

RPNB 모형을 이용한 고속도로 인터체인지 구간에서의 교통사고모형 - 인터체인지 형태별/지역별로

Random Parameter Negative Binomial Models of Interstate Accident Frequencies on Interchange Segment by Interchange Type/Region

이근희 Lee, geun hee
박민호 Park, minho
노정현 Roh jeonghyun

정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 연구원 (E-mail : ghlee@kict.re.kr)
한국건설기술연구원 도로교통연구실 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : minhopark@kict.re.kr)
한양대학교 도시대학원 교수 (E-mail : jhrho@hanyang.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective was to develop the advanced method which could not explain each observation's specific characteristic in the present negative binomial method that results in under-estimation of the standard error(t-value inflation) and affects the confidence of whole derived results.

METHODS : This study dealt with traffic accidents occurring within interchange segment on highway main line with RPNB(Random Parameter Negative Binomial) method that enables to take account of heterogeneity.

RESULTS : As a result, AADT and lighting installation type on the road were revealed to have random parameter and in terms of other geometric variables, all were derived as fixed parameter(same effect on every segment). Also, marginal effects were adapted to analyze the relative effects on traffic accidents.

CONCLUSIONS : This study proves that RPNB method which considers each observation's specific characteristics is better fitted to the accident data with geometrics. Thus, it is recommended that RPNB model or other methods which could consider the heterogeneity needs to be adapted in accident analysis.

Keywords

accident model, random parameter negative binomial model, heterogeneity, interchange type, marginal effect

Corresponding Author : Park, Minho, Principal Researcher
Korea Institute of Construction Technology, Goyangdae-Ro 283,
411-712, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.910.0732 Fax : +82.31.910.0749
E-mail : minhopark@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jul. 17, 2014 Revised Jul. 21, 2014 Accepted Aug. 23, 2014

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

그동안 교통사고와 관련된 많은 연구의 결과로 도로의 디자인/기하구조의 지속적인 개선을 통하여 교통사고의 개선측면에서 많은 발전이 이루어져 왔으나, 여전

히 교통사고와 관련된 문제는 해결되지 않고 있다. 교통사고는 다양한 요소가 관련되어 있어 쉽게 해결되기는 어려움이 있으나, 지속적으로 보다 다양한 관점에서의 접근 및 분석방법에 대한 시도가 필요하다.

교통사고를 분석하는 모형측면에서도 많은 노력이 있

어왔으며, 주로 가산모형(Count Model)-포아송 모형(Poisson Model)과 음이항 모형(Negative Binomial Model)이 널리 이용되고 있다. 하지만, 대부분의 경우, 모형에서 도출되는 계수 값(coefficient)이 관측 값/자료(observation)에 대해서 고정(fixed)되어 있다는 가정을 하고 있어서, 관측 값이 가지고 있는 다양성을 고려하지 못하고 있는 실정이다. 실제로는 다양하게 존재할 수 있는 계수 값을 하나의 상수(constant, fixed) 값으로 제약할 경우, 결과가 모순(inconsistent)되고, 편향(bias)될 수 있으며(Washington et al. 2003), 이에 대한 해결책은 실제 다양하게 존재하는 관측 값에 대하여 계수 값이 부분 혹은 전체적으로 다른 값을 가질 수 있다는 이질성(heterogeneity)에 대한 고려를 통하여 접근할 수가 있다. 이 논문에서는 random parameter를 통하여 이러한 계수 값의 다양성에 대해서 접근하고자 한다.

그리고, 기존의 고속도로 사고모형은 「본선구간」 혹은 「인터체인지 연결로」에 대한 분석이 대부분이었으며, 「인터체인지가 설치된/위치한 본선구간」 및 「인터체인지 형태」를 고려한 분석은 미비하다. 인터체인지가 위치한 본선구간은 기타 본선구간과 달리 교통사고 분석에 중요한 요소인 교통량이 달라지며, 인터체인지로 인한 추가 구조물 및 이로 인한 기하구조가 다를 수도 있으며, 인터체인지 형태별로도 사고에 영향을 미치는 요소가 다양할 수 있다. 또한, 추가 구조물과 더불어 설치된 조명의 경우에도 사고에 영향을 미칠 수 있으나, 이에 대한 고려는 전무한 실정이다.

이에 이 연구에서는 인터체인지가 설치된 본선구간(형태별/지역별)에서 발생한 사고 및 기하구조자료를 사용하여 기존의 음이항 모형(Fixed Negative Binomial, 이하 FNB)과 이질성을 고려한 음이항 모형(Random Parameter Negative Binomial, 이하 RPNB)을 구축하여, 향후 교통사고 분석모형의 정립에 도움이 되고자 한다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

이 연구는 미국 워싱턴 주(州)에 위치하고 있는 7개의 고속도로 중 인터체인지가 위치한 본선구간에서 9년 동안 발생한 사고건수 및 기하구조 등의 자료를 이용하여 기존의 사고모형(FNB)과 자료의 이질성(heterogeneity)을 고려한 RPNB 모형을 구축하고자 한다. 모형 구축을 위하여 LIMDEP 4.0을 이용하였으며, 연구의 수행과정을 요약하면 Fig. 1과 같다.

우선, 연구의 배경 및 목적을 제시하고, 기존문헌을

통해 기존의 교통사고모형을 고찰 및 문제점을 파악하고자 한다. 그리고, 연구에 사용될 자료를 분석하고, FNB와 RPNB모형을 통해 계수 값을 도출하여, 계수 값에 대한 결과분석 및 향후 연구내용을 제시하고자 한다.

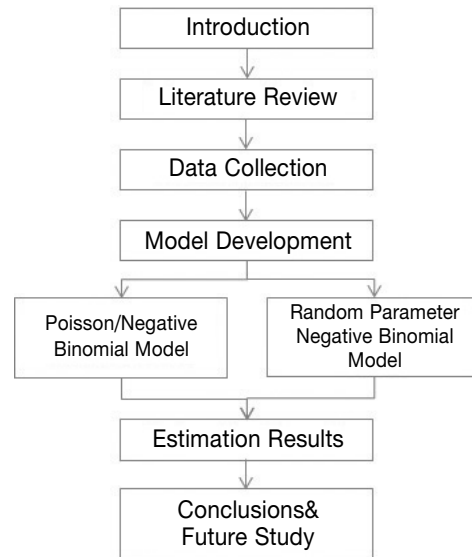


Fig. 1 Research Process

2. 기존문헌 고찰

2.1. 고속도로(본선구간/인터체인지) 교통사고

Bauer(1997) 등은 인터체인지와 본선구간의 연결로 중, 가·감속차로구간에서 발생한 교통사고에 대한 예측모형을 개발하였다. 교통량, 연결로의 형태, 가·감속 차로구간 길이, 연결로 길이 및 유·출입여부가 주요 변수로 사용되었다.

Noh, C. G.(2008) 등은 연결로 형식별(클로버형/트럼펫형)로 사고모형을 추정하였다. 램프형태, 곡률(곡률차), 속도차, 교통량의 변수를 사용하여, 음이항 회귀분석을 실시하였다. 이외에도 여러 연구들(Yoon, B. J. et. al. 2006; Kim, T. Y. 2007)이 있었으나, 본선구간 혹은 연결로에서 발생한 사고에 대한 모형을 구축하였다. 또한 구축된 모형에서 추정된 계수 값은 구간에 관계없이/구간별 특성을 고려하지 않고, 하나의 고정된 값으로 추정되어, 구간 자체가 가질 수 있는 이질성에 대한 고려는 부족하였다.

자료의 이질성을 고려한 연구로 Shankar(1998) 등은 Random effects negative binomial 모형과 Cross sectional negative 모형을 이용하여 구간별로 상이한 이질성이 모형의 상수 값(constant)에서 도출되

도록 시도하였으며, Park, M.H.(2013)의 연구에서는 확률적 모수를 고려한 음이항 모형을 이용하여, 교통사고와 기하구조와의 관계를 파악하였다. 사용된 16개의 변수 중 8개의 변수가 Random Parameter를 가지는 것으로 나타났다. 고속도로를 대상으로 연구를 수행하였으나, 본선구간에서 발생한 사고와 기하구조와의 관계파악에 초점을 맞추어 인터체인지 구간에 대한 분석은 부족하였다.

2.2. 교통사고 모형

교통사고는 음수가 아닌 형태이므로, 가산모형(count model)이 주로 사용되어 왔으며, 포아송/음이항 모형이 대표적인 모형이다. 이전에는 선형회귀식(linear regression model)이 사용되기도 하였으나, 교통사고자료 특성상, 등분산성(homoscedasticity)를 충족하지 못하는 경우가 발생되며, 모형의 특성상 음의 사고수를 예측하는 단점이 있었다. 이러한 문제점으로 인하여, 사고건수를 이산확률변수(discrete random variable)로 접근하는 포아송 회귀식이 제안되었다(Jovanis & Chang, 1986; Joshua & Garber, 1990).

n 의 사고를 가지는 도로구간(i)에서 발생확률($P(n_i)$)을 가지는 포아송 모형은 다음과 같다.

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

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

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

$$\lambda_i = EXP(\beta X_i) \quad (2)$$

여기서, X_i : 설명변수(벡터)

β : 추정계수(벡터)

하지만, 포아송 모형은 평균(mean)과 분산(variance)은 같아야 한다($E[n_i]=VAR[n_i]$)는 제약조건으로 인해 사용되는 자료의 특성에 의해 제약조건을 만족하지 않는 경우가 발생할 수 있다. 특히, 대부분의 경우 분산이 평균보다 큰 과분산(overdispersion)현상을 보이는 교통사고자료에서는 포아송 모형을 적용하기에는 부적절

한 경우가 많으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 포아송 모형에 오차항(ϵ_i)이 추가된 음이항 모형이 제안되었으며 음이항 모형은 다음과 같은 형태로 표현된다.

$$\lambda_i = EXP(\beta X_i + \epsilon_i) \quad (3)$$

여기서, $EXP(\epsilon_i)$: 평균값(1)과 분산(α)을 따르는 감마분포(gamma-distribution)를 가지는 오차항.

오차항의 추가($VAR[n_i]=E[n_i]+\alpha E[n_i]^2$)로 인하여, 분산이 평균과 같아야 하는 포아송 모형의 제약조건을 완화시킬 수 있게 된다. 이로 인하여, 분산계수(dispersion parameter : α) 값이 통계적으로 0과 다르면 음이항 모형이, 그렇지 않으면 포아송 모형이 적합하다(Washington et al., 2003).

포아송 모형의 제약조건을 완화시킬 수 있는 장점으로 인해 널리 사용되는 음이항 모형도 시간의 흐름에 따른 변화를 잘 설명하지 못한다는 단점이 있다(shankar, 1998). 이는 결과적으로, 계수 추정 시 표준 오차값이 과소추정되어(t-값의 과대추정) 도출된 계수 값의 신뢰성 및 모형 전체의 신뢰성에 영향을 미치게 된다. 이의 원인은 사용되는 자료/관측 값 자체의 이질성과 관련된 문제로 접근할 수 있는데, 사용된 변수들이 구간/기하구조의 특성을 반영하지 못하였거나 몇몇의 특정한 자료가 다양한 값이 아닌 하나의 값을 가지도록 영향을 미치기 때문이다(Park, 2014). 이러한 영향을 파악하기 위하여 추세변수(trend variable)의 사용을 고려 할수도 있으나(Shankar et, al. 1998), 만약 이질성이 또 다른 관측 값 내에 존재하게 된다면, 모형 구축에 사용된 변수가 자료의 숨겨진 이질성의 영향을 파악하는 것은 불가능 하게 된다. 이를 극복하기 위한 방법으로 계수를 고정된 값(fixed)이 아닌 변화하는 값(random)으로 처리하는 방법이 대안이 될 수 있다. 즉, Random Parameter를 포아송/음이항 모형에 적용하여 자료가 가진 이질성(heterogeneity)을 고려할 수 있는 방법을 적용하는 것인데, 대표적으로 모의 최대우도 함수 산정 방법(simulated maximum likelihood estimation)이 있다(Greene, 2007). 여기서, Random Parameter를 설명하기 위한 계수는 아래의 식으로 표현된다.

$$\beta_i = \beta + \phi_i \quad (4)$$

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

Eq. (4)는 포아송 모형에서는 $\lambda_i|\phi_i = EXP(\beta X_i)$, 음이항 모형에서는 $\lambda_i|\phi_i = EXP(\beta X_i + \varepsilon_i)$ 로 표현이 되며, 이를 이용한 우도함수(log-likelihood)는 아래 Eq. (5)와 같이 표현이 된다.

$$LL = \sum_{v_i} \ln \int_{\phi_i} g(\phi_i) P(n_i|\phi_i) d\phi_i \quad (5)$$

여기서, $g(\cdot) : \phi_i$ 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 최대 우도 함수 방법(simulation-based maximum likelihood method)이 사용되고 있다. 가장 일반적인 방법은 Halton draws이며, 이는 여러 기존문헌에서 가장 효율적으로 계수를 추정할 수 있는 방법이라고 증명되었다(Bhat(2003), Train(1999), and Milton et al.(2008)).

모형의 정립 후에는 독립변수가 종속변수에 미치는 상대적인 중요성을 파악하는 과정이 필요한데, 도출된 계수 값 자체로서는 중요성 파악이 어렵다. 이를 위해 Shankar 등(1995)은 사용된 변수의 특성을 고려하여, 계수의 탄력성(elasticity)과 한계효과(marginal effect)를 사용할 것을 권고하였으며, 이 논문에서도 이를 적용하여 변수별로 사고발생에 미치는 영향을 파악하고자 한다(table 5).

3. 자료구축

3.1. 자료수집

이 연구에 사용된 고속도로 자료는 미국 워싱턴 주에 속한 7개의 고속도로(I-5, 82, 90, 182, 205, 405, 705)에 대한 것이며, 집중적으로 분석하고자 하는 인터체인지 구간은 고속도로 본선구간에서 인터체인지로의 분류부 시점에서 인터체인지에서 본선구간으로의 합류부 시점까지이며, 이는 WSDOT(Washington State Department of Transportation)에서 제공하는 Interchange Viewer*에서 제공하는 자료를 이용하였다. 인터체인지의 형태는 다이아몬드형(diamond), 트럼펫형(trumpet), 그리고 클러버형(clover)으로 인터

체인지가 속한 지역에 따라 도시부와 지방부로 나누어 자료를 구축하였다.

수집된 자료는 table 1에 제시되어 있으며, 연간 사고 건수, 구간 길이, 일교통량, 도로조명, 차선수, 좌/우 길어깨 폭 그리고 평면/종단곡선의 개수로 구성이 되어있다. 도로조명의 경우, 설치형태별로(진행방향 좌측, 우측, 포인트 및 조명이 없는 곳), 차선은 2차선, 3차선, 4차선으로, 좌·우 길어깨는 폭의 종류로 구분하였으며, 곡선수를 제외한 변수들은 해당 구간 길이에 대한 설치 길이의 비율로 변환되어, 최소 값은 0, 최대 값이 1을 넘지 않는다. 즉, 1mile의 구간(A)에서 2차선 도로가 0.4mile, 4차선 도로가 0.6mile 존재한다면, A구간 내에서의 2차선 도로는 0.4, 4차선 도로는 0.6의 값을 가지게 된다. 이는 구간 내에서 동일한 기하구조요소가 설치되지 않은 경우를 반영하기 위한 것으로, 만약 기하구조요소가 변하지 않고 동일하게 건설이 되어있다면 최대 값 1을 갖게 된다.

Table 1. Definition of Variables

Variable	Variable Description
ACC	Number of Crashes per year
LENGTH	Segment Length(miles)
AADT	Annual Average Daily Traffic Volume
MEDIAN	Portion of Segment with Median Roadway Lighting
POINT	Portion of Segment with Point Roadway Lighting
NOLIGHT	Portion of Segment with No Roadway Lighting
RIGHT	Portion of Segment with Right Roadway Lighting
NLN2	Portion of Segment with 2 Lanes
NLN3	Portion of Segment with 3 Lanes
NLN4	Portion of Segment with 4 Lanes
LSHW34	3- to 4ft Left-shoulder Width Segment Proportion
LSHW59	5- to 9ft Left-shoulder Width Segment Proportion
LSHW10	10ft Left-shoulder width Segment Proportion
LSHW1126	11- to 26ft Left-shoulder Width Segment Proportion
RSHW34	3- to 4ft Right-shoulder width Segment Proportion
RSHW59	5- to 9ft Right-shoulder Width Segment Proportion
RSHW10	10ft Right-shoulder Width Segment Proportion
RSHW1124	11- to 24ft Right-shoulder Width Segment Proportion
NHORZ	Number of Horizontal Curves in Segment
NVERT	Number of Vertical Curves in Segment

3.2. 자료분석

Table 2에 사용된 변수에 대한 통계 값이 제시되어 있다. 우선 다이아몬드형은 205개(도시부·지방부), 트럼펫형은 53개(도시부), 45개(지방부), 그리고 클러버형은 52

* <http://www.wsdot.wa.gov/mapsdata/tools/InterchangeViewer/default.htm>

개(도시부), 18개(지방부)가 양방향으로 존재하는 것으로 조사되었다. 연간 사고건수는 평균적으로 3.4~18건이며, 도시부가 지방부보다 많이 발생하는 것으로 나타났다. 인터체인지 구간의 평균 길이는 0.57~0.99mile이

며, 교통량은 평균 7,600~17,600대/일로 나타났다.

도로조명은 진행방향별 설치형태에 따라 4가지 경우(3.3.1 참조)로 구분되었으며, 최대설치비율은 0.24~1의 값을 가진다. 차선수는 2~4차선, 왼쪽 길어깨는 최

Table 2. Summary Statistics of Variables

Variable	Urban Diamond(205)				Urban Trumpet(53)				Urban Clover(52)			
	Mean	Std.Dev.	Minimum	Maximum	Mean	Std.Dev.	Minimum	Maximum	Mean	Std.Dev.	Minimum	Maximum
ACC	18,096	34,423	0	388	10,499	12,455	0	71	18,412	18,648	0	107
LENGTH	0,780	0,323	0,230	2,66	0,572	0,286	0,070	1,380	0,909	0,318	0,330	1,990
AADT	17,055	7,404	2,725	42,214	16,965	7,800	2,946	33,989	17,604	6,620	3,527	35,518
MEDIAN	0,186	0,298	0	1	0,180	0,315	0	1	0,230	0,337	0	1
POINT	0,018	0,041	0	0,37	0,018	0,051	0	0,250	0,031	0,058	0	0,330
NOLIGHT	0,712	0,347	0	1	0,665	0,392	0	1	0,742	0,325	0	1
RIGHT	0,107	0,244	0	1	0,146	0,306	0	1	0,029	0,047	0	0,170
NLN2	0,419	0,487	0	1	0,401	0,479	0	1	0,259	0,432	0	1
NLN3	0,408	0,471	0	1	0,344	0,459	0	1	0,447	0,481	0	1
NLN4	0,168	0,351	0	1	0,256	0,431	0	1	0,294	0,445	0	1
LSHW34	0,126	0,318	0	1	0,089	0,269	0	1	0,037	0,187	0	1
LSHW59	0,156	0,341	0	1	0,126	0,311	0	1	0,048	0,190	0	0,960
LSHW10	0,480	0,473	0	1	0,529	0,449	0	1	0,699	0,435	0	1
LSHW1126	0,021	0,131	0	1	0,023	0,119	0	0,850	0,080	0,251	0	1
RSHW34	0,443	0,304	0	1	0,143	0,342	0	1	0,231	0,397	0	1
RSHW59	0,045	0,179	0	1	0,080	0,265	0	1	0,039	0,164	0	0,885
RSHW10	0,648	0,447	0	1	0,531	0,468	0	1	0,512	0,481	0	1
RSHW1124	0,045	0,179	0	1	0,032	0,160	0	0,993	0,027	0,146	0	1
NHORZ	2,102	3,376	0	37	1,339	1,289	0	6	1,962	2,741	0	13
NVERT	3,345	3,719	0	30	2,981	2,808	0	12	3,615	4,302	0	19
	Rural Diamond(205)				Rural Trumpet(45)				Rural Clover(18)			
ACC	3,409	5,859	0	55	5,523	10,792	0	76	15,093	18,409	0	100
LENGTH	0,760	0,216	0,090	1,770	0,72	0,617	0,21	3,01	0,99	0,253	0,45	1,51
AADT	7,613	5,683	993	38,476	8,602	8,012	969	36,897	15,106	9,737	2,451	35,139
MEDIAN	0,016	0,089	0	0,820	0,034	0,136	0	0,840	0,149	0,325	0	1
POINT	0,018	0,031	0	0,200	0,024	0,056	0	0,24	0,094	0,015	0	0,05
RIGHT	0,098	0,245	0	1	0,089	0,249	0	1	0,031	0,068	0	0,24
NOLIGHT	0,883	0,265	0	1	0,876	0,274	0	1	0,820	0,318	0	1
NLN2	0,671	0,469	0	1	0,778	0,416	0	1	0,634	0,459	0	1
NLN3	0,302	0,450	0	1	0,125	0,312	0	1	0,366	0,459	0	1
NLN4	0,025	0,136	0	1	0,097	0,275	0	1	0	0	0	0
LSHW34	0,303	0,449	0	1	0,363	0,468	0	1	0,342	0,413	0	1
LSHW59	0,145	0,334	0	1	0,051	0,198	0	0,920	0,261	0,374	0	1
LSHW10	0,441	0,485	0	1	0,405	0,463	0	1	0,078	0,242	0	1
LSHW1126	0,089	0,080	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
RSHW34	0,239	0,408	0	1	0,352	0,465	0	1	0,651	0,433	0	1
RSHW59	0,209	0,381	0	1	0,208	0,394	0	1	0,079	0,232	0	0,980
RSHW10	0,345	0,458	0	1	0,186	0,362	0	1	0,056	0,229	0	1
RSHW1124	0,023	0,138	0	1	0,038	0,173	0	0,935	0	0	0	0
NHORZ	1,663	1,411	0	9,000	1,756	1,755	0	7	0,833	0,603	0	2
NVERT	2,780	2,362	0	13,000	3,000	2,832	0	13	1,889	1,103	0	4

소 3feet에서 최대 26feet, 오른쪽 길어깨는 최소 3feet에서 최대 24feet가 존재한다. 평면곡선수는 구간 내에서 평균적으로 0.8~2.1개, 종단곡선수는 1.8~3.6개가 존재하는 것으로 나타났다.

4. 결과분석

수집된 자료를 이용하여, 인터체인지 형태별 지역별로 FNB와 RPNB 모형을 구축하였다(table 3, 4). 모형 구축결과 모든 6가지 모형(인터체인지별/지역별)에서

Table 3. Modeling Estimation Results for Interchange Types in Urban Area

Variable	Urban Area																	
	Diamond Type						Clover Type						Trumpet Type					
	FNB		RPNB				FNB		RPNB				FNB		RPNB			
	Coef.	t-value	Coef.	t-value	St.Dev	t-value	Coef.	t-value	Coef.	t-value	St.Dev	t-value	Coef.	t-value	Coef.	t-value	St.Dev	t-value
Exposure and Context																		
Constant	-13,81	-31,25	-7,22	-21,85	-	-	-60,16	-2,84	-69,27	-8,63	-	-	-15,16	-19,98	-9,56	-16,68	-	-
Logarithm of Length of segment in miles	1,12	31,16	0,91	34,38	-	-	0,90	9,65	0,86	15,98	-	-	0,56	6,56	0,52	10,36	-	-
Logarithm of ADT	1,62	40,81	0,95	30,27	-	-	1,48	20,27	1,33	24,56	0,17	5,11	1,87	21,71	1,25	20,49	0,07	8,08
Lighting																		
Median Continuous	1,16	4,84	0,89	7,08	0,88	26,72	48,69	2,31	58,98	7,42	0,48	10,97	-0,60	-3,53	-0,35	-3,55	0,3	4,79
Point Lighting	2,06	4,97	2,77	12,22	2,45	9,24	-0,95	-1,32	-0,78	-1,56	-	-	-	-	2,73	5,98	-	-
No Lighting	-	-	0,53	2,22	-	-	47,98	2,27	58,41	7,34	0,19	8,42	-0,48	-3,74	-0,58	-6,63	0,08	2,64
Right side Lighting	1,07	4,54	0,54	4,31	0,17	3,99	51,23	2,42	61,09	7,68	-	-	-	-	-	-	-	-
Number of Lanes by Length Proportion																		
Three-lane cross-section segment proportion	0,37	9,63	0,51	18,47	-	-	0,45	5,58	0,49	8,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Four-lane cross-section segment proportion	0,75	13,43	1,02	31,19	-	-	0,86	8,44	1,01	15,99	-	-	-	-	0,37	6,74	-	-
Left Shoulder Width by Length Proportion																		
3- to 4-ft left shoulder width proportion	-0,23	-2,83	-0,53	-10,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5- to 9-ft left shoulder width proportion	-0,34	-5,78	-0,42	-12,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,46	-2,91	-0,26	-2,95	-	-
10-ft left shoulder width proportion	-0,24	-5,17	-0,41	-15,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,22	-2,67	-0,64	-2,28	-	-
Right Shoulder Width by Length Proportion																		
3- to 4-ft right shoulder width proportion	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	2,78	-	-	-0,19	-1,71	-0,12	-1,79	-	-
5- to 9-ft right shoulder width proportion	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56	5,52	-	-	-0,19	-1,27	-0,17	-1,77	-	-
10-ft right shoulder width proportion	-	-	-0,08	-3,89	-	-	-0,25	-3,34	-0,25	-5,12	-	-	-	-	-	-	-	-
Dispersion parameter for negative binomial distribution																		
Dispersion parameter (t-value)	0,30(21,59)		17,92 (16,87)				0,25(10,15)		21,15(14,94)				0,38(10,43)		15,63(5,72)			
Number of observations	1,845						468						477					
Log-likelihood with constant only	-8,549,13						-4,775,93						-3,676,36					
Log-likelihood at convergence	-5,785,19		-5,340,73				-1,563,84		-1,404,24				-1,387,36		-1,244,39			

Table 4. Modeling Estimation Results for Interchange Types in Rural Area

Variable	Rural Area																	
	Diamond Type						Clover Type						Trumpet Type					
	FNB		RPNB				FNB		RPNB				FNB		RPNB			
	Coef.	t-value	Coef.	t-value	St.Dev	t-value	Coef.	t-value	Coef.	t-value	St.Dev	t-value	Coef.	t-value	Coef.	t-value	St.Dev	t-value
Exposure and Context																		
Constant	-9,25	-16,97	-7,01	-21,46	-	-	-7,10	-4,63	-7,95	-6,26	-	-	-1,16	-1,87	-5,11	-9,02	-	-
Logarithm of Length of segment in miles	0,83	10,29	0,86	14,86	-	-	-	-	0,25	2,23	-	-	0,85	12,17	0,85	18,32	-	-
Logarithm of ADT	1,17	35,06	0,96	33,52	0,03	5,47	0,93	8,60	0,92	9,55	0,02	5,29	0,50	7,55	0,89	15,69	0,07	16,76
Lighting																		
Median Continuous	-	-	-0,6	-2,42	-	-	1,52	2,09	2,46	4,21	-	-	1,87	2,50	2,15	13,69	-	-
Point Lighting	-3,07	-4,31	-1,9	-3,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No Lighting	-	-	-0,51	-3,17	0,09	4,99	-	-	1,97	3,39	-	-	-	-	-	-	-	-
Right side Lighting	-	-	-0,31	-1,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Number of Lanes by Length Proportion																		
Two-lane cross-section segment proportion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,79	-5,52	-1,19	-10,83	-	-
Three-lane cross-section segment proportion	0,34	7,22	0,47	11,53	-	-	0,36	2,15	0,38	2,85	-	-	-0,51	-3,03	-0,62	-4,85	-	-
Four-lane cross-section segment proportion	1,19	8,17	1,12	10,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Left Shoulder Width by Length Proportion																		
3- to 4-ft left shoulder width proportion	-	-	-	-	-	-	-1,19	-6,46	-1,12	-6,54	-	-	-1,43	-8,93	-0,61	-4,69	-	-
5- to 9-ft left shoulder width proportion	-0,20	-3,01	-0,37	-6,58	-	-	-0,92	-4,85	-1,05	-6,7	-	-	-2,29	-7,37	-1,32	-5,92	-	-
10-ft left shoulder width proportion	-	-	-	-	-	-	-1,71	-5,01	-1,81	-4,99	-	-	-1,21	-7,39	-0,59	-4,56	-	-
Right Shoulder Width by Length Proportion																		
11- to 24-ft right shoulder width proportion	-	-	-0,2	-2,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Horizontal & Vertical Curve																		
Number of Horizontal Curves in segment	0,05	2,87	0,03	1,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Number of Vertical Curves in segment	-0,03	-2,72	-0,02	-2,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dispersion parameter for negative binomial distribution																		
Dispersion parameter (t-value)	0,38(14,61)		11,12 (7,78)				0,09(4,74)		15,39 (5,78)				0,32(6,37)		15,66 (1,96)			
Number of observations	1,845						162						405					
Log-likelihood with constant only	-7,283,96						-1,852,15						-2,830,00					
Log-likelihood at convergence	-3,672,04		-3,474,77				-441,13		-436,15				-857,05		-781,31			

분산계수(dispersion parameter)의 t-value > 1.96 값을 보여 통계적으로 0과 다름을 보인다. 즉, 포아송 모형보다 음이항 모형이 적합한 것으로 분석되어, 포아송 모형의 결과를 제외한 음이항 모형(FNB)과 이 논문에서 제시하는 RPNB 모형에서의 중요한 결과에 대해서 분석하고자 한다. 그리고, random parameter의 적용을 위한 밀도함수(density function)는 정규(normal),

로그정규(log-normal), 균등(uniform)분포 등이 고려되었으나, 정규분포가 통계적으로 가장 최적의 값을 가지는 것으로 나타났다.

각 모형별로 왼쪽에 위치한 결과는 기존의 방법을 적용한 모형(Fixed Negative Binomial)이며, 오른쪽에 위치한 결과는 본 연구에서 제시하고자 하는 RPNB 모형이다. 우선 도출된 모든 모형의 우도함수 값(log-

likelihood)에서 RPNB가 FNB보다 높은 값을 보여, 통계적으로 설명력이 높은 것으로 나타났다. Random Parameter를 가지는 변수는 총 13개이며, 주로 도로에 설치된 조명에 대한 변수가 대부분을 차지한다.

도시부 인터체인지에서는 일교통량(클로버/트럼펫형)과 조명이 Random Parameter를 가지는 것으로 나타났다. 도출된 평균 값과 표준편차 값을 정규분포 밀도함수에 적용하여보면, 일교통량의 증가는 대부분의 구간에서 사고발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 탄력성측면에서도, 대부분의 경우에서 탄력적(교통량이 1% 증가할 때 사고건수도 1% 증가)임을 알 수 있다. 이는 도로에서의 노출량(exposure)이 증가하는 것이 사고발생에 영향을 미치는 것으로 기존의 많은 논문에서 증명된 것과 일맥 상통하는 결과이다. 클로버 및 트럼펫형 인터체인지 구간에서는 대부분의 구간에서 조명이 사고발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다이아몬드형 인터체인지 구간에서 도로 가운데(진행방향 왼쪽) 설치된 조명에서는 0.89의 평균 값과 0.18의 표준편차 값을 가지는 것으로 나타나, 도로 가운데 설치된 조명이 속하는 구간의 15.6% 구간에서 사고발생이 증가하는 것으로, 나머지 74.4%의 구간에서는 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 12.9%(지점 조명) 및 0.7%(도로우측에 설치된 조명)의 구간에서는 사고의 증가에, 나머

지 87.1% 및 99.3%의 구간에서는 사고의 감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고, 지방부 다이아몬드형 인터체인지에서 조명이 없는 구간의 경우, 평균 값(-0.51)과 표준편차 값(0.09)를 가지는 것으로 나타나, 조명이 없는 구간의 98% 구간에서는 사고의 증가가 나머지 2% 구간에서는 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 도로조명의 경우, 야간운전 시 운전자에게 진행방향의 전방에서 발생하는 사건에 대하여 판단을 하는데 도움을 주는 역할을 함으로써 사고발생을 줄여준다고 알려져 있다. 하지만, 무분별/무계획적인 설치하는 사고발생을 증가시킬 수도 있으므로, 적절한 조명의 위치선정 및 밝기 등에 대한 연구가 주변 기하구조와의 관계 파악과 함께 진행되어야 할 것으로 사료된다.

조명을 제외한 기하구조의 경우에는, random parameter를 가지지 않는 것으로 나타나, 구간별로 이질성이 없는 것으로 나타났다. 즉, 모든 구간에서 동일한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

기하구조가 사고에 미치는 영향에 대한 한계효과를 살펴보면, 구간 길이 및 차선수의 증가는 교통사고의 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

차선수의 경우, 지방부 트럼펫형 인터체인지에서는 사고가 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 다른 형태의 인터체인지 구간의 길이 보다 구간의 길이가 길어 전방

Table 5. Average Marginal Effects for Fixed- and Random Parameter Negative Binomial Models

	Urban Area						Rural Area					
	Diamond		Clover		Trumpet		Diamond		Clover		Trumpet	
	FNB	RPNB	FNB	RPNB	FNB	RPNB	FNB	RPNB	FNB	RPNB	FNB	RPNB
LNLEN	19,18	7,63	16,21	10,00	5,87	2,94	2,73	1,74	-	1,83	4,273	1,83
LNADT	27,59	8,01	26,74	15,40	19,52	7,02	3,85	1,95	14,06	6,65	2,79	1,92
MEDIAN	19,73	7,49	88,17	68,38	-6,25	-1,97	-1,10	-1,22	22,82	17,73	10,44	4,63
POINT	35,14	23,20	-17,15	-9,06	-	15,31	-10,08	-3,84	-	-	-	-
NOLIGHT	-	1,89	868,73	67,71	-5,03	-3,29	-	-1,03	-	14,23	-	-
RIGHT	18,34	4,50	927,66	70,83	-	-	-	-0,62	-	-	-	-
NLN2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4,38	-2,55
NLN3	6,33	4,27	8,18	5,74	-	-	1,11	0,95	5,41	2,72	-2,84	-1,34
NLN4	12,86	8,53	15,57	11,72	0,07	2,08	3,90	2,26	-	-	-	-
LSHW34	-3,98	-4,46	-	-	-	-	-	-	-17,93	-8,55	-7,96	-1,31
LSHW59	-5,77	-3,52	-	-	-4,80	-1,46	-0,64	-0,75	-13,80	-7,54	-12,74	-2,84
LSHW10	-4,13	-3,42	-	-	-12,72	-3,59	-	-	-25,67	-13,04	-6,75	-1,25
RSHW34	-	-	-	3,46	-1,95	-0,70	-	-	-	-	-	-
RSHW59	-	-	-	6,50	-2,01	-0,94	-	-	-	-	-	-
RSHW10	-	-0,68	-4,52	-2,87	-	-	-	-	-	-	-	-
RSHW1124	-	-	-	-	-	-	-	-0,41	-	-	-	-
NHORZ	-	-	-	-	-	-	0,17	0,06	-	-	-	-
NVERT	-	-	-	-	-	-	-0,09	-0,05	-	-	-	-

에서 발생한 위기상황에 대하여 충분한 대처가 가능하기 때문인 것으로 판단된다.

좌측 길어깨 폭의 경우에도 사고감소에 영향을 주는 것으로 나타났으나, 한계효과 측면에서는 다이아몬드형 인터체인지(도시부)에서는 10ft 이상의 설치가 5~9ft폭의 길어깨 폭보다 사고에 대한 감소효과가 낮은 것으로 나타났다. 트럼펫형 인터체인지(지방부)에서도 같은 결과가 도출되었는데, 이는 “길어깨 폭이 넓으면 안전할 것이다” 라는 기존의 개념을 재정립할 수 있는 결과로 보여지며, 길어깨 폭의 증가에 따른 공사비 대비 사고비용측면에서의 연구가 이루어져야 할 것이다.

우측 길어깨는 FNB에서는 통계적으로 유의하지 않은 변수로 나타났으나, RPNB모형에서는 사고감소에 영향을 주는 것으로 나타났다. 하지만, 도시부의 클로버 형태에서는 10ft 이하의 구간에서는 사고가 증가하는 것으로 나타났으며, 한계효과 측면에서는 10ft 이상의 길어깨 폭에서는 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 클로버 형태의 인터체인지에서는 엇갈림구간(weaving)의 존재가 사고의 증가에 영향을 미치는 것으로 판단되며, 전방상황에 따라 충분히 대처할 수 있는 여유가 있는 10ft 이상의 넓은 폭을 가진 길어깨의 설치가 필요할 것으로 판단된다.

곡선 수의 경우, 지방부 다이아몬드 인터체인지 구간에서만 유의한 값이 도출되었는데, 구간 내 평면곡선수는 사고증가에, 종단곡선수는 사고감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 보다 자세한 분석을 위해서는 곡선에 대한 자세한 요소(구배, 반경, 길이 등)가 필요하겠으나, 평면곡선의 수가 교통사고발생에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

이번 연구에서는 미국 워싱턴 주에 위치한 7개 고속도로에서 인터체인지가 설치된 본선 구간에서 9년 동안 발생한 교통사고와 기하구조와의 관계를 파악하였다. 기존에 많이 사용되는 FNB모형에서 한단계 발전한 RPNB모형을 적용함으로써, 기존의 모형에서는 도출할 수 없었던 구간별로 상이할 수 있는 특성을 반영한 결과를 설치된 조명의 형태 변수에서 미약하지만 도출할 수 있었다. 그리고, 기존의 인터체인지 연결로 자체에서 발생한 사고 분석보다 인터체인지 연결로가 접속한 본선 구간에서의 사고발생을 지역별/인터체인지 형태별로 분석함으로써, 고속도로 설계 시, 본선의 인터체인지 연결

로 구간에서 안전성 향상을 위해 개선해야 할 사항을 파악하고자 하였다.

우선, 교통량 및 설치된 조명의 형태에 대한 변수는 random parameter인 것으로 분석되었다. 이는 도로 조명의 설치형태별로 모든 구간에서 사고에 대하여 동일한 영향을 주는 것이 아니라, 구간별로 다른 영향을 미치는 것을 의미하며, 기존의 FNB모형 적용 시에는 도출하기가 어려운 결과이다. 조명의 경우, 안전성 향상에 도움이 되기는 하지만 도로 기하구조와의 잘못된 조합은 사고발생에 영향을 미칠 수 있기에 향후 조명설치에 관한 보다 자세한 연구가 진행되어야 할 것이다.

그리고 조명을 제외한 다른 변수는 구간에 관계없이 동일한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 노출량과 관계된 차선수, 구간 길이는 사고증가와 양의 관계가 나타났으며, 지방부 트럼펫형 인터체인지에서는 모든 차선수에서 사고발생이 감소하지만 이는 다른 형태의 인터체인지와 비교하였을 때 상대적으로 구간의 길이가 길어서 전방에서 발생하는 상황에 대처가 가능하기 때문인 것으로 판단된다.

좌·우 길어깨 폭은 한계효과 측면에서 10ft 이상의 길어깨 폭을 가진 구간보다 5~9ft의 폭을 가진 구간에서의 사고감소 효과가 크게 나타나, 과거의 길어깨 폭이 넓은 수록 안전할 것이라는 개념을 10ft 이상의 길어깨 폭 건설을 위한 공사비 대비 사고비용 측면에서 최적의 길어깨 폭을 위한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

곡선 수의 경우에도 평면곡선의 수가 사고발생에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 곡선에 대한 자세한 사항까지 포함된 연구가 진행되어야 할 것이다.

이번 연구에서는 기존의 모형보다 발전된 형태의 RPNB모형을 사용하여, 구간별 특성을 고려한 교통사고와의 관계를 고려할 수가 있었다. 하지만, 사용된 자료가 인터체인지가 속한 본선구간의 자료에 국한 되어 향후 연구에서는 인터체인지의 속성을 고려할 수 있는 통합된 자료를 바탕으로 한 연구가 필요할 것이다.

그리고 교통사고건수를 전체 사고건수가 아닌 심각도별 사고건수를 적용함으로써 길어깨 폭의 건설비용과 사고비용의 관계를 고려한 최적 길어깨 폭의 정립을 위한 연구가 필요할 것이다. 이는 최소한의 비용으로 최대한의 안전성을 보장할 수 있는 도로건설을 위한 지침등의 마련에도 도움이 될 것으로 판단된다.

마지막으로, 이 연구에서는 미국의 고속도로 자료를 이용하였으나 국내의 자료를 이용하게 된다면 도로 이용자의 행동(운전)패턴이 상이하여 국내 실정에 맞는 결

과가 도출될 수 있을 것으로 판단된다. 기존의 이질성을 고려하지 않는 모형보다는 본 연구에서 제시하는 모형을 이용한다면 보다 현실을 반영하는 그리고 구간별 특성을 고려한 결과가 도출되어 도로의 안전성 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

References

- Bauer K. M., D. W. Harwood(1997), "Statistical Models of accidents in Interchange Ramp and Speed-Change Lanes", FHWA-RD-97-106.
- Bhat, C.(2003), "Simulation estimation of mixed discrete choice models using randomized and scrambles Halton sequences", *Transportation Research Part B*, Vol.37, No.1, pp.837-855.
- Greene, W., 2007. *Limdep*, Version 9.0. Econometric Software Inc., Plainview, NY.
- 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*, Vol. 1068, pp. 42-51, Transportation Research Board, Washington D.C.
- Kim, T.Y., Lee, Y.M., Byeon, S.C., Park, B.H.,(2007), *Proceeding of the 57th KOR-KST Conference*, pp.404-411.
- Noh, C. G., Park, J. S., Son, B. S.(2008), "A Study of Accident Models for Highway Interchange Ramps", *J. Korea Soc. of Transportation Eng.*, Vol.26, No.4. pp.29-40.
- 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.
- Park M. H.(2013), "Relationship between Interstate Highway Accidents and Heterogeneous Geometrics by Random Parameter Negative Binomial Model - A case of Interstate Highway in Washington State, USA", *J. Korea Soc. of Civil Eng.*, Vol.33, No.6, pp.2437-2445.
- Park M. H., Noh, K. S, Kim, J.M.(2014), "Relationship Between Accidents and Non-homogeneous Geometrics: Main Line Sections on Interstate", *J. Korean Soc. Transp.* Vol.32, No.2, pp.170-178, 2014.
- Sarath, C. J. and Nicholas, J. G. (1990). "Estimating truck accident rate and involvements using linear and poisson regression models." *Transportation Planning and Technology*, Vol. 15, No. 1, pp. 41-58.
- Shankar, V., Mannering, F., and Barfield, W. (1995). *Effect of Roadway Geometrics and Environmental Factors on Rural Freeway Accident Frequencies. Accident Analysis and Prevention*. Vol.27, No.3, 371-389.
- Shankar, V. N., Albin, R.B., Milton, J.C., Mannering, F.L.(1998). *Evaluation of median crossover likelihoods with clustered accident counts: an empirical inquiry using the random effect negative binomial model. Transport. Res. Record*. 1635, 44-48.
- Train, K., 1997. *Mixed logit models for recreation demand*. In: King, C., Hurriges, J.(Eds), *Valuing the Environment Using Recreation Demand Models*. Elgar Press. New York.
- Washington, S.P., Karlaftis, M.G., Mannering, F.L., 2003. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Chapman & Hall/CRC.
- Yoon, B. J., Oh, Y. T., Lee, S. H., Ji, D.H.(2006), "A Study on the Characteristics of Traffic Accidents on Trumpet IC Ramp", *J. Korea Soc. of Transportation Eng.*, Vol.24, No.7, pp.41-51.