

기하구조의 비동질성을 고려한 교통사고와의 관계: 고속도로 본선구간을 중심으로

박민호* · 노관섭 · 김종민
한국건설기술연구원 도로교통연구실

Relationship Between Accidents and Non-Homogeneous Geometrics: Main Line Sections on Interstates

PARK, Min Ho* · NOH, Kwan Sub · KIM, Jongmin

Highway & Transportation Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi,
411-712, Korea

Abstract

Until now, several research on the relationship of traffic crash occurrences and geometric had been conducted and revealed that projects of road alignment, geometric improvement and hazardous segment selection reduced the number of accidents and accident severities. However, such variables did not consider the non-homogeneous characteristics of roadway segments due to the difficulty of data collection, which results in under-estimation of the standard error affecting the overall modeling goodness-of-fit. This study highlights the importance of non-homogeneity by looking at the effect of the non-homogeneous geometric variables through the modeling process. The model delivers meaningful results when using some geometric variables without relevant geometrics' variables.

지금까지 교통사고발생과 기하구조와의 관계파악을 위한 모형정립에 관한 연구가 많이 이루어져 왔다. 이러한 연구들은 도로선형, 기하구조의 개선 혹은 위험구간 선정 등에 사용되어 교통사고 건수 및 사고심각도를 줄이는데 기여를 하여왔다. 하지만, 모형정립에 사용되었던 변수들은 자료수집 부족 등의 이유로 변수 혹은 대상구간이 가지고 있는 기하구조의 비동질성을 고려하지 못한 측면이 있었으며, 이는 모형 정립시 계수의 표준오차값이 과소 추정되어 모형전체의 신뢰성에 영향을 미쳐왔다. 따라서, 이번 연구에서는 사용되는 변수의 비동질성 고려가 모형의 결과에 미치는 영향을 알아봄으로써, 비동질성의 중요성을 파악하고자 하는데 목적이 있다. 그 결과, 모든 기하구조에 대한 비동질성을 고려하지는 못하였으나, 몇몇 사용된 기하구조 변수들의 경우, 의미 있는 결과가 도출되었다.

Keywords

accident model, interstate, main line, negative binomial model, non-homogeneity
사고모형, 고속도로, 본선구간, 음이항 모형, 비동질성

* : Corresponding Author
minhopark@kict.re.kr, Phone: +82-31-9100-732, Fax: +82-31-9100-338

Received 13 September 2013, Accepted 26 March 2014

서론

1. 연구의 배경 및 목적

지금까지 교통사고와 관련된 연구는 도로기하구조(시설물)와의 관계파악을 위한 사고모형을 통하여 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 분석하고 이를 바탕으로 교통사고건수 혹은 심각도를 감소시킬 수 있는 방법들을 모색하는데 중점을 두어왔다.

이러한 연구들은 기존 도로의 선형, 기하구조 개선 혹은 위험구간 선정 등에 이용되어 교통사고 감소에 지대한 영향을 미쳐왔다.

하지만 사용된 자료는 도로선형 혹은 도로주행조건을 바탕으로 구간에 설치된 기하구조를 변수로 사용하였는데, 여기서 사용된 변수는 기하구조 또는 시설물의 특성(길이·폭 등)을 고려하지 않고 하나의 고정된 값(동질성, homogeneity)으로 취급되어 모형에서의 계수추정시 표준오차 값이 과소 추정되어 도출된 계수 값 및 모형전체의 신뢰성에 영향을 미쳤다.

이러한 문제점은 비동질성과 관련된 부분으로 생각할 수 있으며, 비동질성은 크게 2가지의 경우에서 발생하게 된다. 첫 번째로는 모형 구축 시 사용된 변수들이 구간 혹은 기하구조가 지니고 있는 각각의 특성의 차이점을 충분히 반영하지 못하기 때문이며, 두 번째로는 특정 변수가 다른 변수들을 하나의 고정된 값을 가지게 하도록 영향을 미치기 때문이다.

따라서, 이 연구에서는 미국 워싱턴 주의 고속도로 본선 구간에 설치된 기하구조에 대한 비동질성을 고려하여, 발생한 교통사고와의 관계 파악을 통하여 사고모형의 구축시, 변수의 비동질성 고려가 모형 및 변수의 결과에 미치는 영향을 알아봄으로써 그 중요성을 확인하는데 목적이 있다.

2. 연구의 내용 및 방법

이 연구는 기존의 교통사고모형에 주로 사용되는 가산모형(count model) 중, 포아송모형(poisson) 혹은 음이항모형(negative binomial)에 기존의 모형과는 달리 기하구조별 비동질성(non-homogeneity)을 고려한 변수를 사용함으로써 보다 나은 모형의 추정 및 변수에 대한 비동질성의 고려가 모형의 추정에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 이는 미국 워싱턴 주(州)에 위치한 7개의 Interstate 중 인터체인지 구간을 제외한 본선구간

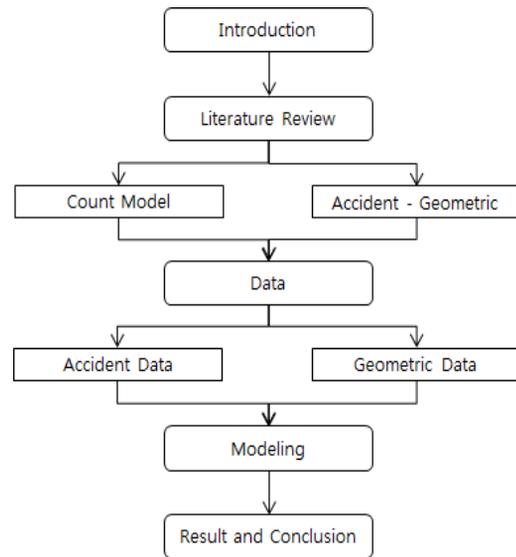


Figure 1. Research process

을 대상으로 하였다.

이 연구에 대한 자세한 과정은 Figure 1에 나타나 있다.

첫째, 연구의 배경을 알아보고 목적을 제시한다. 둘째, 교통사고 모형 및 사고와 기하구조와의 관계와 관련된 기존의 문헌을 고찰한다. 셋째, 연구의 목적에 맞게 관련 자료를 수집한다. 이는 발생한 사고자료와 대상노선의 기하구조 자료이다. 넷째, 수집된 자료를 이용하여 모형을 구축한 후, 이를 분석한다. 마지막으로 연구의 결과 및 결론을 도출하며, 이번 연구에서의 한계점 및 향후 연구 과제를 제시하고자 한다.

3. 비동질성의 정의

이번 연구에서 제시하는 비동질성이라 함은 기하구조의 설치요소(폭·길이 등)가 대상 고속도로의 본선 구간 내에서 동일한 값이 아닌 변화하는 것으로 정의함을 밝히고자 한다. 기하구조는 종단경사·편경사 등 많은 요소들이 포함되나, 이번 연구에서는 모든 기하구조요소를 포함하기에는 자료의 한계가 있어, 차로수, 좌·우 길이 개폭, 평면곡선 및 종단곡선의 수만을 고려하고자 한다.

기존 문헌 고찰

1. 교통사고 모형

기존 연구에 사용되는 사고모형은 크게 3가지 형태-

선형회귀식모형, 포아송모형, 그리고 음이항모형으로 나누어진다. 가장 먼저 선형회귀식모형은 교통사고 발생에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 기법이며 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

여기서, y_i : 구간 i 에서의 사고건수, 사고율 또는 사상자수 (종속변수)

α 와 β : 상수(α)와 회귀계수(β)

x_i : 구간 i 에서의 사고요인(독립변수)

ε_i : 확률오차항 $N \sim (0, \sigma^2)$

사고모형 중에서 가장 단순한 방법이지만, 계수 추정 시 사용되는 변수의 값들이 증가할수록 분산값 또한 증가하게 되는 특성으로 인해 선형회귀식의 동분산성(homoscedasticity) 가정을 위배하게 되어, 변수의 유의수준에 변화를 주게 되며, 이는 모형에 사용된 변수의 통계적 유의성을 낮추게 된다. 그리고 경우에 따라 음(negative)의 값이 예측되는 경우가 있어서 교통사고건수와 같은 양의 변수에는 적절하지 않는 경우도 있다(Jovanis와 Chang, 1986). 또한, 선형모형은 교통사고의 산발적(sporadic)이고 무작위(random)적 특성 때문에 사고의 모형화에는 적합하지 않다(Miaou et al., 1993). 음의 값을 예측하는 문제를 해결하기 위한 기법으로 0의 값을 제거하고 분석하는 기법(Left-Truncating the Accident Frequency at Zero)을 적용할 수 있으나, 이 경우에는 0의 값을 제외함으로써 추정에 사용되는 표본수가 줄어든다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, Jovanis와 Chang(1986), 그리고 Joshua와 Garber(1990) 등은 교통사고건수를 이산적 확률변수(Discrete Random Variable)로 접근하는 포아송회귀식(Poisson Regression)을 제안하였으며, 일반식은 다음과 같다.

$$P(n_i) = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^{n_i}}{n!} \quad (2)$$

여기서, $P(n_i)$: 사고 n 이 지점 i 에서 발생할 확률

λ : 평균사고발생건수(= $\exp(\beta X_i)$)

β : 추정된 계수

X_i : 지점 i 의 특성(교통량, 도로 기하구조등)

하지만, 포아송모형에는 중요한 기본 전제가 있다. (“분산(variance)과 평균(mean)이 같다”). 하지만, 교통사고 대부분의 경우에서 분산값이 평균값보다 큰 과분산(Overdispersion)의 특성이 나타남으로 인해 포아송 모형의 적용이 적절하지 않은 경우가 발생하게 된다. 이 같은 특성을 보완하기 위해서 음이항회귀식(Negative Binomial Regression Model)이 주로 사용되고 있다. 음이항분포에는 오차항(ε_i)이 포함되며 일반식은 식(3)과 같다.

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (3)$$

여기서, $\exp(\varepsilon_i)$: 평균이 1이고 분산이 α 인 감마분포를 따르는 오차항

음이항 모형은 오차항으로 인해 포아송모형의 확장된 형태이며, 만약 오차항의 분산(α)값이 통계적으로 $\alpha \neq 0$ 인 경우에는 음이항 모형이 적합하며, 반대의 경우($\alpha = 0$)에는 포아송모형이 적합하게 된다. 여러 기존 연구에서 교통사고와 기하구조와의 관계 파악을 위한 연구에서는 선형·포아송 모형보다 음이항 모형이 더욱 적합하다는 것을 입증하였다(Engel, 1984; Lawless, 1987; Maher, 1991; Miaou, 1994).

2. 교통사고와 기하구조와의 관계

Moon et al.(2012)은 9개 고속도로를 대상으로 교통사고 예측모형을 개발하였다. 본선구간을 IC/JCT 간격으로 구분하는 방법으로, 모형은 두가지 형태(사고모형은 음이항분포, 사상자발생모형은 포아송 및 음이항분포)로 이루어졌으며, 설명변수는 교통량 등의 예측 가능한 변수와 기하구조가 사용되었다. 구간길이, 일교통량, 버스비율, 곡선구간이 유의한 변수로 추정되었으며, 시간적 전이성(temporal transferability) 검정을 통해 다른 형태의 도로에서의 모형적용 가능성을 검토하였다.

Hong et al.(2012)은 포아송모형과 음이항 모형을 이용하여 일·출몰 및 야간시간대의 교통사고를 분석하여 교통안전에 영향을 미치는 기하구조를 밝혔다. 도로 구간이 동질성을 갖도록 모든 대상노선을 10km로 구분하여 설정한 후, AADT, 큰 곡선반경의 수, 완화곡선의 수, 연속된 평면곡선, 평면곡선과 볼록중단곡선의 복합선형, 평면곡선과 오목중단곡선의 복합선형, 도시부도로

및 터널의 수가 야간에 교통안전에 영향을 미치는 주요 변수로, AADT, 소형차비율, 차로수, IC/JC 수, 트럼펫형 IC 수, 완화곡선의 수, 연속된 평면곡선과 오목종단곡선의 복합선형이 일·출몰시 영향을 미치는 요인임을 밝혔다.

Hwang et al.(2010)은 서해안 고속도로에서 6년간 발생한 교통사고를 대상으로 직선부와 곡선부로 나누어 기하구조가 사고에 미치는 영향을 분석하였다. 포이송모형과 음이항모형을 이용하였으나, 음이항모형이 더욱 적합하기에 음이항모형을 선택하였으며, 분석결과 교통사고발생은 해당 사고기점 전방의 도로 상황에 의존하며, 내리막 직선길이, 과속카메라 설치 여부 등이 교통사고에 영향을 미치는 기하구조임을 파악하였다.

Ogden(1997)이 지방부 지역의 2차로 도로에서 발생하는 사고와 포장길어깨와의 관계를 분석하였다. 포장된 길어깨는 후미 추돌 및 차량 전복사고감소에 영향을 미치며, 하루 일교통량이 대략 360대일 경우가 길어깨 포장의 적정한 기준이라고 밝혔다.

Noland(2003)은 음이항 모형을 이용하여 다양한 기하구조의 개선이 사고발생에 영향을 미치는 것을 분석하였는데, 차로수와 차로넓이, 그리고 제한속도가 영향을 미친다고 밝혔다.

Zhang et. al(2005)은 지방부 고속도로에서 발생한 정면추돌사건과 기하구조의 특징에 대한 연구를 실시하여, 포장된 길어깨 및 차로의 폭 및 속도제한이 직접적인 영향을 미치는 변수로, 종단·평면 곡선 구성요소의 최소·최대값이 간접적인 변수임을 분석하였다.

Caliendo et al.(2007)은 곡선부와 직선부에서 사고에 영향을 미치는 기하구조를 포이송과 음이항 모형을 이용하여 분석하였다. 길이, 교통량, 시거 등이 사고발생에 중요한 요인임을 밝혔다.

Montella et al.(2008)에서는 음이항 모형을 통하여 교통량, 종단 및 평면곡선의 선형, 디자인 일관성, 시거, 속도제한 및 인터체인지 램프가 사고발생에 중요한 요소임을 밝혔다.

이상 살펴본 바와 같이 교통사고와 관련된 기하구조에 관한 연구가 많이 이루어져 왔다. 하지만, 구간분할의 경우, 본선구간을 IC/JCT로 구분하거나, 직선부/곡선부, 그리고 대상노선을 일정구간으로 분할하는 방법 등을 사용하였고, 특히 고속도로에서의 사고모형은 IC/JCT단위로 구간을 구분하였으며, 선택한 구간분할에 따라 변수들을 수집하였다. 하지만, 모형에서 추정된 계수들이

앞서 설명한대로 일률적으로 고정된 값(동질적)으로 적용하여 도로의 각 구간에서 발생할 수 있는 기하구조의 설치에 따른 비동질적인 특성에 관한 가능성은 배제하였다는 단점이 있다. 이를 뒷받침 하는 연구로 Washington et al.(2010)은 모형에서 추정된 계수값이 관측값에 따라 다양한 값을 나타내지만, 고정된(fixed) 값으로 가정하여 이를 제약할 경우, 일관성이 없고(inconsistent) 편중된(unbiased) 결과가 도출될 수 있음을 증명하였다.

따라서, 이 연구에서는 대부분의 기존연구와 같이 고속도로의 IC/JCT로 본선구간을 구분하는 구간분할방법을 바탕으로 이용가능한 기하구조의 비동질성을 이용하여 진행하고자 한다.

자료수집

1. 개요

이 연구에서 사용된 자료는 미국 워싱턴 주(州)에 위치하고 있는 7개의 고속도로(Interstate, I-5, I-82, I-90, I-182, I-205, I-405, I-705)에서 9년 동안 발생한 사고자료와 교통량 및 기하구조자료를 이용하였다. 사용된 구간은 모두 WSDOT에 등록되어 있는 milepost에 의해 산정이 되었다. 즉, 본선구간과 인터체인지 구간은 milepost에 의해서 나누어졌으며, 구간의 길이 또한 milepost에 의해 산정되었다. 7개 노선과 관련된 본선 구간 및 인터체인지 구간의 개수 및 그에 따른 길이 등 자세한 사항은 Table 1에 나타나있다.

대상이 되는 7개 노선의 총 길이는 1,528mile이며, 인터체인지 및 본선구간으로 나누면 총 1,168개의 구간으로 나눌 수 있다. 인터체인지 구간은 본선에서 인터체인지로의 분류부 시점에서 인터체인지에서 본선으로의 합류부 시점까지의 구간으로, 본선구간은 그 외의 구간으로 정의하였다. 인터체인지 구간은 본선구간과는 달리 관련 시설물이 완전 상이하며, 사고에서 중요한 요인인 교통량이 변화하는 기준이 되며, 경우에 따라서는 엇갈림(weaving)문제가 발생하는 등 고려하여야 할 사항이 많고, 이 연구에서는 고속도로를 대상으로 하기는 하지만, 사용되는 변수에 대한 비동질성의 중요성 파악에 목적이 있으므로 인터체인지 구간은 배제하고자 한다.

이러한 전제조건 하에 총길이 1,528mile 중 인터체인지 구간을 제외한 본선 총 590개 구간, 길이1,082.94 mile을 대상으로 하고자 한다.

Table 1. Number of segments and miles by route and direction

Route	Increasing Direction		Decreasing Direction	
	Interchange	Main Line	Interchange	Main Line
	Mile (Segments)	Mile (Segments)	Mile (Segments)	Mile (Segments)
5	104.84(138)	171.78(139)	104.48(138)	172.13(140)
82	27.51(33)	105.06(34)	26.5(33)	106.07(34)
90	65.73(83)	231.79(83)	65.28(85)	232.24(85)
182	7.08(8)	8.11(9)	7.55(8)	7.64(9)
205	4.14(5)	6.43(6)	4.06(5)	6.51(6)
405	13.53(19)	16.77(20)	13.84(20)	16.46(21)
705	0.5(1)	1(2)	0.55(2)	0.95(2)
Total	223.33(287)	540.94(293)	222.26(291)	542.00(297)

2. 자료분석

Table 2는 이 연구에서 사용된 변수에 대한 주요 통계값을 나타내고 있다. 주요 변수로는 연간 사고건수, 교통량, 구간의 길이, 차로수, 좌·우 길어깨폭, 종단·평면 곡선수 등이 사용되었으며, 종속변수로 사용되는 연간 사고건수의 평균값은 10.39 표준편차는 13.59 그리고 최대값은 128건을 보여주고 있다.

교통량은 일평균 13,082대의 값을 보이며, 최대 교통량은 44,223대로 조사되었다. 대상 구간의 평균 길이는 1.78mile이며, 교통량과 길이는 로그값으로 변환되어 모형에 적용되었다.

교통량과 구간길이는 대상 구간 내에서 변화가 없는 반면(인터체인지 구간을 제외한 본선구간만을 대상으로 하기에), 나머지 변수(차로수, 좌·우 길어깨 폭, 그리고

종단·평면 곡선수)들의 설치형태는 구간내에서 변하지 않는 경우도 있지만, 상황에 따라서, 설치된 길이·폭 등이 달라지는 경우가 발생하게 된다. 이 연구에서는 이러한 비동질성을 고려하여 모형을 추정하는 것이 목적이기에, 이러한 특성을 고려하기 위해 구간 내에서 대상 기하구조가 설치된 길이에 따른 비율로 정의하였다. 따라서, 구간 내에서 기하구조의 길이·폭 등이 동일하다면 최대값 1을 넘지 않으며, 그 요소가 변화되더라도 구간 내에서의 총합은 최대값 1을 넘을 수 없다. 2차로와 3차로 도로의 비율이 대부분을 차지하는 것을 알 수 있으며, 5차로 이상의 도로는 많이 존재하지 않는 것으로 나타났다.

길어깨폭의 경우, WSDOT의 지침 상에는 10ft 폭이 기준이기에 '미만', '일치', 그리고 '초과'로 구분하였다. 좌·우 길어깨 폭 모두 절반 정도가 기준 미만(<10ft)으로 설치되어 있으며, 10ft를 초과하는 광폭은 드물게 설치되어 있음을 알 수 있다.

구간 내에 존재하는 평면곡선은 평균적으로 2.202개가 있으며 최대 37개의 곡선이 존재함을 알 수 있다. 반면 종단곡선은 3.892개가 구간 내에서 평균적으로 존재함을 알 수 있다.

그리고 변수의 비동질성의 중요함을 알리는 이번 연구의 목적에 맞게 3개의 변수를 추가하였다. 기준 차로수(4차로), 좌·우 길어깨폭(각10ft)이 차지하는 비율이 구간 내에서 변화하는지 아닌지를 알아보기 위해 더미변수(dummy variable)를 추가하였다. 그 결과, 차

Table 2. Statistics and descriptions of variables for Washington State interstate main line segments

Variable	Mean	St.Dev	Min	Max
Acc(Number of crashes in a year)	10.391	13.599	0	128
ADT(Average daily traffic)	13082.10	8449.16	916	44223
LENGTH(Segment length in miles)	1.786	2.325	0.01	20.38
NLN2(Portion of segment with two lanes)	0.523	0.494	0	1
NLN3(Portion of segment with three lanes)	0.329	0.464	0	1
NLN4(Portion of segment with four lanes)	0.143	0.345	0	1
NLN5(Portion of segment with five or more lanes)	0.004	0.058	0	1
BELSHW(Portion of under 10ft left shoulder width)	0.502	0.482	0	1
STLSHW(Portion of 10ft shoulder width)	0.476	0.481	0	1
OVLSHW(Portion of over 10ft left shoulder width)	0.022	0.141	0	1
BERSHW(Portion of under 10ft right shoulder width)	0.508	0.482	0	1
STRSHW(Portion of 10ft right shoulder width)	0.463	0.480	0	1
OVRSHW(Portion of over 10ft right shoulder width)	0.029	0.160	0	1
NHORZ(Number of horizontal curves)	2.202	3.172	0	37
NVERT(Number of vertical curves)	3.892	4.041	0	30
FLANES4(1 when proportion of number of lanes(4) changed, otherwise 0)	0.154	0.361	0	1
FLSHW10(1 when proportion of left shoulder width(10ft) changed, otherwise 0)	0.513	0.499	0	1
FRSHW10(1 when proportion of right shoulder width(10ft) changed, otherwise 0)	0.504	0.500	0	1

로수는 15%의 구간에서 길어깨폭은 대상구간의 절반의 구간에서 설치비율이 변화하는 것을 알 수 있다.

모형구축 및 결과분석

1. 개요

이 연구에서는 Table 2에서 제시된 독립변수를 사용하여 분석을 실시하였다. 앞서 설명한대로, 포아송모형과 음이항모형에 기존에 주로 쓰이는 즉, 변수의 이질성을 고려하지 않은 모형(이하 homogeneous case)과 이 연구에서 제시하는 변수의 비동질성을 고려한 모형(이하 non-homogeneous case-1 and 2)으로 나누어 구축하였다. 포아송모형과 음이항모형의 선택여부는 오차항의 분산값(α : dispersion parameter)의 통계적 유의성에 의해 결정된다. non-homogeneous case-2에서는 non-homogeneous case-1의 모형에 III.2절에서 소개된 3개의 더미변수를 추가하여 모형을 구축하였다. 독립변수와 달리, 종속변수는 교통사고 건수를 3가지 모

형에 동일하게 적용하였으며, 모형의 구축은 통계프로그램인 LIMDEP을 이용하였다.

2. 결과분석

도출된 모형의 결과는 Table 3에 변수별 특성에 따른 한계효과 및 탄력성에 대한 결과는 Table 4에 제시되어 있다. 도출된 계수의 한계효과(marginal effect) 혹은 탄력성(elasticity)분석을 통해 기하구조의 단위(unit 혹은 %)변화가 사고발생에 미치는 상대적인 영향을 알 수 있다. 포아송모형과 음이항모형이 도출되었으나, 오차항의 분산값(α)이 통계적으로 유의함을 보여 이 연구에서는 포아송모형보다 음이항모형이 적합함을 보이므로 음이항모형에 의한 결과만을 제시하고자 한다.

우선 도출된 모형의 전체적인 설명력은 우도비(ρ^2)값이 0.632, 0.634로 큰 차이를 보이고 있지는 않다. 하지만, 각 변수별로 도출된 계수값에서는 차이점을 보이고 있다.

우선 교통량의 경우, 추정된 계수값이 1.092, 1.087

Table 3. Model estimation summaries

Variable	Non-homogeneous Case-1		Non-homogeneous Case-2		Homogeneous Case	
	Coefficient	t-value	Coefficient	t-value	Coefficient	t-value
Constant	-7.651	-50.094	-7.620	-50.196	-8.755	-60.75
LNADT	1.092	65.542	1.087	65.289	1.087	71.342
LNLENGTH	0.758	48.430	0.755	48.747	0.731	47.966
NLANES2	N.S	N.S	N.S	N.S		
NLANES3	0.144	17.323	0.140	16.577		
NLANES4	0.226	29.667	0.148	5.232	0.446	31.686
NLANES5	0.164	3.730	0.153	3.203		
BELSHW	-0.090	-10.339	-0.087	-10.292		
STLSHW	-0.057	-15.516	-0.094	-12.06	-0.041	-13.84
OVLSHW	-0.037	-5.775	-0.039	-6.21		
BERSHW	-0.018	-9.088	-0.053	-7.972		
STRSHW	-0.046	-12.969	-0.064	-8.394	-0.043	-13.887
OVRSHW	-0.024	-4.494	-0.023	-4.371		
NHORZ	0.056	13.820	0.052	12.637	0.058227	14.695
NVERT00	-0.044	-4.138	-0.050	-4.592		
NVERT13	-0.047	-4.124	-0.051	-4.441	-0.00957	-2.209
NVERT4	-0.014	-3.099	-0.013	-2.952		
FLANES 4		N.A	0.299	2.721		N.A
FLSHW10		N.A	0.386	5.167		N.A
FRSHW10		N.A	0.187	2.747		N.A
Dispersion Parameter(α)	0.344	38.121	0.339	38.006	0.353	39.384
Number of Observation			5310			
Log-likelihood with constant only			-41750.45			
Log-likelihood at convergence	-15300.57		-15278.06		-15355.81	
ρ^2	0.634		0.634		0.632	

(non-homogeneous-1&2), 1.087(homogeneous)의 값으로 추정되어 교통량이 증가할수록 발생하는 사고 또한 증가함을 알 수 있다. 탄력성 분석에서도 교통량은 사고에 탄력적(1보다 큰 경우)임을 보여준다. 즉, 1%의 교통량 증가가 각각의 모형에서 1.092% 및 1.087%의 사고증가로 이어짐을 알 수 있다.

구간 길이의 경우 또한 교통량과 마찬가지로 길이가 증가할수록 사고증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 교통량과 길이 모두 노출량(exposure)과 관련된 것으로 도로에서 노출량이 증가하면 사고에도 노출될 가능성이 높아진다는 기존의 연구결과와 일맥상통한다.

방향별 차로수의 경우에는 양의 값을 가진 계수가 추정되어, 차로수는 사고의 증가와 관련되어 있는 것으로 나타났다. 하지만, homogeneous case에서는 기존 대부분의 연구에서처럼 모든 차로수를 하나로 통합한 결과이며, 이와 반대로 non-homogeneous case에서는 2차로 도로는 통계적으로 유의하지 않음을 알 수 있다. 그리고 Table 4의 탄력성에서 알 수 있듯이, 다(多)차로의 구간내 비율이 증가할수록 사고발생에 미치는 영향은 낮아짐을 알 수 있다. 이는 앞서 밝힌대로 노출량이 늘어남에 따라 사고건수도 증가한다는 결과와 상반된 결과이긴 하지만, 4,5차로의 설치비율이 2,3차로보다 낮아서 발생할 수 있는 문제이며, 향후 이에 대해 보다 자세한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

길어깨는 사고발생과 음의 관계를 가지는 것으로 나타나 길어깨의 폭이 넓어질수록 사고는 줄어드는 것을 알 수 있다. 길어깨의 폭이 넓으면 운전자의 차량 조작실수 혹은 차량의 문제 등으로 인한 차로이탈 등 예상치 못

한 상황이 발생할 경우에도 이를 원래대로 되돌릴 수 있는 충분한 완충장치를 하기 때문인 것으로 판단된다. 탄력성 측면에서 보면 폭이 10ft인 길어깨에서의 효과가 사고발생 감소효과의 대부분을 차지함을 알 수 있다. 또한 설치기준(10ft)에 미달하거나 초과하는 폭보다는 기준폭에서의 사고감소율이 상대적으로 높은 것을 알 수 있으며, 이는 좌·우 길어깨 폭 모두에 해당한다. 따라서, 현실적으로 가능하다면, 설계기준에 맞는 폭의 설치가 요구되며, 여러 제약조건이 있을 경우에는 구간 내에서 기준에 맞는 길어깨폭의 설치비용을 높게 하는 것이 사고감소에 상대적으로 높은 영향을 주는 것을 알 수 있다. 또한, 이질성을 고려하지 않은 변수를 사용하였을 경우 발생할 수 있는 문제인 길어깨폭이 넓을수록 사고감소효과가 크다는 사실에서 기준을 초과하는 길어깨 폭일 경우의 사고감소효과가 기준폭일 경우보다 작다는 사실을 알 수 있다. 하지만, 기준폭 이상의 길어깨폭 건설에 따른 경제적 측면에서의 비용대비 사고감소 효과에 의한 편익은 향후 고려해볼 문제이다.

구간 내에 존재하는 평면곡선의 수는 모든 모형에서 이질성이 없는 것으로 나타났으며, 추정된 계수값이 양의 값을 보여 평면곡선의 수가 증가할수록 사고도 증가함을 알 수 있다. 평면곡선에 대한 세부적인 자료의 불충분으로 곡선의 개수에 대한 부분만 고려하였지만, 곡선구간에서의 주행 시, 핸들 조작 미숙, 실수 혹은 중앙분리대의 높낮이 문제로 발생할 수 있는 반대편 차로에서의 야간 전조등 문제, 시야를 방해하는 요소 등이 원인이 될 수 있다.

평면곡선의 수와 다르게 구간내 존재하는 종단곡선의 수는 사고에 대해 음의 값을 보인다. 흥미로운 결과가 도

Table 4. Average marginal effects(Elasticities) for non-homogeneous and homogeneous cases

	Non-homogeneous Case-1	Non-homogeneous Case-2	Homogeneous Case
LNADT	11.461(1.092)	11.436(1.087)	11.402(1.088)
LNLENGTH	7.954(0.758)	7.984(0.756)	7.673(0.732)
NLANES3	1.515(0.143)	1.469(0.139)	
NLANES4	2.367(0.129)	1.528(0.084)	4.680(1.170)
NLANES5	1.719(0.003)	1.580(0.003)	
BELSHW	-0.944(-0.176)	-0.924(-0.171)	
STLSHW	-0.601(-0.273)	-0.978(-0.447)	-0.432(-0.289)
OVLSHW	-0.391(-0.011)	-0.418(-0.012)	
BERSHW	-0.186(-0.096)	-0.186(-0.103)	
STRSHW	-0.486(-0.214)	-0.662(-0.300)	-0.456(-0.302)
OVRSHW	-0.250(-0.010)	-0.235(-0.010)	
NHORZ	0.586(0.123)	0.550(0.116)	0.610(0.128)
NVERT00	-0.456(-0.017)	-0.529(-0.020)	
NVERT13	-0.497(-0.046)	-0.555(-0.050)	-0.100(-0.037)
NVERT4	-0.148(-0.036)	-0.142(-0.034)	

출되었는데, 종단곡선이 존재하지 않는 직선구간 및 종단곡선이 1개에서 3개까지 존재하는 구간에서의 사고감소 비율이 4개 이상의 구간보다 높음을 알 수 있다. 특히 1-3개의 종단곡선이 있는 구간에서의 사고에 대한 한계 효과가 가장 높은 것으로 나타났다. 평면곡선의 경우와 함께 보다 세부적인 종단곡선 자료에 의한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

기준이 되는 차로수 및 좌·우 길어깨폭의 비율이 변화하는 구간에서는 사고발생이 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 도로건설시 환경적 제약이 있더라도 기준에 맞는 기하구조의 설치비율을 최대화 하는 것이 교통사고 발생에 효과적임을 알 수 있는 결과이다.

결론 및 향후 연구과제

1. 결론

이 연구에서는 기존의 도로선형/도로주행조건에 의한 구간자체의 비동질성을 고려한 모형에 추가적으로 사고모형 추정에 있어서 이용되는 변수들에 대한 비동질성 고려의 중요성을 알아보려고 하였다. 고속도로에서의 인터체인지 구간을 제외한 본선구간에서 9년 동안 발생한 교통사고 자료와 비동질성을 고려한 기하구조 자료를 사용하여 음이항모형을 통해 그 중요성을 파악하였다.

우선 기하구조의 비동질성을 고려하기 위해서 각 기하구조가 설치된 구간에서 기하구조의 특성에 따른 길이·폭에 대한 비율로 정의함으로써 기존의 비동질성을 고려하지 않아 생기는 사고모형 추정의 문제점을 해소하고자 하였다.

그 결과, 구간 내에서 값이 변하지 않는 교통량 및 구간의 길이에서는 기존의 연구결과와 동일한 결과가 도출되었다. 그리고 차로수 및 좌·우 길어깨 폭의 비율에서도 사고발생에 양의 값을 가지는 것으로 나타났다. 하지만, 변수의 비동질성을 고려하지 않았을 경우 알 수 없었던 결과가 도출되었는데, 차로수가 기준이하로 설치된 경우에서 사고증가효과가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 길어깨가 기준폭(10ft) 미만 혹은 초과인 경우에는 사고감소효과가 기준폭에 대비하여 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 이는 길어깨폭이 넓을 수록 안전한 것이라는 기존의 개념을 재검정할 수 있는 결과이며, 또한 설치에 따른 경제적·환경적 비용과 사고감소 효과에 대한 편익의 최적점을 찾는 데 기초가 될 것이다.

2. 향후 연구과제

서론에서 밝혔듯이 이 연구는 사고모형의 추정과 동시에 추정에 사용되는 변수의 비동질성 고려의 중요성에 대해서 알아보려고 하였다.

이를 위해 교통안전분야에서 통계적으로 유의하며, 신뢰할 수 있는 결과가 도출된다고 판단되는 5년의 자료보다 긴 시간동안의 자료가 이용되어, 단기간의 자료 사용시 발생할 수 있는 문제점(자연재해 등으로 인한 특정년도 혹은 구간에서의 예측하지 못한 상황 등에 따른 갑작스런 사고증가 등)을 해소하고자 노력하였다. 그리고, 기존의 도로선형/주행환경에 의한 구간자체의 비동질성을 고려한 모형의 추정에서 비록 이 연구에서 추정된 모형이 기존의 모형에 비해 파악할 만한 발전이 없었지만, 한 단계 발전한 기하구조의 비동질성을 고려한 것에 의의가 있다고 사료된다. 하지만, 기하구조의 신설 혹은 유지보수에 관한 자료 및 보다 다양한 기하구조 요소에 대한 자세한 자료에 대한 고려가 부족하였다.

이와 더불어 향후 다른 요소(운전자 및 환경적 요인) 들까지 고려가 된다면 교통안전을 보다 우선시한 도로설계 지침 정립에 많은 도움이 될 것이다.

REFERENCES

- Caliendo C., Guida M., Alessandra P. (2007), A Crash-prediction Model for Multilane Roads, *Accident Analysis and Prevention*, 39, 657-670.
- Hong S. M., Kim J. K., Oh C. (2012), Characteristics of Geometric Conditions Affecting Freeway Traffic Safety at Nighttime, Sunrise, and Sunset, *J. Korean Soc. Transp.*, 30(4), Korean Society of Transportation, 95-106.
- Hwang K. S., Choi J. S., Kim S. Y., Hu T. Y., Cho W. B., Kim Y. S. (2010), Freeway Crash Frequency Model Development Based on the Road Section Segmentation by Using Vehicle Speeds, *J. Korean Soc. Transp.*, 28(2), Korean Society of Transportation, 151-159.
- Joshua S. C., Garber N. J. (1990), Estimating Truck Accident Rate and Involvements Using linear and Poisson Regression Models, *Transportation Planning and Technology*, 15(1), 41-58.

