

# Random Parameter를 이용한 지방부 무신호교차로 교통사고 예측모형개발

## A Development of Traffic Accident Prediction Model at Rural Unsignalized Intersections Using Random Parameter

이 규 훈\* · 오 주 택\*\* · 박 정 순\*\*\*

\* 주저자 : 한국교통대학교 도시·교통공학과 석사과정

\*\* 교신저자 : 한국교통대학교 도시·교통공학과 부교수

\*\*\* 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 책임연구원

Kyu-Hoon Lee\* · Ju-Taek Oh\*\* · Jeong-Soon Park\*\*\*

\* Korea National University of Transportation

\*\* Korea National University of Transportation

\*\*\* Road Traffic Authority

† Corresponding author : Ju-Taek Oh, jutaek@ut.ac.kr

Vol.16 No.4(2017)

August, 2017

pp.64~75

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.4.64)

2017.16.4.64

Received 30 June 2017

Revised 14 July 2017

Accepted 20 July 2017

© 2017. The Korea Institute of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요 약

기존의 고정모수를 이용한 가산모형은 관측되지 않은 이질성을 고려할 수 없으며, 계수값의 표준오차가 과소추정됨에 따라 과도한  $t$ -값이 도출되어 모형의 신뢰성이 감소하게 된다. 또한 무신호교차로의 경우 자료 수집의 어려움과 정확한 분석과정의 통계적 한계로 신호교차로에 비해 연구가 미비한 실정이다. 본 연구에서는 Random Parameter를 이용한 가산모형을 구축하여 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 분석하고자 하였으며, 지방부 무신호교차로를 대상으로 하여 기존 연구들과의 차별성을 두고자 하였다. 분석 결과, 총 7개의 변수가 유의한 변수로 나타났고, 이 중 2개의 변수(횡단보도 유무, 제한 속도)가 확률적 변수로 나타났다.

핵심어 : 확률모수, 이질성, 가산모형, 무신호교차로

### ABSTRACT

Previous count models using fixed parameter can not consider the unobserved heterogeneity, as the standard error of the count value is underestimated, excessive  $t$ -values are derived thereby reducing the reliability of the model. Also, the study of unsignalized intersections are inadequate because of the difficulty of collecting data and statistical limits for accurate analytical processes compared to the signalized intersections. The purpose of this study is to analyze the factors affecting traffic accidents by constructing the count model using random parameters, and it aimed to distinguish between existing studies based on the rural unsignalized intersections. As a result of the analysis, 7 variables were presented as significant variables, and 2 variables(presence of crosswalk, speed limit) were presented as random parameter.

Key words : Random Parameter, Heterogeneity, Count Model, Unsignalized Intersection

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 경제 성장을 바탕으로 자동차 보유대수가 계속 증가함에 따라 다양한 교통문제들이 발생하고 있으며, 이 중 교통사고는 물적 피해뿐 아니라 인적 피해, 더 나아가서 사망에까지 이르게 하여 가장 심각한 문제로 볼 수 있다. 2015년도 경찰청의 통계자료에 따르면 교통사고 발생건수 및 사망자수는 232,035건과 4,621명으로 나타났으며, 이 중 교차로에서 일어난 교통사고는 103,885건으로 전체 교통사고의 44.8%를 차지하여 전체 교통사고 중 절반에 가까운 교통사고가 교차로에서 발생한다는 점을 확인할 수 있다. 따라서 교차로에서의 교통안전 향상은 교통사고를 예방하는데 있어 꼭 필요한 것이며, 이를 위해 교통사고 발생의 원인 및 문제점을 면밀히 분석하고 사고를 줄이는 노력을 기울여야 한다.

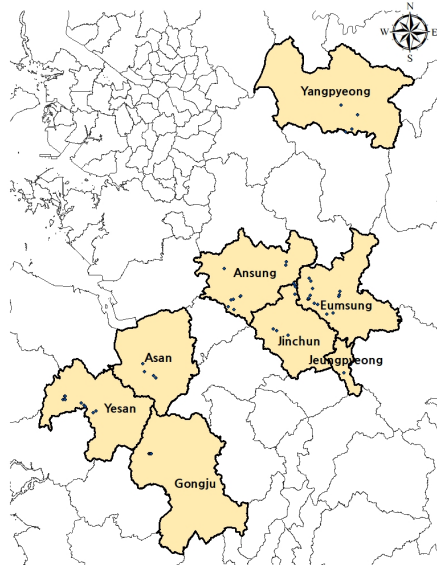
교통량, 기하구조, 환경 등 요인들과의 관계를 분석한 교통사고 예측모형 관련 연구는 그동안 많이 진행되어 왔고 이를 바탕으로 통계적 해석을 적용하는 방식으로 이루어졌다. 교통사고 자료는 음이 아닌 정수의 특성을 고려하여 가산모형(Count model)을 대부분 이용하였다. 포아송 모형(Poisson model)과 음이항 모형(Negative model)은 가산모형에서 가장 많이 쓰이는 대표적인 모형이며, 교통사고가 발생하지 않은 지점이 포함된 경우에는 영과잉 포아송 모형(Zero-inflated Poisson, ZIP), 영과잉 음이항 모형(Zero-inflated Negative Binomial, ZINB) 등을 사용하여 분석하였다. 그러나 기존의 고정모수(Fixed Parameter)를 이용한 가산모형은 관측된 여러 요인들이 종속변수에 미치는 영향을 고정된 계수 값으로 추정한다고 가정하여 관측되지 않은 이질성(heterogeneity)을 고려할 수 없게 되며, 계수 값의 표준오차가 과소 추정됨에 따라 과도한  $t$ -값이 도출되어 모형의 신뢰성이 감소하게 된다(Park, 2013). 이러한 한계점은 확률모수(Random Parameter)를 이용한 가산모형으로 기존 모형들의 문제점을 해결하고 각각의 요인들의 이질성을 고려한 교통사고 예측모형을 접근할 수 있다.

최근 들어 Random Parameter를 이용하여 신호교차로의 안전성 향상을 위한 연구가 지속되어 온 반면에, 무신호교차로를 대상으로 한 연구는 상대적으로 미비하게 이루어졌음을 확인할 수 있다. 이는 무신호교차로의 경우 신호교차로에 비하면 낮은 교통사고 발생빈도로 인하여 자료의 수집이 어려운 점과 정확한 분석과정에 많은 통계적 한계가 있는 점이 원인으로 작용하고 있다. 정해진 시간 내에 우선권을 지정하여 신호의 통제에 따라 이동하는 신호교차로와 달리 무신호교차로는 신호의 통제를 받지 않고 운전자들 간의 개별적인 판단으로 이동하는 방식으로 운영되는 교차로이다. 그러나 이러한 운영형태는 무신호교차로에서의 통행우선권이 불분명해지고 차량 간의 상충 기회가 커지게 되어 그 결과로 교통사고 발생 및 심각도의 증가와 무질서한 교통문화의 초래와 같은 문제점을 야기하게 되므로 이를 해결하기 위한 방안이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 기존의 Fixed Parameter를 이용한 가산모형(FPM)과 Random Parameter를 이용한 가산모형(RPM)을 구축하여 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 분석하고자 하였으며, 기존 연구들에서 다루지 않은 지방부 무신호교차로를 대상으로 하여 관련 연구들과의 차별성을 두고자 하였다.

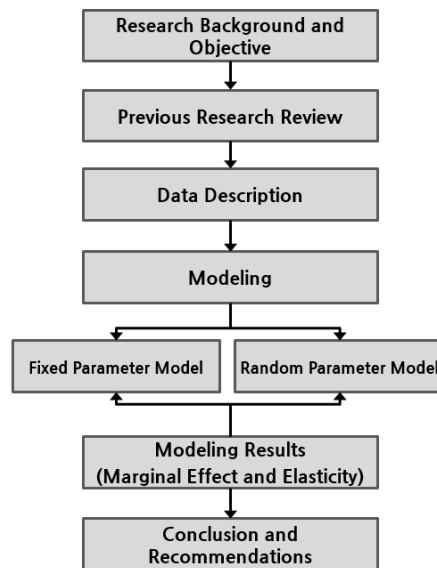
### 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 지방부 무신호교차로의 교통사고 예측모형 구축을 위하여 공간적 범위로는 경기도 및 충청남도, 충청북도에 속해 있는 8개 시, 군(안성시, 양평군, 공주시, 아산시, 예산군, 음성군, 진천군, 증평군)에 위치한 무신호교차로 56개소를 대상으로 하였으며, 조사 지점은 <Fig. 1>에 제시하였다. 시간적 범위로는 최근 4년간(2011-2014) 도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS) 사고 자료를 기초로 하였으며, 교통량 및 기하구조의 경우 현장조사를 통하여 자료를 수집하였다.



〈Fig. 1〉 Research Area

또한 본 연구에서는 기존 문헌 고찰을 통하여 교통사고 모형의 전반적인 방법론을 고찰하였고, 수집한 자료를 바탕으로 FPM 모형과 RPM모형을 구축하고 비교분석하였다. 본 연구의 전반적인 흐름도는 <Fig. 2>와 같다.



〈Fig. 2〉 Research Procedure Flow

## II. 이론적 고찰

### 1. 모형 방법론

선형회귀분석 모형은 교통사고 예측 모형 중 가장 단순한 형태로 과거 연구에서 많이 사용되었으나, 교통사고 자료의 특성상 변수 값이 증가할수록 분산 값 역시 증가하여 회귀분석의 가장 중요한 등분산성(homoscedasticity)의 가정을 충족시키지 못한다는 점과 사고가 줄어드는 지점에서의 경우 음의 사고건수를 예측하는 단점이 있다(Jovanis and Chang, 1986).

선형회귀분석의 문제점으로 인해 비선형모형인 포아송 모형이 나타났지만 포아송 모형의 경우 평균과 분산이 같아야 하는 전제조건이 있는데, 교통사고 자료의 경우 대부분의 자료가 과분산을 보여 사용하는데 제약이 있다. 이를 보완하기 위한 음이항 모형은 오차항이 추가되어 포아송 모형의 평균과 분산이 같아야 한다는 기존적인 제약조건을 완화시킨 모형으로 교통사고자료에 적합하여 많은 연구에서 사용되고 있다.

그러나 지금까지 제시한 모형의 경우 계수 값이 고정되어 표준오차 값이 과소 또는 과대 추정되는 경향이 있고, 시간적 변화 혹은 지점, 구간이 가지고 있는 이질성(heterogeneity)이 반영되지 못한다. 이러한 이질성과 관련된 문제는 Random Parameter를 이용한 가산모형(RPM 모형)으로 접근이 가능하다. RPM모형이 기존의 가산모형과 다른 가장 큰 특징은 계수 값이 고정되어 있지 않다는 것이다. 일반적으로 독립변수는 관측되거나 수집된 자료에 제약되어 있기 때문에 독립변수로부터 이용 가능한 최대한의 정보를 얻는 것에 모델링의 목적이 있으며, 이러한 관점에서 각 계수를 고정된 값이 아니라 공간별 혹은 시간별로 다양하다고 가정하여 접근한다면 이질성을 고려한 계수 값을 도출할 수 있게 된다. 예를 들면, ‘어느 특정분포가 확률모수의 지속적인 변화를 가장 잘 나타낸다.’라고 가정하는 것이며, 이러한 가정에 기반을 둔 우도함수(likelihood function)는 고정된 계수가 아닌 변화하는 계수로부터 계산된 확률을 기반으로 해서 식(1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\beta_i = \beta + \Delta h_i + \Gamma_w \quad (1)$$

$\beta$  : 추정모수

$h_i$  : 변수들의 평균값에 대한 이질성

$\Gamma_w$  : 평균으로부터의 확률편차

여기서,  $h$ 가 속한 두 번째 항은  $h_i$ 에 속한 변수들의 평균값에 대한 이질성을 나타내며, 세 번째 항은 평균으로부터의 확률편차(random deviation)를 나타내게 된다. 따라서 식(1)은 확률적 이질성을 나타내는 기본적인 식이며, 특히 델타는 계수에 영향을 미치는 외생변수를 포함한다. 만약 변수 평균값 내에 이질성이 외생 변수로 존재하지 않는다면 이 항은 사라지게 될 것이다. 즉, 모든 이질성은 세 번째 항에 의해서 모형화 된다. 이는 사용된 독립변수의 특성에 따른 분포의 형태를 바탕으로 적용될 것이며, 만약 독립변수의 형태가 이항변수라면 균일분포가, 연속변수라면 정규 또는 로그정규분포가 될 것이다. 따라서 세 번째 항이 통계적으로 유의하면, 계수 값이 표준편차 값과 함께 각 구간별로 상이한 값이 추정되며, 통계적으로 유의하지 않으면 일반적인 음이항모형이 적용되어 계수 값이 구간에 상관없이 고정된 값으로 추정된다.

식(1)은 포아송 모형에서  $\lambda_i|\phi_i = \text{EXP}(\beta X_i)$ , 음이항 모형에서  $\lambda_i|\phi_i = \text{EXP}(\beta X_i + \xi_i)$ 의 형태로 나타나며, 이를 이용한 우도함수는 식(2)와 같이 표현된다.

$$LL = \sum_i \ln \int_{\Phi_i} g(\Phi_i) P(n_i | \Phi_i) d\Phi_i \quad (2)$$

$g(\cdot)$  :  $\Phi_i$ 의 확률밀도함수(probability density function)

Random Parameter를 이용한 우도함수의 계산은 Random Parameter의 분포에 대한 포아송/음이항 모형의 수치적분(numerical integration)과정이 복잡하여 계산을 하는 과정에서 오랜 시간이 소요되므로 모의 최대우도 함수방법(simulation-based maximum likelihood method)이 사용되고 있다. 가장 일반적인 방법은 Halton draws이며, 이는 기존의 여러 연구들에서 가장 효율적으로 계수를 추정할 수 있는 방법으로 분석되었다.

모형 구축 후에는 독립변수가 종속변수(사고건수)에 미치는 영향을 파악하는 과정이 필요하지만 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( $\lambda_{ij}$ )로 해석할 수 있으며, 이는 식(3)과 같이 정의된다.

$$E_{x_{ijk}}^{\lambda_{ij}} = \frac{\delta_{\lambda_{ij}}}{\lambda_{ij}} \times \frac{X_{ijk}}{\delta_{X_{ijk}}} \quad (3)$$

log-linear 형태( $\ln(y)=a+\beta x$ )를 가지는 포아송 또는 음이항 모형에서는 식(4)와 같이 탄력성이 계산된다.

$$\frac{x \delta y}{y \delta x} = \beta X \quad (4)$$

여기서,  $\beta$ 는 추정계수이며  $X$ 는 변수들의 평균값이다.

독립변수가 로그 값 형태일 경우( $\ln(y)=\ln(\beta x)$ )에는  $\beta$  자체가 변수의 탄력성이 된다. 식(3)과 식(4)는 연속변수(continuous variable)인 경우에 적용이 가능하며, 더미(dummy) 혹은 지시변수(indicator variable)에 대해서는 pseudo 탄력성을 적용해야 하는데 이는 지시/더미 변수의 변화에 따른 사고발생 건수의 변화(% )를 나타내는 것으로 식(5)와 같이 계산된다.

$$E_{x_{ijk}}^{\lambda_{ij}} = \frac{\exp(\beta) - 1}{\exp(\beta)} \quad (5)$$

한계효과와 경우에는 변수의 단위가 한 단위 변화할 때 사고발생에 미치는 변화량으로 탄력성과 유사한 개념이지만 탄력성에서의 단위는 %, 한계효과에서는 한 단위의 변화량이라는 차이점이 있다.

## 2. 선행연구 고찰

사고모형과 관련된 기존의 연구를 살펴보면 도시부의 경우 Park(2008)은 청주시 4지 신호교차로를 대상으로 교통사고의 특성 분석을 위해 교통사고관리시스템(TAAS), 사고충돌도 및 현장조사 자료를 이용하였으며 교통사고 건수, 교통사고율, EPDO 및 EPDO사고율에 대한 사고모형을 위해 다중선형 및 다중비선형 회귀식을 이용하여 분석을 수행하였다. Oh et al.(2005)은 충청남·북도 77개 교차로를 대상으로 포아송 회귀모형을 이용하여 사고예측모형을 개발하였다. 사고에 영향을 미치는 변수로 주도로 ADT, 부도로 ADT, 주도로 중차

량 비율, 부도로 유출입구 수, 주도로 중앙분리대, 주도로 제한속도 등으로 나타났다. Park et al.(2008)은 도시부(서울 및 수도권)의 4지 신호교차로 171개 지점을 대상으로 교통사고 건수, 교통량, 주변 환경 등의 55개 변수를 사용하여 사고예측모형 및 사고심각도모형을 개발하였다. 사고예측모형의 경우 포아송 모형이 적합한 것으로 나타났으며, 사고심각도모형의 경우 순서형 프로빗 모형이 적합한 것으로 나타났다.

지방부의 경우 Lee et al.(2008)은 지방부 4지 비신호교차로의 사고빈도 예측모형 개발을 위해 98개 교차로를 대상으로 2개의 대안모형을 개발하였으며, 과분산계수가 1 이상으로 분석되어 감마모형이 사용되었다. 교차로 사고에 영향을 미치는 독립변수로는 부도로 횡단보도 유무, 주도로 조명시설 유무, 교차각, ADT가 유의한 것으로 나타났다. Oh et al.(2013)은 신호교차로를 대상으로 도시부는 음이항, 지방부는 포아송모형으로 개발하였다. 도시부 및 지방부의 공통 변수로 Exposure와 관련된 변수들이 사고발생을 높이고, 차량 선회와 관련된 변수는 사고발생을 감소시키는 것으로 나타났다. 서로 다르게 선정된 변수로 도시부에서는 진출입, 중앙분리대, 도류화 관련 변수가 있으며, 지방부에서는 가로등 변수가 있는 것으로 나타났다. Park et al.(2016)은 지방부 무신호교차로를 대상으로 교통사고의 특성분석 및 순서형 로지스틱 모형을 이용한 사고심각도의 영향요인을 파악하고자 하였다. 연구 결과, 지방부 무신호교차로의 2가지 형태(3지, 4지) 및 3개의 모형식이 개발되었으며, 주요 영향요인으로 교차로 시거 장애, 일평균교통량, 주야간시간대, 교차각, 중차량 비율, 교통법규위반 및 부도로 차로수 등이 선정되었다.

Random Parameter 관련 연구를 살펴보면 Park(2013)은 워싱턴 주의 7개 고속도로에서 9년 간 발생한 교통사고와 기하구조와의 관계를 파악하였다. 분석 결과, 총 16개의 교통량, 구간 길이 및 다양한 기하구조(차선 수, 좌·우 길어깨 폭, 중·횡단 곡선)와 관련된 변수들이 사용되었다. Park et al.(2015)은 부산광역시에 위치한 27개의 4지 신호교차로에서 4년 동안 발생한 교통사고 자료와 기하구조 자료를 이용하여 Fixed Parameter를 이용한 가산모형(FRM)과 Random Parameter를 이용한 가산모형(RPM)을 구축하였다. 분석 결과 총 17개의 변수 중 4개의 변수(부도로 교통량, 주도로에 존재하는 횡단보도, 그리고 교차로 중심에서 주/부도로 횡단보도까지의 거리)는 Random Parameter를 가지는 것으로 나타나 이질성을 가지는 변수인 것으로 분석되었다. Lee and Rho(2015)는 서울, 수도권 및 부산광역시의 4지 신호교차로 280여 곳을 대상으로 교통사고예측모형을 구축하고 교차로사고와의 상호관계를 규명하고자 하였다. 분석 결과 기존의 음이항 모형보다 확률적 음이항 모형의 설명력이 높게 나타났으며, 10개의 유의한 변수 중 2개의 변수가(부도로의 교차로 시거, 부도로의 차량 주행속도 제약 시설물 수)가 확률적 변수로 나타났다. Park and Lee(2015)는 수도권에 위치한 지방부 신호교차로 64개소를 대상으로 4년 동안 발생한 교통사고에 대한 모형을 개발하였다. 분석 결과 교통량의 증가는 사고발생 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 부도로의 중차량 교통량은 교통사고 발생을 증가시키는 것으로, 일반 차량 교통량은 사고를 감소시키는 것으로 나타났다.

선행연구 결과, 기존의 사고모형 관련 논문들은 가산모형(포아송 모형, 음이항 모형 등)을 사용하였으나 이는 고정된 계수 값으로 인해 다양성을 고려하지 못하며 모순된 결과가 도출되는 단점이 있다. 이에 따라 최근 기존 모형의 문제점을 고려할 수 있는 Random Parameter 모형을 사용한 연구들이 존재하나 대부분 도시부의 신호교차로를 대상으로 분석하여 전반적인 영향력을 설명하는데 한계가 있으며, 특히 지방부 무신호교차로를 대상으로 한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 무신호교차로는 신호교차로와 달리 운전자들이 통행우선권 확보를 위해 과속을 하거나 차량 간 상충의 증가로 사고가 발생할 확률이 높아질 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 지방부 무신호교차로의 특성을 반영하여 교통사고에 영향을 끼치는 요인을 분석하고자 한다.

### Ⅲ. 자료 구축

본 연구는 지방부 무신호교차로 56개소를 대상으로 현장조사를 통해 교통량, 기하구조 등의 요인들을 수집하였으며, 도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS)의 최근 4년간(2011-2014) 사고 자료를 기초로 분석하였다.

모형 개발에 사용한 종속변수는 사고건수를 사용하였으며, 주요 독립변수는 교통량(일평균 교통량, 중차량 비율)과 기하구조(차로수, 차로폭, 횡단보도 유무 등)등의 요소로 구성된 총 25개 변수를 고려하였다. 기초통계량의 분석 결과를 살펴보면, 교차로 사고 건수는 연평균 2.2건, 최대 10건이 발생한 것으로 나타났다. 차로수는 주도로 평균 2.2차로, 부도로 평균 1.7차로로 이루어져 있으며, 차로폭은 주도로 평균 7.7m, 부도로 평균 6.0m인 것으로 나타났다. 일평균 교통량의 경우 원단위의 차이가 크므로 이로 인한 오류를 줄이기 위해 로그(LN)값으로 변환된 값이 적용되었으며, 토지 이용의 경우 주거=0, 비주거=1의 더미변수로 구성하였다.

본 연구에 사용된 기하구조 자료는 불균형 패널 데이터(unbalanced panel data)로 개선 및 변경된 자료의 수집이 불가능하여 시간의 흐름에 관계없이 동일한 것으로 가정하였다. 모형개발에 사용된 변수들의 기초통계는 <Table 1>에 나타난다.

<Table 1> Summary Statistics of Variables

Variable	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum
Total Number of Accidents	2.196	1.634	1	10
Logarithm of Average Daily Traffic	8.697	0.430	7.965	9.919
Ratio of Heavy Traffic Volume	0.522	0.108	0.24	0.76
Presence of Crosswalk (None=0, Yes=1)	0.393	0.493	0	1
Presence of Traffic Islands on Major Road (None=0, Yes=1)	0.214	0.414	0	1
Presence of Traffic Islands on Minor Road (None=0, Yes=1)	0.196	0.401	0	1
Presence of Median Strip on Major Road (None=0, Yes=1)	0.071	0.259	0	1
Presence of Median Strip on Minor Road (None=0, Yes=1)	0.054	0.227	0	1
Presence of Taxiway Line on Major Road (None=0, Yes=1)	0.268	0.447	0	1
Presence of Taxiway Line on Minor Road (None=0, Yes=1)	0.161	0.371	0	1
Number of Lanes on Major Road	2.214	0.624	1	4
Number of Lanes on Minor Road	1.661	0.581	1	4
Presence of Exclusive Left-Lanes on Major Road (None=0, Yes=1)	0.161	0.371	0	1
Presence of Exclusive Left-Lanes on Minor Road (None=0, Yes=1)	0.089	0.288	0	1
Presence of Exclusive Right-Lanes on Major Road (None=0, Yes=1)	0.196	0.401	0	1
Presence of Exclusive Right-Lanes on Minor Road (None=0, Yes=1)	0.179	0.386	0	1
Presence of Lighting on Major Road (None=0, Yes=1)	0.607	0.493	0	1
Presence of Lighting on Minor Road (None=0, Yes=1)	0.250	0.437	0	1
Presence of Bus Stop on Major Road (None=0, Yes=1)	0.161	0.371	0	1
Presence of Bus Stop on Minor Road (None=0, Yes=1)	0.125	0.334	0	1
Width on Major Road (m)	7.670	2.674	3	17
Width on Minor Road (m)	6.000	1.567	3	12
Presence of Speed Restriction on Major Road (None=0, Yes=1)	0.500	0.505	0	1
Presence of Speed Restriction on Minor Road (None=0, Yes=1)	0.250	0.437	0	1
Land Use (Residential=0, Non-Residential=1)	0.625	0.489	0	1
Speed Limit (km/h)	50.000	12.649	30	60

## IV. 분 석

교통사고 예측모형을 개발하기 위해 <Table 1>에서 소개한 변수들을 바탕으로 Fixed Parameter를 이용한 가산모형(FPM)과 Random Parameter를 이용한 가산모형(RPM)을 구축하였다. 가산모형의 선택 시 과분산 계수에( $\alpha$ : dispersion parameter) 의해 결정이 되는데, 본 연구에서는 과분산 계수 값이 0.197( $t$ -value=0.770)로 통계적으로 유의하지 않아( $\alpha=0$ ) 포아송 모형이 적합한 것으로 나타났다.

RPM모형의 계수 추정 시 랜덤 분포항에서 여러 형태의 확률분포(정규분포, 균일분포, 이항분포, 로그정규분포 등)가 고려될 수 있는데, 이 중 정규분포가 통계적으로 가장 유효한 값을 보이는 것으로 나타났다. 이는 계수의 표준편차 값이 통계적으로 유의하면( $\beta \neq 0$ ,  $t$ -value  $\geq 1.96$ ) 이질성을 가지는 것으로, 유의하지 않다면( $\beta=0$ ,  $t$ -value  $< 1.96$ ) 기존의 가산모형과 같이 모든 지점 및 구간에 대해서 고정된 값을 가지게 된다.

구축된 Random Parameter 모형의 설명력은 로그-우도 함수(Log Likelihood Function)값으로 알 수 있으며, RPM모형의 경우 -211.973로 FPM 모형의 -212.235보다 높게 나타났으며, 우도비의 경우 마찬가지로 RPM모형이 0.132로 FPM모형의 0.131보다 상대적으로 높아 미세하지만 향상된 설명력을 가졌음을 나타낸다.

본 연구의 분석 결과 총 7개의 변수(로그 일평균 교통량, 주도로 교통섬 유무, 횡단보도 유무, 주도로 우회전 전용차로 유무, 주도로 속도제약시설 유무, 토지 이용, 제한 속도)가 통계적으로 유의함을 나타내었으며, 이 중 2개의 변수(횡단보도 유무, 제한 속도)가 Random Parameter가 유의한 것으로 나타났고, 나머지 변수는 이질성이 없는 것으로 분석되었다.

<Table 2> Modeling Estimation Results of Fixed and Random Parameter Models

Variable	Fixed Parameter Model(FPM)		Random Parameter Model(RPM)	
	Coefficient	$t$ -value	Coefficient	$t$ -value
Constant	-7.777	-4.357	-7.728	-4.107
Logarithm of Average Daily Traffic	0.762	3.806	0.760	3.694
Presence of Traffic Islands on Major Road (None=0, Yes=1)	-0.541	-1.909	-0.540	-1.719
Presence of Crosswalk (None=0, Yes=1)	0.357	1.743	0.323	1.560
<i>Standard deviation of parameter distribution</i>	-	-	0.226	1.683
Presence of Exclusive Right-Lanes on Major Road (None=0, Yes=1)	-0.437	-1.692	-0.421	-1.551
Presence of Speed Restriction on Major Road (None=0, Yes=1)	-0.287	-1.527	-0.274	-1.393
Land Use (Residential=0, Non-Residential=1)	-0.546	-2.104	-0.533	-2.083
Speed Limit (km/h)	0.019	1.866	0.018	1.853
<i>Standard deviation of parameter distribution</i>	-	-	0.005	2.816
Dispersion Parameter( $t$ -value)	0.197(0.770)			
Log-likelihood with constant only	-244.186			
Log-likelihood at convergence	-212.235		-211.973	
$\rho^2$	0.131		0.132	



이질성이 나타난 변수들은 정규분포를 따르므로 평균과 표준편차 값을 적용하여 확률을 계산할 수 있으며, 이를 위해 EXCEL의 NORMDIST 함수를 사용하여 결과를 도출하였다. 횡단보도의 경우 평균 0.323, 표준편차 0.226을 가지는 것으로 나타나 정규분포에 의해 7.65%의 교차로에서는 사고의 증가에, 나머지 92.35%의 교차로에서는 사고의 감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 일반적으로 횡단보도의 경우 교통사고를 줄이기 위해 설치하는 시설이지만 본 연구에서는 Random Parameter를 통하여 일부 교차로의 횡단보도가 사고 증가에 영향을 줄 수 있는 요인으로 분석되었다. 기존 연구에서 횡단보도는 사고 감소의 영향을 주는 요인으로 분석되는 반면, 횡단보도의 설치가 사고 증가에 영향을 미치는 연구들 또한 존재한다. 이와 관련하여 Leem(1993)은 횡단보도의 증가는 차량과 보행자의 충돌 가능성이 높아지므로 사고건수의 증가에 영향을 미치는 것으로 분석하였으며, Park et al.(2007)의 연구에서도 횡단보도가 사고 증가의 요인들 중 하나인 것으로 나타났다. 이는 횡단보도가 보행자의 안전한 횡단을 유도하기 위해 설치하는 시설이지만 이를 이용하기 위해 보행자들이 횡단보도로 집중되어 차량과의 상충 및 노출량을 증가시켜 사고의 위험으로부터 높아질 수 있기 때문에 판단된다. 따라서 보행자 사고에 대한 횡단보도의 영향력은 보다 면밀한 분석이 필요할 것으로 판단되며, 본 연구에서 사용된 회귀분석보다는 횡단보도의 사고 전후를 보다 자세히 살펴볼 수 있는 Before-After Study와 같은 분석방법이 필요할 것으로 판단된다.

제한 속도의 경우 평균 0.018, 표준편차 0.005로 나타나 정규분포에 의해 대부분(99.9%)의 교차로에서 사고증가에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 반대로 제한 속도의 증가가 사고 감소에 영향을 미치는 경우는 미미한(0.1%) 수준인 것으로 나타났다. 일반적으로 제한 속도는 대부분의 연구에서 사고 증가에 영향을 미치는 변수로 나타나지만, Greibe(2003)는 제한 속도가 높은 도로일수록 상대적으로 도로환경이 안전하게 구축되어 있는 것으로 분석하였으며, Lee et al.(2015)의 경우도 제한 속도가 높아질수록 교통사고 발생빈도가 낮아지는 결과를 도출한 연구도 존재하여 비록 미미하지만 이질성이 나타난 이유인 것으로 판단된다.

나머지 변수들을 살펴보면 로그 일평균 교통량의 경우 교통량이 증가할수록 사고건수도 증가하는 것으로 나타났으며, 교통량 1% 증가 시 FPM모형에서는 76.2%, RPM모형에서는 76.0%가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 도로에서의 노출량(exposure)과 관계된 것으로 노출량이 증가하면 교통사고도 증가하는 기존의 연구 사실들과 일치함을 알 수 있다. 주도로에 교통섬이 있는 경우 71.8%(FPM), 71.6%(RPM)의 교통사고가 감소한 것으로 나타났다. 이는 교통섬이 보행자 대기 공간 확보 및 원활한 교통류 처리의 역할을 수행하여 사고의 위험에서 안전성을 높이는 것으로 판단된다. 주도로 우회전 전용차로의 경우 전용차로 설치 시 54.8%(FPM), 52.3%(RPM)의 교통사고가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 차량의 상충 및 흐름과 관계있는 것으로 동일방향의 직진 및 부도로의 직진차량과의 상충을 감소시키고 교통류를 분리시킴으로써 사고 발생의 확률을 감소하는 효과가 있는 것으로 판단된다.

주도로 속도제한시설의 경우 설치 시 33.2%(FPM), 31.5%(RPM)의 교통사고가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 과속방지턱, 단속카메라 등이 차량의 속도를 낮추는 역할을 하여 사고를 줄이는 것으로 판단되며, Lee et al.(2008)의 연구에서도 같은 결과를 제시하고 있다. 주변 토지이용의 경우 교차로 주변이 주거지역일 때 비주거지역보다 72.6%(FPM), 70.4%(RPM)의 교통사고가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 주거지역의 경우 비주거지역보다 통행이 활발히 일어나 교통량이 많아지므로 상충 및 노출량 증가로 인한 교통사고 발생 확률이 높아지는 것으로 판단된다. 유효변수들의 한계효과 및 탄력성을 정리하면 <Table 3>과 같다.

〈Table 3〉 Marginal Effects and Elasticities of Fixed and Random Parameter Models

Variable	Fixed Parameter Model(FPM)		Random Parameter Model(RPM)	
	marginal effect	elasticity	marginal effect	elasticity
Logarithm of Average Daily Traffic	0.418	0.762	0.350	0.760
Presence of Traffic Islands on Major Road	-0.297	-0.718	-0.249	-0.716
Presence of Crosswalk	0.196	0.300	0.149	0.276
Presence of Exclusive Right-Lanes on Major Road	-0.240	-0.548	-0.194	-0.523
Presence of Speed Restriction on Major Road	-0.158	-0.332	-0.126	-0.315
Land Use	-0.300	-0.726	-0.246	-0.704
Speed Limit	0.011	0.966	0.008	0.889

## V. 결 론

본 연구에서는 지방부 무신호 교차로를 대상으로 교통량, 기하구조 등의 변수들이 교통사고에 어떤 영향을 미치는지 분석하고자 하였다. 이를 위해 Random Parameter를 이용한 기존의 가산모형(FPM)에서는 고려되지 않았던 이질성을 적용하여 각각의 지점들이 가진 다양한 특성과 현실이 반영되어 더욱 더 발전한 모형을 구축하고자 하였다.

분석 결과, 본 연구의 모형은 과분산 계수 값이 통계적으로 유의하지 않아 음이항 모형보다 포아송 모형이 더 적합한 것으로 나타났으며, RPM 모형의 구축을 통해 기존의 FPM 모형과 비교분석한 결과 더 나은 설명력을 가지는 것으로 분석되었다. 총 7개의 변수(로그 일평균 교통량, 횡단보도 유무, 제한 속도, 주도로 교통섬 유무, 주도로 우회전 전용차로 유무, 주도로 속도제한시설 유무, 토지 이용)가 교통사고 건수에 영향을 미치는 요인으로 나타났으며, 이 중 2개의 변수(횡단보도 유무, 제한 속도)가 정규 분포에 의한 Random Parameter로 이질성을 가진 것으로 나타났다.

본 연구에서는 Random Parameter를 이용한 기존 연구들에서 시도하지 않은 지방부 무신호교차로를 대상으로 사고모형을 구축하였으며, 특정 지역이 아닌 경기도 및 충청남·북도를 대상으로 하여 모형의 대표성을 높이고자 한 것에 의의를 두고자 하였다. 또한 본 연구에서 분석된 요인들이 사고에 미치는 영향을 고려하여 지방부 무신호교차로의 안전성 평가 및 사고예방 대책 마련에 활용함과 동시에 사고로 인한 손실을 감소시킬 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구의 한계점 및 향후 과제로는 다음과 같다. 첫째, 지방부 교차로 횡단보도에 대하여 보다 심층적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 횡단보도의 경우 이질성이 나타나는 변수로 도출되었기 때문에 교차로 사고에 대한 다양한 자료 및 Before-After Study 등 여러 분석기법을 통해 횡단보도가 교통사고에 상반된 영향을 미치는 원인을 파악할 필요가 있다. 둘째, 기하구조의 경우 시간의 흐름에 따른 변화를 적용하지 못하여 불균형 패널 데이터로 구축된 한계점을 가지고 있다. 공간적 변화와 더불어 시간적 변화의 반영이 가능하다면 현실적인 모형을 구축함과 동시에 교차로 개선사업 시 도움이 될 것으로 판단된다. 셋째, 지방부 및 도시부의 무신호교차로 뿐만 아니라 신호교차로 및 단일로를 포함한 포괄적 개념의 모형을 구축한다면 전반적인 네트워크 차원에서의 교통안전 예방대책 수립이 가능할 것이다. 마지막으로, 최근 무신호교차로가 회전교차로로 점차 바뀌어가는 추세에 따라 회전교차로의 특성을 고려한 사고모형 구축 및 개선방안 도출이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- Green W.(2007), *Limdep Ver 9.0. Econometric Software Inc.*, Plainview, NY.
- Greibe P.(2003), "Accident prediction models for urban roads," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 35, pp.273-285.
- 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.
- Korean National Police Agency(2015), Police Statistical Yearbook.
- Lee D. M., Kim D. H. and Shim J. I.(2008), "Development of Traffic Accident Frequency Prediction Models at Rural Four Legged Non-Signalized Intersections," *Journal of Transport Research*, vol. 15, no. 2, pp.17-26.
- Lee G. H. and Rho J. H.(2015), "A Development of Traffic Accident Model by Random Parameter : Focus on Capital Area and Busan 4-legs Signalized Intersections," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 14, no. 6, pp.91-99.
- Lee S. H., Park M. H. and Woo Y. H.(2015), "A Study on Developing Crash Prediction Model for Urban Intersections Considering Random Effects," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 14, no. 1, pp.85-93.
- Leem Y. T.(1993), "An Analysis of Traffic Accidents due to Road Characteristics," Yonsei University.
- Oh J. T., Ryu S. K. and Hwang J. W.(2013), "Study on Safety Improvement for Signalized Intersections through Accident Causation Analysis," *Journal of the Korea Planning Association*, vol. 48, no. 3, pp.25-39.
- Oh J. T., Seong N. M. and Ha O. K.(2005), "Development of Accident Prediction Models for Rural Signalized Intersections," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 25, no. 2, pp.9-15.
- Park J. S.(2008), "Development of Accident Models based on the Characteristics of Cheongju 4-Legged Signalized Intersections," Chungbuk National University.
- Park J. S., Kim T. Y. and Yoo D. S.(2007), "Correlation Analysis and Estimation Modeling Between Road Environmental Factors and Traffic Accidents (The Case of a 4-legged Signalized Intersections in Cheongju)," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 25, no. 2, pp.63-72.
- Park J. S., Oh J. T., Oh S. J. and Kim Y. J.(2016), "Analysis of Contributory Factors in Causing Crashes at Rural Unsignalized intersections Based on Statistical Modeling," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 34, no. 2, pp.123-134.
- Park J. T., Kim J. W., Lee S. B. and Lee D. M.(2008), "Development of a Traffic Accident Prediction Model for Urban Signalized Intersections," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 4, pp.99-110.
- 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 Korea Society of Civil Engineers*, vol. 33, no. 6, pp.2437-2435.

- Park M. H. and Lee D. M.(2015), “Developing an Accident Model for Rural Signalized Intersections Using a Random Parameter Negative Binomial Method,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 33, no. 6, pp.554-563.
- Park M. H., Lee D. M., Yoon C. J. and Kim Y. R.(2015), “A Development of Traffic Accident Models at 4-legged Signalized Intersections using Random Parameter : A Case of Busan Metropolitan City,” *International Journal of Highway Engineering*, vol. 17, no. 6, pp.65-73.
- Shankar V., Mannering F., Barfield W.(1995), “Effect of Roadway Geometrics and Environmental Factors on Rural Freeway Accident Frequencies,” *Accident Analysis and Prevention*, vol. 27, no. 3, pp.371-389.