

# 주·야간 교통사고의 특성 및 사고모형 비교분석

– 청주시 4지 신호교차로를 중심으로 –

Comparative Analysis on the Characteristics and Models of Traffic Accidents by Day and Nighttime in the Case of Cheongju 4-legged Signalized Intersections

유두선\* · 오상진\*\* · 김태영\*\*\* · 박병호\*\*\*\*

Yoo, Doo Seon · Oh, Sang Jin · Kim, Tae Young · Park, Byung Ho

## Abstract

The purpose of this study is to comparatively analyze the characteristics and models of traffic accidents by day and nighttime. In pursuing the above, this study gives particular attentions to testing the differences and developing the models (multiple linear and non-linear and Poisson and negative binomial regression) using the data of Cheongju 4-legged signalized intersections. The main results analyzed are as follows. First, the differences between day and nighttime accidents were defined. Second, 12 accident models which are all statistically significant were developed. Finally, the differences between day and nighttime models were comparatively analyzed using the common and specific variables.

**Keywords :** *accident model, characteristic analysis, correlation analysis, multiple regression model, poisson and negative binomial regression model*

## 요 지

본 연구는 주간과 야간의 교통사고 특성과 사고모형을 비교·분석하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 본 연구에서는 청주시 4지 신호교차로를 중심으로 주·야간 교통사고의 차이를 검증하고, 주야간별 다중선형, 다중비선형 과 포아송 및 음이항회귀모형을 개발하는데 중점을 두고 있다. 분석된 주요 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 사고특성 분석을 통해 주간과 야간 사고의 차이점이 파악되었다. 둘째, 통계적으로 설명력이 높은 주·야간 총 12개의 사고모형이 개발되었다. 마지막으로 공통변수와 특정변수를 활용하여 주야간 사고모형의 차이가 비교·분석되었다.

**핵심용어 :** 사고모형, 특성분석, 상관분석, 다중회귀모형, 포아송 및 음이항회귀모형

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경 및 목적

2004년도 청주시의 총 교통사고 발생건수는 3,115건이며, 그 중 교차로 사고는 1,596건으로 전체사고의 약 51.2%를 차지한다. 또한 교차로 사고 중 신호교차로에서의 발생비율은 전체의 92.6%이며, 그 중 4지 신호교차로에서 발생한 사고는 1,183건으로 청주시 전체 교통사고의 약 40%가 4지 신호교차로에서 발생한 것으로 나타났다.

청주시 4지 신호교차로의 주·야간 사고발생 비율을 살펴보면, 주간 사고건수가 560건으로 47.3%이며, 야간 사고건수는 623건으로 52.7%이다. 이렇게 비율로만 보면, 주간과 야간사고의 사고건수가 특별한 차이가 없는 것으로 판단될

수 있지만, 일일 교통량 중 주간의 교통량 비율이 야간의 교통량보다 월등히 높은 것을 감안하면 야간의 사고비율이 상당히 높다는 것을 알 수 있다.

또한 사고의 피해정도는 주간사고의 경우, 사망과 부상을 포함하는 심각사고가 73.93%, 물피사고가 26.07%이며, 야간사고의 경우는 심각사고가 76.49%, 물피사고가 23.51%로 야간사고의 심각도가 높다. 따라서 교통량을 감안한 사고율과 심각사고의 비율로 봤을 때, 야간의 사고 발생비율이 높고, 사고 심각도 또한 크다고 할 수 있다.

이와 같이 야간사고의 비율이 높은 것은 어둠으로 인해 시거의 확보가 주간보다 용이하지 않기 때문으로, 운전자나 보행자가 도로의 기하구조 및 운영시설, 노면표시 등을 야간에 직시하기 어려울 뿐만 아니라 심리적 요인이 추가되어

\*정회원 · 교신저자 · 충북대학교 도시공학과 석사과정 (E-mail : ydbetter@nate.com)

\*\*충북대학교 도시공학과 박사수료 (E-mail : ohsang@cb21.net)

\*\*\*충북대학교 도시공학과 박사과정 (E-mail : sunmoonwind@nate.com)

\*\*\*\*정회원 · 충북대학교 도시공학과 교수 (E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr)

사고발생 빈도가 높게 나타나는 것으로 판단된다.

본 연구는 야간사고의 심각성을 인식하고 ‘야간사고와 주간사고간에는 어떠한 차이점이 있는가?’라는 질문에 중점을 두고 사고원인을 파악하는데 그 목적을 두고 있다. 따라서 주간과 야간사고의 특성에 따른 사고모형을 개발하고 사고에 영향을 미치는 특정요인의 차이점을 분석하여, 주간과 야간의 교통상황에서 어떠한 요인이 사고에 영향을 미치는지를 비교·분석한다.

### 1.2 연구의 내용 및 방법

주간과 야간사고의 특성 및 모형 비교분석을 위해 청주시 4지 신호교차로 중 1건 이상의 사고가 발생한 교차로 143개소를 연구대상으로 한다. 사고자료는 충북지방경찰청의 2004년도 사고관리시스템 자료와, 도로교통안전관리공단의 사고충돌도 자료를 활용하며, 공단에서 자체 조사한 「2004년 청주시 전자교통신호체계 운영 및 교통량자료」를 이용하여 신호운영 및 교통조건을 파악한다. 또한 교차로 교통사고발생에 영향을 미칠 것으로 판단되는 도로 기하구조 변수들을 현장조사를 통해 수집한다.

연구의 방법은 다음과 같다. 첫째, 국·내외 기존 연구된 문헌고찰을 통해 전반적인 사고모형의 기법 및 연구의 흐름을 파악한다. 둘째, 자료를 수집하고 이를 재정리한 후, 상관분석을 통해 종속변수와 독립변수를 선정한다. 셋째, 선정된 종속변수와 독립변수를 통계프로그램 SPSS 12.0과 LIMDEP 8.0을 이용하여 다중선형, 다중비선형, 포아송 및 음이항회귀의 사고모형을 개발한다. 마지막으로 주간과 야간의 사고모형을 비교하여 주·야간의 특성 및 차이점을 분석한다.

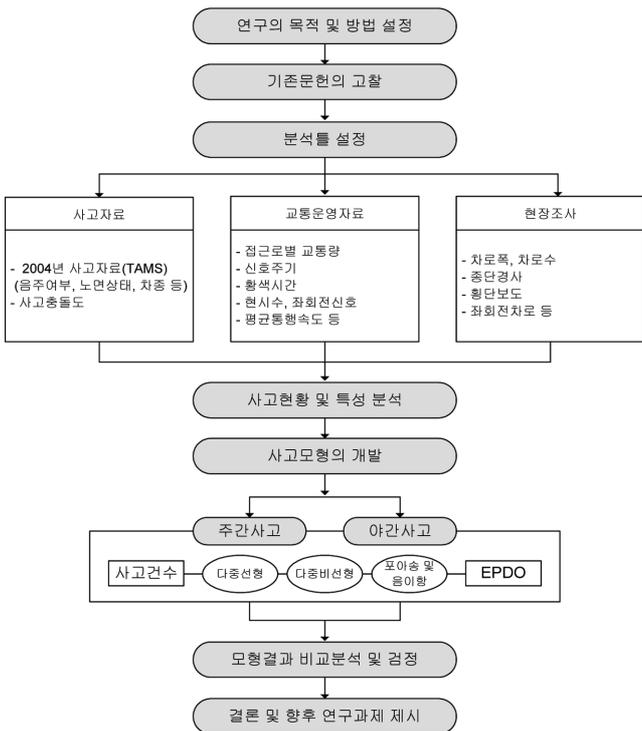


그림 1. 연구수행절차

## 2. 기존문헌고찰

### 2.1 국내·외 연구동향

#### 2.1.1 국내연구

남국헌(2001)은 단기 교통사고와 기존의 교차로나 신설된 신호교차로 교통사고를 예측하여 안전한 신호 교차로를 만들기 위한 목적으로, 1996년부터 1998년까지 3년간의 광주광역시 69개 교차로의 교통사고 조사자료를 이용하여 다중회귀분석을 통해 교차로 사고모형을 개발하였다.

강민욱 등(2002)은 한국도로공사의 호남고속도로 1996년부터 2000년까지 5년간의 교통사고자료 및 기하구조 자료를 토대로 도로의 평면선형, 종단선형 등 여러 기하구조요소와 교통사고와 어떤 연관성이 있는지를 파악하였다. 이를 위해 여러 가지 구간분할법을 적용하여 다중선형회귀식을 통한 사고모형을 도출하였으며, 이들 모형들 간의 통계학적 검증을 통해 기하구조와 교통사고와의 연관성을 가장 잘 반영할 수 있는 최적의 모형을 도출하였다.

홍정렬(2002)은 원주시의 2001년 64개 신호교차로의 기하구조 도면과 현장조사를 통하여 얻어진 자료를 이용해 각 조사대상 변수들이 사고에 얼마나 영향을 주는지를 분석하였으며, 교차로 사고에 영향을 주는 요소들을 선택하여 비선형회귀모형을 사용해 사고모형을 개발하고 그에 따른 교차로 위험수준을 결정하였다.

이수범 등(2003)은 지방지역의 도로특성 및 사고특성 조사를 통해 도로유형별로 물리적인 특성을 반영하여 보다 체계적인 도로등급과 그 특성에 따른 사고모형을 개발하기 위해 분석구간을 세 가지 유형으로 선정하였다. 자료는 전북지역 2001년과 2002년, 2년간의 지방지역별 사고자료를 수집하여 다중회귀분석을 통해 사고모형식을 도출하였으며, 모형을 실제자료로써 검증하였다.

오주택 등(2005)은 충청남·북도의 교차로 중 사고가 많은 3지, 4지 신호교차로에 대해 계층적 샘플링방법을 통해 77개의 조사지점을 선정하였다. 또한 교차로 교통사고에 영향을 미치는 24개 항목을 정하고 이를 다시 50개의 변수로 재분류하였으며, 포아송회귀모형을 이용하여 사고모형을 개발하였다.

#### 2.1.2 국외연구

Mohamed Abdel-Aty(2004)는 플로리다의 3개 카운티의 476개 신호교차로를 대상으로 1999년에서 2000년 까지 2년간의 사고자료를 통해 가로축 상의 신호교차로 사이에 특정 효과를 제3유형의 분석을 실시하여 변수의 상관효과를 분석하였다. 나아가 신호교차로에서 사고율에 중대한 영향을 미치는 변수가 확인가능하며 통계적으로 유효한 모형을 일반 추정방정식 음이항모형을 이용하여 개발하였다.

Hoong Chor Chin(2003)은 기존의 과분산된 교통사고건수를 사용하는데 있어 포아송과 비선형회귀분석의 한계를 설명하고, 과분산할 경우 용이한 음이항회귀모형을 사용하여 사고모형을 개발하였다. 이 과정에서 싱가포르 신호교차로의 교통과 제어특성들, 그리고 교통사고발생과 기하구조 사이의 관계를 조사하여 적용하였다.

Xuedong Yan 등(2005)은 운전자의 특성, 도로환경 및 차

량유형으로 구분된 일련의 잠재적인 사고요인과 후미추돌사고와의 관계를 설명하기 위해 Quasi-induced exposure technique와 다중로지스틱회귀모형을 사용하였고, p-value (0.01)와  $\chi^2$ 을 이용하여 모형을 검증하였다.

### 2.2 기존연구와의 차별성

사고모형의 초기연구들은 도로의 유형별, 대상지역별로 교통사고와 관련요소간의 관계를 파악하여 모형을 개발하는 방식이었다. 그러나 최근 사고모형 연구들은 기존의 큰 틀에서 벗어나 교통사고 자료의 특성을 적절히 감안할 수 있는 다양한 통계적 분석방법과 모형들로서 사고모형의 정확성을 높이고 있으며, 다양한 주제와의 접목으로 연구의 범위를 넓혀가고 있다.

하지만, 이들 연구 중에서 주간과 야간의 사고발생빈도와 심각도가 차이 남에도 불구하고 이의를 제기하거나 원인을 분석한 연구는 없었다. 따라서 본 연구는 청주시 4지 신호교차로를 대상으로 하여 사고자료를 주·야간으로 구분하고 사고모형을 개발함으로써 사고의 특성에 따른 관련요인의 차이점 분석과 동시에 사고원인을 살펴본다는데 기존연구와의 차별성이 있다고 할 수 있다.

## 3. 사고현황 및 특성 분석

### 3.1 사고현황 분석

사고자료를 주간과 야간으로 구분하기 위해 본 연구에서는 한국천문연구원 일월출몰 시각안내 자료의 청주시 2004년 월별 일출·몰 평균시간을 이용하였다. 표 1에 나타나듯이 하절기는 주간의 점유시간이 높고, 동절기는 야간의 점유시간이 높다.

표 1. 청주시 2004년 월별 일출·몰 시간

	1월	2월	3월	4월	5월	6월
	일출	07:40	07:19	06:40	05:56	05:22
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
	05:24	05:48	06:13	06:38	07:08	07:35
일몰	1월	2월	3월	4월	5월	6월
	17:38	18:09	18:38	19:05	19:31	19:50
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
	19:47	19:19	18:37	17:53	17:22	17:17

2004년도 청주시 4지 신호교차로 사고는 총 1,183건이며, 이 중 주간 사고건수는 560건으로 47.3%이며, 야간 사고건수는 623건으로 52.7%로 전체사고 중 야간사고가 차지하는 비율이 높았다. 또한 분석대상 143개 교차로 중 야간사고의 비율이 높은 교차로는 66개소로 야간사고가 일부교차로에 편중되는 것을 알 수 있었다.

교통량을 감안한 교차로별 사고율(백만 진입차량 당)<sup>1)</sup>로 변환하여 분석한 결과, 주간사고율 평균이 0.314, 야간사고

표 2. 주·야간 MEV 대응표본 t-검정 결과

구분		N	평균	표준편차	평균 표준오차	
사고건수	주간	143	3.916	3.481	0.291	
	야간	143	4.342	3.650	0.305	
사고율	주간	143	0.314	0.207	0.017	
	야간	143	0.804	0.489	0.040	
구분	대응차				t	유의 확률 (양쪽)
	평균	표준 편차	평균 표준 오차	차이의 95% 신뢰구간 하한 상한		
사고율	-490	.471	.039	-5.68 -4.12	-12.4	.000
사고건수	-427	2.66	.222	-8.65 -0.12	-1.92	.057

율 평균이 0.804로 야간사고율이 약 2.56배 높았다.

주·야간 사고의 차이유무를 살펴보기 위해 대응표본 t-검정을 실시한 결과, 사고건수의 경우엔 t값이 -1.92, 유의 확률이 0.057로 나타나 94%의 신뢰수준이며, 귀무가설( $H_0 : d_0 = 0$ )이 기각되어 차이가 있는 것으로 분석되었다. 또한 사고율은 t값이 -12.4, 유의확률이 0.000으로 나타나 귀무가설이 기각되어, 주·야간에 차이가 분명히 있는 것으로 분석되었다<sup>2)</sup>.

### 3.2 사고특성 분석

주·야간 사고건수와 사고율의 차이는 교통사고 발생에 영향을 미치는 요소가 서로 다르며, 주간과 야간의 사고는 서로 다른 특성을 지니고 있기 때문이라 판단된다.

그림 2에 나타나듯이 교통사고는 19시에서 23시에 가장 많이 발생하며, 침두시간 보다도 13시에서 15시 사이의 오후시간대에 비교적 많이 발생하고 있다.

월별 주·야간 사고분포를 보면 4월에서 9월까지는 대체로 주간사고가 많고, 10월부터 3월까지는 야간사고가 많다. 이는 일출·몰 시간과 관계가 있겠지만, 이를 감안한다 하더라도 하절기인 6월, 동절기인 11월과 12월의 그래프를 봤을 때, 계절에 따라 주·야간 사고발생의 차이가 있음을 알 수 있다.

이는 계절별 기후에 영향을 받은 것으로 6월은 장마, 11월과 12월은 일교차로 인한 노면결빙이 주원인인 것으로 판단된다.

사고위치에 따른 주·야간 사고건수를 보면, 교차로의 유입부, 유출부 및 교차로 내에서는 주간사고보다 야간사고가 많이 발생한 반면, 횡단보도에서는 주간사고가 더 많다. 횡단보도에서 야간에 사고가 적은 것은 횡단보행 통행량이 주간에 비해 현저하게 적기 때문인 것으로 판단된다. 또한 사고유형별 주·야간 사고건수에서도 횡단보행 통행량과 주·야간 사고와의 관계를 살펴볼 수 있다. 차대사람 유형의 경우, 정면충돌이나, 후미추돌 등 다른 유형과는 달리 주간의 사고건수가 높게 나타났다. 이밖에 나란히접촉과 차로변경접촉은 신호기의 통제에 직접적으로 영향을 받지 않고 도로의

1) 사고율(백만진입차량당) =  $\frac{\text{교통사고발생건수} \times 10^6}{\text{AADT} \times \text{연수} \times 365}$

2) 강승림(2002), "고속도로 선형조건과 GIS 기반 교통사고 위험도지수 분석", pp. 125~126 참고.

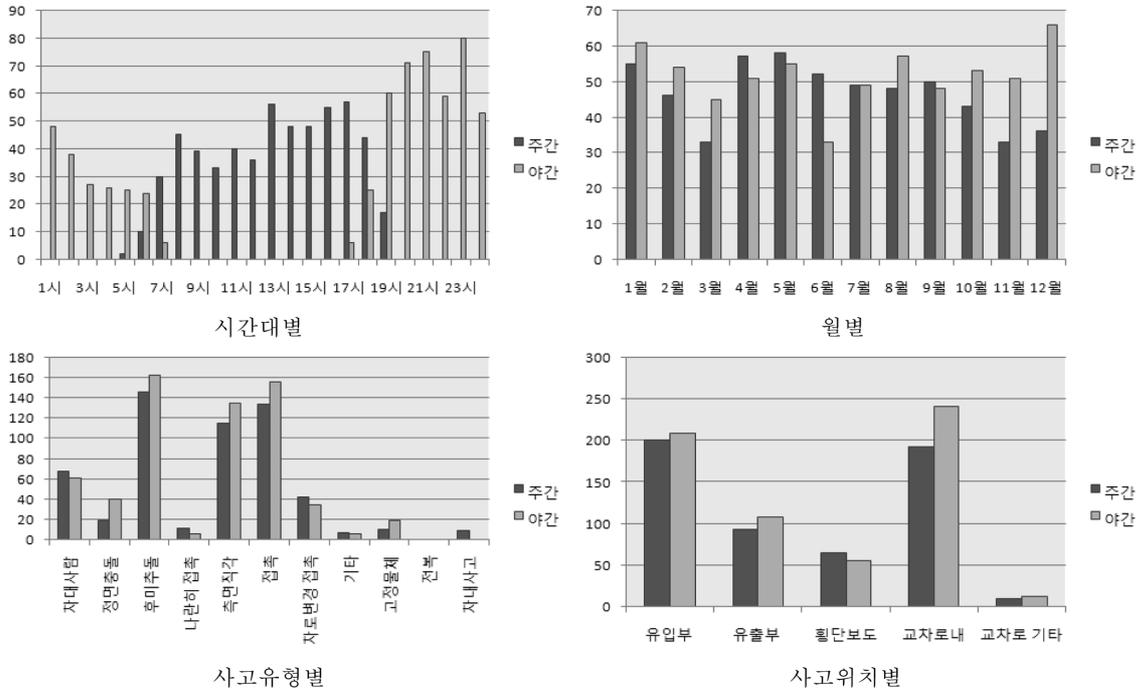


그림 2. 조건별 주·야간 사고건수

교통량과 관련된 유형들로서, 교통량이 많을 때 흔히 일어나는 사고이기 때문에 주간에 많이 발생한 것으로 판단된다.

사고원인별 주·야간 사고건수를 보면, 안전운전불이행에 의한 사고는 주간에 많이 발생하며, 신호위반은 야간에 많이 발생하였다.

분석된 결과를 요약하면, 야간사고율이 주간보다 2.56배 높아 야간사고가 더 심각하다는 것을 알 수 있다. 또한 주간사고는 야간에 비해 많은 차량 및 보행교통량, 그리고 야간사고는 신호위반이 큰 영향을 미쳤다. 아울러 주간사고는 상대적으로 장마철, 그리고 야간사고는 겨울철에 많이 발생하였다.

#### 4. 분석틀의 설정

##### 4.1 자료수집 및 분석

교통사고 및 관련변수 자료의 수집은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 먼저 충청지방경찰청의 교통사고관리시스템 자료에서 사고당시의 날씨, 노면상태, 시간, 차종, 범규위반 여부 등의 자료를 수집하였고, 둘째 도로교통안전관리공단의 사고충돌도를 통해 사고위치, 사고유형 등의 자료를 수집하였으며, 셋째 도로교통안전관리공단에서 자체 조사한 2004년 청주시 전자교통신호체계 운영 및 교통량 자료를 사용하여 신호운영 및 교통조건을 조사하였다. 마지막으로 부족한 자료는 현장조사를 통해 추가하였다.

4지 신호교차로에서 발생한 주·야간사고를 분석하기 위해 1차적으로 교차로를 주도로와 부도로로 구분하였으며 교통량과 교통섬, 좌·우회전 전용차로, 종단경사, 횡단거리 등의 도로 기하구조 관련자료와 이중정지선 등의 노면표시 관련자료를 접근로별로 분류하여 코딩작업을 수행하였다.

##### 4.2 변수간의 상관관계

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 86개의 세부변수들을 상관분석한 후, 유의확률이 0.05이하로 유의한 것으로 나타난 16개의 독립변수를 바탕으로 정리하였다. 독립변수 중 이중정지선합계( $X_7$ )과 차로수평균( $X_{10}$ ), 신호현시수( $X_9$ )와 황색신호평균( $X_{14}$ ), 차로수평균( $X_{10}$ )과 주·야간교통량( $X_{15,16}$ )은 변수간 상관성이 높아 다중공선성이 우려되므로 모형개발시 중복 선정하지 않았다.

##### 4.3 변수의 선정

###### 4.3.1 독립변수 선정

4지 신호교차로에서 발생한 교통사고와 밀접한 관련성이 있을 것으로 판단되는 변수는 표 4와 같다. 변수선정에는 주도로, 부도로의 각 접근로별 자료보다는 교차로 접근로 전체의 평균과 합계를 주로 사용하였으며, 또한 주간사고와 야간사고를 비교분석하기 위해 주간교통량과 야간교통량을 구분하여 정리하였다.

###### 4.3.2 종속변수 선정

사고모형 개발을 위한 종속변수는 사고건수와 대물피해사고 환산계수(EPDO)<sup>3)</sup>이다<sup>4)</sup>. 여기에 주간과 야간으로 분류하여, 주간 사고건수, 야간 사고건수, 주간 EPDO 및 야간 EPDO의 총 4개 종속변수를 선정하였다.

3) EPDO : (사망사고×12)+(부상사고×3)+(물피사고×1), 사고의 치명도에 따라 가중치 부여

4) 최재성, 원재무(2001), “교통공학(개정판)”, pp. 578~580, 성낙문(2001), “교통사고예측모형을 이용한 도로의 안전도 평가 방법 연구”, 한국교통연구원, pp. 5~10. 참고.

표 3. 변수 간 상관계수 분석결과

구분	Y <sub>1(주)</sub>	Y <sub>2(주)</sub>	Y <sub>1(예)</sub>	Y <sub>2(예)</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	
Y <sub>1(주)</sub>																					
Y <sub>2(주)</sub>	0.963																				
Y <sub>1(예)</sub>	0.724	0.678																			
Y <sub>2(예)</sub>	0.735	0.686	0.957																		
X <sub>1</sub>	0.540	0.534	0.551	0.516																	
X <sub>2</sub>	0.421	0.412	0.433	0.398	0.469																
X <sub>3</sub>	0.291	0.279	0.191	0.152	0.180	0.299															
X <sub>4</sub>	0.260	0.221	0.287	0.250	0.235	0.278	0.555														
X <sub>5</sub>	0.186	0.173	0.157	0.162	0.283	0.347	0.100	0.209													
X <sub>6</sub>	0.243	0.242	0.299	0.251	0.239	0.268	0.071	0.110	0.237												
X <sub>7</sub>	0.348	0.353	0.452	0.414	0.358	0.446	0.188	0.198	0.558	0.284											
X <sub>8</sub>	0.243	0.227	0.146	0.148	0.188	0.297	-0.086	0.008	0.030	0.001	0.216										
X <sub>9</sub>	0.228	0.228	0.226	0.155	0.325	0.288	0.170	0.243	0.143	0.126	0.090	0.157									
X <sub>10</sub>	0.473	0.453	0.577	0.550	0.467	0.430	0.135	0.223	0.416	0.259	0.723	0.235	0.242								
X <sub>11</sub>	-0.269	-0.231	-0.278	-0.272	-0.087	-0.131	-0.039	0.056	0.097	-0.050	-0.051	-0.041	-0.075	-0.185							
X <sub>12</sub>	0.545	0.533	0.557	0.523	0.991	0.480	0.164	0.236	0.317	0.244	0.387	0.189	0.338	0.492	-0.071						
X <sub>13</sub>	0.228	0.194	0.171	0.157	0.172	0.097	0.101	0.089	0.094	0.092	0.210	0.008	0.014	0.176	-0.144	0.175					
X <sub>14</sub>	0.191	0.183	0.201	0.109	0.346	0.169	0.265	0.245	0.095	0.128	0.009	0.006	0.736	0.183	0.021	0.355	-0.016				
X <sub>15</sub>	0.711	0.698	0.757	0.742	0.556	0.533	0.197	0.351	0.362	0.303	0.514	0.167	0.243	0.645	-0.137	0.575	0.126	0.143			
X <sub>16</sub>	0.711	0.698	0.757	0.742	0.556	0.533	0.197	0.351	0.362	0.303	0.514	0.167	0.243	0.645	-0.137	0.575	0.126	0.143	1.000		

주 : pearson 상관계수

주 : 1차 상관분석 후 유의확률이 높은 변수들을 선정하여 재정리

표 4. 사고관련변수

독립변수	정의	기호	평균	범위
1. 교차로면적(m <sup>2</sup> )	횡단보도를 포함한 교차로 면적	X <sub>1</sub>	1,366	624~4,104
2. 좌회전전용차로개(개)	좌회전전용차로의 합계	X <sub>2</sub>	2.02	0~6
3. 우회전전용차로개(개)	우회전전용차로의 합계	X <sub>3</sub>	0.79	0~4
4. 교통섬 합계(개)	교통섬의 합계	X <sub>4</sub>	0.87	0~4
5. 주도로 제한속도(Km/h)	주도로의 제한속도	X <sub>5</sub>	56.3	30~80
6. 부도로 제한속도(Km/h)	부도로의 제한속도	X <sub>6</sub>	47.3	30~70
7. 이중정지선 합계(개)	이중정지선의 합계	X <sub>7</sub>	0.99	0~4
8. 유턴 합계(개)	유턴의 합계	X <sub>8</sub>	0.58	0~4
9. 신호현시 수(현시)	신호운영 현시수	X <sub>9</sub>	4.23	2~6
10. 차로수 평균(차로)	차로수의 평균	X <sub>10</sub>	1.94	1~3
11. 주도로 차로폭 평균(m)	주도로의 차로폭 평균	X <sub>11</sub>	3.15	2.85~4.40
12. 횡단거리 평균(m)	횡단거리의 평균	X <sub>12</sub>	36.5	25~65
13. 종단경사 합(°)	종단경사의 합계	X <sub>13</sub>	0.50	-9.7~8.60
14. 황색신호 평균(초)	황색신호의 평균	X <sub>14</sub>	3.80	0~5
15. 주간교통량(대/주간)	첨두시간교통량 × 일평균 보정계수(13.9) ×주간교통량비(0.7)	X <sub>15</sub>	7,911	2,250~16,828
16. 야간교통량(대/야간)	첨두시간교통량 × 일평균 보정계수(13.9) ×야간교통량비(0.3)	X <sub>16</sub>	3,390	964~7,212

주 : 주간교통량과 야간교통량의 비율은 2004 도로교통량 통계연보의 주야율(주간평균 70%)을 적용

## 5. 모형개발과 결과 비교분석 및 검증

### 5.1 모형개발

사고모형은 다중선형회귀모형, 다중비선형회귀모형과 포아

송 및 음이항회귀모형을 이용하여 세 모형에 의해 채택된 변수의 공통점 및 차이점을 파악하였다. 또한 결정계수 및 유의확률을 통해 모형의 적합성을 살펴보았다.

5.1.1 다중선형회귀분석

상관분석 결과에 따라 유의한 것으로 나타난 변수들을 단계적 변수 증감법(stepwise selection method)을 이용하여, 다중공선성(multicollinearity) 및 통계적 유의성이 검증되지 않은 독립변수들을 제거하여 모형을 구축하였다.

5.1.1.1 주·야간 사고건수 모형

주·야간 사고건수의 다중선형모형을 개발한 결과, 주간 사고건수의 경우 R<sup>2</sup> 값이 0.600, F값이 41.068, 유의확률이 0.000이었다. 야간 사고건수의 경우는 R<sup>2</sup> 값이 0.627, F값이 78.003, 유의확률이 0.000으로 두 모형 모두 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

표 5. 주·야간 사고건수 모형 분석결과

모형	모형식	F	유의확률	R <sup>2</sup>	
Y <sub>1(주)</sub>	$= 7.569+0.00058X_{15}+0.0011X_1-3.329X_{11}+0.448X_3+0.629X_8$	41.068	0.000	0.600	
Y <sub>1(야)</sub>	$= 8.476+0.002X_{16}-3.638X_{11}+0.001X_1$	78.003	0.000	0.627	
관련변수		비표준화계수		t	유의확률
		B	표준오차		
주간 사고건수	(상수)	7.569	3.504	2.160	.033
	주간교통량 (X <sub>15</sub> )	.00058	.000	8.160	.000
	교차로면적 (X <sub>1</sub> )	.0011	.000	2.635	.009
	주도로차로폭평균 (X <sub>11</sub> )	-3.329	1.078	-3.087	.002
	우회전차로합계 (X <sub>3</sub> )	.448	.158	2.830	.005
	유턴합계 (X <sub>8</sub> )	.629	.275	2.290	.024
야간 사고건수	(상수)	8.476	3.518	2.409	.017
	야간교통량 (X <sub>16</sub> )	.002	.000	10.052	.000
	주도로차로폭평균 (X <sub>11</sub> )	-3.638	1.083	-3.360	.001
	교차로면적 (X <sub>1</sub> )	.001	.000	2.973	.003

5.1.1.2 주·야간 EPDO 모형

주·야간 EPDO의 다중선형모형을 개발한 결과, 주간 EPDO의 경우 R<sup>2</sup> 값이 0.553, F값이 42.642, 유의확률이 0.000이었다.

표 6. 주·야간 EPDO 모형 분석결과

모형	모형식	F	유의확률	R <sup>2</sup>	
Y <sub>2(주)</sub>	$Y_{2(주)} = 14.254+0.001X_{15}+0.003X_1-6.673X_{11}+0.936X_3$	42.642	0.000	0.553	
Y <sub>2(야)</sub>	$Y_{2(야)} = 22.216+0.004X_{16}-9.247X_{11}+0.003X_1$	67.967	0.000	0.595	
관련변수		비표준화계수		t	유의확률
		B	표준오차		
주간 EP DO	(상수)	14.254	9.290	1.534	.127
	주간교통량 (X <sub>15</sub> )	.001	.000	7.865	.000
	교차로면적 (X <sub>1</sub> )	.003	.001	2.843	.005
	주도로차로폭평균 (X <sub>11</sub> )	-6.673	2.859	-2.334	.021
	우회전차로합계 (X <sub>3</sub> )	.936	.417	2.247	.026
야간 EP DO	(상수)	22.216	9.515	2.335	.021
	야간교통량 (X <sub>16</sub> )	.004	.000	9.728	.000
	주도로차로폭평균 (X <sub>11</sub> )	-9.247	2.929	-3.157	.002
	교차로면적 (X <sub>1</sub> )	.003	.001	2.278	.024

야간 EPDO의 경우는 R<sup>2</sup> 값이 0.595, F값이 67.967, 유의확률이 0.000이었다. 하지만 EPDO 모형은 사고건수 모형

보다 통계적 유의성이 다소 낮으며, 주간보다는 야간모형의 설명력이 높게 분석되었다.

5.1.2 다중비선형회귀분석

5.1.2.1 주·야간사고건수 모형

주·야간 사고건수의 다중비선형모형을 개발한 결과, 주간 사고건수의 경우 R<sup>2</sup> 값이 0.543, F값이 41.036, 유의확률이 0.000이었다. 야간 사고건수의 경우는 R<sup>2</sup> 값이 0.623, F값이 45.257, 유의확률이 0.000으로 두 모형 모두 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

표 7. 주·야간 사고건수 모형 분석결과

모형	모형식		F	유의확률	R <sup>2</sup>	
Y <sub>1(주)</sub>	$Y_{1(주)}=0.004166 \cdot X_{15}^{0.974} \cdot \exp(-0.955X_{11}+0.024X_{12}+0.048X_{13})$		41.036	0.000	0.543	
Y <sub>1(야)</sub>	$Y_{1(야)}=0.0013482 \cdot X_{16}^{1.192} \cdot \exp(-0.838X_{11}+0.024X_{12}-0.021X_5+0.048X_{13})$		45.257	0.000	0.623	
관련변수			비표준화계수		t	유의확률
			B	표준오차		
주간 사고건수	(상수)		-5.481	1.435	-3.818	.000
	ln주간교통량 (lnX <sub>15</sub> )		0.974	0.136	7.146	.000
	주도로차로폭평균 (X <sub>11</sub> )		-0.955	0.267	-3.575	.000
	횡단거리 평균 (X <sub>12</sub> )		0.024	0.008	2.992	.003
	종단경사합 (X <sub>13</sub> )		0.048	0.020	2.348	.020
야간 사고건수	(상수)		-6.609	1.392	-4.748	.000
	ln야간교통량 (lnX <sub>16</sub> )		1.192	0.136	8.781	.000
	주도로차로폭평균 (X <sub>11</sub> )		-0.838	0.251	-3.342	.001
	횡단거리 평균 (X <sub>12</sub> )		0.024	0.007	3.234	.002
	주도로 제한속도 (X <sub>5</sub> )		-0.021	0.006	-3.508	.001
	이중정지선 합계 (X <sub>7</sub> )		0.103	0.051	2.020	.045

5.1.2.2 주·야간 EPDO 모형

주·야간 EPDO의 다중비선형모형을 개발한 결과, 주간 EPDO의 경우 R<sup>2</sup> 값이 0.461, F값이 29.564, 유의확률이 0.000이었으며, 야간 EPDO의 경우는 R<sup>2</sup> 값이 0.520, F값이 75.968, 유의확률이 0.000이었다. 따라서 야간 EPDO모형이 주간 EPDO 모형보다 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

표 8. 주·야간 EPDO 모형 분석결과

모형	모형식		F	유의확률	R <sup>2</sup>	
Y <sub>2(주)</sub>	$Y_{2(주)}=0.0007953 \cdot X_{15}^{1.226} \cdot \exp(0.057X_{13}+0.0003X_1-0.732X_{11})$		29.564	0.000	0.461	
Y <sub>2(야)</sub>	$Y_{2(야)}=0.000277 \cdot X_{16}^{1.628} \cdot \exp(-0.910X_{11})$		75.968	0.000	0.520	
관련변수			비표준화계수		t	유의확률
			B	표준오차		
주간 EP DO	(상수)		-7.137	1.962	-3.637	0.000
	ln주간교통량 (X <sub>15</sub> )		1.226	0.179	6.848	0.000
	종단경사합 (X <sub>13</sub> )		0.057	0.027	2.097	0.038
	교차로면적 (X <sub>1</sub> )		0.0003	0.0001	2.214	0.028
	주도로차로폭 평균 (X <sub>11</sub> )		-0.732	0.358	-2.043	0.043
야간 EP DO	(상수)		-8.192	1.626	-5.039	0.000
	ln야간교통량 (X <sub>16</sub> )		1.628	0.140	11.600	0.000
	주도로차로폭 평균 (X <sub>11</sub> )		-0.910	0.331	-2.750	0.007

표 9. 주·야간 사고건수 모형 분석결과

구분	모형식	$\rho^2$	$R_p^2$	$R_D^2$	$\alpha$
$Y_{1(주)}$	$Y_{1(주)} = \exp(3.148 + 0.137X_8 - 1.196X_{11} + 0.018X_{12} + 0.048X_{13} + 0.0001X_{15})$	0.297	0.667	0.603	0.015
$Y_{1(야)}$	$Y_{1(야)} = \exp(3.281 - 1.196X_{11} + 0.019X_{12} + 0.0003X_{16})$	0.301	0.647	0.615	0.00017

5.1.3 포아송 및 음이항 회귀분석

포아송회귀분석은 교통사고가 인구곡선과 같은 정규적인 시계열을 갖지 못하는 특성을 감안하기 위해 비선형적인 측면에서 최우추정법에 의해 평균에 따른 확률로서 해를 찾는 분석방법이다. 하지만 포아송 회귀분석은 사고자료의 과분산으로 인해 과추정되는 오류를 범할 수 있기 때문에 과분산 정도에 따라 음이항회귀분석과 선별하여 사용된다.

과분산의 정도를 나타내는 과분산계수( $\alpha$ )가 0에 가까우면 포아송회귀모형이 적합하며, 0에 가깝지 않으면, 음이항회귀모형을 사용하는 것이 바람직하다<sup>5)</sup>. 과분산계수( $\alpha$ )가 가까울수록 포아송과 음이항모형의 각 변수별 비표준화 계수와 p-value가 근접하기 때문에 0에 근접함의 여부에 따라 적용할 모형을 선택한다. 따라서 본 연구는 과분산계수( $\alpha$ )값 0.015를 기준으로 포아송모형과 음이항모형의 선택여부를 판단하였다.

5.1.3.1 주·야간 사고건수 모형

주간과 야간 사고건수의 모형개발에는 우선 15개의 독립변수를 1차적으로 선정하여 구축한 후, 적정 p값(=0.05) 이상 나타난 변수들을 제외하여, 표 9와 같이 모형을 개발하였다.

모형개발 결과, 사고건수 모형은 주야간 모두 과분산계수( $\alpha$ )가 0.015이하로 0에 근접하여 포아송모형을 사용하였으며, 모형의 설명력을 나타내는  $R_p^2$ 와  $R_D^2$ 값이 최저 0.603에서 최고 0.667의 범위로 나타나 종속변수가 가지고 있는 정보의 약 60%에서 67%를 독립변수의 변동으로 설명할 수 있으며,  $\rho^2$ 가 0.297, 0.301로 비교적 설명력이 높은 모형이 구축되었다.

5.1.3.2 주·야간 EPDO 모형

EPDO 모형은 주야간 모두 과분산계수( $\alpha$ )가 기준인 0.015 이상이기 때문에 음이항모형을 사용하였으며,  $\rho^2$ 는 0.152, 0.120으로 설명력은 다소 낮았다.

표 10. 주·야간 EPDO 모형 분석결과

구분	모형식	$\rho^2$	$\alpha$
$Y_{2(주)}$	$Y_{2(주)} = \exp(2.380 - 0.716X_{11} + 0.023X_{12} + 0.0001X_{15})$	0.152	0.295
$Y_{2(야)}$	$Y_{2(야)} = \exp(3.168 - 0.1129X_3 - 0.883X_{11} + 0.018X_{12} + 0.0004X_{16})$	0.120	0.224

5.2 모형의 비교분석 및 검증

5.2.1 모형의 비교분석

모형개발 결과 EPDO를 포함한 주간 사고모형의 경우, 다

중선형의  $R^2$  값이 0.553~0.600, 다중비선형은 0.461~0.543, 그리고 포아송 및 음이항모형은  $\rho^2$ 값이 0.152~0.297로 나타났다. 또한 야간 사고모형은 다중선형의  $R^2$  값이 0.595~0.627, 다중비선형은 0.520~0.623, 그리고 포아송 및 음이항모형은  $\rho^2$ 값이 0.120~0.301로 나타났다. 전반적으로 다중선형 및 다중비선형 모형에서는 주간 사고모형 보다는 야간 사고모형의 설명력이 다소 높은 것으로 분석되었다. 이는 야간 모형에서 종속변수와 채택된 독립변수 중 가장 영향력이 큰 교통량의 상관계수가 주간 보다 높기 때문인 것으로 판단된다.

표 11. 주·야간사고에 영향을 미치는 모형별 독립변수

구분	종속 변수	독립변수		
		주간	야간	공통
다중 선형	$Y_1$	(+)X <sub>3</sub> , (+)X <sub>8</sub>	-	(+)X <sub>1</sub> , (-)X <sub>11</sub> , (+)X <sub>15-16</sub>
	$Y_2$	(+)X <sub>3</sub>	-	(+)X <sub>1</sub> , (-)X <sub>11</sub> , (+)X <sub>15-16</sub>
다중 비선형	$Y_1$	(+)X <sub>13</sub>	(-)X <sub>5</sub> , (+)X <sub>7</sub>	(-)X <sub>11</sub> , (+)X <sub>12</sub> , (+)lnX <sub>15-16</sub>
	$Y_2$	(+)X <sub>1</sub> , (+)X <sub>13</sub>	-	(-)X <sub>11</sub> , (+)lnX <sub>15-16</sub>
포아송 및 음이항	$Y_1$	(+)X <sub>8</sub> , (+)X <sub>13</sub>	-	(-)X <sub>11</sub> , (+)X <sub>12</sub> , (+)X <sub>15-16</sub>
	$Y_2$	-	(-)X <sub>3</sub>	(-)X <sub>11</sub> , (+)X <sub>12</sub> , (+)X <sub>15-16</sub>

주1 : 위의 X<sub>15-16</sub>은 주간과 야간시 적용된 각각의 교통량임  
 주2 : ( )안의 부호는 종속변수와의 방향성을 의미함

변수의 성격 및 모형식에 따라 다소 차이는 있겠지만, 통상적으로 결정계수  $R^2$ 가 0.4 이상  $\rho^2$ 는 0.2~0.5 사이에 있을 때 통계적으로 유의하다고 판단할 수 있기 때문에 음이항 모형에 의해 개발된 주야간 EPDO 모형을 제외한 10개 모형은 설명력이 높다고 볼 수 있다.

표 11은 개발된 12개의 모형에 대한 독립변수를 주·야간 특정변수와 공통변수로 구분한 것이며, 주·야간 교통사고 모두 교통량이 많아지고 차로폭이 작아지며, 교차로면적이 커질수록 사고의 발생확률이 높아지는 특성을 지닌 것으로 분석된다.

주간사고의 경우는 우회전전용차로합계, 유턴합계, 종단경사합계, 교차로면적이 사고와의 연관성이 있으며, 야간사고의 경우는 주도로 제한속도와 이중정지선합계가 사고발생에 영향을 미치는 특정변수로 파악되었다. 또한 종속변수와의 방향성을 보면, 야간사고에서의 경우, 우회전전용차로가 많고 주도로제한속도가 높을수록 사고가 적게 발생한 것으로 나타났으며, 주·야간 공통으로는 주도로의 차로폭평균이 증가할수록 사고가 적었다. 나머지 변수들은 양에 관계로 수치가 증가할수록 사고가 증가하는 것으로 나타났다.

5) 이기영, 이용택(2004), 확률회귀모형을 이용한 고속도로의 사고요인 분석, 도로교통, 제94호, pp. 51~64.

### 5.2.2 모형의 검증

모형개발 후 현실적 타당성과 적용가능성을 평가하는 것을 모형의 검증이라고 한다. 이를 위해 실제치와 회귀식에 적용된 예측치 간의 상호 비교로 모형의 적합성을 검증할 수 있다. 이에 사용되는 방법 중 하나가 대응표본 t-검정이며, 본 연구의 검정 결과는 표 12와 같다.

표 12. 대응표본 t-검정 결과

구분		상관계수	평균차	t	유의확률 (양측)	
주간	다중선형	사고건수	0.765	-0.028	-0.149	0.882
		EPDO	0.750	-0.114	-0.232	0.817
	다중비선형	사고건수	0.778	0.427	2.270	0.025
		EPDO	0.746	1.552	3.166	0.002
	포아송 음이항	사고건수	0.793	-0.021	-0.118	0.906
		EPDO	0.738	-0.091	-0.181	0.856
야간	다중선형	사고건수	0.797	-0.014	-0.076	0.940
		EPDO	0.770	0.014	0.028	0.978
	다중비선형	사고건수	0.804	2.846	11.967	0.000
		EPDO	0.790	1.573	3.222	0.002
	포아송 음이항	사고건수	0.815	0.007	0.039	0.969
		EPDO	0.772	-0.175	-0.344	0.731

대응표본 t-검정 결과, 다중비선형은 t값이 2 이상, 유의확률이 0.05 이하로 95%의 신뢰수준에서 모형의 두 값 간에 차이가 없다는 귀무가설을 기각하게 되어 설명력이 떨어지는 것으로 분석되었다. 그러나 다중선형, 포아송 및 음이항 모형은 t값이 절대값 0.4 이하, 유의확률이 0.7 이상으로 나타나 실제치와 예측치가 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없는 것으로 분석되었다.

또한 주·야간 모두 포아송 및 음이항 사고건수 모형이 설명력이 높은 것으로 분석되었으며, EPDO의 경우에도 포아송 및 음이항모형이 적합한 것으로 분석되었다. 비선형모형의 경우, 대체적으로 R<sup>2</sup>가 높음에도 불구하고 실제치와 예측치 간에 차이가 나는 이유는 변수간 선형관계를 나타내는 상관계수는 높지만, 대응 간 평균차이가 크기 때문인 것으로 판단된다.

## 6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 주간과 야간의 교통사고 특성과 사고모형을 비교·분석하고 사고발생요인의 차이점을 밝히는데 그 목적이 있다. 이를 위해 청주시 4지 신호교차로를 중심으로 주야간별 다중선형, 다중비선형과 포아송 및 음이항회귀모형을 개발하고 주야간 교통사고의 차이점 분석에 중점을 두었다. 주요결과는 다음과 같다.

1. 사고현황 및 특성분석을 통해 주간사고와 야간사고의 차이점을 발견하였다. 야간의 사고율(백만 진입차량 당)이 주간보다 2.56배 많아 야간사고가 더 심각하며, 주간사고는 야간에 비해 많은 차량 및 보행교통량, 그리고 야간사고는 신호위반이 큰 영향을 미쳤다.
2. 통계적으로 설명력이 높은 12개의 모형이 개발되었다. 주

간 사고건수 및 EPDO 모형의 경우, 다중선형의 R<sup>2</sup> 값이 0.553~0.600, 다중비선형은 0.461~0.543, 그리고 포아송 및 음이항모형의  $\rho^2$ 값은 0.152~0.297로 분석되었다. 야간 사고건수 및 EPDO 모형의 경우, 다중선형의 R<sup>2</sup> 값이 0.595~0.627, 다중비선형은 0.520~0.623, 그리고 포아송 및 음이항모형의  $\rho^2$ 값은 0.120~0.301로 나타나, 전반적으로 주간 사고모형 보다는 야간사고모형의 설명력이 높은 것으로 분석된다. 또한 대응표본 t-검정을 통한 모형검증 결과, 다중비선형 모형을 제외한 8개 모형의 실제치와 예측치가 95% 유의수준에서 두 값이 동일하다는 귀무가설을 기각할 수 없었다.

3. 공통변수와 특정변수를 활용하여 주·야간 사고모형의 차이가 비교·분석되었다. 모형개발에 의해 교통사고에 영향을 미치는 변수는 교통량, 차로폭, 우회전전용차로, 유턴, 횡단거리, 종단경사, 이중정지선 등인 것으로 나타났다. 따라서 교통수요관리(TDM: Traffic Demand Management)를 통해 교통량을 감소시키는 정책의 변화가 필요하고, 차량주행에 충분한 차로폭이 확보되어야 할 것으로 판단된다. 또한 우회전전용차로 및 유턴구역에서의 서행유도와 위반행위 방지를 위해 과속방지턱 설치, 단속의 강화가 이뤄져야 하며, 아울러 불필요한 이중정지선의 설치를 제한하여 횡단보도 상의 보행자 사고를 줄여야 한다. 본 연구는 단순히 교통량과 기하구조, 노면표시 등의 도로 환경적요인만을 고려하였으므로 향후 인적, 차량요인, 그리고 주변지역 토이지용 등을 고려한 설명력 높은 모형의 개발이 필요하다. 또한 가로등 수나 조도 등 야간의 시거확보와 관련된 변수를 추가 적용하여 야간사고와 조명시설과의 직접적인 관계도 명확히 밝힐 수 있어야 한다. 나아가 시간, 방향, 차로수, 운행상태 등 세분화된 모형개발 등의 미시적인 연구를 통해 사고원인 및 모형연구의 전문성을 높여야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 07첨단도시개발사업(과제번호: 07도시재생A01)의 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

강민욱·도철용·손봉수(2002) 고속도로 평면 선형상 사고빈도 분포 추정을 통한 음이항 회귀모형개발, **대한교통학회논문집**, 대한교통학회, 제20권 제7호, pp. 197-204.

강승립(2003) **고속도로 선형조건과 GIS기반 교통사고위험도지수 분석**, 박사학위논문, 서울대학교.

김효중(1997) **교통사고 유형에 미치는 영향요인 분석에 관한 연구**, 박사학위논문, 전남대학교.

남궁현(2001) **신호교차로 교통사고 예측모형의 개발 및 적용**, 석사학위논문, 전남대학교.

도로교통안전관리공단(2005) **2004년도 청주시 전자교통신호체계 운영자료 및 교통량조사자료**.

류승욱(2005) **고속도로 교차점의 기하구조와 교통사고의 관계설정 및 모형분석**, 박사학위논문, 충북대학교.

박병호(1995) **충청권의 교통사고 예측모형 개발에 관한 연구**, **대한교통학회논문집**, 대한교통학회, 제13권, 제1호, pp. 63~82.

- 박병호 · 류승욱(2006) 위험한 고속도로 교차점 및 연결로의 규명, **한국지역개발학회논문집**, 한국지역개발학회, 제18권 제2호, pp. 23~42.
- 박정순 · 김태영 · 유두선(2007) 도로환경요인과 교통사고의 상관 분석 및 사고추정보형개발(청주시 4지 신호교차로를 중심으로), **대한교통학회논문집**, 대한교통학회, 제25권 제2호, pp. 63~72.
- 성낙문(2001) **교통사고예측모델을 이용한 도로의 안전도 평가방법 연구**, 교통개발연구원.
- 오주택 · 성낙문 · 하오근(2005) 국도변 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형개발, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제25권 제1D호 pp. 9~15.
- 이기영 · 이용택(2004) 확률회귀모형을 이용한 고속도로의 사고요인 분석, **도로교통**, 제94호, pp. 51~64.
- 이두희(2005) 횡단보도 보행자의 동태적 행위관련 안전예측모형 개발, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제25권 제3D호 pp. 439~445.
- 이수범 · 김정현 · 홍다희 · 유창남(2003) 도로등급 및 특성에 따른 교통사고예측모형개발, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권 제D4호, pp. 133~144.
- 최재성 · 원제무(2001) **교통공학(개정판)**, pp. 578~580.
- 하태준 · 강정규 · 박제진(2001) 신호교차로 교통사고 예측모형의 개발 및 적용, **대한교통학회논문집**, 대한교통학회, 제19권 제6호. pp. 207~218.
- 홍정열(2002) **신호교차로에서의 사고 예측모델개발 및 위험수준결정 연구**, 석사학위논문, 한양대학교.
- Bonneson, J. A. and McCoy, P. T., Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highways, *TRB* 1401.
- Chin, H. C. and Quddus, M. A. (2003) Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections, *Accident Analysis & Prevention* 35, pp. 253-259.
- FHWA (1999) *Crash Models for Rural Intersections : Four-Lane by Two-Lane Stop-Controlled and Two-Lane by Two-Lane Signalized.*
- Mohamed Abdel-Aty etc. (2006) Crash Estimation at signalized intersections along corridors : analyzing spatial effect and identifying significant factors, *TRB* 06-1420.
- Yan, X., Radwan, E., and Abdel-Aty, M. (2005) Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections using multiple logistic regression model, *Accident Analysis & Prevention* 37, pp. 35-46.
- Yi, P. and Xiao, Y. (2001) Rule-Based Model For Traffic Accident Visuallization and Analysis, *Journal of Computing in Civil Engineering*.

(접수일: 2007.8.28/심사일: 2007.11.25/심사완료일: 2008.1.16)