

임의확률모수 포아송 모형을 이용한 무신호 3지교차로 교통사고 모형 구축에 관한 연구

A Study on Traffic Accident Model Using Random Parameters Poisson at 3-legged Non-signalized Intersections

김태호 Kim Taeho*, 박민호 Park Minho**

Abstract

This study aims to develop a statistical accident model at 3-legged non-signalized intersections with random parameters Poisson method to find the elements affecting traffic accident frequencies. Meanwhile, non-signalized intersections have been treated relatively poorly compared to signalized intersections, which result in fewer studies than signalized intersections. In addition, the previous count models with fixed parameters are not enough to explain the integrated variations in terms of spatial-temporal characteristics road segments or points have. This drawback of the traditional count models results in the underestimation of the standard error of the derived coefficient and finally affects the low reliability of the derived model. To diminish this problem, this study uses the random parameters which take into account the heterogeneity of all the observations. As a result of the analysis, 13 variables were found to have statistically significant variables, 10 variables of which were found to have fixed parameters, and 3 variables (# of entrance/exit on major road, Existence of pedestrian crossing on minor road, and Existence of median barrier on major road) were found to have random parameters indicating the effects on accident frequencies could be varied at each intersection.

Keywords: Random Parameter, Poisson Model, Heterogeneity, 3-legged Non-signalized Intersection

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

국내 자동차 등록대수는 1997년 1천만 대 돌파 이후 급속도로 증가하여 2014년 말 기준 2천만 대에 도달하였다. 이에 따라 2015년 기준 자동차 1대당 세대수

는 1.00세대로 자동차 등록대수와 거의 비슷한 수준으로 나타났다. 이처럼 자동차가 우리 생활과 문화의 필수품으로 자리 잡으면서 삶의 질은 향상되었으나, 여전히 높은 교통사고와 사회적 비용이 발생하고 있는 것이 현실이다.

2015년 기준 국내 교통사고 발생건수는 23만 2,035건, 사망자수는 4,621명으로 나타났으며, 자동차 1만

* 인천발전연구원 교통물류연구실 초빙연구위원(제1저자) | Research Fellow, Transportation & Logistics Research Division, Incheon Development Institute | Primary Author | thkim5588@idi.re.kr

** 인천발전연구원 교통물류연구실 연구위원(교신저자) | Research Fellow, Transportation & Logistics Research Division, Incheon Development Institute | Corresponding Author | mhpark@idi.re.kr

대당 사망자수는 1.9명, 인구 10만 명당 사망자수는 9.1명으로 나타났다. 이는 OECD 회원국 평균(교통사고 발생건수 12만 1,856건, 사망자수 2,423명, 자동차 1만 대당 사망자수 0.8명, 인구 10만 명당 사망자수 5.5명)을 상회하는 높은 교통사고 및 사망건수로 우리나라가 교통안전에 매우 취약함을 보여주고 있다(도로교통공단 교통사고분석시스템). 또한 이로 인해 발생하는 우리나라 총 교통사고 비용을 살펴보면, 2015년 기준 약 49조 5천억 원으로 국내총생산(GDP)의 약 3.17%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 미국(1.85%), 일본(1.35%), 영국(1.91%) 등 외국과 비교해도 교통사고로 인해 발생하는 비용이 매우 높은 것을 알 수 있다(심재익 2017).

이처럼 높은 교통사고와 불필요한 사회경제적 비용을 줄이기 위해서는 교통사고를 예방할 수 있는 최적의 도로환경시스템이 구축되어야 하며, 그 출발점은 도로망 체계를 구성하는 교차로의 안전대책이라고 할 수 있다. 교차로의 경우 크게 형태와 운영방식에 따라 분류할 수 있으며, 대표적으로 신호교차로와 무신호교차로로 구분할 수 있다.

특히, 무신호교차로의 경우 통행의 우선권이 부여되는 신호교차로와 달리 양보, 정지 등 교통제어 방법 혹은 운전자의 개별적인 판단과 차량 간의 상황에 따라 통행우선권이 결정되어 높은 사고 위험성을 내포하고 있다.

하지만 대개 무신호교차로의 경우 교통량이 적은 소규모 도시지역이나 생활권 이면도로가 교차하는 지점에 설치되어 신호교차로에 비해 상대적으로 소홀하게 다루어져 왔다. 또한 신호교차로에 비해 낮은 사고 발생 빈도로 분석을 위한 사고 자료의 수집이 어렵고, 모형 구축에서 많은 시간이 소요되거나, 모형의 설명력이 떨어지는 등 여러 통계적 한계가 발생함에 따라 관련 연구도 미진한 상황이다.

최근 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 통계적 접근방식이 연구되고 있으며, 그중 한 가지 방법이 기존 통계 모형에 임의확률모수(Random Parameter)를 이용하는 것이다. 이는 모든 관측값에 대한 이질성(Heterogeneity, 도로구간 혹은 교차로 등 각각의 특성)을 고려할 수 있어 모형을 통해 추정된 계수의 표준오차값이 과소추정되거나, 각 계수의 t -값이 과도하게 산정되어 모형의 설명력이 낮아지는 한계를 극복할 수 있으므로 보다 현실적인 교통사고 발생의 원인 및 특성 파악이 가능하다.

이에 본 논문에서는 임의확률모수를 이용하여 무신호 3지교차로의 교통사고와 영향요인 간의 상호 관계를 분석하여, 이를 통해 무신호 3지교차로의 교통안전 향상을 위한 방안 마련과 사고감소를 위한 맞춤형 개선에 기여하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

본 논문에서는 수도권 28개 무신호 3지교차로를 대상으로 교통사고 모형을 구축하고자 한다. 모형 구축을 위한 교통량, 각종 기하구조 및 안전시설물 자료 등은 현장조사를 통해 수집하였으며, 교통사고 자료는 도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS)에서 수집된 4년간(2007~2010년)의 사고 자료를 활용하였다.

연구의 방법으로 우선, 이론적 고찰을 통해 분석방법론을 정립하고 기존 문헌과의 차별성을 제시하였다. 그리고 수집한 무신호 3지교차로 지점 자료의 기초통계 및 변수특성을 분석하여 사고 모형을 위한 기초 자료를 구축하였다. 최종적으로는 변수의 유의성 검토를 통해 본 논문에 가장 적합한 모형을 구축하여 무신호 3지교차로별 이질적 특성을 고려한 사고빈도와 영향요인 간의 상호 관계를 분석하였다.

II. 이론적 고찰

1. 교통사고 모형

교통사고의 원인과 결과를 분석하고 예측하는 데 주로 통계적 기법이 사용되어 왔으며, 대표적인 통계분석 모형으로는 선형 회귀(Linear Regression), 포아송 회귀(Poisson Regression), 음이항 회귀(Negative Binomial Regression) 등이 있다. 이 중 선형 회귀는 교통사고 발생에 영향을 미치는 요인을 분석하는 데 가장 기본적으로 사용되는 모형으로 사고요인 변수와 사고율 간의 평균적인 관계를 잘 표현할 수 있다는 장점이 있다(최재성, 이정호 1995). 그러나 선형 모형은 추정 시 변수값이 증가할수록 분산값 또한 증가하게 되어 회귀식의 기본가정인 등분산성(Homoscedasticity)을 위반하게 되며, 그 결과 도출된 계수의 유의수준에 변화를 가져와 구축된 모형의 신뢰성을 낮추는 경우가 발생하게 된다. 또한 교통사고의 특성상 일정 기간 동안 사고가 발생하지 않거나 사고건수가 적을 경우 사고건수와 같은 양(Positive)의 값을 음(Negative)의 값으로 예측할 수 있는 단점이 있다(Jovanis and Chang 1986). 이는 원점감제 회귀분석, Log Normal 회귀분석, 0의 값을 제거하고 분석하는 기법(Left-truncating the Accident Frequency at Zero) 등을 사용하여 해결할 수 있으나, 이러한 방법은 모형 추정에 사용되는 표본수가 줄어들 뿐만 아니라, 사고건수가 적을 경우 모형의 개념이 타 모형에 비해 열악해질 수 있다. 또한 선형 모형의 경우 산발적이고 무작위로 발생하는 교통사고의 특성을 적절하게 반영할 수 없어 사고 데이터의 오차항(Error Terms, Residual)이 정규분포(Normal Distribution)의 형태로 나타나지 않는 등의 문제점이 발생할 수 있다. 이에 따라 최근 교통사고 모형 연구에서는 이산적 확률변수(Discrete Random Variable)로 해

석하는 포아송 모형과 음이항 모형이 활용되고 있다(임준범, 이수범, 김준기, 김정현 2014; 이상혁, 박민호, 우용한 2015).

포아송 모형은 분산을 평균의 함수로 간주하여 종속변수의 분포를 1개의 변수를 이용하여 설명하기 때문에 간편한 이점이 있다. 그러나 '분산과 평균이 같아야 한다'는 중요한 기본 전제를 가지고 있는 포아송 모형은 분산이 평균보다 큰 과분산(Overdispersion)이 발생할 경우 정규성을 확보하기 어렵고, 이를 설명할 수 없는 단점이 있다. 특히, 교통사고빈도의 경우 과분산의 형태를 보이는 경우가 많이 발생하게 되는데 이를 보완하기 위해 포아송 모형에 감마분포를 따르는 오차항(ϵ_i)을 추가함으로써 '분산과 평균이 같아야 한다'라는 포아송 모형의 제약조건을 완화시킬 수 있는 음이항 모형이 사용되고 있다. 포아송 모형과 음이항 모형의 적용은 모형 구축에 이용되는 자료의 특성에 따라 달라지게 되며, 우도함수(Likelihood Function)를 적용한 최우추정법(Standard Maximum Likelihood Method)에 의해 예측된 과분산 계수(Overdispersion Parameter: α)값이 통계적으로 0과 다른 경우에는 음이항 모형을, 0인 경우 포아송 모형을 선택하면 된다. 그러나 이러한 기존 모형은 고정모수(Fixed Parameters)를 적용한 모형으로 교통사고 자료의 시·공간적 변화를 고려하지 못하는 동질성(Homogeneity) 문제를 내포하고 있다.

즉, 수집된 지점 혹은 구간의 교통 및 기하구조 특성이 다름에도 불구하고 추정된 계수값을 모두 고정된(Fixed, Constant) 값으로 적용함으로써 모형을 통해 추정된 계수의 표준오차값이 과소 추정되고 이로 인해 모형의 설명력과 신뢰성이 떨어지는 결과를 초래하고 있다(임준범, 이수범, 김준기, 김정현 2014; 박민호 2013; 윤병조 2006). 이러한 시간적 변화 혹은 지점 및 구간이 가지고 있는 공간적인 변화에 대한 이질성

과 관련된 문제는 임의확률모수를 이용함으로써 접근이 가능하다(이규훈, 오주택, 박정순 2017).

2. 임의확률모수 모형

임의확률모수를 이용한 모형이 기존의 모형과 가장 다른 특징은 계수값이 고정되어 있지 않다는 것이다. 일반적으로 모델링은 관측되거나 수집된 자료를 활용하여 최대한의 정보를 면밀하게 분석하는 것으로 모형의 계수가 고정된 값이 아니라 공간별(i) 혹은 시간별(t)로 다양하다고 가정하여 접근한다면 자료의 이질성을 고려한 각 계수값을 도출할 수 있게 된다.

예를 들면, T기간 동안 I개의 지점 혹은 도로구간에서 발생한 사고건수 y_{ti} 의 확률밀도함수의 일반화된 수식은 <식 1>과 같다.

$$P(y_{ti}|x_{ti}, \beta_i) = g(\cdot) \quad \text{<식 1>}$$

$$t=1, 2, \dots, T$$

$$i=1, 2, \dots, I$$

여기서 $g(\cdot)$ 는 적절한 사고건수 분포의 밀도함수인데, 이는 시간과 공간에 따라서 다양하게 나타나게 된다. 즉 '어느 특정분포가 임의확률모수의 지속적인 변화를 가장 잘 나타낸다고 가정하는 것이며, 이러한 가정에 기반한 우도함수는 고정된 계수가 아닌 변화하는 계수로부터 계산된 확률을 기반으로 해서 <식 2>와 같이 표현될 수 있다.

$$\beta_i = \beta + \Delta h_i + \Gamma_{w_{ti}} \quad \text{<식 2>}$$

β : 추정계수(Coefficient)

h_i : 변수들의 평균값에 대한 이질성

$\Gamma_{w_{ti}}$: 평균으로부터의 확률편차

여기서, 첫 번째 항인 β 는 임의확률모수의 평균값이며, 두 번째 항은 이질성에 관한 항인데, h_i 는 지점 혹은 도로구간의 이질성이 유도된 관측변수들이고, Δ 는 이질성 변수들의 추정계수값이다. 특히 Δ 는 계수에 영향을 미치는 외생변수를 포함하며, 만약 변수 평균값 내에 이질성이 외생변수로 존재하지 않는다면 이 항은 사라지게 될 것이다. 세 번째 항인 $\Gamma_{w_{ti}}$ 는 평균으로부터의 확률편차(Random Deviation)에 관한 항인데, 이항을 이용함으로써 모형화된다. 즉 모든 이질성은 독립변수의 특성에 따라 균일분포(Uniform Distribution), 정규분포, 또는 로그정규(Log-normal)분포 등으로 가정하여 모형화될 것이다. 만약 $\Gamma_{w_{ti}}$ 가 통계적으로 유의하면, 계수값이 표준편차값과 함께 각 구간별로 상이한 값이 추정되며, 통계적으로 유의하지 않으면 일반적인 고정모수 포아송/음이항 모형이 적용되어 계수값이 구간에 상관없이 고정된 값으로 추정된다.

<식 2>를 포아송 모형에서는 $\lambda_i|\phi_i = \text{EXP}(\beta X_i)$, 음이항 모형에서는 $\lambda_i|\phi_i = \text{EXP}(\beta X_i + \epsilon_i)$ 의 형태로 나타나며, 사고발생확률 $P(Y=y_i)$ 은 $P(Y=y_i|\phi_i)$ 가 된다. 이를 이용한 우도함수는 <식 3>과 같이 표현된다.

$$LL = \sum_i \ln \int_{\phi_i} g(\phi_i) P(n_i|\phi_i) d\phi_i \quad \text{<식 3>}$$

$g(\cdot)$: ϕ_i 의 우도확률밀도함수(Probability Density Function)

임의확률모수를 이용한 우도함수의 계산은 임의확률모수의 분포에 대한 포아송/음이항 모형의 수치적분(Numerical Integration) 과정이 복잡하여 계산하는 데 오랜 시간이 소요되므로 시뮬레이션에 기반한 최대우도함수방법(Simulation-based Maximum Likelihood

Method)이 일반적으로 사용되고 있다.

가장 보편적인 방법은 Halton Draws를 이용한 방법으로 이는 2, 3, 5, 7, 11과 같은 소수(Prime Number)에서 시작해 구획을 만들어서 빈칸을 채우는 방식으로 Draw하는 것이다. 예를 들어, 소수를 2로 시작하면 0에서 1까지 구획을 2구간으로 나누는데, 첫 번째 Draw는 1/2이 된다. 그리고 0에서 1/2까지의 구간에서 1/2을 하므로 두 번째 Draw는 1/4이 된다. 그리고 1/2에서 1까지의 1/2이 되는 점은 3/4이므로 세 번째 Draw는 3/4이 된다. 이러한 방식으로 구획을 미리 나눈 다음 Draw하는 방법으로 기존의 여러 연구에서 가장 효율적으로 계수를 추정할 수 있는 방법으로 사용되어 왔으며, 정확한 계수 추정을 위해서는 최소 200회 이상의 Halton Draw 분석방법이 필요하다고 알려져 있다 (Bhat 2003; Milton, Shankar and Mannering 2008).

3. 기존 문헌 고찰 및 차별성

임의확률모수 모형을 적용한 기존 연구를 살펴보면, 이규훈, 오주택, 박정순(2017)은 지방부 무신호교차로를 대상으로 고정모수를 이용한 가산모형(FPM)과 임의확률모수를 이용한 가산모형(RPM)을 구축하여 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 분석 결과 임의확률모수를 이용한 모형이 고정모수를 이용한 모형보다 상대적으로 미세하지만 향상된 설명력을 보인다고 하였다. 임준범, 이수범, 김준기, 김정현(2014)은 임의확률모수를 이용한 분석을 통해 교통사고 발생에 미치는 영향 정도를 다양하게 해석할 수 있었으며, 기존 음이항 모형에서 한 방향(양 또는 음)으로만 해석해야 하는 한계점을 어느 정도 개선할 수

있다고 하였다. 또한 박민호(2013)는 임의확률모수를 이용한 음이항 모형이 기존 고정모수를 이용한 음이항 모형에 비해 설명력이 높게 나타났다고 하였다. Chen and Tarko(2014)와 Dindu and Veeraragavan(2011)은 운전자와 교통 특성이 이질성을 가지기 때문에 고정된 계수 모형은 편향된(Bias) 결과를 야기할 수 있어 임의확률모수 모형을 통해 분석하였고 Venkataraman, Ulfarsson, Shankar and Oh(2011)의 고정모수를 이용한 모형은 표준화 에러가 낮게 추정되어 t-value가 과도하게 추정되는 한계가 발생하므로 임의확률모수 모형이 필요하다고 하였다.

위와 같이 최근 교통사고 모형에서 임의확률모수를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 대부분의 연구가 도시부의 신호교차로이거나 3지와 4지의 구분 없는 지방부 무신호교차로를 대상으로 하고 있어 교통사고의 지역적 특성과 교차로 유형별 차이에 따른 영향력을 설명하기에는 한계가 있다. 또한 교통사고의 경우 시·공간적 특성 및 모형에 활용된 변수에 따라 교통사고에 영향을 미치는 원인이 다르게 나타날 수 있다. 특히, 수도권 무신호교차로를 대상으로 한 연구는 미흡한 실정으로 본 논문은 기존 연구에서 다루지 않은 수도권 무신호교차로 중 3지교차로를 대상으로 기존 연구들과 차별성을 두고자 하였다.

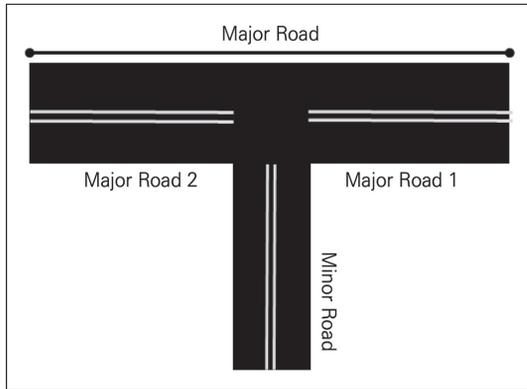
III. 모형 구축

1. 자료 구축 및 분석

본 논문은 모형 구축을 위해 수도권에 위치한 28개의 무신호 3지교차로¹⁾에서 발생한 총 4년간(2007~2010

1) 교차로 분석 시 주/부도로 연장기준이나 횡단도로로부터의 이격거리 등 명확한 교차로 범위에 대한 제시가 필요하지만, 본 논문에서는 분석을 위해 필요한 변수만을 현장조사를 통해 수집함에 따라 교차로 범위에 대한 정확한 수치적 조사가 이루어지지 못하여, 수치적 제시는 제외하였음.

Figure 1 _ Definition of 3-legged Non-signalized Intersection



년)의 교통사고 자료와 해당 교차로의 교통량, 기하구조 및 안전시설물 자료를 수집하여 불균형 패널(Unbalanced Panel)²⁾ 자료로 구축하였다. 수집된 자료는 <Figure 1>과 같이 주도로 및 부도로를 기준³⁾으로 교통사고건수, 차선수, 중/일반차량 방향별 교통량, 진/출입구수⁴⁾, 좌/우회전 전용차선 유무, 횡단보도 설치 유무, 중앙분리대 유무, 보행섬 유무, 버스정류장 유무, 우측 길어깨 폭 등이다.

수집된 자료에 대한 기초통계 분석결과, 교차로 사고건수는 연평균 0.7건, 최대 8건이 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 주도로 차로수는 평균 1.9차로, 최대 6차로, 부도로의 경우 평균 1.6차로, 최대 4차로인 것으로 나타났다. 교통량은 주도로 및 부도로의 방향별 중차량 및 일반차량으로 구분하여 수집하였는데 3지교차로이기에 주도로 1에서 우회전 교통량, 주도로 2에서 좌회전 교통량, 그리고 부도로에서 직진 교통량은 '0'이다. 차량의 진/출입구수는 주도로의 경우 평균 0.8~0.9개, 최대 3개, 부도로의 경우 평균 0.9개,

최대 4개가 있는 것으로 나타났다. 우측 길어깨 폭은 주도로의 경우 평균 0.4~0.5m, 부도로의 경우 0.4m인 것으로 나타났다. 그 외 변수인 좌/우회전 전용차로, 횡단보도, 중앙분리대, 조명, 보행섬, 버스정류장, 차량 속도제약 시설, 좌회전 유도선 등은 설치 유무에 대한 판단을 위해 더미변수로 적용하였다(<Table 1> 참조). 이와 같이 변수는 주도로 및 부도로로 구분하여 수집하였지만 주도로의 경우 교통사고에 발생을 미치는 요소를 주도로 1, 주도로 2로 구분하는 것보다 하나의 통합된 요소로 분석하는 것이 합리적이라 판단되어, 모형 구축 시 주도로 1과 2로 구분된 변수를 하나의 주도로로 통합된 변수로 적용하고 부도로의 경우에는 부도로로 적용하고자 한다.

2. 모형 구축 및 결과

1절에서 소개한 변수들을 이용하여, 기존의 고정모수를 이용한 모형과 임의확률모수를 이용한 모형을 구축하고자 한다. 우선, 포아송 모형과 음이항 모형의 선택은 앞서 설명한 바와 같이, 모형 구축과정에서 계산되는 과분산 계수값(Dispersion Parameter: α)에 따라 선택될 수 있다. 과분산 계수값이 통계적으로 유의미한($\alpha \neq 0$) 경우에는 음이항 모형을, 통계적으로 무의미한($\alpha = 0$) 경우에는 포아송 모형을 선택하면 된다. 본문에서 도출된 과분산 계수값은 0.588(p-value = 0.222, t-statistic = 1.22)로 신뢰수준 90%에서도 무의미함을 보여($\alpha = 0$) 포아송 모형이 음이항 모형보다 적합한 것으로 나타났다.

그리고 임의확률모수를 이용한 모형의 계수 추정

2) 교통사고 및 교통량 자료는 연도별 수집이 가능하나, 기타 변수(교차로 또는 안전시설물 개선으로 인한 공사 등의 변화는 현실적으로 수집하기에 어려움이 있었기 때문이다.

3) 주도로 및 부도로의 구분은 동일한 노선번호(주도로)에 다른 노선이 접속한 경우(부도로)로 정의하였음.

4) 무신호 3지교차로와 인접한 이전/후 교차로까지의 진/출입구수.

Table 1_ Definition and Statistics of Major Variables

Variable Descriptions	Mean	Std. Dev	Min.	Max.
# of Accidents per Year	0.741	1.438	0	8
# of Lanes on Major Road 1	1.893	1.051	1	6
# of Lanes on Major Road 2	1.929	1.002	1	5
# of Lanes on Minor Road	1.643	0.721	1	4
# of Heavy Vehicles Driving Straight on Major Road 1	75.071	71.081	4	348
# of Left-turn Heavy Vehicles on Major Road 1	34.714	52.548	0	204
# of Right-turn Heavy Vehicles on Major Road 1	0.000	0.000	0	0
# of Heavy Vehicles Driving Straight on Major Road 2	79.000	64.343	0	252
# of Left-turn Heavy Vehicles on Major Road 2	0.000	0.000	0	0
# of Right-turn Heavy Vehicles on Major Road 2	16.000	35.486	0	152
# of Heavy Vehicles Driving Straight on Minor Road	0.000	0.000	0	0
# of Left-turn Heavy Vehicles on Minor Road	19.143	31.635	0	136
# of Right-turn Heavy Vehicles on Minor Road	24.286	35.969	0	128
# of Vehicles(Except Heavy Vehicles) Driving Straight on Major Road 1	139.357	89.284	8	364
# of Left-turn Vehicles(Except Heavy Vehicles) on Major Road 1	49.071	58.318	0	212
# of Right-turn Vehicles(Except Heavy Vehicles) on Major Road 1	0.000	0.000	0	0
# of Vehicles(Except Heavy Vehicles) Driving Straight on Major Road 2	131.714	88.104	28	328
# of Left-turn Vehicles(Except Heavy Vehicles) on Major Road 2	0.000	0.000	0	0
# of Right-turn Vehicles(Except Heavy Vehicles) on Major Road 2	29.857	57.813	0	272
# of Vehicles(Except Heavy Vehicles) Driving Straight on Minor Road	0.000	0.000	0	0
# of Left-turn Vehicles(Except Heavy Vehicles) on Minor Road	35.429	60.363	0	252
# of Right-turn Vehicles(Except Heavy Vehicles) on Minor Road	44.143	62.639	0	260
# of Entrance/Exit on Major Road 1	0.911	0.935	0	3
# of Entrance/Exit on Major Road 2	0.839	0.886	0	3
# of Entrance/Exit on Minor Road	0.946	1.064	0	4
Existence of Left-turn Exclusive Lane on Major Road 1(yes: 1, otherwise: 0)	0.179	0.385	0	1
Existence of Left-turn Exclusive Lane on Major Road 2(yes: 1, otherwise: 0)	0.000	0.000	0	0
Existence of Left-turn Exclusive Lane on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	0.214	0.412	0	1
Existence of Right-turn Exclusive Lane on Major Road 1(yes: 1, otherwise: 0)	0.000	0.000	0	0
Existence of Right-turn Exclusive Lane on Major Road 2(yes: 1, otherwise: 0)	0.036	0.186	0	1
Existence of Right-turn Exclusive Lane on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	0.214	0.412	0	1
Existence of Pedestrian Crossing on Major Road 1(yes: 1, otherwise: 0)	0.224	0.432	0	1
Existence of Pedestrian Crossing on Major Road 2(yes: 1, otherwise: 0)	0.375	0.486	0	1
Existence of Pedestrian Crossing on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	0.393	0.491	0	1
Existence of Median Barrier on Major Road 1(yes: 1, otherwise: 0)	0.929	0.259	0	1
Existence of Median Barrier on Major Road 2(yes: 1, otherwise: 0)	0.929	0.259	0	1
Existence of Median Barrier on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	0.607	0.491	0	1
Existence of Lighting System on Major Road 1(yes: 1, otherwise: 0)	0.804	0.399	0	1
Existence of Lighting System on Major Road 2(yes: 1, otherwise: 0)	0.732	0.445	0	1
Existence of Lighting System on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	0.714	0.454	0	1
Existence of Pedestrian Island on Major Road 1(yes: 1, otherwise: 0)	0.000	0.000	0	0
Existence of Pedestrian Island on Major Road 2(yes: 1, otherwise: 0)	0.179	0.385	0	1
Existence of Pedestrian Island on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	0.214	0.412	0	1
Existence of Bus Stop on Major Road 1(yes: 1, otherwise: 0)	0.107	0.311	0	1
Existence of Bus Stop on Major Road 2(yes: 1, otherwise: 0)	0.304	0.462	0	1
Existence of Bus Stop on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	0.107	0.311	0	1
Existence of Speed Restriction Facility on Major Road 1(yes: 1, otherwise: 0)	0.107	0.311	0	1
Existence of Speed Restriction Facility on Major Road 2(yes: 1, otherwise: 0)	0.036	0.186	0	1
Existence of Speed Restriction Facility on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	0.179	0.385	0	1
Existence of Left-turn Delineation System on Major Road 1(yes: 1, otherwise: 0)	0.107	0.311	0	1
Existence of Left-turn Delineation System on Major Road 2(yes: 1, otherwise: 0)	0.000	0.000	0	0
Existence of Left-turn Delineation System on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	0.107	0.311	0	1
Right Shoulder Width on Major Road 1(M)	0.433	0.491	0	1.65
Right Shoulder Width on Major Road 2(M)	0.516	0.485	0	1.7
Right Shoulder Width on Minor Road(M)	0.364	0.428	0	1.5

Table 2_Results of Fixed- and Random-Parameters Poisson Model

Variable	Fixed Parameters		Random Parameters	
	Coefficient	T-statistic	Coefficient	T-statistic
Constant	3.06	3.60	3.16	3.11
# of Heavy Vehicles Driving Straight on Major Road	0.02	4.04	0.02	2.80
# of Left-turn Heavy Vehicles on Major Road	0.11	4.47	0.11	3.00
# of Left-turn Vehicles(Except Heavy Vehicles) on Major Road	0.09	4.54	0.09	2.96
# of Right-turn Vehicles(Except Heavy Vehicles) on Major Road	0.03	4.21	0.03	2.84
Existence of Left-turn Exclusive Lane on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	-4.83	-3.81	-4.98	-2.69
Existence of Right-turn Exclusive Lane on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	-5.31	-3.63	-5.43	-2.49
Existence of Pedestrian Crossing on Major Road(yes: 1, otherwise: 0)	-4.87	-4.58	-4.97	-3.13
Existence of Pedestrian Island on Major Road(yes: 1, otherwise: 0)	-2.11	-3.14	-2.18	-2.38
Existence of Bus Stop on Major Road(yes: 1, otherwise: 0)	8.15	4.09	8.26	2.71
Existence of Speed Restriction Facility on Major Road(yes: 1, otherwise: 0)	-3.23	-3.11	-3.44	-2.28
# of Entrance/Exit on Major Road	0.58	2.66	0.02	2.33
Standard Deviation of Parameter Distribution	N.A.	N.A.	0.36	6.53
Existence of Pedestrian Crossing on Minor Road(yes: 1, otherwise: 0)	2.66	4.00	1.02	2.26
Standard Deviation of Parameter Distribution	N.A.	N.A.	0.90	5.82
Existence of Median Barrier on Major Road(yes: 1, otherwise: 0)	-3.41	-3.81	-0.89	-6.67
Standard Deviation of Parameter Distribution	N.A.	N.A.	0.51	3.91
Log-likelihood with Constant Only	-158.08			
Log-likelihood at Convergence	-106.69		-102.48	
Rho Square(ρ^2)	0.32		0.35	
Observations	28			

Note: N.A.=Not Applicable.

시에는 랜덤분포 항에서 여러 가지 형태의 확률분포 (정규분포, 균일분포, 이항분포, 로그정규분포 등)가 고려될 수 있다. 본 논문에서는 정규분포가 통계적으로 가장 유의한 값을 가지는 것으로 나타났다. 이는 <식 2>에서 설명되었듯, 추정된 계수의 표준편차값이 통계적으로 유의하면($\beta \neq 0$, $t\text{-statistic} \geq |1.96|$) 해당 변수는 이질성을 가지는 것으로 나타나 구간/지점별로 사고발생/감소에 다른 영향을 미치게 되고, 유의하지 않다면($\beta = 0$, $t\text{-statistic} < |1.96|$) 일반적인 포아송/음이항 모형과 같이 모든 지점 및 구간에서 고정

된(동일한) 값을 가지게 되어, 구간과 지점에 상관없이 사고발생/감소에 동일한 영향을 미치게 된다. 모형 구축 결과(<Table 2> 참조)에서도 볼 수 있듯이 고정모수 모형에서는 변수의 표준편차값이 존재하지 않게 된다.

또한 구축된 모형의 설명력은 로그-우도함수값을 통해 알 수 있다. 모형의 로그-우도함수값 -158.08에서 고정모수 모형은 -106.69, 임의확률모수 모형은 -102.48의 값을 가지는 것으로 나타났으며, 우도비(ρ^2)의 경우도 고정모수 모형에서는 0.32, 임의확률모

수 모형에서는 0.35로 나타나 임의확률모수를 이용한 포아송 모형이 상대적으로 미세하지만 향상된 설명력을 보이는 것으로 나타났다.

이처럼 동일한 변수를 사용한 2가지 모형 중 임의확률모수 모형의 설명력이 더 높은 이유는 고정모수 모형에서는 고려할 수 없었던 교차로별 이질성이 모형을 통해 가능해짐으로써 높아진 것으로 해석 가능하다.

본 논문에서 구축한 고정모수 모형과 임의확률모수 모형의 변수별 계수값은 차이가 있으나, 부호가 동일하게 도출되어 각 변수가 교통사고 증가 혹은 감소에 동일한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 고정모수 모형에 비해 상대적으로 설명력이 높고, 지점별 이질성을 고려할 수 있는 임의확률모수를 이용한 포아송 모형을 통해 결과에 대한 설명과 해석을 제시하고자 한다.

분석결과 총 13개의 변수(주도로 중 차량 직진 및 좌회전 교통량, 주도로 일반차량 좌회전 및 우회전 교통량, 부도로 좌회전 및 우회전 전용차선 유무, 주도로 횡단보도 및 보행섬 설치 유무, 주도로 버스정류장 설치 유무, 주도로 차량 속도제약시설 설치 유무, 주도로 진출입구수, 부도로 횡단보도 설치 유무, 주도로 중앙분리대 설치 유무)가 95%의 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 도출되었다. 이 중 3개의 변수(주도로 진출입구수, 부도로 횡단보도 설치 유무, 주도로 중앙분리대 설치 유무)는 교차로별 교통사고 발생에 다른 영향을 미치는 이질성을 가지는 변수로 나타났고 나머지 변수는 이질성이 없는 것으로 나타났다. 이질성(임의확률모수)을 가지는 변수들은 정규분포를 따르고 계수의 표준편차값이 통계적으로 유의

함을 보임에 따라 평균과 표준편차값을 이용하여 확률을 계산할 수 있다.

우선, 주도로 진출입구수의 경우 평균값 0.02, 표준편차값 0.36을 가지는 것으로 도출되어, 정규분포에 의하면 51.69%의 교차로에서는 사고발생, 48.31%의 교차로에서는 사고감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 차량이 본선에서(으로) 진출입하는 과정에 발생하는 차량-차량, 혹은 차량-보행자와의 상충이 원인인 것으로 판단된다. 따라서 교차로별 진출입구수, 진출입구 위치, 진출입 교통량, 보행 교통량 등 포괄적인 검토를 통해 교통사고 발생 및 감소에 대한 보다 면밀한 분석이 필요하다.

부도로에 설치된 횡단보도의 경우 평균값 1.02, 표준편차값 0.90을 가지는 것으로 도출되어, 정규분포에 의하면 87.03%의 교차로에서는 사고발생, 12.97%의 교차로에서는 사고감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 앞서 주도로에 설치된 횡단보도가 고정모수를 가지고 사고감소에 영향을 주는 결과와 상반된 결과가 도출되었는데, 이는 부도로의 경우 주도로에 비해 도로폭, 차선수 및 교통량이 적어 보행자들의 무단횡단에 대한 시도 자체가 주도로에 비해 빈번하게 발생할 가능성(Bahar, Parkhill, Tan and Philp et al. 2009)이 높기 때문인 것으로 판단된다.

주도로에 설치된 중앙분리대 설치 유무의 경우 평균값 -0.89, 표준편차값 0.51을 가지는 것으로 도출되어 정규분포에 의하면 95.86%의 교차로에서는 사고감소, 4.14%의 교차로에서는 사고발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 대향차로의 교통류를 분리 시킴으로써 사고를 감소시키는 효과가 있기 때문인 것으로 판단된다.

5) 종속변수(사고건수)의 변동성을 설명하는 것으로, 회귀 모형의 R^2 과 비슷한 개념. $1-[LL(\text{convergence})/LL(\text{constant only})]$ 로 계산되며, ρ^2 은 1에 가까울수록 잘 설명한다고 할 수 있음.

이외 나머지 고정모수를 가지는 변수들을 살펴보면, 주도로의 교통량은 교통사고 발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 일반적으로 교통량의 경우 도로에서의 노출량(Exposure)과 관련이 있는 변수로 교통량이 증가하면 교통사고 발생도 증가한다는 기존의 연구결과와 일치함을 알 수 있다. 특히 주도로의 좌/우회전 교통량 변수가 교통사고 증가에 영향을 미치는 변수로 도출되었는데, 이는 무신호교차로의 특성상 대향 직진차량(좌/우회전 시) 및 보행자와의 상충(좌/우회전 시)으로 인한 것으로 판단된다.

부도로에 설치된 좌/우회전 전용차선의 경우 교통사고 감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 회전차량을 위한 대기공간이 제공됨으로써 교통상황 판단에 대한 시간적, 공간적인 여유가 제공되기 때문인 것으로 판단된다. 반면 주도로에 설치된 좌/우회전 전용차선은 통계적으로 유의하지 않아 모형 구축에서는 제외되었는데, 주도로의 경우 부도로와 달리 전용차선의 설치 비율이 낮기 때문인 것으로(<Table 1> 참조) 판단된다.

주도로에 횡단보도의 설치에 사고감소에 영향을 미치는 것으로 나타난 반면, 버스정류장의 경우 사고 발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 교통량과 보행자 통행량이 높은 주도로의 경우 횡단보도 설치로 보행자의 통행안전을 보장하고 차량의 통행속도를 감소시킬 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 주도로에 위치한 버스정류장은 버스 정차에 따른 차량의 빈번한 진로 변경으로 차량 간의 빈번한 상충 위험에 노출되어 교통사고 증가에 영향을 주는 것으로 판단된다. 따라서 보다 안전한 통행과 사고감소를 위해서는 횡단보도 및 Bus-bay와 같은 도로시설물 설치를 통해 교통안전을 보장해 주는 것이 필요하다.

더불어 과속방지턱, 속도단속 카메라 등 차량속도 제약 시설물도 교통사고 감소에 영향을 주는 변수로

도출되었다. 이는 교차로 통과 전 차량의 속도를 감소 시킴으로써 무신호교차로의 안전한 통행을 유도하여 차량 간 추돌 및 진로 변경으로 인한 상충 가능성을 감소시킬 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 향후 연구

본 논문은 수도권 무신호 3지교차로를 대상으로 각각의 지점들이 가진 이질적 특성을 파악하고 사고와 영향요인 간의 보다 면밀한 상호 관계를 알아보고자 임의확률모수를 이용한 모형을 구축하여 분석하였다.

모형 구축 결과 과분산 계수값이 통계적으로 유의하지 않아 음이항 모형보다 포아송 모형이 적합한 것으로 나타났다. 또한 임의확률모수를 이용한 모형과 고정모수를 이용한 모형의 설명력을 비교한 결과 임의확률모수를 이용한 모형이 고정모수를 이용한 포아송 모형보다 미약하지만 향상된 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

총 13개의 변수가 통계적으로 유의한 것으로 도출되었으며, 이 중 3개의 변수는 정규분포를 따르는 임의확률모수를 가지는 것으로 나타나 교차로별로 교통사고 발생에 다른 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이외 10개의 변수는 교차로별 특성에 관계없이 교통사고 발생빈도에 동일한 영향을 미치는 고정모수를 가지는 것으로 나타났다.

무신호교차로의 경우 신호교차로와 달리 운전자 간의 개별적인 판단과 교통상황에 따라 통행하고 있다. 이에 따라 통행에 대한 명확한 개념이 정립되지 않은 대다수의 운전자들에게 혼란을 초래하여 사고발생 가능성을 높이게 된다. 따라서 무신호교차로의 안전성 향상을 위해서는 통행에 대한 명확한 개념정립과 함께 교차로별 이질적 특성 파악에 따른 사고예방 대책마련이 필요하다. 이는 앞서 모형 구축 결과에서

도 언급되었듯, 교차로 내 공간적 여유가 가능하다면 운전자에게 안전한 통행을 위한 대기장소 및 시간적 여유가 제공될 수 있는 회전전용차선을 설치하고, 속도감시 카메라 및 과속방지턱 등 속도제어 시설물 설치, 독립적인 버스정류장 마련, 그리고 진/출입구수에 따른 통행방법 마련(일방통행유도) 등을 통해 무신호 3지교차로의 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문의 한계점은 다음과 같다. 현재 기존 연구 대부분은 지방부 무신호교차로를 대상으로 하고 있거나 혹은 3지와 4지 구분 없이 포괄적으로 분석되어 지역적, 그리고 교차로 유형별 차이에 따른 영향력을 설명하기에는 한계가 있다. 이에 현실에서 발생하는 교통사고의 특성을 좀 더 명확하게 예측하고자 본 논문은 임의확률모수 포아송 모형을 통해 아직까지 기타 도로구간 및 교차로에 비해 연구가 미비한 무신호 3지교차로의 사고 모형을 구축하는 데 의의를 두고자 하였다. 그러나 본 논문은 수도권에 위치한 28개의 무신호 3지교차로만을 대상으로 함에 따라 모형에서 도출된 이질적 요인들이 전체 무신호 3지교차로의 대표성을 가진다고 보기에 다소 무리가 있다.

따라서 보다 광범위한 자료의 수집을 통한 심층적인 연구가 필요하며, 특히, 무신호교차로의 유형(3지 및 4지) 및 지역적(도시부 및 지방부) 세분화를 통한 면밀한 분석과 안전성 향상 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 연구결과, 동일한 시설물 또는 기하구조가 사고발생 및 감소에 영향을 미치지 않음을 알 수 있기에 각각의 교차로 특성에 맞는 시설물 또는 기하구조 설치를 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 그리고 수집된 자료 중 교통사고건수와 교통량 자료는 매년 최신 자료로 수집이 가능하였으나, 각종 기하구조 및 안전시설물 자료의 수집은 현실적인 어려움으로 인하여 불균형 패널(Unbalanced Panel) 자료의 형

태로 구축되었다. 따라서 시간적 변화를 적절하게 반영하지 못하고 있기에 향후 공간적 변화와 더불어 시간적 변화를 반영한 분석이 이루어진다면 기존의 획일적인 안전시설물 설치 혹은 기하구조의 변경이 아닌 교차로별 특성을 고려한 교차로 개선사업 및 안전대책 수립에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌 •••••

1. 도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS). <http://taas.koroad.or.kr/> (2018년 1월 15일 검색).
KoROAD Traffic Accident Analysis System. <http://taas.koroad.or.kr/> (accessed January 15, 2018).
2. 박민호. 2013. 확률적모수를 고려한 음이항모형에 의한 교통사고와 기하구조와의 관계-미국워싱턴주 고속도로를 중심으로. 대한토목학회논문집 33권, 6호: 2437-2445.
Park Minho. 2013. Relationship between interstate highway accidents and heterogeneous geometrics by random parameter negative binomial model-A case of interstate highway in Washington State, USA. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 33, no.6: 2437-2445.
3. 심재익. 2017. 2015년 교통사고비용 추정. Brief KOTI vol.9, 7호. 세종: 한국교통연구원. https://www.koti.re.kr/user/bbs/BD_selectBbs.do?q_bbsCode=1017&q_bbscttSn=20171106102327752&q_clCode=3&q_lwprtcCode=1&q_art=N&q_lang=kor (2017년 12월 31일 검색).
Shim Jaeik. 2017. Estimation of transport accident costs in 2015. Brief KOTI 9, no.7. Sejong: The Korea Transport Institute. https://www.koti.re.kr/user/bbs/BD_selectBbs.do?q_bbsCode=1017&q_bbscttSn=20171106102327752&q_clCode=3&q_lwprtcCode=1&q_art=N&q_lang=kor (accessed December 31, 2017).
4. 윤병조. 2006. 고속도로 인터체인지 연결로 유형에 따른 교통사고 예측모형개발. 박사학위논문, 아주대학교.
Yoon Byoungjo. 2006. *Development of Traffic Accident Forecasting Models by Interchange Ramp Types of Freeway*. Ph.D. diss., Ajou University.
5. 이규훈, 오주택, 박정순. 2017. Random Parameter를 이용한 지방부 무신호교차로 교통사고 예측모형개발. 한국ITS학회

- 논문지 16권, 4호: 64-75.
- Lee Kyuhoon, Oh Juraek and Park Jeongssoon. 2017. A development of traffic accident prediction model at rural unsignalized intersections using random parameter. *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems* 16, no.4: 64-75.
6. 이상혁, 박민호, 우용한. 2015. 임의효과를 고려한 도심지 교차로 교통사고모형 개발에 관한 연구. 한국ITS학회논문지 14권, 1호: 85-93.
- Lee Sanghyuk, Park Minho and Woo Yonghan. 2015. A study on developing crash prediction model for urban intersections considering random effects. *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems* 14, no.1: 85-93.
7. 임준범, 이수범, 김준기, 김정현. 2014. 확률모수를 이용한 교통사고건수 예측모형 개발. 대한교통학회지 32권, 6호: 662-674.
- Lim Joonbeom, Lee Soobeom, Kim Joonki and Kim Jeonghyun. 2014. Development of accident frequency estimation model using random parameter. *Journal of Korea Society of Transportation* 32, no.6: 662-674.
8. 최재성, 이점호. 1995. 4차선 도로의 설계요소에 대한 교통안전성 분석연구. 대한토목학회논문집 15권, 3호: 511-522.
- Choi Jaisung and Lee Jeomho. 1995. Traffic safety analysis of design elements on four-lane highways. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 15, no.3: 511-522.
9. Bahar, G., Parkhill, M., Tan, E., Philp, C., Morris, N., Naylor, S. and White, T. 2009. *Highway Safety Manual Knowledge Base*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
10. Bhat, Chandra R. 2003. Simulation estimation of mixed discrete choice models using randomized and scrambled Halton sequences. *Transportation Research Part B: Methodological* 37, no.9: 837-855.
11. Chen, E. and Tarko, A. P. 2014. Modeling safety of highway work zones with random parameters and random effects models. *Analytic Methods in Accident Research* 1: 86-95.
12. Dindu, R. R. and Veeragavan, A. 2011. Random parameter models for accident prediction on two-lane undivided highways in India. *Journal of Safety Research* 42, no.1: 39-42.
13. 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: 42-51.
14. Milton, J., Shankar, V. and Mannering, F. 2008. Highway accident severities and the mixed logit model: An exploratory empirical analysis. *Accident Analysis and Prevention* 40, no.1: 260-266.
15. Shankar, V., Mannering, F. and Barfield, W. 1995. Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis and Prevention* 27, no.3: 371-389.
16. Venkataraman N., Ulfarsson G., Shankar V., Oh, J. S. and Park, M. H. 2011. Model of relationship between interstate crash occurrence and geometrics: Exploratory insights from random parameter negative binomial approach. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2236: 41-48.

-
- 논문 접수일: 2018. 1. 10.
 - 심사 시작일: 2018. 1. 18.
 - 심사 완료일: 2018. 3. 6.

요약

주제어: 임의확률모수, 포아송 모형, 이질성, 무신호 3지교차로

통행의 우선권이 부여되는 신호교차로와 달리 무신호교차로의 경우 양보, 정지 등의 교통제어 방법은 운전자의 개별적인 판단과 차량 간의 상황에 따라 통행우선권이 결정되므로 높은 사고 위험성을 내포하고 있다. 그러나 무신호교차로의 경우 대개 교통량이 적은 소규모 도시지역이나 생활권 이면도로가 교차하는 지점에 설치되어 신호교차로에 비해 상대적으로 소홀하게 다루어져 왔다.

이에 본 논문은 임의확률모수를 이용한 모형을 통해 아직까지 기타 도로구간 및 교차로에 비해 연구가 미비한 무신호 3지교차로의 사고 모형을 구축하여 교통사고와 영향요인 간의 보다 면밀한 상호관계를 분석하였다. 모형 구축 결과 과분산 계수값이 통계적으로 무의미함을 보여($\alpha=0$) 포아송 모형이 음이항 모형보다 적합한 것으로 나타났다. 또한 임의확률모수를 이용한 모형과 고정모수를 이용한 모형의 설명력을 비교한 결과 임의확률모수 포아송 모형이 고정모수 포아송 모형보다 상대적으로 설명력이 높은 것으로 나타났다.

총 13개의 변수가 통계적으로 유의한 변수로 도출

되었으며, 이 중 3개의 변수(주도로 진출입구수, 부도로 횡단보도 설치 유무, 주도로 중앙분리대 설치 유무)는 정규분포를 따르는 임의확률모수를 가지는 변수로 나타나 교차로별로 교통사고 발생빈도에 서로 다른 영향을 미치는 것으로 나타났다.

일반적으로 무신호교차로의 경우 신호등의 통제에 따라 이동하는 신호교차로와 달리 운전자 개별적인 판단에 따라 이동하므로 통행에 대한 개념이 정립되어 있지 않은 대다수의 운전자들에게 많은 혼란을 초래하고 이로 인해 교통 상충의 위험성을 높여 사고 발생 가능성을 높인다. 따라서 무신호교차로의 안전성 향상을 위해서는 통행에 대한 명확한 개념 정립과 함께 교통사고 요인을 감소할 수 있는 방안 마련이 필요하다. 이는 모형 구축 결과에서 언급한 내용과 같이 교차로 내 안전한 통행을 위한 대기장소 및 시간적 여유가 제공되는 회전전용차선 설치, 속도감시 카메라 및 과속방지턱 등 속도제어 시설물 설치, 독립적인 버스정류장 마련 등과 같은 시설물 개선을 통해 무신호 3지교차로의 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.