

국내 회전교차로의 추돌사고 모형 개발

박병호[†] · 백태헌

충북대학교 도시공학과

(2014. 3. 7. 접수 / 2014. 8. 14. 수정 / 2014. 12. 19. 채택)

Developing Rear-End Collision Models of Roundabouts in Korea

Byung Ho Park[†] · Tae Hun Beak

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

(Received March 29, 2014 / Revised August 14, 2014 / Accepted December 19, 2014)

Abstract : This study deals with the rear-end collision at roundabouts. The purpose of this study is to develop the accident models of rear-end collision in Korea. In pursuing the above, this study gives particular attention to developing the appropriate models using Poisson, negative binomial model, ZAM, multiple linear and nonlinear regression models, and statistical analysis tools. The main results are as follows. First, the Vuong statistics and overdispersion parameters indicate that ZIP is the most appropriate model among count data models. Second, RMSE, MPB, MAD and correlation coefficient tests show that the multiple nonlinear model is the most suitable to the rear-end collision data. Finally, such the independent variables as traffic volume, ratio of heavy vehicle, number of circulatory roadway lane, number of crosswalk and stop line are adopted in the optimal model.

Key Words : poisson, negative binomial, multiple linear and nonlinear, ZIP(zero-inflated Poisson, ZIMB(zero-inflated negative binomial), rear-end collision, roundabouts

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 지속적인 경제발전은 국민의 삶의 질 향상에 적지 않은 영향을 끼쳤다. 사회가 발전함에 따라 자동차 수가 증가했고, 증가하는 자동차의 수만큼 사고로 인한 재산 및 인명피해도 증가하고 있다. 이렇듯 경제성장은 풍요로운 삶의 질을 보장하는 반면에 치명적인 사고로 인한 피해를 남기기도 했다. 교통사고를 줄이는 것 또한 경제성장을 위한 기반인 만큼 사고에 대한 교육이 더욱 강화되어야 한다.

현재 비신호 교차로의 통행 우선권 미 확립 및 신호 교차로의 불필요한 신호 대기시간으로 인한 신호위반 사례와 사고의 위험이 높다. 이와 관련해서 국내에서도 불필요한 신호대기시간을 줄이고 교통량을 분산시킬 수 있는 회전교차로를 적극 도입하고 있다.

또한 회전교차로는 교차로의 지체를 줄일 뿐 아니라 환경오염 감소와 사고위험을 획기적으로 감소시키는 역할을 한다. 회전교차로가 활성화되면 교차로에서 불

필요한 신호에 의한 대기시간이 줄어 교차로의 소통이 완화되고 사망사고 등의 감소로 사고 심각도가 대폭 줄어 들 것이다. 프랑스의 경우 이미 79% 정도의 중상 이상의 사고 감소 효과를 경험하였다. 안전행전부에서는 회전교차로 개선사업의 일환으로 전국 교차로를 대상으로 전수조사를 실시하였으며, 설치 전·후의 교통사고가 49.5% 감소했다고 보도했다.

회전교차로에서 차와 보행자, 기타 수단과의 사고도 많이 일어나지만 차와 차가 부딪혔을 경우의 사고심각성도 무시할 수는 없다. 일반적으로 회전교차로에서는 측면 충돌사고가 가장 높은 비율로 일어나지만 추돌사고 또한 자주 일어나는 유형으로, 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

따라서 이 연구는 회전교차로에서 우선권 문제로 발생하는 사고유형 중 빈번하게 발생하는 추돌사고를 예측하기 위한 모형을 정립하는데 그 목적이 있다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

이 연구는 국내 100개소의 회전교차로에서 발생한

[†] Corresponding Author : Byung Ho Park, Tel : +82-43-261-2496, E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University, 52, Naesudong-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

사고를 다루고 있다. 연구를 위해 회전교차로에서 발생한 사고 현황 및 특성을 파악하고 사고모형을 개발하기 위해 도로교통공단의 「교통사고 분석시스템(TAAS)」을 이용하여 2007년~2010년의 사고 자료를 수집하였다. 자료를 바탕으로 추돌사고의 특성을 파악하고, 국내·외 문헌을 통하여 관련 변수를 선정하였다. 선정된 변수를 토대로 SPSS 17.0과 LIMDEP 3.0을 활용하여 추돌사고에 미치는 요인들을 분석하여 사고모형을 개발하였다. 특히 자료의 속성이 적정 모형을 제시하지 못하는 경우엔 다양한 모형, 즉 가산자료모형, 다중선형 및 비선형 회귀모형 중 통계적 검증을 통해 최적 모형을 개발한다.

2. 기존문헌 고찰

2.1. 국내연구

이동민 등은 2010년 행정안전부에서 추진한 91개소의 회전교차로 중 6개소를 선정하여 사전·사후효과분석을 수행하였다. 분석결과 평균통행시간, 속도편차 및 보행자와 차량의 상충횟수가 줄어들어 안전성측면에서 효과가 있다고 밝히고 있다¹⁾.

임진강 등은 국내에서 운영되고 있는 로터리 20개 지점을 대상으로 VISSIM을 이용한 회전교차로 전환시 효과분석을 실시하였다. 분석결과 교통량이 증가할수록 로터리에서의 차량당평균지체가 급격히 증가하는 것으로 나타났으며, 회전교차로 전환시 속도저감효과로 인해 안전성에 효과가 있다고 밝히고 있다²⁾.

강진동 등은 행정안전부에서 추진한 ‘교통운영체계 선진화 방안’의 일환으로 서울시에 설치된 회전교차로 3개소를 대상으로 설치효과를 분석하였다. 분석결과 신호교차로를 회전교차로로 전환했을 때 지체도는 55%감소, 통행속도는 121%증가하였고, 무신호교차로를 회전교차로로 전환했을 때는 속도저감효과와 더불어 지체도가 증가하였다고 밝히고 있다³⁾.

박병호 등은 청주시의 3지 신호교차로를 대상으로 도로조건, 교통조건 및 교통운영조건 등과 교통사고와의 관계를 분석하고 모형식을 도출하여 도로환경 요인이 교통사고에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과 총 6가지의 다중선형회귀, 비선형회귀식 및 음이항 회귀식이 개발되었으며, 교통량과 차로폭이 공통변수로 채택되었고, 특정변수로는 교차각, 중차량비율, 제한속도차이 및 유턴유무가 선택되었다⁴⁾.

김진선 등은 청주시 내부의 주요가로망을 중심으로 간선도로 기능을 구분하여 도로의 특성 및 기하구조 조사를 통한 도로 기능별 사고 특성을 파악하였다. 또

한 기하구조 요인이 사고에 미치는 영향을 분석하기 위해 ZAM(Zero Altered Model)을 이용한 사고모형을 개발하였으며, 분석결과 2개의 ZIP 모형과 2개의 ZINB 모형이 개발되었다⁵⁾.

한수산 등은 국내원형교차로를 중심으로 한 교통사고 모형을 다루고 있으며 교차로내의 차대 사람사고, 차대 차 사고, 차량단독 사고 등 다양한 유형을 파악하여 포아송 및 음이항 모형을 구축하였다. 분석결과 공통변수는 교통량, 그리고 특정변수는 우회전별도차로수, 과속방지턱, 진출입구 수 및 횡단보도수가 채택되었다⁶⁾.

박병호 등은 청주시 비신호 교차로의 교통사고자료와 기하구조 자료를 바탕으로 사고특성을 분석하고, 도로환경요인과 기하구조 요인이 사고에 미치는 영향을 파악하기 위해 ZAM을 이용하여 모형을 개발하였다. 그 결과 교통량, 횡단보도수, 교차각, 시거 및 차로폭이 사고요인으로 나타났으며 신호교차로와 달리 비신호 교차로에서는 시거와 교차각이 영향을 준다고 분석하였다⁷⁾.

2.2. 국외연구

Lee 등은 도로 사고의 빈도와 심각도를 분석하였다. 이 연구에서는 워싱턴주에서 고속도로 96.6km 구간에서 발생한 사고의 자료를 수집하여 분석하였다. 또한 ZAM과 로짓모형을 사용하여 사고 빈도와 심각도를 통계모형 추정을 통하여 비교·분석하였다⁸⁾.

Washington 등은 ZAM과 음이항 모형 중 적합한 모형을 판단하는 기준을 제시하였으며, 기준 제시에는 과분산계수 t통계값과 Vuong통계값을 이용한다⁹⁾.

Chin 등은 음이항 회귀모형을 이용하여 싱가포르 신호교차로에서 발생한 교통사고의 임의효과를 분석하였다. 이 연구는 교차로 안전에 영향을 미치는 요소를 식별하는 음이항 모형을 설명하고 모형의 적합성을 검증하기 위해 여러 통계분석을 활용하였다. 분석결과 총 접근교통량, 주기, 회전차선 및 감시카메라 여부가 사고에 영향을 미치는 변수로 분석되었다¹⁰⁾.

Yan은 6개의 신호교차로를 대상으로 측면직각 충돌사고를 분석하였다. 저자들은 측면직각 충돌사고는 교차로의 기하구조 및 날씨, 제한속도 등에 영향을 받는다고 밝혔다¹¹⁾.

Lord 등은 포아송, 포아송 감마 및 ZAM을 이용하여 자동차 충돌모형을 개발하였다. 이 연구는 충돌자료를 적절한 방법으로 활용할 수 있는 지침을 제공하는 것이 목적이다. 분석결과 포아송 및 기타 혼합 확률적 구조는 자동차 충돌 프로세스를 모델링할 수 있다는 것

을 대략적으로 보여줬다. 또한 특정 상황에서는 영 과잉정보가 관찰됨을 알 수 있다고 밝히고 있다¹²⁾.

이와 같이 기존연구에서는 주로 가로구간 혹은 고속도로의 사고분석에 대한 연구가 이루어지고 있다. 또, 회전교차로의 도입에 관심을 갖게 되면서 가상 시뮬레이션을 통한 회전교차로의 용량 및 운영효율을 분석하는 연구와 로터리와 회전교차로를 구분하는 지침을 제시하거나 회전교차로로 전환함에 따른 효과를 비교·분석하는 연구가 진행되었다.

최근 인적요인, 도로환경요인 및 사고유형요인을 종속변수로 한 사고모형 개발에 대한 연구가 진행되고 있으나, 회전교차로에서 발생한 사고의 충돌유형을 대상으로 한 연구는 이루어지지 않고 있다. 따라서 이 연구에서는 회전교차로의 도입 혹은 로터리의 회전교차로로의 전환에서 겪을 수 있는 우선권 문제에 따라 발생하게 되는 추돌사고를 대상으로 사고모형을 개발하였다는데 있어 기존연구와 차별성이 있다.

3. 분석의 틀 설정

3.1. 자료수집

국내 100개소 회전교차로에서 발생한 총 사고는 1,023건이며, 이 중 측면충돌 사고는 640건, 추돌사고는 276건, 기타사고가 74건, 정면충돌 사고가 33건으로 나타났다. 도로교통공단의 교통사고 분석시스템(TAAS)을 이용하여 사고자료와 인적요소, 사고유형 및 범규위반 항목 등의 자료를 수집 및 정리하였다.

개발에 필요한 독립변수들은 동영상 분석과 현장조사를 통해 기본적인 자료를 수집하였다. 또한 CAD파일 및 위성사진을 통한 기타 교차로 구성요소 자료를 수집하였다.

3.2. 변수선정

종속변수는 회전교차로에서 발생한 추돌사고(Y_1)로 선정하였다. 독립변수는 현장조사 및 동영상 분석을 통해 교통량과 가타 기하구조 자료를 수집하였으며 추가적으로 필요한 부분들은 위성사진과 CAD 파일을 활용하여 분석하였다. 이를 토대로 회전교차로에서 발생한 사고와 연관이 있을 것으로 판단되는 교통량, 교차로 기하구조 등을 검토한 후 13개 독립변수를 선정하였으며, 이에 대한 평균, 표준편차, 왜도 및 첨도는 Table 1과 같다.

3.3. 상관관계 및 다중공선성 분석

변수들 간의 독립성을 파악하기 위해 상관관계 분석

Table 1. List of variables

Variables		Mean	Standard Deviation	Skewness	Kurtosis
Rear-End Collision	Y_1	2.936	6.723	4.041	17.576
Traffic Volume	X_1	17189	18352	2.762	9.124
Ratio of Overweight Vehicle	X_2	8.974	7.841	1.371	2.275
Diameter of Central Island	X_3	27.049	26.002	4.625	28.759
Circulatory Roadway Width	X_4	5.412	2.249	1.605	3.135
Number of Circulatory Roadway	X_5	1.606	0.907	1.578	2.099
Number of Approach	X_6	4.394	1.050	0.744	0.911
Approach Width	X_7	5.331	2.249	1.343	1.507
Average of The Number of Approach	X_8	1.465	0.551	0.797	0.468
Median Island by Approach	X_9	0.766	0.426	-1.277	-0.378
Number of Crosswalk	X_{10}	0.904	0.390	-0.900	3.032
Number of Speed Hump	X_{11}	0.149	0.358	2.004	2.060
Yield Line	X_{12}	0.426	0.497	0.306	-1.948
Stop Line	X_{13}	0.223	0.419	1.350	-0.183

을 수행하였다. 신뢰수준 95%($\alpha = 0.05$)로 한, Pearson 상관계수를 통해 변수들 간의 상관성을 분석하였다. 교통량, 중앙교통섬직경, 접근로 차로폭, 접근로 평균 차로수, 정지선 유/무가 사고와 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.

다중공선성은 종속변수에 대한 독립변수 간의 상관관계가 높은지의 여부를 의미한다. 이를 고려하지 않고 모형을 구축할 경우 모형 구축에 사용된 독립변수가 역할을 하지 못하는 결과를 발생시켜 모형의 설명력은 설사 높을 지라도 회귀계수들이 유의하지 않게

Table 2. Analysis of multi-collinearity

Classification		Tolerance	VIF
Traffic Volume	X_1	0.42	2.36
Ratio of Overweight Vehicle	X_2	0.86	1.16
Diameter of Central Island	X_3	0.50	2.00
Circulatory Roadway Width	X_4	0.57	1.76
Number of Circulatory Roadway	X_5	0.43	2.31
Number of Approach	X_6	0.70	1.42
Approach Width	X_7	0.23	4.38
Average of The Number of Approach	X_8	0.26	3.81
Median Island by Approach	X_9	0.64	1.57
Number of Crosswalk	X_{10}	0.81	1.23
Number of Speed Hump	X_{11}	0.59	1.70
Yield Line	X_{12}	0.70	1.44
Stop Line	X_{13}	0.64	1.57

될 수도 있다. 분석결과 공차한계가 0.1 이상이며, VIF (Variation Inflation Factor)값이 10미만으로 분석되어 다중공선성의 문제가 없는 것으로 나타났다.

4. 사고모형 개발

4.1. 이론적 고찰

다중선형회귀모형은 오차분산을 줄이고 종속변수에 대한 상세한 설명력을 주며 다른 독립변수의 값을 통제된 상태에서 특정 독립변수가 종속변수에 독립적으로 주는 영향력을 측정하는데 모형의 장점이 있다.

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_i x_i + \epsilon_i \tag{1}$$

포아송 회귀(Poisson regression) 모형은 회귀분석이나 범주형 자료를 분석하기 위해 사용되는 모형으로, 일정한 시간 또는 공간에서 '0'(zero)을 포함한 사건 발생횟수와 이에 따른 확률분포를 말한다. 포아송 분포의 확률밀도 함수는 식 (2)와 같다.

$$Pr(Y_i = k|X_i) = \frac{\exp(-\lambda_i)\lambda_i^k}{k!}, k = 0, 1, 2, \dots \tag{2}$$

음이항 회귀(negative binominal regression) 모형은 자료의 분포가 과분산(overdispersion)을 나타낼 경우 포아송 모형은 적용하기 어려운 점이 있기 때문에 이를 해결하기 위해 자주 사용되는 모형이다. 음이항 회귀 모형식은 포아송 회귀 모형식에 오차 항을 결합시킨 형태로 식 (3)과 같다.

$$Pr(Y_i = k|X_i) = \frac{T(k + \alpha^{-1})}{T(k + 1)T(\alpha^{-1})} \times (\alpha\lambda_i)^k [1 + \alpha\lambda_i]^{-(k + \alpha^{-1})} \tag{3}$$

ZAM은 단위 시간당 사건이 발생되지 않았을 경우 일반적으로 두 가지 경우를 고려해 볼 수 있는데, 사건을 발생시켜 오다가 조사당일 사건을 발생시키지 않았을 경우와 처음부터 사건을 전혀 발생시켜 오지 않은 경우이다. 이러한 경우 과도한 사고의 미발생은 자료상에 관측되지 않은 이질성을 내포함으로써 과산포 현상을 보이게 된다. 이를 고려할 수 있는 모형에는 ZIP(zero-inflated Poisson) 모형과 ZINB(zero-inflated negative binomial) 모형 등이 있는데, 이는 포아송과 음이항회귀모형의 확장된 형태이다. 다음 (4)와 (5)는 ZAM(zero-altered model) 모형의 일반적인 형태를 나타

내고 있다.

$$P(y_i = 0|X_i) = p_i + (1 - p_i) \left(\frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \lambda_i} \right)^{\alpha^{-1}} \tag{4}$$

$$P(y_i > 0|X_i) = (1 - p_i) \left(\frac{\Gamma(\alpha^{-1} + y_i)}{\Gamma(\alpha^{-1})\Gamma(y_i + 1)} \right) \left(\frac{1}{1 + \alpha\lambda_i} \right)^{\alpha^{-1}} \left(1 - \frac{1}{1 + \alpha\lambda_i} \right)^{y_i} \tag{5}$$

4.2. 가산자료 모형 분석

추돌사고(Y_1)를 종속변수로 음이항, 포아송 모형을 구축하였고, 100개 교차로 중 43개소가 '0'값을 가지므로 ZAM을 추가로 구축하여 Table 3과 같은 결과를 얻었다.

포아송 및 ZIP은 교통량(X_1), 중앙교통섬직경(X_3) 및 정지선 유무(X_{13})가 변수로 채택되었으며, 우도비는 각각 0.655와 0.677로 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 채택된 변수 중 중앙교통섬직경이 작을수록, 정지선 표시가 없을수록 사고가 증가하는 것으로 분석되었다.

음이항 및 ZINB의 경우 상수, 교통량(X_1), 중앙교통섬직경(X_3) 및 정지선 유무(X_{13})가 변수로 채택되었다. 모형의 설명력을 나타내는 우도비는 각각 0.334와 0.343으로 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 채택된 변수 중 교통량이 증가할수록, 중앙교통섬직경이 작을수록, 정지선 표시가 없을수록 사고가 증가하는 것으로 나타났다.

Table 3. Count data modeling

Variables		Po	ZIP	NB	ZINB
Constant	Coeff.	-15.184	-12.641	-15.122	-12.349
	t-ratio	-14.304	-10.682	-9.919	-9.288
	p-value	0.000	0.000	0.000	0.000
Traffic Volume	Coeff.	1.631	1.408	1.621	1.376
	t-ratio	14.932	11.253	10.248	9.919
	p-value	0.000	0.000	0.000	0.000
Diameter of Central Island	Coeff.	-0.009	-0.008	-0.007	-0.007
	t-ratio	-3.907	-2.384	-1.857	-1.871
	p-value	0.000	0.017	0.063	0.061
Stop Line	Coeff.	-0.671	-0.550	-0.517	-0.517
	t-ratio	-4.101	-3.290	-2.239	-2.556
	p-value	0.000	0.001	0.025	0.011
ρ^2		0.665	0.677	0.334	0.343
Alpha(Φ)		-		1.664	0.676
Vuong		6.082		0.297	

Note1 : Po is Poisson, and NB is negative binomial regression model.

Table 4. Decision guidelines for model selection

Classification		t Statistic of the NB Overdispersion Parameter α	
		< 1.96	> 1.96
Vuong Statistic for ZINB and NB Comparison	< -1.96	ZIP or Poisson as Alternative to NB	NB
	> 1.96	ZIP	ZINB

Source : Simon P. Washington(2003), Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, pp. 250-254.⁽⁶⁻²⁾

구축된 4개의 모형 중 포아송 모형과 음이항 모형 중 적합한 모형은 과분산계수(ϕ)가 1.644이므로 음이항 모형 보다는 포아송 모형이 적합한 것으로 분석되었다. 또한, ZIP과 ZINB 모형 중 적합한 모형을 선택하기 위해 Table 4의 모형결정계수 범위를 활용하였다. 분석된 ZAM의 Vuong 통계값은 각각 6.082로 1.96보다 큰 값을 나타내고 있어 포아송 및 음이항 모형 보다는 ZIP과 ZINB 모형이 적합한 것으로 분석되었다. 위에서 분석한 것처럼 과분산계수 값에 따라 ZIP모형이 가산자료모형의 분석에 있어 가장 적합한 모형인 것으로 나타났다.

4.3. 다중회귀모형 분석

추돌사고(Y_1)를 종속변수로 다중 선형과 비선형 회귀모형을 구축한 결과는 Table 5, 6과 같다.

우선 선형회귀 모형을 구축한 결과 상수, 교통량(X_1), 중앙교통섬직경(X_3), 회전차로폭(X_4), 정지선유무(X_{13})가 변수로 채택되었다. 교통량이 증가할수록 사고의 발생이 높아지며 중앙교통섬 직경과 회전차로폭이 좁고 정지선 표시가 없을 경우 사고가 증가하는 것으로 나타났다.

모형의 설명력을 나타내는 보정 R^2 가 0.753으로 설명력이 높은 것으로 분석되었으며 p 값은 신뢰수준 90%

Table 5. Multiple linear modeling

R^2	Adjusted R^2	Durbin-Watson	F	P-value
0.767	0.753	1.876	57.789	0.000

Variables	Unstandardized	Standardized	t	P-value
	B			
Constant	1.614	-	1.108	0.271
Traffic Volume	3.395E-04	0.927	14.087	0.000
Diameter of Central Island	-0.068	-0.263	-3.981	0.000
Circulatory Roadway Width	-0.331	-0.111	-2.027	0.046
Stop Line	-2.193	-0.137	-2.247	0.027

Table 6. Multiple nonlinear modeling

R^2	Adjusted R^2	Durbin-Watson	F	P-value
0.620	0.589	1.870	20.055	0.000

Variables	Unstandardized	standardized	t	P-value
	B			
Constant	-3.144	-	-4.798	0.000
Traffic Volume	0.316	0.348	3.947	0.000
Ratio of Overweight Vehicle	0.014	0.117	1.708	0.091
Number of Circulatory Roadway	0.170	0.170	2.026	0.046
Number of Crosswalk	-0.402	-0.173	-2.470	0.016
Stop Line	-0.303	-0.140	-1.781	0.079

($\alpha = 0.10$)에서 유의하다. 개발된 모형의 유의확률은 0.000으로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 사고에 가장 많은 영향을 주는 변수는 교통량이며 비표준화계수는 3.395E-04로 분석되었다.

다중 비선형 회귀모형을 구축한 결과, 상수, 교통량(X_1), 중차량비(X_2), 회전차로수(X_5), 횡단보도수(X_{10}), 정지선 유무(X_{13})가 변수로 채택되었다. 교통량과 중차량비, 회전차로수, 접근로 평균차로수, 접근로별 분리교통섬 수가 많아질수록 사고가 증가하며, 횡단보도가 없거나 정지선 표시가 없을 경우 사고가 증가하는 것으로 분석되었다.

모형의 설명력을 나타내는 보정 R^2 값은 0.589로 나타나며 p 값은 신뢰수준 90%($\alpha = 0.10$)에서 유의하다. 개발된 모형의 유의확률은 0.000으로 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 사고에 가장 많은 영향을 미치는 변수는 교통량이며 비표준화계수는 0.316으로 나타났다.

4.4. 모형 종합 및 검증

구축된 6개의 모형에서 분석된 공통변수와 특정변수는 Table 7과 같다. 공통변수에는 교통량(X_1)과 정지선 표시의 유무(X_{13})가 채택되었으며, 특정변수로는 중차량비(X_2), 중앙교통섬직경(X_3), 회전차로폭(X_4), 회전차로수(X_6), 횡단보도수(X_{10})로 분석되었다. 교통량

Table 7. Summary of variables

Common Variables	Specific Variables
Traffic Volume, Stop Line	Ratio of Overweight Vehicle, Diameter of Central Island, Circulatory Roadway Width, Number of Approach, Number of Crosswalk

을 제외한 모든 변수들이 음의 관계를 갖고 있으며 교통량이 많고 정지선 표시가 없는 경우 사고가 증가하는 것으로 해석된다.

4.5. 최적모형의 선정 및 논의

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), MAD(Mean Absolute Deviation) 및 상관계수를 이용하여 검정하였다.

모형의 검정의 결과는 Table 8과 같다. 검정 결과, 추돌사고 모형의 결과 개발된 모형 중 다중 비선형 회귀모형이 가장 적합한 모형인 것으로 분석되었다.

최적모형으로 선정된 다중 비선형 회귀모형에서는 교통량(X_1), 중차량비(X_2), 회전차로수(X_5), 횡단보도수(X_{10}), 정지선 유무(X_{13})이 유의한 변수로 채택되었다.

선정된 변수에 대한 해석은 다음과 같다. 회전교차로를 통행하는 교통량이 증가함에 따라 사고가 증가하는 것은 일반적인 현상이다. 중차량의 경우 일반 차량에 비해 옆 차로와의 간격이 좁고, 차량의 무게가 무거워 가감속 및 조향이 어렵기 때문에 중차량비가 높을수록 추돌사고가 증가하는 것으로 해석된다. 회전교차로 내 회전차로가 증가할수록 상충점이 많아져 추돌사고가 증가하는 것으로 해석된다. 회전교차로에 횡단보도가 있을 경우 감속이 된 상태로 진입하기 때문에 횡단보도가 많을수록 사고가 적게 일어나는 것으로 판단된다. 정지선 유무의 경우 교통량과 같이 모든 모형에서 채택된 공통변수이다. 정지선 표시가 없는 회전교차로에서는 속도의 감속이 이루어지지 않아 사고가 증가하는 것으로 판단된다.

회전교차로와 4지 신호교차로에서 일어난 추돌사고의 영향변수를 비교했을 때 일반적으로 채택되는 교통량과 중차량비가 공통적으로 사고에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 속도와 관련된 변수에서 다른 특징을 보였는데 4지 신호교차로의 경우 평균통행속도가 느릴수록 추돌사고가 증가한다고 밝히고 있는 반면,

회전교차로의 경우 속도저감과 관련된 변수가 증가할수록 사고가 감소하는 것으로 분석되었다. 이를 통해 4지 신호교차로와는 다르게 회전교차로의 추돌사고 감소에 속도저감이 효과가 있다는 것으로 판단된다.

5. 결론

이 연구는 국내 회전교차로 100개소에서 발생한 추돌사고를 다루고 있다. 이를 위해 2007년부터 2010년까지 발생한 사고 자료와 13개의 독립변수를 토대로 포아송, 음이항모형, ZAM, 다중선형 및 다중비선형 회귀모형을 개발하였다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 가산자료 모형 중 ZAM 분석결과 Vuong 통계값이 6.082로 1.96보다 큰 값을 나타내 포아송 및 음이항 모형보다는 ZAM이 적합한 것으로 나타났으며, 과분산 계수값에 의해 ZIP 모형이 적합한 것으로 평가되었다.

둘째, RMSE, MPB, MAD 및 상관계수를 이용하여 가산자료모형, 다중 선형 및 비선형 회귀모형을 검정한 결과 추돌사고는 다중 비선형 회귀모형이 가장 적합한 모형인 것으로 평가되었다.

마지막으로 최적모형에서는 교통량, 중차량비, 회전차로수, 횡단보도수 및 정지선유무가 채택되었는데, 이는 교통량이 많을수록, 중차량비가 클수록, 회전차로수가 많을수록, 횡단보도수가 적을수록, 정지선 표시가 없을 경우 사고가 증가한다는 것을 의미한다.

연구의 결과를 토대로 제안할 수 있는 방안으로는 정지선 및 양보선 설치 등이 있다. 이는 회전교차로로 진입하는 차량의 속도 및 회전중인 차량의 속도를 저감시키기 위한 것으로 회전교차로에서의 추돌사고 감소에 효과가 있을 것으로 기대된다.

현재 이 연구에서는 회전교차로에서 발생한 추돌사고만을 다루고 있으나, 향후 여러 사고유형에 대한 모형 개발 및 사고자료의 추가 수집과 분석을 통한 연구의 진행이 필요하다고 판단된다.

References

- 1) D. M. Lee, J. H. You, D. H. Kim and S. K. Lee, "An Analysis of Roundabout Application Effects Based on Before and After Field Studies", Koran Society of Road Engineering Journal, Vol. 15, No. 1, pp. 111-119, 2013.
- 2) J. K. Lim and B. H. Park, "Comparative Analysis of Operational Effectiveness Related to the Conversion of Rotary to Roundabout in Korea", Koran Society of Road

Table 8. Fitness tests of developed models

Classification	Multiple Linear	Multiple Nonlinear	ZIP
RMSE	0.541	0.453	0.491
MPB	0.247	0.237	0.285
MAD	-0.209	-0.282	-0.252
Correlation coefficient	0.997	0.998	0.996

- Engineering Journal, Vol. 13, No. 2, pp. 77-83, 2011.
- 3) J. D. Kang, Y. W. Park and H. J. Cho, "Evaluation on Roundabouts in Urban Area: Case Study of Seoul Metropolitan Area", *Transportation Technology and Policy*, Vol. 11, No. 3, pp. 6-16, 2013.
 - 4) B. H. Park, S. U. Han and T. Y. Kim, "Traffic Accident Models of 3-Legged Signalized Intersections in the Case of Cheongju", *Journal of the Korea Society of Safety*, Vol. 24, No. 4, pp. 94-99, 2009.
 - 5) J. S. Kim, T. Y. Kim, K. H. Kim and B. H. Park, "Developing the Traffic Accident Models by the Function of Arterial Link Sections in the Case of Cheongju", *Korean Society of Road Engineering Journal*, Vol. 13, No. 1, pp. 49-57, 2011.
 - 6) S. S. Han, K. H. Kim and B. H. Park, "Accident Models of Circular Intersections by Type in Korea", *Korean Society of Road Engineering Journal*, Vol. 13, No. 3, pp. 103-110, 2011.
 - 7) B. H. Park, S. H. Park, Y. M. Lee and B. C. In, "Accident Analysis of Unsignalized Intersections Using ZAM - In the Case of 3-legged and 4-legged Unsignalized Intersections in Cheongju", *Korea Planners Association journal*, Vol.43, No.6, pp. 69-78, 2008.
 - 8) J. S. Lee and F. Mannering, "Impact of Roadside Features on the Frequency and Severity of Run-off-roadway Accidents : An Empirical Analysis", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 34, pp. 149-161, 2002.
 - 9) S. P. Washington, M. G. Karlaftis and F. L. Mannering, "Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis", *Champan & Hall/CRC*, 2003.
 - 10) H. C. Chin and M. Quddus, "Applying the Random Effect Negative Bbinomial Model to Examine Traffic Accident Occurrence at Signalized Intersections", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 35, pp. 253-259, 2003.
 - 11) X. Yan, "Safety Issue of Red-light Running and Unprotected Left-turn at Signalized Intersections", B.Sc. Xi'an University of Architecture & Technology, M.Sc. University of Central Florida, 2005.
 - 12) D. Lord, S. P. Washington and J. N. IVAN, "Poisson, Poisson-gamma and Zero-inflated regression Model, of Motor Vehicle Crashes : Balancing Statistical Fit and Theory", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 37, pp. 35-46, 2005.