

도시 및 지방 회전교차로 사고 발생 모형 Urban and Rural Roundabout Accident Occurrence Models

백 태 헌	Beck, Tea Hun	정희원 · 충북대학교 도시공학과 박사과정 (E-mail : simsimback@nate.com)
임진강	Lim, Jin Kang	정희원 · 충북대학교 도시공학과 박사과정 (E-mail : plue@nate.com)
박병호	Park, Byung Ho	정희원 · 충북대학교 도시공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The operational characteristics of roundabouts are generally influenced by location as well as traffic volume. The goal of this study is to develop urban and rural roundabout accident models and to discuss safety improvement guidelines based on the model.

METHODS : To analyze accidents, count data models are utilized in this study. This study used accident data from 2010 to 2013 for 56 roundabouts collected from the Traffic Accident Analysis System (TASS) of Road Traffic Authority. Poisson and negative binomial regression models were developed for this study using NLOGIT 4.0.

RESULTS : The main results are as follows. First, the hypotheses that there are distributional differences in the number of accidents and injuries/fatalities among rural and urban roundabouts were accepted. Second, Poisson and negative binomial regression accident models, which were all statistically significant, were developed. Seven independent variables, which were statistically significant, were adopted. Third, the common variable of models was evaluated to be traffic volume.

CONCLUSIONS : This study developed two negative binomial roundabout accident models and suggested some accident reduction strategies. The results are expected to give some implications to the safety improvement of roundabout.

Keywords

urban and rural, roundabout types, Poisson and negative binomial regression model, accident models

Corresponding Author : Park, Byung Ho, Professor
Department of Urban Engineering, Chungbuk National University,
52 Neasudong-ro, Heungdeok-gu, Cheongju-si, Chungbuk, 28644, Korea
Tel : +82.43.261.2496 Fax : +82.43.264.2496
E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Nov. 12, 2014 Revised Nov. 13, 2014 Accepted Oct. 01, 2015

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 교통사고 발생추이를 살펴보면, 2000~2013년 까지 14년 동안 전체 교통사고건수는 약 29만 건에서 21만 건으로 26% 감소하였으나, 동 기간 동안 교차로에서 발생한 교통사고건수는 68% 증가한 것으로 보고 되었다. 또한 2013년 기준 교차로 교통사고는 전체 교통사고의 44%에 이르고 있어, 교차로 안전 대책 마련이

시급한 실정이다(교통사고분석시스템, 도로교통공단, 2014).

이에 정부는 교차로 안전 제고 방안 중 하나로 회전교차로의 설치를 장려하였다(기초법질서 확립을 위한 교통운영체계 선진화 방안, 국가경쟁력강화위원회, 2009). 정부의 회전교차로 장려 정책 발표 이후, 전국적으로 매년 90여 개의 회전교차로가 추가로 설치되고 있다(2013 한국형 회전교차로 연구정책지원 사업 연구

보고서, 한국교통연구원, 2013).

안전행정부의 보도자료(2014.3)에 따르면, 일반교차로를 회전교차로로 개선한 지역의 2012년 교통사고가 2009~2010년에 비해 49.5% 감소한 것으로 보고되었다. 이런 안전성에서의 장점은 회전교차로의 특성에서 기인한다. 회전교차로는 회전차량이 통행의 우선권을 가지며, 중앙교통섬을 무신호로 우회하도록 설계되어 있다. 이러한 설계로 인하여 교차로 내에서의 저속운행을 가능하게 하며, 일반적인 평면교차로에 비해 상충점이 적다. 또한 좌회전 운행이 없어 운전자가 진출방향에 따라 교차로 근처에서 차선을 변경할 필요가 없다.

이러한 회전교차로의 운영특성은 일반적으로 교통량이나 설치 위치에 많은 영향을 받는다. 또한 도시지역과 지방지역은 20~30km/h 정도의 주행속도의 차이가 존재하는 등(2004, 회전교차로 설계지침) 일반적으로 국내의 교통 운영특성은 도시와 지방지역에서 다르게 나타난다.

따라서 회전교차로의 보다 정확한 사고 원인을 파악하기 위해서는 설치된 위치를 도시와 지방으로 구분하여, 사고 요인을 찾는 연구가 필요하다고 판단된다. 하지만 회전교차로 설계지침(국토해양부, 2010)에서는 회전교차로의 기본유형을 소형, 1차로 및 2차로형으로 구분하고 있어, 설치된 지역의 특성을 감안하지 않고 있다.

이에 이 연구의 목적은 회전교차로의 설치 위치에 따라 도시 및 지방지역으로 나누고, 그 특성에 맞는 사고모형을 개발하는데 있다.

1.2. 연구의 내용 및 수행과정

이 연구는 회전교차로를 도시 및 지방으로 구분하고, 두 그룹의 사고 모형을 개발하고자 하는 연구로 국내 회전교차로 57개소를 대상으로 한다. 분석에 사용한 교통사고 자료는 국가경쟁력강화위원회의 회전교차로 장려방안이 발표된 후인 2010년부터 자료 수집이 가능한 최근연도인 2013년까지 4개년의 자료이다. 분석에는 일반적으로 사고건수와 같은 가산 자료에서 많이 활용되는 포아송 모형과 음이항 모형을 활용한다.

연구의 수행과정은 다음과 같다. 첫째, 국내·외 선행 연구를 고찰하여 분석방향 및 방법을 정립한다. 둘째, 57개소 회전교차로의 자료를 수집·분석하고 설치 위치에 따라 도시와 지방으로 분류한다. 셋째, 수집된 자료를 토대로 각 그룹별 사고모형을 개발한다. 마지막으로 연구결과를 고찰하고 향후 연구과제를 제시한다.

2. 문헌 고찰

2.1. 회전교차로 유형 구분

회전교차로의 유형을 구분하는 방법은 다양하다. 국내 회전교차로 도입 초기에 발간된 회전교차로 잠정 설계지침(국토해양부, 2004)에는 회전교차로를 지역과 차로 수에 따라 6가지 기본유형(초소형 회전교차로, 도시지역 소형 회전교차로, 도시지역 1차로 회전교차로, 도시지역 2차로 회전교차로, 지방지역 1차로 회전교차로 및 지방지역 2차로 회전교차로)으로 분류하였다. 후에 발간된 회전교차로 설계지침(국토해양부, 2010)에는 회전교차로의 일반유형을 소형, 1차로 및 2차로 회전교차로로 구분하고 있으며, 설치 위치에 따른 유형구분을 제시하지 않고 있다. 회전교차로는 진입 속도에 따라 용량(수락 간격) 및 안전성에 많은 차이를 보일 수 있어 진입 속도에 영향을 감안할 수 있는 구분이 필요하다고 판단된다.

2.2. 회전교차로 사고 모형

회전교차로에 대한 국내 연구는 2000년대 중반까지는 주로 회전교차로의 용량을 비롯한 도입방안에 대한 연구와 설치효과를 분석한 연구가 주로 수행되었고, 2010년 이후 사고모형 개발 등 안전성에 관한 연구가 진행되었다.

김경환 등(2012)은 연립방정식을 활용하여 회전교차로의 운전유형별 사고모형을 구축하였다. 저자들은 연구에서 사고건수와 EPDO(equivalent property damage only) 측면에서 사고영향요인이 다르게 나타나는 것을 분석하였다. 또한 연구의 결과로 ADT(average daily traffic), 상충비, 중차량 비율, 회전차로 폭, 회전차로 수, 접근로 차로폭, 접근로 평균 차로 수, 주차시설 유무 및 정류장 유무 등이 사고 모형에 유의한 변수로 채택되었다.

김경환 등(2012)은 도시부 원형교차로를 대상으로 사고 모형을 개발하였다. 저자들은 원형교차로의 운영특성에 따라 회전교차로와 로터리를 구분하여 연구를 수행하였다. 또한 연구의 결과로 평균 차로 수, 접근로별 분리교통섬 수, 접근로별 감속시설 수 및 주차시설 등이 사고에 영향을 미치는 변수로 판단하였다.

나희 등(2012)은 원형교차로 내 사고를 사고원인별로 나누고, 사고 원인 중 높은 빈도를 나타내는 교차로 운행방법 위반과 안전거리 미확보에 대해 사고모형을 개발하였다. 연구의 결과, 교통량, 회전차로 폭 접근로 수 및 감속시설 수를 사고 영향 요인으로 분석하였다.

한수산 등(2011)은 원형교차로에서 발생한 사고를 사고 유형에 따라 차대차 및 차대사람로 구분하고, 사고건수와 EPDO 측면에서 사고모형을 개발하였다. 저자들은 연구에서 원형교차로의 차대차 사고에 교통량, 진출입구 수, 우회전 별도차로 및 과속방지턱이 영향을 미치는 것으로 분석하였고, 차대사람 사고는 교통량과 횡단 보도 수가 영향을 미치는 것으로 분석하였다.

박병호 등(2012)은 기상상태에 따라 원형교차로의 사고모형을 개발하였다. 저자들은 연구에서 기상상태를 맑음과 기타로 구분하였고, 맑음에서는 교통량과 우회전 별도차로, 기타에서는 회전차로 폭, 진출입구 수 및 횡단보도 수를 사고와 관련성이 있는 변수로 채택하였다. 또한 채택된 변수들은 기상상태별로 큰 차이가 난다고 분석하였다.

박병호 등(2014)은 국내 회전교차로 100개소에서 발생한 108건의 사고를 대상으로 사고 모형을 개발하였다. 최적모형은 ZINB(zero-inflated negative binomial) 모형으로 채택되었고, 오토바이 사고와 관련이 높은 변수로는 교통량, 중앙교통섬 직경 및 접근로 폭이 채택되었다.

국내 회전교차로의 사고 모형을 사고 유형과 원인 및 다양한 조건하에서 분석되었으나, 회전교차로의 설치 위치에 따른 분류 및 분석은 미미한 실정이다.

Daniels 등(2010a)은 회전교차로에서의 사고 위험 및 사고 심각도를 연구하였다. 저자들은 회전교차로의 사고 심각도는 도로 사용자 유형, 연령, 기하구조 및 조명 조건 등에서 다르게 나타날 수 있다고 밝혔다.

Daniels 등(2010b)은 단일차량사고와 다중차량사고의 사고 원인을 포아송 및 감마 모형을 통해 분석하였다. 저자들은 연구의 결과로 사고발생은 차량의 수와 연관성이 크나 차량별 발생 위험은 혼잡한 교차로에서 낮은 것으로 분석하였다. 또한 큰 중앙 교통섬 직경은 단일차량사고와 연관이 있는 것으로 분석하였다.

국외연구에서도 모형 개발을 통한 회전교차로의 안전성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 모형을 통한 연구와 더불어 사고 감소 효과 분석이 이루어지고 있다.

2.3. 회전교차로 설치지역별 안전성 차이

국외 연구에서는 설치 지역에 따른 유형 구분 및 안전성 차이가 연구되었다.

Gross 등(2012)은 회전교차로 전환의 사고 감소 효과를 분석하였다. 사고감소효과는 도시지역보다 비도시

지역에서 크게 나타났고, 총 사고발생 건수보다는 치명적 사고 발생 건수에서 큰 감소효과를 나타내는 것으로 분석하였다.

Isebrands(2009)는 지방지역 고속주행교차로를 회전교차로로 개선한 전과 후의 사고 자료를 비교·분석하였다. 또한 고속 진입 교차로를 회전교차로로 전환하여 속도를 낮출 경우 사고율은 67% 감소하며, 부상사고율은 89% 감소하는 것으로 분석하였다.

Montella(2011)는 도시지역에서 발생한 회전교차로의 사고 유형을 25가지로 구분하고, 사고 요인이 도로 사용자, 차량, 기하구조, 노면 표시, 표지판, 도로환경, 포장 등에서 발생한다고 분석하였다. 저자는 연구에서 사고는 여러 요인들이 복합적으로 작용하여 발생하며, 이러한 요인 간의 결합을 112가지로 제시하였다.

이처럼 회전교차로는 설치 지역의 특성에 따라 회전교차로 전환 시 사고 감소효과 및 사고 발생요인에 차이가 있는 것으로 판단된다.

2.4. 기존연구와의 차이점

이 연구는 국내 회전교차로의 사고 모형을 개발하고자 하는 연구로, 기존연구와의 차별성은 Table 1과 같다.

Table 1. Summary of Differences with Previous Studies

Classification	N. of analysis data	N. of variables	Period of data collection	Definition of term	Dependent variables
Kim, K. H. (2012)	39	12	2007~2009	round about	driving types (straight, lane changing and others)
Kim, K. H. (2012)	24	18	2007~2009	circular Intersection	operational types (urban circular intersection, urban roundabout, urban rotary)
Na, H. (2012)	94	11	2007~2009	circular Intersection	accident by cause (violating the operational method of intersection, no maintaining the safe distance)
Han, S. S. (2011)	20	11	2007~2009	circular Intersection	accident type (vehicle·people, vehicle·vehicle)
Park, B. H. (2012)	20	11	2007~2009	circular Intersection	weather condition (clear, the others)
Park, B. H. (2014)	100	11	2007~2010	round about	motorcycle accident
This study	56	22	2010~2012	round about	roundabout types (urban, rural)

첫째, 회전교차로는 교통조건과 운영조건에 따라 사고 발생 정도가 차이가 나는 것이 일반적이다. 하지만 Table 1에 나타나듯이 기존연구는 사고의 유형이나 원인에 따라 분류하여 모형을 개발한 연구가 주를 이루고 있다. 이에 이 연구의 차별성은 국내의 특성을 반영하여 설치 위치별로 도시지역과 지방지역을 구분하고, 그에 따른 적정한 사고모형을 구축하여 제시한 점에 있다.

둘째, 기존의 연구는 11~18개의 사고요인을 독립변수로 활용하고 있으나, 이 연구에서는 사고 모형 구축을 위한 독립변수를 22개로 확장한 점에서 차별성이 있다.

마지막으로 기존의 국내 연구는 원형교차로, 회전교차로 및 로터리의 개념이 혼재되고 있었던 2007년부터 3개년의 자료를 활용하고 있다. 하지만 이 연구는 2009년 국가경쟁력위원회에서의 회전교차로의 정의가 완료된 후 4개년의 사고 자료를 수집하였으며, 이를 통해 모형의 적합성을 높이고자 한 점에서 연구의 차별성이 있다.

3. 분석의 틀 설정

3.1. 자료 수집 및 분류

모형개발에 앞서 관련 자료의 수집을 선행한다. 먼저 교통사고 자료는 도로교통공단에서 제공하는 교통사고 분석시스템¹⁾을 활용하여, 2010~2013년도의 4개년의 자료를 수집한다. 둘째, 교차로 기하구조 도면과 항공사진을 통해 기하구조 변수를 수집한다. 셋째, 동영상 촬영을 통해 교통량 및 교차로 운영 자료를 수집한다. 마지막으로 현장조사를 통해 수집된 자료를 확인하고, 부족한 자료를 수집한다.

다음으로 수집된 자료를 설치 위치에 따라 도시 및 지방으로 분류한다. 이 연구에서는 회전교차로가 설치된 위치의 행정구역을 토대로 분류하였다. 특별시, 광역시 및 도·농 통합시의 동지역은 도시로, 군지역 도·농 통합시의 읍·면지역은 지방으로 구분하였다. 그룹별 선정교차로 수와 선정 기준은 Table 2와 같다.

Table 2. Classification Standard of Roundabout

Classification	N	Classification standard
Urban	24	metropolitan city, urban-rural integration city (dong)
Rural	33	gun, urban-rural integration city (myeon and eup)

1) TAAS : <http://taas.koroad.or.kr/>

분류된 그룹의 종속변수 간의 차이를 가설검정을 통해 분석한다. 가설검정은 비모수 독립표본 검정으로 시행하며, 결과는 Table 3과 같다. 분석 결과, 도시-지방 지역의 종속변수들은 통계적으로 유의한 수준(신뢰수준 95%)에서 귀무가설(H_0 : 독립된 분포가 범주에서 같다)을 기각한다. 이에 두 그룹은 사고 특성이 같다고 할 수 없다.

Table 3. Independent Samples t-test (dependent variables)

Classification	Mann Whitney U	Wilcoxon W	Test statistic	Standard error	Standardized test statistic	Exact Sig.(2-side)
N. of accident	219.50	780.50	219.50	61.61	-2.87	0.004
N. of injury and fatal	251.00	812.00	251.00	61.64	-2.35	0.019

또한 분류된 그룹의 독립변수 중 운영특성에 관련된 변수인 교통량 및 중차량 비율의 차이를 가설검정을 통해 분석한다. 가설검정은 비모수 독립표본 검정으로 시행하며, 결과는 Table 4와 같다. 분석 결과, 도시-지방 지역의 교통량은 통계적으로 유의한 수준(신뢰수준 95%)에서 귀무가설(H_0 : 독립된 분포가 범주에서 같다)을 기각한다. 또한 중차량 비율의 유의수준은 0.060으로 90% 수준에서 귀무가설을 기각한다. 이에 두 그룹은 교통량 및 중차량 비율은 같다고 할 수 없다.

Table 4. Independent Samples t-test (independent variables)

Classification	Mann Whitney U	Wilcoxon W	Test statistic	Standard error	Standardized test statistic	Exact Sig.(2-side)
ADT	575.00	875.00	575.00	61.87	-2.89	0.004
Heavy vehicle ratio	279.50	579.50	279.50	61.86	1.883	0.060

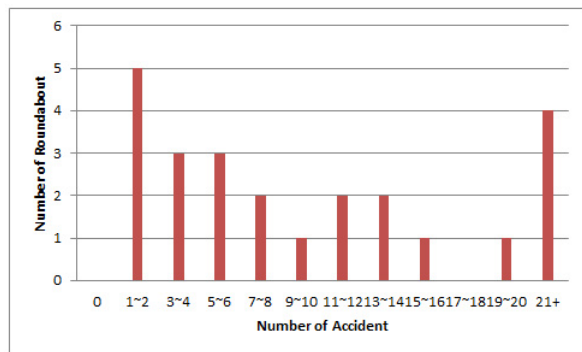
3.2. 변수 선정

모형의 개발을 위해 선정한 종속변수는 도시 및 지방 지역의 사고건수와 사상자수이다. 독립변수는 수집된 자료 중 사고와 밀접한 관계가 있을 것으로 판단되는 총 22개의 독립변수를 수집하였다. 변수의 정의 및 각 그룹별 평균은 Table 5와 같다.

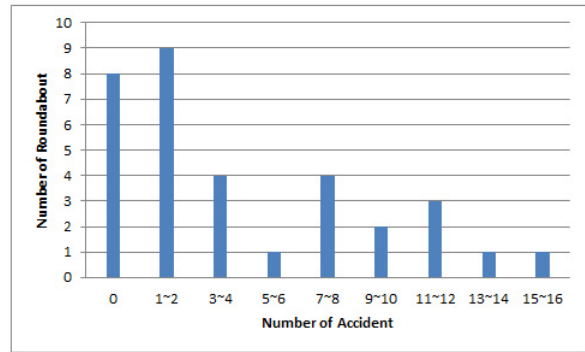
Table 5. Definition of Variables

Variable	Definition		Mean	
			urban	rural
Y_1	urban	number of accident	11.75	-
Y_2		number of injury and fatal	22.42	-
Y_3	rural	number of accident	-	4.42
Y_4		number of injury and fatal	-	6.03
X_1	ADT		17836.85	9046.87
X_2	diameter of central island		20.42	22.08
X_3	diameter of inscribed circle		34.87	36.52
X_4	number of circulatory roadway lane		1.38	1.45
X_5	width of circulatory roadway		5.67	5.92
X_6	parking(0 no parking, 1 parking)		0.46	0.55
X_7	segregation level of pedestrian and vehicle		1.29	0.91
X_8	area of intersection		2852.63	3148.74
X_9	number of approaches		4.63	4.24
X_{10}	average number of approach lanes		1.48	1.27
X_{11}	average width of approach lanes		5.13	4.39
X_{12}	maximum of approach lanes		6.54	5.48
X_{13}	number of raised splitter island		0.50	0.76
X_{14}	number of painted splitter island		2.63	2.52
X_{15}	number of total splitter island		3.13	3.27
X_{16}	average number of crosswalk by approach		0.94	0.82
X_{17}	number of branch point		4.17	3.15
X_{18}	number of speed reduction facility		1.04	0.48
X_{19}	number of lighting		4.88	3.79
X_{20}	number of sign		5.50	5.48
X_{21}	heavy vehicle ratio(heavy vehicle/ADT)		5.90	11.04
X_{22}	conflict ratio(conflict vehicle/ADT)		2.47	1.13

모형 개발에 앞서 종속변수로 사용한 교차로별 교통사고 건수에 대한 분포 분석 결과는 Fig. 1과 같다. 도시지역 회전교차로에서는 교통사고 발생 건수가 0건인 지역이 나타나지 않았고, 21건 이상인 지역이 4개소 있는 것으로 분석된다. 또한 지방지역에서는 교통사고 발생 건수가 0건인 지역이 8개소가 있는 것으로 분석된다.



<Urban Roundabouts>



<Rural Roundabouts>

Fig. 1 Distribution Analysis of N. of Accident

4. 모형 개발 및 논의

4.1. 도시지역

교통사고 건수 모형은 종속변수가 완전한 연속형 자료가 아닌 셀 수 있는 자료로 구축되기 때문에 가산 자료(count data)를 기반으로 한 포아송 회귀모형을 주로 활용한다. 이러한 포아송 회귀모형은 등분산(평균과 분산이 동일)을 가정하고 있으나, 실제 교통사고 자료는 과분산(분산이 평균보다 큼)의 문제가 빈번히 발생한다. 이런 경우 과분산을 전제로 개발되는 음이항 회귀모형을 사용하는 것이 일반적이다(박길수, 2011, p.18). 포아송과 음이항 모형은 과분산을 나타내는 α 에 의해 결정되며, 과분산계수(α)의 t 값이 1.96이상이면 음이항 회귀모형을 사용하는 것이 바람직하다. 또한 최종 도출된 모형에 대한 설명력과 모형의 적합성을 검증하는데는 우도비(ρ^2)가 이용된다.

도시지역 사고건수 및 사상자수 모형은 Table 6과 같다. 두 모형은 과분산계수의 t값이 각각 2.571 및 3.060으로 나타나 음이항 모형이 적합한 것으로 판단된다.

선정된 모형에는 교통량, 회전차로 수 및 돌출형태의 분리교통섬 개수가 변수로 채택된다. 채택된 모형의 변수들은 통계적(신뢰수준 95%)으로 유의하다.

교통량과 회전차로 수는 사고와 양의 상관관계로, 이들 변수가 증가할수록 사고가 증가하는 것으로 분석된다. 교통량은 사고와 가장 밀접한 상관성이 있는 변수로, 교통량이 증가하면 사고의 노출빈도가 증가하여 사고가 증가하는 것으로 판단된다. 또한 회전차로 수가 증가하면, 회전차로 내에서 차로변경 및 불필요한 상충이 발생하여 사고가 증가하는 것으로 판단된다.

돌출형태의 분리교통섬 개수는 도시 회전교차로 사고와 음의 상관관계를 갖는 것으로 분석된다. 일반적으로

Table 6. Urban Roundabout Accident Models

Classification		Accident (Y_1)		Injury and fatal (Y_2)	
		Poisson	Negative binomial	Poisson	Negative binomial
constant	Coeff.	1.837	1.346	-	-
	t-ratio	8.725	2.988	-	-
	p-value	0.000	0.003	-	-
X_1	Coeff.	6.37E-05	7.50E-05	4.82E-05	7.50E-05
	t-ratio	8.961	4.382	9.94086	4.26134
	p-value	0.000	0.000	0.000	0.000
X_4	Coeff.	-	-	1.163	0.921
	t-ratio	-	-	22.216	3.916
	p-value	-	-	0.000	0.000
X_{13}	Coeff.	-0.43571	-0.391	-0.415	-0.630
	t-ratio	-4.916	-2.348	-5.555	-2.067
	p-value	0.000	0.019	0.000	0.039
ρ^2		0.405	0.273	0.698	0.482
Alpha (α)		-	2.571	-	3.060

도시 지역에 설치된 회전교차로는 많은 보행량 및 회전 교통량을 처리하게 된다. 돌출형태의 분리 교통섬을 설치하는 것은 이런 상충 교통류들을 효과적으로 분리시키는데 도움을 줄 것으로 판단된다.

도시지역은 많은 교통량에 의해 발생하는 상충과 관련된 변수들이 채택된다. 이에 이러한 상충을 효과적으로 분리할 수 있는 방안은 도시지역 회전교차로의 사고 감소에 도움을 줄 것으로 판단된다.

4.2. 지방지역

지방지역 사고건수 및 사상자수 모형 개발 결과는 Table 7과 같다. 사고건수 모형은 과분산계수의 t값이 1.954로 포아송 모형이 적정 모형으로 선정되었으며, 사상자수 모형은 과분산계수의 t값이 2.844로 음이항 모형이 적정모형으로 선정되었다.

선정된 모형에 채택된 변수는 교통량, 회전차로 폭, 주차허용 유/무, 평균 접근차로 수, 평균 접근차로 폭 및 돌출형태의 분리교통섬 개수이다. 채택된 변수들은 통계적(신뢰수준 95%)으로 유의하다.

교통량, 회전차로 폭, 주차허용 유/무 및 평균 접근차로 수는 사고와 양의 상관관계를 갖는다. 지방지역에 설치된 회전교차로는 상대적으로 교통량이 적기 때문에 회전차로 폭이 증가하면 속도가 증가하여 사고 발생의 원인이 되는 것으로 판단된다.

회전차로 내 주차는 허용하지 않는 것이 원칙이나, 지

방지역의 회전교차로의 경우 일부 허용하고 있다. 이러한 주차의 허용은 사고 노출 빈도를 증가시켜 사고 발생의 원인이 되는 것으로 판단된다. 또한 회전교차로의 특성상 교차로 내 주차차량은 시거 확보가 어렵기 때문에 금지하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

또한 접근로 차로 수가 증가할수록 차선변경을 위해 운전자의 판단 횟수가 증가하며, 이에 사고가 증가하는 것으로 판단된다. 또한 회전교차로는 교차로의 운영특성상 접근차로 수가 많아질수록 상충지점 수가 증가하며, 이는 사고의 원인이 되는 것으로 판단된다.

평균 접근차로 폭 및 돌출형태의 분리교통섬 개수는 사고와 음의 상관관계를 갖는 것으로 분석된다. 지방지역에서 접근차로 폭이 너무 좁으면 보행자의 대기 공간을 침범하고, 적절한 회전반경을 확보하기 어렵기 때문에 사고가 증가하는 것으로 판단된다.

Table 7. Rural Roundabout Accident Models

Classification		Accident (Y_3)		Injury and fatal (Y_4)	
		Poisson	Negative binomial	Poisson	Negative binomial
constant	Coeff.	-0.989	-0.993	-	-
	t-ratio	-2.298	-1.357	-	-
	p-value	0.022	0.175	-	-
X_1	Coeff.	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002
	t-ratio	6.743	4.007	25.548	9.299
	p-value	0.000	0.000	0.000	0.000
X_5	Coeff.	0.078	0.051	-	-
	t-ratio	2.003	0.683	-	-
	p-value	0.045	0.494	-	-
X_6	Coeff.	0.432	0.294	-	-
	t-ratio	3.095	1.190	-	-
	p-value	0.002	0.234	-	-
X_{10}	Coeff.	1.242	1.273	-	-
	t-ratio	4.113	2.282	-	-
	p-value	0.000	0.022	-	-
X_{11}	Coeff.	-0.275	-0.294	-	-
	t-ratio	-2.903	-1.862	-	-
	p-value	0.004	0.063	-	-
X_{13}	Coeff.	-	-	-0.126	-0.380
	t-ratio	-	-	-2.001	-2.080
	p-value	-	-	0.045	0.022
ρ^2		0.352	0.087	0.164	0.282
Alpha (α)		-	1.954	-	2.844

지방지역 회전교차로 사고는 교차로 내에 다른 물체(주차된 차량 등) 및 차량과 상충에 관련된 변수가 채택

된다. 이에 회전차로 내 주차 금지, 적절한 회전반경 확보, 적절한 회전차로 폭 등이 사고를 감소시킬 수 있는 방안이 될 것으로 판단된다.

4.3. 모형비교 및 논의

연구의 결과 교통량, 회전차로 수, 회전차로 폭, 주차 허용 유/무 및 평균 접근차로는 사고와 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타나고, 평균 접근차로 폭 및 돌출형태의 분리교통섬 개수는 사고와 음의 상관관계를 갖는 것으로 분석된다. 이를 기존 연구 결과와 비교한 결과는 Table 8과 같다.

Table 8. Comparison with Previous Studies

Accident factors	Previous studies	This study	Comparison
ADT	(+) (generally study)	(+)	equal
number of circulatory roadway lanes	(+) (Kim, K. H. 2012a etc.)	(+)	equal
width of circulatory roadway	(+) (Park, B. H. 2012 etc.)	(+)	equal
	(-) (Na, H. 2012)		unequal
parking	(+) (Kim, K. H. 2012a etc.)	(+)	equal
number of average approach lanes	(+) (Kim, K. H. 2012a etc.)	(+)	equal
width of average approach lanes	(-) (Kim, K. H. 2012a etc.)	(-)	equal
	(+) (Park, B. H. 2012 etc.)		unequal
number of raised splitter island	(-) (Kim, K. H. 2012b etc.)	(-)	equal

대부분의 결과가 기존 연구와 일치하고 있지만, 중앙교통섬 직경 및 평균 접근로 폭 등은 연구별로 이견을 보이고 있다. 이들 변수는 사고가 발생하는 조건에 따라 사고와 음 또는 양의 상관관계를 보일 수 있는 변수들로 이에 대한 연구는 향후 지속적인 자료 수집 등을 통해 확인할 필요가 있다고 판단된다.

또한 이 연구에서는 기존 연구와 달리 분리 교통섬을 노면표시형태의 분리교통섬과 돌출형태의 분리교통섬으로 구분하였다. 김경환 등(2012)의 연구에서 전체 분리교통섬의 합계가 사고와 음의 상관관계를 나타내고 있으나, 이 연구에서는 돌출형태의 분리 교통섬 수만 모형에 채택되어 사고와 유의미한 음의 상관관계가 있는 것으로 분석된다.

5. 결론

5.1. 주요 결과

이 연구는 도시 규모를 고려한 회전교차로의 사고 모형을 개발하고, 이를 토대로 안전성 향상 방향을 논의하는데 목적을 두고 있다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 현재 회전교차로 설계지침은 교차로의 크기에 따라 소형, 1차로 및 2차로 회전교차로를 구분하고 있지만 설치 위치에 따라 도시 및 지방의 교통사고건수 및 사고건수에 차이가 있다는 가설을 입증하였다.

둘째, 지방 및 도시지역의 통계적으로 유의한 포아송 및 음이항 사고건수 모형과 사고건수 모형을 개발하였다. 개발된 모형에 채택된 변수는 교통량 등 7개의 변수이며, 이 변수들은 통계적으로 유의하다(신뢰수준 95%).

마지막으로 공통변수로 교통량이 채택되었으며, 이는 교통량이 증가함에 따라 상충 빈도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

5.2. 연구 결과 활용 및 향후과제

연구 결과 도시지역은 많은 교통량에 의해 발생하는 상충과 관련된 변수들이 채택된다. 이에 이러한 상충을 효과적으로 분리할 수 있는 방안은 도시지역 회전교차로의 사고 감소에 도움을 줄 것으로 판단된다. 또한 지방지역 회전교차로 사고는 교차로 내에 다른 물체(주차된 차량 등) 및 차량과 상충에 관련된 변수가 채택된다. 이에 회전차로내 주차 금지, 적절한 회전반경 확보, 적절한 회전차로 폭 등이 사고를 감소시킬 수 있는 방안이 될 것으로 판단된다.

연구의 결과를 기존 연구와 비교·검토한 결과, 중앙교통섬 직경 및 평균 접근로 폭은 연구별로 이견을 보인다. 이는 향후 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

또한 이 연구는 사고 발생 모형의 개발을 통해 운영 특성이 상이한 도시부와 지방부의 회전교차로의 사고 원인의 차이를 분석한 연구로 몇 가지 한계를 지니고 있다.

첫째, 이 연구는 교통 운영 특성이 다른 도시부와 지방부를 구분하는데 사용한 기준으로 행정구역 활용하였다. 하지만 운영 특성은 교차로 규모, 주변의 토지이용 및 접근 도로 기능 등 다양한 요소에 의해 결정된다. 이러한 점에서 이 연구는 한계를 지니며, 이는 향후 연구되어야 할 것으로 판단된다.

둘째, 이 연구는 2009년 이전에 건설된 회전교차로 설계지침을 만족하는 교차로를 선정하였으며, 이에 충분한 표본 수를 활용하지 못한 점에서 한계를 지닌다.

이는 향후 더 많은 회전교차로의 자료를 수집하여 보완할 필요가 있다고 판단된다.

REFERENCE

- Danielsa, S., Brijs, T., Nuyts, E., Wets, G. 2010a. Externality of risk and crash severity at roundabouts, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 42, Issue 6, 1966-1973.
- Danielsa, S., Brijs, T., Nuyts, E., Wets, G. 2010b. Explaining variation in safety performance of roundabouts, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 42, Issue 2, 393-402.
- Gross, F., Lyon, C., Persaud, B., Srinivasand, R. 2003. Safety Effectiveness of Converting Signalized Intersections to Roundabouts, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 50, 234-241.
- Han, S. S., Kim, K. H., Park, B. H. 2011. Accident Models of Circular Intersections by Type in Korea, *Korean Society of Road Engineers*, Vol. 13, No. 3, pp. 103-110.
- Isebrands, H. 2009. Crash Analysis of Roundabouts at High-speed Rural Intersections, 2009 TRB, Volume 2096, 1-7.
- Kim, K. H., Park, B. H. 2012. Simultaneous Equation Models for Evaluating Roundabout Accidents According to Different Driving Types, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 30, No. 5, 3-10.
- Kim, K. H., Park, K. S., Park, B. H. 2012. Traffic Accident Models of Urban Circular Intersections by Operational Type, *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 27, No. 2, 110-115.
- Montella, A. 2011. Identifying Crash Contributory Factors at Urban Roundabouts and Using Association Rules to Explore their Relationships to Different Crash Types, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.43, 1451-1463.
- Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, 2004. Provisional Roundabout Design Guideline.
- Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, 2010. Roundabout Design Guideline.
- Ministry of Security and Public Administration. 2013. 2014.07.17. Press Release.
- Na, H., Park, B. H. 2012. Accident Models of Circular Intersection by Cause Using ZAM, *Korean Society of Road Engineers*, Vol. 14, No. 2, 101-108.
- Park, B. H., Han, S. S. 2012. Accident Models of Circular Intersections by Weather Condition in Korea, *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 27, No. 6, 178-184.
- Park, B. H., Lim, J. K., Na, H., 2014. Motorcycle Accident Model at Roundabout in Korea using ZAM, *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 29, No. 3, 107-113.
- Park, K. S. 2011. Development of Traffic Accident Models by Type of Circular Intersection, Doctoral Dissertation, Chungbuk National University.
- Presidential Council on National Competitiveness. 2009. Advanced Methods of Traffic Operation System for Establishing the Basic Orders.
- Road Traffic Authority. 2008. A Study on the Technology and Operation of Traffic Signal System.
- The Korea Transport Institute. 2013. 2013 Project of Supporting Research Policy Related Roundabout in Korea.
- The National Police. 2009. Project for Advancement of Traffic Control and Operation Systems.
- Traffic accident analysis system, Road Traffic Authority(TAAS : <http://taas.koroad.or.kr>)
- Transportation Safety Authority. 2013. Analysis of Intersection Traffic Accident.