

■ 論 文 ■

지방부 다차로 도로구간에서의 사고 예측모형 개발
(대도시권 외곽 및 구릉지 특성의 도로구간 중심으로)

Development of a Accident Frequency Prediction Model at Rural Multi-Lane Highways

이 동 민

(한국교통연구원 책임연구원)

김 도 훈

(한국교통연구원 연구원)

성 낙 문

(한국교통연구원 연구위원)

목 차

- | | |
|--|--|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 내용 및 방법</p> <p>II. 문헌고찰</p> <p>1. 기존연구 고찰</p> <p>2. 기존연구의 차별성</p> <p>III. 자료수집 및 조사방법</p> <p>1. 자료수집</p> <p>2. 조사방법</p> | <p>IV. 사고예측모형의 이론적 고찰</p> <p>1. 모형선정</p> <p>2. 모형검증</p> <p>V. 사고예측모형 개발</p> <p>1. 모형개발</p> <p>2. 결과분석</p> <p>VI. 결론 및 향후연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|--|--|

Key Words : 교통사고, 도로구간, 사고예측모형, 지방부, 안전성

Traffic Accident, Roadway Segment, Accident Frequency Prediction Model, Rural, Safety

요 약

도로구간에서의 주행조건은 연속적인 도로축 상에서 구간별로 변화하게 되고 이에 따라 도로에서의 교통사고는 도로 기하구조 변수뿐만 아니라 도로주변 환경변수, 교통조건 변수 그리고 기타 다양한 변수들에 의해서 발생하게 된다. 따라서 본 연구는 현장조사를 통해 얻어진 다양한 도로기하구조 요소를 고려하여 동질성을 갖춘 구간 분할 후에 도로를 구성하는 도로 기하구조, 교통조건, 도로주변 환경 그리고 기타 다양한 요소들을 복합적으로 반영하고자 한다. 이를 반영하기 위해 본 연구에서는 도로구간의 주행조건을 결정짓는 주요인들에 의해서 주행조건 동질구간을 결정하고, 각 동질구간에서의 도로 및 교통조건 등을 고려하여 사고예측 모형을 개발하였다. 모형 개발을 위해 사용된 자료는 대도시권 외곽과 평지 및 구릉지를 대표할 수 있는 수도권 외곽 내에 지방부 도로구간과 전라북도 지방부 도로구간에서 수집되었다. 본 연구에서는 연속된 도로구간에서 사고건수가 "0"인 구간수가 매우 높게 나타나므로 이에 대한 과대 예측을 방지하기 위해 ZIP(Zero Inflated Poisson) 모형을 이용하였다. 사고예측모형 개발 결과 지방부 다차로 도로구간에서 교통사고에 영향을 미치는 변수로는 교통량과 도로구간 길이를 포함한 EXPO($365 \times ADT \times Length \times Year / 10^6$), 곡선반경, 종단구배변화, 가드레일, 지형(산악지), 횡단보도개수, 버스정류장 개수가 지방부 다차로 도로구간에서의 차대차 사고에 영향을 미치는 주요 설명변수로 나타났다.

Generally, traffic accidents can be influenced by variables driving conditions including geometric, roadside design, and traffic conditions. Under the circumstance, homogeneous roadway segments were firstly identified using typical geometric variables obtained from field data collections in this study. These field data collections were conducted at highways located in several areas having various regional conditions for examples, outside metropolitan city; level and rolling rural areas. Due to many zero cells in crash database, a Zero Inflated Poisson model was used to develop crash prediction model to overestimated results in this study. It was found that EXPO, radius, grade, guardrail, mountainous terrain, crosswalk and bus-stop have statistically significant influence on vehicle to vehicle crashes at rural multi-lane roadway segments.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화 사업(06교통핵심C01)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

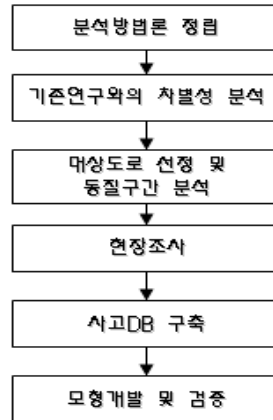
도로구간에서의 교통사고는 도로 기하구조 뿐만 아니라 도로주변 환경, 교통조건 그리고 기타 다양한 원인들에 의해서 발생된다. 그러나 종단경사 및 곡선반경을 수집하기 위한 현장조사는 현실적으로 어렵다. 설령 이러한 변수들이 조사자에 의해서 수집된다 하더라도 그 신뢰성이 떨어진다. 또한 기존 연구에서는 곡선부 또는 직선부 등의 특정구간에서 발생한 사고자료를 이용하여 사고예측모형을 개발함으로써 해당구간에서의 사고발생요인을 분석할 경우 위험구간에 대해서 고려할 수 없는 한계점을 갖는다. 다시 말해서, 교통사고는 곡선부와 직선부로 연결되는 구간, 직선부에서 곡선부로 연결되는 구간, 평지에서 오르막 구간 및 내리막 구간 등으로 전이되는 위험구간에서 교통사고가 발생할 가능성이 높다. 이는 주행조건이 연속적인 도로축 상에서 구간별로 변하기 때문이다.

따라서 본 연구는 특정구간에 대해서 개발된 사고예측모형이 갖는 단점을 보완하기 위해서 평면선형에 대한 구간분할 뿐만 아니라 종단선형 및 도로 횡단면을 구성하는 다양한 요소들을 고려하여 연속성을 갖춘 구간분할을 수행한다. 또한 도로를 구성하는 도로 기하구조, 교통조건, 도로설계요소 그리고 기타 다양한 요소들을 복합적으로 반영하여 사고예측모형을 개발하고자 하며, 모형을 구성하는 개별 설명변수들이 교통사고에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 분석을 통해 우리나라 지방부 다차로 도로구간에서의 안전성 향상에 기여하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 지방부 다차로 도로구간에서의 사고예측모형 개발을 위하여 공간적 범위를 수도권 내 지방부 도로구간과 전라북도 지방부 도로구간을 선정하였다. 사고자료는 2005년부터 2007년까지 3개년도의 경찰청 차대차 교통사고자료를 수집하였으며, 현장조사구간의 총 도로연장은 322.9km이다.

본 연구에서는 다양한 도로 기하구조 조건들이 교통사고에 미치는 영향을 분석하기 위해 사고예측모형을 개발하였다. 사고예측모형은 구축된 데이터 특성을 고려하여 ZIP모형을 사용하였다. 연구수행 세부 절차는 <그림 1>에서 보는 바와 같다.



<그림 1> 연구 흐름도

II. 문헌고찰

1. 기존연구 고찰

도로구간에서 교통사고에 영향을 미치는 요인들은 다양하게 나타난다. 이러한 요인들을 분석하여 도로구간에서의 사고예측모형을 개발한 연구가 국내·외에서 수행되고 있다.

국내연구로서 이수범 등(2003)은 도로의 물리적 특성과 교통 특성을 반영하여 다중회귀모형을 이용한 사고분석모형을 개발하는데 있어, 국도 및 지방도의 경우에는 주요 도로가 만나는 교차로를 기준으로 구간 분할을 하였다. 그 결과 2차로 이하의 도로에서는 교차로 수와 보행자 신호등 수가 사고에 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 4차로 이상 도로구간에서는 중앙분리대가 있는 경우와 중앙분리대가 없는 경우 교차로 수가 사고에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이수범과 홍다희(2006)는 도시부 도로에서 포아송 회귀모형을 이용하여 도로 형태 및 V/C에 따라 다양한 유형의 사고분석모형을 개발하였다. 그 결과 교통량, 중앙분리대, 연결로 수, 보행자신호등 수, 교차로 수, 신호등 수가 사고에 영향을 미치는 변수로 선정되었다.

하태준 등(2003)은 위험도로의 효과적인 개선을 위해서 위험도로 교통사고분석모형을 개발하였으며, 그 결과 종속변수인 사고율에 영향을 미치는 설명변수로는 곡선반경, 시거, 종단구배, 길어깨폭, 길어깨 형태로 나타났다.

김경석, 강승림(2003)은 중앙분리대의 사고감소효과에 대해서 연구한 결과 중앙분리대는 왕복의 교통류를 분리함으로써 차량의 중앙선 침범에 의한 치명적인 정면충돌 사고를 방지할 수 있으나, 곡선부의 경우에는 중앙

분리대의 설치시에 시거부족 구간이 발생하여 오히려 사고 발생 가능성을 높일 수 있는 것으로 분석하였다.

Ciro Caliendo et al.(2007)은 이탈리아의 다차로 일반도로구간에서 포아송 및 음이항 회귀식을 이용하여 사고분석모형을 개발하였다. 구간의 동질성 구분은 다양한 설계요소가 동일하며, 곡선반경과 종단구배가 변화되는 구간에 대해서 구간분할을 하였다. 그 결과 구간길이, 반경, AADT, 시거, 마찰계수, 종단구배 그리고 접속도로의 유무가 사고에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Vivian Rovert, R and A. Veeraragavan(2007)은 인도의 8개 주에서 발생한 교통사고자료를 이용하여 보행자 통행량에 따른 사고분석모형을 개발하였다. 그 결과 EXPO, 총 차로폭, ADT 그리고 중차량 비율이 사고에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

Lamm(2000)의 연구에서는 곡선반경의 크기가 감소할수록 사고율 및 사고 비용율은 증가되는 것으로 분석되었다. 즉, 200m보다 작은 곡선반경에서의 사고율은 곡선반경이 400m일 때 보다 최소 2배 이상 높다고 분석하였다. 또한 종단경사는 -2%~2%이내가 가장 안전하다고 하였고 6%이상의 종단경사에서 사고율이 두드러지게 높아지는 것으로 나타났으며, 하향경사가 상향경사에 비하여 더욱 위험하다고 분석되었다.

이밖에도 국내외에서 개발된 도로구간에서의 사고분석 모형을 구성하고 있는 다양한 변수가 있으며, 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 기존사고분석모형에서 포함하고 있는 변수

이재명의 3인 (2005)	구간거리, 횡단갓길폭, 횡단차도폭, 중앙분리대측, 교통량을 사고에 영향을 미치는 변수로 선정하여 분석
최재성, 이철호 (1995)	교통량, 도로폭, 도로 전체의 폭, 곡선반경을 사고와 관련 있는 설계요소로 정의함
Charles v. Zegeer et al. (2005)	교통량, 도로폭, 곡선반경, 완화구간의 유무, 편구배의 유무, 곡선장 등을 교통사고와 밀접한 관계가 있는 설계요소로 정의
Hauer et al. (2004)	교통량, 구간거리, 진출입구수, 중차량 비율, 토지이용, 측면도로포장, 길어깨폭, 곡선반경, 가로변주차, 제한속도, 양방향 좌회전 차로를 교통사고와 밀접한 관계가 있는 설계요소로 정의함
Bonson & McCoy (1997)	교통량, 구간거리, 차량진출입구수, 토지이용, 가로변주차, 중분대, 양방향 좌회전 차로를 교통사고와 밀접한 관계가 있는 설계요소로 정의함
Hadi et al. (1995)	교통량, 구간거리, 교차로수, 측면도로포장, 길어깨폭, 차로폭, 제한속도를 교통사고와 밀접한 관계가 있는 설계요소로 정의함
Harwood (1986)	교통량, 구간거리, 중차량 비율, 토지이용, 길어깨폭, 중분대, 양방향 좌회전 차로를 교통사고와 밀접한 관계가 있는 설계요소로 정의함

2. 기존연구와의 차별성

기존연구에서 도로구간을 구성하는 도로기하구조 등의 요소가 교통사고에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 인과관계 분석을 통해 교통사고 감소에 이바지하였다. 또한 사고예측모형을 개발하는데 있어 초기연구에서는 단순 선형회기모형을 이용하여 사고원인을 분석하였으며, 최근 연구에서는 사고자료의 특성을 고려한 포아송 회귀모형 및 음이항 회귀모형을 이용하여 도로구간에서의 교통사고를 감소시키고자 하였다. 그러나 도로의 연속성을 고려하여 사고원인 분석을 수행하는데 있어 기존 연구는 다소 한계점이 존재한다.

본 연구와 같이 연속성을 가진 다차로 도로구간에 대해서 분석할 경우에는 사고가 발생한 구간 수보다 사고가 발생하지 않은 구간 수가 매우 높게 나타난다. 이러한 경우 사고예측모형은 "0"의 확률에 대해서 과장하여 추정하게 되므로 포아송 모형 및 음이항 모형도 장래 교통사고 예측시 오류를 범할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 사고가 발생한 구간만을 대상으로 분석한 기존연구와의 차별성을 두기 위해 동질성을 갖춘 연속구간으로 분할하였으며, 사고와 비사고 구간 모두 사고예측모형을 개발하는데 적용하였다. 사고예측모형은 교통사고 발생에 대한 인과관계를 찾기 위해 "0"의 확률에 대해서 적절히 반응할 수 있는 ZIP모형(Zero Inflated Poisson Model)을 이용한 지방부 다차로 도로구간에서의 사고예측모형을 개발하고자 한다.

III. 자료수집 및 조사방법

1. 자료수집

우리나라 지방부 특성을 갖춘 다차로 도로구간 선정 을 위해서 본 연구의 범위를 대도시 외곽의 특성을 지닌 수도권 외곽 지방부 도로구간과 평지 및 구릉지 지역의 특성을 지닌 전라북도 외곽 지방부 도로구간으로 선정하였다. 사고자료는 수도권 외곽의 경우 2006년 경찰청 사고자료를 활용하였으며, 전라북도 지역의 경우 2005년부터 2007년의 3개년도 차대차 교통사고자료를 이용하였다. 다음 <표 2>는 다차로 도로구간에서의 교통사고 분석을 위한 조사구간을 나타낸 표이다.

위의 조사구간에서 수집된 변수는 도로 기하구조 변수와 도로설계 변수, 교통조건 변수 그리고 기타 변수이

<표 2> 지방부 다차로 도로 조사구간

구분	수도권 외곽	전라북도
도로구간 연장	104.403km	218.486km
조사범위	-국도 1호선 -국도 37호선 -국도 39호선 -국도 43호선 -국도 47호선 -국도 87호선	-국도 17호선 -국도 19호선 -국도 22호선 -국도 23호선 -국도 24호선 -국도 26호선 -국도 27호선 -국도 29호선 -국도 30호선

주 : 조사범위의 도로구간은 지방부의 특성을 지닌 일부 구간만을 조사하였음

다. 도로 기하구조 변수는 곡선반경, 종단구배, 도로 폭, 도로구간 길이, 차량 진출입구수 길어깨 형태 및 폭이며, 도로설계 변수로는 조명시설 개수, 중앙분리대 형태 및 폭이다. 또한 교통조건 변수는 제한속도, 교통량, 중차량 교통량, 차량주행제약시설물, 지형이다. 그리고 기타 변수로는 해당구간의 토지이용도, 횡단보도 개수, 버스정류장 개수 그리고 시인성 향상 시설물이다.

2. 조사방법

지방부 도로구간에서 교통사고와 수집된 각종 설명변수들 간의 관계를 분석하기 위해서는 연속된 도로구간에서 기하구조 등의 요소가 변화되는 구간을 세분화하여 교통사고가 발생하는 구간과 교통사고가 발생되지 않는

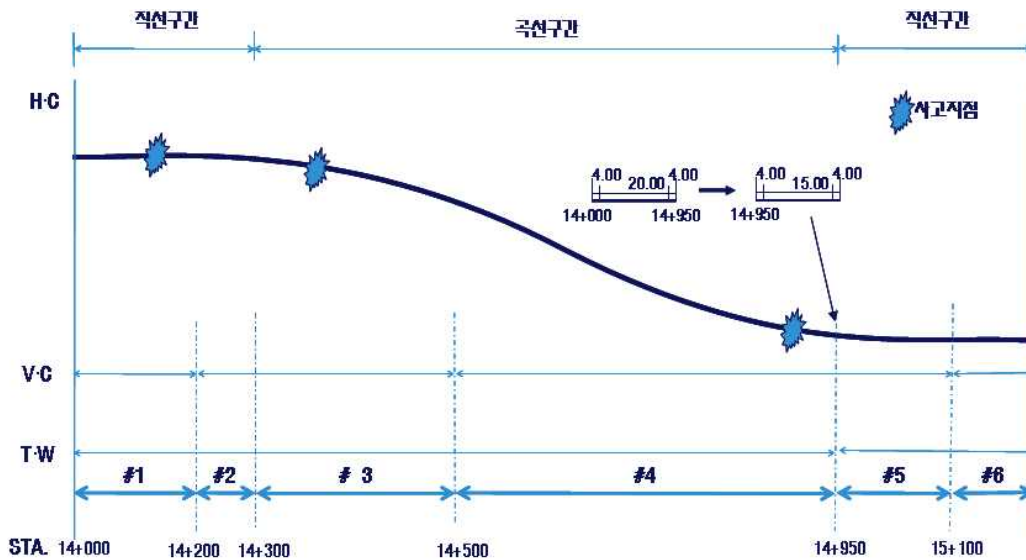
구간 모두를 고려하여 사고예측모형에 적용하여야만 한다. 이는 교통사고가 발생하는 구간의 도로기하구조 요소만을 반영하여 사고예측모형을 개발할 경우 교통사고 유발 가능성이 적거나 사고유발 가능성이 큰 도로설계요소가 왜곡될 가능성이 있다.

따라서 본 연구에서는 곡선반경, 종단경사 그리고 도로 폭이 변화되는 구간을 세분화하였다. 이때 도로를 구성하는 다수의 요소들을 이용하여 구간을 나눌 경우 현실적으로 이해하기 어려운 최소구간길이가 도출되기 때문에 세 가지 항목으로 선정하였다. 우선 곡선반경이 변화되는 구간에 대해서 1차 구간분할 후에 종단경사가 변화되는 구간에 대해서 2차 구간분할을 한다. 마지막으로 도로 폭이 변화되는 구간에 대해서 3차 구간분할을 한다. 이와 같은 동질성 구간 분할 방법을 다음 <그림 2>에 도식화 하였다.

IV. 사고예측모형의 이론적 고찰

1. 모형선정

앞서 기존연구와의 차별성에서 언급한 바와 같이 연속된 도로구간에서 사고건수가 "0"인 구간수가 매우 높게 나타난다. 이때 "0"에 대한 과대 예측을 방지하기 위해 ZIP(Zero Inflated Poisson) 모형이 개발되었다. ZIP모형은 확률변수 \hat{y} 가 일정 단위당 나타나는 가산자



<그림 2> 동질성 구간분할 방법 예시

료(count data)로서 영 값만 나타나는 상태(perfect state)의 확률값이 따로 정해진다. 반응벡터 $Y=(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ 에서 k 개의 설명변수가 있는 경우 모수벡터 $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ 그리고 영 값에 대한 확률벡터 $p=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 는 다음을 만족하는 로그연결함수 λ 와 로짓연결함수(logit link function)로 모형화된다.

$$\log(\hat{\lambda})=B\beta \tag{1}$$

$$\logit(P)=\log\left(\frac{P}{1-P}\right)=G_\gamma \tag{2}$$

여기서 B 와 G 는 공변량들의 모형행렬(model matrix)이다.

일반적으로 영 값만이 완전하게 나타날(perfect state) 확률 p 는 포아송 평균인 λ 에 반비례하며, λ 가 커질수록 p 가 작아지는 함수는 여러 가지로 생각할 수 있으나, 두 모수에 대한 사전정보가 $p_i = 1/(1 + \lambda_i)$ 같이 알려져 있다, 이때 식(3)에 의해서

$$\frac{\log(p/(1-p))}{\log\lambda} = \frac{B_\gamma}{B\beta} = -\tau \tag{3}$$

여기에서 τ 는 형태모수(shape parameter)로서 이 값이 커지면 p 는 기하급수적으로 감소하게 된다.

$$\log(\lambda) = B\beta \tag{4}$$

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = -\tau B\beta \tag{5}$$

ZIP모형에서의 회귀계수의 추정은 λ 와 p 가 함수적인 관계 여부에 따라 다르다. λ 와 p 가 함수적인 관계가 없을 때 회귀계수 벡터 β 와 γ 에 대한 우도함수는 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned} L(\gamma, \beta; y) = & \sum_{y_i=0} \log(e^{G_\gamma} + \exp(-e^{B\beta})) \\ & + \sum_{y_i>0} (y_i B_i \beta - e^{B\beta}) \\ & - \sum_{i=1}^n \log(1 + e^{G_\gamma}) \\ & - \sum_{y_i>0} \log(y_i!) \end{aligned} \tag{6}$$

λ 와 p 가 함수적인 관계가 있을 때 회귀계수 벡터 β 와 형태모수 τ 에 대한 우도함수는 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned} L(\beta, \tau; y) = & \sum_{y_i=0} \log(e^{-\tau B\beta} + \exp(-e^{B\beta})) \\ & + \sum_{y_i>0} (y_i B_i \beta - e^{B\beta}) \\ & - \sum_{i=1}^n \log(1 + e^{-\tau B\beta}) \end{aligned} \tag{7}$$

2. 모형검증

1) ρ^2 (Rho-Squared)

최종적으로 개발된 모형에 대하여 모형의 적합성을 검증하기 위해 ρ^2 (우도비)를 사용하며, ρ^2 는 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 적합도가 높은 모형이라고 할 수 있다. 그러나 교통사고분석의 특성상 교통사고와 도로시설의 관계에 대한 모형의 ρ^2 값은 0.2와 0.4사이의 값만 가져도 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 가지는 것으로 평가할 수 있다(McFadden, 1976).

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\beta)}{L(0)} \quad (0 \leq \rho^2 \leq 1) \tag{8}$$

여기서, $L(\beta)$: log likelihood function
 $L(0)$: restricted log likelihood

2) MPB(Mean Prediction Bias)&MAB(Mean Absolute Bias)

모형의 실제사고건수와 예측건수를 비교하기 위해서 일반적으로 MPB(Mean Prediction Bias)와 MAD(Mean Absolute Deviation)가 사용된다. MPB는 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료에 대해서 모형에 의한 결과 값의 치우침 정도를 판단할 수 있는 기준을 제공해준다. 이 방법에 의한 결과 값이 작을수록 모형의 예측 값은 정확한 것을 의미한다.

$$MPB = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \tag{9}$$

여기서, Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료
 \hat{Y}_i : 모형에 의한 결과값

또한 MAD는 모형의 예측 값이 평균적으로 얼마만큼의 오차가 포함되었는지를 판단할 수 있는 척도를 제공해준다.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (10)$$

여기서, Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료
 \hat{Y}_i : 모형에 의한 결과값

이 방법이 MPB와 다른 점은 각 수치의 음과 양의 차이로 인해 상쇄되지 않는다는 점이다. 결과 값이 0에 가까울수록 실제로 관측된 자료에 부합되는 결과를 나타냄을 의미한다¹⁾.

V. 사고예측모형 개발

1. 모형개발

교통사고에 영향을 미치는 개별 설명변수들은 예측된 모형을 통해 실제 도로의 안전성 평가가 이루어질 수 있도록 사전에 검토 되어야 한다. 사고예측모형이 매우 좋은 설명력을 가지고 있더라도 개별 설명변수가 설계자 및 분석자에게 적용될 수 없다면 사고예측모형 개발의 의미가 없다. 또한 현장조사를 통한 설계요소의 측정방법이 조사자에 의한 오류를 범할 가능성을 내포하고 있어 본 연구에서는 분석구간의 설계도면에 제시되어 있는 설계요소 값을 반영하였다.

사고예측모형의 역할은 주요 설명변수와 사고빈도와의 관계를 규명하여 사고예측을 통한 분석구간의 안전성 평가에 있다. 이처럼 다양한 설계요소가 교통사고에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 분석을 위해서 종속변수에 영향을 주는 설명변수들 사이의 중복적인 영향을 방지하고 각각의 변수들의 독립성을 확보할 수 있는 변수만을 채택하기 위해 변수간의 상관관계를 신뢰수준 90%($\alpha=0.1$)이내에서 분석하였다. 모형을 구성하는 종속변수와 설명변수간의 상관관계 분석결과는 <표 3>과 같다.

지방부 다차로 도로구간에서의 사고예측모형식에 포함된 설명변수들이 상호 영향을 미치는 관계의 변수라면 장래 교통사고 예측시 왜곡된 결과를 초래할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 설명변수들의 공차한계 및 분산팽창요인(Variance inflation factor : VIF)를 이용한 다중공선성 진단을 수행하여 이를 검토하였다. 그 결과 모형을 구성하고 있는 모든 변수들의 공차한계가 0.1이상으로 나타났으며, VIF는 10이하로 분석되어 개별설명변수들 간의 다중공선성의 영향은 없는 것으로 나타났다²⁾. <표 4>는 본 연구에서 사고예측모형을 구성하고 있는 주요변수들의 기초통계량 및 다중공선성 진단 결과를 나타낸 것이다.

<표 3> 사고빈도와 설명변수와의 상관관계 분석결과

독립변수	종속변수	
	Corr.	P-value
곡선반경 유무	0.077	0.015
곡선반경(1/R)	0.093	0.003
중단구배 유무	-0.029	0.352
구배(-)→(+)	-0.016	0.613
구배(+)->(-)	0.074	0.020
구간길이(ln길이)	0.104	0.001
도로폭(m)	-0.005	0.865
구간내 차량진출입구 수	-0.011	0.719
길어깨 유무	0.011	0.726
길어깨 포장유무	0.006	0.860
길어깨 비포장유무	0.010	0.743
길어깨 폭(m)	0.011	0.733
버스정류장개수	0.113	0.000
조명시설 개수	0.055	0.084
가드레일 유무	0.078	0.013
중앙분리대 폭(m)	0.034	0.281
제한속도(km)	0.039	0.213
In교통량	0.101	0.001
In중차량 교통량	0.190	0.000
속도제어통제장치 유무	-0.015	0.631
지형(평지)	-0.104	0.001
지형(구릉지)	0.016	0.609
지형(산지)	0.153	0.000
토지이용도(주거)	0.333	0.000
횡단보도개수	0.130	0.000
시인성 향상 시설 유무	-0.046	0.148

1) "Validation of Accident Models for Intersections", Publication no. FHWA-RD-03-037

2) 윤병조, "고속도로 트럼펫형 IC연결로 유형별 교통사고예측모형 개발", 대한토목학회지 제27권 제1D호, pp.81~87, 2007.

<표 4> 주요 변수의 기초 통계량 및 다중공선성 진단결과

변수	변수의 정의	기초통계량				
		최소값	최대값	평균	표준편차	VIF(공차한계)
사고건수	도로구간에서 발생한 교통사고 건수 [표시방법 : 사고건수/year]	0	13	0.329	1.046	-
반경(1/R)	해당구간의 평면곡선 반경 [표시방법 : 1/R]	0	0.2	0.0014	0.0021	1.029(0.972)
구배변화 (오목구간)	해당도로구간의 오목구간 유무 [표시방법 : 무=0, 유=1]	0	1	0.075	0.264	1.012(0.988)
가드레일	가드레일 설치 유무 [표시방법 : 무=0, 유=1]	0	1	0.745	0.436	1.067(0.937)
지형(산악지)	해당구간의 지형(산악지) 유무 [표시방법 : 무=0, 유=1]	0	1	0.089	0.285	1.010(0.990)
횡단보도 개수	구간 거리당 횡단보도 개수 [표시방법 : 횡단보도 개수/구간거리]	0	0.04	0.001	0.004	1.180(0.848)
버스정류장 개수	구간 거리당 버스정류장 개수 [표시방법 : 버스정류장 개수/구간거리]	0	0.03	0.001	0.003	1.143(0.875)
- 총 구간 수	998					
- 사고발생 구간 수	161					
- 비사고 구간 수	873					

2. 결과분석

지방부 다차로 도로구간에서의 사고빈도 예측모형 식은 다음과 같으며, 분석결과 EXPO(365×ADT×Length×Year/10⁻⁶), 곡선반경, 종단구배변화, 가드레일, 지형(산악지), 횡단보도개수, 버스정류장 개수가 지방부 다차로 도로구간에서의 사고빈도에 영향을 미치는 설명변수로 선정되었다.

$$\hat{Y} = EXPO \times \exp(-8.212 + 0.228X_1 + 0.995X_2 + 0.304X_3 + 0.452X_4 + 42.066X_5 + 51.875X_6)$$

$$EXPO : 365 \times ADT \times Length \times Year / 10^{-6}$$

X₁ : 곡선반경[표시방법 : 1/R]

X₂ : 종단구배변화(오목구간)

[표시방법 : 무=0, 유=1]

X₃ : 가드레일[표시방법 : 무=0, 유=1]

X₄ : 지형(산악지)[표시방법 : 무=0, 유=1]

X₅ : 횡단보도 개수[표시방법 : 개수/거리]

X₆ : 버스정류장 개수[표시방법 : 개수/거리]

본 연구에서 곡선반경의 변수는 역수를 사용하였는데, 이는 곡선반경이 클수록 교통사고에 영향을 적게 미치며, 곡선반경이 존재하지 않는 직선구간일 경우에는 교통사고 발생확률이 상대적으로 작아짐을 의미한다.

종단구배의 경우에는 구배가 음(-)인 분석대상구간의 상류부에서 양(+)으로 변하게 되는 오목구간(Crest Segment)에서의 사고발생확률이 높은 것으로 나타났다. 또한 가드레일이 설치되었을 경우에는 사고가 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 가드레일 설치로 인해 대향차량과의 정면충돌을 방지하여 사고의 심각도를 감소시키는 역할을 하지만 곡선부의 경우에는 시거 등의 부족으로 오히려 사고발생 가능성을 높이기 때문인 것으로 보이며, 이러한 결과는 김정석, 강승림(2003)³⁾의 연구에서 찾아볼 수 있다. 또한 지형이 산악지역일 경우에는 종단구배의 변화가 뚜렷하게 나타나 운전자의 시거부족, 가속 및 감속의 반복구간, 산악지형의 특성상 충분한 곡선반경 확보의 어려움의 원인 등으로 사고발생 위험률이 증가하는 것으로 보인다. 구간 길이당 횡단보도 개수와 버스정류장 개수는 교통사고를 증가시키는 것으로 나타났는데, 횡단보도의 개수가 증가할수록 차량의 가감속이 반복되어 추돌사고를 유발할 수 있으며, 지방부 도로구간에서의 버스정류장의 경우에는 도시부의 버스 정류장과 달리 적절한 버스 정차대가 설치되어 있지 않아 후미 추돌 등의 사고 발생 확률이 높게 나타나는 것으로 판단된다.

모형의 검증 결과 지방부 다차로 도로구간에서의 사고분석 모형의 설명력(ρ²)은 0.246으로 분석되었으며, MPB와 MAD는 각각 -0.231과 0.709로 나타나 연평균 사고빈도 오차율이 1건 미만으로서 비교적 사고 분석모형의 예측력이 높게 나타났다.

3) 김정석·강승림(2003), “중앙분리대의 사고감소효과 분석에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제21권 제2호, 대한교통학회, pp.45~60.

<표 5> 모형결과

변수명		다차로 구간	
계수		Parameter	-8.212
		T-statistic	-53.243
		P-value	0.000
반경(1/R)	X1	Parameter	0.228
		T-statistic	9.512
		P-value	0.000
구배 (-)→(+)	X2	Parameter	0.995
		T-statistic	7.509
		P-value	0.000
가드레일	X3	Parameter	0.304
		T-statistic	1.946
		P-value	0.052
지형(산악지)	X4	Parameter	0.452
		T-statistic	4.250
		P-value	0.000
횡단보도 개수	X5	Parameter	42.066
		T-statistic	1.792
		P-value	0.073
버스정류장 개수	X6	Parameter	51.875
		T-statistic	2.975
		P-value	0.003
Log likelihood function		-667.041	
Restricted log likelihood		-884.787	
Vuong statistic		4.793	
ρ^2		0.246	
MPB		-0.231	
MAD		0.709	

VI. 결론 및 향후연구과제

도로구간에서의 교통사고는 도로 기하구조 변수뿐만 아니라 도로설계변수, 교통조건 변수 그리고 기타 다양한 변수들에 의해서 발생된다. 그러나 기존에 수행된 도로구간에서의 교통사고관련 연구에서는 도로 기하구조 또는 도로설계변수에 한정지어 사고분석을 수행함으로써 교통사고 안전예방에 크게 기여하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 특정구간에 대해서 개발된 사고예측모형이 갖는 단점을 보완하기 위해서 평면선형에 대한 구간분할 뿐만 아니라 종단선형 및 도로 횡단면을 구성하는 다양한 요소들을 고려하여 연속성을 갖춘 구간분할을 수행하였고 도로를 구성하는 도로 기하구조, 교통조건, 도로설계요소 그리고 기타 다양한 요소들을 복합적으로 반영하여 사고예측모형을 개발하여 모형을 구성하는 개별 설명변수들이 교통사고에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 분석을 수행하였다.

모형개발에 앞서 연속된 도로구간에서 사고건수가 “0”인 구간수가 매우 높게 나타나기 때문에 “0”에 대한 과대

예측을 방지하기 위해 ZIP(Zero Inflated Poisson) 모형을 이용하여 지방부 다차로 도로구간에서의 사고예측모형을 개발하였다.

사고예측모형 개발 결과 지방부 다차로 도로구간에서의 사고빈도 예측모형 식은 다음과 같으며, 분석결과 EXPO, 곡선반경, 종단구배변화, 가드레일, 지형(산악지), 횡단보도개수, 버스정류장 개수가 지방부 다차로 도로구간에서의 차대차 사고에 영향을 미치는 주요 설명변수로 나타났다.

본 연구 결과에서 선정된 변수들이 사고에 어떠한 영향을 미치는지를 고려하여 향후 지방부 다차로 도로구간에서의 설계전과 설계후의 안전성 평가에 본 사고예측모형이 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구를 현재보다 발전시키기 위해서는 다음의 몇 가지 보완되어야 할 사항이 있다.

첫째, 지방부 왕복 2차로 도로구간 및 도시부 도로구간에 대해서 각각의 사고예측모형의 필요성이다. 본 연구는 지방부 다차로 도로구간에 대한 사고예측모형만을 개발하였다. 향후 도시부 및 지방부에서의 도로 유형별 사고예측모형이 개발된다면 도로설계 단계에서의 사전 안전성 평가 및 기 건설된 도로구간에 대한 개선사업 등

에 활용될 것이다.

둘째, 지역별 교통사고요인 분석이 필요하다. 우리나라는 지역에 따라 도로기하구조 및 교통조건 등에서 현저한 차이가 발생한다. 이를 위해서 대도시권 외곽, 평지 및 구릉지의 특성을 갖는 지방부 도로구간 뿐만 아니라 산악지의 특성을 갖는 지역에서의 자료가 추가로 수집되어야 한다. 이는 우리나라의 특성을 갖는 범용적인 사고 분석 모형을 개발할 수 있을 뿐만 아니라 사고요인분석을 통해 지역에 따른 다양한 설계요소들에 대한 투자 우선순위를 정량적으로 제시할 수 있을 것이다.

셋째, 사고발생 당시의 정확한 사고정보 구축이 필요하다. 교통사고는 인적요인에 의한 사고가 대부분이기 때문에 본 연구에서도 향후 인적요인에 대한 자료를 반영하여 도로구간에서의 사고 심각도 예측모형을 개발될 필요성이 있다.

참고문헌

1. 김경석·강승림(2003), “중양분리대의 사고감소효과 분석에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제21권 제2호, 대한교통학회, pp.45~60.
2. 이수범·홍다희(2006), “신설 도시부 도로의 장래 교통량 변화를 반영한 교통사고 예측모형 개발”, 대한교통학회지, 제23권 제3호, 대한교통학회, pp.125~136.
3. 이수범·김정현·홍다희·유창남(2003), “도로등급 및 특성에 따른 교통사고 예측모델의 개발”, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제23권제4호, pp.495~504.
4. 이재명·원재무·배기목·이수일(2005), “도로 기하구조 설계요소별 교통사고 예측모형의 개발”, 대한국토·도시계획학회 정기학술회.
5. 최재성·이점호(1995), “4차선 도로의 설계요소에 대한 교통안전성 분석 연구”, 대한토목학회지 제5권제3호, pp.511~522.
6. 하태준·김정현·윤관·박계진·김영운(2003), “위험도로 곡선반경 개선의 경제적 접근에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제21권 제5호, 대한교통학회, pp.73~81.
7. Transport Research Board(2004), “Methodology to predict the safety performance of rural multilane highways”, NCHRP, pp.17~29.
8. Bonneson, J.A., and P.T. McCoy(1997). “Capacity and Operational Effects of Midblock Left-Turn Lanes”, NCHRP Report 395, TRB.

9. Charles V. Zegeer, J. et al(2005), “Safety Effects of Marked Versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Location : Final Report and Recommended Guidelines” FHWA-HRT-04-100.
10. Ciro Caliendo et al.(2007), “A crash-prediction model for multi-lane roads”, Acci.Anal and Prev. 39, pp.657~670.
11. Hadi, M.A., J. Aruldas, L-F. Chow, and J.A(1995). “Wattleworth. Estimating Safety Effects of Cross-Section Design for Various Highway Types Using Negative Binomial Regression”, Transportation Research Record 150, pp.169~177.
12. Harwood, D.W.(1986). “Multilane Design Alternatives for Improving Suburban Highways”. TRB. p.71.
13. Hauer, E., F.M. Council, and Y. Mohammedshah (2004). “Safety Models for Urban Four-Lane Undivided Road Segments”, Transportation Research Record 1897, TRB, pp.96~105.
14. Lamm et al.(2005), “Analysis and evaluation of interrelationships between traffic safety and highway geometric design on two-lane rural roads”. Road and Transportation research Association. pp.557~570.
15. Vivian Rovert. R and A. Veeraragavan(2007), “Accident prediction factors for rural highway segments in developing countries”, TRB Annual meeting 2007.

✉ 주 작 성 자 : 이동민
 ✉ 교 신 저 자 : 김도훈
 ✉ 논문투고일 : 2009. 4. 22
 ✉ 논문심사일 : 2009. 5. 15 (1차)
 2009. 6. 11 (2차)
 2009. 6. 18 (3차)
 ✉ 심사판정일 : 2009. 6. 18
 ✉ 반론접수기한 : 2009. 12. 31
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필