

확률모수를 이용한 교통사고예측모형 개발: 지방부 다차로 도로를 중심으로

임준범¹ · 이수범^{1*} · 김준기² · 김정현³

¹ 서울시립대학교 교통공학과, ² 국토연구원 국토인프라연구본부

³ 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소

A Development of Traffic Accident Estimation Model by Random Parameter Negative Binomial Model: Focus on Multilane Rural Highway

LIM, Joon Beom¹ · LEE, Soo Beom^{1*} · KIM, Joon-ki² · KIM, Jeong Hyun³

¹ Department of Transportation Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

² National Infrastructure Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements, Gyeonggi 431-712, Korea

³ Green Transport & Logistics Institute, Korea Railroad Research Institute, Gyeonggi 437-757, Korea

Abstract

In this study, accident frequency prediction models were constructed by collecting variables such as geometric structures, safety facilities, traffic volume and weather conditions, land use, highway design-satisfaction criteria along 780km (4,372 sections) of 4 lane-highways over 8 areas. As for models, a fixed parameter model and a random parameter model were employed. In the random parameter model, some influences were reversed as the range was expressed based on specific probability in the case of no fixed coefficients. In the fixed parameter model, the influences of independent variables on accident frequency were interpreted by using one coefficient, but in the random parameter model, more various interpretations were took place. In particular, curve radius, securement of shoulder lane, vertical grade design criteria satisfaction showed both positive and negative influence, according to specific probability. This means that there could be a reverse effect depending on the behavioral characteristics of drivers and the characteristics of highway sections. Rather, they influence the increase of accident frequency through the all sections.

본 연구는 전국 8개 권역(경기, 강원, 충남, 충북, 전남, 전북, 경남, 경북)에 4차로 이상도로(다차로 도로)구간 약 780km(4,372개구간)의 기하구조, 안전시설물, 교통량 및 기상, 토지이용, 도로설계기준 만족여부 등의 변수를 수집하여 사고건수 예측모형을 구축하였다. 모형은 고정모수 모형(fixed parameter model)과 확률모수 모형(random parameter model)을 사용하였다. 확률 모수 음이항 모형의 경우에 계수가 고정된 것이 아닌 특정확률을 가지고 범위로 표현함으로써 부호가 반대가 되는 경우도 일부 나타났다. 고정모수의 음이항 모형은 독립변수가 사고건수에 미치는 영향을 모든 구간에서 하나의 계수로 해석할 수 밖에 없었으나, 확률모수를 이용한 음이항 모형에서는 더욱 다양한 해석이 가능하였다. 특히, 곡선반경, 길어깨 확보유무, 종단경사 설계기준 만족유무는 특정확률을 가지고 양의영향과 음의영향이 모두 나타났다. 이러한 현상은 모든 구간에서 일률적으로 사고건수 증감에 영향을 미친다기 보다는 일부구간에서는 운전자의 행동특성, 도로구간의 특성에 따라서 반대의 효과가 나타나기도 하는 것을 의미한다.

Keywords

accident model, accident frequency, negative binomial model, random parameter, road safety
사고모형, 사고건수, 음이항 모형, 확률모수, 도로안전

*: Corresponding Author
mendota@uos.ac.kr, Phone: +82-2-6490-2824, Fax: +82-2-6490-2819

Received 4 July 2014, Accepted 8 October 2014

서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라는 교통안전에 대한 사회적 관심과 요구가 증대됨에 따라서 '교통사고 사상자 절반 줄이기' 추진 등 교통사고 절감을 위한 다양한 사업과 정책을 시행하고 있다. 근래에 들어서 도로의 건설·확장보다는 도로의 안전성 향상을 위한 선형개량 사업등이 늘어나고 있는 추세이다. 예를 들어, 국토교통부 고시자료에 따르면(2012), 제2차 국토 5개년 계획('06-'10)에서는 확장이 53건(71%), 개량이 22건(29%)이었다. 그런데, 제3차 국토 5개년 계획('11-'15)에서는 확장이 22건(30%), 개량이 50건(70%)으로 역전되었다. 이러한 교통안전 향상에 대한 정책 및 사업수행시 가장 기본이 되는 것은 위험한 구간(또는 지점)을 판단하는 것이다. 현재 우리나라는 이 위험한 구간(또는 지점)을 사고다발지점(black spot)으로 판단하고 있다. 그러나 도로 교통사고는 도로, 사람, 차량 세가지 요인이 개별적 또는 복합적으로 작용하여 발생하며, 사람이 관련되어 발생한 사고는 전체사고의 93%에 해당한다(Ogden, 1996). 사람이 연관된 사고가 상당수 있기 때문에, 사고가 많이 난 곳이 꼭 위험한 구간(또는 지점)이라고 하기엔 무리가 있다.

이에 따라 미국 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)에서는 HSM(Highway Safety Manual)을 발간하여, 위험한 도로에 대한 판단을 정량적, 과학적 기법으로 적용할 수 있도록 하고 있다. HSM에서 제공하고 있는 정량적, 과학적 기법에 따른 안전한 도로, 위험한 도로의 판단은 사고예측모형의 정립에서부터 시작된다.

교통안전분야에서 사고예측모형의 개발은 매우 중요한 연구로써, 위험한 도로의 판단과 사고에 영향을 주는 요인 등을 분석하기 위해서 1970년대 이전부터 연구되어져 왔다. 주로 고정모수모형(fixed parameter model)인 음이항 회귀모형(Negative Binomial Regression Model) 등이 사용되어져 왔으며, 고정모수 모형의 한계점을 해결하고자 최근에는 확률모수 음이항 모형(random parameter negative binomial model)이 개발되었다.

고정모수모형은 독립변수가 종속변수(교통사고건수)에 미치는 영향정도가 하나의 계수값으로 추정된다. 그

러나 구간마다 통행차량의 특성, 운전자 특성 등에 따라서 그 영향정도가 다를 수 있는데(R.R. Dindu, 2011; Anastasopoulos, 2009), 모든 구간에서 사고에 미치는 영향을 동일한 크기로 설명하는 것은 분명 한계점이 있다고 할 수 있다. 통계적으로 보면, 고정모수모형은 시간변화와 특정구간의 효과를 포함하지 못함으로써, 회귀계수의 표준오차가 과소추정되고, 결과적으로 과장된 t값을 추정하는 오류를 범할 수 있다.

이를 좀 더 확대하게 되면, 고정모수모형은 독립변수가 사고건수에 미치는 영향이 반드시 양 또는 음 하나의 값으로 나타나지만, 실제사고에 미치는 영향이 양과 음이 모두 나타날 수 있고, 범위에 따라 영향정도가 다를 수도 있다. 예를 들어, 중단경사는 5%까지는 사고증가에 영향이 없으며, 6%부터는 급격한 사고증가를 가져온다고 분석하였다(Krebs et al., 1998). 또한 중단경사의 변화수(frequency of vertical grade changes per mile)는 사고심각도(accident severity)에 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 모두 준다(Narayan S., 2011). 또 다른 연구결과를 보면 구체적인 개별구간의 다양성은 변수에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났으며, 그러한 영향이 항상 단일방향(양의 영향 또는 음의 영향)으로 나타나는 것은 아니다(Milton et al., 2008). 이러한 이질성(heterogeneity)은 고정모수모형으로는 설명하기가 어렵다.

이러한 한계점으로 인하여 본 논문에서는 최근 국내외에서 연구되고 있는 확률모수 모형을 국내 4차로 이상 도로에 적용하여 보고, 기존의 고정모수 음이항 모형과 비교·해석하는 것이 목적이다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 전국 국도, 국지도 4차로 이상 데이터를 수집하여 교통사고예측모형을 정립하고자 한다. 기존에 주로 국내외에서 사용하는 포아송 및 음이항 모형에서 더욱 발전된 형태인 확률모수를 이용한 음이항 모형을 이용하여 모형을 정립하도록 한다.

연구의 수행절차는 다음과 같다. 첫째, 연구의 범위 및 방법을 설정한다. 둘째, 교통사고예측모형과 확률모수 모형의 문헌을 고찰한다. 셋째, 자료를 수집하고 상관분석, 빈도분석, 분포도 분석을 수행하여 부적정변수는 삭제한다. 넷째, 최종포함된 초기모형 변수를 바탕으로 음이항 모형 및 확률모수를 이용한 음이항 모형을 정립

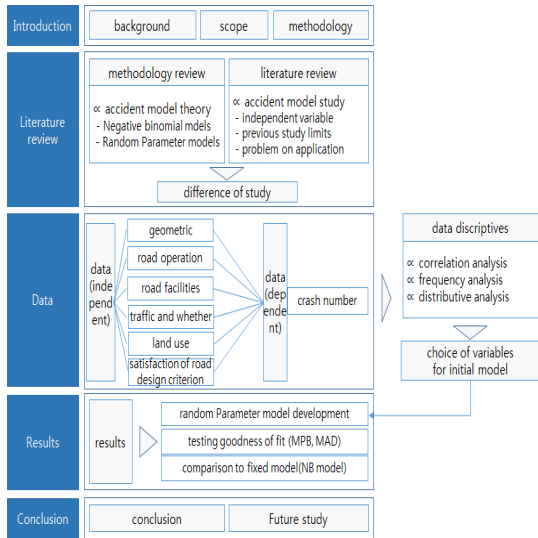


Figure 1. Study of process

하고, 적합도를 검증한다. 마지막으로 모형의 해석 및 결론, 한계점 및 향후 연구 과제를 제시한다. 과정을 그림으로 표현하면 Figure 1와 같다.

3. 기존 문헌 고찰

많은 연구자들이 교통사고 발생에 영향을 미치는 요인을 알기 위하여 사고예측모형을 발전시켜 왔다. 처음에는 단순 선형회귀식으로 개발되었는데, 변수값이 증가할수록 분산값이 증가하게 되어 선형회귀식의 일반가정인 등분산성(homoscedastisity) 가정에 위배한다 (Park G. Y., 2006; Park M. H., 2013). 등분산성은 변수의 유의수준에 변화를 주게 되며, 이는 변수에 대한 통계적 유의성을 낮추게 된다. 또한, 교통사고건수와 같은 양(positive)의 변수에 대해 음(negative)의 사고건수를 예측한다는 단점이 있다(Park G. Y., 2006). 이러한 문제점을 해결하고자, 사고건수를 이산적 확률변수 (Discrete Random Variable)로 해석하는 포아송회귀모형(Poisson Regression Model)이 제안되었다 (Gustavsson and Svensson, 1976). 포아송회귀모형은 “분산과 평균이 같다.”라는 중요한 전제를 가지고 있다. 하지만, 실제 발생하는 교통사고는 많은 경우 분산값이 평균값보다 큰 과분산(overdispersion)의 형태를 보이게 되어, 이는 포아송으로 계수추정시 표준오차를 과소추정하게 하는 문제가 있다(Park G. Y., 2006). 이를 보완하기 위하여 음이항 회귀모형을 이용하여 사고

모형을 구축하게 되었다(Shankar et al., 1995; Poch and Mannering, 1996; Miaou and Lord, 2003; Kim and Washington, 2006; El-Basyouny and Sayed, 2006; Park et al., 2012). 음이항 회귀모형은 포아송분포에서 변형되었으며, 평균과 분산이 동일하다는 전제가 없다. 교통사고에 영향을 미치는 교통과 도로기하구조 요소만을 설명변수로 했을 때, 음이항 회귀모형이 더 적합함이 증명되었다(Poch and Mannering, 1996). 더 나아가 도로구간을 기하구조가 동일한 구간으로 분할하여 사고를 예측하는 경우 사고건수가 0인 구간이 많이 발생한다. 사고 건수가 0인 구간이 안전한 구간인지의 여부를 반영하기 위해서 영 과잉 모형이 개발되었다(Shankar et al., 1997; Carson and Mannering, 2001; Qin et al., 2004; Lord et al., 2007).

1) 확률모수 모형 개요

사고예측모형의 전반적인 이론과 음이항모형 이론은 생략하도록 하며, 확률모수 음이항모형에 대한 이론적 개요는 “확률모수를 이용한 음이항모형에 의한 교통사고와 기하구조와의 관계-미국 워싱턴 주 고속도로를 중심으로(Park M. H., 2013)” 논문을 참고하였다. 이 연구에서 제시하고자 하는 확률모수를 이용한 음이항 모형이 기존의 음이항 모형과 다른 가장 큰 특징은 계수값(β)이 고정되어 있지 않다는 것이다. 일반적으로 독립변수(x)는 관측되거나 수집된 자료에 제약되어 있기 때문에 독립변수로부터 이용가능한 최대한의 정보를 얻는 것에 모델링의 목적이 있으며, 이러한 관점에서 각 계수를 고정된 값이 아니라, 공간별(i) 혹은 시간별(t)로 다양하다고 가정하여 접근한다면 이질성(heterogeniety)을 고려한 계수값을 도출할 수 있게 된다. 예를 들면, 어느 특정분포가 확률모수의 지속적인 변화를 가장 잘 나타낸다고 가정하는 것이며, 이러한 가정에 기반한 우도함수(likelihood function)는 고정된 계수가 아닌 변화하는 계수로부터 계산된 확률을 기반으로 해서 다음과 같이 수정될 수 있게 된다.

$$\beta = \beta + \Delta h_i + \Gamma w \tag{1}$$

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 이질성(parameter hetero-

geniety)을 나타내는 기본적인 식이며, 특히 델타 (Δ)는 계수(β)에 영향을 미치는 외생변수(exogenous variable)를 포함하며, 만약 변수 평균값내에 이질성이 외생변수로 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 이항 변수(dummy variable)라면, 균일(uniform)분포가, 연속변수(continuous variable)라면 정규(normal) 또는 로그정규(log normal)분포가 될 것이다. 따라서, 세 번째 항이 통계적으로 유의하면, 계수값이 표준편차값과 함께 각 구간별로 상이한 값이(이질성을 가진다) 추정되며, 통계적으로 유의하지 않으면, 일반적인 음의 영향모형이 적용되어 계수값이 구간에 상관없이 고정된 값으로 추정된다.

모형의 도출시 Halton draws를 이용한 최대우도추정법을 사용하였다. Halton draws는 likelihood를 구성하기 곤란한 경우에, 난수(random number)를 뽑는(draw) simulation-based maximum likelihood method 중 하나이다. 난수를 뽑기(draw) 위해서는 대표성을 충족시키기 위해 많이 draw하는 것이 좋는데, 모형이 복잡하고 데이터가 큰 경우는 추정시간이 오래걸린다. 따라서 draw의 개수를 줄이더라도 대표성을 만족시키기 위해서 개발된 것이 Halton draw 방법이다. Halton draw 방법은 2,3,5,7,11과 같은 소수(prime number)에서 시작해 구획을 만들어서 빈 칸을 채우는 방식으로 draw 하는 것이다. 예를 들어, 소수(prime number)를 2로 시작하면 0에서 1까지 구획을 2구간으로 나누는데, 첫 번째 draw는 1/2가 된다. 그리고 0에서 1/2까지의 구간에서 1/2를 하므로 두 번째 draw는 1/4가 된다. 그리고 1/2에서 1까지의 1/2이 되는 점은 3/4이므로 세 번째 draw는 3/4가 된다. 이러한 방식으로 구획을 미리 나눈 다음 draw하는 것이 Halton draw 방식이다. 기존연구에서 정확한 계수추정을 위해서는 200 Halton draw가 필요하다고 나타났다(Bhat, 2003; Milton et al., 2008; 박민호, 2013). 본 논문에서는 200 Halton draw를 적용하여 최종 모형으로 도출하였다.

2) 관련연구

Narayan S.(2011)은 고정계수 모형은 표준화 에러

가 낮게 추정되어 t-value 가 과도하게 추정되는 한계가 있다고 하였다. 또한 공간적, 시간적 다양성을 반영할 수 없고, 하나의 계수로 모든 구간을 추정하는 것은 한계가 있다고 하였으며, 이러한 이유로 확률모수 모형이 필요하다고 하였다. 확률모수 모형 구축결과, 21개 변수중 6개의 변수의 계수가 범위값을 가지는 것으로 나타났다. 확률모수의 변수는 교통량(ADT), 조명비율, 중앙분리대 비율, 구간내 최대곡선반경, 곡선내 최대 종단경사, 구간내 최소 종단경사이다.

Erdong(2014)은 운전자와 교통특성이 이질성을(heterogeneity) 가지지 때문에, 고정된 계수모형은 bias를 야기할 수 있다고 하였다. 공사구간에 사고건수 예측모형을 확률모수 모형으로 구축한 결과, 토지개발정도, 낮은 개발밀도, 높은 개발밀도, 여름변수(5-6월), 겨울변수(11-12월)는 확률모수로 범위를 가지는 계수로 개발되었다. 특히 여름변수는 계수값이 0.125로 추정되었으나 표준편차가 이보다 더 큰 0.239로 추정되어 음의영향과 양의영향을 모두 보일 수 있다고 하였다. 여름에 음의영향을 나타낼 확률은 27.3%로 계산되었고, 그 이유는 여름기간에 여가, 여행등으로 다양한 운전자들이 늘어나기 때문으로 해석하였다.

Dindu(2011)는 도로구간에서 사고발생은 차량유형, 운전자 행동 특성의 다양성 때문에 이질성을 가지고 있다고 하였다. 중분대가 없는 200km 정도의 2차로 도로를 확률모수 모형으로 분석한 결과, 교통량, 승용차비율, 이륜차비율, 트럭비율, 진출입구 밀도, 가중된 평면곡선반경은 확률모수로 추정되었고, 구간길이, 버스비율, 길어깨폭, 가중된 종단경사는 고정모수로 추정되었다.

Anastasopoulos(2009)는 과거 사고건수모형은 관측구간에서 사고영향 정도를 하나로 고정시키는 것을 주로 사용하였으나, 일부 또는 전체의 계수를 이질성을 두어 추정하는 것을 제안하였다. 모형구축결과, 구간길이, 중분대유무, 좌측길어깨유무, 거리당 평면곡선반경의 평균, AADT, 5년간 최대 IRI, 마모정도 등이 확률모수 변수로 나타났다. 좌측길어깨폭을 5ft 이상 확보하는 것은 89.46%의 확률로 사고건수에 음의영향이 있으며, 10.54% 확률로 사고건수에 양의영향이 있는 것으로 나타났다.

자료의 수집 및 기초통계분석

(본 연구에서 사용한 자료는 "도로안전성 분석 모형에

관한 연구 : 전략북도 국도 권역을 중심으로(임준범, 2014)”의 논문과 같습니다.) 기존연구에서 사고에 영향이 있다고 알려진 변수들을 수집하고, 기존연구에서 시도하지 않았던 설계기준 만족여부를 추가로 수집하였다. 사고건수는 교통안전공단에서 제공하는 2008-2010년 3년간 자료를 수집하였다(Table 3, 4, 5 등에서 나오는 변수명의 의미는 본 장에서 확인할 수 있다).

1. 자료의 수집방법

1) 도로기하구조 및 시설물

도로폭, 도로선형 등의 기하구조 데이터는 첨단 도로 점검차량(한국건설기술연구원) 또는 NAHMIS 도면자료, 다음 로드뷰(<http://map.daum.net>)를 활용하였다. 첨단 도로점검 차량의 경우 기하구조 및 도로 정보의 신속한 자료 수집이 가능하다. 이렇게 수집된 변수는 구간길이(length), 구간유형(직선,곡선)(ali_type), 곡선반경(radius), 종단경사(grade), 차로폭(L_width), 차선수(lanes_NO), 길어깨유무(shoulder), 가로등(light), 횡단보도갯수(cross), 보도(sidewalk), 과속방지턱(s_bump), 중앙분리대유무(divider), 가드레일유무(guard), 설계속도(de_speed), 일방통행유무(oneway), 자동차 전용도로유무(exclus), 부가차로유무(addlane), 버스차로유무(buslane), 고가차도유무(overpass), 지하차도유무(underpass), 진출입구수(IO_NO), 교량유무(bridge),

STA	X	Y	ALIGN_TYPE	ALIGN_RADIUS	ALIGN_PARAM	PROFILE_S LOPE	...	RW_UP	RW_DN
0	169946.5	334974.1	T	0	0	1.4	...	8	7.2
1	169946.4	334975.1	T	0	0	1.4	...	8.3	7.2
2	169946.3	334976.1	T	0	0	1.4	...	8.5	7.3
3	169946.2	334977.1	T	0	0	1.4	...	8.8	7.3
4	169946.1	334978.1	T	0	0	1.4	...	9.1	7.3
5	169946	334979.1	T	0	0	1.4	...	9.3	7.3
6	169945.9	334980.1	T	0	0	1.4	...	9.6	7.4
7	169945.8	334981.1	T	0	0	1.4	...	9.9	7.4
8	169945.7	334982.1	T	0	0	1.4	...	10.1	7.4
9	169945.6	334983.1	T	0	0	1.4	...	10.4	7.4
10	169945.5	334984.1	C	258	45.952	1.4	...	10.7	7.5
11	169945.5	334985.1	C	258	45.952	1.4	...	10.9	7.5
12	169945.4	334986	C	258	45.952	1.4	...	11.2	7.5
13	169945.4	334987	C	258	45.952	1.4	...	11.4	7.5
14	169945.3	334988	C	258	45.952	1.4	...	11.7	7.5
15	169945.3	334989	C	258	45.952	1.4	...	12	7.6
16	169945.3	334990	C	258	45.952	1.4	...	12.2	7.6
17	169945.2	334991	C	258	45.952	1.4	...	12.5	7.6
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
118	169961.9	335089.9	C	258	0	1.4	...	7.7	8.4
119	169962.2	335090.8	C	258	0	1.4	...	7.6	8.5
220	170017.8	335198.1	C	290	67.825	2.48	...	6.1	11.3
221	170018.2	335199	C	290	67.825	2.48	...	6.1	11.3
223	170018.5	335199.9	C	290	67.825	2.48	...	6.1	11.3
224	170018.9	335200.9	C	290	67.825	2.48	...	6.1	11.4

Figure 2. Homogeneous section samples

터널유무(tunnel), 버스정류장수(busstop), 톨게이트유무(tollgate) 총 25개 변수이다.

수집된 자료는 구간 분할법에 따라 분할하였다. 구간 분할은 평면선형 구분에 따라 직선과 곡선으로 1차 분할하고, 종단선형의 경사의 변화에 따라 2차 분할하였다. Figure 2는 23호선(영전사거리-봉황교차로) 자료를 구간 분할한 예시이다.

본 연구에서의 도로 기하구조 정보는 첨단도로점검차량을 이용하였기 때문에, 미세한 곡선반경 또는 종단경사의 변화도 측정되었으므로, 동질구간으로 구간을 분할하면 매우 짧은 구간도 나타나게 된다. 사실 같은 구간으로 봐도 되지만 정확한 장비로 측정된 것이어서, 매우 작은 차이로 인해 구간이 바뀌는 경우가 생겨 이러한 구간은 연구자가 판단하여 조정하였다. 예를 들어, 종단선형의 경사가 변하였어도, 그 값의 차가 1% 미만이면 동질구간으로 판단하고, 그 구간의 종단경사는 연장이 더 길게 있는 값(최빈값)으로 처리하였다.

또한, 첨단점검차량의 GPS좌표와 사고자료의 좌표 오차를 고려하여, 도로구간정보와 사고발생 위치의 매칭을 위해 구간길이가 100m정도가 되도록 미세한 선형변화는 동일구간으로 판단하였다.

2) 교통량 및 기상

교통량은 전국 교통량 조사 및 상시 조사 결과를 활용하였다. 또한 본 연구에서 정하는 일정 단위구간별 교통량 수집에는 한계가 있으므로 교통량이 조사된 지점의 교통량을 적용하며, 교통량 수집지점의 AADT와 차종별 AADT를 수집한 후 동질성 구간별로 해당 교통량 데이터를 적용하여 DB를 구축하였다.

기상 데이터는 기상청 자료(기상연보)를 활용하여 강우일수(rainday), 강설일수(snowday), 안개일수(fogday)를 수집하였다. 또한 기상데이터는 대상 노선지역 인근에 위치한 기상청·관측대 자료를 기준으로 적용하였다. 강우강도(rainpow)는 전국 도시 및 임의지점(좌표)의 IDF(Intensity-Duration-Frequency)곡선을 제공하는 국토교통부 확률강우정보(<http://www.k-idf.re.kr>) 사이트의 정보를 활용하였다(Figure 3 참고).

3) 토지이용특성

본 연구는 데이터 수집항목으로 토지피복지도를 이용하여 토지이용특성을 반영하였다. 토지이용특성은

GIS를 이용한 중첩분석(Overlay Analysis)과 공간중첩(Spatial Join Analysis)을 통해 도로가 위치한 지역의 토지이용을 반영하였다. 토지피복지도는 토지의 이용에 따라 7항목의 대분류와 23항목의 중분류로 구분되며(Table 1 참고). 본 연구에서는 중분류의 주거지역(LTliving), 공업지역(Ltfacto), 상업지역(LTBusi), 대분류의 농업지역(LTagri), 산림지역(LTforest)을 이용하였다. 나머지의 세분화된 분류들의 교통사고에 미치는 영향이 적을 것으로 판단하였다.

또한 해당구간 도로에 인접한(반경200m내에) 학교가 있는지 여부를 조사하였다. 학교는 초등학교수(eschool),

중학교수(mschool), 고등학교수(hschool), 대학교수(univer)를 포함하였다.

4) 설계기준 만족여부

도로의 설계기준 만족여부는 도로의 구조시설 기준에 관한 규칙(국토교통부, 2009)에서 제시하고 있는 도로 설계기준 중 곡선반경(Ra_sati), 종단경사(Gr_sati), 곡선길이(CL_sati) 설계기준에 만족하는지 여부를 판단하였다(Table 2 참고). 또한 위험한 설계로 알려져있는 복합선형(평면선형과 종단선형이 모두 적용된 선형) 존재 여부(CC_sati), 진출입구수가 곡선부에 존재하는지 여부(IO_sati), 전후 곡선반경 비율이 2를 초과하는지 여부(r_ratio)도 조사하였다.

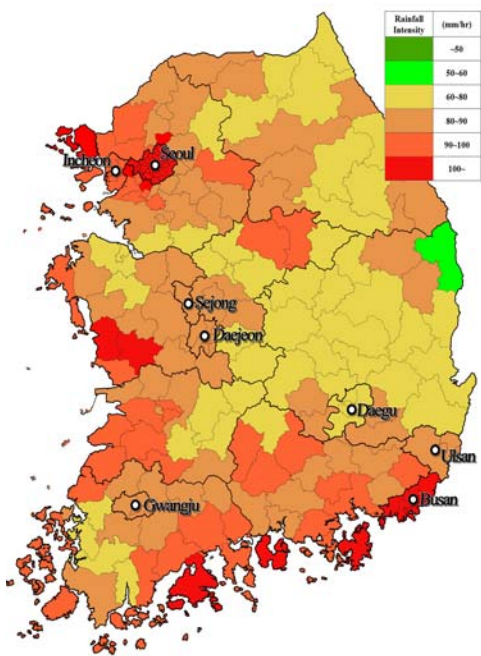


Figure 3. Rainfall intensity map(duration 60min.)



Figure 4. Land-use character

Table 2. Design criterion

division	Design criterion	
design speed	80km/h	60km/h
Radius	280m	140m
slope	6%	8%
length of curve	90m	70m

Table 1. Categorization of land-use

Main Category	Division	code	color	Main Category	Division	code	color
Urbanization	residential	110	[light orange]	Forest area	broad-leaved	310	[dark green]
Arid regions (1)	manufacturing	120	[brown]	(3)	coniferous	320	[medium green]
	the business	130	[pink]		mixed stand	330	[dark green]
	Local leisure facilities	140	[red]	Grassland	natural	410	[light green]
	Traffic area	150	[orange]	(4)	golf course	420	[medium green]
Agricultural areas (2)	public facilities	160	[yellow]	Others		430	[dark green]
	Snow	210	[light yellow]	Mars	inland wetlands	510	[purple]
	farm	220	[yellow]	(5)	coastal wet land	520	[light purple]
	house farm	230	[light green]		mining site	610	[dark blue]
	orchard	240	[green]	(6)	Others	620	[light blue]
	Others	110	[dark green]	Waters	inland water	710	[teal]
			(7)	marine water	720	[dark blue]	

2. 자료의 기초통계분석

모형 구축을 위해서 수집된 도로구간은 전국 8개권역(강원, 경기, 전남, 전북, 경남, 경북, 충남, 충북) 4차로 이상(다차로) 도로 780.552km(동질구간 4,372개)이다.

1) 기초통계분석

총 56개 독립변수와 1개의 종속변수(사고건수)를 동질구간별로 수집하였으며, 기초통계분석은 Table 3과 같다. 아래 변수 외에도 단위를 변화(예를 들어, 진출입구수를 진출입구수 밀도로 변환, 승용차대수를 AADT 중 승용차 비율로 변환 등)하여 분석을 수행하였다.

2) 빈도분석

총 4,372개 국도노선의 세부구간에서의 도로기하구조 및 시설물, 주변 토지이용특성을 조사하여 구간 내 시설의 유무를 구분한 결과는 Table 4와 같다.

조사결과 변수의 빈도가 너무 한쪽으로 치우쳐져 있는 변수는 모형추정에서 bias를 발생시킬 수 있으므로, 모형구축시 제거하였다. 따라서 일방통행의 유무, 고가차도의 유무, 지하차도의 유무, 톨게이트의 유무, 초등학교수, 중학교수, 고등학교수, 대학교수, 과속방지턱수 이상 9개 변수는 모형 구축시 제외되었다.

3) 상관분석

독립변수간 상관도가 높은 변수들은 다중공선성 문제가 발생하기 때문에 두 변수 중 더욱 의미가 있을 것으로 판단되는 변수 하나만 분석에 포함하도록 해야한다. 곡선반경은 곡선반경 설계기준 불만족여부와 상관성이 높으며, 종단경사는 종단경사 설계기준 만족여부, 복합선형 적용여부와 상관관계를 보이기 때문에 모형구축시 동시에 변수로 사용하지 않고, 상관성이 없는 변수들만 포함하였다. 상관분석결과는 Table 5와 같다.

모형구축 결과 및 해석

모형구축은 56개 독립변수에서 상관분석, 빈도분석을

통해서 의미가 없는 변수들을 제거하고, 초기모형을 설정하였다. 초기모형에 포함된 변수들을 backward(후진 제거 방법)¹⁾을 이용하였으며, 프로그램은 NLOGIT 3.0을 이용하였다. 사고발생건수에 영향을 주는 변수들에 대한 음이항 모형과 확률모수 음이항모형 구축결과를 Table 6과 같다.

모형구축결과, 음이항 모형은 신뢰도(ρ^2)가 0.188, 확률모수 모형은 0.194로 나타나 확률모수 음이항모형이 설명력이 더욱 좋은 것으로 나타났다.

음이항 모형과 확률모수 모형 모두 LN(구간길이), LN(AADT), 곡선반경(역수), 차로폭, 길어깨유무, 진출입구밀도, 진출입구 설계기준 만족여부, 곡선반경 비율 설계기준 만족여부, 종단경사 설계기준 만족여부 등 10개 변수가 사고건수에 영향을 미치는 변수로 나타났다. 이들 변수 중에서 차로폭과 길어깨유무는 음의영향을 나타냈으며, 나머지 변수는 모두 양의영향을 나타냈다.

1. 노출변수

LN(구간길이)의 추정된 계수값은 음이항 모형이 1.238, 확률모수 모형이 1.299로 유사하게 나타났으며, random 변수로는 의미가 없는 것으로 나타났다. 기존의 연구결과와 같이 구간길이가 길어질수록 사고는 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

LN(AADT)의 추정 계수값은 음이항 모형이 0.487, 확률모수 모형은 0.574로 유사하게 나타났으며, random 변수로 유의하게 나오지는 않았다.

구간길이와 교통량은 교통사고에 대한 노출량으로 간주될 수 있어, HSM(Highway Safety Manual)에서도 안전성능함수(Safety Performance Function, SPF)의 변수로 사용하고 있다. 음이항 모형과 확률모수 모형 모두 음의 영향은 발생하지 않는 것으로 나타났으며, 이는 기존 연구결과(Milton et al., 2008)과 동일하다.

2. 도로기하구조 특성

곡선반경(역수)의 추정계수값은 음이항 모형의 경우 0.371, 확률모수 모형의 경우 0.421로 유사하게 나타났으며, random 변수로는 유의하지 않은 것으로 나타났다.

1) Backward(후진제거방법)은 모든 독립변수들이 한꺼번에 들어가서 각 단계에서 종속변수에 대한 설명력이 낮은 순서로 제거하는 방법이다. 제거기준은 F값이나 p-value로 하며, 기준에 달하는 변수가 더 이상 없으면 종료된다.

Table 3. Data description

Variable description	Mean	Standard Deviation	Max.	Min.
Dependent variable				
Number of Traffic Accidents over 3 years	0.74	2.66	44.00	0.00
Exposure variables				
Length of the Homogeneity Section(m)	178.53	220.34	6295.00	4.00
Annual Average Daily Traffic Volume	9.16	0.92	10.82	7.01
Traffic characteristics				
Annual Average Daily Passenger Car Volume(veh per day)	9947.99	8412.52	41256.33	583.33
Annual Average Daily Bus Volume(veh per day)	367.38	417.22	1662.33	21.00
Annual average Daily Truck Volume(veh per day)	3577.82	2832.99	18070.33	380.33
Roadway characteristics				
Indicator for alignment type (0 if tangent, 1 otherwise)	0.49	0.50	1.00	0.00
Radius of Horizontal Curve(m)	331.06	554.63	6091.99	0.00
Vertical gradient (%)	1.83	1.93	15.48	0.00
Lane Width(m)	3.88	1.00	6.95	2.35
Number of Lanes	4.09	0.48	8.00	4.00
Indicator for shoulder lane (1 if greater than 1.25m, 0 otherwise)	0.33	0.47	1.00	0.00
Traffic operation characteristics				
Design Speed(km/h)	79.18	3.93	80.00	60.00
One-way(1 if present, 0 otherwise)	0.00	0.03	1.00	0.00
Motorway(1 if present, 0 otherwise)	0.11	0.31	1.00	0.00
Add Lane(1 if present, 0 otherwise)	0.01	0.09	1.00	0.00
Bus Lane(1 if present, 0 otherwise)	0.00	0.07	1.00	0.00
Overpass(1 if present, 0 otherwise)	0.00	0.04	1.00	0.00
Underpass(1 if present, 0 otherwise)	0.00	0.05	1.00	0.00
Number of driveways	0.79	2.25	36.00	0.00
Bridge(1 if present, 0 otherwise)	0.02	0.15	1.00	0.00
Tunnel(1 if present, 0 otherwise)	0.02	0.21	1.00	0.00
Number of bus stop	0.13	0.43	7.00	0.00
Toll gate(1 if present, 0 otherwise)	0.00	0.02	1.00	0.00
Weather characteristics				
Annual average number of raining days(day per year)	79.51	11.11	99.67	68.33
Annual average number of snowing days(day per year)	18.40	10.79	58.33	5.33
Annual average number of fogging days(day per year)	11.59	16.53	110.67	2.67
Indicator for rainfall intensity	4.39	0.97	6.00	3.00
Land-use characteristics				
Number of elementary Schools	0.01	0.08	1.00	0.00
Number of middle Schools	0.00	0.05	1.00	0.00
Number of high Schools	0.00	0.05	1.00	0.00
Number of universities	0.00	0.04	1.00	0.00
Indicator for residential area (1 if relevant, 0 otherwise)	0.07	0.26	1.00	0.00
Indicator for commercial area (1 if relevant, 0 otherwise)	0.02	0.15	1.00	0.00
Indicator for manufacturing area (1 if relevant, 0 otherwise)	0.02	0.12	1.00	0.00
Indicator for agricultural area(1 if relevant, 0 otherwise)	0.25	0.43	1.00	0.00
Indicator for forest area(1 if relevant, 0 otherwise)	0.60	0.49	1.00	0.00
Traffic safety facilities characteristics				
Number of lights	1.46	4.00	62.00	0.00
Number of crosswalks	0.13	0.42	6.00	0.00
Indicator for sidewalk (1 if present, 0 otherwise)	0.24	0.43	1.00	0.00
Indicator for speed bump (1 if present, 0 otherwise)	0.01	0.16	4.00	0.00
Indicator for median (1 if present, 0 otherwise)	0.54	0.50	1.00	0.00
Indicator for side barrier (1 if present, 0 otherwise)	0.53	0.50	1.00	0.00
Indicator for road design criteria satisfaction				
Indicator for radius of horizontal curve criteria satisfaction(0 if satisfied, 1 otherwise)	0.13	0.34	1.00	0.00
Indicator for grade criteria satisfaction (0 if satisfied, 1 otherwise)	0.03	0.16	1.00	0.00
Indicator for length of curve criteria satisfaction(0 if satisfied, 1 otherwise)	0.21	0.41	1.00	0.00
Indicator for complex curves criteria satisfaction(0 if satisfied, 1 otherwise)	0.06	0.24	1.00	0.00
Indicator for driveway criteria satisfaction(1 if driveway on curve, 0 otherwise)	0.11	0.32	1.00	0.00
Indicator for continuous curve radius ratio(0 if less than 2 times, 1 otherwise)	0.05	0.22	1.00	0.00

차로폭의 추정 계수값은 음이항 모형의 경우 -0.861, 확률수 모형은 평균 - 1.128(표준편차 0.274)로 나타났다. 두 모형 모두 차로폭이 커질수록 사고건수는 감소하는 것을 의미한다.

길어깨 유무(1.25m이상은 1, 1.25m미만은 0)의 추정 계수값은 음이항 모형의 경우, 평균 - 1.567(표준편차 1.174)로 나타났다. 음이항 모형의 결과로부터, 길어깨가 1.25m 이상이면 사고건수는 항상 감소하는 영향을 준다고 해석할 수 있다. 반면에, 확률모수 모형의 결과, 약 81%는 사고발생건수를 감소시킬 수 있으나, 사고발생건수를 증가시키는 경우도 약 16% 정도 나타나는 것을 알 수 있다(Figure 6 참고).

이 분포값은 균일분포의 최대치(평균+2×표준편차), 최소치(평균-2×표준편차)를 가정하여서 산출한 것이므로, 사고발생 건수의 증감에 대한 자세한 연구는 향후 필요할 것으로 판단된다. 길어깨가 설계기준(1.25m) 이상으로 확보된 구간에서는 운전자가 차선을 이탈하여도 다시 본래 차선으로 돌아올 수 있는 공간을 주는 역할을 하여 사고를 감소시킬 수 있다. 그러나 넓은 길어깨는 차량의 과속과 불법 주정차 등을 야기시킬 수 있어 사고를 증가시키는 구간도 있는 것으로 해석된다.

진출입구수 밀도의 추정 계수값은 음이항 모형의 경우, 0.032, 확률모수 모형의 경우, 0.035로 유사하게 나타났다.

Table 4. Frequency analysis results(part)

Variable	Nonpresent	Present	Total
ali_type	2,237	2,135	4,372
divider	1,990	2,382	4,372
guard	2,057	2,315	4,372
oneway	4,368	4	4,372
exclus	3,893	479	4,372
addlane	4,336	36	4,372
shoulder	2,951	1,421	4,372
buslane	4,351	21	4,372
IO_NO	3,328	1,044	4,372
overpass	4,365	7	4,372
un_pass	4,361	11	4,372
bridge	4,267	105	4,372
tunnel	4,291	81	4,372
tollgate	4,370	2	4,372
light	3,019	1,353	4,372
eschool	4,345	27	4,372
mschool	4,360	12	4,372
hschool	4,363	9	4,372
univer	4,364	8	4,372
cross	3,940	432	4,372
sidewalk	3,303	1,069	4,372
s_bump	4,342	30	4,372
busstop	3,951	421	4,372

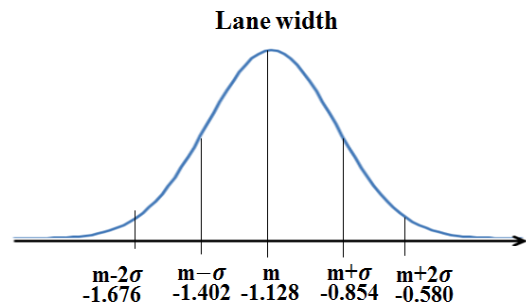


Figure 5. Distribution of parameter estimation for lanewidth

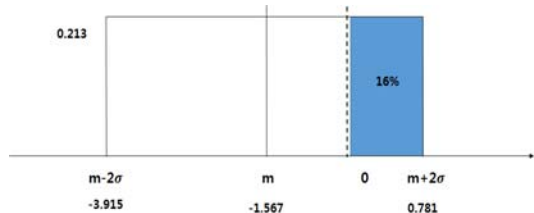


Figure 6. Distribution of parameter estimation for shoulderlane

Table 5. Correlations anlysis results(part)

	Correlations														
	acc	length	ali_type	radius	grade	Ra_sati	usR	sR	Gr_sati	usGr	sGr	CL_sati	usCL	sCL	CC_sati
acc	1.000	0.210	0.059	0.010	0.157	0.035	-0.021	0.012	0.187	0.175	0.032	-0.135	-0.120	0.216	0.144
length	0.210	1.000	-0.090	-0.034	-0.123	-0.128	-0.116	-0.021	-0.027	-0.028	-0.131	-0.311	-0.257	0.996	-0.057
ali_type	0.059	-0.090	1.000	0.612	0.113	0.403	0.357	0.565	0.075	0.070	0.077	0.543	0.485	-0.135	0.253
radius	0.010	-0.034	0.612	1.000	-0.024	-0.125	-0.088	0.994	-0.014	-0.009	-0.021	0.311	0.239	-0.056	-0.044
grade	0.157	-0.123	0.113	-0.024	1.000	0.182	0.113	-0.035	0.583	0.634	0.668	0.113	0.101	-0.130	0.539
Ra_sati	0.035	-0.128	0.403	-0.125	0.182	1.000	0.886	-0.217	0.149	0.133	0.104	0.351	0.333	-0.157	0.357
Gr_sati	0.187	-0.027	0.075	-0.014	0.583	0.149	0.072	-0.022	1.000	0.942	-0.162	0.033	0.030	-0.029	0.353
CL_sati	-0.135	-0.311	0.543	0.311	0.113	0.351	0.329	0.272	0.033	0.040	0.106	1.000	0.893	-0.389	0.204
CC_sati	0.144	-0.057	0.253	-0.044	0.539	0.357	0.254	-0.070	0.353	0.316	0.385	0.204	0.189	-0.074	1.000

3. 토지이용 특성

토지이용 변수들 중에서 주거특성만 의미가 있는 것으로 나타났으며, 추정 계수값은 음이항 모형의 경우, 0.375, 확률모수 모형의 경우, 0.427로 나타났으며, random 변수로는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 두 모형 모두 주거지역 도로는 사고건수를 증가시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 주거지역의 경우 보행량이 많고, 차량간 또는 차량간 보행자간의 상충 기회가 많이 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 상업지역에서도 비슷한 이유로 사고건수가 증가할 것으로 예상하였으나, 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 연구대상 구간이 지방부 도로임에 따라 상업지역은 큰 영향이 없는 것으로 판단된다.

4. 설계기준 만족여부

진출입구 설계기준 만족여부의 추정 계수값은 음이항 모형의 경우, 0.411, 확률모수 모형의 경우, random 변수로는 유의하지 않게 나왔으며, 고정계수로 0.456으로 나타났다.

곡선반경 비율 설계기준 만족여부의 추정 계수값은 음이항 모형의 경우, 0.717, 확률모수 모형의 경우, 고

정계수로 0.646로 유사하게 나타났다. 전후 곡선반경의 비율이 2이상이면 사고를 증가시키는 경향을 나타낸다. 곡선반경이 다른 두 개의 곡선이 직선의 삼입없이 연결되어 있을 때, 두 개의 곡선반경의 비율은 2이상이면(같은 방향의 곡선일 경우 1.5배 이상) 운전행태의 연속성 측면에서 불편함을 느낄 수 있다. 즉, 운전자에게 갑작스러운 변화는 사고의 원인이 될 수 있다.

중단경사 설계기준 만족여부의 추정 계수값은 음이항 모형의 경우 0.205, 확률모수 모형의 경우 평균 1.152(표준편차 0.849)으로 나타났다. 음이항 모형의 결과를 보면, 중단선형이 설계기준(최대 6%)을 만족하지 못하면 사고는 증가되는 것으로만 해석할 수 있다. 그러나 확률모수 모형 결과를 보면, 사고가 증가하는 구간이 약 84%, 사고가 감소하는 구간이 약 16%정도라고 해석할 수 있다(Figure 7 참고).

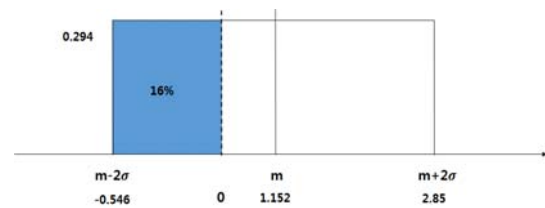


Figure 7. Distribution of parameter estimation for grade design criteria satisfaction

Table 6. Modeling estimation results

	Negative binomial Model		Random Parameter Model	
	Coefficient	t-value	Coefficient	t-value
Constant	-8.634	-14.352	-9.312	-25.143
Exposure variables				
LN(Length) (m)	1.238	10.439	1.299	35.871
LN(AADT)	0.4874	10.439	0.574	21.832
Roadway characteristics				
Radius (100/Radius)	0.371	4.216	0.421	8.607
Lane width (m)	-0.861	-10.575	-1.128	-22.594
Standard deviation of parameter distribution	-	-	0.274	36.517
Shoulderlane (1 if greater than 1.25m, 0 otherwise)	-1.340	-13.773	-1.567	-25.829
Standard deviation of parameter distribution	-	-	1.173	11.506
Driveway Density (# of km)	0.032	8.379	0.035	21.238
Land-use characteristics				
Land-use-residential (1 if present, 0 otherwise)	0.375	2.417	0.427	4.970
Indicator for design criteria satisfaction				
Driveway Criteria Satisfaction (1 if not satisfaction, 0 otherwise)	0.411	3.708	0.456	7.830
Radius_Ratio Criteria (1 if greater than 2, 0 otherwise)	0.717	4.745	0.646	8.505
Grade criteria Satisfaction (1 if not satisfaction, 0 otherwise)	1.205	5.967	1.152	10.528
Standard deviation of parameter distribution	-	-	0.849	4.315
Dispersion parameter	2.551	16.928	0.790	23.088
log likelihood	-3211.7460		-3183.7390	
$\rho^2(1-LL(\text{fullmodel})/LL(\text{constant-only model}))$	0.188		0.194	

Table 7. Average marginal effect results

variables	value
LN(Length) (m)	0.108
LN(AADT)	0.047
Radius (100/Radius)	0.035
Lane width (m)	-0.093
shoulderlane (1 if greater than 1.25m, 0 otherwise)	-0.130
Driveway Density (# of km)	0.003
Land-use-residential (1 if present, 0 otherwise)	0.035
Driveway Criteria Satisfaction (1 if not satisfaction, 0 otherwise)	0.038
Radius_Ratio Criteria (1 if greater than 2, 0 otherwise)	0.053
Grade criteria Satisfaction (1 if not satisfaction, 0 otherwise)	0.095

이는 곡선반경과 마찬가지로, 6%이상의 종단경사에서 운전자들이 더욱 조심운전을 하고, 속도를 줄여서 운전하는 특성을 보이기 때문에 오히려 사고가 감소하는 구간이 있는 것으로 해석할 수 있다. 종단경사 변수가 사고에 미치는 영향이 유의하지 않은 것으로 나왔으나, 종단경사 설계기준 만족여부가 유의한 변수로 나온 것은 의미가 있는 것으로 판단된다.

5. 한계효과 분석(Marginal Effect)

한계효과 분석결과, 도로기하구조 부분 중에서는 길어깨 1.25m 확보 유무가 사고건수에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 길어깨가 1.25m이상 확보되지 않은 경우는 0.130건 사고를 증가시키는 것으로 나타났다. 차로폭은 1m가 늘어날수록 0.093건 사고건수를 줄이는 것으로 나타났다. 진출입구 밀도는 km당 개수가 1개 늘어날수록 0.003건의 사고를 증가시키는 것으로 나타났다.

노출변수인 LN(구간길이)는 1m가 증가할수록 0.108건의 사고건수를 증가시키고, 일평균교통량 1대가 증가하면 0.047건의 사고를 증가시키는 것으로 나타났다. 토지이용이 주거지인 도로의 경우는 주거지가 아닌 도로보다 0.035건의 사고를 증가시키는 것으로 나타났다.

설계기준 만족여부 변수들은 진출입구가 곡선부에 있는 경우는 0.038건, 곡선반경 비율이 2를 초과할 경우 0.053건, 종단경사가 6%를 넘을 경우, 0.095건 사고를 증가시키는 것으로 나타났다.

결론 및 향후 과제

1. 결론

본 연구는 전국 8개 권역(경기, 강원, 충남, 충북, 전남, 전북, 경남, 경북)에 4차로 이상도로(다차로 도로)구간 약 780km(4,372개구간)의 기하구조, 안전시설물, 교통량 및 기상, 토지이용, 도로설계기준 만족여부 등의 변수를 수집하여 사고건수 예측모형을 정립하였다. 모형은 기존연구에서 일반적으로 사용되어져 오던 고정모수 모형인 음이항 모형과, 확률모수를 이용한 음이항 모형으로 구축하였다.

고정모수 음이항 모형과 확률모수 음이항 모형(random parameter negative binomial model)은 독립변수들이 사고건수에 미치는 영향부호가 모두 동일하게 나왔으나, 확률모수 음이항 모형의 경우에 계수가 고정된 것이 아닌 특정확률을 가지고 범위로 표현할수 있었다. 고정모수의 음이항 모형은 독립변수가 사고건수에 미치는 영향을 모든 구간에서 하나의 계수로 해석할 수 밖에 없었으나, 확률모수를 이용한 음이항 모형에서는 더욱 다양한 해석이 가능하였다. 특히, 길어깨 확보유무, 종단경사 설계기준 만족유무는 특정확률을 가지고 양의영향과 음의영향이 모두 나타났다. 이러한 현상은 모든 구간에서 일률적으로 사고건수 증감에 영향을 미친다기 보다는 일부구간에서는 운전자의 행동특성, 도로구간의 특성에 따라서 반대의 효과가 나타나기도 하는 것을 의미한다.

확률모수를 이용한 음이항 모형은 사고에 미치는 영향변수를 좀 더 다양하게 해석할 수 있으며, 모형을 통한 사고감소 효과를 추정시(예를 들어, 사고수정계수(Crash Modification Factor, CMF), 탄력성분석 등) 하나로 고정된 값이 아닌 다양한 값으로 산출하고 해석할 수 있다는 것이 장점이라고 할 수 있다.

2. 한계점 및 향후 과제

본 연구에서는 확률모수를 이용한 음이항 모형이 고정모수의 음이항 모형과 다르게 해석할 수 있다는 것에 중점을 두었다. 최근 국외에서 사고예측모형을 이용하여 안전성능함수(Safety Performance Function, SPF)와 사고수정계수(Crash Modification Factor, CMF)

를 개발하여 위험도로구간을 판단하는데 활용하고 있다. 확률모수 모형을 이용한 사고예측모형으로 안전성능함수와 사고수정계수를 개발하는 것도 의미가 있을 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was funded by National Research Foundation of Korea (No. 2011-0028933).

REFERENCES

- AASHTO (2010), Highway Safety Manual 1st Edition.
- Anastasopoulos P. Ch., Mannering F. L. (2009), A Note on Modeling Vehicle Accident Frequencies with Random-parameters Count Models, *Accident Analysis and Prevention*, 41, 153-159.
- Bhat C. R. (2003), Simulation Estimation of Mixed Discrete Choice Models Using Randomized and Scrambled Halton Sequences, *Transportation Research Part B*, 37(1), 837-855.
- Cafiso S., Graziano Di A., Silvestro Di G., Cava La G., Persaud B. (2010), Development of Comprehensive Accident Models for Two-lane Rural Highways Using Exposure, Geometry, Consistency and Context Variables, *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1072-1079.
- Carson J., Mannering F. (2001), The Effect of Ice Warning Signs on Ice-accident Frequencies and Severities, *Accident Analysis and Prevention*, 33(1), 99-109.
- Chen E., Tarko A. P. (2014), Modeling Safety of Highway Work Zones with Random Parameters and Random Effects Models, *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 86-95.
- Dinu R. R., Veeraragavan A. (2011), Random Parameter Models for Accident Prediction on Two-lane Undivided Highways in India, *Journal of Safety Research*, 42, 39-42.
- El-Basyouny K., Sayed T. (2006), Comparison of Two Negative Binomial Regression Techniques in Developing Accident Prediction Models, *Transportation Research Record*, 1950, 9-16.
- Gustavsson J., Svensson A. (1976), A Poisson Regression Model Applied to Classes of Road Accidents with Small Frequencies, *Scandinavian Journal of Statistics* 3, (2), 49-60.
- Kim D. G., Washington S. (2006), The Significance of Endogeneity Problems in Crash Models: An Examination of Left-turn Lanes in Intersection Crash Models, *Accident Analysis and Prevention*, 38(6), 1094-1100.
- Kim D. H., Lee D. M. (2011), An Analysis of Traffic Accident Reduction Effects by Driving Condition Improvements, *Journal of Transportation Research*, 18(1), 15-26.
- Kim E. C., Choi E. J., Lee D. M., Kim D. H. (2010), Development and Validation of Accident Modification Factors of Two-Lane Rural Roadways, *Journal of Korea Society of Transportation*, 28(3), 131-143.
- Kim Y. R., Kim D. G. (2012), Identifying the Safety Effects of Explanatory Variables Affecting Fatal Crashes Occurred on Rural Roadway Segments, *Journal of Transportation Research*, 19(1), 57-66.
- Li X., Lord D., Zhang Y. (2009), Development of Accident Modification Factors for Rural Frontage Road Segments in Texas Using Results From Generalized Additive Models, Working Paper, Zachry Department of Civil Engineering, Texas A&M University, College Station, TX.
- 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.
- Miaou S.-P., Lord D. (2003), Modeling Traffic Crash-flow Relationships for Intersections: Dispersion Parameter, Functional Form, and Bayes Versus Empirical Bayes, *Transportation Research Record*, 1840, 31-40.
- Milton J. C., Shankar V. N., Mannering F. L. (2008), Highway Accident Severities and the Mixed Logit Model: An Exploratory Empirical Analysis, *Accident Analysis and Prevention*, 40(1), 260-266.
- Ogden K. W. (1997), The Effects of Paved Shoulders on Accidents on Rural Highways, *Accident Analysis and Prevention*, 29(3), 353-362.
- Oh J. (2006), Development of Severity Models for Vehicle Accident Injuries for Signalized Intersections Inrural

- Areas, KSCE Journal of Civil Engineering, 10(3), 219-225.
- Oh J. T., Kim D. H., Lee D. M. (2012), Development of the Expected Safety Performance Models for Rural Highway Segments, Korean Society Of Road Engineers, 14(2), 131-143.
- Park E.-S., Carlson P., Porter R., Anderson C. (2012), Safety Effects of Wider Edge Lines on Rural, Two-lane Highways, Accident Analysis and Prevention, 48, 317-325.
- Park G. Y. (2006), Evaluation of Accident Reduction Effect of Road Safety Features and Development of Estimation Model for Accident Reduction Factors, University of Seoul.
- Park J. T., Choi B. B., Lee S. B. (2010), A Study on the Characteristics of Traffic Accidents for the Elderly Pedestrians on Rural Highways, Journal of Korea Society of Transportation, 28(5), 155-162.
- 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.
- Poch M., Mannering F. (1996), Negative Binomial Analysis of Intersection-accident Frequencies, Journal of Transportation Engineering, 122(2), 105-113.
- Qin X., Ivan J., Ravishankar N. (2004), Selecting Exposure Measures in Crash Rate Prediction for Two-lane Highway Segments, Accident Analysis and Prevention, 36(2), 183-191.
- Shankar V., Mannering F., Barfield W. (1995), Effect of Roadway Geometrics and Environmental Factors on Rural Accident Frequencies, Accident Analysis and Prevention, 27(3), 371-389.
- Shankar V., Ulfarsson G., Pendyala R., Nebergall M. (2003), Modeling Crashes Involving Pedestrians and Motorized Traffic, Safety Science, 41(7), 627-640.
- Venkataraman N. S., Ulfarsson G. F., Shankar V., Oh J., Park M. (2011), Model of Relationship Between Interstate Crash Occurrence and Geometrics: Exploratory Insights from Random Parameter Negative Binomial Approach, 2011 Safety Data, Analysis, and Evaluation 2011, 2236, 41-48.
- Vogt A., Bared J. (1998), Accident Models for Two-lane Rural Segments and Intersections, Transportation Research Record, 1635, 18-29.
- ☞ 주 작성자 : 임준범
 ☞ 교신저자 : 이수범
 ☞ 논문투고일 : 2014. 7. 4
 ☞ 논문심사일 : 2014. 8. 14 (1차)
 2014. 9. 17 (2차)
 2014. 10. 8 (3차)
 ☞ 심사판정일 : 2014. 10. 8
 ☞ 반론접수기한 : 2015. 4. 30
 ☞ 3인 익명 심사필
 ☞ 1인 abstract 교정필