Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Vol. 35, No. 2: 397-405/ April, 2015
DOI: http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.2.0397

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Transportation Engineering **교통공학**

고속도로 선형 동질구간 기반의 안전성능함수 개발

서임기* · 강동윤** · 박제진*** · 박신형****
Seo, Im-ki*, Kang, Dong-Yoon**, Park, Je-Jin***, Park, Shin Hyoung****

Development of Safety Performance Function Based on Expressway Alignment Homogeneous Section

ABSTRACT

In the past, expressways focused on mobility. However, the paradigm of expressways fuction today has been changed from fast expressways to safe expressways as people's quality of living and consciousness level heightened. In 2012, 3,550 traffic accidents occurred on expressways and 371 people died. The fatality rate of traffic accidents on expressways is almost twice that on general national roads. This study developed accident forecast models (safety performance functions) based on the number of traffic accidents and traffic volumes on six major lines on expressways. It is difficult to forecast safety performance functions for each expressway line because the lines and the scales of expressways are different from each other; therefore, integrated safety performance functions of six lines were determined first, and the coefficients, which can correct the traffic accidents on each line, were calculated. It is believed that this study will contribute in the safer management of expressways by being used as basic information in the establishment of traffic safety strategies for each expressway line in prevention of traffic accidents. Moreover, more studies would be required in the future, which would suggest reliable accident forecasts by calculating correction coefficients by line through integrated models by groups dependent on the characteristics of each line.

Key words : Traffic safety, Accident, Safety performance function, Negative binomial regression model, Adjustment factor

초 록

과거 고속도로는 이동성 중심의 기능을 주로 담당하였으나, 삶의 질 향상과 의식 수준의 향상에 따라 '빠른 고속도로'에서 '안전한 고속도로'로 고속도로 기능의 패러다임이 변화하고 있다. 고속도로 교통사고는 2012년 기준 3,550건이 발생하였으며, 371명이 교통사고로 사망한 것으로 집계되었고, 치사율은 일반국도의 약 2배에 달하는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 고속도로 주요 6개 노선을 대상으로 교통사고건수와 교통량 기반의 사고예측모형(안전성능함수)을 개발하였다. 안전성능함수는 각 노선별로 도로의 선형 및 규모 등이 달라 정확하게 각 노선을 예측하는데 어려움이 있을 것으로 판단되어, 6개 노선의 통합 안전성능함수를 구축하고, 각 노선별로 교통사고를 보정할 수 있는 계수를 산출하였다. 본 연구의 결과는 향후 교통사고 예방을 위한 노선별 교통안전 전략수립의 기초자료로 활용함으로써 보다 안전한 고속도로 관리에 기여할 것으로 판단된다. 향후에는 각 노선별 특성에 따른 그룹별 통합모형을 통한 노선별 보정계수를 산출하여 신뢰성 있는 사고 예측값을 제시하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

검색어 : 교통안전, 교통사고, 안전성능함수, 음이항 회귀모형, 보정계수

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 박사후연구원, 공학박사 (Korea Expressway Corporation · seoimki79@ex.co.kr)
** 한국지능형교통체계협회 기술연구센터 컨설팅팀 선임연구원, 공학석사 (Intelligent Transport Society of Korea · dy471554@itskorea.kr)
*** 정회원 · 교신저자 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, 공학박사
(**Corresponding Author** · Korea Expressway Corporation · jjpark@ex.co.kr)
**** 정회원 · 계명대학교 교통공학과 조교수, 공학박사 (University of Keimyung · shpark@kmu.ac.kr)

Received June 24, 2014/ **revised** July 28, 2014/ **accepted** February 17, 2015

Copyright ⓒ 2015 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

고속도로는 사람과 물자를 신속하게 수송하기 위한 고속화된 도로로 하루 평균 약 400만 대의 교통량을 수용하는 등 국가 물류수송의 중추적인 역할을 담당하고 있다. 과거 고속도로는 이동성 중심의 고속도로를 지향하면서 산업·경제 발전에 이바지하였지만, 국민들의 삶의 질적 성장과 의식 수준의 향상으로 '빠른 고속도로'에서 '안전한 고속도로'로의 패러다임 변화를 가져왔다. 2010년 OECD 통계자료를 살펴보면, 우리나라 교통사고 발생건수는 인구 10만 명 당 464.2건으로 회원국 평균 330.4건보다 약 1.4배 높은 수준이다. 또한, 교통사고 사망자는 11.3명으로 OECD 회원국 평균 7.0명 보다 약 1.6배 높은 것으로 나타났다.

고속도로는 설계속도가 높은 연속류 기반의 도로로 국도 및 지방도에 비해 사고발생시 인명피해가 크기 때문에 교통사고 예방을 위한 각고의 노력이 필요하다. 통계에 따르면 고속도로 교통사고 발생건수는 2012년 기준 3,550건이 발생하였으며, 371명이 교통사고로 사망한 것으로 집계되었다. 도로유형별 사고건수를 고려한 치사율은 일반국도의 약 2배에 달하는 것으로 보고되고 있다.

따라서 고속도로의 교통안전성 향상을 위해 교통안전시설물의 설치, 도로안전진단의 수행, 교통사고잦은곳 선정 및 개선사업 등의 안전개선 조치를 수행하고 있다. 교통안전에 대한 국민적 관심의 증대와 교통사고비용 저감을 통한 사회적 비용 감소를 위해서는 이러한 교통사고 예방 및 사후 개선을 위한 노력이 절실히 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 고속도로 6개 노선(경부, 호남, 영동, 서해안, 중부내륙, 중앙고속도로)을 대상으로 교통사고의 특성을 분석하고, 교통사고건수와 교통량을 기반으로 사고예측모형(안전성능함수)을 개발하고자 한다. 하지만, 안전성능함수는 각 노선별로 도로의 선형 및 규모 등이 달라 정확하게 사고를 예측하는데 어려움이 있을 것으로 판단되어 6개 노선을 통합한 안전성능함수를 구축하고, 각 노선별로 교통사고를 보정할 수 있는 계수를 산출하고자 한다. 따라서 본 연구는 안전성능함수 개발을 통해 향후 교통사고 예방을 위한 노선별 교통안전 전략 수립 시 기초자료로 활용함으로써 보다 안전한 고속도로 관리에 기여하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

고속도로 안전성능함수는 모든 노선의 교통사고 예측이 가능해야 하며, 각 노선을 대표할 수 있는 설명변수 선정을 통해 개발되어야 한다. 안전성능함수 구축 시 설명변수로는 다양한 영향인자가 있지만, 본 연구에서는 6개 노선을 기반으로 하는 공통변인인 구간길이와 연평균일교통량(AADT)을 주요인자로 선정하여 모형을 구축하였다. 고속도로의 경우, IC 및 JCT를 제외한 구간에서는 차량 유출입이 완전 통제되는 특성을 지니고 있다. 따라서 IC와 IC, 또는 IC와 JCT 사이 구간에서는 교통량의 변화가 없고, 구간의 길이만 달라지는 특성을 지니고 있다. 이에 본 연구에서는 고속도로의 기하구조 설계요소를 반영한 동질구간과 IC 및 JCT 기준으로 나눈 구간을 기반으로 하는 구간길이의 분포 적합성을 검증하여 구간길이 및 모형 분포를 결정하였다. 안전성능함수 구축에 필요한 교통량 정보는 교통사고분석시스템(TAAS, Traffic Accident Analysis System)의 자료를 활용하였다.

본 연구를 수행하기 위한 연구절차는 Fig. 1과 같다.

첫째, 고속도로의 안전성능함수를 구축하기 위한 자료는 2007~010년까지 4년간의 교통량, IC 및 JCT 구간길이, 교통사고자료(A~C등급)를 수집하였다.

둘째, 수집된 자료를 기반으로 고속도로 교통사고를 예측하는데 적합한 모형의 형태를 결정하고, 통합 안전성능함수를 구축하였다.

셋째, 고속도로 교통사고는 매년 교통량이 증가함에도 오히려 감소하는 패턴을 보이고 있어, 통합 사고예측모형과 각 노선별 사고예측모형을 이용하여 시계열적 추세를 반영한 연도별 보정계수를 산출하였다. 이러한 방식으로 고속도로의 교통사고를 예측함으로써 사고잦은곳 선정을 통한 개선방안 수립과 교통안전시설물의 효과평가 시 신뢰성 있는 평가결과를 제시하는데 활용이 가능할 것으로 판단된다.

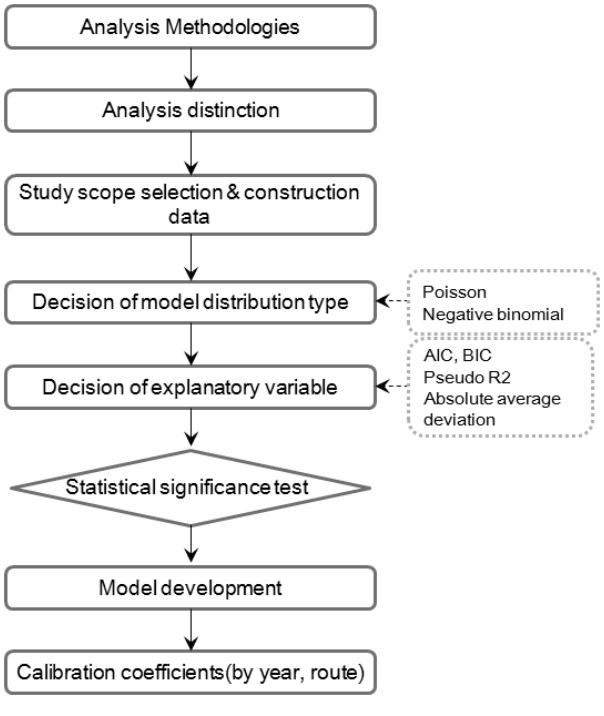


Fig. 1. Flow Chart

2. 기존 연구문헌 고찰 및 기본 이론

2.1 기존 연구문헌 고찰

교통사고예측을 위한 연구들은 다양하게 이루어졌으며, 국내외 연구들을 검토한 내용을 정리하면 다음과 같다.

2.1.1 국내연구

Kim et al. (2011)은 사고자료와 기하구조 자료를 바탕으로 구간분할을 하면 "0"값이 많은 것을 해결하기 위해 ZAM모형(zero-altered model)을 사용하였다. 위험에 대한 노출을 고려하여 사고심각도를 설명할 수 있는 대물피해환산계수(EPDO)를 함께 종속변수로 활용한 것이 특징이다.

Lee (1999)는 음이항 회귀모형을 이용하여 고속도로의 고속버스 사고모형을 개발한 결과, 운전경력, 평면곡선반경, 종단경사를 교통사고에 미치는 영향요인으로 제시하였다.

Kang and Lee (2002)는 호남고속도로의 직선부, 곡선부, 완화곡선부로 1차 구분한 후에 길이, 곡선반경, 종단경사, 편경사 등 기하구조 요소를 입력하여 자료 구축을 통한 교통사고 위험도 평가모형을 구축하였다.

2.1.2 국외연구

Lu et al. (2012)은 GIS기법과 공간처리기법을 이용하여 플로리다 도심부 고속도로를 기본구간과 IC 영향권 구간으로 분류하였다. 전체 교통사고를 고려한 모형과 인명피해 사고만 고려한 교통사고 예측모형을 각각 구축하였는데, 인명피해를 동반한 교통사고 예측모형이 설명력이 높은 결과를 얻었다.

Tu et al. (2012)은 중국 상해의 도심부 고속도로를 대상으로 분합류 구간의 형태별 교통량, 구간길이, 통행속도, 중차량비율, 차로수를 설명변수로 한 교통사고 예측모형을 구축하였다. 그 결과, 교통량과 통행속도는 교통사고에 영향을 미치지 않은 것으로 분석되었다.

Mehta and Lu (2013)은 앨라배마州의 지방부 2차로 도로와 4차로 도로에 대해서 지역적 특성을 고려하여 교통사고 예측모형을 구축한 결과, 2차로에서는 AADT 및 구간길이가 모형의 설명력이 있는 것으로 분석되었지만, 4차로에서는 구간길이만 설명력이 있는 것으로 보고하였다.

Cafiso et al. (2013)은 이탈리아 지방부 고속도로를 대상으로 교통사고 예측함수를 구축하는데 있어 구간분할 방법론에 따른 문제점을 제시하였다. 도로의 기하구조 설계요소인 곡선변화율, 경사변화율을 고려한 동질구간으로 분할 시 구간길이가 짧아짐으로 사고위치를 명확하게 확인하는데 어려움이 있고, 교통사고가 발생되지 않은 Zero Accident로 모형의 설명력이 낮은 것으로 나타났다.

Xie et al. (2011)은 오레곤州의 지방부 도로를 대상으로 지역적 특성과 시간적 추세를 반영한 교통사고 예측값의 보정계수를 도로유형 및 사고 유형별로 제시하였다.

Filip Martinelli (2009)은 이탈리아 지방부 2차로를 대상으로 구축한 교통사고 예측모형의 전이성에 대한 합리적인 보정계수를 제시하였다. 교통사고 예측모형의 전이성을 고정된 보정계수로 적용하는 것은 합리적이지 않으며, 보정함수의 형태로 제시되는 것이 효과적이라고 제시하였다.

2.1.3 시사점

선행 연구에서는 교통사고 자료의 분산이 평균보다 크다는 가정하에 국내외에서 음이항 분포모형을 주로 활용하고 있는 것으로 나타났다. 국내외에서는 대부분 지방부 도로를 대상으로 안전성능함수를 개발하여 교통사고에 영향을 미치는 요인을 규명하는 연구들이 주로 이루어졌다. 우리나라의 고속도로는 매년 교통량이 증가하는 반면, 교통사고는 감소하는 패턴을 보이고 있지만, 통합노선의 안전성능함수는 개별노선의 사고 예측 시 신뢰성이 저하되는 문제가 발생된다. 따라서, 본 연구에서는 고속도로 6개 노선을 대상으로 통합된 안전성능함수를 구축하고, 각 노선별 보정계수를 산정하여 교통사고 예측값을 향상시키고자 하였다. 또한, 매년 각 노선의 안전성능함수를 개별적으로 구축해야 하는 불편함을 해소시킬 수 있는 효율적인 방안을 제시하여 기존 연구와 차별되도록 하였다.

2.2 안전성능함수 개요

안전성능함수(SPF, Safety Performance Function)는 교통량, 기하설계요소와 같은 설명변수를 사용하여 사고건수를 예측하는 수학적 모형으로 교통사고 예측모형이라고도 한다. 안전성능함수는 일반적으로 일정기간 동안 발생한 교통사고 자료를 이용하여 현재 도로에서의 잠재적 안전성이나 개선사업이 수행되기 전, 안전효과를 예측하는 모형으로 사고수정계수와 함께 사용된다(AASHTO, 2010).

안전성능함수는 설명변수에 따라 단순 안전성능함수(Simple SPF)와 복합적 안전성능함수(Inclusive SPF)로 구분된다. Simple SPF는 모형의 설명변수로 AADT 또는 구간길이를 적용하지만, Inclusive SPF의 경우에는 AADT와 구간길이 외 기하구조 정보, 도로운영 정보, 교통량 정보 등의 다양한 변수들이 적용된다. 미국의 HSM에서는 설명변수로 교통량만을 고려한 Simple SPF를 사용하고 있으며, 다양한 연구들에서 Simple SPF와 Inclusive SPF가 사용되고 있다.

2.2.1 Simple SPF

Simple SPF는 설명변수로 교통량만을 적용하고, 그 값을 대표할 수 있는 값으로 일평균교통량(ADT)이 적용되며, Eq. (1)과 같이

나타낼 수 있다.

$$N_{SPF} = e^{\alpha} \times ADT^{\beta} \quad (1)$$

여기서, N_{SPF} : 예측사고건수 또는 예측사고율(건/마일/년)
ADT : 해당 구간의 일평균 교통량(대/일)
α, β : 회귀 계수

Simple SPF의 경우에는 교통량만 설명변수로 고려하기 때문에 나머지 설명인자들에 대한 효과는 사고수정계수(CMF, Crash Modification Factor)의 형태로 반영한다. Simple SPF에 사고수정계수가 함께 고려되어 최종적인 사고예측건수를 예측하는 방법은 Eq. (2)와 같다.

$$N_{predicted} = N_{spf_x} \times (CMF_{1x} \times CMF_{2x} \times \cdots \times CMF_{yx}) \times C_x \quad (2)$$

여기서, $N_{predicted}$: 지점 유형(x)에서 특정 연도에 대해 예측된 평균 사고건수
N_{spf_x} : 지점 형태(x)에 대해 개발된 SPF의 기본조건에 대해 결정된 예측 평균 사고건수
CMF_{yx}: 지역 형태(x)에 대한 사고수정계수
C_x : 지역 형태(x)에 대해 지역 조건들을 조정하는 보정계수

Simple SPF의 경우 사고예측건수를 추정하는데 있어 사고수정계수와의 분리된 형태를 가짐으로써 기본조건에 따른 일반적인 사고의 경향을 모사할 수 있다. 또한, 시·공간적 전이성이 확보되는 사고수정계수를 통해 다양한 개선사업의 효과를 정량적으로 표현할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이러한 사고건수 예측체계는 기하구조, 교통안전시설물 등에 대한 효과를 개별적으로 측정하여야 하고 시행가능한 모든 개선사업의 사고수정계수를 추정해야 하는 분석의 복잡성을 유발할 수 있다는 단점이 있다.

2.2.2 Inclusive SPF

Inclusive SPF의 경우 노출변수만을 설명변수로 취하는 Simple SPF의 확장 개념으로 도로의 기하구조 정보, 교통안전시설물 설치 정보, 도로운영 정보, 교통량 정보 등이 하나의 모형 식으로 표현되며, Eq. (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{SPF} = e^{\alpha} \times ADT^{\beta} \times V_1^{\beta 1} \times V_2^{\beta 2} \times V_3^{\beta 3} \cdots\cdots \times V_n^{\beta n} \quad (3)$$

여기서, N_{SPF} : 예측사고건수 또는 예측사고율(건/마일/년)
$AADT$: 해당 구간의 일평균 교통량(대/일)
α, β_n : 회귀 계수
V_1, V_n : 독립변수

Inclusive SPF의 경우 노출변수와 다양한 설명변수들이 사고에 미치는 영향이 회귀계수의 형태로서 도출되며, 각 계수 값들의 한계효과를 추정하면 사고에 미치는 영향의 정도를 정량화 할 수 있다. Inclusive SPF의 경우 다양한 변수들이 동시에 고려되기 때문에 사고건수 예측체계의 구성이 보다 용이한 반면, 모형 내 반영되지 못하는 타 조건들에 대한 영향력을 고려해야 할 경우 모형 전체를 재추정해야 한다는 단점을 갖고 있다.

3. 안전성능함수 형태 선정

3.1 자료 수집

고속도로의 안전성능함수를 구축하기 위해 필요한 기초자료는 Table 1과 같이 교통사고 건수, 고속도로 교통량, 구간길이로 구분하여 정리하였다. 고속도로 주요 6개 노선(경부, 서해안, 영동, 중부내륙, 호남, 중앙고속도로)을 공간적 범위로 설정하고, 시간적 범위는 교통사고의 평균으로의 회귀문제를 감안하여 4년(2007~2010년) 간의 자료를 활용하였다. 교통사고 자료는 한국도로공사에서 제공하는 속보자료 중 아주 경미한 사고(D등급)를 제외한 A~C 등급의 자료를 이용하였다. 또한 구간길이는 기하구조 설계요소를 고려한 동질구간과 교통량 기반의 IC 및 JCT의 유출입 구간길이 선정방법 중 본 모형에 적합한 방안을 선정하였다. 그리고 연평균 일교통량(AADT)은 교통사고분석시스템(TAAS)에서 제공하는 단면교통량을 이용하였다.

3.2 분석구간 분할

본 연구에서는 고속도로 구간길이의 타당성을 제시하기 위해 기하구조 설계요소인 종단경사와 평면곡선반경을 기준으로 한 동질구간과 교통량 기반의 IC 및 JCT 구간을 분할하는 방안에 대해서 검토하였다. 고속도로 안전성능함수의 종속변수가 되는 교통사고

Table 1. Data Temporal Scope

Division	Content
Traffic accident	■ A～C Class : 2007～2010 ■ Traffic accident data by Korea Expressway Corporation
Traffic volume	■ 2007～2010 ■ Korea Institute of Construction Technology(TAAS)
Section length	■ Design document(Recent year)

자료(교통사고 건수)를 이용하여 최적의 분포를 결정하는 과정이 수반되고, 기하구조의 구간 분할이 적정하게 이루어졌는지를 판단하기 위해 통계적 검정을 수행하였다. 통계적 방법으로 분할구간이 적정하게 구분되었는지를 규명하기 위해 Chi Square test, Kolmogorov-Smirnov test를 이용하였으며, 유의수준 95%를 기준으로 모형의 적합도를 판별하였다. 또한 각 변수의 통계적 유의성은 추정된 계수값의 부호를 통해 합리성이 판별되며, 각 계수 값들의 t값을 기준으로 통계적 적합성이 검토된다.

일반적으로 구간길이와 교통량이 증가될수록 사고발생에 대한 노출 정도가 증가되기 때문에 추정치들은 정(+)의 값을 갖는다. 분포의 적합도를 판정한 결과(Table 2), 구간 분할방법 중 IC 및 JCT구간 분할방법에서 포아송 검정은 유의수준 95%에서 유의하지 않은 것으로 분석되었고, 음이항분포는 Chi Square Test와 Kolmogorov-Smirnov Test 모두 유의한 것으로 분석되었다. 반면, 동질구간 분할방법은 교통사고 발생빈도로 검정을 수행하는 Chi Square Test에서 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 이는 구간길이가 짧아 교통사고 위치 및 Zero Accident가 있는 구간이 다수 존재하여 유의하지 않은 결과를 얻은 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 교통량에 대한 교통사고 노출 정도로 해석할 수 있는 IC 및 JCT 구간을 대상으로 Segment를 정의하여 모형을 구축하였다.

3.3 고속도로 노선별 구간길이

본 연구에서는 IC 및 JCT 구간에서만 차량이 유출입되는 고속도로의 운영특성을 고려하여 구간길이를 설명변수로 활용하고자 한다. 각 노선별 구간길이의 평균 및 표준편차는 Table 3과 같이 평균 구간길이 9.0~11.08km 범위에 속하는 것으로 나타났다.

Table 3. Segment Length by Route (unit : km)

Route	Section number	Section length(km)
Gyeongbu	360	9.01±5.92
Seohaean	296	9.19±5.20
Yeongdong	240	8.06±5.37
Jungbunaeryuk	200	10.95±4.36
Honam	232	6.67±3.60
Jungang	192	11.08±5.52

Table 2. Goodness-of-Fit Test

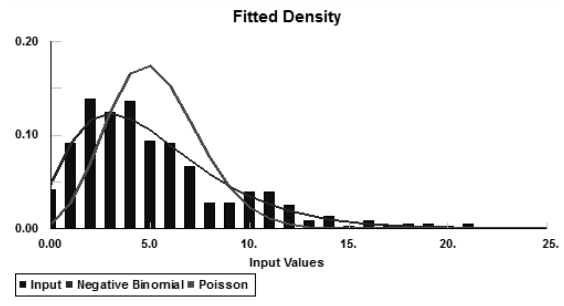
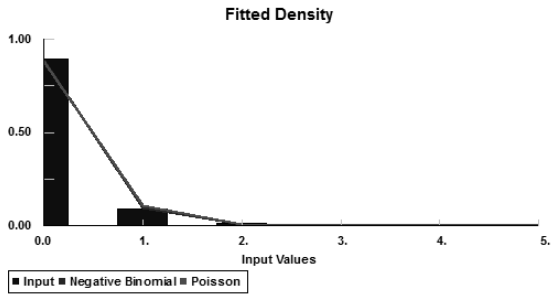
IC-IC(JCT) section segmentation			Homogeneous geometric segmentation		
					
Negative Binomial	Significant probability	95%	Negative Binomial	Significant probability	95%
	Chi2 value	14		Chi2 value	-
	Chi2 threshold value	19.7		Chi2 threshold value	-
	Significance test result	Accept		Significance test result	N/A
	K-S value	0.0364		K-S value	0.0053
	K-S threshold value	0.0711		K-S threshold value	0.0152
	Significance test result	Accept		Significance test result	Accept
Poisson	Significant probability	95%	Poisson	Significant probability	95%
	Chi2 value	181		Chi2 value	-
	Chi2 threshold value	14.1		Chi2 threshold value	-
	Significance test result	Reject		Significance test result	N/A
	K-S value	0.169		K-S value	0.0116
	K-S threshold value	0.0711		K-S threshold value	0.0152
	Significance test result	Reject		Significance test result	Accept

Table 4. Traffic Accident Frequency by Route (unit : number)

Route	2007	2008	2009	2010
Gyeongbu	5.83±4.50	5.33±3.95	4.64±3.96	4.38±3.89
Seohaean	3.83±2.20	3.30±2.79	3.37±2.54	3.00±2.32
Yeongdong	3.60±2.88	3.55±2.90	3.26±2.30	3.11±2.73
Jungbunaeryuk	3.17±3.09	3.44±2.87	3.52±2.87	3.54±2.78
Honam	3.07±2.17	2.77±2.54	2.73±2.73	2.40±2.40
Jungang	2.40±1.92	2.77±2.50	2.70±1.99	2.03±1.59

3.4 노선별 교통사고 발생현황

노선별 IC 및 JCT구간에서 발생한 교통사고의 빈도를 각 노선별로 평균한 결과를 Table 4에 제시하였다. 각 연도별 평균 교통사고를 살펴보면, 모든 노선에서 2007년 대비 2010년에는 교통사고가 감소하고 있는 것으로 분석되었지만, 중부내륙고속도로는 오히려 증가한 것으로 나타났다. 즉, 경부고속도로는 2007년 5.83건에서 2010년 4.38건으로 1.45건 감소함과 동시에, 서해안고속도로는 0.83건, 영동고속도로는 0.49건, 호남고속도로는 0.67건, 중앙고속도로는 0.37건이 감소한 반면, 중부내륙고속도로는 0.37건이 증가한 것으로 나타났다. 따라서 각 노선별 교통사고 발생빈도가 연도별로 유사한 감소추세를 보이고 있지만, 중부내륙고속도로와 같이 개별 특성을 가진 노선의 정확한 사고예측을 위해서라도 각 노선별 보정계수 개발이 필요함을 알 수 있다.

3.5 노선별 AADT

고속도로 분할 구간길이 당 연평균일교통량의 평균값은 Table 5와 같이 경부고속도로를 제외한 5개 노선에서 2007년 대비 2010년에 증가한 것으로 분석되었다. 하지만, 경부고속도로는 2008년 10월 오산~양재구간에 버스전용차로제를 도입하면서, 도로의 용량 감소와 지정체 발생으로 인한 우회차량 등으로 교통량이 감소하게 되어 교통사고 또한 감소한 것으로 판단된다.

Table 5. AADT by Route (unit : vehicles/year)

Route	2007	2008	2009	2010
Gyeongbu	48,153 ±23,705	43,650 ±23,207	43,918 ±22,369	46,519 ±22,802
Seohaean	24,633 ±22,485	26,390 ±22,793	27,116 ±23.157	27,514 ±22,622
Yeongdong	39,685 ±23.,196	40,606 ±24.447	41,152 ±25.164	43,143 ±25.394
Jungbunaeryuk	14,436 ±4,840	15,579 ±5,445	16,436 ±5,683	17,350 ±7,418
Honam	18,072 ±6,101	17,776 ±5,767	18,783 ±6,349	20,388 ±7,141
Jungang	12,062± 10,153	11,270 ±8,976	12,171 ±9,709	13,580 ±10,524

Table 6. Safety Performance Function Type

Type A	$N_{predicted} = e^{(\alpha + \beta_1 AADT + \beta_2 L)}$
Type B	$N_{predicted} = AADT^{\beta_1} \cdot Length \cdot e^{\alpha}$
Type C	$N_{predicted} = AADT^{\beta_1} \cdot Length^{\beta_2} \cdot e^{\alpha}$

3.6 안전성능함수 형태 결정

안전성능함수를 개발하기 위해서는 5가지 단계가 순차적으로 진행된다. 먼저 안전성능함수 구축 시 필요한 분석 Segment를 정의하고 각 Segment에 대해 독립변수 및 종속변수를 구성한다. 그리고 사고자료 분포의 적합도를 판정하고, 그에 따른 분포 회귀모형을 구축한다. 마지막으로 함수 모형형태까지 결정이 완료되면 안전성능함수를 최종적으로 구축하고, 모형의 유의성을 검토한다.

안전성능함수의 형태 결정은 다양한 국내·외 문헌고찰의 결과, 안전성능함수 개발 형태에 대해서 각 문헌마다 여러 형태로 안전성능함수를 개발하고 있고, 일반적으로 Table 6과 같이 독립변수들이 Exponential 함수의 지수 형태로 반영되고 있다. 일반적인 음이항 회귀모형의 Type A와 독립변수 값에 자연로그(Ln)를 취함으로써 (Log-transformation) 모형의 형태가 구체화된 Type B, C로 분류된다.

모형의 형태는 객관적 신뢰성을 확보하기 위하여 총 4년(2007~2010년) 간 고속도로 주요 6개 노선을 대상으로 Cross-validation을 실시하여 모형의 설명력을 비교·분석하여 결정하였다.

Cross-validation의 수행과정은 전체 사고자료 중 임의의 절반을 선택해 안전성능함수를 추정하고, 나머지 사고자료로 추정한 안전성능함수를 통해 종속변수인 사고건수를 예측하고 최종적으로 실제 관측값과 산출된 예측값의 Mean absolute Deviation (MAD)를 비교하는 방법으로 수행되었다. 일반적으로 관측값과 예측값의 차이가 작을수록 모형의 설명력이 높다고 판단할 수 있으며, 선택된 임의의 사고자료를 통해 Cross-validation을 실시하여 추정된 유형별 안전성능함수는 Table 7과 같다.

Table 7. Estimated Safety Performance Function

Regression model	Model type	Coefficient					
		Constant (α)		β_1 for AADT		β_2 for length	
		Estimate	P-value	Estimate	P-value	Estimate	P-value
NB (over dispersion parameter)	A (0.174)	0.118	0.246	0.000013	0.000	0.085	0.000
	B (≒0)	-6.475	0.000	0.572324	0.000	-	-
	C (0.490)	-5.177	0.000	0.485338	0.000	0.773	0.000

Table 8. MAD by Cross-Validation

Regression model	Model type	Mean Absolute Deviation (SD)
NB (over-dispersion parameter)	A	2.180 (1.98)
	B	2.048 (1.81)
	C	1.956 (1.65)

Table 8은 추정된 안전성능함수에 나머지 절반 교통사고 자료의 독립변수를 대입해 사고건수를 예측한 결과이다. 그리고 나머지 절반의 실제 관측값과 예측값 차이의 절대값인 MAD를 통해 관측값과 예측값이 가장 차이가 작은 모형을 선택한다. Cross-validation을 통해 MAD가 가장 작은 모형의 독립변수인 AADT와 구간길이 모두 자연로그를 취한 형태인 Type C가 최적의 안전성능함수 형태라고 판단하였다. 상기에 제시된 분석결과를 바탕으로 안전성능함수 추정에 있어 모형 형태는 Type C를 적용하였다.

4. 안전성능함수 개발

4.1 모형 개발

고속도로 6개 노선의 통합 안전성능합수는 앞 절에서 제시한 음이항 회귀식을 기반으로 하는 Type C (구간길이 및 연평균일교통량(AADT)의 로그변환)로 개발하였다. 모형 구축 결과, Table 9와 같이 상수, AADT, 구간길이는 신뢰수준 99%에서 통계적으로 유의한 것으로 분석되었으며, 모든 설명변수가 교통사고 발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 구간길이와 AADT의 부호조건이 정(+)의 부호를 나타내고 있어 구간길이가 길고, 교통량이 증가할수록 교통사고가 증가하는 것으로 분석되었다.

Table 9. Expressway Safety Performance Function

SPF type	$N_{predicted} = AADT^{\beta_1} \cdot Length^{\beta_2} \cdot e^{\alpha}$			
Observed value	1,520			
Log-Likelihood	-3382.129			
Pseudo-R2	0.0858			
Division	Coefficient	Standard Err.	t-value	Significant probability
Constant(α)	-5.509518	0.2444166	-22.54	**
L(β_1)	0.8444498	0.0260612	32.40	**
AADT(β_2)	0.4981101	0.0213423	23.39	**
Overdispersion coefficient	0.1719141	0.0150063		

** : Coefficients are statistically significant at 99% level of confidence.

4.2 노선별 보정계수 개발

우리나라의 고속도로는 2013년 기준으로 34개 노선이 운영중에 있으며, 각 노선별로 교통사고 분포 및 교통 특성이 비슷하나 약간의 차이는 존재한다. 또한, 고속도로의 경우 교통량은 매년 증가함에도 불구하고 교통사고 건수의 총량이 매년 감소하는 패턴을 보이는 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 각 노선별 안전성능함수를 개발하여 교통사고를 예측하는 경우가 가장 합리적이고 적합한 방법이지만, 많은 노선을 년 단위로 개발해야 하는 단점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는

Table 10. Calibration Coefficients(by year, by route)

Route	Year	Total observed accident	Total estimated accident	Calibration Coefficients
Gyeong-bu	2010	412	449	0.92
	2009	436	433	1.01
	2008	501	429	1.17
	2007	548	458	1.20
	2007~2010	1,897	1,769	1.07
Seohaean	2010	219	251	0.87
	2009	226	247	0.91
	2008	259	242	1.07
	2007	264	229	1.15
	2007~2010	968	969	1.00
Yeong-dong	2010	193	228	0.85
	2009	202	221	0.91
	2008	220	221	1.00
	2007	223	222	1.00
	2007~2010	838	892	0.94
Jungbu-nae ryuk	2010	184	200	0.92
	2009	185	187	0.99
	2008	183	182	1.01
	2007	165	175	0.94
	2007~2010	711	744	0.96
Honam	2010	147	151	0.97
	2009	164	146	1.12
	2008	166	142	1.17
	2007	184	141	1.30
	2007~2010	661	580	1.14
Jungang	2010	104	158	0.66
	2009	115	149	0.77
	2008	120	144	0.83
	2007	119	148	0.80
	2007~2010	458	600	0.76

통합된 안전성능함수를 구축하고, 각 노선을 보정할 수 있는 계수를 개발하여 시계열적 추세를 반영함과 더불어 사고예측력을 효과적으로 증대시키고자 하였다. 연도별 사고보정계수는 Eq. (4)와 같이 제시하였다.

$$C^{year_i,\,Route_k} = \frac{N_{Obs}^{year_i,\,Route_k}}{N_{Pre}^{year_i,\,Route_k}} \tag{4}$$

여기서, $C^{year_i,\,Route_k}$: 연도별 보정계수
$N_{Obs}^{year_i,\,Route_k}$: 총 관측 사고건수
$N_{Pre}^{year_i,\,Route_k}$: 총 추정 사고건수

Eq. (4)를 이용하여 각 노선별, 연도별로 보정계수를 산출한 결과는 Table 10에 나타내었다. 4년(2007~2010년) 간의 각 노선별 보정계수를 살펴보면, 경부고속도로는 1.07, 서해안고속도로는 1.00, 영동고속도로는 0.94, 중부내륙고속도로는 0.96, 호남고속도로는 1.14, 중앙고속도로는 0.76으로 분석되었다. 또한 각 연도별 교통사고 보정계수를 활용하여 해당 연도의 교통사고를 예측 시 보다 정확한 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 고속도로의 각 노선별 대표성을 가진 교통량과 구간길이를 설명변수로 선정하여 주요 6개 노선을 대상으로 통합노선 안전성능함수를 구축하고, 노선별 보정계수를 산정하는 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 고속도로의 교통량은 매년 증가하고 있는 반면에, 교통사고는 감소하는 특성을 가지고 있어 시계열적 추세를 반영한 교통사고 예측 연구가 필요함을 제시하였다.

둘째, 기하구조 설계요인을 고려한 동질구간 보다 교통량의 노출정도를 고려한 IC 및 JCT구간 분할이 적합함을 제시하였다.

셋째, IC 및 JCT구간별 교통사고의 분포형태를 살펴본 결과, 포아송 분포보다 음이항 분포가 더 적합한 것으로 나타나, 본 연구에서는 음이항 분포모형을 통한 안전성능함수 개발내용을 제시하였다.

넷째, 음이항 분포모형의 설명변수 형태를 3가지 형태로 적합도 분석을 수행한 결과, 설명변수에 모두 자연로그를 취한 형태가 가장 적합한 형태임을 제시하였다.

다섯째, 교통사고 발생건수를 종속변수로 설정하고, AADT와 구간길이를 설명변수로 한 안전성능함수를 구축하였다. 그 결과 구간길이 및 교통량의 부호조건이 정(+)으로 합리적인 결과가 도출된 것으로 판단된다.

여섯째, 안전성능함수를 활용한 각 노선별 관측 사고건수 합과 예측사고 건수 합을 산출하여 보정계수를 산정하였다. 이는 안전성능함수가 어느 노선에 대해서 과대 및 과소 예측되는 문제점을 보완하고, 각 노선마다 안전성능함수를 구축해야 하는 불편함을 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합해 보면, 서로 다른 기하구조 및 교통 특성을 가진 도로를 통합한 모형을 구축하고, 각 연도별, 노선별로 보정할 수 있는 계수를 산출하여 모형의 신뢰성을 확보한 후, 다른 노선에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구에서는 설명변수를 AADT와 구간길이로 한정하여 모형을 구축함으로써 두 요인에 의한 사고 예측값이 영향을 받는다고 볼 수 있다. 우리나라 고속도로의 경우, 수도권과 연계한 노선은 교통량이 많고, 그 이외의 노선은 교통량이 상대적으로 적은 교통특성을 가지고 있다. 따라서 향후 각 노선별 교통량에 따른 비교그룹을 설정하고, 그룹별 통합모형을 개발하고 노선별 보정계수를 산정하여 보다 신뢰성 있는 사고예측값을 제시하는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 한국도로공사에서 사고건수에 기반하여 선정한 교통사고잦은곳과 노선별 안전성능함수를 통해 선정된 결과를 상호 비교·검증하는 연구의 수행이 필요하다. 본 연구의 결과는 교통사고 예방을 위한 노선별 교통안전 전략 수립의 기초자료로의 활용 의미와 고속도로 교통사고잦은곳 선정 및 교통안전시설물의 효과를 평가할 수 있는 분석자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

References

American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) (2010). *Highway safety manual*.

Cafiso, S., D'Agostino, C. and Persaud, B. (2013). "Investigating the influence of segmentation in estimating safety performance functions for roadway sections." *Presented at 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.

Kang, J. and Lee, S. (2002). "Traffic accident prediction model by freeway geometric types." *Korean Society of Transportation*, Vol. 20, No. 4, pp. 163-175.

Kim, J. S., Kim, T. Y., Kim, K. H. and Park, B. H. (2011). "Developing the traffic accident models by the function of arterial link sections in the case of Cheongju." *Korean Society of Road Engineers*, Vol. 13, No. 1, pp. 49-57.

Lee, K. (1999). "The application and development of accident model on freeways." *Proceeding of 36th Conference of Korean Society of Transportation*, pp. 117-122.

Lord, D. and Mannering, F. (2010). "The statistical analysis of crash-frequency data: A Review and Assessment of Methodological Alternatives." *Transportation Part A: Policy and Practice*, Vol. 44, No. 5, pp. 291-305.

Lu, J., Gan, A., Haleem, K., Alluri, P. and Liu, K. (2012). "Comparing locally-calibrated and safety analyst-default safety performance functions for florida's urban freeways." *Presented at*

91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

Mehta, G. and Lou, Y. (2013). "Safety performance function calibration and development for the state of alabama: Two-lane Two-way Rural Roads and Four-lane Divided Highways." *Presented at 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.

Tu, Y., Zhang, J., Yang, C. and CHEN, X. (2012). "Crash frequency analysis for urban expressways by considering segment type." *Presented at 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.

Xie, F., Gladhill, K., Dixon, K. K. and Monsere, C. M. (2011). "Calibration of highway safety manual prediction models for oregon state highways." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2241, Washington, D.C.