

■ 論 文 ■

사고유형에 따른 청주시 4지 신호교차로 교통사고모형

Traffic Accident Models of Cheongju Four-Legged Signalized Intersections by Accident Type

박 병 호

(충북대학교 도시공학과 교수)

한 상 욱

(충북대학교 도시공학과 석사과정)

김 태 영

(충북대학교 도시공학과 박사과정)

김 원 호

(서울시정개발연구원 선임연구위원)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구 내용 및 방법
 - II. 기존 연구의 검토
 - 1. 국내 연구현황
 - 2. 국외 연구현황
 - 3. 기존 연구와의 차별성
 - III. 분석틀의 설정
 - 1. 자료수집 및 분석
 - 2. 분석모형 선정
 - IV. 교통사고 모형 개발
 - 1. 상관관계 분석
 - 2. 과산포 검정
 - 3. 음이항 회귀모형 개발
 - 4. 모형의 검정
 - 5. 결과 분석
 - V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 신호교차로, 상관분석, 과산포검정, 음이항회귀모형, 사고모형
 Signalized Intersections, Correlation Analysis, Overdispersion Test, Negative Binomial Regression Model, Accident Models

요 약

본 연구는 청주시 4지 신호교차로를 대상으로 한 교통사고를 다루고 있다. 연구의 목적은 143개 교차로 사고자료를 이용하여 사고유형별 특성을 비교분석하고 모형을 개발에 있다. 이를 위해 본 연구에서는 정면충돌, 후미추돌, 측면직각, 접촉, 차로변경접촉 등의 모형을 개발하는데 중점을 두고 있다.

분석된 주요결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 가산자료모형 설정을 위해 과산포 검정을 한 결과 음이항 회귀모형이 선정되었다. 둘째, 통계적으로 설명력이 높은 5개의 음이항 모형이 개발되었다. 셋째, 공통변수(ADT)와 특정변수를 활용하여 모형의 차이가 비교·분석되었다.

This study deals with the traffic accidents at the 4-legged signalized intersections in Cheong-ju. The purpose is to comparatively analyze the characteristics and models by the accident type using the data of 143 intersections. In pursuing the above, this study gives particular emphasis to modeling such the accidents as head on collision, rear end collision, side swipe, side right angle collision, and others.

The main results are the followings. First, the overdispersion tests show that the negative binomial regression models are appropriate to the traffic accident data in the above contexts. Second, five accident models are developed, which are all analyzed to be statistically significant. Finally, the models are comparatively evaluated using the common variable (ADT) and type-specific variables.

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

교차로에서 발생하는 교통사고는 사회·경제적요인 및 차량자체요인과 인적요인 외에도 기하구조적 특성에 기인함은 이미 잘 알려진 사실이다. 그러나 기존에 연구는 단순히 교차로내의 사고심각도 원인만을 분석하여 위험정도를 판단하거나 실제적으로 불가한 기후조건, 운전자의 운전행태 등에 관한 변수를 다루고 있어서, 교통안전 제고에 크게 기여하지 못하고 있다. 교통사고예방을 위해서는 사고개선방안에 대한 적용이 용이하고, 자료수집이 가능한 도로기하구조와 도로환경적 요인을 대상으로 하는 것이 타당하다고 판단된다.

본 연구는 사고발생지점의 기하구조 및 환경요소를 중심으로한 교통사고모형을 다루고 있다. 또한 교통사고는 다양한 사고유형을 갖고 있으므로 이에 대한 분석이 요구된다. 즉, 교차로내의 정면충돌, 후미추돌, 측면직각, 접촉, 차로 변경접촉 등 다양한 사고유형을 파악하여 모형을 통해 사고 심각도를 분석하고, 사고 유형별로 어떠한 요인이 사고에 영향을 미치는지를 비교·분석하는데 목적이 있다.

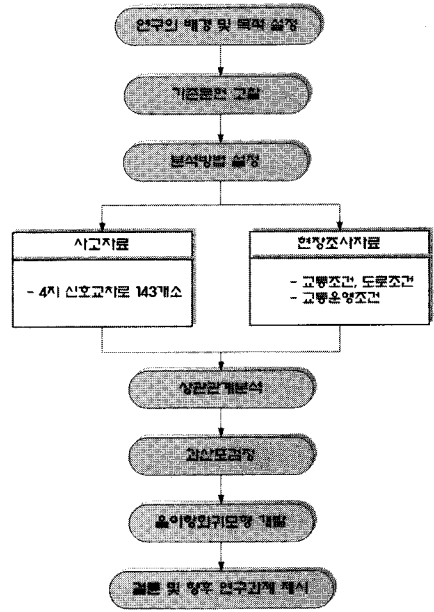
2. 연구 내용 및 방법

본 연구는 청주시 4지 신호교차로의 사고유형에 따른 교통사고모형을 개발하기 위해 우선 청주시 신호 교차로를 공간적 범위로 설정하여 교통사고현황 및 특성을 규명한다.

이 연구에서는 청주시 4지 신호교차로 143개 지점을 대상으로 「충북지방경찰청의 2004년도 청주시 사고관리자료(TAMS)¹⁾와 도로교통안전관리공단(이하 공단)의 사고 충돌도」를 활용하여 교통사고 유형 및 교통조건을 분석하며, 정리된 자료의 분석을 위해 LIMDEP 8.0을 이용하여, 각 변수들 간의 상관관계를 분석한다.

또한 이산적이고 불규칙적으로 일어나는 교통사고를 분석하는데 적절하다고 판단되는 가산자료모형(count data model)을 적용하여 교통사고모형을 개발한다. 가산자료모형 중 일반적으로 사용하는 것은 포아송 모형이나 기존의 다수의 국내 연구들은 모형설정시 적절한 검정없이 포아송 모형을 적용한 사례가 많다. 이에 본 연구

에서는 가산자료모형을 적용함에 있어 과산포 검정을 통하여 자료에 적합한 모형을 선정한다.



〈그림 1〉 연구수행 과정도

II. 기존 연구의 검토

1. 국내 연구현황

하오근(2005)은 포아송 회귀모형을 사용하여 ρ^2 (우도비), 상관계수, MAD, MPB를 알아보고 가장 적합한 결과가 도출된 모델을 주 모델로 선정하여 사고예측모형을 만들고 ρ^2 (우도비), χ^2 (Chi-squaer)의 값으로 모형 설명력 검증하여 사고 심각도를 분석하였다.

오주택(2005)은 사고 심각도 분석에 있어서 사고 자료의 특성을 고려하여 순서형 확률모형을 적용하였다. 데이터 오차항의 분포를 정규분포로 가정하여 순서형 프로빗 모형을 적용하였고 모형의 설명력과 적합성을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 χ^2 (Chi-square)의 값을 이용하여 사고 심각도 모형을 개발하였다.

심관보(1998)는 운전자 특성 및 교통사고 발생유형에 따른 사고 심각도를 분석함으로써 사고 발생시 위험도가 높은 사고 유형을 규명하고자 하였다. 사고 유형별 심각도

1) 교통사고관리자료(TAMS: Traffic Accident Management System)

분석은 사고유형을 여덟 가지로 분류하고, 로그-선형 모형 및 로짓 모형을 사용하여 카테고리 자료를 분석하였다. 사고유형과 심각도와의 관계에서는 정면충돌사고와 앞지르기시 우회전시 사고가 기여위험도가 매우 높아 부상 또는 사망사고와 연계될 가능성이 큰 것으로 나타났다.

박병호 등(2008)은 청주시와 청원군의 신호교차로를 중심으로 다중선형, 포아송 및 음이항회귀모형을 개발하는데 중점을 두고 있으며, 모형의 검증결과 사고건수와 EPDO 모두 포아송 및 음이항 모형이 설명력이 높은 것으로 분석되었으며, 통계적으로 설명력이 높은 4개의 사고모형이 개발되었고, 지방부의 특성을 반영할 수 있는 특정변수를 산출하였다.

하태준 등(2001)은 4지 신호교차로 교통사고 분석에 단순통계분석과 교차분석 및 다중회귀분석을 사용하였다. 특히 다중회귀분석에는 교차로 사고분석을 위해 사고유형을 종속변수로, 방향별 접근 교통량을 독립변수로 각각 적용하여 교통사고 예측모형을 도출하였다. 그리고 본 연구에서 도출된 예측모형을 이용하여 전라남도 4-지 신호교차로에 대한 교통사고 잦은 지점으로 선정된 30개소를 선택, 사고유형을 분석한 후 교통사고 예측모형에 적용하여 사고모형을 검증하였다.

2. 국외 연구현황

Kara Maria Kockelman(2002)의 연구에서는 미국의 GES(General Estimates System) 데이터를 이용하여 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 적용하여 차량단독사고, 차량 대 차량사고, 그리고 모든 사고형태에 분석을 실시하였다.

James A. Bonneson(1993)의 연구에서는 125개 교차로의 교통량과 사고 데이터를 분석하여 주도로와 부도로 교통량과 사고와의 관계를 정의함으로써 사고예측모형을 개발하였다. 주도로와 부도로 교통량이 많아질수록 사고는 지수관계의 형태로 증가하게 되나, 주도로의 경우 부도로 보다 교통량이 증가하는 것에 비하여 사고에 덜 영향을 준다는 것을 밝혔다.

José M. Pardillo Mayora 등(2006)의 연구에 의하면 마드리드 폴리테크닉 대학(Madrid Polytechnic University)에서 이전에 수행된 사고예측모형을 정교화하였다. 특히 그들은 노출, 사고수 및 도로설계의 변

수를 가지고 음이항 회귀분석을 통해 구축하고, 누적잔차분석과 표본의 무작위 제거(Random reduction of sample)를 통해 모델을 정교화 하였다.

3. 기존 연구와의 차별성

이 연구의 차별성은 네 가지를 들 수 있다. 첫째, 신호교차로 사고모형의 구체화와 실용성이다. 대부분의 기존 연구는 단순히 교차로에 국한하여 사고심각도 분석 및 예측모형을 개발하였지만, 본 연구에서는 4지 신호교차로의 다양한 사고유형별 교통사고모형을 개발하여 어떠한 요인이 사고에 영향을 미치는지를 공통변수와 특정변수를 통해 비교·분석 하였다.

둘째, 구체적이고 다양한 종속변수와 독립변수의 이용이다. 사고 심각도에 영향을 줄 것으로 예상되는 변수들을 기존문헌을 참고하여 19개의 항목을 통하여 총 94개의 독립변수를 선정하였고, 18개의 종속변수 중 사고건수가 매우 적은 변수를 제외한 5개의 종속변수를 최종 선정하였다.

셋째, 종속변수를 사고유형별 사고심각도(EPDO)²⁾를 사용하였다. 사고건수법은 위험 지점을 선정하는데 있어 직접적이고 단순한 방법이지만 위험에 대한 노출을 고려하지 못하며 사고의 심각도를 설명할 수 없다. 이에 본 연구는 사고심각도를 설명할 수 있고 심각한 사고 점유율을 보이는 청주시와 같은 지방지역에 적용성이 큰 EPDO를 종속변수로 사용하였다.

넷째, 다양한 형태를 통해 발생하는 교통사고를 독립적으로 간주하여 자료를 분석하였을 경우 평균과 분산사이의 관계를 벗어나는 과산포현상이 나타난다. 이러한 현상을 무시했을 때 모수추정치에 대한 분산을 과소추정하고, 이로 인하여 가설검정에서 낮은 검정력을 갖게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구는 가산자료모형을 적용함에 있어 과산포 검정을 통하여 자료에 적합한 모형을 선정하였다. 또한 RMSE 검정을 통해 선정된 모형의 적합성을 검정하였다.

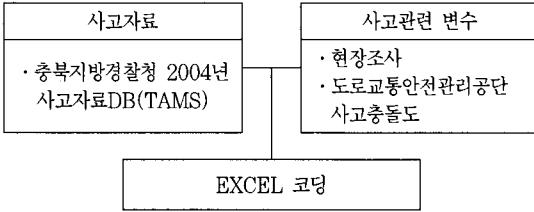
III. 분석들의 설정

1. 자료수집 및 분석

사고예측모형 개발을 위해 관련 자료들을 수집하는

2) EPDO(Equivalent Property Damage Only)는 (12×사망사고+3×부상사고+물피사고)로 산출됨

작업이 진행되어야 한다. 자료를 수집하는 방법에는 여러 가지 방법이 있지만 본 연구에서의 조사 지점 및 수집 방법은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 자료조사 방법

사고 자료는 충북지방경찰청의 2004년도 사고자료(TAMS)를 활용하여 청주시 4지 신호교차로 143개 교차로에 대한 사고관련요소들을 현장조사를 통해 수집하였다. 다양한 사고관련 변수들을 수집하기 위해 교차로 접근방향별로 구분하여 자료를 정리하였고, 청주시 4지 신호교차로의 사고유형별로 사고심각도를 분석하기 위해 사고유형별 사고와 사고수를 사망, 부상 및 물피사고로 나누어 세부 정리하였다. 아울러 사고 심각도에 영향을 줄 것으로 예상되는 변수들을 기존문헌을 참고하여 19개의 항목을 통하여 총 94개의 변수를 선정하여 코딩작업을 수행하였다.

본 연구는 4지 신호교차로의 교통사고모형을 개발하는 것이기 때문에 3지 신호교차로와 비신호 교차로는 대상에서 제외시켰다.

2. 분석모형 선정

1) 독립변수의 선정

현장조사를 통해 수집된 사고관련요소들 중 본 연구 대상 4지 신호교차로에서 발생한 교통사고와 밀접한 관련성이 있을 것으로 판단되는 독립변수를 선정한다. 여기에서는 다른 변수의 변화에 관계없이 독립적으로 변화하는 독립변수에 대한 현장조사 및 자료수집에 관한 방법을 정리하면, <표 1>과 같다.

일평균 교통량의 경우 교통량 변수 값과 종속변수 값의 scale이 맞지 않아 발생하는 문제를 해결하기 위해 일평균교통량에 log를 취한 값을 사용하였다.

<표 1> 사고관련변수

독립변수	기호	정의	범위	평균
일평균교통량 (ADT)	X_1	$\ln(\text{침투시간교통량} \times \text{일 평균 보정계수}) (=13.9)$ (대/일, pcu)	8.075~10.087	9.249
주도로 차로폭 평균	X_2	주도로 전체의 차로폭평균(m)	5.7~8.8	6.31
횡단거리합	X_3	교차로 전체 횡단거리의 합(개소)	50~130	73.12
좌회전 전용차로합	X_4	교차로 전체 좌회전 전용차로의 합계(개소)	0~6	2.01
우회전 전용차로합	X_5	교차로 전체 우회전 전용차로의 합계(개소)	0~4	0.81
주도로 종단경사합	X_6	주도로 종단경사의 합(%)	-9.7~8.6	0.52
이중정지선수	X_7	교차로 전체 접근로별 이중정지선의 수(개소)	0~4.0	0.99
평균황색 신호시간	X_8	황색신호 시간의 평균(sec)	0~5.0	3.93
중차량비	X_9	중차량교통량(중형트럭 이상)/전체교통량 $\times 100$ (%)	10.01~37.34	22.32
차로수 평균	X_{10}	교차로 전체 차로수의 평균 (없음:0, 있음:1)	1.0~3.0	1.94
교통섬의 유무	X_{11}	교차로 전체 교통섬의 유무 (없음:0, 있음:1)	0~1.0	0.40
U턴 유무	X_{12}	교차로 전체 U턴의 유무 (없음:0, 있음:1)	0~1.0	0.31
신호현시 수	X_{13}	신호운영 현시수 (현시)	2~6	4.17

2) 종속변수 선정

본 연구에서 사용되는 종속변수는 사망사고, 부상사고 및 물피사고³⁾의 각 피해의 종류를 등가로 환산해서 하나의 피해단위로 나타내어 산정하는 대물피해사고 환산법(EPDO)에 의한 사고심각도를 종속변수로 선정하였다. 사고유형은 크게 차대사람, 차대차 및 차량단독으로 나뉜다. 종속변수 선정에 있어 차대 사람의 경우 보행자 교통량 조사 등 자료의 부족으로 종속변수에서 제외시켰으며, 차량단독사고유형은 사고건수가 매우 적어 부적합하다고 판단하여 본 연구에서 제외시켰다.

차대차 사고수는 총 817건으로, 청주시 4지 신호교차로 총사고수인 1183건의 69.1%를 차지하고 있다.

3) 건설교통부(2002.10), "사고 잦은 곳 개선사업 업무편람 작성연구", p.133

- 사망사고 : 교통사고가 주원인이 되어 사고 발생시로부터 30일 이내에 사망자가 발생한 사고를 말함. (1999년까지는 72시간내 사망)
 - 부상사고 : 교통사고가 주원인이 되어 3주 이상의 치료를 요하는 부상자가 발생한 「중상사고」와 5일 이상 3주미만의 치료를 요하는 부상자가 발생한 「경상사고」, 그리고 5일 미만의 치료를 요하는 부상자가 발생한 「부상신고사고」를 통틀어 말함.
 - 물피사고 : 교통사고로 인하여 사고당사자의 손상은 없지만 물적인 피해를 수반한 사고를 말함.

〈표 2〉 종속변수의 사고건수

구분	운전자 진행상태	유형	총사고 건수	비중(%)
유형1	정면충돌		60	5.9
유형2	후미추돌		308	30.3
유형3	나란히 접촉		17	1.6
유형4	측면직각		250	24.7
유형5	접촉사고		290	28.6
유형6	차로변경 접촉		77	7.5
유형7	기타	-	13	1.2
합계	-	-	1015	100

또한 충북지방경찰청의 2004년도 사고자료DB에서 7 가지 유형의 차대차 사고유형중 후미추돌이 총 사고건수의 30.8%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 그 외에 정면충돌, 측면직각, 접촉사고, 차로변경접촉 등이 종속변수를 선정함에 있어 유의한 비중을 차지하고 있다. 반면 나머지 2가지 유형은 모두 2%이하로서 종속 변수 선정에서 제외시켰다. 종속변수 선정에 관한 결과는 〈표 2〉와 같다.

본 연구에서는 모든 사고유형을 사고심각도 분석함에 있어 무리가 있다고 판단하여 각 사고유형별 사망·중상·물피 사고의 비율을 EPDO로 환산한 결과를 분석하여 가장 높은 값으로 산출된 5가지 유형을 분석하였다.

사고유형과 심각도와의 관계에서는 사망비율이 가장 높은 유형은 차로변경접촉과 정면충돌로 나타났고, 중상의 경우 후미추돌과 정면충돌이 가장 많은 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다. 물피 사고의 비율은 차로변경접촉이 가장 많은 비율을 차지하고 있다. 각 사고유형별 사망·중상·물피 사고의 비율을 EPDO로 환산한 결과 정면충돌 사고, 후미추돌 사고 및 측면직각 사고가 위험도가 매우 높아 부상 또는 사망사고와 연계될 가능성이 큰 것으로 나타났으며, 차로변경접촉사고의 경우 사고의 심각도가 다른 사고 유형에 비해 비교적 작은 것으로 나타났다.

〈표 3〉 사고유형과 심각도와의 관계

사고유형 \ 사고내용	사망건수	중상건수	물피건수	EPDO
정면충돌	1(1.7)	45(76.3)	13(22.0)	500.2
후미추돌	3(1.1)	236(77.1)	67(21.8)	497.6
측면직각	3(1.2)	189(75.6)	58(23.2)	491.2
접촉사고	2(0.6)	195(67.7)	92(31.9)	445.3
차로변경접촉	2(2.6)	41(52.6)	35(44.8)	391.6

주 : ()는 각 사고유형별 사망·중상·물피 사고의 비율을 나타냄

IV. 교통사고 모형 개발

1. 상관관계 분석

1) 상관(correlation)분석

어떠한 변수가 모형에 선정되는가에 따라 모형의 설명력에 큰 차이가 난다. 따라서 변수들 간의 상관분석을 통해 유의한 변수를 찾아야 하며, 상관관계분석 결과 변수들 간의 상관성이 크게 떨어질 경우 자료의 신빙성이 저하되는 문제가 제기될 수 있다.

본 연구는 상관관계를 분석하기 위해 신뢰수준을 95%($\alpha=0.05$)로 하며, pearson 상관계수를 통해 변수들 간의 상관성을 분석하였다. 우선 19개의 항목을 통하여 94개의 세부변수들을 상관분석한 후, 유의확률이

〈표 4〉 상관분석 결과

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	X_1	X_2	X_3	X_4
Y_1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_2	0.17	1	-	-	-	-	-	-	-
Y_3	-0.02	0.07	1	-	-	-	-	-	-
Y_4	0.25	0.35	0.31	1	-	-	-	-	-
Y_5	0.3	0.46	0.17	0.56	1	-	-	-	-
X_1	0.24	0.57	0.35	0.54	0.44	1	-	-	-
X_2	-0.06	-0.17	-0.08	-0.30	-0.27	-0.12	1	-	-
X_3	0.21	0.38	0.31	0.53	0.27	0.57	-0.07	1	-
X_4	0.31	0.29	0.16	0.44	0.33	0.52	-0.13	0.48	1
X_5	0.24	0.21	-0.03	0.32	0.29	0.11	-0.04	0.16	0.30
X_6	-0.06	0.21	0.04	0.16	0.13	0.09	-0.14	0.18	0.10
X_7	0.01	0.4	0.21	0.39	0.28	0.47	-0.05	0.39	0.45
X_8	0.1	0.15	0.21	0.12	0.07	0.12	0.02	0.36	0.17
X_9	0.17	0.16	-0.11	0.05	0.13	0.03	-0.14	0.03	0.13
X_{10}	0.07	0.48	0.24	0.47	0.32	0.63	-0.19	0.49	0.43
X_{11}	0.16	0.24	0.02	0.22	0.25	0.31	0.01	0.41	0.28
X_{12}	-0.09	0.28	0.18	0.27	0.22	0.41	-0.04	0.32	0.42
X_{13}	0.17	0.24	0.16	0.27	0.09	0.38	-0.1	0.35	0.40

〈표 계속〉

	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
Y_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_5	1	-	-	-	-	-	-	-	-
X_6	0.10	1	-	-	-	-	-	-	-
X_7	0.19	0.21	1	-	-	-	-	-	-
X_8	0.27	-0.02	0.01	1	-	-	-	-	-
X_9	-0.08	-0.02	0.08	-0.01	1	-	-	-	-
X_{10}	0.14	0.18	0.72	0.18	0.11	1	-	-	-
X_{11}	0.48	0.06	0.19	0.29	-0.09	0.25	1	-	-
X_{12}	0.05	0.21	0.86	-0.11	0.01	0.58	0.13	1	-
X_{13}	0.05	0.08	0.27	0.30	0.11	0.34	0.13	0.32	1

주 : pearson 상관계수

주 : 1차 상관분석 후 유의확률이 높은 변수들을 선정하여 재정리

0.05이하로 유의한 것으로 나타난 13개의 독립변수를 바탕으로 정리하였다. 분석 결과는 〈표 4〉와 같다.

2) 다중공선성(multicollinearity) 분석

설명변수들이 높은 상관관계가 존재하는 경우, 최소 제곱추정량의 계산이 불가능할 수 있고, 추정량의 분산이 커지는 문제가 발생하게 되어, 이 때 설명변수들간에 다중 공선성이 존재한다.4)

이에 본 연구는 관찰된 설명변수간의 상관관계를 분석하였다. 이 때 설명변수들간의 상관관계가 비정상적으로 높다면, 다중공선성의 존재를 의심해 볼 필요가 있다.

〈표 5〉 독립변수의 다중공선성

독립변수	다중공선성 변수	상관계수/유의확률
ln일평균교통량 (X_1)	횡단거리합(X_3)	0.569/0.000
	좌회전전용차로(X_1)	0.515/0.000
	차로수평균(X_{10})	0.630/0.000
	신호현시수(X_{13})	0.378/0.001
이중정지선합(X_7)	U턴 유무(X_{12})	0.858/0.000
우회전 전용차로합(X_5)	교통섬 유무(X_{11})	0.475/0.001

〈표 5〉의 결과를 보면, 일평균교통량은 횡단거리합과 좌회전전용차로, 차로수평균, 신호현시수가 비정상적으로 높았고, 이중정지선 합은 U턴 유무, 우회전전용차로는 교통섬의 유무와 상관관계가 높게 나타났다. 즉 본 자료의 설명변수들간에는 부분적으로 강한 상관관계가 존재하며, 이 결과는 다중공선성의 존재를 의심해 볼 필요가 있음을 알려준다. 다중공선성이 존재한다고 판단되는 변수의 경우 모형적용시에 제거되었다.

2. 과산포 검정5)

국내에서는 가산자료모형을 이용한 연구가 많지 않은 실정이며, 모형 설정시 적절한 검정없이 일반적으로 포아송 회귀모형을 주로 사용하여 왔다.

포아송모형의 가장 큰 특징은 분포의 기대치와 분산이 같아야 된다는 것이다. 그러나 대부분의 가산자료는 분포의 분산이 기대치보다 크거나 작아 포아송 모형의 적용에 어려움이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 과산포를 고려할수 있는 음이항모형을 과산포검정을 통해 선정하였다.

$$H_0 : VAR\{y_i\} = E\{y_i\} \tag{1}$$

$$H_1 : VAR\{y_i\} = E\{y_i\} + \alpha g(E\{y_i\})$$

대립가설에서 양측을 $E\{y_i\}$ 로 나누면 양쪽모두 과산포율을 나타내며, 만약 값이 0이면 포아송모형이 적합하며, 양수이면 음이항모형이 적합하다. 가설검정은 LIMDEP을 활용하여 포아송모형의 결과로 산정된 $E\{y_i\}$ 를 이용하여 Z_i 를 종속변수로 W_i 를 독립변수로하여 회귀분석을 실시하였고6), 식은 다음과 같다.

$$Z_i = \frac{(y_i - E(y_i))^2 - y_i}{E(y_i) \sqrt{2}} \tag{2}$$

$$W_i = \frac{g(E(y_i))}{\sqrt{2}} \tag{3}$$

차량 방향전환에 따른 사고심각도(EPDO)에 대한

4) 강명욱·김영일·안철환·이용구(1996), 회귀분석 모형개발과 진단, 서울, 울곡출판사

5) Simon P. Washington, Matthew G. Karlaftis, Fred L. Mannering, Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, Washington, HALL/CRC

6) 장태연(2003), "과산포 검정을 통한 택시교통사고 모형설정", 대한토목학회, 제23권 제1D호, 27-34.

$E[y_i]$ 와 $E[y_i]^2$ 의 값은 <표 6>에 나타나듯이 평균과 분산이 같다는 귀무가설이 기각된다. 값 모두 양의 α 값을 가지고 있어, 음이항 모형이 본 연구의 사고심각도를 적절히 반영하고 있음을 보여준다.

<표 6> EPDO 과산포검정

구분		α	t값	유의수준
정면충돌EPDO (Y_1)	$E[y_i]$	2.46112	3.11145	0.0022
	$E[y_i]^2$	0.23644	1.33292	0.0184
후미추돌EPDO (Y_2)	$E[y_i]$	5.699827	10.94821	0.0000
	$E[y_i]^2$	0.23901	9.24257	0.0000
측면직각EPDO (Y_3)	$E[y_i]$	5.648701	7.49443	0.0000
	$E[y_i]^2$	0.81577	7.85132	0.0000
접촉사고EPDO (Y_4)	$E[y_i]$	3.12662	7.66359	0.0000
	$E[y_i]^2$	0.14868	5.08050	0.0000
차로변경접촉EPDO (Y_5)	$E[y_i]$	7.53029	3.88427	0.0001
	$E[y_i]^2$	1.28501	3.06796	0.0025

3. 음이항 회귀모형 개발

음이항 회귀분석 방법을 이용하여 교차로에서 발생한 차량방향 전환별 사고에 대한 음이항회귀모형을 도출한다. 모형개발은 상용 프로그램인 LIMDEP V8.0/W를 이용하고, 모형의 종속변수는 정면충돌, 후미추돌, 측면직각, 접촉사고 및 차로변경접촉 EPDO를 사용하고 독립변수는 교통량과 도로환경요인을 중심으로 한다. 음이항 회귀모형식 결과는 <표 7>~<표 12>와 같다.

<표 7> 음이항 회귀모형식

모형	모형식
1	$Y_1 = \exp(-3.3010 + 1.6232x_1)$
2	$Y_2 = \exp(-0.5914 + 1.6449x_1 + 0.7069x_8)$
3	$Y_3 = \exp(-0.2832 + 1.0437x_1 - 0.2471x_5 + 0.2648x_8)$
4	$Y_4 = \exp(5.4370 + 0.8677x_1 - 2.3134x_2 + 1.8066x_9)$
5	$Y_5 = \exp(-0.1522 + 1.8462x_1)$

<표 8> 정면충돌 EPDO 음이항 회귀모형 변수의 통계적 특성

정면충돌EPDO (Y_1)				
기호	변수	Coeff.	t-statistic	P-value
-	상수	-3.3010	-3.8462	0.000
X_1	교통량(ADT)	1.6232	3.5776	0.000
-	α (과분산 파라메타)	2.35112	2.80145	0.003
통계값	Number of observations		143	
	Chi squared		165.6144	
	ρ^2		0.2338	

<표 9> 후미추돌 EPDO 음이항 회귀모형 변수의 통계적 특성

후미추돌EPDO (Y_2)				
기호	변수	Coeff.	t-statistic	P-value
-	상수	-0.6724	-2.5742	0.010
X_1	교통량(ADT)	1.6239	6.2420	0.000
X_8	황색신호평균	0.7169	2.2402	0.034
-	α (과분산 파라메타)	5.3988	9.6072	0.000
통계값	Number of observations		143	
	Chi squared		192.2246	
	ρ^2		0.2012	

<표 10> 측면직각 EPDO 음이항 회귀모형 변수의 통계적 특성

측면직각EPDO (Y_3)				
기호	변수	Coeff.	t-statistic	P-value
-	상수	-0.2832	-0.5930	0.492
X_1	교통량(ADT)	1.0437	4.1914	0.000
X_8	우회전전용차로합	-0.2471	-1.9559	0.050
X_9	황색신호평균	0.2648	2.0855	0.049
-	α (과분산 파라메타)	6.6282	7.1018	0.000
통계값	Number of observations		143	
	Chi squared		222.7106	
	ρ^2		0.2186	

<표 11> 접촉사고 EPDO 음이항 회귀모형 변수의 통계적 특성

접촉사고EPDO (Y_4)				
기호	변수	Coeff.	t-statistic	P-value
-	상수	5.4370	4.3471	0.000
X_1	교통량(ADT)	0.8677	4.6882	0.000
X_2	주도로차로폭평균	-2.3134	-4.2402	0.000
X_9	중차량비	1.8066	2.9660	0.002
-	α (과분산 파라메타)	3.22762	7.56349	0.000
통계값	Number of observations		143	
	Chi squared		128.6299	
	ρ^2		0.1322	

<표 12> 차로변경접촉 EPDO 음이항 회귀모형 변수의 통계적 특성

차로변경접촉EPDO (Y_5)				
기호	변수	Coeff.	t-statistic	P-value
-	상수	-0.1522	-0.2472	0.014
X_1	교통량(ADT)	1.8462	3.3674	0.000
-	α	7.1893	3.5892	0.000
통계값	Number of observations		143	
	Chi squared		454.8432	
	ρ^2		0.3892	

4. 모형의 검증

모형개발시 추정모형의 적합성 검증이 필요하다. 이 연구에서는 청주시 143개의 신호교차로 중 임의적으로 71개 지점을 선정한 모형의 파라미터 추정용 데이터와 나머지 72개 지점을 도출모형의 적합성 검증용 데이터로 분리하여 관측치와 예측치의 평균제곱근오차(RMSE)⁷⁾검정을 실시하였다.

검정결과는 <표 13>과 같이, 모형 4의 적합성은 다소 떨어지며, 나머지 모형들은 매우 적합한 것으로 검증되었다.

<표 13> 음이항 회귀모형식 RMSE 결과

모형	표준편차	평균 표준오차	RMSE
1	2.24402	0.36042	2.5642
2	1.56401	0.18563	1.5712
3	2.65931	0.31255	2.7355
4	7.09145	0.85930	7.5292
5	1.38164	0.16686	1.4542

5. 결과 분석

음이항회귀분석을 이용하여 개발된 사고모형과 설명 변수들의 통계적 특성은 <표 8>~<표 12>와 같다. 모든 변수들의 P-value는 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$) 기준에 유의한 것으로 분석된다.

사고유형별 사고심각도에 공통으로 영향을 미치는 변수는 일평균 교통량으로 나타난다. 교통량(X_1)의 경우 회귀계수는 모든 종속변수에 양(+)의 계수값을 가지고 있으며, 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$) 이내에서 유의하다는 것을 알 수 있다. 교통량이 증가하게 되면 차량간의 상충이 발생하게 되고, 운전자의 감정을 자극하여 공격적인 감정표출로 연결되어 사고심각도에 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

각 종속변수 별로 특징을 살펴보면, 정면충돌 EPDO(Y_1)의 경우 교통량(X_1) 외에 사고심각도에 영향을 끼치는 요인이 발견되지 않았다. 모형의 적합도를 나타내는 ρ^2 값은 0.232로 전반적으로 적합한 모형으로 판단된다.

후미추돌 EPDO(Y_2)는 교통량 외에 황색신호평균

(X_8)이 영향을 미치는 변수로 분석된다. 황색신호평균은 회귀계수의 값이 양의 값을 나타내고 있어 황색신호시간이 길 경우에 후미추돌 EPDO가 증가하는 것으로 분석된다. 황색신호시간이 길수록 이동중인 차량이 정지선에서 멈추지 않고 교차로를 통과하려는 특성에 의해 앞차와의 후미추돌발생 확률이 높은 것으로 판단된다. 모형의 적합도를 나타내는 ρ^2 값은 0.201이다.

측면직각 EPDO(Y_3)는 우회전전용차로합(X_6), 황색신호평균(X_8)이 영향을 미치고 있다. 특히 황색신호평균(X_8)의 계수값은 양의 계수값인 0.2648로 가장 높게 나타나 황색신호시간이 길수록 측면직각 사고의 심각도에 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 우회전전용차로의 경우 양의 계수값을 나타내고 있어 우회전전용차로합이 적을수록 측면직각 사고심각도를 높이는 것으로 분석됐다. 황색신호시간이 길수록 교차로 접근차량이 정지선에서 멈추지 않고 교차로를 더욱 빨리 통과하려는 인적특성에 의해 교차로 통과중 측면의 차량과의 사고발생이 일어나는 것으로 판단된다. 우회전전용차로의 경우 기하구조상 측면직각사고가 발생할 경우가 거의 없기 때문에 우회전전용차로합이 적을수록 사고심각도는 높아지는 것으로 판단된다. 우회전전용차로합은 5개의 종속변수 중 측면직각시에만 영향을 끼치는 특정변수⁸⁾로 나타났다. 모형의 ρ^2 값은 0.218로 적합한 모형으로 판단된다.

접촉 EPDO(Y_4)의 경우 주도로차로폭 평균(X_2)은 회귀계수값이 -2.3134로 주도로의 차로폭이 좁을수록 접촉EPDO에 영향을 주었고 중차량비(X_9)는 양의 계수값인 1.8066으로 중차량비가 클수록 사고심각도에 영향을 끼치는 것으로 분석된다. 주도로차로폭은 좁은 도로 폭으로 인해 타 차량의 차량과의 접촉사고가 발생할 위험이 매우 크며, 노견의 보행자 및 고정물체와의 이격거리가 작기 때문에 사고발생의 확률이 높아지기 때문으로 판단된다. 또한 중차량 비율이 증가함에 따라 교통사고 발생시 일반 승용차에 비해 중차량의 교통사고로 인해 인명피해가 심각하게 나타나는 것을 의미하며 특히 충분한 차로폭이 확보되지 않은 곳에서 차량폭이 넓은 중차량이 옆차선의 차량과의 접촉위험이 높기 때문에 접촉사고EPDO에 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 사고모형의 적합도를 나타내는 ρ^2 값은 0.132로 전반적으로 적합도

7) RMSE(Root Mean Square Error)수직 평균제곱근 오차: 예측값과 관측값의 차이를 제곱하여 평균을 취한 값 $= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{Y}_i - Y_i)^2}$

8) 특정변수는 사고유형 중 한가지에만 영향을 끼치는 변수를 의미한다. 예를들어 측면직각 모형에서는 우회전전용차로합과 황색신호평균이 유의한 변수이지만 황색신호평균의 경우 후미추돌 모형에 포함되어 특정변수와 할 수 없으며, 후미추돌 모형의 황색신호평균 역시 특정변수가 될 수 없다.

〈표 14〉 음이항 회귀모형 공통변수와 특정변수

종속변수	공통변수	특정변수
정면충돌EPDO	일평균 교통량 (ADT)	-
후미추돌EPDO		-
측면직각EPDO		우회전전용차로(-)
접촉사고EPDO		주도로차로폭평균(-)중차 량비(+)
차로변경접촉EPDO		-

가 낮은 것으로 분석된다.

차로변경접촉EPDO(Y_5)는 정면충돌 EPDO(Y_1)와 마찬가지로 일평균교통량 외에 사고심각도에 영향을 끼치는 요인이 발견되지 않았다.

〈표 14〉는 개발된 5개의 모형에 대한 독립변수를 사고유형별 공통변수와 특정변수로 구분한 것이며, 공통변수와 특정변수를 활용하여 사고유형별 사고모형의 차이가 비교·분석되었다.

모형개발에 의해 교통사고에 영향을 미치는 변수는 교통량, 주도로차로폭, 우회전전용차로, 중차량비 등인 것으로 나타났다. 따라서 공통적으로 영향을 끼치는 일평균 교통량은 교통수요관리(TDM)⁹⁾를 통해 교통량을 감소시키는 정책의 변화가 필요하고, 접촉사고의 방지를 위해 차량주행에 충분한 차로폭이 확보되어야 할 것으로 판단된다. 측면직각 사고심각도가 높은 곳에 우회전전용차로를 넓히고 서행유도와 과속방지턱 설치 등이 이뤄져야 한다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 청주시 4지 신호교차로의 사고유형에 따른 교통사고모형을 개발하기 위해 143개 신호 교차로에 대한 현장조사를 통하여 구축된 자료와 각 지점별 교통사고 자료를 이용하고, 가산자료모형 선정을 위해 과산포 검정을 실시한 결과 음이항 회귀모형 방법론이 선정되었다.

분석된 주요결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 과산포 검정을 실시한 결과, 음이항 회귀모형이 교통사고 분석에 적절한 모형으로 선정되었다. 둘째, 사고유형별로 통계적으로 의미있는 5개의 음이항 모형이 개발되었다. 셋째, 사고 유형별 심각도 모형의 공통변수는 교통량, 그리고 특정변수는 정면충돌의 경우 이중정지선합, 추돌의 경우 중단경사합, 측면직각시에 우회전전용차로합, 접

촉사고의 경우 주도로차로폭평균으로 분석되었다.

본 연구에서 제시된 사고유형별 교통사고모형의 단점을 보완하기 위해 향후 연구·보완되어야 할 몇 가지 사항을 정리하면, 다음과 같다.

첫째, 차대차 사고유형별 사고심각도 모형을 구축하였으나, 자료의 부족과 사고건수의 차이로 차대사람과 차량단독 사고유형을 포함시키지 못했다. 향후 더욱 설명력 있는 연구를 위해서는 차대차 사고 뿐 아니라 보행자사고, 전복, 추락 등을 포함한 다양한 사고유형에 따른 사고모형이 개발되어야 한다. 둘째, 이 논문은 사고유형별 사고심각도 분석을 목적으로 하고 있다. 하지만 현재까지는 발생하지 않았으나 사고의 높은 잠재성을 갖는 지점에 대해서 고찰하는데 한계가 있다. 더욱 다양한 종속변수로 심층적인 연구가 필요하다.

마지막으로 신호연동을 반영할 수 있는 변수를 추가하여 인접교차로와의 연동관계와 운전자 심리를 파악하고 나아가 사고발생에 미치는 관계를 규명해야 하며, 사고유형별로 특징을 나타낼 수 있는 더욱 다양한 기하구조 요소에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 강명옥·김영일·안철환·이용구(1996), 회귀분석 모형개발과 진단, 서울, 울곡출판사.
2. 박병호·유두선·양정모·이영민(2008), "지방부 신호교차로 사고특성분석 및 모형개발(청주·청원을 중심으로)", 대한교통학회지, 제26권 제2호, 대한교통학회, pp.35~46.
3. 성낙문·오주택·오재학(2005), "교차로 안전도 평가에 관한 연구", 대한토목학회지, 25(1D), 대한토목학회, pp.1~8.
4. 심관보(1998), "교통사고 위험그룹 및 사고유형별 심각도 분석에 관한 연구", 교통안전연구논집, 15, 도로교통안전협회, pp.33~24.
5. 장태연(2003), "과산포 검정을 통한 택시교통사고 모형설정", 대한토목학회지, 23(1D), 대한토목학회, pp.27~34.
6. 최백균(2005), "도로기하구조 설계요소가 교통사고에 미치는 영향에 관한 연구" 한양대학교 석사학위 논문.
7. 하오근(2005), "국도변 신호교차로 안전성 향상을 위

9) 교통수요관리(TDM: Transport Demand Management)란 사람의 동행 행태에 미치는 요소에 변화를 주어 통행수단의 선택과정에 영향을 줌으로써 교통혼잡을 해소시키는 광범위한 정책들이다.

- 한 사고예측모형 개발과 심각도 분석”, 한양대학교 석사학위 논문.
8. 홍정열(2002), “신호교차로에서의 교통사고 예측모형 개발 및 위험수준결정 연구”, 한양대학교 석사학위 논문.
 9. 하태준·박제진·이형무(2003), “신호교차로 횡단보도 설치기준에 관한 연구” 대한교통학회지, 제21권 제3호, 대한교통학회, pp.47~56.
 10. FHWA(2004), “Signalized Intersections : Informational Guide”.
 11. Jose´M. Pardillo Mayora, Rafael Bojorquez, Alberto Camarero Orive(2006), “Refinement of Accident Prediction Models for the Spanish National Network” (TRB) Transportation Research Board 85th Annual Meeting, January 2006.
 12. Kara, M. K.(2001), “Driver Injury Severity: An Application of Ordered Probit Models”, Accident Analysis & Prevention, Vol.28, pp.313~321.
 13. Simon P. Washington, Matthew G. Karlaftis, Fred L. Mannering, Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, Washington, HALL/CRC.

✉ 주 작성자 : 박병호

✉ 교신저자 : 박병호

✉ 논문투고일 : 2008. 1. 17

✉ 논문심사일 : 2008. 4. 16 (1차)

2008. 7. 30 (2차)

2008. 9. 23 (3차)

2008. 9. 30 (4차)

✉ 심사판정일 : 2008. 9. 30

✉ 반론접수기한 : 2009. 2. 28

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필