

## 지방부 도로구간의 사고수정계수 개발에 관한 연구

### A Study for Accident Modification Factors for Rural Road Segments

오 주택 Oh, jutaek

황 정 원 Hwang, jeongwon

정회원 · 한국교통대학교 도시공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail : jutaek@ut.ac.kr)

정회원 · 한국교통대학교 도시공학과 석사과정 (E-mail : koreatnu@naver.com)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** Although numerous researches have been studied to reveal accident causations for road intersections, there are still many research gaps for road segments. It is mainly because of difficulty of data and lack of analytical method. This study aims to study accident causations for rural road segments and develop accident modification factors for safety evaluation. The accident modification factors can be used to improve road safety.

**METHODS :** Methods for developing AMF are diverse. This study developed AMFs using accident prediction models and selected explanatory variables from the accident models. In order to select final AMFs, three different methods were applied in the study.

**RESULTS :** As a result of the study, many AMFs such as horizontal curves or vertical curves were developed and explained the meanings of the results.

**CONCLUSIONS :** This study introduced meaningful methods for developing significant AMFs and also showed several AMFs. It is expected that traffic or road engineers will be able to use the AMFs to improve road segment safety.

#### Keywords

*accident model, accident modification factor, rural road segment*

Corresponding Author : Oh, Jutaek, Associate Professor  
Development of Urban Engineering, Korea National University of  
Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk, 380-702, Korea  
Tel : +82.43.841.5185 Fax : +82.43.841.5410  
E-mail : jutaek@ut.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ijhe.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 필요성

도로는 국내 화물수송 분담율 80%, 국내 여객수송 분담율 74%(2011년 통계기준)를 담당하는 등 이동성을 제공하는 교통수단으로서의 중요성은 부인할 수 없다. 반면 도로의 이동성이 증가하면 할수록 도로의 우수성을 평가할 수 있는 또 다른 지표중 하나인 도로의 안전성은 많은 투자가 이루어지지 않는 한 희생을 감수할 수

밖에 없다. 이는 교통량의 증가가 사고의 증가를 유발하는 가장 중요한 인자라는 사실에서도 확인할 수 있다. 교통사고는 크게 도로요인, 인적요인, 주변 환경적 요인, 차량요인으로 나눌 수 있다. 그러나 특히 도로·교통관리자, 계획가의 시각에서는 인적, 차량적 요인보다는 교통사고자료를 통하여 사고원인파악과 도로환경개선 등 다양한 방안의 적용이 용이한 도로요인과 주변 환경적 요인에 초점을 둔다. 또한 이러한 요인들은 문헌, 현

장조사를 통하여 실질적 자료 획득이 가능하다는 점에서 다른 요인보다 분석하는데 유리하다. 이러한 이유로 많은 연구에서 교통사고자료가 사용되고 있으며 사고를 통해 현 상황의 문제점을 파악하고 사고를 예측·예방한다.

기존의 국내 도로안전과 관련한 연구들을 살펴보면, 교통사고자료를 통하여 도로의 고속도로 기본구간, 램프구간, 도로의 교차로구간과 주요 도시부도로는 체계 개선, 사고요인분석과 같은 연구가 활발히 이루어지고 있는 반면, 지방부 국도의 도로구간에 대한 연구는 상대적으로 부진하게 이루어졌다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 미흡한 연구의 원인들을 살펴보면, 크게 자료수집의 어려움과 분석과정의 난해함에서 찾아볼 수 있다. 도시부의 교차로와 달리 지방부의 도로구간은 교통사고 및 도로의 기하구조 등과 관련한 다양한 자료의 수집이 상당히 어렵다. 또한 사고원인의 분석과정 역시 교차로 등에서 주로 사용하는 단순 Poisson 분석으로는 설명이 곤란하다.

본 연구에서는 지방부 국도의 도로구간을 중심으로 기하구조요인, 교통환경요인과 더불어 도로의 주변 환경을 고려한 지형, 토지이용 형태의 변수 등을 고려하여 사고모형들을 개발하고, 이들 모형들을 토대로 사고발생을 설명할 수 있는 AMF(Accident Modification Factor)를 산출하고자 한다. 교통안전분야에서 교통사고에 미치는 영향들에 대해서 정량적으로 설명할 수 있는 신뢰성 있는 AMF의 산출은 도로의 안전성을 평가하는 중요한 영역이라 할 수 있다.

## 1.2. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 지방부 국도의 다차로 도로구간 사고예측모형을 개발하기 위하여 전북권 도로구간을 공간적 범위로 선정하였으며 2007년의 교통사고자료를 이용하였다. 국내외에서 연구되어진 문헌을 통한 기준에 의해 도로구간을 총 284개로 세분화하여 분석 및 모형개발이 이루어졌으며 조금 더 설명력 있는 계수의 개발을 위하여 기존의 도로구간 사고모형 개발방법과 다른 접근방법의 사고모형 개발방법을 비교·분석해 더 적합한 모형을 선정하였다. 선정된 모형을 통해 도로구간의 기하구조적 요인, 운영적 요인 등 개별 요소가 사고빈도에 미치는 영향을 반영하는 계수인 AMF를 개발하였으며 개발된 AMF가 비슷한 환경에서도 적합한 설명력을 가지는지 확인하기 위해 30개소의 사이트를 통하여 검증이 이루어졌다. 연구수행 절차는 Fig. 1과 같다.

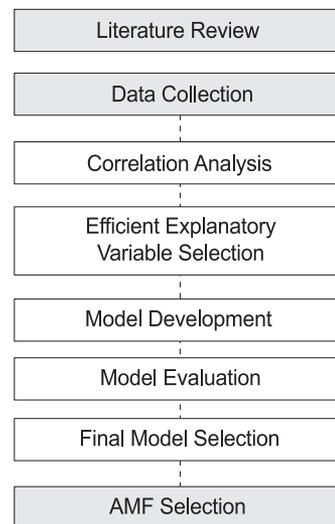


Fig. 1 Study Flow

## 2. 관련 문헌 고찰

### 2.1. 선행연구 고찰

본 연구를 수행하는데 있어서 도로구간을 대상으로 사고예측모형 개발과 AMF 개발을 위한 연구, 교통사고 관련 연구를 살펴보면 다음과 같다.

김응철(2010)은 지방부 2차로 도로구간만을 대상으로 모형을 구축하여 사고예측계수를 개발하고 실제 도로에 개발한 사고예측계수를 적용하여 평가해 보았다. 개발과정에서 전문가 서면 자문을 통해 검증하고 미국 IHSDH, 텍사스 RSDS와 결과를 비교하였다. 그 결과, IHSDM과 근접하게 예측빈도가 나타났으며 사고발생 위험도가 높은 도로구간은 다른 방법보다 반영도가 좋은 것으로 분석하였다.

김응철(2009)은 지방부 교차로의 도로설계 안정성 판단 알고리즘 구축을 위해 신호교차로를 중심으로 AMF를 개발하였다. 모형개발을 통해 기본모형과 산출변수 반영 모형의 사고빈도의 비를 통해 AMF를 산출하였으며 개발된 AMF가 영향이 없을 때와 비교해 실제사고에 더 근접하는지를 평가하였다. 그 결과 사고예측모형을 통한 예측값보다 AMF를 적용하여 예측한 값이 더 우수함을 확인하였다.

김학열(2012)은 일반화 포아송 회귀모형을 이용하여 교통사고모형을 개발을 하였다. 사고모형을 개발하는데 과대 또는 과소산포를 가지는 포아송 모형의 대안으로 일반화 포아송 모형을 통해 문제를 해결하려 하였다.

최윤희(2012)은 고속도로 연결로의 교통사고예측을 위해 포아송 회귀모형, 음이항, ZAM모형을 개발하여

연결로에 미치는 수고변수를 살펴보고 모형 검증을 하였다. 분석 내용 중에서 오차율이 유난히 커지는 원인을 사고예측모형에 포함된 교통사고 노출계수(Exposure)로 보고 있으며 이를 적용할 때 주의가 필요하다고 판단하고 있다.

이동민(2009)은 지방부 다차로 도로구간에서의 사고 예측모형을 개발하였는데 차대차 사고에 영향을 미치는 주요 설명변수로 곡선반경, 종단구배변화, 가드레일, 지형, 횡단보도, 버스정류장이 있는 것으로 분석하였다.

Ciro Caliendo(2007)는 이탈리아 다차로 도로를 중심으로 사고예측모형을 개발하였다. 1999년부터 2003년까지 5년 동안의 자료를 바탕으로 교통량, 횡단 및 종단 곡선, 시거, 포장상태 등 다양한 변수를 통해 포아송, 음이항, NBH, NM, NMH 등 여러방법의 계수를 비교하고 적합한 모형을 선택하였다. 또한 전체 사고에 관한 모형과 심각한 부상에 대한 모형을 나누어 분석하였다.

J. Bonnneson(2006)은 텍사스의 도로를 대상으로 AMF를 개발하기 위한 과정과 가이드라인을 제시하였다. 주로 기하구조에 관한 요소들을 다루고 있으며 설계 속도, 차로 폭, 길어깨 폭, 횡단 및 종단곡선, 경사 등 다양한 요소에 관해 다루고 있다.

Harwood(2000)는 각 교차로 및 도로구간 특성을 반영한 AMF를 개발하였는데 이 연구에서 제시되는 AMF는 주로 안전 전문가 집단의 자문을 통해 최종 선정되었다.

선행 연구들의 고찰을 통해서 도로구간의 모형개발에 필요한 변수들을 살펴보고, 도시부의 교차로에 관한 연구들에 비해 지방부 국도에 관한 연구가 부족함을 확인할 수 있었다. 또한 국내에서 도로의 안전성 향상에 보다 효과적인 대책이 될 수 있는 AMF개발 또한 미흡하며, 방법론 또한 아직 많은 연구가 진행되어야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 분석방법론 및 자료수집

#### 3.1. 분석방법론

교통사고 발생건수는 종속변수의 정규성을 가정하는 선형 회귀모형으로 나타내기 어렵다. 교통사고의 특성상 임의적이고 불규칙적으로 일어난다는 점을 고려하여 비선형 회귀분석의 포아송(Poisson) 회귀분석을 통해 출발하는 것이 적절하다. 포아송 회귀분석에서는 일정기간동안  $Y_i$ 건의 사고가 발생한 도로구간  $i$ 에서 사고가 발생할 확률( $P(Y_i)$ )을 Eq. (1)과 같이 나타내고 있으며,  $\mu$ 는 Poisson Parameter로 일정기간 동안 기대

(예측)되는 사고발생건수를 말한다.

$$P(Y_i) = \frac{\mu_i^{Y_i} EXP(-\mu_i)}{Y_i!} \quad (1)$$

따라서, 도로구간  $i$ 에서 기대되는 사고발생건수는  $\mu_i$ 이며, 이는  $E[Y_i]$ 로 표현한다. 이는 최우추정법(Maximum-Likelihood)을 통하여 Eq. (2)로 표현할 수 있으며 사고발생건수를 추정하기 위해 설명변수  $X_i$ 를 보정하는 Parameter로  $\beta_j$ 를 사용한다.

$$\begin{aligned} E[Y_i] &= \exp(\beta_0 X_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m) \\ &= \exp\left(\sum_{j=0}^m \beta_j X_j\right) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $\beta_j$  : 회귀추정계수

만약 사고 데이터의 특성이 포아송 모형의 기본가정인 데이터의 평균과 분산의 일치성을 위반 시 이를 설명할 수 있는 음이항(Negative Binomial) 모형을 사용한다. 하지만 교통사고가 일어날 확률이 존재함에도 불구하고 도로구간의 경우 전체의 도로를 임의의 전제 하에 특정구간으로 나누어 분석하게 되는데 수집된 교통사고 자료에서 특정구간의 사고가 발생하지 않을 수 있다. 사고분포에 0건이 발생하는 빈도가 높을 때에 포아송 모형이나 음이항 모형은 적절하게 사고발생건수를 예측하기 어렵다. 교통사고자료에 0(Zero)에 해당하는 빈도가 지나치게 많을 경우에는 영과잉 포아송 즉, ZIP(Zero-Inflated Poisson)모형을 사용하는 것이 적절하다(Lambert, 1992). 영과잉 포아송은 0을 가지는 값의 그룹과 다른 값을 가지는 그룹이 나누어 분석되어진다. 영(Zero)만을 갖는 값 확률분포와 일반적인 이산확률분포의 Mixture Distribution이라고 할 수 있으며 영과잉 분포의 가장 기본적인 형태라고 할 수 있는 것이 ZIP 모형이다. ZIP모형은 영만을 갖는 값 확률분포와 포아송 분포의 혼합분포 모형으로 여길 수 있으며 그러한 분포는 Eq. (3)과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} P(Y_i = 0) &= \phi_i + (1 - \phi_i)e^{-\mu_i} \\ P(Y_i = y_i) &= (1 - \phi_i) \frac{e^{-\mu_i} \mu_i^{y_i}}{y_i!} \\ y_i &= 0, 1, 2, \dots, 0 \leq \phi \leq 1 \end{aligned} \quad (3)$$

영과잉 포아송의 경우 Mixing Proportion은 모수  $\phi$ 에 의해 결정된다.  $\phi=0$ 이면 일반적인 포아송 분포와 같은 분포가 되고  $\phi$ 값이 커질수록 더 많은 영자료를 포함하게 된다. 따라서 일반적인 포아송이  $\mu$  하나의 모수만을 갖는 것에 비해서 ZIP 분포는  $\phi$ 와  $\mu$ , 두 개의 모수를 갖는다. 따라서 실제 관측된 영자료가 주어진 포아송 분포로부터 예상되는 영자료보다 많을 경우 포아송 모형의 대안으로 ZIP모형을 사용한다.

포아송 모형의 대안으로 사용된 ZAM모형 중 하나인 ZIP모형이 적절한 모형인지 평가하기 위해서 Vuong test를 사용한다. Vuong test는 두 모형의 각 log-likelihood를 통한 값을 정규분포로 가정하여 검증을 통해 어떤 모형을 채택할 것인지 결정하는 test로 이를 수식으로 표현하면 Eq. (4)와 같다.

$$V = \sqrt{n} \bar{m} / s_m \quad (4)$$

여기서,  $m_i = \log [f_h(y_i) / f_p(y_i)]$

본 연구의 경우에는 ZIP모형이  $f_h(y_i)$ 에 해당되며 포아송 모형이  $f_p(y_i)$ 에 해당된다.  $m_i$ 가 0보다 클수록 ZIP모형이 적절하다고 판단하며 0보다 작을수록 포아송 모형이 적절하다고 판단된다. V값을 이용하여 설명할 때에는 V가 1.96 이상이면 ZIP모형을 채택하고 포아송 모형을 기각한다고 판단한다. 반면 V값이 -1.96 이하일 경우에는 ZIP모형을 기각한다.

또한 모형의 설명력을 비교하기 위한 방법으로 AIC(Akaike Information Criterion)를 사용하였다. 적절한 모형을 선택하는 여러 기준 중 가장 많이 쓰이는 기준으로 통계적 모형이 data를 어느 정도 잘 설명하고 있는지에 대한 정도를 나타내는 우도함수의 값과 모형식의 상호관계를 나타내는 정도를 나타내는 값이 결합되어 완성된 기준이다. AIC는 Kullback-Leiber divergence에 의해 정의되며 그 값이 작을수록 모형의 설명력이 높다고 할 수 있다. 식으로 표현하면 Eq. (5)과 같다.

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (5)$$

여기서,  $k$  : 통계모형의 매개변수의 수

$L$  : 로그우도함수

### 3.2. 자료수집

본 연구에서는 지방부 국도의 도로구간을 대상지로 교통량 및 도로시설, 환경을 조사하였다. 조사를 통하여 수집한 자료의 종류는 Table 1과 같다.

Table 1. Types and Definitions of Variables

Variable	Definition
Horizontal Curve	horizontal curve exists=1, not exists=0 size of a curve radius : 1/radius(km)
Vertical Curve	vertical curve exists=1, not exists=0
Change of Slope Angle	change of slope angle exists=1, not exists=0
Uphill	uphill exists=1, not exists=0
Downhill	downhill exists=1, not exists=0
Convex Section	convex section exists=1, not exists=0
Concave Section	concave section exists=1, not exists=0
Length of a Road	the length of a road(m)
Width of a Road	average of total width of a road of a sectional road(m)
Number of Entrances/Exits	the number of entrances and exists within a section
Shoulder	shoulder exists=1, not exists=0
Width of a Shoulder	average width of shoulder within a section(m)
Lighting System	the number of lighting systems
Median Strip	median strip exists=1, not exists=0 form of a median strip width of a median strip(m)
Speed Limit	average speed limit within a section (km/h)
Traffic	average daily traffic (ADT) in a road section
Traffic of Heavy Vehicles	average daily traffic (ADT) of heavy vehicles in a road section
Speed Limit Control Device	speed limit control device exists=1, not exists=0
Flatland	flatland exists=1, not exists=0
Hill Area	hill area exists=1, not exists=0
Mountain Area	mountain area exists=1, not exists=0
Residence	use of land as a residential area nearby exists=1, not exists=0
Shopping District	use of land as a shopping district around exists=1, not exists=0
Farmland	use of land as a farmland around exists=1, not exists=0
Industry	use of land as an industrial area around exists=1, not exists=0
Crosswalk	the number of crosswalks
Bus Stop	the number of bus stops
Visibility Improvement Facility	visibility improvement facility exists=1, not exists=0

## 4. AMF(Accident Modification Factor) 개발

### 4.1. 모형의 개발 및 분석

교차로구간과 다르게 도로구간의 경우 선형태의 연속적인 시설로서 임의의 기준을 가지고 구간을 세분화하는 방법을 선택하여야 한다. 하지만 같은 도로를 선택하여 분석하더라도 구간을 어떻게 세분화, 선정하는지에 따라 그 값이 크게 차이를 보일 수도 있다. 또한 많은 기준을 가지고 구간을 세분화하게 되면 분석이 어려운 거리의 구간이 도출되기 때문에 본 연구에서는 1차로 곡선반경이 변하는 구간을 나누고 2차로 종단경사의 변화를 세분화하였으며 두 과정을 거쳐 세분화된 구간을 마지막으로 차로 폭의 변화를 기준으로 세분화하여 모형 분석에 사용하였다.

$$EXPO \times \exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n) \quad (6)$$

여기서,  $\alpha$  : 상수

$\beta$  : 추정 파라미터

$x$  : 설명변수

EXPO : 사고노출(Exposure)계수

$$(AADT \times Length \times 365 \times 10^{-6})$$

교통량의 많고 적음에 따라 사고를 일으키는 확률이 결정되는데 이를 노출(Exposure)이라 하며, 교통사고를 예측할 때에 교통량은 배제할 수 없는 중요한 변수이다. 또한 유사한 교통조건이나 기하구조 조건을 가진 구간을 선정해야 하는데 교통량을 노출(Exposure)과 관련한 변수를 사용하므로 구간의 유사성을 보장하였으며(FHWA, 2011) Eq. (6)과 같은 형태의 모형을 개발하였다.

본 연구에서는 도로구간의 사고예측모형 개발을 위하여 통계패키지인 LIMDEP 8.0을 이용하여 분석하였으며 종속변수와 선정되는 독립변수의 상관성이 과도하게 떨어질 경우 모형의 설명력에 큰 차이가 발생하게 되는데 이러한 독립성 보장의 문제를 해결하고 모형의 신뢰성을 확보하기 위하여 모형개발의 사전과정으로 각 변수의 상관분석을 실시하였다. 또한 1종 오류와 2종 오류를 고려하여 신뢰수준 90%( $\alpha=0.1$ )에서 모형을 개발하였다. 개발된 모형의 설명변수의 다중공선성 문제를 해결하기 위해 VIF를 이용하여 검토하였다.

각 도로구간의 사고발생 건수를 분석한 결과, 구간의

세분화로 인해서 각 구간의 사고가 0(Zero)인 구간이 대부분인 것으로 분석되었다. 따라서 ZIP모형을 이용해 모형을 개발한 결과, 두 모형 모두 Vuong 값이 1.96이상인 6.057과 5.973으로 나타나 포아송이나 음이항 모형보다 ZIP모형이 적절한 것으로 판단되었다.

Table 2. Accident Prediction Model of Rural Road Segments

variable		model 1	model 2
Horizontal Curve	Coef.		0.561
	t-value		3.223
	p-value		0.001
Radius	Coef.	0.119	
	t-value	3.720	
	p-value	0.000	
Concave Section	Coef.	0.400	0.453
	t-value	2.091	2.033
	p-value	0.037	0.042
Lighting System	Coef.	-0.250	-0.243
	t-value	-3.761	-3.293
	p-value	0.000	0.001
Flatland	Coef.	-0.428	
	t-value	-2.476	
	p-value	0.013	
Mountain Area	Coef.		0.397
	t-value		2.020
	p-value		0.043
Crosswalk	Coef.	57.933	78.210
	t-value	1.973	2.806
	p-value	0.049	0.005
Vuong		5.316	4.464

도로구간의 사고에 영향을 미치는 변수들을 살펴보면, 횡단곡선의 유무, 횡단곡선의 크기(반경), 오목구간의 유무, 조명시설의 개수, 도로지형의 형태(평지의 유무, 산지의 유무), 횡단보도의 개수가 지방부 도로구간에서의 사고에 영향을 미치는 변수인 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 사고모형을 통하여 AMF를 개발하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에 적절한 사고모형의 변수 계수 도출이 중요하다. 도로구간의 모형개발 선행연구들을 보면 Eq. (6)과 같은 형태로 노출변수(EXPO)를 상수로 적용(이하 Method 1)하였는데 본 연구에서는 적절한 변수의 계수를 도출하기 위한 다양한 접근방법 중 하나로 노출변수(EXPO)의 적용을 다르게 하여 기존의 방법과 비교하였다. 다른 방법으로 EXPO ( $AADT \times Length \times 365 \times 10^{-6}$ )의 노출변수 중 교통량변수

(AADT)를 자연로그에 대입하는 방법(이하 Method 2)이며 또 다른 방법은 EXPO 전체를 자연로그에 대입하는 방법(이하 Method 3)이다. 두 방법을 식으로 표현하면 Eq. (7), (8)과 같다.

-Method 2-

$$(365 \times Length \times 10^{-6}) \times \exp(\alpha + AADT + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n) \quad (7)$$

-Method 3-

$$\exp(\alpha + EXPO + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n) \quad (8)$$

여기서,  $\alpha$  : 상수

$\beta$  : 추정 파라미터

$x$  : 설명변수

EXPO : 사고노출(Exposure)계수

$$(AADT \times Length \times 365 \times 10^{-6})$$

모형의 비교 의도가 노출변수의 적용방법에 따라 달라지는  $\beta$  값과 모형의 설명력이 Method 1과 어떻게 다른지 비교하기 위한 것이므로 Method 1과 같은 변수를 선정하기 위해 2~3개의 모형들을 개발하여 비교하였다.

모형의 적절성과 설명력을 판단하는 지표로 Vuong과 AIC(Akaike Information Criteria)를 사용하였

다. Method 1을 포함하여 두 방법을 이용하여 개발한 모형식의 계수와 결과는 Table 3과 같다.

분석결과, Method 1,2,3의 모형 모두 ZIP모형이 적절한 것으로 분석되었으며 그 중에서도 AIC를 기준으로 적절한 모형을 판단해보면, Method 3의 모형들이 다른 방법에 비해 설명력이 좋은 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 Method 3의 방법을 이용하여 AMF들을 선정하였다.

#### 4.2. AMF 선정 및 검증

본 연구에서는 ZAM모형에 의해 개발된 지방부 도로구간의 사고예측모형을 통하여 설계안전성 평가 시 도로구간의 기하구조, 운영 등 각 요소가 사고에 미치는 영향을 반영하는 정도를 의미하는 AMF(Accident Modification Factor)의 개발을 목적으로 하고 있다.

ZIP모형은 모형의 개발과정에서 연구진이 설정한 유의수준에서 유의미하게 판단되어 선정된 변수들을 우선 선정하고 관련된 기존의 문헌이나 타 연구들을 바탕으로 변수가 사고에 미치는 영향에 대해서 옮겨 설명하고 있는지 고찰 후 최종선정하였다. 개발된 모형 하나만으로는 복잡하고 불규칙한 사고를 모두 설명하기 어렵고 사고를 설명하는 AMF를 좀 더 다양하게 산출하기 위해서 다수의 모형을 이용하였다. 물론 가장 설명력이 높은 모형을 통해 정확한 예측값을 제시하는 것이 중요하지만 연구의 시작단계에서나 일반적으로 사고에 미치는

Table 3. Accident Prediction of Local Road Sections

Variable	Application Factors							
	Method 1		Method 2			Method 3		
	model 1	model 2	model 1	model 2	model 3	model 1	model 2	model 3
Horizontal Curve	-	0.561	-	-	0.316	-	-	0.346
Radius	0.119	-	0.039	-	-	-	0.074	-
Concave Section	0.400	0.453	0.333	0.330	0.337	0.279	0.351	0.304
Lighting System	-0.250	-0.243	-0.230	-0.244	-0.246	-0.233	-0.239	-0.234
Flatland	-0.428	-	-	-0.411	-	-0.514	-	-
Mountain Area	-	0.397	0.418	-	0.418	-	0.477	0.458
Crosswalk	57.933	78.210	-	56.146	53.325	67.734	64.600	62.480
ln(L)	-214.085	-218.425	-214.731	-212.934	-211.289	-212.399	-211.103	-211.181
Vuong Statistic	5.316	4.464	5.484	5.078	4.805	5.504	4.833	4.692
d.f	6	6	6	6	7	5	6	6
AIC	440.170	448.85	441.461	437.868	436.578	434.799	434.206	434.361

※ Method 1 :  $EXPO \times \exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n)$

※ Method 2 :  $(365 \times Length \times 10^{-6}) \times \exp(\alpha + AADT + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n)$

※ Method 3 :  $\exp(\alpha + EXPO + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n)$

영향이 무엇이 있는지 폭넓게 알아보기 위해서는 다양한 접근방법을 통한 연구가 이루어져야 한다.

AMF의 산출방법은 Eq. (6)과 같은 형태로 개발된 회귀모형에서 Exposure 변수만을 포함한 기본모형( $P_B$ )을 도출한 다음 산출하고자하는 AMF항목의 변수와 Exposure 변수 이외의 나머지 변수를 제외한 모형( $P_X$ )을 도출한다. 이후 도출된 모형에서 계산된 사고예측빈도의 비( $\frac{P_X}{P_B}$ )를 통해 AMF를 산출한다. 산출과정을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_B = \exp(\alpha' + EXPO) \quad (9)$$

$$P_X = \exp(\alpha'' + EXPO + \beta_n x_n) \quad (10)$$

$$\therefore AMF\left(\frac{P_X}{P_B}\right) = \frac{\exp(\alpha'' + EXPO + \beta_n x_n)}{\exp(\alpha' + EXPO)}$$

$$\text{if } \alpha' = \alpha'' \quad AMF = \beta_n x_n \quad (11)$$

위의 식에서 알 수 있듯이 AMF는 산출하고자 하는 변수 외에 나머지 교통사고에 영향을 미치는 변수를 제거한 후 산출변수가 교통사고에 미치는 영향을 파악한다. 본 연구에서는 모형개발과정에서 가장 설명력이 좋은 Method 3을 이용한 Eq. (10)과 같이 노출변수와 산출변수만을 고려한 모형에서 직접 나타난  $\beta$  값과 Method 3의 모형 1,2,3의 사고예측빈도 비를 통해서 AMF를 산출하는 방법의 비교를 통해서 검증이 더 우수한 AMF를 최종으로 선정하고자 하였다. 또한 최종적으로 선정된 AMF를 검증하기 위하여 모형개발에 사용된 대상지 이외의 30개소를 이용하여 각 변수에 대한 AMF의 설명력을 MPB(Mean Prediction bias)와 MAD(Mean Absolute Deviation)를 기준으로 확인하였다.

#### 4.2.1. 횡단곡선 및 반경

절토, 건물 등의 장애물을 제거할 수 없을 경우 시계를 확보하기 위하여 직선과 곡선을 이용해 선형을 변형시키고 도로 단면의 조정을 통하여 적절한 시거를 확보한다. 이때 직선구간에서 곡선구간으로 진행되는 구간에 횡단곡선을 설치하는데 일반적인 여건 하에서 예상되는 속도로 계속적으로 일관성을 가지게 운행이 가능하게끔 균형을 이루는 것이 중요하다. 높은 속도로 달리던 차량이 급커브구간을 만나면 합리적인 변화에 대응

하는 반면 갑작스런 변화에는 대응하지 못하여 사고로 이어지게 된다. 본 연구에서는 각 AMF를 분석한 결과 Method 3의 식에서 노출변수와 산출변수만을 고려한 모형에서 직접 나타난 값을 사용했을 때 가장 설명력이 높게 나타났다. 최종적으로 선정된 AMF는 횡단곡선이 존재할 때 약 34%정도 사고가 증가함을 나타내고 있다. 하지만 횡단곡선 없이 주변지형의 특성상 직선만으로는 도로를 설계할 수 없으므로 추가적으로 횡단곡선의 반경에 따라 사고에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 그 결과 Table 4에서 알 수 있듯이 Method 3의 식에서 노출변수와 산출변수만을 고려한 모형에서 직접 나타난  $\beta$  값을 사용했을 때 가장 설명력이 높게 나타났으며 반경이 121m일 때로 가장 작을 때 시야확보의 어려움 등으로 47.4%정도 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 이 결과는 오홍운(2009)이 설계요소의 크기와 교통사고율의 관계를 통해 사고가 많은 지점에서는 큰 곡선반경, 큰 곡선길이, 낮은 속도로 관리해야 유리하다는 설명과 일치한다.

$$AMF_{Hc} = 1.34 \cdot Hc$$

여기서,  $Hc$  = 횡단곡선의 유무(유=1, 무=0)

Table 4. Horiznotal Curve AMF Selection

	Method 3				
	model 1	model 2	model 3	$\beta$	Avg.
coef.	-0.514	-	-	-0.293	-
MPB	-0.25	-	-	-0.31	-
MAD	1.13	-	-	1.18	-

$$AMF_{C_{wt}} = e^{0.047 \cdot C_{wt}} \quad (C_{wt} \leq 8.26)$$

$$= 1.474 \quad (C_{wt} > 8.26)$$

여기서,  $C_{wt}$  = 1/곡선반경(km)

Table 5. Radius AMF Selection

	Method 3				
	model 1	model 2	model 3	$\beta$	Avg.
coef.	-	0.074	-	0.047	-
MPB	-	-0.63	-	-0.55	-
MAD	-	1.40	-	1.34	-

#### 4.2.2. 오목구간(종단곡선)

본 연구에서 선정된 종단곡선은 경사가 내리막에서 오르막으로 바뀌는 오목구간(구배(-)→(+))을 말한다. 노출변수와 오목구간만을 고려한 경우 오목구간의 P-

value값이 무의미하게 나타나기 때문에 제외하고 모형 1,2,3 그리고 세 모형의 평균을 비교한 결과 모형 1의 사고예측빈도 비를 통한 AMF가 MPB가 -0.476, MAD는 1.291로 가장 적절한 것으로 판단되었다. 오목 구간이 사고를 약 32% 증가시키는 것으로 분석된 것이다. 오목중단곡선의 길이를 결정하는데 고려할 사항으로 전조등 시거, 승차감, 배수 등을 선정하는데 특히 전조등 시거가 중요하다(교통공학원론, 2009). 차량이 밤에 오목곡선을 운행할 때 운전자가 볼 수 있는 범위는 전조등이 밝히는 범위에 국한되기 때문이다. 이는 역시 시거와 관련된 설명임을 알 수 있다. 적절한 오목 곡선의 길이로 설계가 되지 않을 때는 특히 사고에 영향을 미칠 수 밖에 없는 것이다. 박민수(2012)의 평면 곡선과 중단곡선 구간에 대한 교통사고 특성을 분석한 연구에서 중단곡선이 있는 경우 사고율이 높으며 볼록 곡선보다 오목곡선의 경우가 사고율이 높은 것으로 분석한 결과와도 일치한다. 중단곡선에 대한 적절한 곡선 부 인지반경을 산정하여 이에 대한 사고를 줄일 필요성이 있다.

$$AMF_{V_c} = 1.322 \cdot V_c$$

여기서,  $V_c$  = 오목구간의 유무(유=1, 무=0)

Table 6. Concave Section AMF Selection

	Method 3				
	model 1	model 2	model 3	$\beta$	Avg.
coef.	0.279	0.351	0.304	-	0.311
MPB	-0.476	-0.490	-0.481	-	-0.482
MAD	1.291	1.300	1.294	-	1.295

#### 4.2.3. 조명시설

조명시설에 관한 AMF의 분석결과를 살펴보면 값의 큰 차이는 없었지만 모형 3 사고예측빈도의 비를 통해 AMF를 개발한 값이 가장 적절한 것으로 나타났다. 구간의 최대거리는 850m로 16개의 조명이 있을 때 조명이 없을 때보다 약 98%를 감소시킨 것을 확인하였다. 다시말해 구간당 조명의 거리가 약 50m를 넘지 않은 것이 적당하다고 분석되었다. 조명시설은 교차로 등 교통사고의 다양한 연구에서 사고에 영향을 주는 요인으로 나타나고 있다. 야간운전에서 차량의 전조등 외에 가시거리를 확보해주는 시설이며 돌발상황이나 사고에 대처하는데 큰 도움이 되는 시설로 지방부 국도의 경우 도시부에 비해 경관조명, 간판조명 등 야간조명이 적기 때문

에 가시거리 확보를 위한 충분한 조명시설의 공급이 필요하다고 분석하였다.

$$AMF_{L_i} = e^{-0.239 \cdot L_i} \quad (L_i \leq 16 \text{개/구간})$$

$$= 0.02 \quad (L_i > 16 \text{개/구간})$$

여기서,  $L_i$  = 조명시설 개수

Table 7. Lighting System AMF Selection

	Method 3				
	model 1	model 2	model 3	$\beta$	Avg.
coef.	-0.233	-0.239	-0.234	-	-0.235
MPB	-0.287	-0.285	-0.286	-	-0.286
MAD	1.189	1.189	1.190	-	1.190

#### 4.2.4. 횡단보도

횡단보도는 노출변수와 산출변수만을 고려한 모형에서 직접 나타난 값을 사용했을 때 가장 설명력이 높게 나타났다. 횡단보도가 존재하지 않을 때보다 최대 약 49% 정도 사고를 증가시키는 것으로 분석되었다. 횡단보도는 보행자의 횡단을 위한 시설로 차량의 통행만 있는 구간일 경우에는 횡단보도가 없게 된다. 즉 횡단보도의 존재는 도로변의 활성화나 도로구간 부근에 하나의 거점이 형성되어 보행자의 통행이 필요하게 된 도시적 토지이용이 많은 공간이라고 할 수 있다. 횡단보도는 사람과 보행자의 또다른 노출변수라고 할 수 있으며 노출이 많을수록 사고의 영향은 커질 수 밖에 없다. 자료를 수집한 도로구간의 단위거리 당 횡단보도 개수는 0.01개/m로 나타났다. 이는 1km구간에 10개의 횡단보도가 존재하는 것으로 100m마다 횡단보도가 존재한다는 것이다. 보행자의 편리한 횡단을 위해서는 횡단보도가 많을수록 좋지만 육교나 그에 준하는 안전대책을 통해서 차량과 보행자를 입체적, 첨단적으로 나눌 수 있는 방안이 필요하다.

$$AMF_{C_w} = e^{40.017 \cdot C_w} \quad (C_w \leq 0.01 \text{crosswalk/m})$$

$$= 1.492 \quad (C_w > 0.01 \text{crosswalk/m})$$

여기서,  $C_w$  = 단위거리 당 횡단보도 개수

Table 8. Crosswalk AMF Selection

	Method 3				
	model 1	model 2	model 3	$\beta$	Avg.
coef.	67.734	64.600	62.480	40.017	64.938
MPB	-0.469	-0.467	-0.465	-0.451	-0.467
MAD	1.266	1.266	1.266	1.264	1.266

#### 4.2.5. 주변지형

도로 주변지형의 형태를 통해 AMF를 도출한 결과 평지는 모형 1의 사고예측빈도 비를 산출한 AMF가 더 좋은 설명을 나타낸 것으로 나타났다. 다른 지형일 때보다 평지지형일 때 사고를 약 40% 감소시키는 것으로 나타났고 산지는 노출변수와 산출변수만을 고려한 모형에서 직접 나타난 값을 사용했을 때 가장 설명력이 높게 나타났으며 산지지형일 때 사고가 31.4% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 평지에서는 다른 차량들과 비슷한 속도로 이동하며 넓은 시야확보를 통한 운전자의 안전한 주행을 도모할 수 있는 평지구간에 반해 오르막구간에서는 차종에 따른 구동력, 적재되어 있는 양에 의해 대형 차량들은 등반능력이나 정지능력에 영향을 미쳐 안전한 주행이 어렵게 된다. 또한 지형의 형태에 따라 도로 환경적 영향을 크게 받게 되는데 운전자는 주행 시 운전관련 정보 90% 정도를 시각적으로 받아들이게 되는데 산지나 구릉지의 경우 산비탈이나 절토면 등에 의해 시야 확보가 평지보다 불리하다(이승용, 2007). 때문에 평지에 비해 다른 지형에서의 사고발생확률이 높을 수 밖에 없다. 특히 우리나라와 같은 경우 지형조건이 평지보다 구릉지나 산지가 많기 때문에 그 영향은 크다고 할 수 있다.

$$AMF_{f1} = 0.598 \cdot f1$$

$$AMF_m = 1.314 \cdot m$$

여기서,  $f1$ =평지

(평지=1, 그외 지형= 0)

여기서,  $m$ =산지

(산지=1, 그외 지형= 0)

Table 9. Flatland AMF Selection

	Method 3				
	model 1	model 2	model 3	$\beta$	Avg.
coef.	-0.514	-	-	-0.293	-
MPB	-0.25	-	-	-0.31	-
MAD	1.13	-	-	1.18	-

Table 10. Mountain Area AMF Selection

	Method 3				
	model 1	model 2	model 3	$\beta$	Avg.
coef.	-	0.477	0.458	0.273	0.468
MPB	-	-0.50	-0.49	-0.47	-0.50
MAD	-	1.295	1.293	1.278	1.294

#### 4.2.6. 기타 고려 AMF항목

본 연구의 최종모형에서 제시하지는 않았지만 사고모형의 개발과정에서 농지토지이용이 사고를 증가시키는 요인이 포함된 사고모형도 확인할 수 있었다. 이는 대상구간이 지방부를 중심으로 한 자료를 바탕으로 한 것을 감안한다면 농촌에서 농기계와의 교통사고를 생각해 볼 수 있다. 기존의 농촌지역에서의 교통사고를 살펴보면, 농촌노인 4명 중 1명이 교통사고 경험이 있었으며 이중 2명 중 1명은 중상사고였다는 점에서 농지토지이용과 교통사고와 무관하다 할 수 없다.

또한 기존의 연구결과들을 살펴보면 진출입구, 차로수, 속도, 중앙분리대는 도로구간에서 사고에 중요한 영향력을 보일 것으로 판단되었으나, 수집된 자료를 살펴본 결과 이들 변수의 분산, 즉 변동폭이 높지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이는 결과적으로 사고발생에 대한 이들 변수의 영향력분석이 본 연구의 자료들로는 확인이 불가능하다는 것으로 의미한다. 따라서 이들 변수들의 설명력을 분석하기 위해서는 자료수집과정에서 변동폭을 확보할 수 있는 보완이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4.2.7. AMF 검증

선정된 AMF는 모형개발에 사용한 대상지 뿐만이 아니라 지방부 다른 국도에 적용하더라도 물론 예측에 대한 오차는 있겠지만 큰 차이를 보인다면 AMF의 개발 효과는 감소할 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 모형 개발 외 30개소의 데이터를 더 수집하여 검증사이트

Table 11. AMF Verification

	AMF	MPB	MAD
Horizontal Curve	1.34	-0.726	1.213
Radius	$e^{0.047 \cdot Cwl}$ ( $Cwl \leq 8.26$ ) 1.474	-0.645	1.151
	( $Cwl > 8.26$ )		
Concave Section	1.322	-0.663	1.154
Lighting System	$e^{-0.239 \cdot Li}$ ( $Li \leq 16/\text{segment}$ ) 0.02	-0.341	1.042
	( $Li > 16/\text{segment}$ )		
Flatland	0.598	-0.245	0.859
Mountain Area	1.314	-0.598	1.089
Crosswalk	$e^{40.017 \cdot Cw}$ ( $Cw \leq 0.01 Cw/m$ ) 1.492	-0.612	1.131
	( $Cw > 0.01 Cw/m$ )		

로 사용하였다. 앞서 방법으로 개발된 최종 AMF를 적용하여 각 변수별 MPB와 MAD가 적절한지 분석해 보았다. 그 결과 MPB는  $-0.726 \sim -0.245$ 로 나타났고, MAD는  $0.859 \sim 1.213$ 로 큰 오차없이 적절하게 나타났다. 30개소를 이용한 각 변수별 AMF에 대한 검증결과는 Table 11과 같다.

## 5. 결론

도로는 여전히 여객과 화물수송에 많은 부분을 차지하고 있다. 이러한 도로 및 교통시설을 분석하기 위해서는 도로요인, 인적요인, 주변환경적 요인, 차량요인으로 크게 나눌 수 있는데 도로 및 교통관리자, 계획가의 시각에서 도로요인과 주변 환경적 요인에 초점을 두고 교통사고자료를 이용해 사고에 미치는 영향을 알아보았다. 또한 도시적 형태와 관련이 깊은 주변 토지이용과 주변지형을 변수로 사용하여 모형을 개발하였다.

본 연구에서는 지방부 국도의 다차로 도로구간 사고 예측모형을 개발하여 개발된 모형을 통해 교통사고에 미치는 영향을 정량적으로 표현하여 도로의 안전성을 평가하는 예방적 차원의 AMF(Accident Modification Factor)를 개발하였다. 총 284개로 세분화한 도로구간을 이용하여 모형개발이 이루어졌으며 Poisson이나 NB보다는 전체의 도로를 임의의 전제하에 특정 구간으로 나누어 분석하는 도로구간의 특성상 사고분포에 0(Zero)건이 발생하는 빈도가 높을 때 적절한 모형인 ZAM모형 중 하나인 ZIP(Zero Inflated Poisson)모형을 개발하였다. 분석결과, 횡단곡선 및 반경, 오목구간의 유무, 조명시설의 개수, 평지 및 산지의 유무, 횡단보도의 개수가 도로구간 사고에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

하지만 이러한 변수들의 계수는 노출변수(EXPO)의 형태에 따라 달라질 수 있기 때문에 노출변수를 상수로 적용한 모형을 Method 1로, EXPO 중 AADT 변수를 자연로그에 포함한 모형을 Method 2, EXPO 전체를 상수가 아닌 자연로그에 포함한 모형을 Method 3으로 설정하여 비교를 통해 적절한 모형을 분석해 보았다. 분석한 결과, Vuong 값을 통해 모두 ZIP모형이 적절하게 나타났으며 AIC를 기준으로 EXPO를 자연로그에 포함하여 개발한 Method 3이 설명력이 가장 높은 것으로 나타났다.

AMF개발을 위해서 설명력이 가장 높은 Method 3의 모형식 방법으로 노출변수와 산출변수만을 고려한 모형

에서 직접 나타난 값과 Method 3의 모형 1,2,3의 사고 예측빈도 비를 통해서 AMF를 산출하는 방법의 비교를 통해서 더 우수한 AMF를 선정하였다. 최종적으로 횡단곡선 및 반경, 오목구간(종단곡선), 조명시설, 평지, 산지, 횡단보도에 관한 AMF를 산출하였다. 최종 선정된 AMF는 검증을 위해 수집한 30개소 검증사이트를 이용하여 검증한 결과 개발된 AMF는 적절한 것으로 분석되었다.

향후 연구과제로는 분석대상의 다양성을 모색할 필요가 있다. 본 연구에서는 지방부 도로 중 전북권만을 대상으로 하였는데, 전북권 이외에 강원권 등의 다른 지방부 도로에서도 분석을 실시할 필요가 있다. 또한 분석에 필요한 설명변수의 다양성을 고려해 볼 수 있다. 특히, 차로수, 차로폭, 제한속도 등은 사고를 설명할 수 있는 주요변수임에도 이들 변수의 변동폭이 높지 않은 관계로 인해 본 연구를 통해 개발된 사고모형에서는 신뢰성을 확보하지 못했는데 이에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

## Acknowledgment

This work was supported by National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government Ministry of Education, Science and Technology (NRF-2012R1A1A4A01010102).

## References

- Kim, H., Heo, T.(2012), "A Development of Traffic Accident Model Using Generalized Poisson Regression Model", *Journal of Korea Planners Association*, Korea Planners Association, Vol. 47, No. 1, pp.129-138.
- Kim, E., Choe, E., Lee, D., Kim, D.(2010), "Development and validation of Accident Modification Factors of Two-Lane Rural Roadways", *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 28, No. 3, pp.131-143
- Park, M., Chang, M.(2012), "Analysis of Traffic Accident Characteristics for the Overlap Section of Horizontal and Vertical Alignment", *Journal the of Korean Society of Road Engineers*, Korean Society of Road Engineers, Vol. 14, No. 1, pp.95-102.
- Lee, D., Kim, D., Seong, N.(2009), "Development of a Accident Frequency Prediction Model at Rural Multi-Lane Highways", *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 27, No. 4, pp.207-215.
- Lee, S., Choe, J., Kim, S., Han, H.(2007), "Determination of Reasonable Curve Radius on Highway Alignment Design", *Proceedings of the KOR-KST Conference of 56th*, Korean Society of Transportation.
- Oh, H.(2009), "Correlation between Design Consistency and

- Accident Rates based on Standard Deviations of Highway Design Elements”, *Journal the of Korean Society of Road Engineers*, Korean Society of Road Engineers, Vol. 11, No. 2, pp.159-166.
- Kim, E., Lee, D., Choe, E., Kim, D.(2009), “Development of Accident Modification Factors for Road Design Safety Evaluation Algorithm of Rural Intersections”, *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 27, No. 3, pp.91-102
- Oh, J., Kweon, I., Hwang, J.(2013), “A Causation Study for car crashes at Rural 4-legged Signalized Intersections Using Nonlinear Regression and Structural Equation Methods”, *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 31, No. 1, pp.65-76
- Vogt, A., Bared, J.(1998), “Accident Models for Two-Lane Rural Segments and Intersections”, *TRB*, No. 1635 pp.18-29.
- Hauer, E., Council, F. M., Mohammedshah, Y.(2004) “Safety Models for Urban Four-Lane Undivided Road Segments”, *TRB*, No. 1897 pp.96-105.
- Caliendo, C., Guida, M., Parisi, A.(2007), “A crash-prediction model for multi lane roads”, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 39, No. 4, pp.657-670.
- Harwood.(2000), “*Prediction of the expected safety performance of rural two- way lane highway*”, Federal Highway Administration, FHWA-RD-99-207
- J. Bonneson, K. Zimmerman.(2006), “*Procedure for using accident modification factors in the highway design process*”, Texas Transportation Institute, FHWA/TX-07/0-4703-P5

(Received : July 23 2013, Revised : Aug. 2 2013, Accepted : Sep. 30 2013)