

지방부 신호교차로 주·야간 교통사고 예측모형 개발 및 비교 분석

Development of Traffic Accident Models at Rural Signalized Intersections by Day and Night

이근희 Lee, geunhee
정상운 Jung, sang woon
박민호 Park, minho
이동민 Lee, dongmin
노정현 Roh, jeonghyun

정회원 · 한양대학교 도시대학원 박사수료 · 주저자 (E-mail : ghlee@kict.re.kr)
한양대학교 도시대학원 박사과정 · 교신저자 (E-mail : swjung1105@gmail.com)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : minhopark@kict.re.kr)
정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (E-mail : dmlee@uos.ac.kr)
한양대학교 도시대학원 교수 (E-mail : jhrho@hanyang.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purposes of this study are to compare the day and night characteristics and to develop the models of traffic accidents, in Rural Signalized Intersections

METHODS : To develop day and night traffic accident models using the Negative Binomial Model, which was constructed for 156 signalized intersections of rural areas, through field investigations and casualty data from the National Police Agency.

RESULTS : Among a total of 17 variances, the daytime traffic accident estimate models identified a total of 9 influence factors of traffic accidents. In the case of nighttime traffic accident models, 11 influence factors of traffic accidents were identified.

CONCLUSIONS : By comparing the two models, it was determined that the number of main roads was an independent factor for daytime accidents. For nighttime accidents, several factors were independently involved, including the number of entrances to sub-roads, whether left turn lanes existed in major roads, the distances of pedestrian crossings to main roads and sub-roads, lighting facilities, and others. It was apparent that if the same situation arises, the probability of an accident occurring at night is higher than during the day because the speed of travel through intersections in rural areas is somewhat higher at night than during the day.

Keywords

Rural Signalized Intersections, Traffic Accident Models, Day and Night Comparative Analysis, Negative Binomial Model

Corresponding Author : Lee, Geunhee
Hanyang University Graduate School of Urban & Realestate
Studies, Wangshipli-ro 222, Seodong-Gu, Seoul, 133-791, Korea
Tel : +82.31.910.0372 Fax : +82.31.910.0749
E-mail : ghlee@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Apr. 16, 2015 Revised Apr. 29, 2015 Accepted May. 25, 2015

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

도로의 양적 확장과 자동차의 물량 공급 등 경제개발을 통한 성장위주의 정책으로 인해 우리나라는 OECD(경제개발협력기구) 최고수준의 교통사고 발생국이란 불명예를 안았다. 이에 정부는 교통사고의 문제점을 인식하고 소통위주의 정책에서 안전위주 정책의 일환으로

2008년 “교통사고 사상자 절반 줄이기 운동” 등 적극적인 교통안전을 위한 정책을 펼친 결과 교통사고 발생건수, 사망자수, 부상자수 등의 분야에서 교통사고 감소추세를 보이고 있으나 일부항목(야간 교통사고 발생건수 총 386,486건/사망 2,702명/중상 64,805명/경상 343,135명, 보행자 사망자수(4.1명))에 대해서는 여전히 높은 수준의 교통사고율을 보이고 있다(taas, 도로

교통공단, 2013).

자동차와 도로의 발달이 일찍 이루어진 선진국의 경우 이러한 문제점들에 대해 끊임없는 연구와 여러 가지 정책을 통해 시행착오를 겪으면서 현재는 어느 정도 안정적인 단계에 접어들은 반면 국내의 경우 아직도 교통사고로 인한 인적 및 물적 피해에 대한 문제가 지속적으로 대두되고 있다.

이와 같은 문제에서 벗어나기 위해서는 특정지역, 일부항목이 아닌 교통사고와 관련한 모든 분야에서 노력해야만 교통선진국에 다가설 수 있다.

이에 국내에서도 사고 예측모형에 관한 연구가 지속적으로 진행되고 있긴 하지만 대부분의 연구가 도시부를 대상으로 한 연구가 주를 이루고 있다.

일부 지방부를 중심으로 진행된 연구가 있긴 하지만 아직도 도시지역 대비 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 지방부 교차로를 대상으로 주간과 야간의 교통사고모형을 개발하고 비교함으로써 지방부 지역에서의 교통사고에 영향을 미치는 주간과 야간의 특성을 파악하고자 한다.

2. 기존문헌 고찰

2.1. 비도시지역(지방부) 교통사고의 특성에 관한 연구

Kim et al.,(2008)은 수도권 주변 및 전라지역의 지방부 특성을 갖는 4지 신호교차로를 중심으로 교차로 설계 시 안전성 평가 알고리즘 개발을 위해 사고 예측모형을 개발하였다. 선형회귀모형보다 비선형회귀모형의 설명력이 더욱 높은 것으로 분석되었으며, 좌회전 전용차로, 횡단보도, 제한속도, 조명시설, 교차각, ADT 등이 지방부 특성을 가진 4지 교차로에서 교통사고에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Lee et al.,(2009)은 지방부 다차로 도로구간에서의 사고예측모형 개발을 위하여 수도권 내 지방부 도로구간과 전라북도 지방부 도로구간을 선정하여 2005년~2007년까지 3개 년도의 경찰청 자료를 이용하여 도로 기하구조, 도로설계 등이 교통사고에 미치는 영향을 알아보려 하였다. 분석결과 EPDO, 곡선반경, 종단구배변화, 가드레일, 지형(산악지), 횡단보도개수, 버스정류장 개수가 지방부 타차로 구간에서 사고에 영향을 주는 요인임을 규명하였다.

Kim et al.,(2010)은 작은 교통량과 높은 주행속도의 영향으로 지방부 도로의 교통사고의 발생빈도는 도

시부에 비해 적지만, 교통사고의 심각도는 상대적으로 높은 편이라는 것에 착안하여 지방부 3지 교차로를 대상으로 사고예측모형을 개발하고자 하였다. 분석결과 주도로 좌회전 전용차로 유무, 주도로 좌회전 시거, 부도로 횡단보도 유무, 부도로 조명시설 유무, 주도로 버스정류장 유무, ADT 등이 교통사고에 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Oh et al.,(2014)은 지방부 4지 신호교차로 90개소를 대상으로 비선형회귀분석모형, 인공신경망모형, 구조방정식 모형을 이용하여 모형을 개발하고 개발된 모형의 비교를 통해 설명력이 가장 높은 모형을 제시하고 개발된 모형에 대해 MAD, MAPE방법으로 적합성을 검증하였다. 분석결과 인공신경망모형의 예측력이 매우 높은 모형임을 확인하였다.

국외연구를 살펴 보면, J.A.Bonneson(1993)은 125개의 교차로를 대상으로 음지수 모형을 이용하여 교통량(주·부도로)이 사고발생에 가장 주된 원인임을 밝혔다. 그리고 사고율은 부도로 교통량의 증가가 주도로 교통량보다 민감하다고 주장하였다.

Poch et al.,(1996)은 음이항모형을 이용하여 미국 워싱턴 지역의 63개 신호교차로를 대상으로 교통사고와의 관계를 분석하였다. 여기서, 좌·우회전 교통량, 반대차로 교통량, 차선수, 시거, 현시(phase)가 교통사고 발생에 영향을 미치는 변수라고 주장하였으며, 이들 변수의 탄력성 및 한계효과를 통해 사고발생에 미치는 영향을 분석하였다.

H.C.Chin et al.,(2003)은 random effect 음이항모형을 이용하여 싱가포르의 52개의 4지 신호교차로에서 발생한 교통사고를 분석하였다. 여기서 버스정류장 수, 단속카메라 설치 여부, 교차로 접근 교통량, 좌회전 차로수 등이 교통사고 발생에 영향을 미치는 변수임을 밝혔다.

이처럼 지방부 사고예측 모형에 관한 연구는 최근 들어 여러 통계적 분석방법을 통해 다양한 변수를 적용하여 교통사고발생과 기하구조와의 관계를 분석하고 있다.

2.2. 야간 교통사고의 특성에 관한 연구

일반적으로 야간운전은 주간운전에 비해 시야가 좁아지며, 가로등이 없거나 어두운 도로에서는 시야가 전조등이 비추는 범위로 한정되기 때문에 교통안전을 위한 많은 주의가 필요하다.

2013년 야간 교통사고 발생건수는 총 386,486건으로 사망 2,702명, 중상 64,805명, 경상 343,135명으로

나타났으며, 주간 교통사고 발생건수는 총 732,794건으로 사망 2,390명, 중상 101,960명, 경상 640,109명으로 나타났다(taas, 도로교통공단).

교통사고 발생은 주간 교통사고가 더 많았지만, 사망자는 야간 교통사고에서 더 많았다. 야간 교통사고의 치사율은 0.6명으로 주간 교통사고 0.3명보다 높았다.

교통사고의 치사율은 차량의 속도와 관계가 깊다. 야간은 주간과 비교해 어두운 주변환경으로 인해 보행자나 위험물체에 대한 인지가 늦기 때문에 안전한 제동을 위해 속도를 낮춰서 운전해야 해야 한다. 또한 전조등이 비추는 범위로 제한되는 단조로운 시야로 속도감과 원근감이 둔해질 수 있기 때문에 주간에 비해 과속에도 더 주의해야 한다.

Park et. al.,(2007)은 교통량이 적은 새벽시간대와 교통량이 가장 많은 첨두시간대, 사고건수가 가장 높은 야간시간대, 그 외 첨두시간 사이의 오전, 오후 시간대를 세분화하여 시간대에 따라 발생할 수 있는 사고의 특성을 파악하고 다양한 원인을 규명하고자 하였다. 연구결과 새벽시간대의 경우 교통량 외에 횡단거리 합이 사고에 중요한 영향을 미치는 요인임을 규명하였다.

Yoo et. al.,(2008)은 청주시 4지 신호교차로를 대상으로 1건 이상의 사고가 발생한 총 143개의 교차로를 대상으로 사고건수와 대물피해 환산계수(EPDO)¹⁾를 주간과 야간으로 분류하여 종속변수로 교차로 면적, 회전 전용차로의 계, 교통섬의 합계, 주·부도로의 제한속도, 이중정지선의 합계, 유턴합계, 신호현시의 수, 차로수 평균 등 16개의 독립변수가 교통사고에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과 야간의 사고율이 주간의 사고율(백만 진입차량 당) 2.50배 많아 야간의 교통사고가 더욱 심각하며, 주간의 교통사고는 야간의 교통사고에 비해 많은 차량 및 보행교통량, 그리고 야간사고는 신호위반이 큰 영향을 미치는 연구결과를 도출하였다.

Park et. al.,(2012)은 전국 20개 지점의 로터리를 대상으로 현장조사를 통해 로터리의 운영현황 및 기하구조 자료를 수집하여 로터리 진입차량 천대 당 사고건수의 경우 야간이 1.03건으로 주간 0.47건에 비해 매우 높게 나타났으며, 이는 회전교차로의 교통량, 분리교통섬 수, 조명시설 수, 평균 진입차로 수, 횡단보도 안전지대 확보 수 및 상층 횡수 등이 영향을 미친다고 하였다.

이처럼 국내 주·야간 교통사고모형의 연구에 따르면

일반적으로 야간운전은 주간운전에 비해 시야가 좁아지며, 가로등이 없거나 어두운 도로에서는 시야가 전조등이 비추는 범위로 한정되기 때문에 교통안전을 위한 많은 주의가 필요하다고 할 수 있다.

2.3. 교통사고 예측모형

교통사고는 음수가 아닌 정수의 형태를 가지는 특성으로 인하여 가산모형(count model)의 적용이 필요하며, 포아송(Poisson)/음이항(Negative Binomial)인 대표적인 모형이다. 선형회귀식(linear regression model)이 이전에는 사용되기도 하였으나, 독립변수의 계수(coefficient) 추정 시, 선형회귀식의 기본 가정인 등분산성(homoscedasticity : 변수값이 증가할수록 분산값 증가)이 위배되는 경우가 많았다. 이는 추정된 계수의 통계적 유의수준에 변화를 가져와 모형의 전체적인 신뢰성을 하락 시켰다. 특히, 특정기간에 사고발생이 없었거나, 사고발생이 작은 경우에는 교통사고에서는 발생 할 수 없는 음의 사고수를 예측하였다(Hovanis & Chang, 1986). 이를 해결하기 위한 방법으로 교통사고 건수를 이산확률변수(discrete random variable)로 접근하는 포아송 회귀식이 제안되었다(Jovanis & Chang, 1986, Joshua & Garber, 1990).

포아송 회귀모형은 n 의 사고를 가지는 도로구간(i)에서 발생확률($P(n_i)$)을 가지는 것으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서, λ_i : 구간(i)에서의 평균사고발생건수($=E(n_i)$)

포아송 모형은 Eq. (1)에서 λ 값을 도출하는 것이며, 이는 일반적으로 log-linear형태의 식을 사용하여 표현된다.

$$\lambda_i = \text{EXP}(\beta X_i) \quad (2)$$

여기서, X_i : 설명변수(벡터)

β : 추정계수(벡터)

포아송 모형은 평균과 분산이 같은 등분산($E(n_i) = \text{VAR}(n_i)$)을 가정하는데 대부분의 교통사고자료의 경우, 분산이 평균보다 큰 과분산(overdispersion)현상을

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

보이기 때문에 포아송 모형을 적용하기에는 부적절한 경우가 많았으며, 이와 같은 과산포의 문제를 해결하기 위해 감마분포(Gamma Distribution)을 따르는 오차항(ε_i)이 추가된 음이항 모형이 제안되었으며, 음이항 모형은 다음과 같은 형태로 표현된다.

$$\lambda_i = \text{EXP}(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (3)$$

여기서, $\text{EXP}(\varepsilon_i)$: 평균값(1)과 분산(ω)을 따르는 감마분포를 따르는 오차항.

오차항의 추가($\text{VAR}(n_i) = E(n_i) + \alpha E(n_i)^2$)로 인하여, 분산과 평균이 같아야 하는 포아송 모형의 제약조건을 완화시킬 수 있다. 이때 분산계수(dispersion parameter : ω)값이 통계적으로 0과 다르면 음이항 모형이, 0일 경우 포아송 모형이 적합하다(Washington et al., 2003).

모형의 정립 후 분석결과를 해석하기 위해서는 독립변수가 종속변수에 미치는 상대적인 중요성을 파악하는 필수적이거나, 도출된 계수 값으로는 변수의 중요성을 파악할 수 없다. 이를 위해 Shankar et al.,(1995)은 사용된 변수의 특성을 고려하여, 계수의 탄력성(elasticity)과 한계효과(marginal effect)를 사용할 것을 권고하고 있다.

우선 탄력성이라 함은 독립변수가 1%변화할 때의 변화(%)하는 사고건수(λ_{ij})로 해석할 수 있으며, 다음과 같이 정의된다.

$$E_{x_{ijk}}^{\lambda_{ij}} = \frac{\partial \lambda_{ij}}{\lambda_{ij}} \times \frac{x_{ijk}}{\partial x_{ijk}} \quad (4)$$

포아송 혹은 음이항모형에 사용되는 식의 형태(log-linear, $\ln(y) = \alpha + \beta x$)에서는 다음과 같이 탄력성이 계산되며,

$$\frac{\partial y}{y} = \beta \partial x \quad (5)$$

따라서 최종적으로 $\beta \cdot \bar{x}$ 로 표현된다.

여기서, β 는 추정계수이며 \bar{x} 는 변수들의 평균값이다. 독립변수가 로그값의 형태인 교통량의 경우($\ln(y) = \ln(\beta x)$)에는 \bar{x} 자체가 탄력성이 된다.

Eq. (4)과 (5)는 사용된 변수가 연속변수(continuous variable)인 경우에 적용 가능하며, 더미(dummy)변수의 경우에는 적절하지 않은데, 이 경우에는 pseudo 탄력성을 적용해야 하여야 한다. 이는 더미변수의 변화에 따른 사고발생 건수의 변화(%)를 나타내는 것으로 다음과 같이 계산된다.

$$E_{x_{ijk}}^{\lambda_{ij}} = \frac{\exp(\beta) - 1}{\exp(\beta)} \quad (6)$$

2.4. 기존문헌 고찰 및 연구의 착안점

지금까지의 사고 예측모형에 관한 연구를 살펴보면 초기연구는 도로의 유형별, 대상지역별 단순 교통사고 예측모형을 개발하였지만, 최근 사고 예측모형에 관한 연구의 경우 분석대상을 좀 더 세분화하고 다양한 변수 선정과 이들의 특성을 활용할 수 있는 고급 통계분석방법을 이용하여 보다 세부적인 연구를 진행하고 있다.

이에 본 연구에서는 지방부 지역의 신호교차로를 대상으로 주간과 야간으로 분류하여 교통사고 모형을 개발하고 교통사고에 영향을 미치는 변수를 비교분석해봄으로서 지방부 신호교차로에서 주간과 야간의 특성을 파악하고자 한다.

3. 자료수집

3.1. 연구 분석범위 설정

본 연구에서는 2007년~2010년 수도권의 비도시지역(강화, 김포, 고양, 양주) 즉 지방부와 유사할 것으로 판단되는 신호교차로 156개소를 대상으로 경찰청 사고 자료 및 현장조사를 통해 구축된 자료를 활용하여 주간

Table 1. Average Sunset/Sunrise Time (Seoul, 2007~2010)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.
Sun Rise	am 07:42	am 07:21	am 06:44	am 06:01	am 05:30	am 05:12
Sun Set	pm 05:39	pm 06:10	pm 06:39	pm 07:03	pm 07:35	pm 07:52
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Sun Rise	am 05:24	am 05:48	am 06:14	am 06:41	am 07:12	am 07:37
Sun Rise	pm 07:49	pm 07:22	pm 06:40	pm 05:55	pm 05:24	pm 05:18

source : Korea Astronomy and Space Science Institute

과 야간의 교통사고 예측모형을 개발하고자 한다.

이 논문에서 적용하고자 하는 지방부(비도시지역)는 장거리와 단거리 통행이 공존하고, 도시부의 도로에 비해 현저히 작은 교통량으로 차량의 주행속도가 상대적으로 높고, 도로안전시설이 열악한 지역을 말한다.

또한 주·야간의 교통사고 예측모형을 개발하기 위해 본 연구에서는 사용하는 데이터와 동일기간인 2007~2010년(서울 기준)동안의 평균 일·출몰 시간을 기준으로 오전 6시부터 오후 6시를 주간으로, 오후 6시부터 다음 날 오전 6시까지의 시간을 야간으로 정의하고자 한다.

3.2. 변수 종류 및 내용

본 연구에서는 사용된 주요 변수는 2007~2010년의 주·야간의 총 교통사고건수, 주도로/부도로 차선 수, 주도로/부도로 중차량 교통량, 주도로/부도로 일반차량 교통량, 주도로/부도로 유·출입구 수, 주도로/부도로 좌회전 전용차선의 유·무, 주도로/부도로 횡단보도 유·무, 교차로 중심에서 주도로/부도로 횡단보도까지의 거리,

주도로/부도로 횡단보도 유·무, 주도로/부도로 좌회전 신호 유·무 및 조명시설 유·무의 변수가 고려되었다. 이 중, 총 교통사고 건수 및 교통량관련 변수를 제외한 나머지 기하구조 변수는 동일한 변수가 적용되었다.

중속변수는 주·야간의 총 사고건수로 평균값은 1.97건(주간), 2.26건(야간)이며, 최대 사고건수는 18건(주간), 17건(야간)이다. 중차량 및 일반차량의 교통량의 경우 로그 값으로 변환하여 적용하였으며, 세부적인 변수의 설명 및 기초통계량은 Table 2와 같다. 또한 변수간의 상관관계를 분석하기 위해 신뢰수준을 99%에서 총 사고건수를 중속변수로 상관분석을 실시한 결과 주간의 경우 주도로의 중차량 교통량, 주도로의 차선수, 교차로 교통량 등이 사고와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 야간의 경우 주도로의 중차량 교통량, 부도로의 진·출입구수 등이 사고와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났으며 그 결과는 Table 3과 같다. 하지만 본 연구에서 사용한 변수는 기존의 연구에서 모두 사고와 관련이 있는 변수이기에 모든 변수를 분석에 사용하였다.

Table 2. Variable Description and Statistics

Variable (Abbreviation)	Description(unit)	day				night			
		Mean	Std.Dev.	Minimum	Maximum	Mean	Std.Dev.	Minimum	Maximum
TOTACC	total accident	1.97	3.09	0	18	2.26	3.74	0	17
MAHEAVY	logarithm of heavy vehicle volume on major road	3.84	0.83	1.97	5.46	3.58	0.81	1.89	5.41
MIHEAVY	logarithm of heavy vehicle volume on minor road	2.64	0.80	0.80	4.06	2.25	1.12	0.34	4.30
TOTADT	logarithm of traffic volume except heavy vehicle	8.06	1.32	5.62	10.25	7.37	1.43	4.22	9.69
<i>same variables for day and night time</i>		Mean		Std.Dev.		Minimum		Maximum	
MALANE	number of lanes on major road	3.44		1.51		1		6.5	
MILANE	number of lanes on minor road	1.85		1.32		1		6.5	
MAENT	number of entrance/exit on major road	1.66		1.44		0		6	
MIENT	number of entrance/exit on minor road	1.89		1.08		0		5	
MAONLE	existence of left-turn exclusive lane on major road(yes:1,otherwise:0)	0.71		0.45		0		1	
MIONLE	existence of left-turn exclusive lane on minor road(yes:1,otherwise:0)	0.46		0.50		0		1	
MAPED	existence of pedestrian crossing on major road(yes:1,otherwise:0)	0.89		0.30		0		1	
MAPEDD	main road pedestrian crossing distance	14.34		18.60		0		123.15	
MIPED	existence of pedestrian crossing on minor road(yes:1,otherwise:0)	0.82		0.38		0		1	
MIPEDD	minor road pedestrian crossing distance	18.6		11.23		0		35.8	
MALESIG	existence of left-turn signal on major road(yes:1,otherwise:0)	0.74		0.43		0		1	
MILESIG	existence of left-turn signal on minor road(yes:1,otherwise:0)	0.74		0.43		0		1	
LIGHT	existence of lighting(yes:1,otherwise:0)	0.94		0.22		0		1	

Table 3. Result of Correlation Analysis

day		night	
	TOTACC		TOTACC
TOTACC	1	TOTACC	1
MAHEAVY	0.322	MAHEAVY	0.169
MIHEAVY	0.093	MIHEAVY	-0.027
TOTADT	0.233	TOTADT	0.086
MALANE	0.231	MALANE	0.057
MILANE	0.172	MILANE	-0.093
MAENT	-0.268	MAENT	0.154
MIENT	0.067	MIENT	-0.208
MAONLE	0.214	MAONLE	-0.140
MIONLE	0.154	MIONLE	-0.176
MAPED	-0.180	MAPED	-0.035
MAPEDD	-0.018	MAPEDD	-0.060
MIPED	-0.185	MIPED	0.109
MIPEDD	0.283	MIPEDD	-0.064
MALESIG	0.240	MALESIG	0.003
MILESIG	0.208	MILESIG	-0.003
LIGHT	-0.003	LIGHT	-0.053

source : pearson correlation coefficient

4. 모형 개발 결과 및 비교

사고 예측모형 개발은 통계프로그램 NLOGIT 3.0을 이용하였으며, 총 사고건수를 종속변수로 주간과 야간으로 나누어 STEPWISE 방법으로 최적 변수를 선정하여 사고 예측모형을 개발하였다.

4.1. 주간 모형개발 분석 결과

주간 사고 예측모형의 경우 분석결과는 Table 3과 같다.

분산계수값은 0.936으로 도출되었고, 이는 통계적으로 유의함을(t -value=3.031) 보여 포아송 모형보다 음이항모형이 적합한 것으로 나타나, 본 연구에서는 음이항모형의 결과값을 제시하고자 한다. 도출된 계수의 한계효과 및 탄력성값은 Table 4와 같으며 이를 통해 독립변수의 변화가 사고발생(종속변수)에 미치는 상대적인 영향을 알 수 있다.

총 9개의 변수가 통계적으로 유의한 것으로 도출되었으며(t -value \geq 1.96), 부도로의 횡단보도의 유·무 및 횡단보도까지와의 거리변수의 경우 교통사고 발생에 음의 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 이들을 제외한 주도로 차선수, 주·부도로의 중차량 교통량, 일반차량

의 교통량 등의 변수의 경우 교통사고에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Table 4. Modeling Estimation Result (Day Time)

Variable	Coefficient	Standard Error	t-ratio	p-value
Constant	-0.118	0.837	-0.141	0.888
MALANE	0.433	0.166	2.604	0.009
MAHEAVY	0.759	0.254	2.988	0.003
TOTADT	0.434	0.193	2.253	0.024
MIENT	0.400	0.152	2.628	0.009
MAONLE	1.837	0.784	2.343	0.019
MAPEDD	-0.055	0.022	-2.527	0.012
MIPED	-2.085	0.731	-2.852	0.004
MIPEDD	0.096	0.023	4.244	0.000
MALESIG	1.210	0.557	2.172	0.030
Dispersion Parameter	0.936	0.309	3.031	0.0024

Number of intersections : 156
 ρ^2 : 0.457

교통량의 탄력성은 0.434~0.759의 값을 보여 사고 발생에 비탄력적임을 보여준다(탄력성 < 1). 그리고 차선수의 경우에도 주도로에서 한 차선이 증가하면 사고 발생에는 0.862의 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 도로에서의 노출량(exposure)가 증가하면, 교통사고도 증가한다는 기존의 연구결과와 동일함을 알 수 있다.

그리고 부도로의 유·출입구 개수가 하나 더 증가하는 경우에는 사고발생에 0.797의 영향을 주는 것을 알 수 있으며, 이는 차량의 유·출입으로 인한 상충지점 증가 및 빈번한 보행자 통행이 원인인 것으로 판단되며, 주도로의 경우에는 유의하지 않은 것으로 나타났다.

주도로에 설치된 좌회전 전용차선이 설치가 되었을 때, 설치가 되지 않은 곳에 비해 사고 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 좌회전 전용차로의 길이에 대한 변수는 유의하지 않은 것으로 나타나 사고에 미치는 영향은 알 수 없지만, 좌회전 전용차로의 길이가 충분히 제공되지 못하여 좌회전 차량이 신호대기 시, 직진차량과의 상충이 발생할 가능성이 있기에 이런 결과가 도출된 것으로 보인다.

횡단보도의 경우 흥미로운 결과가 도출되었는데, 주도로에 설치된 횡단보도의 경우에는 교차로의 중심에서 거리가 멀어질수록 사고가 감소하는 것으로 나타났다.

교차로에 인접한 교차로의 경우에는 우회전을 시도하려는 차량 등으로 인한 보행자와 차량 간의 상충이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 부도로에 설치된 횡단보도는 횡단보도가 설치되지 않았을 경우에 비해 사고 감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만, 부도로의 경우에는 교차로 중심에서 떨어져 설치된 경우 사고 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 주도로에 비해 차선수가 작아 보행자들의 무단횡단이 주도로에 비해 빈번하게 발생할 가능성이 있기에 사고 증가에 영향을 미치는 것으로 판단된다(NCHRP 17-27).

그리고 주도로에 설치된 신호등은 설치되지 않았을 경우에 비해 사고 증가에 영향을 주는 것으로 나타났다. 신호주기에 대한 자료의 부족으로 세부적인 분석이 미비하였으나, 현시(phase)의 증가 등으로 인하여 교차로의 정체, 혼잡 및 안전을 감소시키는 것(Stamatiadis, et. al., 2015)으로 판단되며, 향후 교차로 신호 설계 시 운영 측면에서 뿐만 아니라, 안전 측면에서도 고려되어야 할 사항이다.

Table 5. Average Marginal Effects and Elasticities (Day Time)

Variable	Marginal Effect	Elasticity
MALANE	0.862	1.515
MAHEAVY	1.513	0.759
TOTADT	0.866	0.434
MIENT	0.797	0.723
MAONLE	3.661	0.841
MAPEDD	-0.109	-0.592
MIPED	-4.155	-7.048
MIPEDD	0.191	1.586
MALESIG	2.411	0.702

4.2. 야간 모형개발 분석 결과

야간 사고 예측모형의 분석결과는 Table 6과 같다. 분산계수값은 0.593으로 도출되었고, 이는 주간 사고 예측모형과 같이 통계적으로 유의함을(t -value=3.106) 보여 포아송 모형보다 음이항모형이 적합한 것으로 나타났다.

총 11개의 변수가 교통사고에 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 부도로의 출·입구수, 주도로 좌회전 전용차로 유무, 교차로 중심에서 주·부도로 횡단보도까지의 거리, 주도로 좌회전 신호 유무, 조명 유무의 경우 교통사고 발생에 음의 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 이들을 제외한 주도로 중차량 교통량, 일반차량 교통량, 부도로 횡단보도거리, 주도로 좌회전 신호

유무 등의 변수가 교통사고에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

주도로 중차량 교통량의 경우, 탄력적임을 보였다(탄력성>1). 중차량의 경우에는 혼잡한 주간시간을 피해 야간시간에 과속으로 운행하는 경우가 빈번하기에 교통사고 발생에 탄력적임을 알 수 있다. 그리고 일반차량의 교통량은 비탄력적임을 보였지만, 앞선 주간 사고 예측모형의 결과와 같이 노출량이 증가하면 사고발생도 증가하는 것을 알 수 있다.

부도로의 유·출입구 개수는 주간 사고 예측모형과는 반대의 결과가 도출되었다. 이는 주간시간에 비해 보행자의 통행이 적기 때문인 것으로 유추할 수가 있다.

설치된 횡단보도의 경우에도 주도로에 설치된 횡단보도는 이격거리가 길어질수록 사고가 감소하는 것으로 도출되었으며, 부도로에 설치된 횡단보도의 사고발생 증가는 주도로와 비교하여 보행자들의 빈번한 무단횡단, 차량의 빈번한 과속 및 신호위반으로 인한 것으로 판단된다.

보행자들의 안전을 위해 설치된 보행자 섬의 경우에도 설치되지 않았을 경우보다 설치된 경우에서 사고발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 횡단보도의 경우에서처럼 야간에는 차량의 빈번한 과속 및 신호위반으로 인한 차량과 보행자간의 상충, 그리고 주간에 비해 야간에는 시거 미확보로 인하여 보행자 섬이 주행차량에는 충돌요소로 작용할 수 있는 것으로 판단된다.

Table 6. Modeling Estimation Result (Night Time)

Variable	Coefficient	Standard Error	t-ratio	p-value
Constant	-8.874	2.376	-3.734	0.0002
MAHEAVY	2.120	0.474	4.471	0.000
TOTADT	0.838	0.183	4.58	0.000
MIENT	-2.068	0.333	-6.203	0.000
MAONLE	-5.722	0.956	-5.987	0.000
MAPEDD	-0.028	0.009	-3.072	0.002
MIPED	5.282	1.119	4.721	0.000
MIPEDD	-0.187	0.036	-5.154	0.000
MALESIG	3.865	0.853	4.53	0.000
ISLAND	0.805	0.410	1.963	0.050
MAPED	-1.496	0.739	-2.028	0.043
LIGHT	-1.483	0.660	-2.247	0.025
Dispersion Parameter	0.593	0.191	3.106	0.002
Number of intersections : 156 ρ^2 : 0.475				

Table 7. Average Marginal Effects and Elasticities (Night time)

Variable	Marginal Effect	Elasticity
MAHEAVY	4.806	2.120
TOTADT	1.899	0.838
MIENT	-4.690	-3.925
MAONLE	-12.974	-4.108
MAPEDD	-0.064	-0.405
MIPEd	11.975	0.995
MIPEdD	-0.424	-3.495
MALESIG	8.762	0.979
ISLAND	1.825	0.553
MAPED	-3.393	-3.466
LIGHT	-3.362	-3.405

마지막으로 조명의 경우에는 무조명과 비교하여 사고 감소에 영향을 주는 것으로 나타났다. 조명은 야간의 시거 확보에 영향을 주기 때문이기도 하지만, Park(2013)의 연구에서처럼 조명의 설치형태 및 조도 등에 대한 다양한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

4.3. 주·야간 모형개발 비교

개발된 2개의 교통사고 모형 중 주간 사고모형의 경우 총 17개의 변수 중 9개의 변수가 유의한 것으로 나타났으며, 야간 사고모형의 경우 11개의 변수가 유의한 것으로 나타났다.

차량의 노출량과 관계된 변수 중, 중차량 교통량(야간)이 사고발생에 탄력적임을 알 수 있고, 기타 변수들 또한 야간의 지방부 교차로의 경우 주간에 비해 주행속도가 상대적으로 높고, 신호위반이 빈번하며, 또한, 보행자들의 통행량 및 형태가 다르기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 수도권 비도시지역의 신호교차로를 대상으로 주간과 야간의 교통사고모형을 개발하고 비교함으로써 비도시지역의 성격을 가진 지역에서의 교통사고에 영향을 미치는 주간과 야간의 특성을 파악하고자 하였다.

사고모형개발을 위해 수도권의 비도시지역인 강화, 경기 김포, 양주, 고양의 156개소의 교차로를 대상으로 총 17개의 변수(교통사고건수, 주·부도로 차선 수, 주·부도로 중차량 교통량 로그 값, 일반차량 교통량 로그

값, 주·부도로 출·입구수, 주·부도로 좌회전 전용차선 유무, 주·부도로 횡단보도 유무 및 교차로 정지선에서 횡단보도까지의 거리, 주·부도로의 좌회전 신호 유무)에 대한 자료를 구축하여 분석하였다.

주간 교통사고 예측모형의 경우 9개의 변수가 사고에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 그 중 부도로의 횡단보도의 유·무와 횡단보도까지의 거리가 교통사고 발생에 음의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

야간 교통사고 예측모형은 총 11개의 변수가 교통사고에 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 부도로의 유·출입구수, 주도로 좌회전 전용차로 유·무, 주/부도로 횡단보도까지의 거리, 주도로 좌회전 신호 유·무, 조명 유·무가 교통사고 발생에 음의 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 주간 교통사고 예측모형과 같이 도로에서의 노출량(exposure)이 증가함에 따라 교통사고 증가에 영향을 미친다는 기존의 결과와 동일한 결과이지만 중차량 교통량의 경우에는 탄력적임을 알 수 있다.

그리고 기타 변수의 경우에는 주간과 야간의 차량과 보행자의 주행 및 통행패턴의 차이에서 나타난 결과로 보여지지만, 보다 많은 변수(주행속도, 현시 수 및 시간, 조명설치 형태 등)가 자료의 한계로 분석에 사용되지 못하였다. 그리고 사고건수 측면이 아니라 사고발생형태(crash type), 심각도(severity) 측면에서의 연구도 고려되지 못하였는데, 향후 연구에서는 이와 같은 자료들을 활용한 다양한 분석이 이루어진다면 신호차로에서의 사고감소에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

사용된 자료가 panel data 형태이긴 하지만, 기하구조의 경우, 개선사항 등을 표현하기에는 한계가 있어, unbalanced panel data 형태로 진행되어, 시간의 흐름을 반영하기에는 한계가 있었다. 그리고 이는 기존의 분석방법(포아송·음이항 등)은 사용된 자료의 시간적인 흐름이나 지점·구간이 가지고 있는 특성을 하나의 고정된 계수로 가정하고 있어 다양성을 충족 시키지 못하고 있다. 이에 향후 연구에서는 지점·구간이 가진 다양한 특성을 반영할 수 있는 방법론(random parameter)을 적용한 분석이 이루어진다면 지점·구간의 특성을 고려한 모형이 도출될 수 있을 것이다.

BIBLIOGRAPHY

Hoong Chor Chin, Mohammed Abdul Quddus(2001), "Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersection", Accident Analysis & Prevention, Vol.35, No.2, pp.253-259.

Highway Safety Manual Knowledge Base(2009), NCHRP 17-27.

- James A. Bonneson(1993), "Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highway", *Transportation Research Record* 1401, pp.83-89.
- Jovanis P.P. and Chang, H.L. (1986), "Modeling the Relationship of accidents to miles traveled", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1068, pp. 42-51.
- Kim ec, Lee dm, Kim eh, 2008. Development of traffic accident frequency model for evaluation safety at rural signalized intersections. *International Journal of Highway Engineering* v.10, no.4, 53-63.
- (김응철, 이동민, 김도훈, 2008, 지방부 신호교차로 안전성 판단을 위한 사고예측모형 개발 한국도로학회논문집 v.10, no.4, 53-63)
- Kim, Kyunghwan, Park, Byungho, 2010. Developing the Accident Models on the Arterial Link Sections in Cheongju, *International Journal of Korea Planners Association*, Vol. 45. 153-164.
- (김경환, 박병호, 2010. 청주시 가로구간의 교통사고모형 개발, 한국국토도시계획학회논문집, Vol. 45, 153-164)
- Lee, Dongmin, Kim, dohoon, Sung, nakmoon, 2009. Development of a Accident Frequency Prediction Model at Rural Multi-Lane Highways, *International Journal of Korean society transportation*, Vol. 27. 207-215.
- (이동민, 김도훈, 성낙문, 2009. 지방부 다차로 도로구간에서의 사고 예측모형 개발 (대도시권 외곽 및 구릉지 특성의 도로구간 중심으로), 대한교통학회지, Vol. 27, 207-215)
- Lim, junbum, Lee, soobum, Kim, junki, Kim, junghyun, 2014. A Development of Traffic Accident Estimation Model by Random Parameter Negative Binomial Model: Focus on Multilane Rural Highway, *International Journal of Korean society transportation*, Vol. 32. 662-674.
- (임준범, 이수범, 김준기, 김정현, 2014. 확률모수를 이용한 교통사고예측모형 개발: 지방부 다차로 도로를 중심으로, 대한교통학회논문집, Vol. 32, 662-674.)
- Oh, Juttaek, Yun, ilsoo, Hwang jeongwon, Han, eum, 2014. A Comparative Study On Accident Prediction Model Using Nonlinear Regression And Artificial Neural Network, Structural Equation for Rural 4-Legged Intersection, *International Journal of Korean society transportation*, Vol. 32. 266-279.
- (오주택, 윤일수, 황정원, 한음, 2014. 비선형 회귀분석, 인공신경망, 구조방정식을 이용한 지방부 4지 신호교차로 교통사고 예측모형 성능 비교 연구, 대한교통학회지논문집, Vol. 32, 266-279)
- Park, Byungho, Han, sangook, Park, jungsoon, 2007. Comparative Analysis on the Characteristics and Models of Traffic Accidents by Time Range in the Case of Cheongju 4-legged Signalized Intersections, *Korean society transportation*.
- (박병호, 한상욱, 박정순, 2007. 시간대에 따른 교통사고 특성 및 교통사고모형 비교분석 (청주시 4지 신호교차로를 중심으로), 대한교통학회 57회 학술발표대회)
- Park, heahyo, 2006. A Study on Development of Traffic Accident Prediction Model by Regional Characteristics, master degree of myung-ji uni.
- (박혜효, 2006. 지특성에 따른 교통사고 예측모형 개발에 관한 연구, 명지대학교 석사학위논문)
- Park, Jeayoung, 2011. Development of Macroscopic Traffic Accident Analysis Model by Regional Characteristic, master degree of seoul national uni
- (박재영, 2011. 지역적 특성을 반영한 거시적 교통사고 분석모형 개발, 서울시립대학교 석사학위논문)
- Park M. H., Noh, K. S, Kim, J.M.(2014), "Relationship Between Accidents and Non-homogeneous Geometrics: Main Line Sections on Interstate", *J. Korean Soc. Transp.* Vol.32, No.2, pp.170-178, 2014.
- (박민호, 노관섭, 김종민, 2014. 기하구조의 비동질성을 고려한 교통사고와의 관계: 고속도로 본선구간을 중심으로, 대한교통학회, Vol. 32, 170-178)
- Park M. H.(2013), "Relationship between Interstate Highway Accidents and Heterogeneous Geometrics by Random Parameter Negative Binomial Model - A case of Interstate Highway in Washington State, USA", *J. Korea Soc. of Civil Eng.*, Vol.33, No.6, pp.2437-2445.
- (박민호, 2013. 확률적 모수를 고려한 음이항모형에 의한 교통사고와 기하구조와의 관계: 미국 워싱턴 주(州) 고속도로를 중심으로, 대한토목학회, Vol. 33, 2437-2445)
- Poch, M. and Mannering, F. (1996). "Negative Binomial Analysis of Intersection-Accident Frequencies." *J. Transp. Eng.*, 122(2), 105-113.
- Sarah C. Joshua and Nicholas J. Garber (1990), "Estimating truck accident rate and involvements using linear and Poisson regression models", *Transportation Planning and Technology*, Vol. 15, No. 1, pp.41-58.
- Stamatiadis, N., Hedges, A., and Kirk, A(2015), "A Simulation-based Approach in Determining Permitted Left-turn Capacities", *Transportation Research Part C(online version)*.
- Yoo, dooseon, Oh, sangjin, Kim, taeyoung, Park, byungho, 2008. Comparative Analysis on the Characteristics and Models of Traffic Accidents by Day and Nighttime in the Case of Cheongju 4-legged Signalized Intersections, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 3. 332-339.
- (유두선, 오상진, 김태영, 박병호, 2008. 주·야간 교통사고의 특성 및 사고모형 비교분석: 청주시 4지 신호교차로를 중심으로, 대한토목학회, Vol. 28, 181-189)