

ZAM을 이용한 원형교차로 원인별 사고모형 개발

Accident Models of Circular Intersection by Cause Using ZAM

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

ABSTRACT

This study deals with the traffic accidents of circular intersections in Korea. The goal of this study is to develop the traffic accident models using ZAM. The main results are as follows. First, in the case of 'violating the operational method of intersection', ZINB(zero-inflated-negative binomial) models were analyzed to be the best fit to the data. Second, in the case of 'no maintaining the safe distance', ZINB models were also analyzed to be the best fit to the data. Finally, such the common variables as traffic volume and width of circular roadway were selected as the independent variables. The more traffic volume and the less width of circulatory roadway were evaluated to make the more accidents. Such the specific variables as the number of approach lanes and speed reduction facilities were selected as the explanatory variables. The more approach lanes and the less speed reduction facilities were evaluated to give the more accidents. This study might be expected to give some implications to the accident research on the circular intersections.

KEYWORDS

accident by cause, roundabout, poisson and negative binomial regression model, ZAM(zero-altered-model)

요지

이 연구는 국내 원형교차로에서 발생한 교차로 사고를 다루고 있다. 연구의 목적은 ZAM을 이용하여 원인별 사고모형을 개발하는데 있다. 주요결과는 다음과 같다. 첫째, 교차로 운행방법 위반에서는 ZINB 모형이 적합한 것으로 분석되었다. 둘째, 안전거리 미확보에서도 ZINB 모형이 적합한 것으로 분석되었다. 마지막으로 공통변수로는 교통량과 회전차로 폭이 선정되었다. 교통량이 많을수록 그리고 회전차로 폭이 좁을수록 사고가 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 특정변수로는 접근로수와 감속 시설수가 채택되었고, 접근로수가 증가할수록 그리고 감속시설수가 적을수록 사고가 증가하는 것으로 분석되었다. 이 연구는 원형교차로 사고연구에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어

원인별 사고, 회전교차로, 포아송 및 음이항 모형, ZAM

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라는 로터리 형식의 교차로를 회전교차로로 전환하고 있는 실정이다. 이에 따라 그 통행방법도 로터리와 다르게 진행하여야 하나 아직까지 로터리의

통행방법으로 회전교차로를 진입하여 운행방법 미숙에 의한 사고가 많이 발생하고 있다. 또한 통행방법 위반과 안전거리 미확보에 의한 급정지 사고 및 추돌사고가 많이 발생하고 있으며, 이를 해결하기 위해서는 교차로의 정확한 운행방법을 숙지하고 안전거리의 확보를 통해

안전하게 교차로를 통행해야 한다.

지금까지의 국내 연구동향을 살펴보면, 신호교차로 및 일반가로 구간의 사고에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나, 원형교차로의 구체적인 사고원인에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 국내 원형교차로의 기하구조 특성 및 운전행태를 조사·분석하여 교차로 사고발생 원인(교차로 운행방법 위반, 안전거리 미 확보, 불법유턴, 보행자 보호의무 위반, 진행방해, 안전운전불이행, 그리고 차로위반의 7가지 원인)과 특성을 파악하고, 이를 반영한 사고모형을 개발하는데 목적이 있다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

현재 기존 로터리 형식의 교차로를 회전교차로로 전환하고 있는 실정이지만, 로터리 방식에 익숙한 운전자들이 회전교차로의 통행방법을 혼돈하고 있다. 따라서 이 연구에서는 국내에서 운영되고 있는 회전교차로와 로터리를 모두 잠정적으로 원형교차로라고 하였다.

이 연구는 국내 원형교차로에서 발생한 교통사고 현황을 파악하고 2010년 9월에서 2010년 12월까지 4개월에 걸쳐 현장조사 및 비디오 촬영을 통해 교통량, 차로수, 중앙교통섬 직경 등과 같은 사고관련 변수들을 수집하였다. 「도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS)」



그림 1. 연구 흐름도

을 활용하여 교차로 운행방법 위반 및 안전거리 미확보에 관한 255건의 사고 자료를 도출하였다. 정리된 자료의 통계적 분석을 위해 SPSS 17.0을 사용하였고, Limdep 3.0을 이용하여 ZAM(zero-altered-models)을 개발하였다. 연구의 수행절차는 다음과 같다.

첫 번째로 국내·외 문헌과 사례를 통하여 원형교차로의 일반적인 특성 및 사고모형과 ZAM에 대한 내용을 살펴본다. 두 번째로 원형교차로의 2007~2009년도의 사고자료를 정리하고, 교통조건, 도로조건, 교통운영조건 등의 자료를 정리한다. 세 번째로 수집한 자료를 토대로 ZAM을 개발하여 원형교차로 사고에 영향을 주는 요인을 분석하고, 이를 위한 모형을 제시한다.

2. 기존연구 고찰

2.1. 국내연구

장태연(2003)은 과산포검정을 통해 통행발생 빈도상에 과산포 존재를 밝혀내고 포아송 모형의 부적합함을 제시하였으며 Vuong 검정을 통해 최적의 모형을 선정하였다. 최종적으로 가구의 사회경제적 속성의 변화에 따른 통행발생의 변화를 측정하기 위한 민감도 분석을 실시하였다.

이인성(2004)은 교통사고의 사망건수 중 '0'의 빈도가 과다하게 많고 과분산의 문제를 가진 교통사고 분석에 있어 자료상의 문제를 해결하기 위해 ZIP 모형이나 음이항 모형이 적합함을 밝히고 있다.

장태연 등(2004)은 교통사고 분석 시 활용되는 선형회귀모형의 단점을 보완하고 이산확률분포를 갖는 가산자료의 분산특성을 파악하여 이에 적합한 모형적용의 가능성을 제시하였다.

박상혁 등(2008)은 청주시 3지와 4지 비신호교차로의 기하구조와 교통사고자료를 바탕으로 사고특성을 분석하고, ZAM을 이용하여 사고모형을 개발하였다. 또한 그들은 청주시 비신호 교차로의 사고요인으로는 교통량, 횡단보도수, 교차각, 시거 및 차로폭으로 나타났다고 분석하였다.

박병호 등(2009)은 청주시 4지 신호교차로를 대상으로 사고유형을 5개의 유형으로 분류하였으며, 5개의 음이항 모형을 개발하고 채택된 변수들을 활용하여 모형의 차이를 비교·분석하였다.

김준용 등(2010)은 청주시 가로구간의 기하구조와 교통사고자료를 바탕으로 ZAM을 개발하였다. 또한 그들은

은 사고의 요인이 교통량, 진출입구수 및 중앙분리대 길이라고 분석하였다.

김진선 등(2011)은 도로기하구조와 교통사고 자료를 활용하여 간선도로의 기능별 사고특성을 분석한 후, 4개의 ZINB 모형을 개발하였다. 또한 그들은 4개의 모형 중 중간선도로는 사고건수 모형, 그리고 보조간선도로는 EPDO 모형이 적합하다고 분석하였다.

2.2. 국외연구

Lee 등(2002)은 총 41개의 변수와 2,736개의 사고 자료를 이용하여 ZINB 모형을 개발하고, 탄력성을 이용하여 분석하였다.

Washington 등(2003)은 사고모형의 적합성을 결정함에 있어 ZAM의 계수 설정에 대한 범위의 지침을 마련하고, 이에 따른 계수 결정표를 제시하였다.

Chin(2003)은 기존의 분석모형의 한계를 설명하고, 음이항 모형을 이용하여 싱가포르의 교통과 제어특성, 사고발생과 기하구조 사이의 관계를 분석하였다.

Lord 등(2005)은 사고자료에 적합한 모형을 구축하기 위한 지침을 마련하였고, 사고에 적용되는 통계적인 모형을 평가하였다.

2.3. 포아송 회귀모형

이 연구에서는 사고의 수를 이산적 확률변수(discrete random variable)로 해석하는 포아송 회귀모형(Poisson regression)을 도입하였으며, 일반식은 식 (1)과 같다. 여기서, $P(n_i)$ 는 사고 n_i 가 지점 i 에서 발생할 확률, λ_i 는 평균사고건수 $\lambda_i = \exp(\beta X_i)$ 를 의미한다. 그리고 X_i 은 사고 수를 결정하는 지점 i 의 속성을 나타내고, β 는 회귀계수를 표현한다.

$$P(n_i) = \frac{\lambda_i^{n_i} \exp(-\lambda_i)}{n_i!} \quad (1)$$

λ_i 형태의 계수 β 를 추정하기 위해서는 표준 최우추정법(standard maximum likelihood method)을 사용하는데 이때 우도함수($L(\beta)$)는 식 (2)와 같다.

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\exp(\beta X_i)] [\exp(\beta X_i)]^{y_i}}{y_i!} \quad (2)$$

2.4. 음이항 회귀모형

포아송 회귀모형은 분산과 평균이 같다는 기본 전제 조건을 만족하여야 하나, 실제 교통사고건수의 경우 분산이 평균보다 큰 과분산 문제가 발생한다. 따라서 이러한 문제 해결을 위해서 최근 들어 분산이 평균보다 크다는 가정에서 출발하는 음이항 회귀식(negative binomial regression)을 이용한 모형이 사용되고 있다. 음이항 분포는 사고수 λ_i 에 오차 ε_i 이 포함되며 아래 식 (3)과 같다.

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (3)$$

여기서, $\exp(\varepsilon_i)$ 는 평균이 1이고 분산이 α 인 감마분포를 따르는 오차 항이며, 이를 조건부 확률로 나타내면 식 (4)와 같다.

$$P(n_i | \varepsilon) = \exp(-\lambda_i \exp(\varepsilon_i)) [\lambda_i \exp(\varepsilon_i)]^{n_i} \quad (4)$$

식 (4)에 ε 을 합하면 n_i 의 비조건 분포가 되며, 이를 식으로 나타내면 식 (5)와 같다.

$$P(n_i | \varepsilon) = \frac{\Gamma(\theta + n_i)}{[\Gamma(\theta)] n_i!} U_i^\theta (1 - U_i)^{n_i} \quad (5)$$

여기서, $u_i = \theta / (\theta + \lambda_i)$, $\theta = 1/\alpha$ 를 의미하며, 이때 우도함수는 식 (6)과 같고, 이를 최대화하는 α, β 를 산출하며, n 은 사고지점의 총수를 의미한다.

$$L(\lambda_i) = \prod_i \frac{\Gamma(y_i + 1/\alpha)}{\Gamma(y_i + 1) \Gamma(1/\alpha)} \left(\frac{1}{1 + \alpha \lambda_i} \right)^{1/\alpha} \left(\frac{\alpha \lambda_i}{1 + \alpha \lambda_i} \right)^{y_i} \quad (6)$$

이 두 모형 중 어느 모형을 사용할 것인가를 결정하기 위해 식 (6)이 사용되며 α 가 0에 가까우면 포아송 회귀모형이 적합하고, 0에 가깝지 않으면 음이항 회귀모형을 사용하는 것이 바람직하다. 최종적으로 도출된 모형에 대한 설명력과 모형의 적합성을 검증하는 데에는 우도비(ρ^2)와 t 값(t-value)을 이용한다.

우도비(ρ^2)는 McFadden의 결정계수라 불리며, '0'과 '1' 사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 모형의 적합성이 높다고 평가되며, 회귀분석의 결정계수와는 달리 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합성을 가진다고 볼 수 있다.

2.5. ZAM (Zero-Altered Model)

사고 무발생의 경우 일반적으로 2가지 상황이 있는

데, 운전자는 교통사고를 발생시키지 않았을 때 영(0)으로 대답한다. 이는 조사당시 특정기간 교통사고를 발생시키지 않았거나, 조사기간 동안 자동차 운영에 참여하지 않은 경우로 모형은 이론적으로 영(0) 확률에 대해 과장하여 측정한다. 수정가산모형을 통해 과산포 및 교통사고 무발생을 고려한 발생확률을 검토하며, 포아송 모형의 확장 형태인 zero-Inflated Poisson(ZIP)과 음이항 모형의 확장 형태인 zero-inflated negative binomial(ZINB) 모형이 있다.

$$P(y_i=0|X_i)=p_i+(1-p_i)\left(\frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1}+\lambda_i}\right)^{\alpha^{-1}} \quad (7)$$

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

$$y_i = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

p_i 는 원형교차로 i 에서 사고가 발생하지 않을 확률이며, λ_i 는 원형교차로 i 에서의 평균사고건수이다.

전통적인 모형보다 ZAM이 적합한지의 여부를 검정하기 위해 Vuong(1989)은 포아송 또는 음이항 분포의 특정 상황에서 더 적합하게 만드는 통계적 검정방법을 제시하였다. 그 통계치는 다음과 같다.

$$m_i = LN\left(\frac{f_1(y_i|X_i)}{f_2(y_i|X_i)}\right) \quad (9)$$

$f_1(y_i|x_i)$ 는 모형 1의 확률밀도함수이고, $f_2(y_i|x_i)$ 는 모형 2의 확률밀도함수이다. 모형 1과 모형 2의 non-nested 가설검정을 이용하여 Vuong의 통계치를 구할 수 있고 아래의 식은 Vuong 통계치를 계산하는 식이다.

$$V = \sqrt{n} \frac{\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n m_i\right]}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}} = \frac{\sqrt{n}(\bar{m})}{S_m} \quad (10)$$

\bar{m} 은 평균이고, S_m 는 표준편차, 그리고 n 은 표본크기이다.

최적모형의 선정을 위하여 Vuong 통계값이 사용된다. 이 통계값은 근사정규분포이고, 만약 $|V|$ 가 $V_{critical}$ 보다 그 수치가 95% 신뢰수준에서 작다면, 그 검정은 어느 한 모형을 선택하지 못한다. Vuong값과 과분산계수

(α)를 통해 음이항, 포아송, ZIP 및 ZINB 모형 중에서 모형을 선택하는 기준은 다음과 같다. 예를 들어 95% 통계검증에서 Vuong값이 1.96보다 크면 모형 $f_1(y_i|x_i)$ 이 자료를 잘 반영하고 있으며, -1.96보다 작게 되면 $f_2(y_i|x_i)$ 이 자료를 더 잘 반영하고 있다. Vuong 통계값이 -1.96과 1.96 사이에 있게 되면 두 모형간의 차이가 없어 반영정도를 판단할 수 없다.

표 1. 모형결정계수 범위

구 분	NB 과분산계수 α 의 t 통계값		
	<[-1.96]	>[1.96]	
ZINB와 NB 비교를 위한 Vuong 통계값	<-1.96	ZIP 혹은 Poisson	NB
	>1.96	ZIP	ZINB

2.6. 연구의 차별성

이 연구의 차별성은 다음과 같다.

첫째, 지금까지 국내 연구에서는 신호교차로 및 가로구간의 사고에 관한 모형 개발이 주를 이루었다. 또한 국외 연구에 비해 국내에서 원형교차로의 사고예측에 관한 연구는 진행이 미흡한 편이다. 따라서 이 연구에서는 원형교차로에서 발생하는 사고 원인을 종속변수로 이용하여 그에 따른 사고모형을 개발하였다. 둘째, 국내 원형교차로에서는 사고건수가 '0' (영)인 교차로가 50% 이상을 차지하고 있어, 0의 빈도가 많은 특성을 고려하여 포아송, 음이항 모형과 ZAM을 개발하고 이를 비교하여 최적의 모형을 선정하였다는데 차별성이 있다.

3. 분석의 틀 설정

3.1. 사고원인 별 사고건수

이 연구에서는 교차로 운행방법 위반, 안전거리 미확보, 불법유턴, 보행자 보호의무 위반, 진행방해, 안전운전불이행 및 차로위반의 7가지 위반원인 중 원형교차로에서 발생하기 쉬운 ① 교차로 운행방법 위반, ② 안전거리 미확보의 원인으로 구분한다. 100개 교차로 중 사고차체가 발생하지 않은 6개의 교차로를 제외하고 94개의 교차로를 대상으로 조사하였다. 운행방법 위반 사고가 발생한 교차로는 50개이고, 그리고 안전거리 미확보 사고가 발생한 교차로는 31개로 분석되었다. 원인별 사고건수는 각각 141건과 114건으로, 총 255건의 사고가 발생하였다. 조사대상 원형교차로에서 2007년에서 2009년까지 발생한 사고건수는 표 2와 같다.

표 2. 사고원인 별 사고건수

원 인	사고건수
교차로 운행방법 위반	141건
안전거리 미확보	114건
불법유턴	4건
보행자 보호의무 위반	90건
진행방해	39건
안전운전 불이행	571건
차로위반	8건
총 사고건수	967건

3.2. 변수선정

독립변수는 현장조사와 비디오촬영을 통해 수집된 사고관련 요소들 중 원형교차로에서 발생한 사고와 연관이 있을 것으로 판단되는 교통량, 교차로 기하구조 등을 검토한 후 표 4와 같이 11개의 변수를 선정하였다.

종속변수는 교차로의 사고원인 별 분석을 위해 교차로 운행방법 위반(Y_1)과 안전거리 미확보(Y_2)로 선정하였다.

표 3. 사고자료 기술통계

구 분	평균	표준편차	분산	왜도	첨도
Y_1	1.500	2.318	5.371	2.600	8.311
Y_2	1.213	3.793	14.384	5.407	34.063

표 4. 독립변수 선정

구 분	변수	범위	평균
교통량 (대/시)	X_1	1131-106761	17189.77
상층비 (대/회)	X_2	0-11	2.17
중앙교통섬 직경 (m)	X_3	2.97-212.74	27.05
회전차로 폭 (m)	X_4	2.38-14.00	5.41
회전차로 수 (개)	X_5	1-5	1.61
접근로 수 (개)	X_6	3-8	4.39
접근로 폭 (m)	X_7	2.77-12.42	5.33
접근로평균차로 수 (개)	X_8	0-3.10	1.47
접근로별 분리교통섬 직경 (m)	X_9	0-1.33	0.70
횡단보도 수 (개)	X_{10}	0-2	0.90
감속시설 수 (개)	X_{11}	0-1	0.13

표 5. 독립변수 기술통계

구 분	평균	표준편차	분산	왜도	첨도
X_1	17189.77	18352.41	336810892.96	2.76	9.12
X_2	2.17	2.39	5.72	1.61	2.48
X_3	27.05	26.00	676.12	4.62	28.76
X_4	5.41	2.25	5.06	1.61	3.13
X_5	1.61	0.91	0.82	1.58	2.10
X_6	4.39	1.05	1.10	0.74	0.91
X_7	5.33	2.25	5.06	1.34	1.51
X_8	1.47	0.55	0.30	0.80	0.47
X_9	0.70	0.38	0.14	-0.93	-0.55
X_{10}	0.90	0.39	0.15	-0.73	0.59
X_{11}	0.13	0.31	0.09	2.26	4.72

표 6. 상관관계 분석

구분	Y_1	Y_2	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
Y_1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_2	0.262*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_1	0.471**	0.670**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_2	-0.139	-0.091	-0.062	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_3	0.133	0.517**	0.570**	-.231*	1	-	-	-	-	-	-	-	-
X_4	-0.138	-0.197	-0.115	0.150	-.235*	1	-	-	-	-	-	-	-
X_5	0.397**	0.456**	0.668**	-0.147	0.463**	-.423**	1	-	-	-	-	-	-
X_6	0.250*	0.025	0.164	0.277**	0.029	-0.020	0.255*	1	-	-	-	-	-
X_7	0.335**	0.477**	0.633**	-.225*	0.606**	-0.148	0.517**	-0.051	1	-	-	-	-
X_8	0.353**	0.436**	0.671**	-.214*	0.477**	-0.200	0.543**	-0.085	0.822**	1	-	-	-
X_9	0.176	0.119	0.233*	-0.085	0.250*	-.246*	0.125	-.206*	0.203	0.211*	1	-	-
X_{10}	0.041	0.155	0.179	0.083	0.137	-0.184	0.146	0.012	0.077	0.103	0.171	1	-
X_{11}	-.214*	0.052	-0.129	-0.134	0.065	-0.168	-0.111	-0.161	-0.140	-0.030	-.215*	-0.123	1

** : 상관계수는 0.01수준(양쪽)에서 유의함

* : 상관계수는 0.05수준(양쪽)에서 유의함

3.3. 상관관계 분석

변수간의 상관관계는 신뢰수준을 95%로 하여 Pearson 계수를 이용하여 분석하였다. 분석결과는 표 6에 나타나듯이 교차로 운행방법 위반(Y_1)과 음의 관계가 있는 변수는 상충비, 회전차로폭 및 감속시설 수이고, 안전거리 미확보(Y_2)와 음의 관계가 있는 것은 상충비와 회전차로폭으로 분석되었다.

4. 모형개발

교통사고와 같은 가산자료 분석에 일반적으로 활용되는 모형이 포아송 및 음이항 모형이지만 자료의 특성상 과산포(Overdispersion)가 존재한다면 포아송 및 음이항 모형을 적용하는 것은 불합리하며, 적절한 대안 모형을 찾아야 한다. 또한 교통사고자료의 특성상 운전자가 교통사고를 발생시키지 않았을 때 영(0 : zero count)으로 코딩한다. 이는 이론적으로 교통사고 무발생확률에 대해 과장하여 측정함으로써 자료 상의 이질성(heterogeneity)을 발생시켜 모형을 구축한다. 따라서 이 연구에서는 구축된 다양한 모형 중에서 자료속성을 가장 효과적으로 반영하는 모형을 선정하여 신뢰성을 검토하여 모형을 구축하였다.

4.1. 교차로 운행방법 위반(Y_1)

포아송과 음이항 모형을 구축한 결과는 표 7과 같고, ZIP 및 ZINB 모형을 구축한 결과는 표 8과 같다. 포아송 및 음이항 모형을 구축한 결과, 교통량(X_1), 회전차로 폭(X_4), 접근로 수(X_6) 및 감속시설 수(X_{11})가 변수로 채택되었고 변수들의 p 값은 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$)에 유의한 것으로 평가되었다.

과분산계수(Φ)값이 3.002이므로 포아송 모형보다는 이항 모형이 적합한 것으로 분석되며, 우도비(ρ^2)는 각각 0.317과 0.308로 통계적으로 설명력이 있는 것으로 분석되었다. 채택된 변수인 교통량과 접근로 수가 증가할수록 사고가 많이 발생하고, 회전차로 폭과 감속시설 수가 감소할수록 사고가 증가하는 것으로 분석되었다.

ZIP 및 ZINB 모형을 구축한 결과, 교통량(X_1), 회전차로 폭(X_4), 접근로 수(X_6) 및 감속시설 수(X_{11})가 채택되었고, 이 변수들의 p 값은 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$) 기준에 유의한 것으로 평가되었다. 모형의 Vuong 통계값이 각각 2.227, 1.987로 1.96보다 큰 값을 나타내고 있어 포아송 및 음이항 모형보다는 ZIP과 ZINB모형이 적합한 것으로 분석되었다. 그러나 과분산계수(Φ)값이

2.418로 ZIP모형 보다는 ZINB모형이 가장 적합한 것으로 분석되었다.

표 7. 포아송 및 음이항 모형 분석결과

변 수		포아송 회귀모형	음이항 회귀모형
X_1	계수	1.718E-05(6.145)	1.963E-05(2.872)
	p 값	0.000	0.004
X_4	계수	-0.102(-1.982)	-0.102(-1.982)
	p 값	0.006	0.047
X_6	계수	0.159(2.059)	0.151(2.059)
	p 값	0.000	0.039
X_{11}	계수	-1.714(-2.776)	-1.767(-2.776)
	p 값	0.001	0.005
Alpha(Φ)		-	3.002
ρ^2		0.317	0.308

주: ()는 t 값을 나타냄

표 8. ZIP 및 ZINB 모형 분석결과

변 수		ZIP 모형	ZINB 모형
X_1	계수	1.404E-05(7.739)	1.741E-05(2.879)
	p 값	0.000	0.004
X_4	계수	-0.052(-1.889)	-0.057(-2.274)
	p 값	0.059	0.023
X_6	계수	0.180(5.626)	0.115(2-255)
	p 값	0.000	0.024
X_{11}	계수	-1.174(-2.171)	-0.524(-2.099)
	p 값	0.030	0.036
Alpha(Φ)		-	2.418
ρ^2		0.327	0.367
Vuong 통계값		2.227	1.987

주: ()는 t 값을 나타냄

4.2. 안전거리 미확보(Y_2)

포아송과 음이항 모형을 구축한 결과는 표 9와 같으며, ZIP 및 ZINB모형을 구축한 결과는 표 10과 같다.

교통량(X_1)과 회전차로 폭(X_4)이 변수로 채택되었다. 과분산계수(Φ)값이 2.415이므로 포아송 모형보다는 음이항 모형이 가장 적합한 것으로 분석되었다. 채택된 변수 중 교통량이 증가할수록 사고가 많이 발생하고, 회전차로 폭이 좁을수록 사고가 증가하는 것으로 분석되었다. ZIP 및 ZINB모형 구축에서는 교통량(X_1), 회전차로 폭(X_4)이 변수로 채택되었으며, 이 변수들의 p 값은 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$) 기준에 유의한 것으로 평가되었다.

모형의 Vuong 통계 값이 각각 2.164와 2.365로 1.96보다 큰 값을 나타내고 있어 포아송 및 음이항 모형

보다는 ZIP 및 ZINB모형이 적합한 것으로 분석되었다. 또한 과분산계수(Φ)값이 2.898로 ZIP모형 보다는 ZINB모형이 적합한 것으로 분석되었다.

표 9. 포아송 및 음이항 모형 분석결과

변 수		포아송 회귀모형	음이항 회귀모형
X_1	계수	3.903E-05(18.604)	5.158E-05(6.876)
	p 값	0.000	0.000
X_4	계수	-0.235(-7.054)	-0.301(-6.088)
	p 값	0.000	0.000
Alpha(Φ)		-	2.415
ρ^2		0.478	0.283

주 : ()는 t값을 나타냄

표 10. ZIP 및 ZINB 모형 분석결과

변 수		ZIP 모형	ZINB 모형
X_1	계수	3.278E-05(38.343)	3.788E-05(8.589)
	p 값	0.000	0.000
X_4	계수	0.091(-5.469)	-0.099(-3.150)
	p 값	0.000	0.002
Alpha(Φ)		-	2.898
ρ^2		0.291	0.519
Vuong 통계값		2.164	2.365

주 : ()는 t값을 나타냄

4.3. 모형의 결정

이 연구에서 다루고 있는 교차로 중 미 사고 교차로가 51개로 전체 교차로의 50% 이상을 이와 같은 문제를 보완하기 위해 포아송 모형의 확장된 형태인 ZIP모형과 음이항 모형의 확장인 ZINB모형을 사용하였다. 또한 모형을 결정함에 있어 Simon 등이 제시한 표 1을 참조하였다.

모형 결정계수 범위를 이용한 분석결과, 교차로 운행방법 위반(Y_1) 모형과 안전거리 미확보(Y_2) 모형 모두 Vuong 통계값이 1.96 이상이므로, 포아송 및 음이항 모형 보다 ZIP모형이나 ZINB모형이 적합한 것으로 분석되었다. 또한 ZAM의 α 의 t 값이 1.96 이상이므로 ZIP모형보다는 ZINB모형이 가장 적합한 것으로 평가되었다.

표 11. 모형식

모형	모형식	ρ^2
Y_1	$Y_1 = \exp((1.741E - 05)X_1 - 0.057X_4 + 0.115X_6 - 0.524X_{11})$	0.367
Y_2	$Y_2 = \exp((3.788E - 05)X_1 - 0.099X_4)$	0.519

5. 결론

이 연구는 국내 원형교차로에서 발생한 교차로 원인별 사고를 다루고 있다. 이를 위해 이 연구에서는 2007년부터 2009년까지 국내 원형교차로에서 발생한 사고 자료를 바탕으로 두 가지 사고원인을 종속변수를 선정해 ZAM을 개발하였다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 교차로 운행방법 위반(Y_1)의 모형분석 결과, Vuong 통계값이 각각 2.227과 1.987로 1.96보다 큰 값을 갖는 것으로 분석되어 포아송 및 음이항 모형보다는 ZIP모형이나 ZINB모형이 적합한 것으로 분석되었다. 또한 α 값의 t 값이 2.418이므로 ZIP모형 보다는 ZINB모형이 더 적합한 것으로 분석되었다.

둘째, 안전거리 미확보(Y_2)의 모형분석 결과, Vuong 통계값이 2.164, 2.365로 1.96보다 큰 값을 가지므로 Y_1 과 마찬가지로 포아송 및 음이항 모형보다는 ZIP모형이나 ZINB모형이 적합한 것으로 분석되었다. 또한 α 값의 t 값이 2.898이므로 ZIP모형보다는 ZINB모형이 더 적합한 것으로 분석되었다.

셋째, 공통변수로는 교통량(X_1)과 회전차로 폭(X_4)이 선정되었으며, 교통량이 많을수록, 그리고 회전차로 폭이 좁을수록 사고가 증가하는 것으로 분석되었다. 특정 변수로는 접근로 수(X_6)와 감속시설 수(X_{11})가 채택되었으며, 접근로 수가 증가할수록, 그리고 감속시설 수가 적을수록 사고가 증가하는 것으로 분석되었다.

향후 7개의 사고원인 중 나머지 5개의 사고원인에 대한 모형 개발과 대상 교차로의 수와 사고자료 연도를 추가한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 국토해양부(2010), "회전교차로 설계지침".
- 장태연(2003), "가산자료 모형을 기초로 한 통행행태의 한계 효과 분석", *대한교통학회지*, 제 21권 제 3호, 15-22.
- 이인성(2004), "Application of ZIP Regression to traffic accident data", 연세대학교 통계학 석사학위 논문
- 장태연, 장태성(2004), "택시교통사고 발생에 영향을 주는 요인의 한계효과", *한국지역개발학회지*, 제 16권, 제 1호, 78-87.
- 박병호, 박상혁, 이영민, 인병철(2008), "ZAM 모형을 이용한 비신호교차로 사고특성 분석 - 청주시 3지·4지 비신호교차로를 사례로", *국토계획, 대한국토·도시계획학회*, 제43권 제6호.
- 박상혁, 김태영, 박병호(2009), "4지 신호교차로의 측면접촉 사고 특성 및 사고모형 : 청주시를 사례로", *한국도로학회지*, 제 11권 제4호.

박병호, 김준용(2010), "ZAM 모형을 이용한 청주시 간선가로 구간의 사고모형 개발", *한국도로학회논문집*, 제12권 제2호.

김진선, 김태영, 김경환, 박병호(2011), "간선도로 기능별 교통사고모형 개발 -청주시를 사례로", *한국도로학회논문집*, 제13권 제1호.

Lee, Jin sun and Mannering, Fred (2002), "Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents : an empirical analysis", *Accident Analysis and Prevention* 34, pp. 149-161.

Washington, Simon P., Karlaftis, Matthew G. and Mannering, Fred

L. (2003), "*Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*", Champan & Hall/CRC.

Chin, Hoong Chor and Quddus, Ohammed Abdul (2003), "Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections", *Accident Analysis and Prevention* 35, pp. 253-259.

Lord, Dominique , Washington, Simon P., and IVAN, John N. (2005), "Poisson, Poisson-gamma and Zero-inflated regression models of motor vehicle crashes : balancing statistical fit and theory", *Accident Analysis and Prevention* 37, pp. 35-46.

(접수일 : 2011. 12. 7 / 심사일 : 2011. 12. 26 / 심사완료일 : 2012. 3. 20)