalized Intersection, *Journal of Safety Research*, 41(4), 347-357.
- Harwood D.W., Bauer K.M., Potts I.B., Torbic D.J., Richard K. R., Kohman Rabbani E.R., Hauer E., Elefteriadou L. (2003), Safety Effectiveness of Intersection Left-and Right-turn Lanes, TRB.
- Harwood D.W., Council F.M., Hauer E., Hughes W.E., Vogt A. (2002), Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-lane Highways, FHWA-RD-99-207, FHWA
- Kim D.H., Le, D.M., Sung N.M. (2010), A Development of Traffic Crash Frequency Prediction Models for Rural 3-legged Intersections, The Korea Transport Institute, *Journal of Transport Research*, 17(1), 37-48.
- Kim E.C., Lee D.M., Kim D.H. (2008), Development of Traffic Accident Frequency Model for Evaluating Safety at Rural Signalized Intersections, *International Journal of Highway Engineering*, 10(4), 53-63.
- Kulmala R. (1997), Safety at Highway Junctions Based on Predictive Accident Models, TRB.
- Lee D.M., Kim E.C., Sung N.M., Kim D.H. (2008), Development of Traffic Crash Frequency Prediction Models for Rural 3-legged Intersections, *International Journal of Highway Engineering*, 10(3), 47-56.
- Lee S.B. (1995), Development of Safety-based Level-of Service Parameters for Two-way Stop-controlled Intersections, University of Wisconsin-Madison.
- NCHRP Report 279 (1985), Intersection Channelization Design Guide, TRB.
- NCHRP Report 500 (2003), A Guide for Addressing Unsignalized Intersection Collections, TRB.
- Park B.H., Park S.H., Lee Y.M., In B.C. (2008), Accident Analysis of Unsignalized Intersections Using ZAM, *Journal of Korea Planners Association*, 43(6), 69-78.
- Pasanen E. (1991), Driving Speeds and Pedestrian Safety, Espoo, Finland Helsinki University of Technology, Traffic laboratory, Publication 72.
- Poch M., Mannering F. (1996), Negative Binomial Analysis of Intersection-accident Frequencies, *Journal of Transportation Engineering*, 122(2), 105-113.
- Seong W.H. (2001), Applied Logistic Regression Analysis, Tamjin.
- Son S.H. (2010), Development of a Delay and Safety Evaluation Models According to the Left-turn Lane Installation at Unsignalized Intersection, Graduate School of Hanyang University.
- Vogt A. (1999), Crash Models for Rural Intersections: Four-lane by Two-lane Stop-controlled and Two-lane by Two-lane Signalized, FHWA-RD-99-128, FHWA.