

학교와 인접한 원형교차로의 보행자 사고율 모형

손슬기 · 이민영 · 박병호*

충북대학교 도시공학과

Pedestrian Accident Rate Models of Circular Intersection Near Schools

SON, Seul Ki · LEE, Min Yeong · PARK, Byung Ho*

Department of Urban Engineering, Chungbuk University, Cheongju 28644, Korea

*Corresponding author: bhpark@chungbuk.ac.kr

Abstract

The objective of this study is to analyze the factors affecting the pedestrian accidents of roundabout near schools. To this end, this study has focus on the comparative analysis of pedestrian accidents across different school areas. The traffic accident data from 2007 to 2014 are collected from TAAS data set of Road Traffic Authority. To develop the pedestrian accident rate model, the linear regression model has been utilized in this study. 28 explanatory variables such as geometry and traffic volume factors are used. The main results are summarized as follows. First, the null hypotheses that the number of pedestrian accidents are the same are rejected. Second, 5 multiple linear regression accident models with higher statistical significance (adjusted R^2 of 0.651~0.788) have been developed. Third, while the common variables of 3 models (model I~III) related to school location are evaluated to be the pedestrian island, crosswalk, types of roundabout, elementary school and bus stop. Fourth, while the common variable of 3 models (model III~V) related to near school area or not is evaluated to be pedestrian island, type of roundabout, sidewalk, elementary school, speed hump, speed limit sign and number of entry lane. As a result, the installation of pedestrian islands and crosswalk might be expected to decrease the number of pedestrian accidents near schools.

Keywords: accident rate model, circular intersection, multiple linear regression model, pedestrian accident models, school

초록

이 연구는 원형교차로의 안전성을 다루고 있다. 연구의 목적은 학교와 인접한 원형교차로에서의 보행자 사고에 영향을 미치는 요인을 분석하는데 있으며, 이를 위해 이 연구는 학교 위치에 따른 보행자 사고를 비교분석하는데 중점을 두고 있다. 교통사고자료는 도로교통공단의 「교통사고분석시스템(TAAS)」를 이용하여 8개년도(2007-2014년) 자료이다. 보행자 사고모형을 개발하기 위해 다중선형회귀모형이 이용되며, 종속변수는 교통사고율이다. 독립변수에는 교차로의 기하구조 요인과 교통량 등이 포함된 28개 변수가 선정된다. 연구의 주요결과는 다음과 같다. 첫째, 모형개발에 앞서 학교와 인접한 원형교차로와 인접하지 않은 원형교차로의 사고가 차이가 있는지 확인하기 위해 가설검정을 실시한 결과, 차이가 있는 것으로 분석된다. 학교와 인접한 원형교차로일수록 사고가 오히려 적게 발생하는 것으로 평가된다. 둘째, 수정된 R^2 값이 0.651-0.788으로 통계적으로 유의한 총 5개의 모형이 개발된다. 셋째, 학교와 인접한 원형교차로

J. Korean Soc. Transp.
Vol.35, No.4, pp.321-331, August 2017
<https://doi.org/10.7470/jkst.2017.35.4.321>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 7 June 2017

Revised: 2 August 2017

Accepted: 22 August 2017

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.

(모형 I-III)의 공통변수로는 분리교통섬 유무와 횡단보도 유무, 그리고 특정변수로는 원형교차로 유형, 초등학교 유무 및 정류장 유무가 채택된다. 넷째, 학교와 인접한 원형교차로와 인접하지 않은 원형교차로(모형 III-V)의 공통변수에는 분리교통섬 유무, 그리고 특정변수로는 원형교차로 유형, 초등학교유무, 횡단보도 유무, 감속시설 유무, 제한속도표지판 유무 및 유입차로 수가 선정된다. 따라서 학교 인접 원형교차로 유무에 따라 학생들의 안전을 확보하기 위해서는 학생들이 원형교차로 횡단 시 대기할 수 있는 공간을 제공해주는 분리교통섬과 안전하게 횡단할 수 있는 횡단보도의 설치가 권장된다.

주요어: 사고율모형, 원형교차로, 다중선형 회귀모형, 보행자 사고모형, 학교

서론

1. 연구의 배경 및 목적

원형교차로는 2010년 이후 정부차원의 활성화 추진정책에 따라 서울을 비롯해 전 지역에서 설치되고 있다. 원형교차로는 신호체계가 없어 교통흐름이 원활해지고, 불필요한 신호대기 시간이 줄어 공회전에 따른 연료소모가 감소한다. 그에 따라서 이산화탄소의 배출이 감소해 환경적으로 긍정적인 영향을 끼친다는 장점을 가지고 있다.

어린이보호구역(school zone)이란 어린이를 교통사고로부터 보호하기 위해 초등학교 주 출입문을 기준으로 반경 300m 이내를 대상으로 교통시설 및 교통체계를 어린이 중심으로 변경하는 것을 말한다. 어린이보호구역에 있는 원형교차로의 경우 신호체계가 없어 학생들의 안전을 위협할 수 있다. 특히 초등학생들은 시야가 좁을뿐더러 운전자의 눈에 잘 띄지 않아 위험이 상존한다. 아울러 중학생들 역시 교통사고로 인한 피해가 많음에도 불구하고, 초등학생 교통사고에 비해 사회적 관심이 적은 것이 현실이다. 이에 많은 학부모들이 지속적으로 학교 앞 원형교차로의 안전성에 대한 민원을 제기하고 있으며, 존폐여부에 대한 논란이 일어나고 있다.

따라서 이 연구는 학교 근처에 있는 원형교차로들을 대상으로 다양한 보행자 사고모형 개발을 통해 어떠한 요인이 사고에 영향을 미치는지 분석하고, 보행 안전성을 증진하는 방안을 논의하는데 그 목적이 있다.

2. 연구의 내용 및 방법

이 연구는 우선 학교와 인접한 원형교차로의 보행자 사고모형을 거리별로 비교분석하기 위해 학교와의 거리가 150m 이내 22개소와 150-300m 14개소, 총 36개소의 학교 인접 원형교차로(회전교차로 19개소, 로터리 17개소)를 분석대상으로 선정한다. 또한 학교 인접 여부에 따른 보행자 사고모형을 비교분석하기 위해 학교와 인접하지 않은 37개소의 원형교차로를 분석대상으로 선정한다. 따라서 이 연구는 국내에서 운영되고 있는 총 73개소의 원형교차로(도로교통공단에서 선정한 100개소의 주요 원형교차로에서 2007년 이전에 설치된 교차로 제외)를 다루고 있다.

연구의 방법은 다음과 같다. 첫째, 국내·외 문헌고찰을 통하여 선행연구를 살펴보고, 기존연구와의 차별성을 밝힌다. 둘째, 보행자사고와 기하구조 자료를 수집하여 이를 코딩한 후, 종속변수와 독립변수를 선정한다. 셋째, 통계프로그램 SPSS20.0을 이용하여 ‘원형교차로의 학교 인접 여부가 보행자 사고발생에 영향을 미치는지’, 그리고 ‘학교와의 거리가 학교와 인접한 원형교차로의 보행자 사고발생에 영향을 미치는지’에 대한 가설검정을 실시한다. 넷째, 다중회귀분석법을 통해 학교와 인접한 원형교차로 보행자 사고모형 3개, 학교와 인접하지 않은 원형교차로 보행자 사고모형 그리고 전체 원형교차로 보행자 사고모형으로 총 5개의 모형을 개발한다. 마지막으로 개발된 모형들을 비교분석·논의함으로써 개선방안을 제안하고, 향후과제를 제시한다.

기존문헌 고찰 및 연구의 차별성

1. 기존문헌 고찰

이 연구에서는 학교 인접 교차로의 안정성 평가나 사고모형에 관련된 전반적인 연구의 흐름이나 관련 변수들을 파악하기 위해 기존문헌들을 고찰한다.

Chang et al.(2010)은 어린이 보호구역에서의 교통사고 현황 및 특성을 분석하고 문제점을 찾아, 우리나라의 어린이 보호구역에서의 교통안전을 증가시킬 수 있는 개선방안을 제시하고 있다. 저자들은 어린이 보호구역의 안전성을 증대시키기 위해서는 제도적인 관심과 노력뿐 아니라 어린이 교통사고 대책을 여러 해외사례와 교통사고 분석을 통하여 실질적인 측면에서 지속적으로 검토해야 할 필요가 있다고 주장하고 있다.

Jung et al.(2008)은 비교그룹을 이용한 사전·사후 분석 방법을 통해 어린이 보호구역 개선사업이 어린이 교통사고에 미치는 영향을 분석하고 있다. 저자들은 어린이 보호구역 개선사업이 이루어지면 교통사고건수가 약 39% 감소하며, 사고 심각도는 40% 감소하기 때문에 전체적으로 효과가 있는 것으로 분석하고 있다.

Lee et al.(2012)은 어린이들이 실제로 학교주변에서 느끼는 스쿨존의 안전성을 평가하고자 학교주변의 환경과 교통안전에 관련된 시설물들을 평가할 수 있는 지수를 개발하고 있다. 저자들은 평가지표를 어린이 보호구역의 각 영역별로 점(지점), 선(구간) 및 면(권역)의 3가지로 나누어 평가할 수 있도록 하고, 향후 개선 시 어떤 부분을 우선 개선할 수 있는지도 함께 제시하고 있다.

Park(2013)는 국내 회전교차로에서의 보행자사고모형을 개발하기 위해 보행자 총 사고, 횡단중 사고, 길 가장자리 통행중 사고, 그리고 차도 및 보도 통행중 사고로 구분하여 ZAM(zero-altered model)을 개발하고 있다. 저자들은 교통량이 증가하고 접근로수가 많을수록 사고가 증가하며, 회전차로 폭이 좁고 감속시설수가 적을수록 보행자 사고가 증가하는 것으로 분석하고 있다.

Lee(2005)는 횡단 보행자의 동태적 행위와 사고와의 관계를 사고예측모형 개발을 통해 제시하고 있으며, 모형의 상대적인 비교기준과 신뢰도를 높이기 위해 백만 진입차량 당 보행자 사고율을 종속변수로 선정하고, 다중회귀모형을 통해 이를 분석하고 있다. 저자는 횡단보행자의 행위별 안전을 위해서는 차량의 속도에 의한 물리적 요인을 저감시켜야 확보될 수 있는 것으로 주장하고 있다.

Jeong et al.(2011)은 루프검지기 속도자료와 고속도로 사고 자료를 이용해 속도를 이용한 고속도로 구간 사고율 예측모형을 다중회귀모형을 통해 개발한 바 있다. 저자들은 속도와 사고율과의 관계는 최솟값, 중앙값 그리고 표준편차의 값이 증가하면 사고율이 증가하는 것으로 분석하고 있다.

Chiayuan et al.(2016)은 텍사스 오스틴에 있는 공립학교 주변을 대상으로 충돌비율과 보행자 충돌에 대한 건축 환경의 영향을 분석한 바 있다. 저자들은 상업적 용도, 대중교통 정류장 및 고속도로에 둘러싸인 학교에서 운전자 및 보행자 충돌 속도가 높다고 분석하고 있다.

Lesley et al.(2015)은 스쿨존에서의 과속 및 속도제한 준수와 같은 운전자 행동이 사고빈도에 미치는 영향을 조사한 바 있다. 저자들은 스쿨존이 차량의 속도를 줄이는데 있어 비효율적인 것을 확인하고 있으며, 차선 수는 운전자의 행동에 영향을 미치고, 4차선도로에 위치한 스쿨존은 2차선 도로에 위치한 스쿨존보다 더욱 효과적이라 주장하고 있다.

Linda et al.(2016)은 어린이 보행자·차량 사고의 비율이 높은 학교의 경우 보행 통학, 건조 환경(built environment) 및 사회 위험 요소에 관련되는지를 로지스틱 회귀방법을 이용하여 분석한 바 있다. 저자들은 보행 통학이 많다는 것은 어린이 사고에 관련되지 않고, 일방통행로일수록, 주거 밀도가 낮을수록 어린이 보행자사고율이 높다고 분석하고 있다.

Tove et al.(2007)은 포아송 및 로지스틱 회귀모형을 이용해 회전교차로 설계특성이 자전거 사고율에 미치는 영향을 분석한 바 있다. 저자들은 회전차량의 속도는 사고위험도에 명백하게 영향을 미치며, 속도는 자전거 이용자의 부상 심각도에 매우 큰 영향을 미친다고 주장하고 있다.

Frank et al.(2012)은 신호교차로를 회전교차로로 전환할 때 발생하는 안전 효과를 분석한 바 있다. 저자들은 차로의 교통량이 증가함에 따라 회전교차로의 안전이점이 감소하는 것으로 나타났으며 도시지역보다 교외지역의 회전교차로 전환효과가 더 높은 것으로 분석하고 있다.

Rune et al.(2017)은 일반교차로를 회전교차로로 전환할 때의 도로안전효과를 메타분석을 통해 분석한 바 있다. 저자들은 일반 교차로를 회전교차로로 전환하면 치명적인 사고가 65%감소하고, 부상사고가 40% 감소하며 영향에 대한 추정치는 시간이 지남에 따라 안정적이게 변화한다고 주장하고 있다.

Table 1. List of variables

Classification	Symbol	Definition of variable (unit)	Mean	Standard deviation	Variance	VIF
Dependent variable	Y	Accident rate (Number of pedestrian accident / (AADT/1,000))	2.97	2.57	6.58	-
Independent variable	X_1	Type of Circular intersections (Roundabout=1, Rotary=0)*	0.53	-	-	1.64
	X_2	Number of student (people / 100)	3.67	5.30	28.09	2.11
	X_3	Number of approach road (No.)	4.74	1.07	1.14	2.38
	X_4	Number of entry lane (No.)	1.67	0.75	0.56	3.84
	X_5	Entry lane width (m)	5.84	2.42	5.84	4.68
	X_6	Splitter island (yes=1, Otherwise=0)*	0.55	-	-	3.17
	X_7	Average area of splitter island (m^2)	0.30	1.14	1.30	2.69
	X_8	Number of exit lane (No.)	1.62	0.66	0.43	4.17
	X_9	Exit lane width (m)	5.92	2.50	6.24	4.99
	X_{10}	Speed hump (yes=1, Otherwise=0)*	0.44	-	-	5.18
	X_{11}	Circular intersection sign (yes=1, Otherwise=0)*	0.74	-	-	2.51
	X_{12}	Speed limit sign (yes=1, Otherwise=0)*	0.77	-	-	5.24
	X_{13}	Number of circulatory roadway (No.)	1.88	1.00	1.00	5.14
	X_{14}	Circulatory roadway width (m)	5.25	2.34	5.50	4.97
	X_{15}	Inscribed circle diameter of minor axis (m)	45.94	31.22	974.40	6.17
	X_{16}	Inscribed circle diameter of major axis (m)	48.10	31.91	1018.56	4.11
	X_{17}	Central island diameter of minor axis (m)	28.64	28.15	792.17	4.21
	X_{18}	Central island diameter of major axis (m)	30.29	28.77	827.79	3.85
	X_{19}	Truck apron (yes=1, Otherwise=0)*	0.45	-	-	3.95
	X_{20}	Truck apron width(m)	0.59	70.39	495500.34	4.43
	X_{21}	Total area (m^2)	53.49	42.99	184892.57	5.18
	X_{22}	Central island area (m^2)	12.93	13.37	17893.36	6.11
	X_{23}	Circulatory roadway area (m^2)	12.84	7.45	5559.70	5.71
	X_{24}	Crosswalk (yes=1, Otherwise=0)*	0.97	-	-	4.56
	X_{25}	Bus stop (yes=1, Otherwise=0)*	0.62	-	-	5.11
	X_{26}	Sidewalk (yes=1, Otherwise=0)*	0.97	-	-	5.12
	X_{27}	Elementary school (yes=1, Otherwise=0)*	0.40	-	-	1.18
	X_{28}	Middle school (yes=1, Otherwise=0)*	0.26	-	-	1.68

*: Means of dummy variables indicate ratio of 'yes=1'.

2. 연구의 차별성

지금까지 원형교차로의 안전성과 관련된 많은 연구들이 진행되어 왔다. 이 연구는 기존 연구들과 다음과 같은 차별성을 지닌다.

첫째, 기존 어린이보호구역에서의 안전성에 대한 연구는 일반적인 신호교차로에 관한 연구가 대부분이며, 원형교차로와 관련된 연구는 없다. 따라서 이 연구에서는 학교와 인접한 원형교차로를 대상으로 어린이 보행자 안전성 증진을 위한 연구를 진행한다.

둘째, 기존 원형교차로 보행자 안전성에 관한 대부분의 연구는 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용한 원형교차로의 보행신호 설치효과에 관한 연구이다. 그러나 이 연구에서는 국내 실제로 운영되고 있는 학교인근 원형교차로의 경험적 사고모형 개발을 통해 개선방안을 제시한다는 점에 연구의 차별성이 있다.

분석의 틀 설정

1. 자료수집

이 연구는 전술한 총 73개의 원형교차로를 대상으로 분석하기 위해 도로교통공단의 「교통사고분석시스템(TAAS: traffic accident analysis system)」을 이용하여 8개년도(2007-2014년)의 차 대 사람 사고 자료를 수집한다. 아울러 기존문헌 고찰을 통해 학교인근 원형교차로에서 사고에 영향을 미칠 것으로 판단되는 각 교차로의 기하구조 및 운영자료를 AutoCAD 및 현장조사를 통해 수집·보완한다.

2. 변수 선정

이 연구에서는 교통량이 사고건수에 미치는 영향을 최소화하기 위해 보행자 사고율(보행자교통사고건수/(AADT/1,000))을 종속변수로, 선행연구 고찰을 통해 학교인접 원형교차로 사고와 밀접한 관련이 있을 것으로 판단되는 교통량과 기하구조 요인들을 독립변수로 선정한다. 선정된 변수들의 요약통계 분석 및 다중공선성 분석은 Table 1과 같다. 분산팽창계수(VIF: variance inflation factor)가 10이 넘으면, 다중공선성에 문제가 있다고 판단하는데, 선정된 변수 모두 VIF 계수가 7보다 적기 때문에 다중공선성 문제가 없다고 평가된다.

사고모형 개발 및 논의

1. 가설검정

모형을 개발하기에 앞서, ‘원형교차로의 학교 인접 여부가 보행자 사고발생에 영향을 미치는지, 그리고 학교와의 거리가 학교와 인접한 원형교차로의 보행자 사고발생에 영향을 미치는지’에 대한 가설검정을 실시한다. 가설검정은 두 집단의 평균을 비교할 수 있는 독립표본 t 검정을 이용해 분석한다.

먼저 Table 2의 요약통계를 살펴보면, 학교와 인접한 원형교차로와 인접하지 않은 원형교차로의 사고건수의 평균은 각각 2.08건과 3.84건으로 학교와 인접하지 않은 원형교차로일수록 사고가 많이 발생하는 것으로 분석된다. 또한 학교와 150m내에 있는 원형교차로와 150-300m에 있는 원형교차로의 사고건수는 각각 1.86건과 2.43건으로 학교와의 거리가 가까울수록 사고가 적게 발생하는 것으로 나타난다. 따라서 학교와의 거리가 가까운 원형교차로일수록 차량 운전자가 보행자 사고에 더욱 주의를 기울여 주행하기 때문에 사고 감소효과가 나타난 것으로 기대된다.

첫 번째 귀무가설은 ‘학교와 인접한 원형교차로와 인접하지 않은 원형교차로의 사고건수는 차이가 없다’라고 설정되며, 대립가설은 ‘학교와 인접한 원형교차로와 인접하지 않은 원형교차로의 사고건수는 차이가 있다’라고 설정된다. 가설검정 결과는 Table 3과 같다. 분석결과 유의확률이 0.05보다 작아 귀무가설을 기각하게 된다. 즉 ‘학교와 인접한 원형교차로와 인접하지 않은 원형교차로의 사고건수는 차이가 없다’라고 할 수 없다.

Table 2. Summary statistic by type

Classification	Type	N	Mean	Standard deviation	Standard error of the means
Number of pedestrian accident (No.)	Near school	36	2.08	2.183	0.364
	Near school - 150m	22	1.86	2.642	0.563
	Near school - 300m	14	2.43	1.158	0.309
	Not near school	37	3.84	2.641	0.434
	Total	73	2.97	2.57	0.348

Table 3. Independent sample t-test (near school or not)

Classification		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	p-value	t	df	p-value (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
number of accident	Equal variances assumed	4.932	0.030	-3.090	71	0.003	-1.755	0.568	-2.887	-0.622
	Equal variances not assumed	-	-	-3.098	69.209	0.003	-1.755	0.566	-2.884	-0.625

두 번째 가설검정의 귀무가설은 ‘학교와의 거리는 학교와 인접한 원형교차로의 보행자 사고 발생에 영향을 미치지 않는다’로 설정되며, 대립가설은 ‘학교와의 거리는 학교와 인접한 원형교차로의 보행자사고발생에 영향을 미친다’라고 설정된다. 가설검정 결과는 Table 4에 나타나듯이, 유의확률이 0.05보다 작아 귀무가설을 기각함에 따라 ‘학교와의 거리는 보행자 사고발생에 영향이 없다’는 증거가 없다고 분석된다.

Table 4. Independent sample t-test (by school location)

Classification		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	p-value	t	df	p-value (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
number of accident	Equal variances assumed	1.302	0.041	-2.752	34	0.030	-0.565	0.751	-2.887	0.622
	Equal variances not assumed	-	-	-2.879	31.024	0.032	-0.565	0.643	-2.884	0.625

2. 모형개발

이 연구에서는 다중회귀분석법을 이용해 학교와의 거리가 150m이내인 원형교차로(모형 I)와 300m이내인 원형교차로(모형 II), 학교인접 원형교차로 전체(모형 III)로 나누어 보행자 사고모형이 개발된다. 또한 학교와 인접하지 않은 원형교차로(모형 IV)와 전체 원형교차로(모형 IV)를 대상으로 보행자 사고모형이 개발되어 비교 분석하게 된다.

1) 학교와 인접한 원형교차로 사고모형

(1) 학교 150m 이내 원형교차로 (모형 I)

보행자 교통사고율을 종속변수로 한 학교와의 거리가 150m이내인 원형교차로의 사고모형을 구축한 결과는 Table 5와 6과 같다. 모형 I에서는 원형교차로의 유형, 분리교통섬 유무, 횡단보도 유무 및 초등학교 유무가 설명변수로 채택되며, 신뢰수준 95% 기준에 모두 유의하는 것으로 나타난다. 또한 모형 I의 수정된 R^2 값이 0.723이며, Durbin-Watson값이 1.683으로 1-3 사이에 있어 잔차의 독립성을 만족해 실측값과 예측값 사이 큰 차이가 없다고 할 수 있다. 채택된 변수들 모두 음(-)의 상관관계로 로터리일수록 그리고 분리교통섬, 횡단보도 및 초등학교가 없을수록 사고가 많이 발생하는 것으로 분석된다.

Table 5. GOF* of model I : within 150m

R^2	Adjusted R^2	Std. Err.	F	p-value	Durbin-Watson
0.799	0.723	1.051	2.789	0.012	1.683

*GOF(goodness of fit)

Table 6. Multiple linear regression model I

Variable	Non- Std. coeff.		Std. Coeff.	t-value	p-value
	B	Std. Err	β		
(Constant)	6.250	2.051	-	3.345	0.002
Type of Circular intersections	-1.252	0.000	1.682	-6.988	0.000
Splitter island	-0.482	0.005	-2.161	-5.153	0.000
Crosswalk	-2.050	0.010	1.998	-4.515	0.001
Elementary school	-0.739	0.000	1.155	-2.711	0.013

(2) 학교 150-300m 이내 원형교차로 (모형 II)

보행자 교통사고율을 종속변수로 하여 학교와 거리가 150-300m인 원형교차로의 사고모형을 구축한 결과는 Table 7과 8과 같다. 모형 II에서는 분리교통섬 유무, 횡단보도 유무 및 버스정류장 유무가 설명변수로 채택되며, 신뢰수준 95% 기준에 모두 유의하는 것으로 나타난다. 또한 수정된 R^2 값이 0.738이며, Durbin-Watson값이 2.204로 잔차의 독립성을 만족한다. 채택된 변수들 중 버스정류장은 양(+)의 상관관계로 버스정류장이 있을수록 사고가 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 분리교통섬 유무와 횡단보도 유무는 음(-)의 상관관계로 분리교통섬이 없을수록 횡단보도가 없을수록 사고가 많이 발생하는 것으로 평가된다.

Table 7. GOF of model II : 150-300m

R^2	Adjusted R^2	Std. Err.	F	p-value	Durbin-Watson
0.757	0.738	0.503	7.213	0.013	2.204

Table 8. Multiple linear regression model II

Variable	Non- Std. coeff.		Std. Coeff.	t-value	p-value
	B	Std. Err	β		
(Constant)	2.315	0.000	-	7.095	0.000
Splitter island	-0.288	0.001	0.881	-4.871	0.000
Crosswalk	-2.011	0.050	0.654	-2.371	0.011
Bus stop	1.041	1.305	0.436	3.151	0.015

(3) 학교와 인접한 원형교차로 전체 (모형 III)

보행자 교통사고율을 종속변수로 한 학교와 인접한 원형교차로의 사고모형 구축 결과는 Table 9와 10과 같다. 모형 III에서는 원형교차로 유형, 분리교통섬 유무, 횡단보도 유무 및 초등학교 유무가 설명변수로 채택되며, 신뢰수준 95% 기준에 모두 유의하는 것으로 나타난다. 또한 모형 III의 수정된 R^2 값이 0.651이며, Durbin-Watson값이 1.775로 잔차의 독립성을 만족해 실측값과 예측값 사이에 큰 차이가 없다고 할 수 있다.

채택된 변수들 모두 음(-)의 상관관계로 로터리일수록 그리고 분리교통섬, 횡단보도 및 초등학교가 없을수록 사고가 많이 발생하는 것으로 분석된다.

Table 9. GOF of model III

R^2	Adjusted R^2	Std. Err.	F	p-value	Durbin-Watson
0.779	0.651	1.558	13.118	0.005	1.775

Table 10. Multiple linear regression model III

Variable	Non- Std. coeff.		Std. Coeff.	t-value	p-value
	B	Std. Err	β		
(Constant)	4.468	0.517	-	3.956	0.000
Type of Circular intersections	-0.311	0.004	1.766	-7.343	0.017
Splitter island	-0.261	2.014	-2.950	-4.757	0.031
Crosswalk	-1.151	0.048	1.889	-2.848	0.018
Elementary school	-0.172	0.068	1.713	-3.483	0.001

2) 학교와 인접하지 않은 원형교차로 사고모형 (모형 IV)

보행자 교통사고율을 종속변수로 한 학교와 인접하지 않은 원형교차로의 사고모형 구축 결과는 Table 11과 12와 같다. 모형 IV에서는 총 진입교통량, 회전차로 수 및 분리교통섬 유무가 설명변수로 채택되며, 신뢰수준 95% 기준에 모두 유의하는 것으로 나타난다. 또한 모형 IV의 수정된 R^2 값이 0.788이며, Durbin-Watson값이 1.858로 잔차의 독립성을 만족해 실측값과 예측값 사이 큰 차이가 없다고 할 수 있다.

채택된 변수들 모두 음(-)의 상관관계로 감속시설이 없을수록, 제한속도표지판이 없을수록 그리고 분리교통섬이 없을수록 사고가 많이 발생하는 것으로 나타난다.

Table 11. GOF of model IV

R^2	Adjusted R^2	Std. Err.	F	p-value	Durbin-Watson
0.851	0.788	1.241	8.335	0.010	1.858

Table 12. Multiple linear regression model IV

Variable	Non- Std. coeff.		Std. Coeff.	t-value	p-value
	B	Std. Err	β		
(Constant)	4.431	0.001	-	4.988	0.000
Speed hump	-0.358	0.535	1.316	-6.151	0.031
Speed limit sign	-0.222	0.011	2.810	-2.116	0.000
Splitter island	-0.046	0.081	1.723	-3.692	0.015

3) 원형교차로 전체 사고모형 (모형 V)

보행자 교통사고율을 종속변수로 한 원형교차로 전체 사고모형 구축 결과는 Table 13과 14와 같다. 모형 V에서는 원형교차로 유형, 유입차로 수, 분리교통섬 유무 및 초등학교 유무가 설명변수로 채택되며, 신뢰수준 95% 기준에 모두 유의하는 것으로 나타난다. 또한 모형 V의 수정된 R^2 값이 0.784이며, Durbin-Watson값이 1.513으로 잔차의 독립성을 만족해 실측값과 예측값 사이 큰 차이가 없다고 할 수 있다.

채택된 변수들 중 유입차로 수는 양(+)의 상관관계로 유입차로수가 많을수록 사고가 많이 발생하는 것으로 나타나며, 원형교차로 유형, 분리교통섬 유무 및 초등학교 유무는 음(-)의 상관관계로 로터리일수록, 분리교통섬이 없을수록 그리고 초등학교가 없을수록 사고가 많이 발생하는 것으로 분석된다.

Table 13. GOF of model V

R^2	Adjusted R^2	Std. Err.	F	p-value	Durbin-Watson
0.794	0.784	1.315	6.489	0.003	1.513

Table 14. Multiple linear regression model V

Variable	Non- Std. coeff.		Std. Coeff.	t-value	p-value
	B	Std. Err	β		
(Constant)	4.353	0.641	-	5.118	0.000
Type of Circular intersections	-2.810	0.001	1.294	-2.516	0.002
Number of entry lane	0.351	4.101	0.565	3.151	0.048
Splitter island	-0.005	0.000	-0.350	-3.250	0.002
Elementary school	-1.511	5.080	-0.284	-2.002	0.037

3. 모형의 비교분석 및 논의

Table 15는 학교와 인접한 원형교차로 사고모형의 공통변수와 특정변수를 보여주는 표이다. 학교와 인접한 원형교차로의 공통변수로는 분리교통섬 유무와 횡단보도 유무가 채택된다. 우선 분리교통섬은 보행자가 신호가 없는 원형교차로를 횡단할 때 대기할 수 있는 공간을 제공해 학생 및 보행자의 안전을 확보할 수 있기 때문에 학교 인접 원형교차로의 보행자 사고에 영향을 주는 것으로 판단된다. 또한 횡단보도는 운전자가 횡단보도를 인식함에 따라 차량의 감속을 유도해 학생들에게 안전하게 횡단할 수 있는 장소를 제공해 주기 때문에 학교와 인접한 원형교차로의 보행자 사고에 영향을 주는 것으로 판단된다. 따라서 학교와 인접한 원형교차로에서 학생들의 안전을 확보하기 위해서는 학생들이 원형교차로 횡단 시 대기할 수 있는 공간을 제공해주는 분리교통섬과 안전하게 횡단할 수 있는 횡단보도의 설치가 권장된다.

학교반경 150m이내 원형교차로 사고모형(모형 I)과 학교와 인접한 원형교차로 전체사고모형(모형 III)의 특정변수로는 동일한 변수인 원형교차로 유형과 초등학교 유무가 채택된다. 이는 학교 인접 원형교차로의 약 60% 이상이 학교반경 150m이내에 위치하기 때문인 것으로 평가된다. 우선 두 개의 모형 모두에서 로터리일수록 보행자사고가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 로터리의 경우 교차로에 진입하는 차량이 우선권을 가지고 있어 차량이 고속으로 진입하는 반면, 회전교차로는 회전하는 차량이 우선권을 가지고 있어 교차로에 진입하는 차량이 저속으로 진입해야하기 때문에 교차로의 안전성이 비교적 높기 때문으로 판단된다. 그리고 초등학교가 있을수록 보행자사고가 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 학교 반경 300m 이내는 스쿨존으로 차량의 운행속도를 30km 이내로 제한하여 서행하기 때문에 사고가 감소하는 것으로 분석된다. 또한 대부분의 초등학교의 경우 학부모들이 교통안전도우미회(녹색어머니회) 활동으로 어린이들의 등하굣길 교통안전을 확보해 줌으로써 사고 감소 효과를 얻는 것으로 판단된다.

다. 학교반경 300m이내 원형교차로(모형 II)의 특정변수는 정류장유무가 채택되었는데 이는 학교근처에 정류장이 있으면 버스통행량이 많아져 보행자 통행 시 사고의 위험이 커지기 때문인 것으로 분석된다.

Table 15. Comparison of models with schools (model I-III)

Classification		Variables
Common variable		Splitter island(X_6), Crosswalk(X_{24})
Specific variables	Near school (Model III)	Type of Circular intersections(X_1),
	Near school : within 150m (Model I)	Elementary school(X_{27})
	Near school : 150-300m (Model II)	Bus stop(X_{25})

Table 16은 학교와 인접한 원형교차로(모형 III), 학교와 인접하지 않은 원형교차로(모형 IV) 및 원형교차로 전체(모형 V) 보행자 사고모형의 공통변수와 특정변수를 보여주는 표이다. 모형의 공통변수로는 분리교통섬 유무가 채택된다. 따라서 보행자 사고를 줄이기 위해서는 분리교통섬의 설치가 중요하다고 판단된다. 또한 학교 인접 원형교차로의 특정변수인 초등학교유무, 학교와 인접하지 않은 원형교차로의 특정변수인 감속시설 유무, 제한속도표지판 유무는 모두 차량의 원형교차로 진입속도 감소를 유도할 수 있는 변수이다. 따라서 원형교차로의 보행자 사고 감소를 위해서는 차량의 진입속도를 감소시킬 수 있는 속도관리전략을 마련하는 것이 중요하다고 판단된다.

Table 16. Comparison of 'near school or not' models (model III-V)

Classification		Variables
Common variables		Splitter island(X_6)
Specific variables	Near school (Model III)	Type of Circular intersections(X_1), Crosswalk(X_{24}), Elementary school(X_{27})
	Not near school (Model IV)	Speed hump(X_{10}), Speed limit sign(X_{12})
	Total (Model V)	Type of Circular intersections (X_1), Number of entry lane(X_4), Elementary school(X_{27})

결론

이 연구는 국내에서 운영되고 있는 원형교차로를 대상으로 학교와 인접한 원형교차로에서의 보행자사고에 영향을 주는 요인들을 분석한 연구이다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 학교와 인접한 원형교차로와 인접하지 않은 원형교차로의 사고가 차이가 있는지 확인하기 위해 가설검정을 실시한 결과, 차이가 있는 것으로 분석된다. 학교와 인접한 원형교차로의 사고건수가 학교와 인접하지 않은 원형교차로의 사고건수에 비해 2배 정도 적은 것으로 분석된다.

둘째, 수정된 R^2 값이 0.651-0.788으로 통계적으로 유의한 총 5개의 모형이 개발된다. 이중 3개는 학교와 인접한 원형교차로 보행자사고모형이며, 1개는 학교와 인접하지 않은 원형교차로의 사고모형, 그리고 나머지 1개는 원형교차로 전체 사고모형이다.

셋째, 학교와 인접한 원형교차로(모형 I-III)의 공통변수로는 분리교통섬 유무와 횡단보도 유무, 그리고 특정변수로는 원형교차로 유형, 초등학교 유무 및 정류장 유무가 채택된다.

마지막으로, 학교와 인접한 원형교차로와 인접하지 않은 원형교차로(모형 III-V)의 공통변수는 분리교통섬 유무, 그리고 특정변수로는 원형교차로 유형, 초등학교유무, 횡단보도 유무, 감속시설 유무, 제한속도표지판 유무 및 유입차로 수가 선정된다.

따라서 학교 인접 원형교차로의 안전을 확보하기 위해서는 학생들이 원형교차로를 횡단할 경우 대기할 수 있는 분리교통점과 보다 안전한 고원식횡단보도의 설치가 권장된다. 또한 원형교차로의 보행자 사고 감소를 위해서는 차량의 진입속도를 감소시킬 수 있는 속도관리전략 마련도 중요하다고 판단된다.

알림: 본 논문은 대한국토도시계획학회 2016 추계학술대회(2016.10.29)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

- Chang M. S., Park J. Y., Kim M. J., Jeong D. J. (2010), Improvement Measures for Traffic Safety at School Zone by Roadway and Accident Characteristics, *Transportation Technology and Policy*, 7(5), Korean Society of Transportation, 91-98.
- Frank G., Craig L., Bhagwant P., Raghavan S. (2013), Safety Effectiveness of Converting Signalized Intersection to Roundabouts, *Accid. Anal. Prev.*, 50, Elsevier, 234-241.
- Jeong E. B., Oh C. (2011), Accident Rate Forecasting Model by Using Speed on Freeway, *J. Korean Soc. Transp.*, 29(4), Korean Society of Transportation, 103-111.
- Jung D. Y., Kim D. G., Lee S. B. (2008), An Evaluation of the Crash Reduction Effects of School Zone Improvement Projects, *Seoul Studies*, 9(1), 1-13.
- Lee D. H. (2005), A Development of Safety Prediction Models for Moving Behavior of Crosswalk Pedestrians, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 25(3D), 439-445.
- Lee S. L., Kim S. H., Kim J. W., Hu E. (2012), Traffic Safety: A Development of the Integrated Evaluation Criteria for Safety of School Zones, *Journal of the Korean Society of Safety*, 27(1), 117-122.
- Lesley S., Rahman M., Yunchen H., Nandi A. (2015), Driver Behavior and Accident Frequency in School Zones, *Accid. Anal. Prev.*, 82, Elsevier, 118-125.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2014), Roundabout Design Guidelines.
- Park B. H. (2013), Developing the Accident Models of Pedestrian in Roundabout Using ZAM, *Journal of the Institute of Constructional Technology*, 32(1), 75-82.
- Rothman L., Howard A., Buliung R., Macarthur C., Sarah A. R., Macpherson A. (2016), Comparative Evaluation of Roundabout's Operational Performance, *Accid. Anal. Prev.*, 98, Elsevier, 252-258.
- Rune E. (2017), Road Safety Effects of Roundabouts: A Meta-analysis, *Accid. Anal. Prev.*, 99, Elsevier, 364-371.
- Tove H., Ivanka O. B. (2007), The Effect of Roundabout Design Features on Cyclist Accident Rate, *Accid. Anal. Prev.*, 39, Elsevier, 300-307.
- Yu C. Y., Zhu X. (2016), Planning for Safe Schools: Impacts of School Siting and Surrounding Environments on Traffic Safety, *Journal of Planning Education and Research*, 36(4), 476-486.