

# Random Parameters 음이항 모형을 이용한 신호교차로 교통사고 모형개발에 관한 연구 -대전광역시를 대상으로 -

## Traffic Accident Models using a Random Parameters Negative Binomial Model at Signalized Intersections: A Case of Daejeon Metropolitan Area

박민호 Park, Minho | 정희원 · 인천발전연구원 교통물류연구실 연구위원 (E-mail : mhpark@idi.re.kr)  
홍정열 Hong, Jungyeol | 서울시립대학교 교통공학과 연구교수 · 교신저자 (E-mail : jyhong9868@uos.ac.kr)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** The purpose of this study is to develop a crash prediction model at signalized intersections, which can capture the randomness and uncertainty of traffic accident forecasting in order to provide more precise results.

**METHODS :** The authors propose a random parameter (RP) approach to overcome the limitation of the Count model that cannot consider the heterogeneity of the assigned locations or road sections. For the model's development, 55 intersections located in the Daejeon metropolitan area were selected as the scope of the study, and panel data such as the number of crashes, traffic volume, and intersection geometry at each intersection were collected for the analysis.

**RESULTS :** Based on the results of the RP negative binomial crash prediction model developed in this study, it was found that the independent variables such as the log form of average annual traffic volume, presence or absence of left-turn lanes on major roads, presence or absence of right-turn lanes on minor roads, and the number of crosswalks were statistically significant random parameters, and this showed that the variables have a heterogeneous influence on individual intersections.

**CONCLUSIONS :** It was found that the RP model had a better fit to the data than the fixed parameters (FP) model since the RP model reflects the heterogeneity of the individual observations and captures the inconsistent and biased effects.

### Keywords

*crash, random parameter negative binomial, intersection, heterogeneity*

Corresponding Author : Hong, Jungyeol, Research Professor  
Department of Transportation Engineering, University of Seoul, 163  
Seoulshiripdae-ro Dongdeamun-gu, Seoul, 02504, Korea  
Tel : +82.2.6490.5645 Fax : +82.2.6490.2819  
E-mail : jyhong9868@uos.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jan. 22, 2018 Revised Jan. 29, 2018 Accepted Apr. 02, 2018

## 1. 서론

교통사고 예측과 관련된 연구는 오랜 기간 동안 이루어져 왔다. 이러한 연구들은 도로 및 주변 환경 내에서

교통사고의 잠재요인들을 찾아내고자 하였으며, 요인들의 문제점을 개선함으로써 위험도를 줄이고, 결과적으로는 교통사고를 감소시키는데 기여해 왔다. 대부분의

교통사고 예측모형과 관련된 연구들은 다년간 축적된 사고 자료와 도로 기하구조, 교통량, 날씨 등의 정보들을 이용해 왔으며, 교통사고와 수집된 정보들과의 상관관계를 파악하여 해당 도로의 장래 위험도를 예측하거나 유사한 환경을 가진 도로의 사고발생률 예측을 위한 통계적 방법론의 적용이 주를 이루어 왔다.

특히 교통사고 자료는 음이 아닌 영(zero) 이상의 정수 값을 가지는 특징 때문에 대다수의 연구에서 가산모형(count model)을 적용해 왔다. 가산모형은 포아송(Poisson)과 음이항(negative Binomial) 모형이 대표적이며, 기타 파생된 모형으로는 영 과잉(zero-Inflated), 영 단절(zero-Truncated) 모형 등이 있다. 이와 같은 가산모형의 구축을 통한 연구결과가 교통사고 분석의 기초가 되어왔음은 분명하나 기존에 개발되어 왔던 교통사고 예측모형들은 분석하고자 하는 대상 지점 또는 구간이 가지고 있는 이질성(heterogeneity)을 고려하지 못한다는 단점이 있다. 즉, 모형에서 도출되는 계수 값(coefficient)은 종속변수(교통사고 발생건수)에 미치는 영향이 지점 또는 구간의 개별특성과는 관계없이 고정(constant/Fixed)되어 있다는 것이다. 실제 지점/구간별로 다양하게 측정될 수 있는 계수 값을 고정된 하나의 값으로 제약할 경우, 모순(inconsistent) 또는 편향(bias)된 결과 값이 도출 될 수 있다(Washington et al., 2003).

따라서 기존에 개발되어 왔던 모형들이 내재하고 있는 이슈, 즉 이질성을 고려할 수 없는 문제의 해결을 위해서는 개별 지점 및 구간의 계수 값을 각각 도출할 수 있는 Random Parameter 접근방법론의 적용을 고려해야 한다.

따라서 본 연구에서는 기존의 가산모형에 개별 관측 자료들의 이질성을 반영할 수 있는 Random Parameter를 적용하여, 각 지점 및 구간의 특성을 반영한 고도화된 모형을 개발하고자 한다. Random Parameter모형은 대전광역시 55개 신호교차로에서 발생한 교통사고건수 자료 및 도로 기하구조 자료를 이용하였으며, 기존 연구에서 적용되어 왔던 Fixed Parameter 가산모형과 함께 사고 예측의 설명력을 비교·분석하고자 하였다.

## 2. 교통사고 모형 방법론

### 2.1. 가산 모형(Count Model)

서론에서 언급한 바와 같이, 음수가 아닌 정수 값(영 또는 양수)을 가지고 있는 교통사고 자료의 특성 때문에

가산모형은 교통사고 예측 및 분석에 주로 적용되어 왔으며, 가장 대표적으로 적용되는 것이 포아송 모형과 음이항 모형이다.

과거에는 선형 회귀식(linear regression model)이 적용되기도 하였으나, 계수 추정 시 변수 값이 증가할수록 분산 값 또한 증가하게 되어, 선형회귀식의 기본 가정인 등분산성(homoscedasticity)을 만족하지 못하는 문제가 발생하게 되었다. 또한, 분석 기간 동안 특정 도로 지점 및 구간에 교통사고가 발생하지 않았거나, 사고가 적게 발생하는 구간에 대해서는 모형에 의해 음의 사고건수를 예측하는 단점이 있었다(Jovanis and Chang, 1986). 이러한 통계적 측면에서의 문제점을 보완하기 위하여 사고건수를 이산 확률변수(discrete random variable)로 접근하는 포아송 회귀식이 제안되었다(Jovanis and Chang, 1986; Joshua and Garber, 1990).

교통사고( $n_i$ )가 도로 지점/구간( $i$ )에서 발생할 확률( $P(n_i)$ )을 가지는 포아송 모형은 Eq. (1)과 같다.

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

여기서,  $\lambda_i$  : 지점/구간  $i$ 에서 발생하는 평균 교통사고건수(=  $\exp[\beta X_i]$ )

$\beta$  : 추정 계수(coefficient)

$X_i$  : 지점/구간의 속성(도로 기하구조, 교통량, 날씨 등)

포아송 모형의 전제조건은 평균과 분산이 같아야 한다는 것이며 ( $E[n_i] = \text{VAR}[n_i]$ ), 이를 만족하지 못할 경우에는 포아송 모형의 적용이 적합하지 않게 된다. 평균과 분산이 같다는 전제조건은 대부분의 교통사고 모형에서는 만족하지 못하게 되는데, 그 이유는 일반적으로 교통사고 자료에서는 분산 값이 평균값보다 크게 나타나는 과분산(over-dispersion :  $E[n_i] < \text{VAR}[n_i]$ )의 형태를 보이기 때문이다. 따라서 과분산의 특성을 보이는 자료의 분석을 위하여, 포아송 모형에 감마분포를 따르는 오차항( $\varepsilon_i$ )을 추가한 음이항 모형이 제안되었다(Miaou, 1994; Shankar et al., 1995; Poch and Mannering, 1996; Fridstrom et al., 1995; Vogt and Bared, 1998; Abdel-Aty and Radwan, 2000). 음이항 모형은 Eq. (2)와 같이 정의된다.

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

여기서,  $EXP(e_i)$ : 평균값 1과 분산값  $\alpha$ 를 따르는 감마 분포(gamma-distribution)를 가지는 오차항

Eq. (2)와 같이 오차항을 추가함에 따라 ( $VAR[n_i] = E[n_i] + \alpha E[n_i]^2$ ), 분산이 평균과 같아야 한다는 포아송의 기본 전제조건을 완화시킬 수 있게 된다. 따라서 포아송 모형과 음이항 모형의 적용은 과분산 계수값( $\alpha$ )이 통계적으로 유의하면 음이항 모형을, 통계적으로 유의하지 않으면 포아송 모형을 선택하도록 한다(Washington et al., 2003).

## 2.2. Random Parameters 모형

앞의 1절에서 소개한 전통적인 가산모형(포아송, 음이항 모형)들은 모형 구축의 대상이 되는 개별 지점 및 구간들이 가지고 있는 공간적인 특성 및 시간적인 흐름에 대한 변화를 반영하지 못한다. 즉, 이질성을 고려할 수 없다는 의미이며, 이는 변수의 계수 추정 시, 표준 오차 값이 과소 추정되어 결과적으로 구축된 모형의 신뢰성을 하락시키는 원인이 된다. 아울러, 계수 값이 개별 관측별로 다양하게 도출되어야 함에도 불구하고 이를 고정된 값으로 가정하여 제약하는 경우, 일관성이 없고(inconsistent) 편향된(biased) 결과가 도출될 수 있다(Washington et al., 2010). 이러한 비일관성과 결과편의의 문제점을 해결하기 위하여 추세변수(Trend variable)를 적용한 기존 연구도 있었으나(Shankar et al., 1998), 데이터 내 잠재되어 있는 패널 효과(panel effect)가 존재할 경우, 관측되지 않은 이질성(unobserved heterogeneity)에 대한 영향은 도출하지 못하는 문제가 여전히 존재하고 있었다.

이러한 이질성과 관련된 문제는 Random Parameter를 적용한 모의 최대우도함수추정 방법(simulated maximum likelihood estimation)으로 접근이 가능하다(Green 2007). Random Parameter를 적용하기 위한 계수는 Eq. (3)과 같이 랜덤 분포항(randomly distributed term)을 포함하게 된다.

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

여기서,  $\phi_i$ : 랜덤 분포항-정규분포(normal), 균일 분포(uniform), 로그-정규분포(log-normal), 이항분포(binomial) 등

Eq. (3)의 계수는 포아송 모형에서는  $\lambda_i|\phi_i = EXP(\beta X_i)$ , 음이항 모형에서는  $\lambda_i|\phi_i = EXP(\beta X_i + e_i)$ 의 형태로 표현

할 수 있으며, 이를 이용한 우도함수(log-likelihood)는 Eq. (4)와 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,  $g(\cdot)$ :  $\phi_i$ 의 확률밀도함수(probability density function)

Eq. (4)의 우도함수 계산은 Random Parameter의 분포에 대한 포아송/음이항 모형에서의 수치적분과정에 오랜 시간이 소요되기 때문에, 한 대안으로서 모의 최대우도함수 방법(simulated-based maximum likelihood method)이 사용되고 있다. 기존 문헌에 따르면 Halton sequence기법<sup>1)</sup>이 계수를 가장 효율적으로 추정할 수 있는 방법으로, 일반적으로 많이 사용되고 있다(Bhat, 2003; Milton et al., 2008).

분석에 사용된 변수가 Random Parameter의 형태인지, 또는 기존의 모형에서처럼 Fixed Parameter가 적합한지에 대해서는 Eq. (3)의 랜덤 분포항의 통계적 유의성에 의해 결정이 된다. 즉, 통계적으로 유의하면 도출되는 계수 값은 표준편차 값과 함께 각 대상 지점/구간별로 임의의 확률 값을 가지게 되며(Heterogeneity), 반대의 경우(Homogeneity)에는 각 대상 지점/구간에 관계없이 고정된 값을 갖게 된다.

## 3. 모형 구축

### 3.1. 자료 구축 및 분석

본 연구의 교통사고 예측모형 개발을 위한 자료를 위하여 대전광역시에 위치한 55개 신호교차로를 대상으로 하였으며, 2007부터 2011년까지 5년 동안 해당 신호교차로에서 발생한 교통사고건수, 교통량 및 기하구조 자료가 불균형 패널자료<sup>2)</sup> 형태로 구축되었다. 교통사고는 교차로 내와 교차로 부근(교차로 측단에서 30m 이내의 도로에 발생한 교통사고)을 범위로 정하여 수집하였다(2016 교통사고 통계, 경찰청). 교통량 자료는 교차로에 설치된 검지기 자료를 이용하였으며, 기타 기하구조 자료는 현장조사를 통하여 이루어졌다.

1) 1 이외에 공약수를 갖지 않는 수(coprime numbers)를 사용, 결정론적 방법(deterministic method)에 따라 샘플을 선택하는 방법

2) 불균형 패널자료(unbalanced panel data)인 이유는 교통사고 및 교통량은 연도별로 수집이 가능하였으나, 기타 변수의 경우, 예를 들어 교차로 개선사업 등을 통한 기하구조 및 시설물 변경에 대한 자료는 현실적으로 수집이 불가능하였기 때문이다.

모형에 사용된 주요 독립변수는 교통량과 기하구조 (차로 수, 회전전용차로 설치 유무 및 포켓 설치 유무 등) 등의 요소들이다. 수집된 교통사고 자료를 분석한 결과, 교차로 당 연평균 교통사고 발생 건수는 7.4건, 최대 27건의 교통사고가 발생한 것으로 나타났다. 연평균일교통량은 평균 64,678대/일 이었으며, 이를 주도로와 부도로로 구분할 경우, 각각 45,609대/일(주도로) 및 19,068대/일(부도로)로 조사되었다. 제한속도는 교차로별로 최소 50km/h에서 최대 80km/h인 것으로 나타났으며, 차로 수는 양방향을 기준으로 최대 16차로(주도로) 및 12차로(부도로)가 존재하는 것으로 나타났다. 중앙분리대는 약 54.5%의 교차로에 설치되어 있으며, 횡단보도는 교차로 당 평균적으로 3.3개가 설치되어 있는 것으로 나타났다.

### 3.2. 모형 구축 및 결과 분석

교통량과 기하구조 등의 독립변수들을 이용하여, Fixed Parameters를 이용한 기존의 가산모형(Ⅱ장, 1절)과 이 연구에서 제시하는 Random Parameter 가산모형(Ⅱ장, 2절)을 구축하였다. 가산모형의 선택은 앞에서 기술한 바와 같이, 과분산 계수-알파 값( $\alpha$ : dispersion parameter)에 의해 결정되며, 본 연구에서 구축된 모형의 결과를 통해 과분산 계수 값이 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의함을 보여(t-value가 fixed parameters : 6.08 및 random parameters: 3.78) 포아송 모형보다는 음이항 모형이 적합한 것으로 나타났다.

변수의 선택은 유의하지 않은 변수를 95% 신뢰수준에서 제거하는 방식을 선택하였으며, Random Parameters를 고려한 모형에서의 계수 추정 시, Eq. (3)에서 설명된 임의확률(random) 분포항은 여러 형태의 확률분포가 고려될 수 있는데(정규분포, 로그-정규분포, 단일분포 등), 본 연구에서는 정규분포가 통계적으로 가장 우수한 값을 보이는 것으로 나타났다. 이는 임의확률 계수의 표준편차 값이 95% 신뢰수준에서 가장 우수한 값을 보이는 것을 의미하며, 표준편차 값이 통계적으로 유의하면( $\beta \neq 0$ , t-value  $\geq 1.96$ , 95% 신뢰수준) 이질성을 가지는 것으로, 반대로 유의하지 않다면( $\beta = 0$ , t-value  $< 1.96$ ) 기존의 가산모형과 같이 모든 지점/구간에 대해서 고정된 계수 값을 도출하게 된다.

구축된 모형의 설명력은 로그-우도함수 값으로 알 수 있으며, 로그-우도함수 값이 -1,096.502의 기준(baseline)으로부터, -751.26(fixed parameters 모형),

-715.88(random parameters 모형)으로 나타나 임의 확률 모수(random parameters)를 고려한 모형의 설명력이 기존의 고정모수(fixed parameters) 모형보다 높은 것으로 나타났다.

모형 구축 후, 독립변수(교통량, 기하구조/시설물 등)가 종속변수(사고건수) 발생에 미치는 영향력은 도출된 계수만으로 정량적으로 판단하기에는 어렵기 때문에 변수의 특성을 고려한 탄력성(elasticity) 혹은 한계효과(marginal effect)를 추정하였다(Shankar, et. al, 1995; Lee et. al., 2002). 탄력성이란 독립변수의 값이 1% 변화할 때 변화(%)하는 사고건수( $\lambda_{ij}$ )로서, Eq. (5)와 같이 정의할 수 있다.

$$E_{X_{ijk}}^{\lambda_{ij}} = \frac{\partial \lambda_{ij}}{\lambda_{ij}} \times \frac{X_{ijk}}{\partial X_{ijk}} \quad (5)$$

Log-linear 형태( $\ln(y) = \alpha + \beta x$ )를 가지는 포아송/음이항 모형에서는 Eq. (6)과 같이 산출한다.

$$\frac{x \partial y}{y \partial x} = \beta X \quad (6)$$

여기서,  $\beta$ 는 추정계수,  $X$ 는 변수의 평균값

Eq. (5)와 Eq. (6)은 독립변수가 연속변수일 경우에 적용 가능한 탄력성이며, 독립변수가 지시(indicator) 혹은 더미(dummy)변수일 때, Eq. (7)의 pseudo 탄력성을 적용한다.

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

여기서,  $\beta$ 는 추정계수

반면, 한계효과는 독립변수의 단위가 한 단위 변화할 때 사고발생에 미치는 변화량으로 편도함수를 적용하여 산출할 수 있다( $\partial \lambda_{ij} / \partial x_{ijk}$ ). 변수별 탄력성 및 한계효과 값은 Table 3에 제시되어 있다.

Fixed Parameters 모형과 Random Parameters 모형 구축 결과 총 8개의 독립변수들이 95%신뢰수준 하에서 교통사고 발생에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며 (로그 연평균일교통량, 제한속도, 교통섬 설치유무, 주도로 양방향 직진 차로수, 주도로 좌회전 전용차로 설치 유무, 부도로 우회전 전용차로 설치 유무, 횡단보도

Table 1. Statistics of Major Variables

Variables	Mean	Standard deviation	Min.	Max.
# of accidents per year	7,364	5,815	0	27
Annual average daily traffic volume (vehs/day)	64,677.80	23,524.70	21,391	120,886
Annual average daily traffic volume on major road (vehs/day)	45,609.50	18,164.80	14,707	95,620
Annual average daily traffic volume on minor road (vehs/day)	19,068.30	12,320.20	2,587	71,989
Logarithm of Annual average daily traffic volume (vehs/day)	11,005	0,395	9,971	11,703
Logarithm of Annual average daily traffic volume on major road (vehs/day)	10,649	0,405	9,596	11,468
Logarithm of Annual average daily traffic volume on minor road (vehs/day)	9,641	0,688	7,858	11,184
Speed limit(km/h)	64.182	8,690	50	80
Existence of traffic island (yes: 1, otherwise: 0)	0,327	0,470	0	1
# of lanes for driving straight on major road (lanes)	7,745	2,536	3	14
Existence of right-turn exclusive lane on major road (yes:1, otherwise:0)	0,818	0,386	0	1
Existence of left-turn exclusive lane on major road (yes:1, otherwise:0)	0,818	0,386	0	1
# of lanes on major road	9,382	2,875	4	16
# of lanes for driving straight on minor road	5,018	2,232	1	10
Existence of right-turn exclusive lane on minor road (yes:1, otherwise:0)	0,636	0,482	0	1
Existence of left-turn exclusive lane on minor road (yes:1, otherwise:0)	0,764	0,426	0	1
# of lanes on minor road	6,418	2,603	1	12
Existence of median barrier (yes:1, otherwise: 0)	0,545	0,499	0	1
# of pedestrian crossings	3,255	1,084	0	4
Existence of left-turning pocket (yes: 1, otherwise: 0)	0,582	0,494	0	1
Existence of righting-turn pocket (yes: 1, otherwise: 0)	0,600	0,491	0	1
Existence of turning guideline (yes: 1, otherwise: 0)	0,909	0,288	0	1
Existence of front signal (yes: 1, otherwise: 0)	0,382	0,487	0	1

Table 2. Result of Fixed- and Random-parameters Model Estimation

Variables	Fixed parameters model		Random parameters model	
	Parameter estimate	t-value	Parameter estimate	t-value
Constant	-6.192	-5.02	-5.372	-5.54
<b>Logarithm of annual average daily traffic volume</b>	<b>0.792</b>	<b>7.05</b>	<b>0.593</b>	<b>11.87</b>
Standard deviation of parameter distribution	n.a		0.030	10.73
Speed limit (km/h)	-0.026	-4.34	-0.019	-4.13
Existence of traffic island	-0.300	-3.23	-0.310	-4.62
# of lanes for driving straight on major road	0.135	5.71	0.122	6.54
Existence of left-turn exclusive lane on major road	-0.282	-2.55	-0.183	-2.19
Standard deviation of parameter distribution	n.a		0.245	7.39
Existence of right-turn exclusive lane on minor road	-0.324	-3.58	-0.385	-5.92
Standard deviation of parameter distribution	n.a		0.288	7.41
<b># of pedestrian crossings</b>	<b>0.193</b>	<b>4.61</b>	<b>0.245</b>	<b>18.83</b>
Standard deviation of parameter distribution	n.a		0.006	0.81
Existence of front signal	-0.369	-4.30	-0.262	-4.19
Dispersion parameter	0,24	6.08	17,61	3,78
Log-likelihood with constant only	-1,096.502			
Log-likelihood at convergence	-751.26		-715.88	
rho square( $\rho^2$ )	0,31		0,35	
number of observations	275			

Table 3. Marginal Effects and Elasticities of Variables

Variables	Fixed parameters model		Random parameters model	
	Marginal effect	Elasticity	Marginal effect	Elasticity
Logarithm of annual average daily traffic volume	5.860	0.792	3.907	0.593
Speed limit (km/h)	-0.192	-1.667	-0.115	-1.247
Existence of traffic island	-2.221	-0.350	-1.836	-0.363
# of lanes for driving straight on major road	1.002	0.127	0.721	0.115
Existence of left-turn exclusive lane on major road	-2.088	-0.325	-1.085	-0.201
Existence of right-turn exclusive lane on minor road	-2.397	-0.382	-2.283	-0.469
# of pedestrian crossings	1.430	0.628	1.450	0.796
Existence of front signal	-2.730	-0.446	-1.554	-0.299

개수 및 전방신호등 설치 유무), 이 중 4개의 변수는(8개의 유의한 변수 중 볼드체로 표시된 변수) Random Parameter가 유의하여 각각의 교차로별로 교통사고 발생에 다른 영향력을 미치는 것으로 나타났다.

로그값이 적용된 연평균일교통량의 경우, 두 모형 모두에서 교통량이 증가할수록 교통사고발생건수 또한 증가하는 것으로 나타났다. 교통량 변수는 정규분포 하에서 random parameter에 유의하며, 평균 값 0.593 및 표준편차 값 0.030은 모든 교차로에서 교통량이 증가할수록 교통사고 발생빈도가 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 탄력성 측면에서 1%의 교통량의 증가는 교통사고 발생에 0.792%(fixed parameter) 및 0.593%(random parameter)의 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

제한 속도의 경우, 계수 값이 음수로 도출되었는데, 이는 제한 속도가 증가할수록 교통사고가 감소된다는 것을 나타낸다. 이는 높은 제한속도를 가진 도로는 낮은 제한속도를 가진 도로보다 도로 환경이 비교적 안전하게 구축되어 있기 때문인 것으로 판단된다(P. Greibe, 2003). 그러나 일반적으로 제한속도의 증가는 교통사고 심각도와 더 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며, 본 연구의 결과에서 나타나는 바와 같이 높은 제한속도가 사고빈도 감소를 유도하더라도 사고 심각도와는 별개로 분석되어야 할 필요가 있다는 것을 시사하고 있다.

교통섬이 설치된 교차로는 교통사고 감소에 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 탄력성 측면에서는 교통섬이 설치된 경우, 그렇지 않은 경우보다 사고발생에 -0.350(fixed parameters) 및 -0.363(random parameters)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 교통섬이 보행자에게 대기공간을 제공할 뿐만 아니라, 차량의 주행방향을 위한 도류화(channelization)의 역할을 하여 교통안전 측면에서 도움을 주기 때문인 것으로

판단된다.

주도로 양방향 직진 차로수의 경우, 차로수가 증가할수록 교통사고 발생빈도가 증가하는 것으로 도출되었다. 차로수는 교통량과 마찬가지로 도로에서의 노출량(exposure)과 관련된 것으로, 노출량이 증가하면 교통사고 발생빈도도 높아지는 경향이 있기 때문이다(Milton and Mannering, 1998; Noland and Oh, 2004). 한계효과 측면에서는 직진을 위한 차로가 한 차로 증가하면 교통사고 발생 증가에 1.002 및 0.721의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

주도로 좌회전 및 부도로 우회전 전용차로의 경우 역시, 교통사고 감소에 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 두 변수 모두 Random Parameter를 가지는 것으로 나타났는데, 주도로 좌회전 전용차로의 경우, 평균값 -0.183, 표준편차 값 0.245를 가지는 것으로 나타나, 정규분포 하에서 77.22%의 교차로에서는 교통사고의 감소에 영향이 있으며, 나머지 22.78%의 교차로에서는 교통사고 증가에 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 그리고 부도로 우회전 전용차로는 평균값 -0.385와 표준편차 값 0.288로 90.92%의 교차로에서는 교통사고 감소에, 나머지 9.08%의 교차로에서는 교통사고 증가에 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 주도로 우회전 전용차로 및 부도로 좌회전 전용차로의 설치 통계적으로 유의하지 않은 결과가 도출되어, 교통사고 발생에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

교차로에 설치된 횡단보도 개수의 경우에는 교통사고 발생 증가에 양(+)의 영향을 나타내고 있다. 횡단보도 개수의 독립변수는 Random Parameter를 가지는 것으로 도출되었는데, 평균값 0.245, 표준편차 값 0.006을 가지는 것으로 나타나, 정규분포 하에서 대부분의 교차로에서 교통사고 증가에 영향을 미치는 것을 알 수 있

다. 횡단보도는 보행자의 횡단을 위해 설치가 되는 시설물이지만, 사실상 RTOR(Right Turn on Red)이 허용되는 교차로 통행방법 때문에 보행자와 차량이 상충할 확률이 증가되는 것으로 판단할 수 있다. 또한, 본 연구에서는 조사되지 않았으나, 과거 연구에서 부도로는 주도로에 비해 보행자들의 무단횡단 시도가 빈번하게 발생할 가능성이 있다는 주장과 함께 결과의 타당성을 뒷받침할 수 있다(NCHRP, 2009).

마지막으로 교통사고 발생에 통계적으로 유의하게 도출된 변수는 전방 신호등 설치 유무로 전방신호등이 설치된 경우, 그렇지 않은 경우보다 교통사고 감소에 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 전방신호등으로 인하여 교차로를 통과하려는 차량이 교차로 통과 및 정지를 미리 판단할 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 기존의 가산모형에서는 고려할 수 없었던 분석 대상 지점/구간의 이질성에 대한 부분을 Random Parameters를 적용하여 교통사고발생 빈도 예측 시 도출 값에 대한 임의성(randomness) 및 불확실성(uncertainty)을 해결하고자 하였다. 대전광역시에 위치한 55개의 교차로를 대상으로 5년 동안(2007-2011) 발생한 교통사고 발생 건수, 교통량 및 교차로 기하구조 등과 관련된 요소들을 적용한 임의확률 모수 음이항(Random Parameter Negative Binomial) 모형의 구축을 통해 Random Parameter 분석 방법론이 기존의 Fixed Parameter 기반의 모형에 비해 보다 나은 설명력을 가지는 것을 확인하였다.

모형의 결과를 통하여 대전광역시 교차로에서는 총 8개의 독립변수가 교통사고의 발생 빈도에 영향을 미치는 것으로 도출되었으며, 이 중에서 로그 연평균일교통량, 주도로 좌회전 전용차로 설치 유무, 부도로 우회전 전용차로 설치 유무 및 횡단보도 개수의 독립변수들은 95%신뢰수준 하에서 유의한 Random Parameter를 가지는 것으로 나타나 교차로별로 사고발생에 이질적인 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 그리고 나머지 4개의 변수(제한속도, 교통섬 설치유무, 주도로 양방향 직진 차로수 및 전방신호등 설치 유무)는 Fixed Parameter에 통계적으로 유의하였으며, 이러한 결과는 제한속도, 교통섬 설치유무, 주도로 양방향 직진 차로수 및 전방신호등 설치 유무 등의 변수들은 개별 교차로의 특징과 상관없이 교통사고 발생에 동일한 영향을 미치는 것을 알

수 있다.

본 연구에서는 기존의 Fixed Parameter를 적용한 모형에서는 고려할 수 없었던 이질성을 고려하여 보다 고도화된 모형을 구축하였음에도 불구하고, 교통사고 건수 및 교통량을 제외한 교차로의 기하구조 및 시설물의 시간적 흐름에 따른 변화자료를 적용하지 못하였다. 따라서 향후에 기하구조 및 시설물들의 시간적인 변화에 대한 자료가 수집·적용될 경우, 공간적인 변화와 더불어 시간적 변화까지 고려한 보다 정밀한 모형을 구축할 수 있을 것이다.

#### REFERENCES

- Abdel-Aty, M.A. and Radwan, A.E. (2000). "Modeling traffic accident occurrence and involvement", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.32, No.5, pp.633-642.
- Bhat, C. (2003)., "Simulation estimation of mixed discrete choice models using randomized and scrambles Halton sequences", *Accident analysis and prevention*, Vol.37, No.1, pp. 837-855.
- Fridstrom, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., and Thomsen. (1995). "Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.27, No.1, pp.1-20.
- Greene, W. (2007). *Limdep Ver9.0*. Econometric Software Inc.
- Greibe, P. (2003). "Accident prediction models for urban roads", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.35, pp.273-285.
- 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*, Vol.15, No.1, pp.41-58.
- Jovanis, P.P., and Chang, H.L. (1986) "Modeling the Relationship of accidents to miles traveled", *Transportation Research Record*, 1068, Transportation Research Board. pp.41-48.
- Lee, J., Mannering, F.L. (2002). "Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents; an empirical analysis". *Accident analysis and prevention*, Vol.34, No.2, pp.149-161.
- Miaou, S. (1994). "The relationship between truck accidents and geometric design of road section: Poisson versus Negative Binomial regression", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.26, No.4. pp.471-482.
- Milton, J. and Mannering, F. (1998). "The relationship among highway geometries, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies", *Transportation*, Vol.25. pp.395-413.
- Milton, J., Shankar, V. and Mannering, F. (2008). "Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis", *Accident analysis and prevention*, Vol.40, No.1, pp.260-266.

- Noland, R. and Oh, L. (2004). "The effect of infrastructure and demographic change on traffic-related fatalities and crashes: a case study of Illinois county-level data", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 36, No.4, pp.525-532.
- Poch, M., Mannering, F. (1996). "Negative binomial analysis of intersection accident frequencies", *Journal of Transportation Engineering*, Vol.122, No.2, pp.105-113
- Shankar, V., Albin, R., Milton, J., and Mannering, F. (1998), "Evaluating median cross-over likelihoods with clustered accident counts: An empirical inquiry using random effects negative binomial", *Transportation Research Record*, 1635, Transportation Research Board, pp.44-48.
- Shankar, V., Mannering, F., Barfield, W. (1995). "Effect of Roadway Geometric and Environmental Factors on Rural Freeway Accident Frequencies", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.27, No.3. pp.371-379.
- Vogt, A., Bared, J. (1998), "Accident models for two-lane rural segments and intersections", *Transportation Research Record*, 1635, Transportation Research Board, pp.18-29.
- Washington, S.P., Karlaftis, M.G., Mannering, F.L. (2003), *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*, Chapman & Hall/CRC.