

유입·유출특성을 고려한 고속도로 연결로의 교통사고 심각도 예측모형

Prediction Models for the Severity of Traffic Accidents on Expressway On- and Off-Ramps

윤 일 수	Yun, Ilsoo	정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 조교수 (E-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr)
박 성 호	Park, Sung Ho	아주대학교 건설교통공학과 석사과정 (E-mail : fenix3339@ajou.ac.kr)
윤 정 은	Yoon, Jungeun	아주대학교 건설교통공학과 석사과정 (E-mail : lovejjung@ajou.ac.kr)
최 진 형	Choi, Jinhung	삼성 SDS (E-mail : jh_v.choi@samsung.com)
한 음	Han, Eum	아주대학교 건설교통공학과 석사과정 (E-mail : hano3106@ajou.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Because expressway ramps are very complex segments where diverse roadway design elements dynamically change within relatively short length, drivers on ramps are required to drive their cars carefully for safety. Especially, ramps on expressways are designed to guarantee driving at high speed so that the risk and severity of traffic accidents on expressway ramps may be higher and more deadly than other facilities on expressways. Safe deceleration maneuvers are required on off-ramps, whereas safe acceleration maneuvers are necessary on on-ramps. This difference in required maneuvers may contribute to dissimilar patterns and severity of traffic accidents by ramp types. Therefore, this study was aimed at developing prediction models of the severity of traffic accidents on expressway on- and off-ramps separately in order to consider dissimilar patterns and severity of traffic accidents according to types of ramps.

METHODS : Four-year-long traffic accident data between 2007 and 2010 were utilized to distinguish contributing design elements in conjunction with AADT and ramp length. The prediction models were built using the negative binomial regression model consisting of the severity of traffic accident as a dependent variable and contributing design elements as independent variables.

RESULTS : The developed regression models were evaluated using the traffic accident data of the ramps which was not used in building the models by comparing actual and estimated severity of traffic accidents. Conclusively, the average prediction error rates of on-ramps and off-ramps were 30.5% and 30.8% respectively.

CONCLUSIONS : The prediction models for the severity of traffic accidents on expressway on- and off-ramps will be useful in enhancing the safety on expressway ramps as well as developing design guidelines for expressway ramps.

Keywords

expressway ramp, traffic accident, severity, prediction model, negative binomial regression

Main Author : Yun, Ilsoo, Professor
Department of Transportation System Engineering, Ajou University,
San 5, Woncheon-dong, Youngtong-gu, Suwon, 443-744, Korea
Tel : +82.31.219.3610 Fax : +82.31.215.7604
email : ilsooyun@ajou.ac.kr

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

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

고속도로 연결로(expressway ramps)는 주행속도가 높은 고속도로 본선과 상대적으로 주행속도가 낮은 다

른 도로 또는 다른 고속도로를 물리적으로 연결하는 전이(transition) 구간이다. 연결로와 고속도로 본선을 연결하는 가·감속차로에서는 고속도로 본선에서 고속으로 주행하는 차량과 본선으로 합류하거나 분류하는 저속 차량들이 혼재되어 있으며, 또한 연결로 상에서는 평면 선형, 종단선형 등이 복잡하게 변화하기 때문에 안전한 행을 위해 운전자로부터 많은 주의를 필요로 한다. 따라서 고속도로 연결로에서 교통사고의 위험성(risk)은 매우 크다고 할 수 있다.

이와 같은 사고에 대한 잠재적 위험성은 고속도로 교통사고를 분석한 결과에서도 나타난다. 2010년에 발생한 고속도로 교통사고 중 시설별 사고비율을 살펴보면 가·감속차로를 포함한 유입·유출 연결로에서 일어난 교통사고는 전체의 고속도로 교통사고 중 5.5%를 차지하고 있다(경찰청, 2011). 이는 고속도로 전 구간 중 연결로가 차지하는 연장에 비해 높은 교통사고 비율임을 알 수 있다. 따라서 연결로는 복잡한 기하구조적 특징을 가지고 있고, 교통사고 위험성이 높기 때문에 교통사고와 기하구조 사이의 관계를 파악함으로써 고속도로 연결로 상의 안전성을 높일 필요가 있다.

고속도로의 연결로는 본선과의 관계에 따라 크게 합류부와 분류부, 즉 유입 연결로(on-ramp)와 유출 연결로(off-ramp)로 나눌 수 있다. 유입 연결로와 유출 연결로의 가장 큰 차이는 가속과 감속운동이 각각 요구된다는 점이다. 유입 연결로의 경우는 차량들이 연결로에서 낮은 속도로 운동을 하다가 가속차로에서 속도를 높여 본선과 합류를 하게 되고, 유출 연결로에서는 이와 반대로 차량들이 고속도로 본선에서 높은 속도로 운동을 하다가 연결로 진입을 위해 감속을 하게 된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 감속과 가속운동 차이가 사고에 영향을 미칠 것이라는 가정을 바탕으로 유입 연결로와 유출 연결로에서의 교통사고 심각도를 예측할 수 있는 모형을 과학적이고 체계적인 과정을 통해 개발하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 4년간(2007~2010)의 고속도로 연결로 교통사고 자료를 이용하여 교통사고 심각도를 산출하였다. 또한 교통량과 곡선반경 등 도로설계요소들 중 연결로의 교통사고에 영향을 미치는 주요 요소를 파악하고, 선정된 주요 요소를 설명변수로 하는 교통사고 심각도 예측모형을 음이항회귀모형을 이용하여 유입 연결로와 유출 연결로에 대해 각각 실시하였다. 구축된 모형의 예측력을 검증하기 위해 모형 구축에 사용되지 않은 연결로에서의 실제 교통사고 심각도와 개발된 모형을 통해 예측된 교통사

고 심각도를 비교해 보았다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 2007년부터 2010년까지 4년간이며, 공간적 범위는 시간적 범위 동안 전국에서 공용 중이던 고속도로를 대상으로 하였다. 본 연구를 위한 절차는 첫 번째로 기존 연구들에 대한 고찰을 통해 교통사고 심각도 예측모형에 대한 분석방법론을 수립하였다. 두 번째로 교통사고자료와 기하구조 등의 자료를 수집하고 이를 유입 연결로와 유출 연결로로 나누어 정리하였다. 세 번째로 정리된 기하구조 자료에 대해 상관분석과 다중공선성분석을 통해 교통사고 심각도에 영향을 미치는 교통요소 및 도로설계요소 중 유의한 변수를 도출하였다. 네 번째로 이산형 비선형회귀모형인 음이항회귀모형을 통해 2007년~2010년의 교통사고자료에 대해 교통사고 심각도 예측모형을 개발하여 유입 연결로와 유출 연결로의 교통사고 심각도에 영향을 미치는 교통요소 및 도로설계요소를 최종 선정하고, 선정된 변수의 계수 및 모형의 적합도를 산출하였다. 마지막으로 도출된 교통사고 심각도 예측모형을 이용해 교통사고 심각도 모형구축에 포함되지 않은 연결로에서 실측치와 예측치를 비교해 봄으로써 모형의 예측력을 평가해보았다.

2. 문헌 고찰

2.1. 기존연구 고찰

많은 연구들이 교통사고와 교통요소(예, 교통량 등) 및 도로설계요소(예, 곡선반경, 종단경사 등)의 관계를 규명하기 위하여 진행되었다. 그 중에 윤병조 등(2006)은 우리나라 고속도로 인터체인지(IC) 중 설치비율이 높은 트럼펫형 인터체인지 상에서 연결로의 형식 및 주요 설계요소와 교통사고율 간의 관계를 분석하였다. 상기 연구에서는 1999년~2003년까지 5년 동안 트럼펫형 인터체인지를 대상으로 하여 교통속보자료에서 추출한 교통사고자료, 통행료징수시스템(Toll Collection System: TCS)에서 수집된 톨게이트 간 교통량(O/D)을 이용해 추출한 연결로 교통량, 인터체인지와 본선 평면도를 통해 추출한 곡선반경, 곡률차, 본선경사 등의 도로설계요소를 이용하였다. 수집된 자료를 활용하여 사고자료 분포분석을 수행한 후 트럼펫형 인터체인지 형식(A형 및 B형)별 사고특성 분석과 유출 연결로의 형태에 따른 특성분석을 수행하였다. 참고로, 트럼펫형 IC 형식 중 A형은 유입 연결로(고속도로 본선 진입 연결로)는 루프,

유출 연결로는 준직결 연결로로 구성되며, B형은 유입 연결로는 준직결 연결로, 유출 연결로는 루프로 구성된다. 상기 연구에서 트럼펫형 인터체인지 형식 중 A형과 B형의 교통사고율은 큰 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다. 하지만, 연결로의 유입 및 유출 방향 및 유형(루프형, 준직결형, 직결형)에 따라 교통사고율은 차이가 있는 것으로 분석되었다.

노창균 등(2008)은 수집이 용이한 자료를 이용하여 고속도로 인터체인지 연결로에서 발생하는 교통사고 빈도를 추정할 수 있는 교통사고예측모형을 정립하였다. 이를 위해 164개 인터체인지(트럼펫형 인터체인지 129개소, 클로버형 인터체인지 35개소)를 대상으로 4년간(2002~2005년)의 교통사고자료를 수집하였다. 상기 연구는 음이항회귀모형을 이용하여 교통사고예측모형을 추정하였다. 음이항회귀모형에서는 유입 및 유출 여부를 Dummy 변수(유입 연결로를 '1'로, 유출 연결로를 '0')로 처리하였고, 인터체인지 형식별, 연결로 유형별 기초통계분석, 다중공선성 분석 및 모형 추정을 실시하였다. 트럼펫 인터체인지의 준직결 연결로에서는 유·출입 여부와 곡률차, 루프 연결로에서는 교통량이 가장 유의한 변수로 선정되었고, 클로버형 인터체인지의 직결 연결로에서는 유·출입 여부, 루프 연결로에서는 교통량이 가장 유의한 변수로 선정되었다. 이 외에도 박효신(2007), 김봉곤(2007) 등이 고속도로 연결로 교통사고예측모형을 개발한 바 있다. 기존의 연구들에서는 교통사고예측모형 구축을 위하여 주로 유입 및 유출 여부, 연결로 유형, 연결로 교통량, 곡선반경, 곡률차, 본선경사 등을 사용한 것으로 분석되었다.

교통사고예측모형 외에 많은 연구들이 교통사고 심각도를 추정 및 예측하기 위하여 진행되어져 왔다. 그 중에서 최재원(2003)의 연구에서는 전주시의 7개 지점의 신호교차로에 대해 2년 동안 발생한 337건의 교통사고 건수에 대해 교통사고 심각도 예측모형을 수립하였다. 교통사고 심각도는 1~5로 분류하였으며 부상정도와 부상자 수에 따라 분류되었다. 교통사고 심각도 예측모형에 적용된 설명변수는 사고원인, 사고위치, 속도, 기상상태 등 총 13개의 변수를 설정하였다. 적용모형은 다중회귀모형과 신경망모형이었으며 예측결과, 다중회귀모형에서 유의한 변수는 TA(Time to Accident)와 마찰계수로 판명되었다. 또한 다중회귀모형보다 신경망모형의 예측력이 우수한 것으로 나타났다.

하오근 등(2008)의 연구에서는 충청남·북도의 교차로 77개를 대상으로 선정하여 교통사고자료를 수집하

고 교통사고 심각도를 분석하였다. 교통사고 심각도는 EPDO(Equivalent Property Damage Only)를 이용하여 환산하였으며 중상 및 경상사고는 부상사고로 적용하였다. 교통사고 심각도 예측모형에 적용된 변수는 교통량, 중차량 비율 등으로 총 24개의 변수를 선정하였다. 교통사고 심각도 예측모형 선정을 위해 K-S(Kolmogorov-Smirnov)검증을 통해 정규분포와 포아송분포, 음이항분포 중 사고심각도 데이터가 어떠한 분포를 따르는지 검증을 하였고 검증결과 포아송분포를 따르는 것으로 나타나 포아송회귀모형을 구축하였다. 포아송회귀모형 구축결과 유의한 변수는 주도로 교통량, 부도로 우회전 비율, 부도로 유·출입구 수, 부도로 좌회전 전용차로수, 주도로 우회전시거, 교차각도 등인 것으로 분석되었다.

이동민 등(2008)은 2004년 한 해 동안 수도권 주변 및 전라북도 전지역 3지 비신호 교차로에서 발생한 116개 지점의 교통사고 자료를 이용하여 교통사고 심각도를 분석하였다. 교통사고 심각도는 물피사고, 경상, 중상, 사망을 각각 0~3으로 분류하였으며 설명변수는 부도로 차로수, 제한속도 차, 토지이용 등의 데이터를 92개의 주요변수로 세분화하였다. 사고모형에는 순서형 프로빗모형이 적용되었으며 유효한 설명변수로는 날씨, 부도로 차량주행 제약시설물, 주도로 우회전 전용차로, 주도로 횡단보도, 제한속도 차, 토지이용, 주도로 길어깨 폭, 주도로 평균일교통량(Average Daily Traffic: ADT)이 선정되었다.

이수일 등(2008)의 연구에서는 전국 고속도로를 대상으로 기상상태가 안개인 경우에 발생한 교통사고에 대해 교통사고 심각도 예측모형을 개발하였다. 2002~2006년까지 5년 간 안개 시 발생한 사고는 123건이었다. 교통사고 심각도는 EPDO를 이용해 환산하였으며 설명변수로는 안개지속시간, 시정거리, 평면선형 등 총 12개의 변수를 선정하였다. 교통사고 심각도 모형에는 포아송회귀모형이 적용되었으며 유효한 변수로는 안개지속시간, 시정거리, 주야구분, 기상현상, 성별이 채택되었다. 또한 판별분석을 통해 심각한 사고(A, B급사고)와 경미한 사고(C, D급사고)를 판단하는 모형을 제시하였으며 시정거리와 주야구분이 유의한 변수로 나타났다.

장태연 등(2010)의 연구는 전주시에서 발생한 교통사고 중 음주교통사고의 심각도에 영향을 미치는 요인 분석 및 모형을 설정하였다. 2006년에서 2008년에 발생한 총 13,936건의 교통사고 중 음주에 관련된 교통사고

는 2,566건이었다. 요인분석 및 모형설정에는 순서형 프로빗모형이 적용되었으며, 모형구축 결과 교통사고 심각성에 영향을 주는 변수로는 봄과 겨울, 사고 시간대, 기후, 도로형태, 사고유형, 성별, 차량종류 등인 것으로 분석되었다.

이혜령 등(2011)은 2006년부터 2008년까지 고속도로에서 발생한 교통사고에 대해 사고등급별 요인분석을 실시하였다. 분석구간은 경부고속도로 서울방향 본선구간 중 동대구JC에서 양재IC에 해당하는 294km 구간을 대상으로 하였으며, 한국도로공사에서 분류하는 A~D등급 중 D등급 자료를 제외한 A, B, C등급만을 대상으로 하여 총 489건의 교통사고에 대해 분석하였다. 요인분석 방법으로는 수량화이론 제 2류(quantification theory of type 2)를 통해 사고원인분석 및 모형을 개발하였으며 그 결과 사고등급에 영향을 미치는 요인은 평면선형에서는 승합차, 차-대-사람 사고가 공통요인으로 분석되었고 중단구배에서는 특수차량과 차-대-사람 사고가 공통요인으로 분석되었으며 방책시설에서는 주시태만과 흐린 날씨가 공통요인으로 분석되었다. 이외에도 조원영 등(2007), 김성민 등(2011), 한수산 등(2011) 등이 교통사고 심각도에 대한 연구를 진행하였다.

O' Donnell 등(1996)은 오스트레일리아의 New South Wales지역에서 발생한 자동차 교통사고의 부상 정도에 대해 교통사고 심각도모형을 구축하였다. 교통사고 심각도는 1~4까지 사망, 중상, 경상, 부상없음으로 구분하였으며 사고모형구축은 순서형 로짓모형과 순서형 프로빗모형을 모두 적용하였다. 사고자료는 RTA(Roads and Traffic Authority)에서 1991년 자료를 수집하여 분석하였으며 그 결과 성별, 혈중알코올농도, 안전벨트 착용여부, 차종, 충돌 형태, 주행속도, 차량의 차량내구연도 등이 유의한 변수로 분석되었다.

Zajac 등(2003)은 Connecticut의 지방부에서 발생한 보행교통사고에 대해 교통사고 심각도모형을 구축하였다. 교통사고 심각도를 구분하는데 KABCO등급을 이용하였으며 2차선 도로의 무신호 교차로와 신호교차로에서 일어난 보행자교통사고를 이용하였다. 참고로, Highway Safety Manual(AASHTO, 2010) 등에서 사용하는 교통사고 등급(level)으로서 K 등급은 교통사고발생일로부터 30일 이내에 1명 이상이 사망한 교통사고, A 등급은 교통사고로 인하여 1명 이상이 장애를 입은 교통사고, B 등급은 중상, C 등급은 경상, O 등급은 물피사고를 의미한다. 사고모형구축을 위해 순서형 프로빗모형이 적용되었으며 차량종류, 운전자의 음주여

부, 보행자 연령, 보행자 음주여부가 보행자교통사고 심각도에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

Kockelman 등(2001)은 미국 GES(General Estimation System)의 사고자료를 활용하여 차량충돌 유형에 따라 단독충돌사고, 2차량충돌사고, 모든 충돌사고에 대해 각각 사고심각도 모형을 구축하였다. 사고모형 구축에는 순서형 프로빗모형이 적용되었으며 운전자 성별, 차량종류, 운전자의 음주여부 등이 주요한 변수인 것으로 분석되었다. 또한 분석결과 트럭과 SUV의 교통사고 심각도가 승용차보다 높은 것으로 나타났다.

Duncan 등(1998)은 North Carolina지역의 트럭과 승용차를 대상으로 후미추돌사고에 대한 교통사고 심각도를 예측하는 모형을 구축하였다. HSIS(Highway Safety Information System)에서 제공하는 1993~1995년의 교통사고 자료를 대상으로 하였으며 사고모형 구축에는 순서형 프로빗모형이 사용되었다. 사고심각도 구분은 KABCO등급에 의해 이루어졌으며 분석결과 유의하게 도출된 변수로는 조명, 두 차량의 속도차, 제한속도, 구배, 음주여부, 성별 등이 유의한 변수로 나타났다.

기존 연구 검토 결과, 고속도로 연결로가 짧은 길이임에도 불구하고 교통사고 빈도 및 심각도가 높은 것으로 나타났다. 하지만, 연결로에 대하여 교통사고예측모형을 개발한 연구는 많으나 고속도로 연결로를 대상으로 한 교통사고 심각도 관련 연구는 부족한 것으로 분석되었다. 따라서 고속도로 연결로 교통사고의 심각도와 각종 교통요소 및 설계요소 간의 관계를 살펴볼 필요가 있는 것으로 판단되었다. 또한 앞서 살펴본 바와 같이 윤병조 등(2006)의 교통사고특성 분석과 노창균 등(2008)의 교통사고예측모형에서는 고속도로 유출 연결로와 유입 연결로에서의 운전특성(감속 및 가속)의 차이가 교통사고에 미치는 영향을 적절히 분석하고 있으나 교통사고 심각도 분석에서는 이러한 부분을 충분히 고려하고 있지 못한 것으로 분석되어, 본 연구에서는 교통사고 심각도 분석 시 유출 연결로와 유입 연결로에서의 운전특성을 반영하고자 한다. 마지막으로 기존의 연구들에서는 사고심각도 모형 구축에 선형회귀모형보다는 비선형회귀모형이 주로 사용되었다. 비선형모형 중에서도 크게 포아송모형 및 음이항회귀모형 또는 순서형 프로빗모형이 주로 사용되었다. 그래서 본 연구에서는 포아송모형 및 음이항회귀모형을 교통사고 심각도모형 구축에 적용하였다.

2.2. 이론적 고찰

2.2.1. 포아송회귀모형

포아송분포는 교통분야에서 자주 사용되는 확률분포로서 독립적으로 일어나는 사건이 일정한 발생확률을 가지고 있다는 전제 하에 일정기간에 어떤 사건이 몇 번 일어날지의 확률을 묘사하는 데 많이 사용된다(Levine 등, 2011). 교통사고의 발생은 산발적이고 이산적인 형태의 분포를 나타내므로 포아송분포를 사용하는 것이 일반적이다. 사고건수 y 가 포아송분포를 따른다는 가정 하에 연결로 i 에서 m 개의 변수에 의해 발생할 사고의 확률은 Eq. (1)과 같고 이에 따른 평균사고 건수(기댓값)는 Eq. (2)와 같다(Washington 등, 2003).

$$p(y_i) = \frac{\text{EXP}(-\lambda_i)\lambda_i^{y_i}}{y_i!}, \quad y = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

여기서,

$p(y_i)$: 연결로 i 에서 y 번의 사고가 날 확률
 λ_i : 연결로 i 에서 일어날 평균 사고건수(기댓값)
 i : 고속도로 연결로

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

여기서,

β_j : 회귀식의 추정계수
 X_j : 회귀식의 설명변수

교통사고의 발생은 정규분포와 같이 연속확률분포가 아니고 이산확률분포라는 인식 하에서 포아송분포를 가정하여 모형을 구축하기도 하지만, 포아송분포는 평균과 분산이 같다는 특성을 가정하고 있다. 하지만, 실제 관측된 교통사고 자료를 분석하면 분산이 기댓값보다 큰 과분산현상(over-dispersion)이 일반적으로 발생한다. 이는 다양한 교통조건(날씨, 기하구조, 운전자 행태 등)의 결과로서 발생하는 교통사고 자료를 분석할 때 흔히 나타나는 현상이며, 과분산이 발생할 때는 포아송분포 대신에 음이항분포를 사용하여 음이항회귀모형을 사용할 수 있다(성낙문, 2002).

2.2.2. 음이항회귀모형

음이항회귀모형은 평균과 분산이 같다고 가정하는 포

아송분포를 기반으로 하는 포아송회귀모형과 달리 과분산이 발생할 경우 적용 가능하다. 또한, 음이항회귀모형에서 연결로 i 에서의 사고발생건수와 각 설명변수는 다음 Eq. (3)과 같이 정의할 수 있다(Washington 등, 2003).

$$\begin{aligned} \lambda_i &= \exp(\beta_0 X_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_m X_m + \epsilon_i) \\ &= \exp\left(\sum_{j=0}^m \beta_j X_j + \epsilon_i\right) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,

β_j : 회귀식의 추정계수
 ϵ_i : 오차항

Eq. (3)에서 오차항(ϵ_i)은 평균이 1이고 분산이 α 인 감마분포로 알려져 있으며, Eq. (3)을 토대로 음이항분포에 적용된 사고건수의 평균과 분산과의 관계는 Eq. (4)와 같이 정의할 수 있다(Washington 등, 2003).

$$\begin{aligned} \text{Var}[y_i] &= \lambda_i(1 + \kappa\lambda_i) \\ &= \lambda_i + \kappa\lambda_i^2 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,

$\text{Var}[y_i]$: 연결로 i 에서 일어날 사고건수의 분산
 λ_i : 연결로에서 일어날 평균 사고건수(기댓값)
 i : 나들목/분기점의 각 연결로
 κ : 과분산 계수

또한, 음이항분포의 분산 중 $\kappa\lambda_i^2$ 이 과분산으로 발생하는 몫이며 κ 값이 0에 가까워질 때 포아송분포를 따르고, κ 값이 1보다 클 때 과분산이 발생하여 음이항분포를 따르는 것이다.

3. 자료수집 및 정리

본 연구에서는 2007년부터 2010년까지 공용 중이었던 고속도로를 대상으로 하였다. 교통사고 자료는 동기간 동안 작성된 교통사고속보를 이용하여 수집하였다. 모형 구축에 필요한 연결로 관련 도로설계요소(본선 및 연결로 설계속도, 곡선반경, 곡선길이, 가감속차로길이, 곡률, 종단경사)는 한국도로공사의 HGIS에서 보유하고 있는 평면도 등을 통해 수집하였다.

도로설계요소 이외에도 교통사고 심각도에 영향을 미

칠 것이라고 판단되는 주요지표로 교통량이 있다. 고속도로의 교통량 중 본선구간의 교통량은 차량검지기(Vehicle Detection System: VDS) 자료를 통해 취득할 수 있지만 나들목에 있는 연결로 상에는 VDS가 설치되어 있지 않기 때문에 연결로 별 교통량을 얻을 수 없다. 그래서 본 연구에서는 TCS 자료와 통행배정(Traffic Assignment) 프로그램인 TransCAD를 활용하여 시뮬레이션을 통해 각 연결로 별 교통량 자료를 취득하였다. 모형 구축에 사용된 교통사고 심각도 자료가 2007년부터 2010년까지 4년간의 자료이므로 교통량은 해당 연결로에 대해 2007년, 2008년, 2009, 2010년에 대해 각각을 통행배정을 통해 얻은 뒤 평균값을 취하였다. 또한 TCS자료가 폐쇄식 고속도로 구간에만 존재하기 때문에 서울외곽순환고속도로 등 개방식 고속도로 구간에 대한 분석은 실시하지 못하였다. 결론적으로 유입 연결로 57개, 유출 연결로 57개에 대해서 각각 184건과 310건의 교통사고 자료를 이용하여 교통사고 심각도 예측모형을 개발하였다. 모형 구축에 사용된 자료가 충분하지 못한 이유는 교통사고 자료, 교통량, 도로설계요소 모두를 수집 가능한 연결로가 충분하지 않았기 때문이다.

인터체인지의 각 연결로는 본선과의 연결 형태에 따라 직결형, 준직결형, 루프형의 세 가지로 구분될 수 있다. 이러한 차이 또한 사고심각도에 영향을 미칠 것이라는 판단 하에 세 가지 연결유형에 대해 각각 1, 2, 3으로 구분하여 이를 Dummy 변수로 반영하였다.

최종적으로 본 연구에서 유출 연결로와 유입 연결로에 대해 교통사고 심각도에 영향을 미칠 것이라고 판단하여 취득한 자료의 종류는 Table 1과 같다. 여기서 본선과의 설계속도 차는 연결로의 설계속도와 본선의 설계속도와의 차이를 뜻하며, 종단경사는 연결로의 전체의 평균적인 종단면 방향의 경사를 의미한다. 가감속차로의 길이는 본선에서 연결로, 또는 연결로에서 본선으

로 합류 또는 분류 시에 존재하는 변속차로의 길이로 변이구간의 기점과 노즈부까지의 길이로 측정한다. 곡선 길이는 연결로 전체의 길이를 뜻하며 곡선반경은 연결로가 그리는 호의 반지름을 의미한다. 교통량은 TCS O/D 자료와 TransCAD를 활용해 취득한 연평균일교통량(Annual Average Daily Traffic: AADT)을 의미한다.

중속변수인 사고심각도를 구하기 위해 대물피해환산법(Equivalent Property Damage Only: EPDO)을 이용하여 등급 별 교통사고 건수를 사고심각도로 환산하였다. 본 연구에서 사용한 대물피해환산법에 따른 사고심각도 계산법은 Eq. (5)와 같다(임선호, 2009).

$$EPDO = \text{사망사고 수} \times 12 + \text{부상사고 수} \times 3 + \text{물피사고 수} \quad (5)$$

본 연구에서 분석된 교통사고의 자료는 한국도로공사의 교통사고속보자료를 이용하였다. 교통사고속보자료에서는 교통사고의 심각도를 A, B, C, D급 사고로 각각 구분하고 있다. A급 사고는 사망 3명 이상 또는 부상 20명 이상 또는 피해액 1천만원 이상이 기준이며 B급 사고는 사망 1명 이상 또는 부상 5명 이상 또는 피해액 250만원 이상, C급 사고는 부상 1명 이상 또는 피해액 30만원 이상이 기준이다. 여기서 A급 사고는 사망사고, B, C급 사고는 부상사고, D급 사고는 물피사고로 각각 적용하여 각 교통사고 별 심각도를 계산하였다.

4. 교통사고 심각도 예측모형 개발 및 검증

4.1. 설명변수의 선정

4.1.1. 상관관계 분석

각 연결로 별로 수집된 자료는 유입 연결로와 유출 연결로가 각각 57개씩이었다. 이 중 52개의 연결로를 통

Table 1. Independent Variables for Predicting Accident Severity

Types	Independent Variables							
Names	Ramp Types	Design Speeds of Ramps (km/h)	Deviation of Design Speeds (km/h)	Grade (%)	Length of Acc./Dec. Lanes(m)	Length of Curve (m)	Radius ¹⁾ (m)	AADT (veh./day)
Maximum value	-	60.0	60.0	6.7	800.0	1,026.0	414.0	19,511
Minimum value	-	40.0	40.0	-5.9	80.0	175.0	40.0	734
Average	-	47.5	56.1	0.3	280.0	375.7	157.9	6,503
Standard deviation	-	4.8	9.0	3.8	127.2	127.3	92.7	464

Note ¹⁾ Among the three types of ramps, the semi-direct and loop ramps include at least two curves so that the values under the column of Radius means the smaller one out of all radius included in the semi-direct and loop ramps.

해 교통사고 심각도 예측모형을 구축하였으며 나머지 5개의 연결로는 구축된 교통사고 심각도 예측모형을 검증하는데 이용하였다.

상관관계분석은 통계분석 프로그램인 SPSS로 실행하였으며 신뢰수준 90% 수준에서 이루어졌다. 유입 연결로와 유출 연결로에서의 교통사고 심각도와 각 설명변수들 간의 상관관계는 Table 2와 같다.

먼저 유입 연결로에서의 사고심각도와 설명변수들 간의 상관관계를 살펴보면 교통량을 제외하고는 다른 변수들 모두 상관관계가 0.3 이하로 낮게 도출되었으며 유의확률도 신뢰수준을 만족시키지 못하였다. 이러한 결과는 유출 연결로에서도 나타났는데 이는 상관관계 분석은 선형관계에 가까울수록 높은 값을 갖기 때문인 것으로 판단된다. 교통량을 제외한 나머지 변수들이 상관관계 분석에서는 유효하지 않게 분석되었으나 선형관계가 아니라 비선형관계를 가질 수 있기 때문에 누락시키지 않고 모두 분석에 적용하였다.

이러한 상관관계 분석을 통해 유의한 변수를 도출하는 방법은 비선형회귀모형에 적용하는 데 한계가 있는 것으로 판단된다. 이와 같은 문제를 극복하기 위해 Hauer(2004)가 제안한 사고예측모형을 고려해 볼 필요가 있다고 생각한다. 이 방법에 대해 한상진 등(2008)이 자세하게 설명하고 있다. 한상진 등(2008)에 따르면, 차로수, 편경사와 같이 구간 전체에서 연속적으로 영향을 주는 변수들은 곱의 함수 형태로 모형의 구조를 구축한 후 모형식을 도출하게 된다. 교량 혹은 합류지점의 수와 같이 점의 형태로 영향을 주는 변수들은 합의 함수형태로 모형의 구조를 설정한 후 모형식을 산출하게 된다. 또한 변수 선택의 경우, 전체 모형식에 가장 영향을 많이 미치는 변수인 종속변수를 먼저 선정한다. 그리고 설명변수를 선정하는 데, 새로운 변수를 추가하는 것이 모형의 설명력을 높일 수 있는지를 판단하여 해

당 설명변수의 추가 여부를 결정한다. 모형식에 새로운 변수가 추가될 때마다 모형식의 계수는 최우추정법(maximum likelihood estimation)을 이용하여 재추정 되어져야 한다. 모형 적합도 검토는 일반적인 우도비를 사용하지 않고, CURE(CUMulative REsiduals)를 사용한다. CURE는 변수값의 증가에 따라 누적 잔차(실제사고건수와 추정사고건수의 차이)를 계산한 것이다. 모형의 적합도가 좋으면 CURE는 숫자 0 사이를 진동하고, 그렇지 않으면 0으로부터 발산하게 된다. Hauer(2004)가 제안한 교통사고예측모형 변수 선정방법론의 장점은 여러 설명변수 중 어떤 변수가 모형에 도입되어야 하는 지를 결정할 때 유의미한 변수를 탈락시키는 경우를 줄일 수 있다. 하지만, 모형식의 산정이나 적합도의 판단 등의 과정이 설명변수 추가할 때마다 반복적으로 이루어지기 때문에 복잡하고 다소 시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

4.1.2. 다중공선성분석

회귀분석 시 설명변수들 간의 높은 상관관계로 인해 설명변수에 대한 설명력이 겹치는 문제가 발생하는 데 이를 다중공선성이라고 한다. 따라서 회귀분석을 수행하기 위해 다중공선성 존재여부의 판단이 필요하며, 이를 위해 분산팽창인자(Variance Inflation Factor: VIF)와 허용치(tolerance limit)를 이용하고 있다(서혜선 등, 2009).

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (6)$$

여기서,

VIF_i : i 번째 설명변수에 대한 분산팽창인자
(Variance Inflation Factor)

$1 - R_i^2$: 공차한계 또는 허용치(tolerance)

Table 2. Correlation of Accident Severity and Independent Variables in On- and Off-Ramps

Types		Ramp Types	Design Speeds of Ramps	Deviation of Design Speeds	Grade	Length of Acc./Dec. Lanes	Length of Curve	Radius	AADT
On-Ramps	Pearson correlation coefficient	0.277	0.067	0.102	-0.048	0.075	0.038	0.038	0.325
	p-values	0.037	0.622	0.452	0.724	0.580	0.780	0.797	0.014
Off-Ramps	Pearson correlation coefficient	0.037	0.208	-0.173	0.074	-0.150	0.085	0.032	0.386
	p-values	0.787	0.120	0.199	0.582	0.267	0.530	0.815	0.003

R_i : i 번째 설명변수와 종속변수에 대한 상관계수

Eq. (6)에서는 i 번째 설명변수가 나머지 설명변수들과 상관관계가 없다($R_i^2=0$)면 VIF_i 와 공차한계는 1이 되고, i 번째 설명변수가 나머지 설명변수들과 상관관계가 있다($R_i^2=1$)면 $VIF_i=\infty$ 이고 허용치는 0이 될 것이다. 또한, 일반적으로 가장 큰 VIF_i 값이 10을 넘으면 다중공선성의 존재를 의심하게 된다. 따라서 n 개의 공차한계 중에서 가장 작은 값이 0.1 이하일 때도 다중공선성이 있다고 판단한다.

유입 연결로와 유출 연결로에서의 사고심각도에 대한 설명변수들 간의 다중공선성분석 결과는 Table 3과 같다.

다중공선성분석 결과 유입 연결로와 유출 연결로 모두 공차한계가 0.1 이하인 변수가 없고 VIF 또한 10을 넘는 변수가 없어서 다중공선성이 존재하는 설명변수는 없는 것으로 판단된다.

4.2. 교통사고 심각도 예측모형 개발

포아송회귀모형과 음이항회귀모형 중 사고심각도 모형에 적합한 모형을 찾기 위해 과분산계수를 계산하였다. 유입 연결로와 유출 연결로의 교통사고 심각도에 대한 과분산계수는 각각 3.10과 2.06으로 포아송회귀모형

보다는 음이항회귀모형이 더 적합한 것으로 판명되었다.

음이항회귀모형 구축에는 통계소프트웨어인 LIMDEP이 사용되었으며 최종변수의 선정은 후진(backward)방법에 의해 이루어졌다. 후진방법은 모든 변수를 적용하여 모형을 구축한 뒤 통계적으로 유효하지 않은 변수들을 하나씩 제거해 나가면서 유의한 변수들만이 남을 때까지 제거해 나가는 방식이다. 음이항회귀모형을 이용해 도출된 모형의 결과는 다음과 같으며 신뢰수준은 90%에서 이루어졌다. 또한 Eq. (7)과 Eq. (8)에서 보인 바와 같이 분석의 용이함을 위해 설계속도, 곡선길이, 교통량 등 세 변수의 규모(scale)를 조절한 후 모형식에 적용하였다.

• 유입 연결로

$$Y = \exp(-7.409 + 1.396 \times x_1 + 1.484 \times x_2 - 0.093 \times x_3 - 0.367 \times x_4 + 0.096 \times x_5) \quad (7)$$

여기서,

- x_1 : 연결로유형(1,2,3)
- x_2 : 설계속도/10
- x_3 : 종단경사
- x_4 : 곡선길이/100
- x_5 : 교통량/100

Table 3. Muticollinearity of Accident Severity and Independent Variables in on- and off-Ramps

Types		Ramp Types	Design Speeds of Ramps	Deviation of Design Speeds	Grade	Length of Acc./Dec. Lanes	Length of Curve	Radius	AADT
On-Ramps	Tolerance limit	0.592	0.465	0.661	0.814	0.838	0.714	0.665	0.878
	VIF	1.689	2.149	1.512	1.229	1.193	1.400	1.505	1.139
Off-Ramps	Tolerance limit	0.325	0.346	0.604	0.856	0.928	0.650	0.553	0.772
	VIF	3.080	2.889	1.655	1.169	1.078	1.539	1.808	1.295

Table 4. Prediction Models for the Severity of Traffic Accidents on Expressway On-Ramps

Types	Constant	Ramp Type	Ramp Design Speed	Grade	Length of Curve	AADT
Coefficient	-7.409	1.396	1.484	-0.093	-0.367	0.096
P-value	0.006	0.000	0.004	0.068	0.075	0.018
ρ^2	0.432					

Table 5. Prediction Models for the Severity of Traffic Accidents on Expressway Off-Ramps

Types	Constant	Ramp Type	Ramp Design Speed	Length of Acc./Dec. Lanes	Length of Curve	AADT
Coefficient	-4.280	0.882	1.160	-0.396	-0.215	0.134
P-value	0.112	0.001	0.021	0.017	0.080	0.000
ρ^2	0.388					

- 유출 연결로

$$Y = \exp(-4.280 + 0.882 \times x_1 + 1.160 \times x_2 - 0.396 \times x_3 - 0.215 \times x_4 + 0.134 \times x_5) \quad (8)$$

여기서,

- x_1 : 연결로유형(1,2,3) x_2 : 설계속도/10
- x_3 : 감속차로/100 x_4 : 곡선길이/100
- x_5 : 교통량/100

모형을 살펴보면 유입 연결로의 교통사고 심각도 예측모형과 유출 연결로의 교통사고 심각도 예측모형에서 공통으로 유의한 변수는 연결로 유형, 설계속도, 곡선길이, 교통량이다. 연결로 유형은 직결형보다는 준직결형이, 준직결형보다는 루프형의 사고심각도가 더 높은 것으로 분석되었다. 설계속도가 증가할수록 교통사고 심각도가 높아지는 것으로 도출되었으며 마찬가지로 교통량도 증가할수록 교통사고 심각도가 증가하는 것으로 분석되었다. 곡선길이는 길이가 증가할수록 오히려 사고는 감소하는 것으로 분석되었다.

네 가지 변수 이외에도 유입 연결로의 교통사고 심각도 예측모형에서는 종단경사가 교통사고 심각도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 종단경사가 증가할수록 교통사고 심각도는 작아졌는데 이는 내리막 경사일수록 교통사고 심각도가 더 높아져 종단경사의 계수의 부호가 (-)인 것으로 생각된다.

유입 연결로의 교통사고 심각도 예측모형은 감속차로가 유의한 변수로 선정되었으며, 감속차로의 길이가 증가할수록 교통사고의 심각도는 작아지는 것으로 분석되었다.

모형의 적합도를 평가하는 우도비(ρ^2)는 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높다고 평가하며 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합도를 가진다고 볼 수 있다(Ben-Akiva and Lerman, 1985; 하오근 등, 2008). 유입 연결로 모형과 유출 연결로 모형의 우도비는 각각 0.432와 0.388로 모형의 적합도가 충분히 높은 것으로 판단된다.

4.3. 개발된 모형 검증

자료를 구할 수 있었던 연결로는 유입 연결로와 유출 연결로가 각각 57개씩이었으며 이 중 임의로 5개의 연결로를 추출하여 교통사고 심각도 예측모형 구축에 포함시키지 않고 추후 검증에 사용하였다. 연결로 5개의

목록과 교통사고 심각도 예측모형의 검증 결과는 Table 6 및 7과 같다.

Table 6. Validation of Prediction Models for On-Ramps

Interchange Names	Actual Accident Severity	Predicted Accident Severity	Error Rate
Songak	5	2.7	45.4%
Chungju	6	4.7	21.2%
South Yangsan	3	1.8	40.0%
Sintanjin	4	3.7	7.4%
North Suwon	21	12.9	38.4%

Note: Error rate = |(actual accident severity - predicted accident severity) / actual accident severity| × 10

Table 7. Validation of Prediction Models for Off-Ramps

Interchange Names	Actual Accident Severity	Predicted Accident Severity	Error Rate
Cheongwon	14	6.5	53.8%
Panam	5	5.6	11.3%
North Daejeon	10	6.8	31.5%
Cheongju	4	4.2	6.5%
Songak	23	11.4	50.6%

Note: Error rate = |(actual accident severity - predicted accident severity) / actual accident severity| × 100

검증 결과 유입 연결로에 대한 오차율의 평균은 30.5%, 유출 연결로에 대한 오차율은 30.8%로 유입 연결로와 유출 연결로의 모형 신뢰성이 비슷한 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 고속도로 연결로의 교통사고 심각도에 있어서 유출 연결로와 유입 연결로에 미치는 특성이 다를 것으로 생각하여 그 차이를 알아보고 각각의 교통사고 심각도 예측모형을 수립하고자 하였다. 이를 위하여 전국의 공용 중인 고속도로의 연결로 중 기하구조를 얻을 수 있는 연결로에 대해 도로설계요소를 수집하고 2007년~2010년의 교통사고자료를 수집하였다. 교통사고자료를 EPDO를 이용해 교통사고 심각도로 변환하여 종속변수로 적용하였고 각종 도로설계요소(기하구조 요소)와 교통량을 설명변수로 적용하였다. 교통사고 심각도에 대한 예측모형을 구축하기 위해 음이항회귀모형을 적용하여 유입 연결로와 유출 연결로에 대해 각각 교통

사고 심각도 예측모형을 수립하였다. 교통사고 심각도 예측모형에 공통으로 유의한 변수는 연결유형과 설계속도, 곡선길이, 교통량이었으며 이외에 유입 연결로는 중단경사, 유출 연결로는 감속차로길이가 유의한 변수로 도출되어 두 유형의 교통사고 심각도에 미치는 영향요인이 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 구축된 모형의 예측력을 검증하기 위해 사고예측모형에 포함되지 않은 연결로를 이용해 실제 교통사고 심각도와 예측된 교통사고 심각도를 비교해 보았으며 평균 오차율이 각각 30.5%와 30.8%로 두 모형의 예측력이 비슷한 것으로 분석되었다.

본 연구의 한계점은 교통사고 심각도 모형 구축에 충분히 많은 연결로의 수를 반영하지 못하였다는 점이다. 전국의 공용 중인 고속도로를 대상으로 하였으나 기하구조 자료와 교통량을 취득할 수 있는 연결로만 분석대상에 포함되었기 때문에 그 수가 한정되었다. 또한 교통사고에 영향을 미치는 요소 중 기하구조적인 특성만을 반영하고 운전자 특성 및 환경적인 특성이 누락되어 있기 때문에 이러한 부분에서 한계를 갖는다. 후에 좀 더 많은 연결로를 포함하고 운전자 및 환경적인 특성을 반영하여 모형을 구축한다면 좀 더 신뢰성 높은 모형을 구축할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029451, 2012R1A1A1044620).

References

- National Police Agency, 2011. *Traffic Accident Statistics (Year 2010)*, Seoul, Korea.
- (경찰청, 2011. 2010년 교통사고통계, 경찰청, 서울, 대한민국)
- Kim, B. 2008. *The Study on Discriminant Model of Traffic Accidents at the Interchange of Freeway*, Master's Thesis, Ajou University, Suwon, Korea.
- (김봉곤, 2008. 고속도로 유출·입부의 교통사고 판별모형에 관한 연구, 석사학위논문, 아주대학교, 수원, 대한민국)
- Kim, S., Choi, J., Kim, S., Kim, M., Lee, D. 2011. The Study on the Accident Injury Severity Using Ordered Probit Model at Multi-Lane Highway, *Conference of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 2011, No. 3, pp.77-84
- (김성민, 최재성, 김상엽, 김명규, 이대성, 2011. 순서형 프로빗 모형을 이용한 다차로도로 사고심각도 분석, 한국도로학회 학술발표회 논문집, 2011년 제3호, pp.77-84)
- No, C., Park, J., Son, B., 2008. A Study of Accident Models for Highway Interchange Ramps, *Journal of Korean society of Transportation*, Vol. 26, No. 4, pp.29-40
- (노창균, 박종서, 손봉수, 2008. 고속도로 연결로의 교통사고 추정모형, 대한교통학회지, 제26권 제4호, pp.29-40)
- Park, H. 2007. *Development of Accident Prediction Models on Freeway Interchange Ramps*, Master's Thesis, Yonsei University, Seoul, Korea.
- (박효신, 2007. 고속도로 인터체인지 연결로에서의 교통사고 예측모형 개발, 석사학위논문. 연세대학교, 서울, 대한민국)
- Seong, N., 2002. The Development of Traffic Crash Prediction Models at Freeway Interchanges, *Journal of Civil Engineering*, Vol. 22, No. 4-D, pp.617-625.
- (성낙문, 2002. 고속도로 인터체인지에서 교통사고 예측모델의 개발, 대한토목학회지, 제22권, 제4-D호, 617~625)
- Seo, H., 2009, *Regression Analysis*, 3rd Ed., Hannarea Academy, Seoul, Korea.
- (서혜선, 2009. 회귀분석 제3판, 한나레아카데미, 서울, 대한민국)
- Yun, B., Oh, Y., Lee, S., Ji, D., 2006, A Study on The Characteristics of Traffic Accidents on Trumpet IC Ramp, *Journal of Korean society of Transportation*, Vol. 24, No. 7, pp.41-51
- (윤병조, 오영태, 이승환, 지동한, 2006. 트럼펫IC형식 연결로 교통사고 특성분석에 관한 연구, 대한교통학회지, 제24권, 제7호, pp.41-51)
- Lee, D., Kim, Y., Seong, N., Kim, D., 2008. Development of Severity Model for Rural Unsignalized Intersection Crashes, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 10, No. 3, pp.47-56.
- (이동민, 김응철, 성낙문, 김도훈, 2008. 지방부 비신호 교차로 교통사고 심각도 예측모형 개발, 한국도로학회 논문집, 제10권, 제3호, pp.47-56)
- Lee, S., Won, J., Ha, O., 2008. A Study on the Development of a Traffic Accident Ratio Model in Foggy Areas, *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 23, No. 6, pp.171-177
- (이수일, 원제무, 하오근, 2008. 안개지역의 교통사고심각도 모형 개발에 관한 연구, 한국안전학회지, 제23권, 제6호, pp.171-177)
- Yim, S., 2009. *Factors affecting traffic accident occurrence rate*, Ph.D. Dissertation, Mokwon university, Daejeon, Korea.
- (임선호, 2009. 교통사고율에 영향을 미치는 요인분석, 박사학위논문. 목원대학교, 대전, 대한민국)
- Lee, H., Kum, K., Son, S., 2011. A study on the factor analysis by grade for highway traffic accident, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 13, No. 3, pp.157-165.
- (이혜령, 금기정, 손승녀, 2011. 고속도로 교통사고 심각도 등급별 요인분석에 관한 연구, 한국도로학회 논문집, 제13권 제3호, pp.157-165)
- Jang, T., Park, H., 2010. Modeling Traffic Accident Characteristics and Severity Related to Drinking-Driving, *Journal of Korean Society of Civil Engineers D*, Vol. 30, No. 6, pp.577-585

- (장태연, 박현천, 2010. 음주교통사고 영향요인과 심각도 분석을 위한 모형설정, *대한토목학회논문집D*, 제30권 제6 D호, pp.577-585)
- JO, W., Lee, Y., 2007. The Study on the Accident Injury Severity Using Ordered Probit Model, *Conference of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*. Vol. 2007, No. 1, pp.149-155.
- (조원영, 이영인, 2007. 교차로 사고 심각도 분석-순서형 프로빗 모형을 이용하여, *한국ITS학회 학술대회*, 제1호, pp.149-155)
- Choi, J., 2003. *Development of the Traffic Accident Severity Prediction Model & its Application at Signaled Intersections*, Master's Thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
- (최재원, 2003. 신호교차로 교통사고심각도 예측모형개발 및 적용에 관한 연구. 석사학위논문. 한양대학교, 서울, 대한민국)
- Ha, O., Hu, E., Wom, J., 2008. A Development of Modes for Analyzing Traffic Accident Injury Severity for Signalized Intersections, *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 23, No. 2, pp.65-71
- (하오근, 허억, 원제무, 2008. 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고심각도 모형개발, *한국안전학회지*, 제23권 제2호, pp.65-71)
- Han, S., Kim, K., Oh, H., 2008. What goes problematic in the Existing Accident Prediction Models and How to Make it Better, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 10, No. 1, pp.19-29.
- (한상진, 김근정, 오훈미, 2008. 전통적 사고예측모형의 한계 및 개선방안 :Hauer 사고예측모형 소개 및 적용, *한국도로학회 논문집*, 제10권 1호, pp.19-29)
- Han, S., Park, B., 2011. Comparative Analysis of Traffic Accident Severity Based on the Ordered Logit Model in the Case of Cheongju, *Journal of Korea Planners Association*, Vol. 46, No. 2, pp.183-192
- 한수산, 박병호 (2011). "순서형 로짓모형을 이용한 사고 심각도 비교 분석", *대한국토·도시계획학회지*, 제46권 제2호, pp.183-192.
- Moshe Ben-Akiva, Steven Lerman(1985). *Discrete Choice Analysis : Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, Cambridge.
- Duncan, C. S., Khattak, A. J., and Council, F. M. (1998). "Applying the Ordered Probit Model to Injury Severity in Truck-Passenger Car Rear-End Collisions," *Transportation Research Record*, 1365, pp.63-71.
- Hauer, E.(2004). "Statistical Road Safety Modeling". *Transportation Research Record 1897*, TRB.
- Kockelman, K. M. and Kweon, Y. J. (2001). *Driver Injury Severity: An Application of Ordered Probit Model*, The University of Texas at Austin.
- Levine, D., Stephan, D. Krehbiel, T. and Berenson, M. (2011). *Statistics for Managers Using Microscopic Excel*, 6th edition, Prentice Hall.
- O' Donnell, C. J. and Connor, D. H. (1996). "Predicting The Severity of Motor Vehicle Accident Injuries Using Models of Ordered Multiple Choice," *Accident Analysis & Prevention*, Volume 28 No. 6, pp.739-753.
- Washington, S. P., Karlaftis, M. G., and Mannering, F. L. (2003), *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*, Chapman & Hall/CRC.
- Zajac, S. S. and Ivan, J. N. (2003). "Factors Influencing Injury Severity of Motor vehicle-Crossing Pedestrian Crashes In Rural Connecticut," *Accident Analysis & Prevention*, Volume 35 Issue 3, pp.369-379.
- (접수일 : 2012. 1. 6 / 심사일 : 2012. 1. 10 / 심사완료일 : 2012. 7. 23)