

간선도로 기능별 교통사고모형 개발

- 청주시를 사례로* -

Developing the Traffic Accident Models by the Function of Arterial Link Sections in the Case of Cheongju

김진선 Kim, Jin Sun
 김태영 Kim, Tae Young
 김경환 Kim, Kyung Hwan
 박병호 Park, Byung Ho

충북대학교 도시공학과 석사과정 · 주저자 (E-mail : pepemilk@naver.com)
 포항공과대학 산학협력연구소 전임연구원 · 공학박사 · 공저자 (E-mail : sunmoonwind@postech.ac.kr)
 충북대학교 도시공학과 박사과정 · 공저자 (E-mail : as831836@hanmail.net)
 정회원 · 충북대학교 도시공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr)

ABSTRACT

This study deals with the traffic accident of arterial link sections in the case of Cheongju. The purpose of the study is to develop the traffic accident model by the function of arterial links. In pursuing the above, this study gives particular attentions to developing the appropriate models using the accident data of main and minor arterial roads divided by 472 small link sections. The main results analyzed are as follows. First, as the t test on the accident characteristics of main and minor arterial roads shows that there are differences in the number of accident and EPDO(equivalent property damage only) between two roads, the development of models by function is analyzed to be appropriate. Second, it is analyzed that ZINB models are all statistically suitable to the number of accident and EPDO of main arterial roads. Third, the analysis shows that EPDOs of minor arterial roads fit to ZINB, and the number of the accident fit to ZIP model. Finally, the common variables of main arterial roads are evaluated to be the traffic volume and the number of inflection point, and those of minor be the average grade.

KEYWORDS

accident model, ZAM model, arterial link sections, correlation analysis

요지

이 연구는 청주시의 가로구간 교통사고를 다루고 있다. 연구의 목적은 가로구간의 기능별 사고모형을 개발하는 데 있다. 이를 위해서 이 연구는 전체 472개의 세부구간으로 분리된 주간선도로와 보조간선도로의 사고 자료를 이용하여 적합한 모형을 개발하는데 중점을 두고 있다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 주간선과 보조간선도로의 사고특성에 대한 t 검정은 두 도로의 사고건수와 EPDO에 차이가 있는 것으로 나타나 기능별 사고모형 개발이 적절한 것으로 분석된다. 둘째, 주간선도로의 EPDO와 사고건수는 모두 ZINB모형이 적합한 것으로 분석된다. 셋째, 보조간선도로 EPDO는 ZINB모형, 그리고 사고건수는 ZIP모형이 최적인 것으로 분석된다. 마지막으로 주간선도로 사고모형(ZINB)의 공통변수는 교통량과 굴곡점수, 보조간선도로의 EPDO모형(ZINB)과 사고건수모형(ZIP) 공통변수는 평균종단경사인 것으로 평가된다.

핵심용어

사고모형, ZAM 모형, 간선가로 구간, 상관분석

* 본 논문은 2010년 3월 한국도로학회 봄학술대회에서 발표한 논문을 수정·보완한 것임.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

자동차 대중화에 따른 차량의 급격한 증가는 도시내 과도한 혼잡과 함께 사고의 증가를 가져와 심각한 도시교통 문제로 대두되고 있다. 특히 가로구간의 교통사고는 도로교통공단 교통사고 통계기준으로 2005년 112,695건에서 2009년 123,363건으로 그 발생건수가 크게 증가하고 있어 심각한 사회문제를 낳고 있다. 하지만 지금까지의 연구경향을 살펴보면, 교차로 사고에 비해 단일로 가로구간의 사고에 대한 연구는 미비한 실정이며, 특히 기존의 연구는 가로구간의 일부 구간만을 대상으로 하고 있어 연구의 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 청주시 내부의 주요가로망을 중심으로 간선도로 기능을 구분하여, 도로의 특성 및 기하구조 조사를 통한 도로 기능별 사고특성을 파악하고자 한다. 또한 이 연구는 기하구조 요인이 사고에 미치는 영향을 분석하기 위하여 ZAM (zero-altered model) 모형을 이용한 교통사고모형을 개발하는데 그 목적이 있다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 청주시 주간선도로 13개, 보조간선도로 11개로 총 24개 도로를 대상으로 구분된 소구간 472개를 대상으로 연구한다.

분석에 사용된 사고 자료는 2007년 청주시 가로구간 사고 자료이며, 기하구조는 AutoCAD 상에서 조사 가능한 자료를 바탕으로 한다. 사고자료 및 기하구조자료의 코딩은 Excel을 이용하며, 통계 프로그램인 SPSS 12.0와 Limdep8.0을 사용하되, "사고건수가 '0' 인 소구간이 많다"는 이 연구의 사고 특성을 반영할 수 있는 ZAM 모형을 이용한다. 본 연구는 그림 1의 과정에 맞추어 진행된다.



그림 1. 연구의 수행과정

2. 기존 연구의 고찰

2.1. 국내 연구 검토

이인성(2004)은 교통사고의 사망사고 건수 중 '0'에 해당하는 빈도가 지나치게 많고 과대산포(over dispersion) 문제를 가지고 있는 자료상의 문제를 극복하기 위하여 ZIP(zero-inflated Poisson), 음이항 및 ZINB(zero-inflated negative binomial) 모형을 이용하여 분석한 결과, ZIP이나 음이항 모형이 적합함을 밝히고 있다.

박병호(2008)는 청주시의 3지 및 4지 비신호교차로를 대상으로 사고특성을 분석하여 ZAM모형을 이용한 사고모형을 개발한 후, 비신호교차로의 주요 사고요인을 파악하였다.

김숙희 등(2005)은 수원시의 사고다발지점을 즉 교차로를 대상으로 로지스틱 판별분석을 이용하여 사고발생에 영향을 미치는 주요 요인을 추출하였다.

하오근(2005)은 포아송 모형을 사용하여 ρ^2 (우도비), 상관계수, MAD(mean absolute deviation) 및 MPB(mean prediction bias)를 알아보고 가장 적합한 결과가 도출된 모형을 주 모형으로 선정하여 사고예측모형을 만들고, ρ^2 (우도비), χ^2 (Chi-square)의 값으로 모형 설명력을 검증하여 사고 심각도를 분석하였다.

최재원 등(2004)은 기존 사고자료를 이용하여 사고발생에 기인하는 여러 변수들을 교통사고 심각도와 의 상관관계를 분석하고, 상관관계가 높은 변수들을 이용하여 신경망 사고심각도 예측모형을 개발하였다. 또한 모형의 검증을 위해 다중회귀 사고심각도 예측모형을 개발하여 비교·분석하였다.

2.2. 국외 연구 검토

Bonneson(1993)은 교통량과 사고와의 관계를 음지수분포를 이용하여 사고예측모형을 개발하였다. Chin 등(2001)의 연구에서는 교차로의 공간적이고 시간적인 자료를 이용할 수 있는 RENB(random effect negative binomial) 모형을 이용하여 분석한 결과, 접근교통량, 우회전 교통량, 좌회전 차로 수, 버스정류장 및 단속카메라와 교통사고의 관련성을 파악하였지만, 가로구간은 고려하지 못하고 있다.

Hoong Chor(2003)는 교차로에 영향을 미치는 요소를 확인하기 위하여 RENB 모형을 사용하였고, 싱가포르 신호교차로의 교통과 제어 특성, 사고발생과 기하구조 사이의 관계를 파악하였다. 또한 RENB 모형의 검증에는 로그 우도비 지표(ρ^2)와 로그우도 R^2 를 이용하였다.

Jinsun and Mannering(2002)은 갓길 폭, 도로 폭, 종단 경사, 교량길이, 중앙분리대 폭 등 총 41개의 변수와 2,736개의 사고 자료를 이용하여 도로변 사고의 심각도와 발생빈도에 대한 도로변 관련 요소들의 파급효과에 대하여 ZINB

모형과 탄력성(elasticity)을 이용하여 분석하였지만, EPDO를 고려한 모형은 개발하지 못하였다.

Dominique 등(2005, 2007)은 사고 자료에 적합한 모형을 어떻게 사용할 것인지에 대한 지침을 제공하였고, 고속도로 안전의 모형구축과정에서 ZAM 모형이 가지고 있는 논리적 문제점과 통계적 적합성의 문제라는 2가지 비판을 제시한 바 있다.

2.3. 기존 연구와의 차별성

첫째, 기존 연구는 단일로에 국한하여 단순한 사고심각도 분석 및 예측모형을 개발하였지만, 본 연구는 다양한 사고 자료와 기하구조 자료를 바탕으로 가로구간의 사고특성 분석과 자료의 특성('0'의 빈도가 과다하게 많은 점)을 고려한 ZAM모형을 사용하고, 이를 분석하여 사고모형을 개발한다.

둘째, 도시 내 주요 가로망을 중심으로 주간선과 보조간선도로로 그 기능을 나누어 간선도로 기능별 적합한 사고모형을 개발하고 비교·분석한다.

셋째, 다수의 연구에서 종속변수로 사용한 사고건수는 사고의 심각도를 설명할 수 없다. 그렇기 때문에 위험에 대한 노출을 고려하여 사고의 심각도를 설명할 수 있는 EPDO(equivalent property damage only)를 사고건수와 마찬가지로 종속변수로 사용하고, 상호 비교·분석한 점에도 기존연구와 차별성을 지닌다.

3. 분석의 틀 설정

3.1. 간선도로의 기능 분류 및 대상 선정

우리나라의 도로 분류기준을 살펴보면 도로법 제 11조에 명시된 권한별 도로분류와 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제 3조의 도로기능별 분류가 있다.

본 연구에서는 먼저 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(기능별)에 의해 도로를 분류하고 청주시에서 정하고 있는 기준을 적용한다. 이 중 최소 차로수가 왕복 4차로 이상인 도로를 주간선도로로, 구간 중 왕복 2차로도로가 한 구간이라도 속해있는 도로를 보조간선도로로 규정하여 분류한다. 청주시 일반도로를 대상으로 분류한 결과로 주간선도로 13개와 보조간선도로 11개를 주 분석 대상으로 선정하고자 한다.

사고모형을 개발하기 위해서 본 연구는 도로교통공단의 2007년 청주시 사고 자료를 활용하여 도로유형별로 주간선사고와 보조간선 사고로 분류하며, 기하구조에 대한 자료는 청주시 CAD자료와 현장조사를 통하여 수집한다.

사고건수는 주간선도로 258건, 보조간선도로 100건으로 총 358건이 발생하였으며, 사망사고는 주간선도로에서 4건

표 1. 청주시 일반도로 특성

(단위: km, 개)

구분	도로 명	구간길이	차로 수	정류장 수	횡단보도 수	연결도로수
주간선도로	모충로	1.64	2	10	26	34
	사직로	3.89	3	22	38	56
	상당로	3.17	2	18	50	58
	제1순환로	10.05	3	35	94	100
	제2순환로	17.06	3	26	74	53
	가로수길	1.98	2~3	6	18	29
	흥덕로	6.32	3	30	62	65
	청남로	3.86	3~4	18	44	46
	공향로	2.02	2	9	22	43
	단재로	3.90	2~3	17	46	54
	서부도로	2.69	2~3	14	30	29
	동부우회도로	10.32	3	10	40	39
	의암로	2.69	2	12	38	56
	소계	69.59	-	227	582	662
보조간선도로	구룡로	4.02	1~2	20	80	45
	대성로	2.95	1	0	69	76
	봉명로	2.33	1	0	32	35
	사운로	3.84	2	17	72	69
	성봉로	4.17	1~3	19	57	43
	예제로	1.84	2	1	28	30
	울봉로	2.08	1	8	44	39
	향군로	2.89	1~2	23	44	56
	무심동로	4.57	1~3	5	50	45
	무심서로	8.99	1~3	10	78	65
	명암로	2.90	1~2	24	30	45
	소계	40.58	-	127	584	548
	총 계	110.17	-	354	1,166	1,210

발생한 것으로 나타난다. 피해상황을 살펴보면 주간선도로의 인적 피해가 사망 4건과 부상 194건으로 보조간선도로의 피해상황보다 인적피해가 4건, 물적피해가 132건 높게 나타난 것으로 분석된다.

표 2. 대상도로 사고자료

(단위: 건)

구 분	사고건수	피해상황		
		인적		물적
		사망	부상	
주간선도로	258	4	194	60
보조간선도로	100	0	62	38
총 계	358	4	256	987

3.2. 사고자료의 특성 및 분석

전체 사고건수를 주간선도로와 보조간선도로로 분류하여

표 3과 같이 km당 사고건수와 EPDO를 SPSS통계 프로그램을 이용하여 기술통계를 분석하였다.

표 3. km당 사고건수와 EPDO의 기술통계

구 분	km당 사고건수		EPDO	
	주간선도로	보조간선도로	주간선도로	보조간선도로
범위	12.39	4.61	146	43
최소값	0.74	0.86	6	2
최대값	13.13	5.47	170	45
합계	62.75	57.26	686	215
평균	4.83	2.48	52.77	19.54
표준편차	3.78	1.41	42.75	15.35
분산	14.25	2.00	1827.19	235.47
왜도	1.06	0.93	1.92	0.50
첨도	0.43	0.55	4.31	-1.00
독립표본 t검정	0.031		0.000	

사고건수의 기술통계 결과, 주간선도로의 km당 사고건수의 평균값은 4.83건/km, 보조간선도로의 km당 사고건수의 평균값은 2.48건/km로 차이가 있는 것으로 분석된다. 또한 주간선도로의 표준편차와 분산이 보조간선도로의 값보다 커 주간선도로의 사고건수와 EPDO가 평균과 차이 있는 값들이 많은 것으로 분석된다. 주간선도로와 보조간선도로의 사고분포는 왜도와 첨도 모두 0보다 크기 때문에 왼쪽으로 치우쳐 있고, 위가 뾰족한 같은 곡선모양으로 분석된다. EPDO 기술통계 결과, 두 집단 간의 차이가 있는 것으로 분석되며, 첨도의 경우 보조간선에서는 0보다 작은 값을 나타내기 때문에 주간선도로와 다르게 상단이 평평한 곡선으로 분포한다.

3.3. 독립표본 t 검정

주간선과 보조간선도로의 종속변수인 사고건수와 EPDO를 독립표본 t 검정을 실시하여 검증한 결과 95%의 신뢰수준에서 유의확률이 각각 0.031, 0.000으로 0.05보다 작게 분석된다. 이는 “두 집단 간 차이가 없다”는 귀무가설($H_0 : d_0 = 0$)을 모두 기각하고 있다. 따라서 도로기능별 사고건수와 EPDO는 차이가 있으며, 도로 기능에 따른 사고모형의 개발이 적절하다고 판단된다.

4. 사고모형 개발

4.1. 변수의 설정

사고모형의 개발에는 구간별 사고의 특성을 반영할 수 있는 km당 사고건수와 EPDO를 종속변수로 선정하였다. 아울러 기존 연구를 통해 사고모형에 공통되게 사용되는 독립변

수를 파악하고 가로구간에서의 교통사고와 밀접한 관련성이 있을 것으로 판단되는 변수를 독립변수로 결정하였다.

정리된 독립변수는 기존연구에서 사고와 밀접한 관련이 있는 일평균교통량, 차로 수, 중분대 비율 등의 변수에 이번 연구에서 가로구간의 특성을 살릴 수 있는 연결도로 수, 단일로 횡단보도, 굴곡점 수 등 총 15개를 설정하였다. 설정된 변수를 기존연구 독립변수와 추가된 독립변수로 표 4와 같이 구분하여 정리하였고, 종속변수와 독립변수의 속성의 설명은 표 5 및 표 6과 같다.

표 4. 독립변수의 선정

구 분	기존연구 독립변수(12개)	추가된 독립변수(3개)
독립변수	교통량, 차로수, 중분대 비율, 버스베이 길이, 전용차선, 종단경사	횡단보도, 연결도로 수, 가로등 수

표 5. 독립변수의 정의

독립변수	기호	정 의	
교통량	X_1	일평균 교통량(대/일)	
횡단보도 수	X_2	단일로 횡단보도 수(개)	
차로 수	X_3	단일로 차로 수(차로)	
연결도로 수	X_4	단일로 연결도로 수(개)	
중분대 비율	X_5	단일로 중분대 길이/단일로 연장(%)	
버스정류장 수	X_6	단일로 정류장 수(개)	
버스베이 길이	X_7	단일로 버스베이 길이 (m)	
굴곡점 수	X_8	단일로 굴곡점 수(개)	
전용차선	좌회전	X_9	좌회전 전용차선 수(개)
	길이	X_{10}	좌회전 전용차선 길이(m)
	우회전	X_{11}	우회전 전용차선 수(개)
	길이	X_{12}	우회전 전용차선 길이(개)
가로등 수	X_{13}	단일로 가로등 수(개)	
종단경사	평균	X_{14}	접근로별 평균 경사(°)
	최급	X_{15}	접근로별 최대 경사(°)

표 6. 종속변수의 정의

독립변수	기호	정 의
EPDO	Y_1	12×사망사고+3×부상사고+물피사고
사고건수	Y_2	km당 사고건수 (건/km)

4.2. 상관관계 분석

변수간의 상관관계를 분석하기 위하여 신뢰수준 95%로 하여 EPDO계수(Y_1)와 km당 사고건수(Y_2)를 종속변수로 하고, 교통사고와 관련성이 있는 15개의 독립변수를 선정하여 Pearson 상관계수를 이용하였다.

상관관계 분석결과, 횡단보도 수(X_2)와 연결도로수(X_4), 좌회전 전용차로 수(X_9)와 좌회전 전용차로 길이(X_{10})변수의 상관관계가 높아 다중공선성 문제를 발생할 수 있는 것으

표 7. 상관분석 결과

	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}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
Y_1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_2	0.900	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_1	0.216	0.218	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_2	0.000	-0.013	-0.143	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_3	0.029	0.047	0.301	-0.348	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_4	0.088	0.070	-0.052	0.689	-0.271	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_5	0.021	0.046	0.208	-0.201	0.121	-0.076	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_6	0.075	0.074	0.012	0.219	-0.020	0.298	-0.065	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_7	-0.023	-0.009	-0.004	-0.033	0.038	-0.073	-0.040	0.238	1	-	-	-	-	-	-	-	-
X_8	-0.087	-0.091	-0.028	0.166	-0.040	0.152	0.026	0.233	-0.022	1	-	-	-	-	-	-	-
X_9	0.103	0.088	0.221	-0.062	0.253	-0.006	-0.036	0.124	0.158	-0.019	1	-	-	-	-	-	-
X_{10}	0.154	0.148	0.214	-0.057	0.233	0.031	-0.045	0.133	0.097	-0.038	0.775	1	-	-	-	-	-
X_{11}	0.067	0.074	-0.044	0.112	-0.009	0.025	-0.012	0.122	0.117	-0.020	0.340	0.278	1	-	-	-	-
X_{12}	-0.002	0.029	0.014	-0.081	0.063	-0.011	0.437	-0.061	0.002	-0.064	-0.031	-0.002	0.000	1	-	-	-
X_{13}	0.018	0.022	0.125	0.162	0.157	0.087	0.162	0.098	0.016	0.209	0.045	0.089	0.086	0.106	1	-	-
X_{14}	0.039	0.016	0.246	-0.306	0.230	-0.112	0.285	-0.018	0.024	0.106	0.211	0.173	-0.034	0.155	0.074	1	-
X_{15}	-0.016	-0.012	0.013	0.003	0.037	0.011	0.013	-0.033	-0.037	-0.010	0.020	0.003	0.000	-0.018	0.078	-0.009	1

로 분석된다. 이후 최적모형 선정에서 이런 다중공선성 문제를 고려하였다.

4.3. 사고모형 개발

교통사고는 임의적이고 불규칙적으로 발생하게 된다. 이러한 경우를 고려하여 여러 가지 회귀분석 중 비선형 회귀분석인 포아송과 음이항 분석이 기존의 연구에서 많이 사용되었다. 사고건수가 발생하지 않는 지점(특히 가로구간 또는 고속도로)에 대한 검토를 위해서 이 두 모형의 보다 확장된 형태인 ZAM 모형에 의한 사고모형이 개발되어 진행되고 있다.

이인성(2004)은 사망사고 건수 중 '0'에 해당하는 빈도가 지나치게 많고 과대산포의 문제를 가지고 있는 자료의 경우에는 ZIP(zero-inflated Poisson)모형, 음이항모형, ZINB(zero-inflated negative binomial) 모형을 제시한 점을 고려하여, 포아송 모형을 비롯한 전술한 세 가지 모형들을 모두 추정하고 평가하는 작업을 시행한다. 모형개발에는 사회과학 통계프로그램인 Limdep 8.0을 사용하여 수행한다.

4.3.1. 주간선도로 사고모형

1) EPDO

주간선도로 EPDO사고모형을 포아송, 음이항, ZIP 및 ZINB의 4가지 모형을 개발하였다. 개발된 4개의 모형은 표 8에서 표 11과 같다. 포아송과 ZIP 모형의 사고요인은 교통량, 횡단보도, 차로 수, 연결도로 수, 버스정류장 수, 버스배이 길이, 굴곡점 수, 좌회전전용차선 수와 길이, 가로등 수

및 최급종단경사로 분석되며, 음이항과 ZINB 모형의 사고요인은 교통량, 중앙분리대 비율 및 굴곡점 수가 영향을 미치는 것으로 분석된다.

표 8. 주간선도로 EPDO 포아송 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	0.937	7.940	0.000
X_1	0.000	16.221	0.000
X_2	0.080	3.132	0.002
X_3	-0.203	-5.650	0.000
X_4	0.144	11.261	0.000
X_6	0.092	2.272	0.023
X_7	-0.010	-4.919	0.000
X_8	-0.490	-8.548	0.000
X_9	-0.211	-3.126	0.002
X_{10}	0.002	3.578	0.000
X_{13}	0.003	3.354	0.001
X_{15}	-0.010	-2.186	0.029
ρ^2			0.149

표 9. 주간선도로 EPDO 음이항 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	0.944	2.211	0.027
X_1	0.000	2.477	0.013
X_3	-0.004	-0.900	0.368
X_8	-0.334	-1.170	0.242
Alpha	6.212	8.879	0.000
ρ^2			0.712

표 10. 주간선도로 EPDO ZIP 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	0.937	19.954	0.000
X_1	0.000	46.878	0.000
X_2	0.080	6.354	0.000
X_3	-0.203	-16.245	0.000
X_4	0.144	26.852	0.000
X_6	0.092	5.838	0.000
X_7	-0.010	-15.615	0.000
X_8	-0.490	-26.025	0.000
X_9	-0.211	-9.774	0.000
X_{10}	0.002	10.807	0.000
X_{13}	0.003	2.130	0.033
X_{15}	-0.010	-3.828	0.000
ρ^2			0.433
Vuong 통계값			12.267

표 11. 주간선도로 EPDO ZINB 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	2.446	12.763	0.000
X_1	0.000	2.301	0.021
X_5	-0.006	-1.735	0.083
X_8	-0.323	-2.535	0.011
Alpha	0.460	3.688	0.000
ρ^2			0.732
Vuong 통계값			6.061

ZIP과 ZINB 모형 두 가지 분석방법을 통하여 가로구간 사고모형을 개발한 결과, Vuong 통계값이 ZIP모형은 12.267, ZINB모형은 6.061로 모두 1.96보다 큰 값을 보여, 포아송 모형과 NB모형보다는 ZIP모형과 ZINB모형이 통계적으로 더 적합한 것으로 분석된다.

2) 사고건수

주간선도로 EPDO사고모형을 포아송, 음이항, ZIP 및 ZINB의 4가지 모형으로 개발하였다. 개발된 4개의 모형은 표 12에서 표 15와 같다. 포아송과 ZIP모형의 사고요인은 교통량, 차로 수, 연결도로 수, 버스정류장 수, 버스베이 길이, 굴곡점 수, 좌회전전용차선 수와 길이, 우회전 전용차선 수 및 평균중단경사로 분석되며, 음이항과 ZINB 모형의 사고요인은 교통량, 버스베이 길이 및 굴곡점 수로 분석된다.

ZIP과 ZINB 모형 두 가지 분석방법을 통하여 가로구간 사고모형을 개발한 결과, Vuong 통계값이 ZIP모형은 7.966, ZINB모형은 4.841로 모두 1.96보다 큰 값을 보여 포아송 모형과 NB모형보다는 ZIP 모형과 ZINB 모형이 통계적으로 더 적합한 것으로 분석된다.

표 12. 주간선도로 사고건수 포아송 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	0.125	0.669	0.503
X_1	0.000	11.076	0.000
X_3	-0.212	-3.503	0.000
X_4	0.127	6.530	0.000
X_6	0.175	2.703	0.007
X_7	-0.010	-3.151	0.002
X_8	-0.472	-4.686	0.000
X_9	-0.337	-3.061	0.002
X_{10}	0.002	2.733	0.006
X_{11}	0.129	1.051	0.293
X_{14}	-0.044	-1.302	0.193
ρ^2			0.126

표 13. 주간선도로 사고건수 음이항 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	-0.031	-0.086	0.931
X_1	0.000	2.977	0.003
X_7	-0.008	-0.815	0.415
X_8	-0.362	-1.504	0.133
Alpha	3.918	7.794	0.000
ρ^2			0.433

표 14. 주간선도로 사고건수 ZINB 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	1.406	6.592	0.000
X_1	0.000	2.538	0.011
X_7	-0.009	-1.851	0.064
X_8	-0.412	-2.594	0.009
Alpha	0.277	2.422	0.015
ρ^2			0.466
Vuong 통계값			4.841

표 15. 주간선도로 사고건수 ZIP 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	0.125	1.165	0.244
X_1	0.000	20.992	0.000
X_3	-0.212	-6.322	0.000
X_4	0.127	10.461	0.000
X_6	0.175	3.991	0.000
X_7	-0.010	-6.122	0.000
X_8	-0.472	-7.256	0.000
X_9	-0.337	-6.181	0.000
X_{10}	0.002	5.440	0.000
X_{11}	0.129	2.154	0.031
X_{14}	-0.044	-1.966	0.049
ρ^2			0.298
Vuong 통계값			7.966

4.3.2. 보조간선도로 사고모형

1) EPDO

포아송과 ZIP 모형의 사고요인은 교통량, 횡단보도 수, 차로 수, 연결도로 수, 버스정류장 수, 버스베이 길이, 굴곡점 수, 가로등 수 및 평균종단경사로 분석되며, 음이항과 ZINB 모형의 사고요인은 버스정류장 수, 굴곡점 수 및 평균종단경사로 분석된다.

표 16. 보조간선도로 EPDO 음이항 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	1.031	2.804	0.005
X_6	0.433	1.524	0.128
X_8	-0.425	-1.666	0.096
X_{14}	-21.191	-1.170	0.242
Alpha	7.959	5.784	0.000
ρ^2			0.683

표 17. 보조간선도로 EPDO 포아송 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	1.056	5.106	0.000
X_1	0.000	0.285	0.776
X_2	-0.029	-0.995	0.320
X_3	0.054	0.590	0.555
X_4	0.018	0.851	0.395
X_6	0.233	5.522	0.000
X_7	0.002	0.715	0.475
X_8	-0.669	-5.692	0.000
X_{13}	0.023	2.400	0.016
X_{14}	-23.036	-4.755	0.000
ρ^2			0.063

표 18. 보조간선도로 EPDO ZIP 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	2.876	27.338	0.000
X_1	0.000	-1.808	0.071
X_2	-0.177	-8.154	0.000
X_3	0.450	8.048	0.000
X_4	-0.040	-3.671	0.000
X_6	0.241	8.220	0.000
X_7	0.011	4.504	0.000
X_8	-0.374	-4.746	0.000
X_{13}	-0.042	-7.400	0.000
X_{14}	-8.311	-16.710	0.000
ρ^2			0.672
Vuong 통계값			5.110

표 19. 보조간선도로 EPDO ZINB 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	2.681	10.595	0.000
X_6	-0.135	-0.879	0.379
X_8	-0.203	-0.930	0.352
X_{14}	-31.669	-2.690	0.007
Alpha	0.938	2.387	0.017
ρ^2			0.690
Vuong 통계값			2.088

ZIP과 ZINB 모형 두 가지 분석방법을 통하여 가로구간 사고모형을 개발한 결과, Vuong 통계값이 ZIP모형은 5.110, ZINB모형은 2.088로 모두 1.96보다 큰 값을 보여, 포아송 모형과 NB 모형 보다는 ZIP 모형과 ZINB 모형이 통계적으로 더 적합한 것으로 분석된다.

2) 사고건수

포아송과 ZIP모형의 사고요인은 횡단보도, 차로 수, 가로등 수 및 평균종단경사의 4개 요인이 분석되며, 음이항과 ZINB모형의 사고요인은 차로 수, 가로등 수 및 평균종단경사의 3개 요인으로 분석된다.

ZIP과 ZINB 모형 두 가지를 이용하여 가로구간 사고모형을 개발한 결과, Vuong 통계값이 ZIP 모형은 5.177, ZINB 모형은 2.987로 모두 1.96보다 큰 값을 보여, 포아송과 NB 모형 보다는 ZIP과 ZINB 모형이 통계적으로 더 적합한 것으로 판단된다.

표 20. 보조간선도로 사고건수 포아송 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	-0.843	-2.598	0.009
X_2	0.058	1.906	0.057
X_3	0.580	4.561	0.000
X_{13}	-0.013	-1.011	0.312
X_{14}	-3.756	-0.731	0.465
ρ^2			0.027

표 21. 보조간선도로 사고건수 음이항 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	-0.538	-0.822	0.411
X_3	0.539	1.698	0.090
X_{13}	-0.001	-0.029	0.976
X_{14}	-11.698	-0.747	0.455
Alpha	4.703	5.341	0.000
ρ^2			0.429

표 22. 보조간선도로 사고건수 ZIP 모형

구 분	계수	t값	p값
상수항	1.488	5.987	0.000
X_2	-0.141	-4.132	0.000
X_3	0.495	4.657	0.000
X_{13}	-0.044	-4.276	0.000
X_{14}	-20.085	-3.419	0.001
ρ^2			0.452
Vuong 통계값			5.177

표 23. 보조간선도로 사고건수 ZINB 모형

구 분	계수	t 값	p 값
상수항	0.270	0.575	0.565
X_3	0.916	3.864	0.000
X_{13}	-0.065	-3.126	0.002
X_{14}	-26.680	-2.119	0.034
Alpha	0.413	1.461	0.144
ρ^2			0.453
Vuong 통계값			2.987

4.4. 사고모형의 통계적 검증

개발된 총 16개의 사고모형에 대한 적합성을 검증을 통해 최적모형을 선정한다. 모형의 적합성을 검증하기 위해서 NB 과분산계수 α 의 t통계 값과 ZINB와 NB 비교를 위한 Vuong 통계 값을 사용하고, 앞서 상관관계 분석에서 제시한 다중공선성 문제를 고려하여 최적모형을 선정한다. 그 결과, 주간선도로의 EPDO와 사고건수, 보조간선도로의 EPDO는 ZINB모형이, 보조간선도로의 사고건수는 ZIP모형이 적합한 것으로 분석된다. 사고모형의 결정 계수 범위는 표 25와 같으며, 도로유형별 구축한 모형 식은 표 26과 같이 정리된다.

표 25. 모형의 통계적 선정기준

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

자료 : Simon P. Washington, Matthew G. Karlatis and Fred L.(2003), "Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis", Chapman & Hall/CRC, pp.241-255.

표 26. 도로유형별 모형식

모형	모형식
1	$Y_1 = \exp(2.446 + 0.000018X_1 - 0.0056X_5 - 0.32303X_8)$
2	$Y_2 = \exp(1.406 + 0.000018X_1 - 0.009X_7 - 0.412X_8)$
3	$Y_3 = \exp(2.681 - 0.135X_6 - 0.203X_8 - 31.669X_{14})$
4	$Y_4 = \exp(1.488 - 0.141X_2 + 0.495X_3 - 0.044X_{13} - 20.085X_{14})$

주 : 1=주간선도로의 EPDO 모형 2=주간선도로의 사고건수 모형
 3=보조간선도로의 EPDO 모형 4=보조간선도로의 사고건수 모형

4.5. 사고모형의 비교

EPDO를 종속변수로 한 주간선도로 ZINB 모형은 교통량이 많고 중앙분리대비율이 크며, 굴곡점 수가 많을수록 사고가 많이 발생하며, 사고건수를 종속변수로 한 주간선도로 ZINB 모형은 교통량이 많고, 버스베이의 길이가 길수록, 그리고 굴곡점 수가 많을수록 사고가 증가함을 나타낸다.

또한 EPDO를 종속변수로 한 보조간선도로의 ZINB 모형은 버스정류장과 굴곡점 수가 많을수록 평균중단경사가 클수록 사고가 많이 발생하며, 사고건수를 종속변수로 구축한 보조간선도로의 ZIP 모형은 차로와 가로등 수가 많을수록 그리고 평균중단경사가 클수록 사고가 증가하는 것으로 판단된다.

간선도로 기능별 사고요인은 다음 표 24와 같이 정리되며, 주간선도로의 공통변수는 교통량과 굴곡점 수, 그리고 보조간선도로의 공통변수는 평균중단경사로 나타난다.

주간선도로와 보조간선도로의 사고모형을 비교해 보면, 주간선도로는 교통량과 굴곡점 수에 사고의 영향을 받는 반면에 보조간선도로는 교통량 보다는 기하구조적 요소인 평균중단경사에 영향을 더 많이 받는 것으로 분석된다. 대부분의 주간선도로는 기하구조 측면에서 보조간선도로에 비해 더 높은 수준을 요구하고 있어, 기하구조 요인보다는 교통량에 사고의 요인이 더 큰 것으로 판단된다.

표 24. 간선도로 기능별 사고요인 비교

구 분	주간선도로		보조간선도로	
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
공통변수	교통량, 굴곡점 수		평균중단경사	
모형특성 변수	중앙분리대 비율	버스베이 길이	버스정류장 수, 굴곡점 수	차로 수, 가로등 수

주간선도로의 모형은 일반적으로 분석되는 사고모형과 비슷하게 교통량 변수가 채택되었으나, EPDO(Y_1)모형은 중앙분리대 비율이 높을수록 사고가 많이 발생하는 것으로 분석되어, 사고건수(Y_2)모형이 더 적합할 것으로 분석된다.

보조간선도로의 모형은 교통량 변수가 채택되지 않고, 기하구조 측면의 평균중단경사 변수가 채택되어, 기존의 모형과는 차이가 있는 것으로 분석되며, 차로 수와 가로등 수가 많을수록 사고가 많이 발생하는 사고건수(Y_4)모형보다는 버스정류장 수와 굴곡점 수가 많을수록 사고가 많이 발생하는 EPDO(Y_3)모형이 더 적합할 것으로 분석된다.

5. 결론

본 연구는 청주시 가로구간의 교통사고와 기하구조 자료를 바탕으로 간선도로 기능별 사고특성을 분석하고 ZAM모형을

이용하여 사고모형을 개발하였다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 사고특성을 t 검정으로 분석한 결과, 주간선도로와 보조간선도로는 교통사고건수와 EPDO에 차이가 있는 것으로 검증되어, 간선도로 기능별 사고모형의 개발은 적절한 것으로 분석된다.

둘째, ZAM 모형을 이용하여 주간선과 보조간선의 사고모형을 개발한 결과 Vuong 통계값이 모두 1.96보다 크게 나타나 포아송과 NB 모형보다는 ZAM 모형이 더 적합한 것으로 판단된다.

셋째, ZAM 모형 중 사고건수와 EPDO를 종속변수로 사용한 주간선도로의 모형은 모두 과분산계수 α 의 t값이 1.96보다 높게 나타나 ZINB모형이 더 적합한 것으로 나타나며, 보조간선도로의 사고건수모형은 ZAM 모형 중 과분산계수 α 의 t값이 1.96보다 작아 ZIP모형, 그리고 보조간선도로의 EPDO모형은 ZINB 모형이 더 적합한 것으로 분석된다.

넷째, 통계적 검증을 통해 선정된 4개 모형에서 주간선도로의 공통변수는 교통량과 굴곡점 수이며, 보조간선도로의 공통변수는 평균종단경사로 분석된다. 이 4개의 모형 중 주간선도로는 사고건수(Y_2)모형이 보조간선도로는 EPDO(Y_3)모형이 가장 적합할 것으로 분석된다.

본 연구에서는 구축된 여러 모형을 이용하여 청주시 간선도로 기능별 가로구간의 주요 사고요인을 파악하였다. 향후 더 정교한 모형 구축을 위해서는 도시부 및 다양한 지역을 대상으로 한 폭넓은 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한 도로구간에서의 사고에 영향을 미치는 교통량 및 기하구조 외에도 운전자의 인적요소가 고려될 수 있으므로 도로구간에 관련된 모든 요소를 종합적으로 고려한 사고모형 개발이 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

김숙희·장정아·최기주(2005), "사고다발지 점의 안전성능 진단 및 위치별 사고요인 분석", *대한교통학회지*, pp.9-20.
박병호·박상혁·이영민·인병철(2008), "ZAM 모형을 이용한 비신호교차로 사고 특성 분석 - 청주시 3지·4지 비신호교차로를 사례로-", *국토계획, 대한국토·도시계획학회*, 43권, 제6호, pp.69-78.

박병호·한상욱·김태영·김원호(2008), "사고유형에 따른 청주시 4지 신호교차로 교통 사고 모형", *대한교통학회지*, 제26권, 제5호, pp.153-162.
이인성(2004), "Application of ZIP regression to traffic accident data", 연세대학교 통계학 석사학위 논문, pp.1-43.
최재원·김성호·조준한·김원철(2004), "인공신경망을 적용한 신호교차로 교통사고 심각도 예측에 관한 연구", *대한교통학회지*, 제22권 제3호, 대한교통학회, pp.127-135.
한상진·김근정(2007), "도로종류별 교통사고 추세분석 및 시계열 분석모형 개발", *한국도로학회 논문집*, 제 9권, 제3호, pp.1-12.
하오근·허억·원제무(2008), "신호교차로 안전성 향상을 위한 사고 심각도 모형 개발", *한국안전학회지*, 제23권 제2호, pp.1-7.
하오근, "국도변 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형 개발과 심각도 분석", 한양대학교 석사학위 논문
Bonneson, J. A. and P. T. McCoy(1993), "Estimation of Safety at Two-way Stop-controlled Intersection on Rural Highways", *Transportation Research Record 1401*, pp.83-89.
Chin, H. C. and M. A. Quddus(2003), "Applying the Random Effect Negative Binomial Model to Examine Traffic Accident Occurrence at Signalized Intersections", *Accident Analysis and Prevention*, pp. 253-259.
Hoong chor Chin · oammed Abdul Quddus(2003), "Applying the random effect accident occurrence at signalized intersections", *accident analysis & prevention*35, pp.253-259.
Jinsun Lee and Fred Mannering(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.
Simon P. Washington, Matthew G. Karlaftis and Fred L.(2003), "Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis", *Chapman & Hall/CRC*, pp.241-255.

접 수 일 : 2010. 4. 17
심 사 일 : 2010. 4. 19
심사완료일 : 2011. 1. 7