

로터리 사고발생 위치별 사고모형 개발*

Developing Accident Models of Rotary by Accident Occurrence Location

나 희 Na, Hee	정회원 · 충북대학교 도시공학과 석사과정 (E-mail: soulmate1009@naver.com)
박 병 호 Park, Byung Ho	정회원 · 충북대학교 도시공학과 교수 (E-mail: bhpark@chungbuk.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study deals with Rotary by Accident Occurrence Location. The purpose of this study is to develop the accident models of rotary by location.

METHODS : In pursuing the above, this study gives particular attentions to developing the appropriate models using multiple linear, Poisson and negative binomial regression models and statistical analysis tools.

RESULTS : First, four multiple linear regression models which are statistically significant(their R^2 values are 0.781, 0.300, 0.784 and 0.644 respectively) are developed, and four Poisson regression models which are statistically significant(their ρ^2 values are 0.407, 0.306, 0.378 and 0.366 respectively) are developed. Second, the test results of fitness using RMSE, %RMSE, MPB and MAD show that Poisson regression model in the case of circulatory roadway, pedestrian crossing and others and multiple linear regression model in the case of entry/exit sections are appropriate to the given data. Finally, the common variable that affects to the accident is adopted to be traffic volume.

CONCLUSIONS : 8 models which are all statistically significant are developed, and the common and specific variables that are related to the models are derived.

Keywords

rotary, multiple linear regression model, poisson and negative binomial regression model, accident occurrence location, accident model

Main Author : Park, Byung Ho, Professor
 Department of Urban Engineering, Chungbuk National University,
 Chungbuk, 361-763, Korea
 Tel : +82.43.261.2496 Fax : +82.43.261.2496
 email : bhpark@chungbuk.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
 ISSN 1738-7159 (Print)
 ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

회전교차로는 중앙에 원형교통섬을 두고 교차로를 통과하는 차량이 원형교통섬을 반시계방향으로 우회하도록 하는 교차로 형식이다. 회전교차로의 일종인 종래의 로터리(Rotary)는 직진차량보다 회전차량에 우선권을

주는 회전교차로와는 달리 회전교차로에 진입할 경우 끼어들기를 원칙으로 하는 운영방식이다.

전 세계적으로 로터리를 회전교차로로 전환하고 있는 실정임에도 불구하고, 아직 국내에서는 로터리 운영방식의 교차로가 존재하며, 그에 따른 많은 문제점이 드러나고 있다. 로터리는 무신호 교차로이기 때문에 진입하는

* 본 논문은 2011년 3월 한국도로학회 봄 학술대회에서 우수논문상을 수상한 논문을 수정·보완한 것임.

차량 혹은 회전하는 차량은 적정시거가 확보되어야 한다. 그러나 중앙교통섬에 도시미관을 고려한 조형물과 각종 조정수들의 설치로 인해 운전자의 시야 확보를 저해시키는 문제점을 안고 있다. 교통량이 적고 회전차로 내 차로 폭이 충분히 확보가 되지 않은 교차로는 직진 차량이 차로를 무시하고 고속으로 통과하는 경우가 발생하게 되어 교통사고가 발생할 확률이 높아지고 있다.

지금까지의 국내 연구동향을 살펴보면, 신호교차로 사고에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나 로터리 사고에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 도시부 및 지방부 로터리의 기하구조 특성과 운전자 행태 실태를 조사하고, 이를 통하여 로터리에서의 위치별 사고특성을 파악하며, 이를 반영한 사고모형을 개발하는데 목적이 있다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

이 연구는 로터리에서 발생한 교통사고 현황 및 특성을 파악하고 모형을 개발하기 위해 교통량, 차로폭, 차로수, 회전차로수, 진출입구수 등과 같은 교통사고 관련 변수들을 현장조사를 통해 수집 및 정리하였다. 조사된 20곳의 로터리 중 1곳(진천군 원동교차로)을 제외한 19곳은 신호가 없이 운영되는 로터리로 조사되었다. 「도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS)」을 활용하여 전국에 설치되어 있는 로터리 20곳의 사고자료 173건을 도출하였다. 수집된 사고자료를 사고위치에 따라 회전차로, 진출입구, 횡단보도 및 기타로 구분하여 분석하였다. 정리된 자료의 통계적 분석을 위해 LIMDEP 3.0과 SPSS 17.0을 이용하여 음이항 및 포아송 회귀분석, 다중선형 회귀분석을 통해 사고모형을 개발하였다. 연구의 진행과정은 다음과 같다.

첫 번째로 국내·외 문헌과 사례를 통하여 로터리의 일반적인 특징과 사고모형개발에 대한 내용을 살펴본다. 두 번째로 로터리의 2007~2009년도의 사고자료를 수집하고, 교통조건, 도로조건, 교통운영조건 등의 현장조사 자료를 정리한다. 세 번째로 수집한 자료를 토대로 음이항, 포아송 모형, 다중선형 모형을 개발한 후 최적 모형을 제시한다.

2. 기존연구 고찰

2.1. 국내연구

오주택 등(2005)은 포아송 회귀모형을 사용하여 ρ^2 (우도비), 상관계수, MAD 및 MPB를 알아보며, 가장

적합한 결과가 도출된 모형을 주 모형으로 선정하여 사고예측모형을 만들고, ρ^2 와 x^2 값으로 모형 설명력을 검증하여 사고 심각도를 분석하였다.

박상혁 등(2009)은 수집된 사고 자료를 바탕으로 다중선형과 비선형 회귀분석을 이용하여 사고모형을 개발하여 사고요인을 파악하고, 이를 비교·분석하였다.

박병호 등(2008)은 청주시 4지 신호교차로를 대상으로 사고유형을 정면충돌, 후미추돌, 측면직각 및 접촉 등으로 분류하였으며, 5개의 음이항 모형을 개발하고 모형별 공통변수와 특정변수를 활용하여 모형의 차이를 비교·분석하였다.

박준태 등(2008)은 포아송 회귀모형을 이용하여 ρ^2 와 MPB, MAD를 이용하여 모형을 검증하였다. 또한 그들은, 한계효과를 분석하여 제시하였으며, ρ^2 와 x^2 값으로 모형 설명력을 검증하였다.

유두선 등(2008)은 다중선형, 다중비선형과 포아송 및 음이항 모형을 이용하여 12개의 주·야간 교통사고 모형을 개발하였으며 특정변수로는 우회전전용차로, 주도로제한속도, 및 이중정지선으로 분석하였다.

박정순 등(2007)은 다중회귀분석을 통하여 신호교차로의 사고모형을 개발하였다. 모형의 개발 결과 ADT, 교차로면적, 주도로 평균 차로폭, 상향종단경사, 제한속도차 등이 사고에 영향을 주는 요인으로 분석하였다.

2.2. 국외연구

Chin(2003)은 기존의 포아송, 다중선형 회귀분석의 한계를 설명하고, 음이항 모형을 이용하여 싱가포르 신호교차로의 교통과 제어 특성들, 사고발생과 기하구조 사이의 관계를 분석하였다.

Donnell 등(2004)은 펜실베이니아 주간선도로(Interstate Highway)를 대상으로 도로기하구조와 사고 자료를 이용하여 중앙분리대 관련사고의 심각도 예측모형을 구축하였다.

Yan 등(2005)은 후미추돌사고와 운전자의 특성, 도로환경 및 차량 유형으로 구분된 일련의 잠재적인 사고요인과의 관계를 조사하여 설명하였으며, 분석방법에는 Quasi-induced exposure technique와 다중 로지스틱회귀모형을 사용하였다.

2.3. 기존연구와의 차별성

지금까지 국내 연구에서는 신호교차로에 대한 사고심각도 분석 및 예측모형이 대부분이다. 로터리에 대한 연

구가 매우 미진하며 사고모형에 대한 연구는 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 이 연구에서는 로터리의 사고를 분석하여 모형을 개발하고, 특히 로터리 사고에 영향을 주는 위치별 사고건수를 종속변수로 사용하였다는 점에서 기존 연구와 차별성이 있다.

3. 분석틀 설정

3.1. 위치별 사고현황

이 연구에서는 사고위치를 ① 회전차로 ② 진·출입구 ③ 횡단보도 ④ 기타로 구분한다. 위치별 사고건수를 분석한 결과, 20개 교차로의 회전차로 사고건수는 69건, 진·출입구 사고가 30건, 횡단보도 사고가 23건, 기타 사고가 51건으로 나타나고 있다.

Table 1. The Number of Rotary by the Location of Accident Occurrence

Classification	Sum	The number of Accident			
		Circulatory road	Entrance	Cross walk	Etc.
City Hall Rotary, Donghae	30	19	0	5	6
Hwachundaekyo Rotary, Hwachun	18	5	3	1	9
Ohsan Rotary, Chungwon	3	2	0	1	0
Seopyeong Rotary, Chungwon	13	5	4	2	2
Wondong Rotary, Jinchun	10	5	2	2	1
1-Ho Plaza Rotary, Seosan	29	6	12	1	10
Dongsan Rotary, Nonsan	14	4	2	3	5
City Hall Rotary, Kimje	22	3	4	8	7
Police Office Rotary, Kimje	2	2	0	0	0
Juksang Rotary, Muju	3	0	1	0	2
Rajetongmoon Rotary, Muju	1	1	0	0	0
Wolkok Rotary, Gochang	1	1	0	0	0
Namkwang Rotary, Jinan	0	0	0	0	0
County Office Rotary, Gurye	0	0	0	0	0
Kyori Rotary, Hwasun	6	3	1	0	2
Flower-Hill Rotary, Youngju	0	0	0	0	0
Ohjuk Rotary, Jinju	7	4	0	0	3
Bongkok Rotary, Jinju	7	5	1	0	1
Keumak Rotary, Jeju	4	1	0	0	3
Seokwangseori Rotary, Seogwipo	3	3	0	0	0
Sum	173	69	30	23	51

Data : Transportation Accident Analysis System(TAAS), 2010.

조사대상 로터리별로 2007년에서 2009년 동안 3년간의 사고발생건수를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 표에 나타나듯이 로터리 사고건수는 충남 논산시 동산교차로와 화천대교오거리, 오산원형교차로 등 13곳을 제외한 교차로에서의 10건 이상의 사고가 발생하였다. 로터리 당 평균 사고는 9건으로 분석되었다. 총 위치별 사고 현황을 보면, 회전차로 사고가 69건으로 가장 많이 발생하였으며, 횡단보도의 사고건수가 23건으로 낮게 나타났다.

Table 2. Definition of Rotary Location

Location	Definition
Circulatory Roadway	Accidents that Occur in Circulatory Roadway(Y_1)
Entrance	Accidents that Occur in Entrance of Rotary(Y_2)
Crosswalk	Accidents that Occur in Crosswalk in Rotary(Y_3)
Etc.	Accidents that Occur in Place Except Three Positions(Y_4)

3.2. 변수의 선정

독립변수는 현장조사와 동영상 촬영을 통해 수집하였으며, 이 중 동영상 촬영은 비 첨두시간에 2~4시간의 촬영을 통해 수집하였다. 수집된 사고관련요소들 중 로터리에서 발생한 사고와 관련성이 있을 것으로 판단되는 교통량, 교차로 기하구조, 운전 행태 등을 검토한 후, Table 3과 같이 12개의 독립변수를 선정하였다. 교통량을 조사하는 이유는 도로구간 혹은 교차로의 V/C, 용량 및 서비스수준 등과 같은 항목을 평가하기 위함이다. 그렇기 때문에 특정한 도시를 위한 부분이 아니기에 비 첨두시간의 자료를 활용하였다. 또한, 첨두시간의 자료를 활용하여 모형을 구축할 경우, 일반적인 교통현황을 반영하지 못하기 때문에 비 첨두 시간대의 교통량 자료를 활용하였다.

종속변수는 교차로의 사고 위치별 분석을 위해 회전차로 사고(Y_1), 진·출입구 사고(Y_2), 횡단보도 사고(Y_3) 및 기타 사고(Y_4) 4가지로 선정하였다. 회전차로 사고의 경우 회전부 내에서 발생한 사고를 의미하고, 진·출입구 사고의 경우 회전부와 진·출입부 부근에서 발생한 사고를 의미하며, 횡단보도 사고는 교차로의 돌출형 혹은 노면표지로 되어있는 횡단보도 상에서 발생한 사고를 의미한다. 그리고 기타 사고는 로터리 내에는 주차장과 상가진입 등 다른 토지이용을 허용한 곳이 다수 존재하기 때문에 로터리 사고 중 진·출입부와 회전부 외에 다른 위치의 사고가 발생한 사고가 다수 존재한다. 또한 진·출입부로 정의할 수 없는 가·감속 구간 등에서 발생

한 사고는 진·출입부 사고로 정의할 수 없기 때문에 이러한 사고를 합쳐서 기타 사고로 분류하였다.

Table 3. List of Variables

Classification	Variable	Range	Mean
Traffic Volume	X_1	77-1,993	842.80
Access road Number(unit)	X_2	1-3	1.60
Lane Per Circulatory Width (m/lane)	X_3	3-7	4.25
The Number of Entrance(unit)	X_4	2-7	3.95
The Number of Speed Hump (unit)	X_5	0-3	0.60
The Number of Traffic Island (unit)	X_6	2-5	3.95
Inscribed Circle Diameter(m)	X_7	29-69	41.75
Diameter of Central Island(m)	X_8	11-38	23.35
Width of Entrance(m)	X_9	0-3	0.40
Total Circulatory Roadway Width (m)	X_{10}	4-15	8.13
The Number of Conflict (number/h)	X_{11}	2-210	60.15
The Number of Crosswalk (unit)	X_{12}	1-7	3.45

3.3. 상관관계 분석

변수들 간의 독립성 파악을 위해 상관관계 분석을 수행하였다. 신뢰수준을 95%($\alpha=0.05$)로 하며, Pearson

상관계수를 통해 변수들 간의 상관성을 분석하였다. 모든 종속변수에서 교통량은 공통적으로 높은 상관관계를 보였다. 또한 회전차로 사고(Y_1)의 경우 진입차로수 및 상충횟수와 높은 상관관계를 보였고, 진·출입부 사고(Y_2)는 횡단보도 수가 높은 상관관계를 보였다. 그리고 횡단보도 사고(Y_3)는 진입차로 수, 기타 사고(Y_4)는 횡단보도 수가 상관관계가 높은 것으로 분석되었다.

4. 사고모형 개발

이 연구에서는 로터리 위치별 사고모형을 개발하기 위해, 포아송 및 음이항 회귀모형과 다중선형회귀모형을 개발하였다.

개발한 모형 중 포아송 모형은 평균과 분산이 같다고 가정하는 특성이 있다. 그런데 실제 사고자료를 분석하여 보면 분산과 평균이 다르게 나타나는 경우가 있는데, 이 때 서로 다른 정도를 파악하기 위해 개발된 개념이 과분산 계수(over-dispersion parameter : Φ)라 한다. 이 때문에 포아송 모형에서는 과분산 계수 값이 산출되지 않는다. 과분산 계수의 개념을 토대로 개발된 모형이 음이항 모형이다. 그리고 다중선형 모형의 구축에 있어 Y_1 , Y_3 및 Y_4 를 종속변수로 사용한 모형에서 모형의 적합도(R^2) 값이 상수를 포함하지 않은 모형이 높게 분석되었기 때문에 상수를 사용하지 않은 모형을 구축했다.

Table 4. Correlation Analysis

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
Y_1	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_2	0.19	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_3	0.54*	0.27	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_4	0.49*	0.72**	0.53*	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_1	0.44*	0.54*	0.66**	0.70**	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_2	0.64**	0.08	0.74**	0.44*	0.55*	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_3	0.29	0.43*	0.07	0.49*	0.56**	0.14	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_4	0.34	0.48*	0.18	0.46*	0.65**	0.19	0.92**	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
X_5	-0.05	-0.08	-0.16	-0.3	-0.1	-0.10	0.15	0.14	1.00	-	-	-	-	-	-	-
X_6	0.34	0.39	0.16	0.32	0.43	0.29	0.86**	0.81**	0.21	1.00	-	-	-	-	-	-
X_7	0.43	0.10	0.50*	0.35	0.37	0.31	0.19	0.22	-0.03	0.28	1.00	-	-	-	-	-
X_8	0.17	0.02	0.46*	0.19	0.16	0.13	-0.06	-0.06	0.00	0.10	0.81**	1.00	-	-	-	-
X_9	0.14	-0.16	-0.04	0.03	-0.1	0.11	0.06	-0.07	-0.19	0.10	0.10	0.07	1.00	-	-	-
X_{10}	0.53*	0.18	0.30	0.41	0.50*	0.43	0.50*	0.52*	-0.11	0.49*	0.70**	0.27	0.11	1.00	-	-
X_{11}	0.79**	0.23	0.53*	0.39	0.70**	0.53*	0.36	0.40*	-0.03	0.41	0.49*	0.21	0.00	0.61**	1.00	-
X_{12}	0.43	0.55*	0.33	0.64**	0.70**	0.31	0.89**	0.86**	0.09	0.74**	0.29	0.09	0.17	0.45*	0.52*	1.00

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

4.1. 포아송 및 음이항 모형 개발

4.1.1. 회전차로 사고모형(Y_1)

회전차로 사고건수를 종속변수로 포아송 및 음이항 모형을 구축한 결과, Table 5와 같이 진입차로수와 상충횟수가 채택되었고, 이 변수들의 p 값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$) 기준에 유의하다. 과분산 계수(Φ)값이 0.013 이므로 포아송모형이 적합한 것으로 분석되었다. 우도비(ρ^2)는 0.407로 모형의 설명력이 매우 높은 것으로 분석되었다. 채택된 변수인 진입차로수와 상충횟수가 양의 관계를 갖는 것으로 평가되었다. 즉, 진입차로수가 많고, 상충횟수가 많을수록 사고건수가 증가하는 것을 나타낸다.

Table 5. Poisson and Negative Binomial Result of Circulatory Roadway

Variable		Model	
		Poisson	Negative Binomial
X_2	Coeff.	0.304(2.257)	0.304(2.253)
	p -value	0.024	0.024
X_{11}	Coeff.	0.009(4.023)	0.009(4.026)
	p -value	0.000	0.000
Alpha(Φ)		-	0.013
ρ^2		0.407	0.358

Comment : () is t-ratio

4.1.2. 진출입구 사고모형(Y_2)

진출입구 사고건수를 종속변수로 모형을 개발한 결과, Table 6과 같이 독립변수로 교통량과 회전차로폭이 채택되었으며, 변수들의 p 값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$) 기준에 유의한 것으로 분석되었다. 과분산 계수(Φ)값이 1.473이므로 포아송 모형이 적합한 것으로 파악되었다. ρ^2 값은 0.360으로 모형의 설명력이 높은 것으로 분석되었다. 채택된 변수인 교통량은 양의 관계를 갖고, 회전차로 폭은 음의 관계를 갖는 것으로 평가되었다.

Table 6. Poisson and Negative Binomial Result of Entrance

Variable		Model	
		Poisson	Negative Binomial
X_1	Coeff.	0.002(4.401)	0.003(3.052)
	p -value	0.000	0.002
X_{10}	Coeff.	-0.224(-2.883)	-0.283(-2.382)
	p -value	0.004	0.017
Alpha(Φ)		-	1.473
ρ^2		0.360	0.179

Comment : () is t-ratio

4.1.3. 횡단보도 사고모형(Y_3)

횡단보도 사고건수를 종속변수로 모형을 구축한 결과, Table 7과 같이 교통량과 횡단보도수가 채택이 되었다. 변수들의 p 값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$) 기준에 유의하다. 과분산 계수(Φ)값이 0.566이므로 포아송 모형이 적합한 것으로 분석되었다. 채택된 변수인 교통량은 양의 관계를 갖고, 횡단보도수는 음의 관계를 갖는 것으로 분석되었다. 이는 교통량이 많을수록 그리고 횡단보도수가 적을수록 사고건수가 커지는 것을 나타낸다.

Table 7. Poisson and Negative Binomial Result of Crosswalk

Variable		Model	
		Poisson	Negative Binomial
X_1	Coeff.	0.003(4.684)	0.003(3.364)
	p -value	0.000	0.001
X_{14}	Coeff.	-0.762(-3.562)	-0.744(-2.777)
	p -value	0.000	0.005
Alpha(Φ)		-	0.566
ρ^2		0.378	0.010

Comment : () is t-ratio

4.1.4. 기타 사고모형(Y_4)

기타 사고건수를 종속변수로 모형을 구축한 결과, 표 8과 같이 교통량과 과속방지턱수가 변수로 채택되었다. 변수들의 p 값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$) 기준에 유의하며, 과분산 계수(Φ)값이 0.691로 포아송 모형이 적합한 것으로 분석되었다. 우도비(ρ^2)는 0.366으로 통계적으로 유의한 모형이 개발되었다. 채택된 변수인 교통량은 양의 관계를 갖고, 과속방지턱수는 음의관계를 갖는 것으로 분석되었는데, 과속방지턱의 수가 적을수록 사고건수가 증가한다는 것을 의미한다.

Table 8. Poisson and Negative Binomial Result of Etc.

Variable		Model	
		Poisson	Negative Binomial
X_1	Coeff.	0.001(11.221)	0.001(7.202)
	p -value	0.000	0.000
X_5	Coeff.	-0.617(-2.510)	-0.598(-2.169)
	p -value	0.012	0.030
Alpha(Φ)		-	0.691
ρ^2		0.366	0.014

Comment : () is t-ratio

4.2. 다중선형회귀모형 개발

4.2.1. 회전차로 사고모형(Y_1)

다중선형회귀모형 개발 결과, 교통량, 진입차로수, 회전차로수, 분리교통섬수, 상충횡수가 독립변수로 채택되었다. 모형의 설명력을 나타내는 R^2 값은 0.781로 나타나며, p 값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$)에서 유의하고, 개발된 모형의 유의확률 값은 0.000으로 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 회전차로 사고에 가장 영향을 미치는 변수는 진입차로수로서 비표준화계수는 3.678인 것으로 분석되었다. 또한 양의 관계를 갖는 통과교통량, 진입차로수, 회전차로수 및 상충횡수가 많을수록 사고건수가 증가하고, 음의 관계를 갖는 분리교통섬수가 적을수록 사고건수가 증가하는 것으로 분석되었다.

Table 9. Multiple Linear Regression Result of Circulatory Roadway

R^2	Adjusted R^2	Durbin-Watson	F	P-value
0.839	0.781	1.894	14,540	0.000
Variable	Unstandardized B	Standardized Beta	t	P-value
X_1	0.005	-0.732	-3.467	0.004
X_2	3.678	0.602	3.886	0.002
X_3	2.869	0.771	2.684	0.018
X_6	-2.517	-0.571	-2.203	0.045
X_{11}	0.071	0.942	5.746	0.000

4.2.2. 진출입구 사고모형(Y_2)

다중선형회귀모형 개발 결과, 교통량이 독립변수로 채택되었다. 모형의 R^2 값은 0.300으로 나타나며, p 값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$)에서 유의하고, 개발된 모형의 유의확률 값은 0.014로 통계적으로 의미 있는 것으로 분석되었다. 채택된 변수인 교통량은 양의 관계를 갖는 것으로 분석되었다. 이는 통과교통량이 증가할수록 사고건수가 커진다는 것을 나타낸다.

Table 10. Multiple Linear Regression Result of Entracne

R^2	Adjusted R^2	Durbin-Watson	F	P-value
0.293	0.300	2.430	7.476	0.014
Variable	Unstandardized B	Standardized Beta	t	P-value
X_1	0.003	0.542	2.734	0.014

4.2.3. 횡단보도 사고모형(Y_3)

다중선형회귀모형 개발 결과, 교통량, 진입차로수, 회전차로폭이 채택되었고 모형의 R^2 값은 0.784로 나타나며, p 값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$)에서 유의하다. 개발된 모형의 유의확률 값은 0.000으로 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 횡단보도 사고에 가장 영향을 미치는 변수는 진입차로수로서 비표준화계수는 1.808인 것으로 분석되었다. 또한 양의 관계를 갖는 통과교통량과 진입차로수가 많을수록 사고건수가 증가하고, 음의 관계를 갖는 회전차로 폭은 좁을수록 사고건수가 증가하는 것으로 분석되었다.

Table 11. Multiple Linear Regression Result of Crosswalk

R^2	Adjusted R^2	Durbin-Watson	F	P-value
0.829	0.784	3.031	18,212	0.000
Variable	Unstandardized B	Standardized Beta	t	P-value
X_1	0.001	0.411	3.015	0.009
X_2	1.808	0.590	4.508	0.000
X_{10}	-0.432	-0.555	-3.373	0.004

4.2.4. 기타 사고모형(Y_4)

다중선형회귀모형 개발 결과, 교통량, 회전차로수, 과속방지턱수, 중앙교통섬직경, 회전차로폭이 변수로 채택되었다. 모형의 설명력은 0.644로 분석되었다. p 값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$)에서 유의하고, 개발된 모형의 유의확률 값은 0.000으로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 기타사고에 가장 많은 영향을 미치는 변수는 교통량, 회전차로수, 과속방지턱수, 중앙교통섬직경,

Table 12. Multiple Linear Regression Result of Etc.

R^2	Adjusted R^2	Durbin-Watson	F	P-value
0.775	0.644	1.507	5.915	0.004
Variable	Unstandardized B	Standardized Beta	t	P-value
X_1	0.004	0.792	3.506	0.004
X_3	5.715	2.005	3.213	0.007
X_5	-1.185	-0.350	-2.217	0.047
X_8	-0.657	-1.549	-1.927	0.078
X_{10}	-1.515	-1.274	-2.061	0.062

회전차로폭으로 선정되었다. 채택된 변수 중 양의 관계를 갖는 통과교통량과 회전차로수가 많을수록 사고건수가 증가하고, 음의 관계를 갖는 과속방지턱수는 적고, 중앙교통섬 직경 및 회전차로폭이 좁을수록 사고건수가 증가하는 것으로 분석되었다.

4.3. 모형개발 요약

포아송 및 음이항 모형과 다중선형회귀분석을 통해 개발된 모형은 Table 13 및 14와 같다.

포아송 및 음이항 모형의 분석 결과, 과분산 계수(Φ) 값이 1.96보다 적은 값으로 분석되어 음이항 모형보다는 포아송 모형이 적합한 것으로 분석되었다. 또한 개발된 모형의 우도비(ρ^2)가 0.3 이상으로 통계적으로 설명력이 높은 것으로 평가되었다.

다중선형회귀분석을 통해 모형을 분석한 결과, 모형의 설명력을 나타내는 보정 R^2 값은 Y_2 모형식을 제외하면 모두 0.6 이상으로 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 아울러 로터리 위치별 교통사고에 영향을 주는 공통변수로 교통량이 채택되었다.

Table 13. Summary of Poisson and Negative Binomial Models

Model	Expression	ρ^2
Y_1	$Y_1 = \exp(0.304X_2 + 0.009X_{11})$	0.407
Y_2	$Y_2 = \exp(0.002X_1 + 0.224X_{10})$	0.306
Y_3	$Y_3 = \exp(0.003X_1 + 0.762X_{14})$	0.378
Y_4	$Y_4 = \exp(0.001X_1 + 0.617X_5)$	0.366

Table 14. Summary of Multiple Linear Regression Models

Model	Expression	R^2
Y_1	$Y_1 = 0.005X_1 + 3.678X_2 + 2.869X_3 - 2.517X_6 + 0.071X_{11}$	0.781
Y_2	$Y_2 = 0.003X_1$	0.300
Y_3	$Y_3 = 0.001X_1 + 1.808X_2 - 0.0432X_{10}$	0.784
Y_4	$Y_4 = 0.004X_1 + 5.715X_3 - 1.185X_5 - 0.657X_8 - 1.515X_{10}$	0.644

4.4. 모형의 검증

개발된 모형의 적합성을 평가하기 위해 일반적으로 사고모형에서 가장 많이 사용되는 것으로 개발된 모형의 독립변수를 구축된 모형식에 적용하여 실측자료와 예측자료의 비교를 통해 적합도를 파악하는 방법인

RMSE(Root Mean Square Error), %RMSE(% Root Mean Square Error), MPB(Mean Prediction Bias) 및 MAD(Mean Absolute Deviation)를 이용하여 검증하였다. RMSE는 예측치와 실측치에 대한 평균적인 이탈정도를 나타내며 %RMSE는 그 이탈정도를 백분율로 나타낸 것을 의미한다. MPB는 실측치에 대해 예측치가 어느 정도로 어떻게 치우쳐져 있는지를 판단할 수 있는 기준을 제공해 주며 값이 작을수록 예측값이 정확하다는 것을 의미한다. 마지막으로 MAD는 MPB값은 음과 양의 차이로 상쇄되기 때문에 이를 보완하기 위한 것으로 예측치가 평균적으로 얼마나 잘못 예측되었는지를 판단하는 척도를 제공해 주는 것으로 결과값이 0에 가까울수록 실측치와 예측치 간에 차이가 없다는 것을 나타낸다. 모형식은 아래의 식 (1), (2) 및 (3)과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i (O_i - E_i)^2}{n}}, \%RMSE = \left(\frac{SE}{O_c}\right) \times 100 \quad (1)$$

$$MPB = \frac{\sum_i (O_i - E_i)}{n} \quad (2)$$

$$MAD = \frac{\sum_i |O_i - E_i|}{n} \quad (3)$$

검정 결과, 회전차로 사고모형, 횡단보도 사고모형 및 기타 사고모형에서는 포아송 모형이 적합하고, 진·출입구 사고모형은 다중선형회귀모형이 적합한 것으로 분석되었다. 실측치와 예측치를 모형별로 비교한 그래프는 Fig. 1~4와 같으며, X축은 로터리의 개수, Y축은 사고건수를 의미한다.

Table 15. Model Test

Classification	Y_1		Y_2	
	Multiple Linear	Count Model	Multiple Linear	Count Model
RMSE	1.630	1.616	2.310	2.476
%RMSE	47.238	46.838	153.975	165.061
MAD	1.257	1.447	1.191	1.402
MPB	0.000	-0.149	0.000	-0.200
Classification	Y_3		Y_4	
	Multiple Linear	Count Model	Multiple Linear	Count Model
RMSE	4.099	1.137	2.777	1.819
%RMSE	118.807	98.890	185.127	71.314
MAD	2.618	0.843	2.128	1.283
MPB	2.300	-0.235	-1.050	-0.071

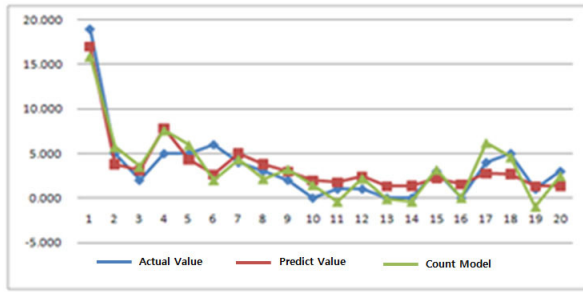


Fig. 1 Graph of Actual and Predicted Values(Y_1)

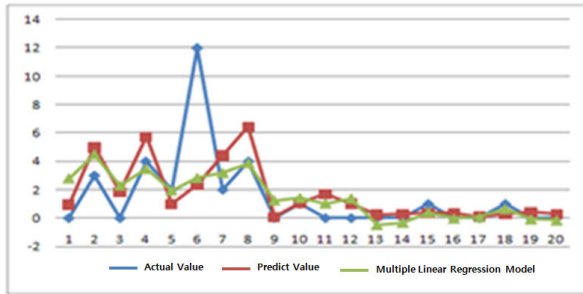


Fig. 2 Graph of Actual and Predicted Values(Y_2)

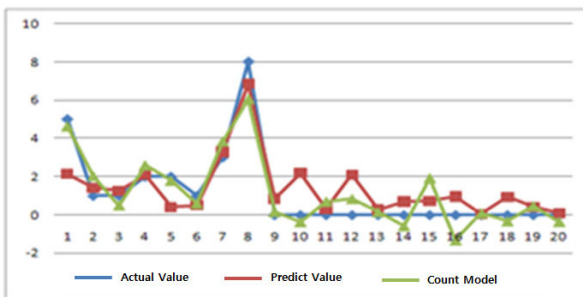


Fig. 3 Graph of Actual and Predicted Values(Y_3)

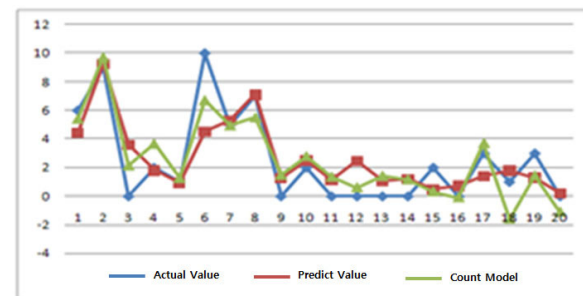


Fig. 4 Graph of Actual and Predicted Values(Y_4)

5. 결론

이 연구는 국내 20개 로터리의 사고위치에 따른 교통 사고 모형을 다루고 있다. 이를 위해 본 연구는 2007년부터 2009년까지의 국내 로터리에서 발생한 사고 자료를 바탕으로 회전차로, 진·출입구, 횡단보도 및 기타 사고건수를 종속변수로 하여 포아송 및 음이항 회귀분석

과 다중선형회귀분석을 통해 모형을 개발하였다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 보정 R^2 값이 각각 0.781, 0.300, 0.784 및 0.644로 분석되어 통계적으로 유의한 4개의 다중선형 모형이 개발되고, 우도비(ρ^2)가 0.407, 0.306, 0.378 및 0.366으로 분석되어 통계적으로 유의한 4개의 포아송 모형이 개발된다.

둘째, RMSE, %RMSE, MPB 및 MAD를 이용하여 모형의 적합성을 검증한 결과, 회전차로 사고모형, 횡단보도사고모형 및 기타 사고모형은 포아송 모형이 적합한 것으로 분석되었고, 진·출입구 사고모형은 다중선형 회귀분석 모형이 가장 적합한 것으로 분석된다.

마지막으로 사고에 영향을 주는 공통변수로 교통량이 채택되었다. 채택된 변수 중 양의 관계를 갖는 교통량, 진입차로수, 회전차로수, 진·출입구수 및 상충횡수는 많을수록 사고건수가 증가하고, 음의 관계를 갖는 과속방지턱수, 분리교통섬수, 내접원직경, 중앙교통섬직경, 회전차로폭, 횡단보도수는 적고 좁을수록 사고건수가 증가하는 것으로 분석되었다.

회전차로의 경우 진입차로와 상충횡수, 진·출입구의 경우 교통량, 횡단보도의 경우 교통량과 횡단보도 수, 마지막으로 기타의 경우 교통량과 과속방지턱수가 사고에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

이 연구에서는 교통량, 기하구조 등의 요인만을 고려하였으나, 향후 사고에 영향을 미칠 수 있는 법적요인 및 기상상태요인, 사고유형 등에 대한 추가 분석이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 교통사고 발생 건별 시간대에 대한 현황분석을 실시하여 연구를 보완하여야 한다.

References

- Han, Sang Jin, Kim, Kewn Jung(2007), "Road Accident Trends Analysis with Time Series Models for Various Road Types", *Korean Society of Road Engineers*, Vol. 9, No. 3, pp.1-7.
- Hoong Chor Chin · hammed Abdul Quddus(2003). Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention* 35, pp. 253-259.
- Kim, Sook Hee, Jang, Jeong Ah, Choi, Kee Choo(2005), "A Hierarchical Approach for Diagnose of Safety Performance and Factor Identification for Black Spots (Black on Suwon-city)", *Korea Society of Transportation*, Vol. 23, No. 1, pp. 9-20.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010), "Design Guideline of Roundabout".
- Oh, Ju Teak, Seong, Nak Mun, Ha, Oh Keun(2005), "Development of Accident Prediction Models for Rural Signalized

- Intersections”, *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 25, No. 1, pp. 9-15.
- Pardillo Mayora, Jose M., Bojorquez Manzo, Rafael, Camarero Orive, Alberto(2006). “Refinement of Accident Prediction Models for the Spanish National Network,” *TRB*, No. 1950, pp. 65-72.
- Park, Byung Ho and Ryu, Seung-Ok(2008), *Planning and Design of Modern Roundabout*, Yeawonsa.
- Park Sang Hyuk, Kim, Tae Young, Park, Byung Ho(2009), “Characteristics and Models of the Side-swipe Accident in the Case of Cheongju 4-legged Signalized Intersections”, *Korean Society of Road Engineers*, Vol. 11, No. 4, pp.41-47.
- Park, Jeong Soon, Kim, Tae Young, Yoo, Doo Seon(2007), “Correlation Analysis and Estimation Modeling Between Road Environmental Factors and Traffic Accidents (The Case of a 4-legged Signalized Intersections in Cheongju)”, *Korea Society of Transportation*, Vol. 25 No. 2, pp. 63-72.
- Park, Jun Tae, Lee, Soo Beom, Kim, Jang, Wook, Lee, Dong Min (2008), “Development of a Traffic Accident Prediction Model for Urban Signalized Intersections”. *Korea Society of Transportation*, Vol. 26, No. 4, pp. 99~110.
- Yan, Xuedong, Radwan, Essam, Abdel-Aty, Mohamed(2005). “Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections Using multiple logistic regression model”, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 37, No. 6, pp. 983-995.
- Yoo, Doo Seon, Oh, Sang Jin, Kim, Tae Young, Park, Byung Ho(2008) “Comparative Analysis on the Characteristics and Models of Traffic Accidents by Day and Nighttime in the Case of Cheongju 4-legged Signalized Intersections”. *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 28, No. 2D, pp. 181-189.
- (접수일 : 2011. 7. 1 / 심사일 : 2011. 7. 7 / 심사완료일 : 2012. 7. 3)