J. Korean Soc. Transp.
Vol.33, No.6, pp.554-563, December 2015
http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2015.33.6.554

Journal of Korean Society of Transportation
pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Article

RPNB모형을 이용한 지방부 신호교차로 교통사고 모형개발

박민호[1] · 이동민[2*]

[1]한국건설기술연구원 도로연구소, [2]서울시립대학교 교통공학과

Developing an Accident Model for Rural Signalized Intersections Using a Random Parameter Negative Binomial Method

PARK, Min Ho[1] · LEE, Dongmin[2*]

[1]Highway & Transportation Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

[2]Department of Transportation Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

Abstract

This study dealt with developing an accident model for rural signalized intersections with random parameter negative binomial method. The limitation of previous count models(especially, Poisson/Negative Binomial model) is not to explain the integrated variations in terms of time and the distinctive characters a specific point/segment has. This drawback of the traditional count models results in the underestimation of the standard error(t-value inflation) of the derived coefficient and finally affects the low-reliability of the whole model. To solve this problem, this study improves the limitation of traditional count models by suggesting the use of random parameter which takes account of heterogeneity of each point/segment. Through the analyses, it was found that the increase of traffic flow and pedestrian facilities on minor streets had positive effects on the increase of traffic accidents. Left turning lanes and median on major streets reduced the number of accidents. The analysis results show that the random parameter modeling is an effective method for investigating the influence on traffic accident from road geometries. However, this study could not analyze the effects of sequential changes of driving conditions including geometries and safety facilities.

본 연구는 확률적 모수를 고려한 음이항 모형을 이용하여 지방부 신호교차로에서 발생한 교통사고에 대한 모형을 개발하는데 목적이 있다. 교통사고 모형개발에 사용되는 기존의 가산모형(대표적으로 포아송/음이항모형)의 단점은 시간적 변화 혹은 각 지점/구간이 가진 고유한 특성에 대한 변화를 통합하여 설명하지 못한다는 것이다. 이로 인해, 추정되는 계수의 표준오차가 과소추정되어 결과적으로 모형 전체의 신뢰성을 하락시킨다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 이 연구에서는 각 대상 지점/구간의 이질성을 고려 할 수 있는 random parameter를 적용하여 기존 가산모형의 한계점을 개선하였다. 분석결과 교통량의 증가와 는 부도로의 보행자 시설들은 사고발생 증가에 영향을 미치고, 좌회전 전용차로 및 중앙분리대는 교통사고 감소에 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구결과를 토대로 본 연구에서는 random parameter를 적용한 모형개발방법이 효과적임을 확인할 수 있었다. 하지만 본 연구에서는 기하구조의 변경 관련 자료의 부재로, 이들에 대한 영향까지는 확인하지 못한 한계가 있다.

Keywords

accident analysis, heterogeneity, marginal effect, random parameter negative binomial, rural intersection
사고 분석, 이질성, 한계효과, 확률적 모수를 이용한 음이항 모형, 지방부 교차로

* : Corresponding Author
dmlee@uos.ac.kr, Phone: +82-2-6490-2827, Fax: +82-2-6490-2819

Received 18 May 2015, Accepted 26 October 2015

Ⓒ Korean Society of Transportation
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

1. 연구의 배경 및 목적

교통사고의 발생 원인을 분석하기 위하여 다양한 통계적 방법을 이용한 노력이 있어왔다. 통계적 방법론은 교통사고 자료의 특성을 고려한(음이 아닌 정수) 가산모형(count models)이 주로 사용되어왔으며, 가산모형 중 음이항 모형(negative binomial)이 대표적으로 사용되어 왔는데, 이는 포아송 모형이 가지는 과산포(overdispersion)로 인한 문제의 해결이 가능하기 때문이다(Engel, 1984, Miaou, 1987, Maher, 1991). 그리고, 교통사고의 특성상, 교통사고 건수가 '0' 인 지점 혹은 구간이 많이 존재하는데, 이를 해결하기 위한 방법으로 영과잉 포아송/음이항 모형이(zero-inflated Poisson/Negative Binomial) 제안되기도 하였다 (Shankar et al., 1997). 하지만 또 다른 연구에서는 이러한 영과잉 모형의 교통사고 분석 적용에 대한 찬반 논란을 제기한 바 있다(Lord et al., 2007).

이와 같이 교통사고 발생 원인 분석을 위해 다양한 통계적 방법론이 발전되어 오고 있지만, 아직까지 해결하지 못한 문제들이 많이 존재하고 있다. 특히, 분석에 사용되는 지점 및 구간별로 가지고 있는 특성이 다양함에도 불구하고, 기존의 모형에서는 이러한 다양한 특성 즉, 이질성(heterogeneity)을 고려하지 못하고 있다. 기존의 모형 구축에서는 지점/구간별로 다양하고 상이하게 존재할 수 있는 요소들(독립변수)을 하나의 고정된 값(계수)을 가진다는 가정을 하고 있어, 현실을 반영하지 못하고 있기 때문이다. 이는 도출되는 계수의 t-값(t-value)을 과대 추정하게 되며(표준편차의 과소 추정), 결과적으로 도출된 모형의 신뢰성을 하락 시키는 주요 원인이 되어왔다(Venkataraman et al., 2011; Park, 2013).

이런 문제점은 이질성을 고려할 수 있는 random parameter를 적용함으로써 해결 할 수 있는 문제이다. 즉, 대상 지점/구간별로 사고발생에 미치는 영향이 고정되어 있다는 기존의 제약조건을 완화하여 모형을 구축하는 것이다.

이에 본 연구에서는 지방부 신호교차로를 대상으로 기존의 음이항 모형에 random parameter를 적용한 이질성을 고려하여 교통사고와 교차로의 기하구조와의 관계를 파악하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

이 연구는 국내 수도권에 위치한 지방부 신호교차로(인천 강화, 경기 김포, 파주 및 양주) 63개소를 대상으로 4년 동안(2007-2010년)의 교통사고 자료와 기하구조 자료를 이용하였다. 기하구조는 크게 차로수, 출입구수, 좌회전 전용 차로 및 전용신호 유/무, 횡단보도 유/무, 중앙분리대 유/무, 조명 유/무, 보행자 섬 유/무, 버스 정류장 유/무, 좌회전 유도선 유/무, 그리고 우측 길어깨폭이 주도로/부도로별로 구성되어 있으며, 교통량은 중차량과 일반차량의 년평균 일교통량(AADT)으로, 마지막으로, 교차로의 신호 주기로 구성되어 있다.

연구의 내용 및 방법을 연구 수행과정에 따라 정리하면 Figure 1과 같다.

첫째, 이 연구의 배경 및 목적을 제시한다. 둘째, 교통사고 모형에 대한 국내외 기존 문헌을 고찰한다. 셋째, 모형 구축에 사용된 관련 자료를 수집한다. 넷째, 수집된 자료를 이용하여 모형을 구축하고, 결과를 제시한다. 여기에는 변수별 한계효과(marginal effect)와 탄력성(elasticity)값을 사용한다. 마지막으로 연구의 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

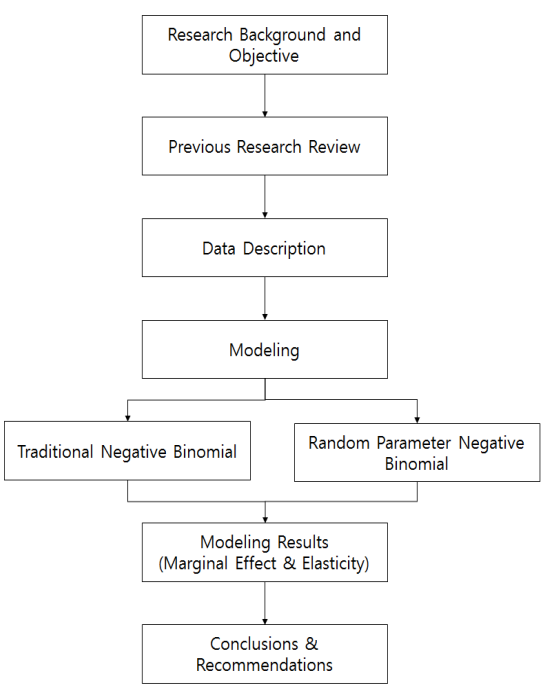

Figure 1. A research process

기존 문헌 고찰

1. 교통사고 모형

교통사고 자료는 음수가 아닌 값을 가지고 있어 통계적 분석을 위해 주로 가산모형(count model)이 사용되어 왔으며, 포아송/음이항 모형이 대표적으로 사용되는 가산모형이다. 과거 선형회귀식(linear regression model)이 적용되기도 하였으나, 변수별 계수(coefficient) 추정 시, 사용되는 변수값이 증가할수록 분산값이 증가하게 되어 선형회귀식의 기본 가정인 등분산성(homoscedasticity)을 충족하지 못하는 경우가 발생되었다. 이는 도출된 계수의 유의수준에 변화를 가져와 결과적으로 모형의 통계적 신뢰성을 낮추게 되었다, 그리고, 특정기간동안 사고가 발생하지 않았거나, 낮은 사고건수에 대해서는 음의 사고수를 예측하는 단점이 있었다(Jovanis and Chang, 1986). 이러한 문제점을 개선하기 위하여, 사고건수를 이산 확률 변수(discrete random variable)로 접근하여 해석하는 포아송 회귀식이 제안되었다(Jovanis and Chang, 1986, Joshua and Garber, 1990).

사고(n)가 도로 지점/구간(i)에서 발생할 확률($P(n_i)$)을 가지는 포아송 모형은 다음과 같다.

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

여기서, λ_i : 지점/구간 i 에서의 발생하는 평균사고건수($=\exp[\beta X_i]$)
β : 추정 계수(coefficient)
X_i: 지점/구간의 속성(기하구조, 교통량 등)

포아송 모형은 평균(mean)과 분산(variance)이 같아야 한다($E[n_i]=VAR[n_i]$)는 기본 전제로 인하여, 사용되는 자료의 특성에 의해 이러한 기본 전제를 만족하지 않는 경우가 발생할 수 있다. 특히, 교통사고건수의 경우, 대부분의 경우에서, 분산값이 평균값보다 큰 과분산(overdispersion)의 형태를 보이는 경우가 발생하게 되는데 이러한 문제점을 보완하기 위해, 포아송 모형에서 감마분포를 따르는 오차항(ε_i)이 추가되어, 음이항 모형은 다음과 같은 형태로 사용된다.

$$\lambda_i=\mathrm{EXP}(\beta X_i+\varepsilon_i) \quad (2)$$

여기서, $\mathrm{EXP}(\varepsilon_i)$: 평균값 1과 분산값 α를 따르는 감마분포(gamma-distribution)를 가지는 오차항

음이항 모형은 기존의 포아송 모형에서 오차항의 추가($VAR[n_i]=E[n_i]+\alpha E[n_i]^2$)로 인하여, 분산이 평균과 같아야 하는 기본 전제조건을 완화시킬 수 있게 된다. 포아송/음이항 모형의 적용은 분산계수값(α)이 통계적으로 0과 다르면 음이항 모형을 선택하고, 그렇지 않으면 포아송 모형을 선택하면 된다(Washington et al., 2003).

하지만, 이러한 전통적인 포아송/음이항 모형은 시간적 변화 혹은 지점/구간이 가지고 있는 이질성이 반영되지 못한다. 이에 Shankar et al.(1998)는 추세변수(trend variable)를 적용하였으나, 이질성에 패널 효과(panel effect)가 존재할 경우, 관측되지 않은 이질성(unobserved heterogeneity)을 도출하지 못한다. 이를 해결하기 위한 방법으로 Green(2007)은 자료가 가진 이질성(heterogeneity)을 random parameter를 이용하여 모의 최대 우도함수산정 방법(simulated maximum likelihood estimation)으로 접근하였고, random parameter를 적용하기 위한 계수(β)는 다음의 식과 같이 랜덤 분포함을 포함하여 표현된다.

$$\beta_i=\beta+\phi_i \quad (3)$$

여기서, ϕ_i : 랜덤 분포항(randomly distributed term)-정규분포, 균일분포, 이항분포, 로그정규분포 등

식(3)은 포아송 모형에서는 $\lambda_i|\phi_i=\mathrm{EXP}(\beta X_i)$, 음이항 모형에서는 $\lambda_i|\phi_i=\mathrm{EXP}(\beta X_i+\varepsilon_i)$의 형태로 표현 되며, 이를 이용한 우도함수(log-likelihood)는 다음과 같이 표현 된다.

$$LL=\sum_{\forall i}\ln\int_{\phi_i} g(\phi_i)P(n_i|\phi_i)d\phi_i \quad (4)$$

여기서, $g(\cdot)$: ϕ_i의 확률밀도함수 (probability density function)

Random parameter를 이용한 식(4)의 우도함수 계

산은 Random parameter의 분포에 대한 포아송/음이항 모형에서의 수치적분(numerical integration)과정이 매우 복잡하여 계산 시간이 오래 소요되므로, 모의 최대우도함수 방법(simulation-based maximum likelihood method)이 사용되고 있다. 가장 일반적으로 사용되는 방법은 Halton draws이며, 기존문헌에서 이 방법이 가장 효율적으로 계수를 추정할 수 있는 방법이라고 증명되었다(Bhat(2003); Train(1999); Milton et al.(2008)).

도출되는 계수는 랜덤 분포항의 통계적 유의성 판단에 따라서 결정되는데, 통계적으로 유의하면 도출된 계수값이 표준 편차값과 함께 각 지점/구간별로 상이한 값으로 나타나며(이질성을 가진다), 통계적으로 유의하지 않다면 기존의 음이항 모형과 같이 계수값이 지점/구간에 관계없이 고정된 값(fixed coefficient)으로 추정된다.

그리고, 모형 구축 후에는 사용된 독립변수가 종속변수(교통사고 발생건수)에 미치는 영향을 파악하는 과정이 필요한데, 도출된 계수자체로서는 그 영향력을 파악하기가 어렵다. 이를 위해 Shankar et al.(1995)은 사용된 변수의 특성을 고려하여, 계수의 탄력성(elasticity)과 한계효과(marginal effect)를 사용할 것을 권고하였다. 탄력성이란 독립변수가 1%변화할 때의 변화(%)하는 사고건수(λ_{ij})로 해석할 수 있으며, 다음과 같이 정의된다.

$$E_{x_{ijk}}^{\lambda_{ij}} = \frac{\partial_{\lambda_{ij}}}{\lambda_{ij}} \times \frac{\chi_{ijk}}{\partial_{x\,ijk}} \tag{5}$$

포아송 혹은 음이항모형에 사용되는 식 : log-linear 형태($\ln(y) = \alpha + \beta x$)에서는 다음과 같이 탄력성이 계산된다.

$$\frac{\partial y}{y} = \beta \partial x \tag{6}$$

따라서, 탄력성은 최종적으로 $\beta\,\bar{X}$로 표현된다.

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

식(5)와 식(6)은 변수가 연속변수(continuous variable)인 경우에 적용 가능하며, 더미(dummy) 혹은 지시변수(indicator variable)의 경우에는 적절하지 않다. 이 경우에는 pseudo 탄력성을 적용해야 하는데, 이는 지시/더미 변수의 변화에 따른 사고발생 건수의 변화(%)를 나타내는 것으로 다음과 같이 계산된다.

$$E_{x_{ijk}}^{\lambda_{ij}} = \frac{\exp(\beta) - 1}{\exp(\beta)} \tag{7}$$

그리고, 한계효과의 경우에는 한단위가 변화할 때 사고건수에 미치는 변화량으로 탄력성과 비슷한 개념이지만, 탄력성의 단위는 %, 한계효과는 한단위의 변화라는 데 차이점이 있다.

2. Random Parameter 음이항 모형

교통분야에서 이질성을 고려한 연구는 Shankar et al.(1998)에서 RENB(Random Effects Negative Binomial)을 이용하여 중앙분리대를 침범한 사고에 관한 연구에서 시작되었다. 이 연구에서는 이질성을 추세변수를 이용하여 변수의 계수값이 아닌 상수값에서 도출되도록 하였다. Chin et al.(2003)은 관측되지 않은 이질성(unobserved heterogeneity)과 시계열 상관(serial correlation)의 분석을 위해 RENB모형을 싱가포르 교차로에 적용하였다. Washington et al.(2010)에서는 도출된 계수값이 관측 자료에 대하여 다양한 값을 나타내어야 하는 경우에도 이를 고정된 값이라고 가정하여 제약할 경우(constraint), 일관성이 없고(inconsistent) 편향된(biased) 결과가 도출된다고 하였다.

국내의 경우에는 Park(2013)이 미국 워싱턴 주의 고속도로를 대상으로 random parameter 음이항 모형을 구축하였으며, 기존의 음이항 모형보다 설명력 측면에서 발전되었음을 증명하였다. Lee et al.(2014)에서는 미국 워싱턴 주의 고속도로 인터체인지 구간에서 발생한 교통사고와 기하구조와의 관계파악을 위해 random parameter 음이항 모형을 적용하였다.

이상의 random parameter 음이항 모형과 관련한 기존연구 모두에서 전통적인 음이항 모형보다 설명력이 향상되었음을 증명하였고, 비록 설명력이 비슷하더라도, 변수의 이질성을 고려할 수 있는 random parameter 음이항 모형의 사용을 권장하였다. 그리고, 국내의 경우에는 random parameter를 이용한 분석이 활발하게 진행되지 않을 것을 알 수 있으며, 이 연구에서는 국내의 지방부 신호교차로를 대상으로 random parameter를

적용한 연구를 진행함으로써, 다양한 대상으로 확대되기를 기대해 본다.

모형 구축

1. 자료 구축

이 연구에서 고려된 지방부 신호교차로는 총 64개 지점이며, 교통사고, 교통량 및 기하구조등의 자료는 4년(2007-2010년)동안의 불균형 패널데이타[1](unbalanced paned data)로 구축이 되었다. 구축된 변수는 교통사고 건수, 주도로 및 부도로의 차로수, 중차량 및 일반차량의 년평균 일교통량, 차량 유/출입구 수, 좌·우회전 전용차로 수, 횡단보도 유/무, 중앙분리대 유/무, 조명 유/무, 보행자 섬 유/무, 버스정류장 유/무, 좌회선 유도선 유/무, 그리고 우측 길어깨폭이며, 구축된 자료에 대한 자세한 사항은 Table 1에 제시되어 있다.

우선 사고발생 건수는 교차로별로 년 평균 2.2건으로 발생되었으며, 최대 18건이 발생하였다. 주도로 차로수는 7차로, 부도로는 4.1차로를 가지는 것으로 나타났으며, 교통량(중차량 교통량 및 일반 교통량)의 경우에는 로그값으로 변환된 값이 사용되었다. 차량의 유/출입구 수는 평균적으로 주도로는 2개소, 부도로는 1.8개소가 존재하는 것으로, 우측 길어깨 폭은 주도로/부도로 모두에서 평균 0.7m를 가지는 것으로 나타났으며, 신호 주기의 경우에는 최소 54초에서 최대 233초로 평균 115초의 주기를 가지는 것으로 나타났으며, 기타 자료는 더미변수로 구성이 되어있다.

2. 모형 구축결과

Table 1에서 설명한 변수들을 이용하여, 기존의 음이항 모형과 random parameter를 이용한 음이항 모형을 개발하였다(Table 2). 우선, 포아송 모형와 음이항 모형의 선택은 앞장에서 설명한 바와 같이 과분산 계수값(a : dispersion parameter)에 의해 결정이 되는데, 두 가지 모형 모두에서 과분산 계수값이 통계적으로 유의함을 보여($\alpha \neq 0$) 음이항 모형이 적합한 것으로 나타났다. 그러므로 본 연구에서는 음이항 모형의 결과만을 제시하고자 한다.

또한, random parameter를 이용한 음이항 모형의 계수 추정 시, 랜덤 분포항에서 여러 형태의 확률분포(정규분포, 균일분포, 이항분포, 로그정규분포 등)가 고려될 수 있는데, 정규분포(normal distribution)가 통계적으로 가장 유효한 값을 보이는 것으로 나타났다.

도출된 계수가 교통사고 발생에 미치는 영향에 대한 분석은 한계효과 및 탄력성을 통해 도출하고자 하며(Table 3), 변수별 특성에 따라서 한계효과 또는 탄력성 값을 적용하고자 한다.

구축된 random parameter 음이항 모형의 설명력은 로그-우도함수값이(log-likelihood) -1,192.72에서 -444.630으로 우도비[2](ρ^2)가 0.63으로 전통적인 음이항모형보다 향상된 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

random parameter의 경우에는 추정된 계수의 표준편차(standard deviation)값이 통계적으로 유의한 경우($\beta \neq 0$, t-value$\geq$1.96)에는 이질성을 가지게 된다. 반면 통계적으로 유의하지 않은 경우에는($\beta=0$, t-value〈1.96) 전통적인 음이항 모형과 같이 지점/구간에 관계없이 모든 지점/구간에서 동일한 값을 가지게 된다. 이러한 이유로, Table 2의 결과에서 전통적인 음이항 모형에서는 변수의 standard deviation값이 존재하지 않는다.

본 연구의 분석결과에 따르면, 변수별 계수값은 모형에 따라 차이가 있으나, 부호는 동일하게 도출되어, 교통사고 감소/발생에 동일한 양상을 보였으며, 주요 변수에 대한 설명은 random parameter를 우선적으로 제시하고자 한다.

4개의 변수 - 부도로 중차량 교통량, 주도로 일반차량 교통량, 부도로의 횡단보도 설치 유/무 및 보행자 섬이 정규분포를 따르는 random parameter를 가지는 것으로 나타났다. 즉, 도출된 계수의 표준편차값이 통계적으로 유의함을 보여, 이질성이 고려된 계수값(random parameter)이 도출되었다.

부도로 중차량 교통량의 경우에는 평균값 0.38, 표준

1) 기하구조 자료는 개선/변경된 자료의 수집이 불가능하여 시간의 흐름에 관계없이 동일하다고 가정

2) 우도비는 모형의 설명력을 나타내는 값으로 회귀모형에서의 R2와 비슷한 개념으로, 1-LL(β)/LL(c) 또는 1-LL(β)/LL(0)으로 구축됨 (LL: Log-Likelihood).
LL(c) : log-likelihood with constant only는 상수만을 포함한 우도함수값으로, 모든 변수를 0으로 하는 LL(0) : log-likelihood at zero 보다 보수적인 테스트지만, 보다 정확한 모형의 구축을 위해 이 연구에서는 LL(c)값을 적용함

Table 1. Variable description and statistics

Variable	Definition	Mean	Std.Dev.	Min.	Max.
TOACC	Total number of accidents	2.171	3.395	0	18
MALANE	Number of lanes on major road	6.888	1.533	2	13
MILANE	Number of lanes on minor road	4.080	1.148	2	13
MAHEAVY	Logarithm of heavy vehicle volume on major road	7.345	1.558	3.79	10.92
MIHEAVY	Logarithm of heavy vehicle volume on minor road	4.927	1.975	0.69	8.61
MAADT	Logarithm of vehicle volume on major road except heavy vehicle volume	8.950	1.710	3.69	12.71
MIADT	Logarithm of vehicle volume on minor road except heavy vehicle volume	6.375	2.029	2.3	10.77
MAENT	Number of entrance/exit on major road	2.000	1.556	0	7
MIENT	Number of entrance/exit on minor road	1.810	1.196	0	5
MAONLYLE	Existence of left-turn exclusive lane on major road (yes:1,otherwise:0)	0.683	0.466	0	1
MIONLYLE	Existence of left-turn exclusive lane on minor road (yes:1,otherwise:0)	0.444	0.498	0	1
MAPED	Existence of pedestrian crossing on major road (yes:1,otherwise:0)	0.921	0.271	0	1
MIPED	Existence of pedestrian crossing on minor road (yes:1,otherwise:0)	0.794	0.405	0	1
MALEFT	Existence of left-turn signal on major road (yes:1,otherwise:0)	0.762	0.427	0	1
MILEFT	Existence of left-turn signal on minor road (yes:1,otherwise:0)	0.778	0.417	0	1
MAMED	Existence of median barrier on major road (yes: 1, otherwise : 0)	0.984	0.125	0	1
MIMED	Existence of median barrier on minor road (yes: 1, otherwise : 0)	0.937	0.244	0	1
MALIGHT	Existence of lighting on major road (yes:1,otherwise:0)	0.952	0.213	0	1
MILIGHT	Existence of lighting on minor road (yes:1,otherwise:0)	0.905	0.294	0	1
MAISLAND	Existence of pedestrian island on major road (yes:1,otherwise:0)	0.381	0.487	0	1
MIISLAND	Existence of pedestrian island on minor road (yes:1,otherwise:0)	0.381	0.487	0	1
MABUS	Existence of bus stop on major road (yes:1,otherwise:0)	0.492	0.501	0	1
MIBUS	Existence of bus stop on minor road (yes:1,otherwise:0)	0.063	0.244	0	1
MADEL	Taxiway Line for Exclusive Left Turn on Major Road (yes:1, otherwise 0)	0.429	0.496	0	1
MIDEL	Taxiway Line for Exclusive Left Turn on Minor Road (yes:1, otherwise 0)	0.444	0.498	0	1
MASHOULD	Right shoulder width on major road(m)	0.719	0.348	0	2.075
MISHOULD	Right shoulder width on minor road(m)	0.717	0.447	0	1.8
SIGTIME	Cycle Length(sec)	114.651	61.299	54	223

편차값 0.68을 가지는 것으로 나타나 정규분포에 의하면 28.82%의 교차로에서는 사고의 증가에, 나머지 71.18%의 교차로에서는 사고 감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

주도로 일반차량 교통량(평균값 0.718, 표준편차값 0.509), 부도로의 횡단보도(평균값 1.989, 표준편차값 0.941)는 정규분포에 의해 대부분의 교차로에서 사고 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Table 2. Modeling estimation results : traditional- and random parameter negative binomial models

Variable	Traditional Negative Binomial		Random Parameter Negative Binomial	
	Coefficient	t-value	Coefficient	t-value
Constant	-0.667	-0.923	0.132	0.066
MIHEAVY(Logarithm of heavy vehicle volume on minor road)	0.765	2.485	0.380	3.285
Standard deviation of parameter distribution	-	-	0.68	4.279
MAADT(Logarithm of vehicle volume on major road except heavy vehicle volume)	0.718	4.644	0.509	6.142
Standard deviation of parameter distribution	-	-	0.041	4.638
MIADT(Logarithm of vehicle volume on minor road except heavy vehicle volume)	-0.879	-3.082	-0.498	-4.681
MAONLYLE(Existence of left-turn exclusive lane on major road(yes:1,otherwise:0))	-2.147	-3.515	-1.138	-4.749
MAMED(Existence of median barrier on major road (yes: 1, otherwise : 0))	-	-	-3.934	-1.996
MAPED(Existence of pedestrian crossing on major road (yes:1,otherwise:0))	-3.003	-2.894	N.S	N.S
MIPED(Existence of pedestrian crossing on minor road (yes:1,otherwise:0))	1.989	2.513	0.941	3.51
Standard deviation of parameter distribution	-	-	0.195	2.255
MIISLAND(Existence of pedestrian island on minor road (yes:1,otherwise:0))	1.863	2.821	0.980	4.179
Standard deviation of parameter distribution	-	-	0.982	6.576
MIDEL(Taxiway Line for Exclusive Left Turn on Minor Road(yes:1, otherwise 0))	-	-	-0.497	-2.655
Sigtime(Cycle Length(sec))			0.005	2.02
Dispersion Parameter(α)	1.60	5.837	1.31	4.949
Number of Observations				252
Log-likelihood with constant only		-729.581		-1,192.72
Log-likelihood at convergence		-459.989		-444.630
$\rho 2$		0.37		0.63

그리고 부도로의 보행자섬은 0.979의 평균값과 0.98의 표준 편차값을 가지는 것으로 나타나, 정규분포에 의하면 15.91%의 교차로에서는 교통사고 발생 증가에 나머지 84.09%의 교차로에서는 교통사고 발생이 감소하는 것으로 나타났다.

그리고, 탄력성 및 한계효과측면에서는 부도로에서의 1% 중차량 교통량 증가가 35%(전통적 음이항모형), 38%(random parameter 음이항모형)의 사고 증가로 이어짐을 알 수 있고, 주도로에서의 1% 일반차량의 교통량 증가는 사고발생에 33%(전통적 음이항모형), 51%(random parameter 음이항모형) 증가 시키는 것으로 나타났다. 이는 노출량이 많아질수록 사고발생 확률이 높아진다는 기존의 대부분의 연구결과와 일치함을 알 수 있다.

부도로에 위치한 횡단보도는 횡단보도가 미설치 된 경우와 대비하여 사고발생에 59.8%(전통적 음이항모형), 61.0%(random parameter 음이항모형)의 교통사고가 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 부도로에 보행자 섬이 설치된 경우에는 설치되지 않은 경우에 비해 57.5%(일반 음이항모형), 62.5%(random parameter 음이항모형)의 교통 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 부도로는 주도로에 비해 차선수가 작아 보행자들의 무단횡단에 대한 시도 자체가 주도로에 비해 빈번하게 발생할 가능성이 있기에(Baher et al., 2009, NCHRP 17-27), 사고 증가가 발생 하는 것으로 판단되며, 부도로를 횡단하는 보행자를 위한 연구를 통해 이러한 사고발생을 감소시켜야 할 것으로 판단된다.

부도로 일반차량의 교통량은 사고 감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 부도로 중차량의 교통량의 영향과 상반되는 결과로써, 대부분의 기존 연구에서는

Table 3. Average marginal effects and elasticities of traditional- and random parameter negative binomial models

Variable	Traditional Negative Binomial		Random Parameter Negative Binomial	
	Marginal Effect	Elasticity	Marginal Effect	Elasticity
MIHEAVY	0.765	0.351	0.467	0.379
MAADT	0.718	0.329	0.626	0.508
MIADT	-0.879	-0.403	-0.612	-0.498
MAONLYLE	-2.147	-1.6779	-1.401	-0.535
MAMED	-	-	-4.840	-50.108
MAPED	-3.003	-2.966	-	-
MIPED	1.989	0.598	1.158	0.610
MIISLAND	1.863	0.575	1.205	0.625
MIDEL	-	-	-0.612	-0.644
SIGTIME	-	-	0.007	0.615

중차량 교통량과 일반차량 교통량과 함께 분석을 하여 교통량이 증가하면 사고발생도 증가한다라고 설명하였다. 하지만, 본 연구에서는 중차량과 일반차량 교통량을 구분하여 모형을 구축함으로써, 교통량에 대한 이질성을 고려한 측면에서 연구의 의의를 둘 수 있다. 이는 향후 연구를 통해 교통량에 대한 다양한 변수(중차량 혼합률, 첨두/비첨두 시간등)를 고려한 분석이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.

주도로의 좌회전 전용차로 및 중앙분리대가 설치된 경우에는 그렇지 않은 경우에 비해 사고감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 차량의 상충 및 흐름과 관계있는 것으로 교통류를 분리시킴으로 교통사고 발생의 확률을 줄이는 효과가 있는 것으로 해석할 수 있다.

주도로에 설치된 횡단보도의 경우에는 부도로에 설치된 횡단보도와는 반대로 교통사고 감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 앞서 설명한바와 같이 주도로는 부도로에 비해 차로수가 많고, 교통량도 많은 관계로 보행자가 횡단하려는 시도 자체가 작기 때문인 것으로 볼 수 있다(Baher et al. 2009, NCHRP 17-27).

부도로에 설치된 좌회전 유도 노면 표시는 사고감소에 효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, 노면 표시가 없는 교차로와 비교하여 노면 표시가 있을 경우, 64.4%의 사고감소효과가 있는 것으로 나타났다. 반면, 주도로의 경우에는 좌회적 유도노면표시의 영향이 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

마지막으로 교차로의 신호 주기가 길어질수록 사고발생이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 불필요한 현시(phase) 및 시간으로 인하여 교차로의 정체, 혼잡 및 안전을 감소시키는 것(Stamatiadis et al., 2015)으로 판단된다. 또한 불필요하게 긴 신호주기와 현시운영은 운전자의 신호교차로에 대한 만족도를 저하시켜 신호위반의 운전행태로 이어지고, 이에 따라 교통사고 발생증가의 결과를 나타낼 수 있게 되는 것으로 판단된다. 향후 교차로 신호 설계 시 운영 측면에서 뿐만 아니라, 안전 측면에서도 고려되어야 할 사항이다.

결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 random parameter 음이항 모형을 이용하여 지방부 교차로 64개소에 대한 기하구조, 교통량등의 자료 및 사고자료를 통하여 교통사고 모형을 개발하였다. 전통적으로 사용되는 음이항 모형에서는 고려할 수 없었던 이질성에 대한 부분으로 인하여 교통사고 예측 시 사고의 예측값에 대한 불확실성(uncertainity)와 임의성(randomness)을 해결할 수 가 없었다. 하지만, random parameter 음이항 모형에서는 변수의 도출되는 계수에 속한 램덤 분포항을 통하여 해소 할 수 있어, 발전된 모형을 구축할 수 있었다. 모형의 설명력은 전통적인 음이항모형보다 높은 것으로 나타났으며, 총 4개의 변수가 정규분포를 따르는 random parameter를 가지는 것으로 나타났다.

분석결과에 따르면, 교통량(중차량 교통량 포함)의 증가는 사고발생 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 부도로에서의 중차량 교통량은 교통사고 발생을 증가시는 것으로, 일반 차량 교통량은 사고를 감소 시키는 것으로 나타났다. 그리고, 주도로에 설치된 좌회전 전용차로 및 중앙분리대는 사고감소에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 부도로에 설치된 보행자 관련 시설(횡단보

도 및 보행자섬)의 경우에는 사고 발생을 증가 시키는 것으로 나타났다. 그리고 교차로의 신호시간이 길어질수록 사고발생에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과를 바탕으로 향후 연구에서는 부도로를 횡단하는 보행자에 대한 자세하고 심층적인 연구를 통하여 안전상의 배려가 있어야 할 것으로 판단된다. 그리고 교통량 변수에 대하여 향후 연구에서는 다양한 자료 수집 및 변수가 포함 되어야 할 것이다. 이를 통하여, 적정한 중차량 교통량 비율 혹은 전체 통과 교통량등에 대한 값을 도출한다면, 교차로 용량과의 연계 및 교차로 안전에도 도움이 될 것이다. 또한, 교차로 신호 설계시 감응신호(actuated signal)등의 도입을 통한 최적설계를 통하여 교차로에서의 신호로 인한 대기시간 및 지체를 해소한다면 교통 안전 측면에서도 도움이 될 것으로 판단된다.

전통적인 교통사고 모형보다 발전된 방법론을 적용하여 교통사고 모형을 구축하였음에도 불구하고, 본 연구에서는 사고에 대한 자세한 내용(차대차/차대인 등) 및 기하구조 자료에 대한 시간적인 변화를 반영하지 못하였다. 향후 이들을 통합한 사고형태별로 기하구조의 개선 혹은 변경된 자료까지 수집이 가능하다면 공간적 특성뿐만 아니라, 본 연구에서 고려하지 못한 시간의 변화 측면까지 고려가 된 이질성을 도출 할 수 있을 것이다. 또한 이러한 자료가 단일로 구간까지 구축이 가능하다면, 현재까지의 연구(교차로 혹은 단일로 구간만의 교통사고 모형)에서 발전되어, 전체적인 네트워크 차원에서의 안전성 분석도 가능할 것으로 사료된다. 또한, 이 연구에서 적용된 지방부 신호교차로뿐만 아니라, 다른 대상(도시부/단일로 구간 등)에 대한 분석도 이루어 져야 할 것이다.

REFERENCES

Bhat C. (2003), Simulation Estimation of Mixed Discrete Choice Models Using Randomized and Scrambles Halton sequences, Transportation Research Part B, 37(1), 837-855.

Chin H. C., Quddus M. A. (2003), Applying the Random Effect Negative Binomial Model to Examine Traffic Accident Occurrence at Signalized Intersections, Accident Analysis and Prevention, 35, 253-259.

Engel J. (1984), Models for Response Data Showing Extra-Poisson Variation, Statistica Neerlandica, 38(3), 159-167.

Greene W. (2007), Limdep, Version 9.0. Econometric Software Inc., Plainview, NY.

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

Joshua S. C., Garber N. J. (1990) Estimating Truck Accident Rate and Involvements Using Linear and Poisson Regression Models, Transportation Planning and Technology, 15(1), 41-58.

Jovanis P. P., Chang H. L. (1986), Modeling the Relationship of Accidents to Miles Traveled, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1068, 42-51.

Lee G. H., Park M. H., Roh J. H. (2014), Random Parameter Negative Binomial Models of Interstate Accident Frequencies on Interchange Segment by Interchange Type/Region, International Journal of Highway Engineering,16(5), 133-142.

Lord D., Washington S., Ivan J. (2007), Further Notes on the Application of Zero Inflated Models in Highway Safety, Accident Analysis and Prevention, 39(1), 53-57.

Maher M. (1991), A New Bivariate Negative Binomial Model for Accident Frequencies, Traffic Engineering and Control, 32(9), 422-433.

Miaou S. (1994), The Relationship Between Truck Accidents and Geometric Design of Road Sections: Poisson Versus Negative Binomial Regressions, Accident Analysis and Prevention, 26(4), 471-482.

Milton J., Shankar V., Mannering F. (2008), Highway Accident Severities and the Mixed Logit Model: an Exploratory Empirical Analysis, Accident Analysis and Prevention, 40(1), 260-266.

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, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 33(6), 2437-2445.

Shankar V. N., Albin R. B., Milton J. C., Mannering F. L. (1998), Evaluating Median Cross-Over Likelihoods

with Clustered Accident Counts: An Empirical Inquiry Using Random Effects Negative Binomial, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1635, 44-48.

Shankar V., Mannering F., Barfield W. (1995), Effect of Roadway Geometrics and Environmental Factors on Rural Freeway Accident Frequencies, Accident Analysis and Prevention, 27(3), 542-555.

Shankar V., Milton J., Mannering F. (1997), Modeling Accident Frequencies as Zero-Altered Probability Processes: An Empirical Inquiry, Accident Analysis and Prevention, 29(6), 829-837.

Stamatiadis N., Hedges A., Kirk A. (2015), A Simulation-based Approach in Determining Permitted Left-turn Capacities, Transportation Research Part C(online version).

Train K. (1997), Mixed logit models for recreation demand, In: King, C., Herriges. J.(Eds), Valuing the Environment Using Recreation Demand Models, Elgar Press, New York.

Venkataraman N. S., Ulfarsson G. F., Shankar V. N., Oh J., Park M. (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.

Washington S., Karlaftis M., Mannering F. (2010), Statistical and Econometric Models for Transportation Data Analysis, Chapman Hall/CRC Press, Boca Raton, Fla.

♧ 주 작 성 자 : 박민호
♧ 교 신 저 자 : 이동민
♧ 논문투고일 : 2015. 5. 18
♧ 논문심사일 : 2015. 7. 29 (1차)
2015. 10. 26 (2차)
♧ 심사판정일 : 2015. 10. 26
♧ 반론접수기한 : 2016. 4. 30
♧ 3인 익명 심사필
♧ 1인 abstract 교정필