Int. J. Highw. Eng. Vol. 19 No. 5 : 143-151 OCTOBER 2017
https://doi.org/10.7855/IJHE.2017.19.5.143

성별에 따른 주·야간 원형교차로 사고모형

Circular Intersection Accident Models of Day and Nighttime by Gender

조 아 해 Cho, Ah Hae | 정회원 · 충북대학교 대학원 도시공학과 석사과정 (E-mail : ahae0306@naver.com)
김 태 양 Kim, Tae Yang | 정회원 · 충북대학교 대학원 도시공학과 석사과정 (E-mail : hapsunny@gmail.com)
박 병 호 Park, Byung Ho | 정회원 · 충북대학교 도시공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to develop models of accidents occurring at circular intersections related to the time of day and night and driver gender, and to provide countermeasures for safer circular intersections.

METHODS : Seventy intersections built before 2008 were surveyed for inclusion in the modeling. Traffic accident data from 2008 to 2014 were collected from the TAAS data set of the Road Traffic Authority. Sixteen variables explaining the accidents including geometry and traffic volume were selected from the literature and seven multiple linear regression models were developed using SPSS 20.0.

RESULTS : First, the null hypotheses, that the number of traffic accidents are not related to driver gender or time of day, were rejected at a 5% level of significance. Second, seven statistically significant accident models with R^2 value of 0.643-0.890 were developed. Third, in daytime models by gender, when the right-turn-only lane was selected as the common variable, the number of lanes, presence of driveways and speed humps, diagrammatic exit destination sign, and total entering traffic volume were evaluated as specific variables. Finally, in nighttime models by gender, when the diagrammatic exit destination sign was selected as the common variable, total entering traffic volume, presence of right-turn-only lanes, number of circulatory road way lanes, and presence of splitter islands and driveways were identified as specific variables.

CONCLUSIONS : This study developed seven accident models and analyzed the common and specific variables by time of day and gender. The results suggest approaches to providing countermeasures for safer circular intersections.

Keywords
daytime, gender, multiple linear regression model, circular intersection, SPSS 20.0, traffic accident models

Corresponding Author : Park, Byung Ho, Professor
Department of Urban Engineering, Chungbuk University 1,
Chungdae-ro, Sewon-gu, Cheongju, 28644, Korea
Tel : +82.10.5462.2496
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 Mar. 22. 2017 Revised Jul. 17. 2017 Accepted Aug. 18. 2017

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 국내에서는 교차로의 안전성을 증대시키고 운영 효율성을 높이기 위해 원형교차로가 도입되고 있다. 원형교차로는 기존 교차로의 운영방법과 차이가 있어 운전자가 이를 인지하는데 어려움이 발생할 수 있으며, 이는 곧 교통사고로 이어지게 된다. 원형교차로의 교통사고 감소를 위해서는 사고에 영향을 미치는 요인을 다양한 방면에서 분석한 후 이에 대한 구체적인 대책 마련이 필요하다. 하지만 현재까지 원형교차로와 교통사고와

관련된 연구는 대부분 사고유형, 교차로의 위치 등과 관련된 연구가 대부분이며, 운전자의 사고발생시간과 성별에 관련된 연구는 부족한 실정이다.

여성과 남성은 공간을 인지하는 정도와 운전행태 등에서 차이가 있으며, 사고에 영향을 받는 요인도 다르게 나타난다고 알려져 있다. 현재까지 여성의 보행환경이나 공간설계와 관련된 연구는 진행되었지만, 여성 운전자의 교통사고모형에 관한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 전국 주요 원형교차로에서 2008년~2014년에 발생한 교통사고를 조사한 결과, 남성은 1,542건이며, 여성은 328건이다. 남성이 여성보다 약 5배 높은 교통사고건수를 기록하고 있다. 이는 여성이 남성보다 운전에 있어 조심스럽고, 평균 주행속도가 낮은데 비해, 남성은 비교적 높은 주행속도와 공격적인 운전행태에 기인한 것임을 예측해 볼 수 있다.

운전행태에 따른 교통사고는 주·야간 시간대에 따라서도 다른 요인이 작용된다. 최근 7년(2008년~2014년)동안 주간에 발생한 원형교차로 사고건수는 1,085건이며, 야간에 발생한 사고건수는 785건으로 나타난다. 이와 같은 결과는 야간 교통량이 주간 교통량에 비해 적은 것을 감안할 때, 야간에 높은 사고 발생률을 보이고 있는 것으로 분석된다. 이는 기존 교차로와 다른 원형교차로의 운영방식 및 기하구조에 따른 결과로 판단된다. 원형교차로는 운전자의 운영방법에 대한 인지정도와 기하구조 설계요인이 교통사고에 영향을 미치는 요인으로 작용할 것으로 판단된다. 이에, 이 연구는 원형교차로 교통사고에 영향을 미치는 물리적 설계인 기하구조 요인을 고려하여 성별과 주·야간의 사고발생 시간대로 나누어 사고모형을 개발하며, 원형교차로의 안전대책을 수립하기 위한 대안을 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

이 연구는 한국교통연구원에서 제시한 전국의 주요 원형교차로 100개소를 대상으로 하되, 이를 근거로 자료의 일관성 있는 분석을 위해 2007년 이전에 설치된 70개소 원형교차로를 최종 선정하였다. 종속변수인 사고자료는 도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS : traffic accident analysis system)을 활용하여 2008~2014년 사이 발생한 교통사고를 수집하였다. 독립변수로 활용된 기하구조 및 교통량은 현장조사와 다음로드뷰, 그리고 Auto CAD를 이용하여 구축하였다. 모형 개발에는 통계 분석 프로그램 SPSS20.0가 사용되었으며, 다중선형회귀모형을 이용하여 사고모형이 개발되었다.

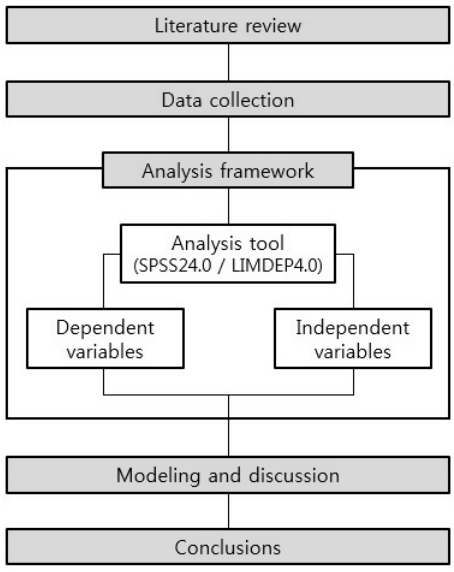

Fig. 1 Flowchart of This Study

2. 선행연구

2.1. 기존문헌 검토

원형교차로에서 발생한 교통사고와 관련된 국내·외 문헌을 고찰한 결과, 대부분 사고 유형과 원형교차로의 위치에 따른 모형개발 연구가 중점 진행되었다.

한수산 등(2011)은 국내 원형교차로 20개소에서 발생한 교통사고를 유형별로 나누어 포아송과 음이항 모형을 개발하였다. 저자들은 원형교차로 교통사고는 차대차 사고가 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 교통량, 우회전 전용차로수, 과속방지턱 등을 사고에 영향을 주는 요인으로 채택하였다.

김경환 등(2012)은 회전교차로에서 발생한 교통사고건수와 EPDO와의 상관관계를 분석하기 위해 연립방정식을 사용하여 모형을 개발하였다. 저자들은 모형 개발결과, 교통량, 상충비, 중차량 비율, 회전차로 폭 등을 사고에 영향을 주는 독립변수로 선정하였다.

백태헌 등(2011)은 국내 도시부에 설치된 원형교차로 82개소를 대상으로 교통사고에 영향을 미치는 도로환경요인, 기하구조 요인, 운영조건 요인 등을 분석하였다. 저자들은 가산모형을 활용하여 사고요인을 분석하였으며, 일교통량과 중앙 교통섬의 유무가 사고에 유의한 영향을 주는 것으로 평가하였다.

박민규 등(2011)은 국내 원형교차로에서 발생한 측면직각 충돌사고에 영향을 미치는 교차로의 기하구조요인을 분석하였다. 저자들은 종속변수에 '0' 값이 다수 존재할 때 사용하는 ZAM(zero-altered model)을 이용하였으며, 교통량, 조명시설의 유무 및 분리교통섬 수를

사고의 설명변수로 채택하였다.

장일준 등(2011)은 회전교차로 운영효과를 분석하기 위해 진입부 교통량에 따라 지체의 변화를 분석하였다. 저자들은 진입부 평균 교통량 160~180(대/시/차로)인 교차로에서 가장 큰 지체감소효과를 확인하였다.

Yongsheng Chen 등(2011)은 미국의 회전교차로 교통사고를 분석하기 위해 다중선형회귀모형을 이용하여 14개 대상 교차로의 진입부 속도와 기하구조와의 관계를 분석하였다.

Stijn Daniel 등(2010)은 회전교차로의 충돌위험요소와 상해정도에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해 로지스틱 회귀모형을 이용해 사고 심각도를 분석하였다.

Guangnan Zhang 등(2016)은 사고에 영향을 주는 운전자 요인을 파악하기 위해 광동 21개 도시를 대상으로 운전자 특성, 도로 상태의 유형과 환경요인을 포함한 변수들을 분석하였다. 저자들은 로지스틱 회귀모형을 활용하여 분석하였으며, 남성보다 여성 운전자가 피로운전 사고 유발 확률이 높은 것으로 평가하였다.

Guangnan Zhang 등(2013)은 교통사고 저감을 위해 사고에 영향을 주는 요소를 인적 요인, 자동차 요인, 도로 요인 및 환경 요인으로 구분하여 분석하였다. 저자들은 항목별로 독립변수를 설정한 후, 로지스틱 회귀 모형을 개발하였다. 여성 운전자의 교통 위반 비율은 남성 운전자보다 낮고, 젊고 초보 운전자일수록 교통위반 확률이 높은 것으로 분석하였다.

David A. Lombardi 등(2017)은 치명적인 사고에 영향을 주는 요인을 사고 당사자의 연령에 따라 분석하였다. 저자들은 미국 50개 주의 사고자료를 대상으로 다변량 로지스틱 회귀모형을 개발하였다. 아울러 저자들은 60~64세의 남성의 치명사고 비율이 가장 높고, 여성의 경우 치명사고 위험도는 60~64세에서 시작되어 85세 이상에서 최대치를 기록하는 것으로 평가하였다.

2.2. 연구의 차별성

지금까지 원형교차로에서 발생한 사고모형과 관련하여 진행된 연구는 원형교차로의 설치 위치, 교통사고의 유형 등과 관련된 연구가 대부분이다. 하지만 교통사고 당사자의 사고발생 시간과 성별에 관련된 연구는 부족한 실정이다. 이 연구는 원형교차로에서 발생한 사고 당사자의 성별에 따른 주·야간 사고모형을 개발한 것으로, 연구의 차별성은 다음과 같다.

첫째, 남성과 여성은 기본적인 운전행태에서 차이가 있으므로 원형교차로 교통사고에 영향을 주는 요인을 사고 당사자의 성별에 따라 분류한다.

둘째, 동일한 성별이라 할지라도 주간과 야간의 교통사고에 영향을 미치는 요인은 다르게 작용한다. 이에 원형교차로의 주·야간 교통사고 모형을 개발하여 사고발생 시간에 따라 교통사고 유발 요인을 평가한다.

마지막으로 개발된 7개의 모형의 특성에 따라 전체 사고모형과 비교하여 공통변수와 특이변수를 분석하며, 이를 통해 원형교차로 교통사고에 영향을 주는 요인을 구체적으로 평가하는데 기존 연구와의 차별성이 있다.

3. 분석의 틀 설정

3.1. 자료의 수집

모형 개발을 위한 원형교차로 대상지점은 전술한 국내 주요 원형교차로 70개소이다. 종속변수인 사고건수는 2008~2014년까지 발생한 총 1,870건의 자료이다. 이 중 남성 운전자 사고는 1,542건으로 전체의 82.5%를 차지하고 있으며, 여성운전자 사고는 328건으로 나타난다. 수집된 자료의 사고발생시점을 바탕으로 주간과 야간의 사고로 분류하기 위해 한국기상청에서 제공하는 Table 1의 일출과 일몰 시간을 근거로 분석한다.

Table 1. Sunrise and Sunset Time

Sunrise	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
	07:40	07:19	06:40	05:56	05:22	05:12
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
	05:24	05:48	06:13	06:38	07:08	07:35
Sunset	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
	17:38	18:09	18:38	19:05	19:31	19:50
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
	19:47	19:19	18:37	17:53	17:22	17:17

3.2. 상관관계 및 다중공선성 분석

독립변수들 간의 상관분석을 실시한 결과, 유입차로수, 분리교통섬, 조명시설, 회전차로수, 진출입 도로 등이 사고건수와 밀접한 관련을 가지는 것으로 평가되었다. 변수들 간의 독립성을 확인하기 위해, VIF(Variation Inflation Factor) 값을 비교하였다. 이 연구에서 제시한 모든 독립변수들의 VIF값이 10미만으로 다중공선성 문제가 없는 것을 확인하였다. 분석에는 통계 프로그램 SPSS20.0이 사용되었으며, 다양한 변수 사이의 관계를 구축하는 다중선형회귀분석을 이용해 사고모형이 개발되었다.

Table 2. Correlation Analysis

Classification	Y_1	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
Y_1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
X_1	.127	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
X_2	.132	.082	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
X_3	−.069	.424	.097	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
X_4	.079	−.095	.279	.088	1		–	–		–					–		
X_5	−.072	.120	.343	.132	−.010	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
X_6	−.093	.278	.121	.031	.645	.113	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
X_7	−.134	.423	.322	.443	.062	.201	.095	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
X_8	.270	.151	.097	.132	.100	.105	−.132	.243	1	–	–	–	–	–	–	–	–
X_9	.323	.099	.298	.201	.077	.089	.442	.112	.107	1	–	–	–	–	–	–	–
X_{10}	.226	−.030	.332	.102	.068	−.069	.231	.107	−.035	.089	1	–	–	–	–	–	–
X_{11}	.047	−.069	.132	.032	−.030	.035	.414	.208	−.111	.178	.139	1	–	–	–	–	–
X_{12}	−.019	.002	.030	.182	.252	.036	.476	.099	.002	.302	.099	.099	1	–	–	–	–
X_{13}	.150	.014	.272	.077	−.061	−.200	.082	.102	.002	.049	.286	.148	.002	1	–	–	–
X_{14}	−.478	.199	.098	.523	.034	.422	.047	.099	.223	.182	.097	.183	.201	.178	1	–	–
X_{15}	,565	.052	.042	.091	.090	−.068	.099	.077	.163	.097	.287	.005	−.177	.133	.199	1	–
X_{16}	−.136	−.174	.056	.044	.068	−.093	.283	.011	−.174	.099	.145	.148	.270	−.082	.154	−.068	1

Table 3. Definition of Variables

Classification		Variables (unit)	Mean	Std. deviation	VIF
Dependent variable	Y_1	Number of accidents (No.)	26.67	39.52	–
Independent variable	X_1	Splitter island (If yes=1, otherwise=0)	0.61	0.49	1.453
	X_2	Total entering traffic volume (vpd)	1,472.50	1,454.88	1.204
	X_3	Width of right-turn-only lane (m)	2.13	2.29	5.586
	X_4	Street light (If yes=1, otherwise=0)	0.69	0.12	1.166
	X_5	Turning radius of entry lane (cm)	138.48	591.31	1.178
	X_6	Right-turn-only lane (If yes=1, otherwise=0)	0.47	0.50	5.540
	X_7	Speed hump (If yes=1, otherwise=0)	0.42	0.49	1.572
	X_8	Number of entry lane (No.)	1.65	0.75	1.356
	X_9	Bus stop (If yes=1, otherwise=0)	0.41	0.43	1.423
	X_{10}	Bicycle lane (If yes=1, otherwise=0)	0.24	0.43	1.417
	X_{11}	Pedestrian crossing (If yes=1, otherwise=0)	0.94	0.23	1.433
	X_{12}	Driveway (If yes=1, otherwise=0)	0.81	0.39	1.594
	X_{13}	Diagrammatic exit destination sign (If yes=1, otherwise=0)	0.77	0.45	1.129
	X_{14}	Sidewalk (If yes=1, otherwise=0)	0.27	0.23	1.339
	X_{15}	Number of circulatory roadway lanes (No.)	1.77	1.03	1.821
	X_{16}	On-street parking (If yes=1, otherwise=0)	0.24	0.43	1.478

4. 사고모형 개발 및 논의

4.1. 가설검증

모형 개발에 앞서, 성별 및 주·야간 시간대와 교통사고와의 관계에 대한 가설검증을 실시하였다.

Table 4. Result of Variance Analysis by Day Nighttime

Classification	Sum of square	df	Mean square	F	p-value
Between group	566.027	1	566.027	1.357	.046
Within group	53394.742	128	417.146	–	–
Total	53960.769	129	–	–	–

Table 5. Result of Variance Analysis by Gender

Classification	Sum of square	df	Mean square	F	p-value
Between group	8408.666	1	8408.666	12.981	.000
Within group	79673.286	123	647.750	-	-
Total	88081.952	124	-	-	-

귀무가설은 '성별과 주·야간 시간대는 교통사고와 관련이 없다' 이며, 대립가설은 '성별과 주·야간 시간대는 교통사고와 관련이 있다' 이다. F-검정을 사용하여 일원배치분석을 실시한 결과, 모두 유의확률이 0.05 이하로 귀무가설이 기각되며, 검정 결과는 다음과 같다.

Table 6. Summary Statistics of Dependent Variables

Classification	Mean	Standard deviation	Classification	Mean	Standard deviation	Classification	Mean	Standard deviation
Y_{11}	16.439	20.685	Y_{111}	13.431	17.249	Y_{121}	11.393	17.373
Y_{12}	12.260	19.825	Y_{112}	4.240	4.106	Y_{122}	3.171	3.738

*Y_{11} : daytime *Y_{111} : daytime/male *Y_{121} : nighttime/male
*Y_{12} : nighttime *Y_{112} : daytime/female *Y_{122} : nighttime/female

가설검증을 바탕으로 평균과 표준편차 값의 차이를 비교분석한 결과, 주간에 발생한 사고일 경우 남성의 사고건수는 여성보다 3.2배, 그리고 야간에 발생한 사고일 경우엔 3.6배 높은 평균 사고건수를 보이는 것으로 분석되었다.

4.2. 모형개발

주·야간 및 성별에 따라 교통사고에 영향을 미치는 요인을 원형교차로 전체 사고모형과 비교분석하기 위해 우선 대상 교차로 전체에 대한 사고모형을 개발한 후, 성별에 따른 주간과 야간 사고모형을 개발한다.

4.2.1. 전체 사고모형

대상 교차로의 전체 교통사고 모형을 개발한 결과, 모형의 보정(adjusted) R^2 값이 0.705인 설명력 높은 다중회귀모형이 개발된다. 설명변수 중 사고건수에 영향을 주는 요인으로 회전차로수, 유입차로수, 횡단보도, 진입교통량 및 자전거 도로가 채택되며, 모든 변수들이 사고건수와 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 분석된다. 채택된 변수들의 유의확률은 0.000~0.047로 신뢰수준 95% 범위에서 통계적으로 의미있는 변수로 평가된다. 대상 원형교차로에서 발생한 교통사고를 주·야간 및 성별로 구분하지 않은 전체 사고모형에서는 진입교통량이 채택됨에 따라 교통량과 관련된 회전 및 유입차로수와 같은 교차로의 교통량과 관련된 변수가 포함되는 것으로 분석된다. 아울러 자전거 도로와 횡단보도의 유무와 같은 자동차 이외의 통행량과 관련된 변수가 채택되며, 사고건수와 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 나타난다.

Table 7. Total Accident Model of Circular Intersection

Variable		Non-std. coeff.		t-value	p-value
		B	Std. err		
(constant)	-	-61.602	18.551	-3.321	.001
Total entering traffic volume	X_2	.012	.003	4.285	.000
Number of entry lane	X_8	3.254	1.573	2.069	.043
Bicycle lane	X_{10}	19.084	9.324	2.047	.045
Pedestrian crossing	X_{11}	28.589	15.708	1.820	.047
Number of circulatory roadway lanes	X_{15}	9.356	4.332	2.160	.035

Accident model	Adjusted R^2
$Y_1 = -61.602 + 0.012X_2 + 3.254X_8 + 19.084X_{10} + 28.589X_{11} + 9.356X_{15}$	0.705

4.2.2. 주간 사고모형

주간에 발생한 원형교차로 교통사고를 성별에 따라 개발한 사고모형의 분석결과는 다음과 같다.

Table 8. Daytime Accident Model

Variable		Non-std. coeff.		t-value	p-value
		B	Std. err		
(constant)	-	-30.304	8.139	-3.723	.000
Total entering traffic volume	X_2	.007	.002	4.267	.000
Number of entry lane	X_8	8.417	3.880	2.169	.034
Driveway	X_{12}	11.710	5.483	2.136	.037
Number of circulatory roadway lanes	X_{15}	7.340	2.198	3.340	.001

Accident model	Adjusted R^2
$Y_{11} = -30.304 + 0.007X_2 + 8.417X_8 + 11.710X_{12} + 7.340X_{15}$	0.690

첫째, 주간에 발생한 전체 사고모형 개발 결과, 모형의 보정 R^2 값이 0.690인 통계적으로 유의한 모형이 개발된다. 사고에 유의한 영향을 주는 설명변수로는 회전차로수, 유입차로수, 진출입도로, 그리고 진입교통량이 채택된다. 아울러, 진입교통량과 사고건수가 양(+)의 상관관계를 가짐에 따라 유입차로수와 회전차로수가 증가할수록 사고건수도 증가하는 것으로 분석된다.

둘째, 남성운전자의 주간 사고모형에서는 우회전전용

차로폭, 우회전전용 차로의 유무, 회전차로수, 진출입도로 및 방향안내 표지판이 교통사고에 영향을 주는 요인으로 채택된다. 이 중 우회전전용 차로폭과 방향안내표지판은 교통사고와 음(−)의 상관관계를 가지며, 이외 변수는 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 분석된다. 선정된 변수와의 영향관계를 검토하기 위해 사고자료를 분석한 결과, 운영방법 측면에서 신호교차로와 차이가 있는 원형교차로에서 차량의 주행경로에 대한 명확한 지시가 필요한 것으로 판단된다. 아울러, 우회전 차량의 안전한 주행을 위해 적정 우회전 차로폭에 대한 검토가 필요한 것으로 평가된다.

Table 9. Daytime Accident Model Ⅰ (Male)

Variable		Non-std. coeff.		t-value	p-value
		B	Std. err		
(constant)	−	−31.063	9.029	−2.634	.011
Width of right-turn-only lane	X_3	−9.194	1.692	−5.433	.000
Right-turn-only lane	X_6	12.339	5.234	2.102	.048
Driveway	X_{12}	5.986	1.894	3.160	.002
Diagrammatic exit destination sign	X_{13}	−8.268	2.411	−3.572	.001
Number of circulatory roadway lanes	X_{15}	18.161	5.631	3.102	.003
Accident model					Adjusted R^2
$Y_{111} = -31.063 - 9.194X_3 + 12.339X_6 + 5.986X_{12} - 8.266X_{13} + 18.161X_{15}$					0.656

셋째, 주간에 발생한 여성운전자의 교통사고에서는 진입교통량, 감속시설, 우회전전용 차로폭 및 우회전전용 차로의 유무가 사고와 관련 있는 변수로 채택된다. 개발된 모형의 보정 R^2 값은 0.890으로 통계적으로 설명력 높은 모형이 개발된다. 진입교통량과 우회전 전용차로의 유무는 사고와 양(+)의 상관관계, 그리고 이외의 변수는 음(−)의 상관관계를 가지는 것으로 분석된다.

Table 10. Daytime Accident Model Ⅱ (Female)

Variable		Non-std. coeff.		t-value	p-value
		B	Std. Err		
(constant)	−	−1.258	2.979	−2.923	.006
Total entering traffic volume	X_2	.007	.001	12.107	.000
Width of right-turn-only lane	X_3	−4.438	1.408	−3.151	.004
Right-turn-only lane	X_6	14.203	6.789	2.092	.046
Speed hump	X_7	−36.741	11.901	3.087	.005
Accident model					Adjusted R^2
$Y_{112} = -1.258 + 0.007X_2 - 4.438X_3 + 14.203X_6 - 36.741X_7$					0.890

넷째, 성별에 따른 주간 사고모형에서 우회전전용 차로폭과 우회전전용 차로의 유무가 공통변수로 채택된다. 특이변수로 채택된 회전차로수, 진출입도로 및 진입교통량은 사고와 양(+)의 상관관계, 그리고 방향안내표지판과 감속시설은 음(−)의 상관관계를 가지는 것으로 평가된다.

4.2.3. 야간 사고모형

야간에 발생한 원형교차로 교통사고를 성별에 따라 개발한 사고모형의 분석결과는 다음과 같다.

첫째, 야간에 발생한 전체 사고모형 개발 결과, 보정 R^2 값이 0.631인 설명력 있는 사고모형이 개발된다. 종속변수인 사고건수에 영향을 주는 요인으로 진입교통량이 선정됨에 따라 적정 회전차로수에 대한 검토가 요구되는 것으로 분석된다. 또한 교차로로 진입 및 진출하는 차량의 명확한 방향안내를 위한 방향안내표지판과 적정 우회전전용 차로폭이 필요한 것으로 판단된다. 선정된 독립변수 중 우회전전용차로폭과 방향안내표지판은 사고와 음(−)의 상관관계를 가지며, 이외 변수는 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 분석된다.

Table 11. Nighttime Accident Model

Variable		Non-std. coeff.		t-value	p-value
		B	Std. err		
(constant)	−	−11.978	4.197	−2.854	.006
Total entering traffic volume	X_2	.008	.001	6.917	.000
Width of right-turn-only lane	X_3	−.077	.038	−2.048	.045
Diagrammatic exit destination sign	X_{13}	−2.402	.662	−3.627	.001
Number of circulatory roadway lanes	X_{15}	6.859	2.302	2.980	.004
Accident model					Adjusted R^2
$Y_{12} = -11.978 + 0.008X_2 - 0.077X_3 - 2.402X_{13} + 6.859X_{15}$					0.631

둘째, 남성의 야간 교통사고 모형에서는 진입교통량, 분리교통섬 및 방향안내 표지판이 교통사고에 영향을 주는 설명변수로 채택된다. 선정된 설명변수 중 진입교통량은 사고와 양(+)의 상관관계를 가지며, 그리고 이외 변수들은 음(−)의 상관관계를 가지는 것으로 분석된다. 이에, 진입교통량이 높은 원형교차로일 경우에는 분리

교통섬과 방향안내표지판을 반드시 설치하여 교차로 운영의 안전성을 높여야 하는 것으로 평가된다. 개발된 사고모형의 보정 R^2 값은 0.643으로 통계적으로 유의한 사고모형이 개발된다.

Table 12. Nighttime Accident Model Ⅰ (Male)

Variable		Non-std. coeff.		t-value	p-value
		B	Std. err		
(constant)	–	-13.941	3.947	-3.532	.001
Splitter island	X_1	-2.107	.643	-3.275	.002
Total entering traffic volume	X_2	.007	.001	5.771	.000
Diagrammatic exit destination sign	X_{13}	-5.856	2.198	-2.665	.010
Accident model					Adjusted R^2
$Y_{121} = -13.941 - 2.107X_1 + 0.007X_2 - 5.856X_{13}$					0.643

셋째, 야간에 발생한 여성의 사고모형 개발 결과, 우회전전용차로의 유무, 우회전전용차로폭, 조명시설, 회전차로수, 진출입도로, 그리고 방향안내표지판이 교통사고와 밀접한 관련이 있는 것으로 분석된다. 설명변수 중 사고와 음(-)의 상관관계를 가지는 변수는 우회전 전용차로폭, 방향안내표지판 및 조명시설이다. 우회전전용차로폭이 좁을수록, 방향안내표지판 및 조명시설이 적을수록 사고건수가 증가하는 것으로 분석된다. 여성운전자의 경우에는 남성운전자에 비해 운전경력이 짧을 확률이 높으며, 원형교차로의 운영방법에 대한 차이를 더 크게 느낄 것으로 판단된다. 따라서 차량의 진행방향을 명확히 제시하는 방향안내표지판과 안전하게 교차로를 빠져나가기 위해 충분한 우회전 차로폭이 필요한 것으로 판단된다. 개발된 모형의 보정 R^2 은 0.705로 통계적으로 설명력 높은 모형이 개발된다.

Table 13. Nighttime Accident Model Ⅱ (Female)

Variable		Non-std. coeff.		t-value	p-value
		B	Std. err		
(constant)	–	-50.861	17.878	-2.120	.042
Width of right-turn-only lane	X_3	-1.401	.428	-2.472	.031
Street light	X_4	-21.368	7.283	-3.270	.003
Right-turn-only lane	X_6	11.001	6.013	2.814	.007
Driveway	X_{12}	17.082	6.498	2.133	.024
Diagrammatic exit destination sign	X_{13}	-5.142	3.141	2.413	.006
Number of circulatory roadway lanes	X_{15}	11.288	1.400	3.221	.003
Accident model					Adjusted R^2
$Y_{122} = -50.861 - 1.401X_3 - 21.368X_4 + 11.001X_6 + 17.082X_{12} - 5.142X_{13} + 11.288X_{15}$					0.705

넷째, 성별에 따른 야간의 사고모형의 공통변수로 방향안내 표지판이 채택되며, 사고와 음(-)의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다. 특이변수로 나타난 분리교통섬, 우회전전용차로폭 및 조명시설은 사고와 음(-)의 상관관계를 가지며, 이 외 변수는 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 평가되었다.

4.3. 모형논의

다중선형회귀분석을 통해 성별에 따른 주·야간 원형교차로 사고모형을 개발한 결과는 다음과 같다.

첫째, 분석 대상 원형교차로 전체 사고모형의 경우, 진입교통량, 유입차로수 및 회전차로수와 같은 교통량과 관련된 변수가 다수 포함되어 있다. 이에 원형교차로를 신규로 설치하거나 기존 교차로를 원형교차로로 전환할 경우, 설계기준 교통량에 대한 검토가 반드시 요구되는 것으로 판단된다. 채택된 주요 변수 중 자전거도로의 경우, 길 가장자리를 주행하는 자전거와의 충돌 위험이 교통사고를 유발시키는 것으로 평가된다.

둘째, 개발된 주간 전체 사고모형에서 채택된 독립변수가 성별에 따른 사고모형에서 선정된 독립변수와 상이한 것으로 분석된다. 우선, 주간 전체 사고모형에서는 진입교통량, 유입차로수, 진출입도로 및 회전차로수가 사고에 유의한 변수로 채택된다. 이를 성별에 따라 개발된 사고모형과 비교분석한 결과, 주간 전체 사고모형에서 채택되지 않은 우회전전용차로의 유무와 우회전전용차로폭이 특이변수로 채택되며, 남성의 경우에는 방향안내표지판이 추가적인 특이변수로 선정된다.

주간에 발생한 남성과 여성의 사고모형에서는 우회전전용차로의 유무 및 우회전전용차로폭이 공통변수로 채택된다. 이는 회전차량이 많은 교차로에서 우회전하는 차량과 회전차량의 상충이 빈번하게 발생하는데서 비롯된 것으로 판단된다. 아울러 주간에 발생한 여성의 사고모형에서는 진입교통량과 감속시설의 유무가 특이변수로 선정된다. 이는 교통량이 많고 회전부 진입 전의 감속시설이 없어 충분한 감속이 이루어지지 않는 것으로 판단된다.

셋째, 야간에 발생한 전체 사고모형 개발 결과, 진입교통량, 우회전전용차로폭, 방향안내표지판 및 회전차로수가 독립변수로 선정된다. 이를 성별에 따라 비교하면, 남성의 경우에는 분리교통섬이 특이변수로 채택되며, 여성의 경우에는 조명시설, 우회전전용차로의 유무,

Table 14. Comparison of Independent Variables by Model

Variables		Total accident model	Daytime	Daytime (Male)	Daytime (Female)	Nighttime	Nighttime (Male)	Nighttime (Female)
Splitter island	X_1	–	–	–	–	–	O	–
Total entering traffic volume	X_2	O	O	–	O	O	O	–
Width of right-turn-only lane	X_3	–	–	O	O	O	–	O
Street light	X_4	–	–	–	–	–	–	O
Turning radius of entry lane	X_5	–	–	–	–	–	–	–
Right-turn-only lane	X_6	–	–	O	O	–	–	O
Speed Hump	X_7	–	–	–	O	–	–	–
Number of entry lane	X_8	O	O	–	–	–	–	–
Bicycle lane	X_{10}	O	–	–	–	–	–	–
Pedestrian crossing	X_{11}	O	–	–	–	–	–	–
Driveway	X_{12}	–	O	O	–	–	–	O
Diagrammatic exit destination sign	X_{13}	–	–	O	–	O	O	O
Number of circulatory roadway lanes	X_{15}	O	O	O	–	O	–	O

그리고 진출입도로가 특이변수로 채택된다.

공통변수로는 야간의 교통사고 모형 3개 모두 방향안내 표지판이 채택된다. 이는 주간의 시간대보다 상대적으로 가시성이 떨어지는 야간에 정확한 방향안내가 이루어지지 않아 회전부 통과 후 진출도로 선택의 혼란이 교통사고를 야기하고 있는 것으로 판단된다. 이에 야간에도 운전자가 어려움 없이 진출 방향을 선택할 수 있도록 원형교차로 인근에 방향안내표지판을 반드시 설치해야 할 것으로 평가된다.

남성과 여성의 야간사고모형을 비교한 결과, 특이변수로는 진출입도로, 회전차로수 및 우회전 전용차로가 채택된다. 이는 우회전 차량의 비율이 높은데 비해 불충분한 우회전전용차로폭으로 우회전 차량과 회전부 진입차량의 상충이 빈번하게 발생하여 나타난 결과로 판단된다. 그리고 회전부로 진입하는 차량과 인근의 진출입도로에서 합류하는 차량과의 상충이 원활한 교통 흐름을 저해하는 것으로 평가된다.

넷째, 남성의 주·야간 사고모형을 비교 분석한 결과, 주간과 야간에 사고에 영향을 미치는 요인이 상이함을 확인할 수 있다. 주간에 발생한 사고의 경우, 우회전전용차로, 회전차로수 및 진출입도로가 특이변수로 채택된다. 야간의 경우, 진입교통량과 분리교통섬이 특이변수로 선정되며, 방향안내 표지판은 주·야간 사고모형의 공통변수로 평가된다. 따라서 진입교통량이 높은 교차로에서 회전부로 진입하는 차량과 진출하는 차량의 충돌을 최소화하기 위해 분리교통섬 설치가 요구된다.

마지막으로, 여성의 주·야간 사고모형을 비교한 결과, 우회전전용차로의 유무와 우회전 전용차로폭이 공통변수로 채택된다. 이는 여성 운전자의 경우, 주간과 야간 모두 우회전 주행과 관련된 기하구조 요인이 사고와 밀접한 관련을 가지는 것으로 분석된다. 이에 여성의 보다 안전한 주행을 위해 우회전 차량의 비율이 높으면 충분한 차로폭의 우회전전용차로를 설치해야 할 것으로 판단된다. 아울러 다른 모형들과 비교하면, 유일하게 야간에 발생한 여성 사고모형에서 조명시설이 특이변수로 채택된다. 이는 야간운전이 익숙하지 않은 여성에게 교차로의 조도가 사고에 직접적인 영향을 미치는 것으로 평가된다.

5. 결론

성별에 따른 주·야간 원형교차로 사고모형을 개발한 결과, 성별에 따라 주·야간 시간대에 교통사고에 영향을 주는 요인이 상이한 것을 확인하였다. 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, '성별과 주·야간 시간대는 교통사고건수와 관련이 없다'는 귀무가설이 두 모형 모두 유의확률 0.05 이하로 기각되었다. 이를 바탕으로 사고발생시간에 따라 남성과 여성의 사고건수가 차이를 보이는 것을 확인하였다. 즉, 남성의 사고건수는 주간에 발생한 사고일 경우 여성보다 3.2배, 그리고 야간일 경우엔 3.6배 높은 평균 사고건수를 보이는 것으로 분석되었다.

둘째, 주·야간 및 성별에 따른 사고모형을 개발한 결과, 통계적으로 유의한 7개의 모형이 개발되었다. 성별

에 따른 주간 교통사고 모형의 경우 보정 R^2 값은 0.656~0.890, 그리고 성별에 따른 야간 교통사고모형의 보정 R^2 값은 0.643~0.740으로 모든 모형이 통계적으로 설명력이 높은 것으로 평가되었다.

셋째, 성별에 따른 주간 사고모형에서는 우회전전용차로폭과 우회전전용차로의 유무가 공통변수로 채택되었다. 특이변수로는 남성 운전자의 사고모형에서 회전차로수, 진출입도로 및 방향안내 표지판이 채택되었으며, 여성 운전자의 사고모형에서는 진입교통량과 감속시설이 선정되었다.

마지막으로, 성별에 따른 야간 사고모형에서는 방향안내표지판이 공통변수로 채택되었으며, 사고와 음(−)의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다. 남성운전자의 야간 사고모형에서는 진입교통량과 분리교통섬, 그리고 여성운전자의 야간 사고모형에서는 우회전전용차로의 유무, 우회전전용차로폭, 회전차로수 및 진출입도로가 특이변수로 채택되었다.

이 연구는 원형교차로에서 발생한 교통사고를 성별에 따라 주·야간 사고로 분류한 연구로 차대차 및 차대사람 사고를 중점적으로 다루고 있으며, 원형교차로의 물리적 설계요인에 따른 교통사고도 분석한다. 그러나 이 연구는 운영방법과 관련된 운전자의 인지 정도에 따른 교통사고 분석은 진행하지 못한 한계를 내포하고 있다. 원형교차로는 기존에 운영되는 신호 및 비신호 교차로와 운영방법에 차이가 있기 때문에 사전에 운전자 교육이 보완된다면 교차로 안전성이 향상될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 보다 다양한 사고유형과 사고 영향 요인을 고려한 연구가 진행된다면, 원형교차로 안전성을 제고하고 교통사고 감소 대책을 수립하는데 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것이라 기대된다.

REFERENCES

Baek T. H., Park B. H. (2011). "Accident model of urban roundabout using count data", *J. of Korean Society of Transportation*, Vol.2011, No.3, pp.235-239 (in Korean).

David A. Lombardi, William J. Horrey, Theodore K. (2017). "Age-related differences in fatal intersection crashes in the United States", *J. of Accident Analysis and Prevention*, Vol.99, pp.20-29.

Guangnan Z., Kelvin K. W., Yau, X. Z., Yanyan L., (2016). "Traffic accidents involving fatigue driving and their extent of causalities", *J. of Accident Analysis and Prevention*, Vol.87, pp.34-42.

Guangnan Z., Kelvin K. W., Guanghan C. (2013). "Risk factors associated with traffic violations and accident severity in China", *J. of Accident Analysis and Prevention*, Vol.59, pp.18-25.

Han S. S., Km K. H., Park B. H. (2011). "Accident model of circular intersection by type in Korea", *J. of Korean Society of Road Engineers*, Vol.13, No.3, pp.103-110 (in Korean).

Kim K. H., Park B. H. (2012). "Simultaneous equation models for evaluating roundabout accidents according to different driving types", *J. of Korean Society of Transportation*, Vol.30, No.5, pp.3-10 (in Korean).

Stijn D., Tom B., Erik N., Geert W. (2010). "Externality of risk and crash severity at roundabouts", *J. of Accident Analysis and Prevention*, Vol.42, pp.1966-1973.

Yongsheng C., Bhagwant P., Craig L. (2011). "Effect of speed on roundabout safety performance - Implications for use of speed as a surrogate measure", *Proc. of TRB Annual Meeting*, United States of America: Washington, DC.