

고속도로 교통사고에 대한 기하구조의 영향(한계효과)에 관한 연구

박민호*

한국건설기술연구원 도로교통연구실

A Study on Marginal Effect of Geometric Structure on Freeway Accident Frequencies

PARK, Min Ho*

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

Abstract

This study dealt with the impacts of geometric structure on traffic accidents occurring on the interstates. There are standard values for the case of geometric structure which are recommended in the design guideline/policy; however, in the previous models, geometric variables were adapted as integrated ones as opposed to mixed ones in the real world so that derived models had a weakness to reflect the real. Therefore, using subdivided geometric variables, this study tried to derive the model which reflects the real world. In addition, by calculating elasticity, each variables' effect to the accidents are estimated. Hopefully, this study will help to establish the future guideline/policy of geometrics considering traffic safety.

이 연구는 고속도로에서 발생한 교통사고에 대한 기하구조의 영향을 알아보려 시도되었다. 기하구조의 경우에는 지침 등에서 정하는 기준 권장값등이 있지만, 기존의 사고모형에서는 교통사고에 영향을 미치는 기하구조의 자료가 통합된 형태로 사용되어 혼합된 형태로 설치된 현실을 추정된 모형이 제대로 설명하지 못하는 단점이 있다. 따라서 이 연구에서는 기하구조를 기준값에 의해 세분화된 기하구조 자료를 사용함으로써, 현실을 반영한 모형을 추출하고자 하였다. 그리고 각 기하구조별 탄력성 분석을 통해 사고에 미치는 영향을 제시하였다. 이는 향후 교통안전을 고려한 기하구조의 지침 정립에 도움이 될 것으로 사료된다.

Keywords

elasticity, geometry, interstate accident, negative binomial model, marginal effect
탄력성, 기하구조, 고속도로 사고, 음이항 모형, 한계 효과

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

Received 14 October 2013, Accepted 31 December 2013

서론

1. 연구의 배경 및 목적

대부분의 교통안전에 관한 연구는 교통사고와 도로 혹은 구간의 기하구조의 관계를 파악하고 분석·평가하는 것에 초점을 맞추어 수행되어 왔다. 이러한 분석에 주로 이용되는 모형은 선형회귀식, 포아송모형, 음이항모형, 그리고 이들에서 파생된 가산모형들(count models)을 바탕으로 교통량, 차로수, 차로 및 좌·우 길어깨 폭 등 도로이용자가 도로에서 흔히 접할 수 있는 기하구조와 도로에서 발생한 사고건수(사고율) 및 심각도를 변수로 이용하였다.

하지만, 독립변수로 사용된 기하구조는 도로의 계획 및 건설시 주변 환경 등의 현실적인 제약으로 인해 차로 수 및 길어깨 폭 등 일관성 있는 사양이 적용되기 어렵다. 즉, 도로설계지침 등에서 정하고 있는 기준값 등이 있지만, 모든 도로구간에 적용하기 힘든 현실이다. 이러한 이유로, 기하구조가 기준이 되는 값을 만족하지 못하거나, 기준값에 적합 혹은 초과하는 형태들이 혼합되어 설치되어 있다.

그리고 모든 경우의 수를 모형을 통해 반영하기에는 방대한 양의 자료구축이 필요하지만, 현실적으로 어렵고, 그에 따른 시간·비용이 막대하기에 기하구조 자료의 세분화대신 통합된 형태의 자료를 이용하여 모형을 구축하여 왔으며, 이러한 이유로 추정된 모형이 현실을 제대로 반영하지 못할 수도 있게 되는 문제점이 있어왔다. 다시 말하면, 통합된 형태의 자료를 사용함으로써, 다양하게 설치된 기하구조가 야기 할 수 있는 문제점을 파악하지 못하게 된다.

따라서 이 연구에서는 이러한 문제들을 고려하여 교통사고건수자료 및 기하구조 자료를 바탕으로 두 가지 형태의 모형을 개발하고자 한다. 첫 번째 모형은 기존의 연구에서 사용하는 기하구조별 변수가 통합된 형태(Standard Free Model, 이하 SFM)이며, 두 번째 모형은 기하구조가 통합된 형태가 아닌 기하구조별 변수가 6가지의 세부변수로 나뉘어 적용된 모형(Varying Standard Model, 이하 VSM)이다. 사용된 기하구조별 세부변수는 도로설계지침 등에서 제시하는 기준값을 바탕으로 기준미만, 기준, 기준초과, 기준미만 및 기준, 기준미만 및 초과, 기준 및 기준초과의 형태로 구분 할 수 있다. 6가지의 세부화를 원칙으로 하지만, 기하구조

별 특성에 따라서 6가지 이하의 형태로 세분화 될 수도 있다.

사용된 자료는 미국 워싱턴 주에 위치한 7개의 고속도로에서 9년 동안(1999-2007년) 발생한 사고자료 및 기하구조 자료이며, 이 연구에서는 두 가지 모형(SFM과 VSM)을 추정하여 비교 분석함으로써 사고모형이 앞으로 지향해야 할 방향을 제시하고자 한다. 그리고 변수별 탄력성 분석을 통하여 각 기하구조에 따른 변수가 사고에 미치는 영향을 수량적으로 제시하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

미국 워싱턴 주에 위치하고 있는 7개의 고속도로에서 9년 동안 발생한 사고자료 및 기하구조자료를 바탕으로 SFM과 VSM모형을 추정하고자 한다. 사고 자료를 종속변수로 하여, SFM모형에는 기존 연구에서 주로 사용되는 기하구조가 통합된 형태의 독립변수가, VSM모형에서는 통합된 형태가 아닌 기하구조별 세부변수가 독립변수로 사용되었다. 두 모형의 비교·분석 및 사용된 독립변수별 탄력성분석을 통해 기하구조별 설치형태가 사고발생에 미치는 영향을 제시하고자 한다.

기존 문헌 고찰

1. 교통사고와 기하구조와의 관계

그동안의 교통사고와 기하구조와의 관계파악을 위한 연구는 다양한 관점에서 이루어져 왔다.

우선, Kang et al.(2002)은 단일곡선과 배향곡선에서 발생하는 교통사고와 기하구조와의 관계를 음이항모형을 통해서 모형화 하였다. 차랑노출계수, 곡선반경의 역수 및 단위거리당 편경사 변화 값이 주요변수로 사용되었다. 그 결과, 곡선반경이 큰 경우가 작은 경우보다 사고가 적게 발생하며, 짧은 곡선구간에서의 편경사가 급하게 변하는 구간에서 사고가 증가하는 것으로 나타났다.

Persaud et al.(2004)에서는 고속도로를 2차로와 4차로로 구분하여 사고예측모형을 추정하였다. 사용된 변수로는 일교통량과 곡선반경, 일교통량과 길어깨폭, 일교통량과 길어깨폭 및 평지와 구릉지에 따른 각각의 모형이 추정되었으며, 4차로 고속도로에서는 일교통량 변수에 의한 모형이 추정되었다.

Zhang et al.(2005)은 지방부에 있는 2차로 고속도로에

서 발생한 정면충돌 사고와 그와 관련된 기하구조와의 관계를 분석하였다. 사용된 주요 변수로는 포장된 길어깨 및 차로폭, 차로수 그리고 제한속도, 평면 및 종단 곡선과 관련된 최소·최대값을 사용하였다.

Hwang et al.(2010)에서는 서해안 고속도로에서 발생한 사고 자료를 바탕으로, 곡선의 길이와 곡선반경은 커질수록 사고가 감소되며, 직선부 구간에서의 직선길이는 길어질수록 사고가 증가하는 것으로 분석되었다.

Hong et al.(2012)는 야간시간 및 일·출몰 시간대별 교통사고에 영향을 미치는 기하구조를 파악하였다. 사용된 주요변수로는 일·출몰시에는 교통량, 소형차비율, 차로수, IC/JC개수, 트럼펫형 IC개수, 완화곡선 개수, 연속된 평면곡선, 그리고 평면곡선과 오목종단곡선의 복합선형이, 야간에는 교통량, 큰 곡선반경 개수, 완화곡선 수, 연속된 평면곡선, 평면곡선과 볼록종단곡선의 복합선형, 평면곡선과 오목종단곡선의 복합선형, 도시부도로와 터널의 개수가 사고에 영향을 미치는 변수로 밝혔다.

기존연구들은 고속도로에서 발생한 교통사고(사고율)와 기하구조와의 관계파악을 통해 사고발생에 영향을 미치는 요인들을 찾아내고 이를 개선하는 방향으로 이루어져왔다. 하지만, 사용된 기하구조에 관한 변수가 통합된 형태로 사용이 되어 각 기하구조의 설치별 특성 등에 대한 고려가 부족하였음을 알 수 있다.

방법론

1. 자료분석

이 연구에서 사용된 고속도로(interstates)는 미국 워싱턴 주에 위치하는 총 7개의 고속도로(I-5, 82, 90, 182, 205, 405, 705)이다. 연구에 사용된 모든 자료는 워싱턴 주 교통국(WSDOT)에서 수집한 것이며, 사고 자료는 사고발생 날짜 및 시간, 충돌형태, 심각도 형태, 사고관련 차량대수등의 일반적인 내용을 포함하고 있다. 그리고 기하구조의 경우는 차로수, 좌·우 길어깨 폭, 평면·종단곡선에 관한 사항들이 포함되어 있다. 이를 바탕으로 인터체인지 구간과 인터체인지 구간을 제외한 본선구간으로 구분하였다. 이는 본선구간과 인터체인지 구간은 그 역할이 다르므로 시설물 등의 구조가 상이하고, 또한 교통사고에서 중요한 변수인 교통량이 인터체인지를 기준으로 변화하기 때문에 또 다른 연구가 필요할 것

으로 사료된다. 따라서 전체 구간은 WSDOT에서 제시하는 mile post값을 기준으로 본선과 인터체인지 구간으로 나뉘었으며, 그 결과, 총 10,521(1,169구간×9년)개의 본선구간에 대한 자료가 모형 정립에 사용되었다.

기하구조의 경우에는 앞서 설명한 대로 WSDOT에서 지침으로 제시하는 기준값(Table 1)을 바탕으로 도로에서 접할 수 있는 모든 경우의 수를 고려하여 6가지의 세부변수(기준미만, 기준, 기준초과, 기준미만-기준, 기준미만-기준초과, 기준-기준초과)로 나누었다. 우선 차로수는 5차선, 오른쪽 길어깨폭은 10ft, 왼쪽 길어깨는 4ft, 종단경사는 3%를 도시부·지방부 구분 없이 기준값으로 제시하고 있으며, 곡선반경은 도시부 1,090ft, 지방부 1,630ft, 그리고 인터체인지 간격은 도시부 1mile, 지방부 2mile을 기준값으로 정하고 있다.

Table 2에는 구간길이, 사고, 교통량, 그리고 table 1에서 제시한 기준에 따라 세분화된 기하구조의 통계량이 제시되어 있다. 세분화된 기하구조는 table 1에서 제시하는 값과 동일하면 “기준”, 기준값에 미치지 못한 경우에는 “미만”, 기준값을 넘어서면 “초과”, 그리고, 이 3가지를 조합한 경우로, “기준값 미만-기준값”, “기준값 미만-초과”, “기준값-초과”의 6가지로 구분하였다.

우선 구간별 길이의 평균은 1.30mile이며, 최소 0.01mile에서 최대 20.38mile의 길이를 가진 것으로 나타났다. 연간 평균 사고건수는 10.70건이며, 최대 발생 교통사고건수는 388건을 보인다. 방향별 차로별 일

Table 1. Geometric standard design criteria.

Variables		Standard Values
Design Speed		Urban Freeways : 60mph Rural Freeway : 70mph
Number of Lanes		5 lanes by each direction
Right Shoulder Width		10ft 12ft, where the DDHV for truck traffic exceeds 250 veh/h
Left(Median) Shoulder Width		At least 4ft
Grade	Urban	3%, level terrain, 60mph
	Rural	3%, level terrain, 70mph
Radius	Urban	1,090 ft , 60mph
	Rural	1,630ft, 70mph
Interchange Spacing	Urban	1mi in Urban area
	Rural	2mi in Rural area

※ WSDOT Design Manual

Table 2. Descriptive statistics

Variable	Mean	Std.Dev.	Minimum	Maximum
LENGTH(Length of segment in miles)	1.30	1.75	1.00E-02	20.38
INTORNOT(1 if segment is a non-interchange section; 0 if interchange section)	0.50	0.50	0	1
ACC(Total number of accidents)	10.70	18.91	0	388
ADT(Directional per-lane daily volume)	13043.3	8378.49	916	44223
BEOLSHWC- Below-standard left shoulder width in segments with 100% below standard left shoulders	0.27	0.71	0	3
STOLSHWC- Standard left shoulder width in segments with 100% standard left shoulder widths	0.42	1.22	0	4
GTOLSHWC- Above-standard left shoulder width in segments with 100% above standard width	3.38	4.61	0	18
BLSLHW- Below-and-standard left shoulder width in segments with below-standard and standard left shoulder sub-segments	0.30	1.02	0	4
BOLSHW- Below-and-above-standard left shoulder width in segments with below-standard and above-standard left shoulder sub-segments	2.48	3.96	0	13.8513
SOLSHW- Standard-and-above-standard left shoulder width in segments with standard and above-standard left shoulder sub-segments	5.06E-02	0.54	0	9.46
BEORSHWC- Below-standard right shoulder width in segments with 100% below standard right shoulders	1.79	2.17	0	8
STORSHWC- Standard right shoulder width in segments with 100% standard right shoulder widths	2.67	4.42	0	10
GTORSHWC- Above-standard right shoulder width in segments with 100% above standard width	0.11	1.14	0	18
BSRSHW- Below-and-standard right shoulder width in segments with below-standard and standard right shoulder sub-segments	1.96	3.77	0	9.978
BORSHW- Below-and-above-standard right shoulder width in segments with below-standard and above-standard right shoulder sub-segments	0.11	1.13	0	1
SORSHW- Standard-and-above-standard right shoulder width in segments with standard and above-standard right shoulder sub-segments	0.12	1.25	0	18.461
BEONLN- Below-standard number of lanes	2.58649	0.72	0	4
STONLN- Standard number of lanes	8.56E-03	0.20	0	5
ALSTNLN- Below-and-standard number of lanes	1.66E-02	0.25	0	5
BEOGRADE- Below-standard absolute starting or ending grade in segment	2.00	2.53	0	2.9
STOGRADE- Standard absolute starting or ending grade in segment	0.76	0.98	0	3
BEOURRAD- Below-standard radius in urban-area segments	2.78	50.24	0	1000
STOURRAD- Standard radius in urban-area segments	12689.1	30434.9	0	100000
BEORURAD- Below-standard radius in rural-area segments	36.03	214.47	0	1600
STORURAD- Standard radius in rural-area segments	11729	29279.1	0	100000
BEOURINT- Below-standard interchange spacing in urban-area segments	9.16E-02	0.21	0	0.99
STOURINT- Standard-and-above-standard interchange spacing in urban-area segments	0.13	0.55	0	4.91
BEORUJINT- Below-standard interchange spacing in rural-area segments	0.11	0.35	0	1.98
STORUJINT- Standard-and-above-standard interchange spacing in rural-area segments	0.55	1.87	0	20.38

교통량은 평균 13,043대이며, 최대 44,223대의 교통량을 보인다. 길어깨폭과 차로수의 경우 앞서 설명한 대로 구간 내에서 주변 환경 등의 이유로 동일한 설계기준 적용이 현실적으로 어렵기 때문에 이 연구에서는 각 기하구조별 세부기준이 해당 구간내에서 차지하는 길이에 대한 비율의 합으로 정의하였다. 이러한 이유로 인하여, Table 2에는 전체통계량에 대한 것이므로 최소값이 0이 되는 기준도 존재하게 된다.

왼쪽 길어깨폭은 기준폭 미만에서는 최대값 3ft 및 평균 0.275ft의 값을 가지며, 기준폭은 평균 0.42ft, 기준초과의 경우에는 3.38ft의 평균값을 가진다. 기준 미만 및 기준폭은 0.30ft, 기준 미만 및 기준초과의 경우에는 2.48, 그리고 기준 및 기준초과폭은 0.05ft의 평균값을 가진다.

오른쪽 길어깨폭은 기준폭 미만에서는 평균 1.73ft, 기준폭에서는 2.67ft, 기준폭 초과에서는 0.11ft의 값을 가지며, 기준폭미만 및 기준폭에서는 1.96ft, 기준폭 미만 및 초과에서는 0.12ft, 그리고 기준 및 기준폭 초과는 0.13ft의 평균값을 보이는 것으로 나타났다.

차로수는 기준차로(5차로)를 초과하는 구간이 없기 때문에 총 3가지 경우(기준차로 미만, 기준차로, 기준차로 미만 및 기준차로)만 세부기준 적용이 가능하다.

중단구배의 경우에는 모든 구간에서 기준값인 3%이하로 설계되었으며, 기준미만에서는 최대 중단구배 값이 2.9%이며, 평균 2%의 값을 보인다. 그리고 기준 구배에서는 0.76%, 기준미만 및 기준구배에서는 2.79%의 평균구배 값을 가진다.

곡선반경 및 인터체인지 간격은 Table 1에 제시된바와 같이 도시부와 지방부로 기준이 다르게 제시되어 있다. 곡선반경은 도시부·지방부가 각각 2.78, 36ft가 기준반경 미만에서의 평균값이며, 12,689, 11,729ft값이 기준반경에서의 평균값으로 나타났다.

인터체인지별 간격은 기준값에 일치하는 설치가 어렵기 때문에, 기준간격 미만, 그리고 기준간격 및 초과의 두 가지 경우로 나누었다. 간격기준간격 미만에서는 도시부 0.99mile의 최대값과 0.09mile의 평균값을 기준간격 및 초과에서는 4.91mile의 최대값과 0.13mile의 평균 간격을 보인다. 반면, 지방부에서는 기준간격 미만에서는 최대값 1.98mile과 0.11mile의 평균값을 그리고, 기준간격 및 초과에서는 최대값 20.38mile과 0.55mile의 평균간격을 보이는 것으로 나타났다.

2. 음이항모형(Negative Binomial Model) 및 탄력성(Elasticity)

교통사고 분석에 사용되는 모형은 크게 3가지 형태의 가산모형(count models-선형회귀식 모형, 포아송모형, 그리고 음이항모형)으로 나누어진다. 가장 단순한 방법인 선형회귀식 모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \epsilon_i \tag{1}$$

여기서, y_i : 종속변수로서 구간 i에서 발생한 사고건수, 사고율 또는 사상자수

α 와 β : 상수(α)와 회귀계수(β)

x_i : 독립변수로서 구간 i에서의 사고요인

ϵ_i : 확률오차항 $N \sim (0, \sigma^2)$

가장 단순한 형태의 사고모형이지만, 변수의 값들이 증가할수록 분산값 또한 증가하게 된다. 이러한 특성으로 인하여 선형회귀식의 주요 가정 중 하나인 동분산성(homoscedastisity) 가정을 위배하게 되며, 이는 변수의 유의수준에 변화를 초래하게 되기에 모형에 사용된 변수의 통계적 유의성에 신뢰성을 떨어뜨린다. 그리고 선형회귀식모형은 교통사고발생의 산발적(sporadic)이고 무작위(random)적 특성 때문에 사고의 모형화에는 적합하지 않다는 연구결과도 있었다(Miaou et al., 1993). 경우에 따라서는 예측되는 사고값이 음(Negative)의 값이 도출되는 경우가 있기 때문에 교통사고건수와 같은 양의 변수에는 적절하지 않는 경우도 있다(Jovanis and Chang, 1986). 음의 값을 예측하는 문제를 해결하기 위한 기법으로 사고건수가 0인 값을 제외한 값을 사용하여 분석하는 기법 등을 적용할 수 있으나, 사고건수가 0인 값을 제외함으로써 추정에 사용되는 표본수가 줄어들 수가 있어 신뢰성 확보에 문제가 발생 할 수 있다. Jovanis et al.(1986)와 Joshua et al.(1990) 등은 이러한 문제를 해결하기 위해 교통사고건수를 이산적 확률변수(Discrete Random Variable)로 해석하는 포아송회귀식(Poisson Regression)을 제안하였으며, 일반식은 다음과 같다.

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

여기서, $P(n_i)$: 사고 n 이 지점 i 에서 발생할 확률
 λ : 평균사고발생건수(= $\exp(\beta X_i)$)
 β : 추정 계수
 X_i : 지점 i 의 특성(교통량, 도로 기하구조등)

포아송모형에는 “분산(variance)값과 평균(mean)값이 같다”라는 중요한 기본 전제가 있다. 하지만, 교통사고자료의 대부분은 분산값이 평균값보다 큰 과분산(overdispersion)의 특성으로 인해 포아송 모형의 적용이 부적절한 경우가 발생하게 된다. 이 같은 특성을 보완하기 위해 분산값이 평균값보다 큰 경우까지 고려한 음이항회귀식(Negative Binomial Regression Model)이 주로 사용되고 있다. 음이항분포에는 포아송회귀식에 오차항(ϵ_i)이 포함되며 일반식은 다음식과 같다.

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i + \epsilon_i) \tag{3}$$

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

일반식에서 알 수 있듯이, 음이항 모형은 오차항으로 인해 포아송모형의 확장된 형태이다. 만약 오차항의 분산(α)값이 통계적으로 $\alpha \neq 0$ 인 경우에는 음이항 모형이 적합하며, 반대의 경우($\alpha = 0$)에는 포아송모형이 적합하게 된다. 교통사고와 기하구조와의 관계 파악을 위한 기존 연구에서는 선형모형과 포아송 모형보다 음이항 모형이 더욱 적합하다는 것을 입증하였다(Engel, 1984, Lawless, 1987, Maher, 1991, Miaou, 1993).

그리고 독립변수의 탄력성은 독립변수별 사고건수에 대한 영향을 알아보기 위해 분석되었다. 탄력성이란 독립변수(X_{ijk} - 시간 i 의 구간 j 에서의 k 번째 독립변수)가 1%변화할 때의 사고건수(λ_{ij})의 변화%로 해석할 수 있으며, 다음과 같이 정의된다.

$$E^{\lambda_{ij}} = \frac{\partial \lambda_{ij}}{\lambda_{ij}} \times \frac{X_{ijk}}{\partial X_{ijk}} \tag{4}$$

포아송 혹은 음이항모형에 사용되는 식인 log-linear 형태($\ln(y) = \alpha + \beta x$)에서는 다음과 같이 탄력성이 계산된다

$$\frac{\partial y}{y} = \beta \partial x \tag{5}$$

따라서 탄력성은 최종적으로 $\beta \cdot X$ 표현된다.

여기서, β 는 추정계수이며 X 는 평균값이다. 독립변수가 로그값의 형태인 경우($\ln(y) = \ln(\beta x)$)에는 β 값 자체가 탄력성이 된다. 이상의 음이항 모형과 변수별 탄력성분석을 통해 기하구조가 교통사고에 미치는 효과를 알아보고자 한다.

모형구축 및 결과분석

1. 개요

모형은 포아송모형과 음이항모형 모두 구축이 되었으나, 앞서 설명한 바와 같이, 도출된 분산계수값이 통계적으로 유의함에 따라 음이항모형이 더욱 적합한 것으로 나타나 음이항 모형에 의한 결과만을 제시하고자 한다.

또한, 변수별 탄력성 값을 도출함으로써 각 변수가 사고발생에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 결과분석

음이항 모형을 통해 도출된 결과 및 변수별 탄력성 값은 Table 3에 나타나 있다. 앞서 소개한 대로 모형은 기하구조가 통합된 형태의 SFM모형과 기하구조가 세부로 나누어진 형태의 VSM모형 및 변수별 탄력성이 추정되었으며, 결과분석은 SFM과 VSM에서 도출된 계수 및 탄력성 값을 비교분석하는 것을 중심으로 서술하고자 한다.

우선, 포아송 모형과 음이항 모형의 선택에 있어서는 과분산값(α)이 0.359(VSM, t-value=50.626)와 0.383(SFM, t-value=53.838)으로 통계적으로 0과 다른 값을 나타내기에 음이항모형이 적합한 것으로 나타났다. 그리고 도출된 모형의 전체적인 설명력은 VSM(0.175)이 SFM(0.168)에 비해 상대적으로 보다 나은 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

인터체인지 구간이 본선구간에 비해 사고발생확률이 높은 것으로 나타났으며, 이는 인터체인지는 본선구간과 다른 구조물 및 차량의 진·출입에 따른 차선변경 및 교통량의 증감에 의한 것으로 보인다.

구간의 거리가 길어지고 교통량이 많아질수록 사고발생에 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 노출량(exposure)이 많아질수록 사고발생 확률이 높아진다는 기존의 연구결과와 일맥상통함을 알 수 있다. 특히, 교통량의 경우에는 탄력적임을 보이는데, 1%의 교통량 증가

Table 3. Comparison of negative binomial models of interstate total accident frequencies: varying standards model versus standard-free model

Variable	Varying Standards Model		Standard Free Model	
	Coefficient	t-statistic	Elasticity	t-statistic
Constant	-10.273	-81.114	-9.949	-101.179
Interchange indicator(1 if segment is a non-interchange section; 0 if interchange section)	-0.085	-3.335	-0.089	-3.237
Logarithm of length of segment in miles	0.749	57.825	0.749	62.253
Logarithm of directional per-lane daily volume	1.238	96.422	1.238	118.597
Below-standard left shoulder width in segments with 100% below standard left shoulders	0.037	2.054	0.010	-0.049
Standard left shoulder width in segments with 100% standard left shoulder widths	-0.027	-2.277	-0.011	-22.268
Above-standard left shoulder width in segments with 100% above standard width	-0.037	-9.800	-0.126	-0.340
Below-and-standard left shoulder width in segments with below-standard and standard left shoulder sub-segments	0.005	0.352	0.001	
Below-and-above-standard left shoulder width in segments with below-standard and above-standard left shoulder sub-segments	-0.023	-5.362	-0.056	
Standard-and-above-standard left shoulder width in segments with standard and above-standard left shoulder sub-segments	-0.030	-1.783	-0.002	
Below-standard right shoulder width in segments with 100% below standard right shoulders	-0.054	-10.766	-0.096	-20.035
Standard right shoulder width in segments with 100% standard right shoulder widths	-0.055	-18.938	-0.147	-0.332
Above-standard right shoulder width in segments with 100% above standard width	-0.028	-3.573	-0.003	
Below-and-standard right shoulder width in segments with below-standard and standard right shoulder sub-segments	-0.049	-15.624	-0.096	
Below-and-above-standard right shoulder width in segments with below-standard and above-standard right shoulder sub-segments	-0.018	-2.492	-0.002	
Standard-and-above-standard right shoulder width in segments with standard and above-standard right shoulder sub-segments	-0.029	-5.748	-0.004	
Below-standard number of lanes	0.474	38.518	1.227	0.495
Standard number of lanes	0.344	7.661	0.003	47.404
Below-and-standard number of lanes	0.562	19.715	0.009	1.292
Below-standard radius in urban-area segments	0.0005092	1.834	0.001	-0.0000013
Standard radius in urban-area segments	-0.0000007	-2.785	-0.009	-6.707
Below-standard radius in rural-area segments	0.0005465	18.061	0.020	-0.031
Standard radius in rural-area segments	-0.0000003	-1.201	-0.004	
Below-standard interchange spacing in urban-area segments	-0.269	-5.619	-0.025	-0.008
Standard-and-above-standard interchange spacing in urban-area segments	-0.067	-3.677	-0.009	-0.512
Below-standard interchange spacing in rural-area segments	-0.135	-4.348	-0.015	10.755
Standard-and-above-standard interchange spacing in rural-area segments	0.031	4.531	0.017	0.036
Dispersion parameter for count data model				
Overdispersion parameter	0.359	50.626	0.383	53.838
Log-likelihood at constant only			-35,515.95	
Log-likelihood at convergence		-29,290.06		-29,550.84
Pseudo R-squared		0.175		0.168
Number of observations			10,512	

는 1.238%(VSM)과 1.209%(SFM)의 사고발생증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

왼쪽 길어깨폭의 경우, SFM에서는 길어깨 폭이 증가할수록 사고발생이 줄어들음을 나타내며, 이는 길어깨폭이 증가할수록 사고발생 확률이 줄어든다는 기존의 연구결과와 일치함을 보여준다. 하지만, VSM에서는 기준미만 및 기준미만-기준 폭을 가진 길어깨가 존재하는 구간에서는 사고발생 확률이 증가함을 보여준다. 이는 기존의 통합된 변수형태의 모형에서는 밝혀지지 않은 사실이며, 향후 도로설계시 기준미만의 길어깨폭의 설치비용을 지양해야 함을 보여준다. 물론 환경적 영향 등에 의해 기준 폭 미만의 길어깨를 설치해야 하는 경우가 발생하겠지만, 기준미만의 길어깨 폭의 비율을 최소화 하는 방향으로 해야 할 것이다.

이와 반대로 오른쪽 길어깨 폭의 경우에는 두 모형 모두에서 폭이 증가할수록 사고발생확률을 낮추는 것으로 나타났다. 탄력성 측면에서는 모든 경우에서 비탄력적 값을 가지지만, 기준 길어깨 폭에서의 사고 감소가 최대가 되는 것을 알 수 있으며, 향후 도로설계 시 구간 내에서 기준 길어깨폭의 비율이 최대가 되도록 해야 할 것이다. 차로수는 모든 경우에서 사고발생확률을 증가시키는 것으로 나타났다. 이는 교통량과 마찬가지로 노출량이 많아지기 때문이며, 차로수의 경우에도 기준값 미만의 차로수를 가진 구간에서는 탄력적임을 VSM형태의 모형에서 도출되었다. 즉, 기존의 통합된 형태의 변수를 사용하는 경우(SFM)에는 차로수가 사고발생에 영향을 미친다는 사실만을 밝혔지만, 세분화된 형태의 변수를 사용(VSM)함으로써 영향을 미치는 변수를 상세하게 알 수 있게 된다.

평면곡선의 반지름은 도시부·지방부 구분 없이 기준미만, 그리고 기준값의 경우에서 유의한 결과가 도출되었으며, 비록 도출된 계수값이 탄력적이지는 않지만, 기준미만의 경우에는 사고발생에 영향을 미치며, 기준값의 경우에는 사고감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 평면곡선의 반지름의 경우에는 시거 혹은 곡선진입 전구간과의 속도차등이 사고발생에 중요한 요소로 판단된다.

인터체인지별 간격의 경우 도시부에서는 모든 경우에서 사고발생 확률을 줄이는 것으로 나타났다. 반면, 지방부에서는 기준(2mile) 미만으로 설치된 인터체인지에서는 사고발생확률이 줄어들지만, 기준간격 및 기준간격초과로 설치된 인터체인지에서는 사고발생확률이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 설치간격의 문제일 수도 있지만,

지방부는 노출량이 많은 도시부에 비해 차량의 지정체가 적고, 속도가 높을 가능성이 있는 등 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

결론 및 향후 연구과제

1. 결론

기존의 통합된 기하구조자료를 사용함에 따른 도출된 모형이 현실을 반영하지 못한다는 문제점을 개선하고자 기하구조자료를 도로설계지침 등에서 권장하는 설계 기준값을 바탕으로 세분화하여 모형을 도출하였다.

그 결과 기존의 연구에서는 밝혀내지 못하였던 내용이 도출되었는데, 왼쪽 길어깨 폭의 경우, 기준미만 및 기준미만-기준폭을 가지는 구간에서는 사고발생 확률이 증가되었다. 오른쪽 길어깨 폭은 기준을 충족시키는 길어깨폭을 가진 구간에서의 사고 감소효과가 최대였으며, 차로수는 기준 차로수 미만의 구간에서 사고발생에 대한 효과가 탄력적임을 알 수 있었다. 그리고 기준 미만의 평면곡선 반지름에서는 사고발생 확률이 높아짐을 알 수 있었다.

2. 향후 연구과제

이 연구에서는 기존의 사고모형이 가지는 문제점을 세분화된 자료를 적용함으로써 보완하고자 시도하였다. 기존의 통합된 자료를 바탕으로 도출된 모형에서 밝혀내지 못했던 사실을 밝혀낸 것에 큰 의의가 있었다고 볼 수 있다. 이러한 사항들을 바탕으로 보다 다양한 연구가 이루어져서 향후 기하구조 설계 지침 등에 반영된다면 보다 안전한 도로 및 기하구조의 구축이 가능 할 것이다.

하지만, 이번 연구에서 고려하지 못한 점이 있는데, 우선, 사고와 관련된 자료 중, 사고건수를 제외한 사고심각도, 충돌형태, 그리고 관련 차량대수등 각 개별적인 항목에 대한 연구가 고려되지 못하여 종합적인 분석이 미흡하였다. 이 연구에서 밝혔듯 세분화된 기하구조자료를 이용하게 되면 사고의 형태 혹은 심각도에 영향을 미치는 기하구조의 파악도 가능 할 것이다.

그리고 사용된 기하구조의 특성에 따라서는 '기준미만' 혹은 '기준초과'의 값 또한 '기준'을 충족 시킬 수가 있다. 하지만, 모든 기하구조의 특성에 따라서 기준을 달리 적용하게 되면, 오해 혹은 헛갈릴 소지가 있기에, 이번 연

구에서는 WSDOT 지침에서 제시하는 ‘기준값’을 기준으로 단순히 미만 혹은 초과로 설정하였으나, 향후 연구에서는 기하구조의 특성에 따른 구분이 필요 할 것이다.

또한, 인터체인지 구간이 본선구간보다 사고발생 확률이 높게 분석이 되었으나, 인터체인지에 따른 본선구간과 다른 복잡한 구조물 및 기하구조등 인터체인지의 특성 및 형태에 따른 세부사항의 고려도 미비하였다.

마지막으로 사고자료 중, 운전자의 특성(나이·성별 등)까지 고려가 된다면 사고에 대한 종합적인 분석이 가능 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

Engel J. (1984), Models for Response Data Showing Extra-poisson Variation, *Statistical Neerlandica*, 38(3), 159-167.

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., Hoe 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.

Jovanis P. P., Chang H. L. (1986), Modeling the Relationship of Accidents to Miles Traveled, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1068, 42-51, Transportation Research Board, Washington D.C.

Kang M. W., Doh C. W., Son B. S. (2002), Fitting Distribution of Accident Frequency of Freeway Horizontal Curve Sections & Development of Negative Binomial Regression Models, *J. Korean Soc. Transp.*, 20(7), Korean Society of Transportation,

197-201.

Lawless J. (1987), Negative Binomial and Mixed Poisson Regression, *Canadian Journal of Statistics*, 15(3), 209-225.

Maher M. (1991), A new Bivariate Negative Binomial Model for Accident Frequencies, *Traffic Engineering and Control*, 32(9), 422-433.

Miaou S. P., Lum H. (1993), Modeling Vehicle Accidents and Highway at Geometric Design Relationships, *Accident Analysis and Prevention*, 25(6), 689-709.

Persaud B. et al. (2004), Safety Evaluation of Permanent Raised Snow-Plowable Pavement Markers, *Transportation Research Record* 1897, 148-155.

Washington State Department of Transportation (2007), WSDOT Design Manual M22-01.01.

Zhang C., Ivan J. N. (2005), Effects of Geometric Characteristics on Head-On Crash Incidence on Two-Lane Roads in Connecticut, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1908, 159-164.

- ☞ 주 작 성 자 : 박민호
- ☞ 교 신 저 자 : 박민호
- ☞ 논문투고일 : 2013. 10. 14
- ☞ 논문심사일 : 2013. 12. 2 (1차)
2013. 12. 26 (2차)
2013. 12. 31 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2013. 12. 31
- ☞ 반론접수기한 : 2014. 6. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필