

야간 및 일출몰 시간대 교통안전에 영향을 미치는 고속도로 기하구조 특성분석

홍성민¹ · 김준기² · 오철^{3*}

¹ 한양대학교 교통공학과, ² 국토연구원 국토인프라연구본부, ³ 한양대학교 교통·물류공학과

Characteristics of Geometric Conditions Affecting Freeway Traffic Safety at Nighttime, Sunrise, and Sunset

HONG, Sungmin¹ · KIM, Joon-ki² · OH, Cheol^{3*}

¹ Department of Transportation Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

² National Infrastructure Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements, Gyeonggi 431-712, Korea

³ Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

Abstract

Driver's capability of identifying the change in freeway alignments and environments is one of important factors associated with traffic safety on freeways. In particular, driver's visibility and recognition capability are highly dependent on the altitude of the sun by sunset, sunrise, and nighttime. The purpose of this study is to identify the characteristics of geometric conditions affecting crash occurrences at sunset, sunrise, and nighttime. Poisson and negative binomial regressions were adopted to predict freeway crash frequency in this study. Freeway crash data during 2007~2010 were used for developing the crash frequency models. A set of variables representing the characteristics of geometric conditions were identified as significant ones affecting crash occurrences. The results of this study would be useful in deriving effective countermeasures for preventing traffic crashes that mainly occur at sunset, sunrise, and nighttime on freeways.

고속의 주행속도로 고속도로를 주행하는 운전자는 교통사고 예방을 위하여 일반도로 운전자와 비교하여 도로선형, 교통상황, 환경요인에 보다 신속하고 능동적으로 반응해야 한다. 특히 야간 및 일출몰 시간대에는 운전자의 도로선형 변화 인지 능력이 주간 보다 떨어질 수 있으므로, 이러한 시간대에 발생하는 교통사고와 도로기하구조 특성을 체계적으로 분석하고 대응방안을 도출 것은 고속도로 교통안전 제고를 위해 대단히 중요한 작업이다. 본 연구에서는 교통안전과 고속도로의 기하구조의 특성과의 관계를 주간과 야간으로 비교하여 분석하였다. 또한 일출 및 일몰과 같이 태양의 고도가 운전자의 전방 상황주시에 영향을 주는 환경에서 도로의 선형과 교통안전과의 관계를 추가로 분석하여 위험한 도로조건을 찾고자 하였다. 본 연구에서는 이를 위해 사고발생 시간대를 주간, 야간, 일출몰 3가지로 나누어 포아송회귀분석과 음이항회귀분석을 활용하여 고속도로 교통사고빈도 모형을 도출하였다. 분석대상 구간은 전국 고속도로 중 제한속도를 110km/h로 운영 중인 서해안선, 중부선, 중부내륙선으로 설정하였으며, 분석구간의 2007년~2010년 4년간 교통사고 자료를 활용하였다. 분석결과 시간대에 따라 교통사고에 영향을 미치는 요인들은 차이가 있는 것으로 나타났다. 본 연구결과는 고속도로 교통사고 예방을 위해 야간 및 일출몰 시간대에 운전자의 안전운전을 지원할 수 있는 다양한 대응방안을 수립하는데 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words

Accident Frequency Model, Traffic Accident, Traffic Safety, Negative Binomial Regression, Highway Geometric 사고빈도모형, 교통사고, 교통안전, 음이항회귀분석, 도로기하구조

*: Corresponding Author
cheolo@hanyang.ac.kr, Phone: +82-31-400-5158, Fax: +82-31-436-8147

1. 서론

교통사고에 영향을 미치는 요소들로는 인적요소, 차량요소, 도로요소들이 있으며, 이 요소들 간의 복합적인 관계에 의하여 교통사고가 발생한다. 인적요소는 연령, 성별, 운전경력, 학력, 수입 등과 같은 운전자관련 요소를 의미하며, 차량요소는 차종, 안전장치와 같은 차량의 기능과 관련된 요소를 의미한다. 마지막으로 도로요소는 도로설계요소와 도로환경요소로서 설계요소는 구배, 곡선반경, 차선평, 중앙분리대의 유형과 같은 요소이며, 환경요소는 기상, 포장상태, 교통상황과 같은 요소를 의미한다.

최근 4년(2007년~2010년) 동안의 전국 교통사고 추이를 살펴보면 전체 교통사고와 고속도로 교통사고 모두 약 7.2% 증가한 것으로 나타났다. 반면, 사망자수의 경우 전체 교통사고의 사망자수는 10.7% 감소하였으나, 고속도로 교통사고의 사망자수는 7.4% 감소하는데 그쳐 추가적인 교통안전 대책마련이 필요한 상황이다.¹⁾ 또한, 2008년~2010년의 고속도로 교통사고에 대하여 야간, 주간, 일출몰 시간대로 시간대를 나누어 조사한 결과, 야간 및 주간의 교통사고는 약 15%감소한 것으로 나타났다. 반면 일출몰 시간대의 교통사고는 약 8% 증가한 것으로 나타나 시간대에 따라 교통사고 특성이 다른 것으로 나타났다.²⁾ 이는 일출몰 시간대의 태양광의 시야 장애로 인한 운전자의 운전능력 저하 때문으로 판단된다.

따라서 본 연구의 목적은 운전자의 도로선형 및 주변 환경에 대한 인식능력이 다르게 나타날 수 있는 시간대인 야간 및 일출몰 시간대에 교통안전에 영향을 미치는 요인 도출을 위하여 도로기하구조, 교통량, 차종별 비율과 같은 교통류 특성 및 주변토지이용(도시부, 지방부)을 대상으로 주간 시간 고속도로 교통사고에 미치는 요인들을 도출하여 비교분석하는 것이다.

본 연구에서는 시간대에 따른 고속도로 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 도출하기 위하여 교통사고 빈도모형을 이용하였다. 분석구간은 전국 고속도로 중 제한속도가 110km/h로서 주행속도가 비교적 높게 나타나는 고속도로 서해안선, 중부선, 중부내륙선을 대상으로 설정하였다. 분석 자료는 2007년~2010년 고속도로 교

통사고 자료를 이용하여 시간대별 고속도로 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 도출하였다. 분석결과 야간 및 일출몰 시간의 교통사고에 영향을 미치는 요인은 주간의 교통사고에 영향을 미치는 요인과 차이가 있는 것으로 나타났다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 교통사고 모형의 종류 및 적용 연구사례에 대하여 고찰하였으며, 3장에서는 자료구축 및 변수설정과정에 대하여 기술하였다. 4장에서는 야간 및 일출몰 시간 고속도로 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 교통사고모형을 통하여 비교분석하였으며, 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론을 제시하였다.

II. 기존연구 고찰

본 연구에서는 교통사고 빈도모형을 적용하여 고속도로 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 도출하기 위하여 사고모형에 대한 이론적 고찰을 하였으며, 사고모형을 적용하여 기하구조와 교통사고와의 관계를 분석한 기존 연구를 고찰하였다.

1. 교통사고 빈도모형의 이론적 고찰

교통사고 빈도모형을 개발하는 이유는 도로교통 구성요소의 조합에 따른 교통사고 발생가능성을 평가 또는 예측하기 위함이다. 주로 교통사고 빈도모형은 단순선형 회귀식, 포아송 회귀식, 음이항 회귀식을 이용하고 있다. 단순선형회귀식은 사고발생에 영향을 미치는 요인들을 도출하는 가장 단순한 기법으로 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_i = ax_i + \epsilon_i \quad (1)$$

여기서, y_i : 구간 i에서 사고건수

x_i : 구간 i에서 사고요인

ϵ_i : 상수항

그러나 이 기법은 변수 값이 증가할수록 분산이 증가하여 선형회귀식의 일반 가정인 동분산성(Homoscedas-

1) 도로교통공단 교통사고통계자료

2) 고속도로 교통사고자료

tivity) 가정에 위배된다. 이는 변수의 유의수준에 변화를 주어 통계적 유의성을 떨어뜨리며, 특히 일정기간동안 사고가 발생하지 않았거나 낮은 사고 건수에 대하여 음의 예측 값을 나타나게 된다.

이러한 문제점으로 인하여 사고수를 이산적 확률변수 (Discrete Random Variable)로 해석하는 포아송회귀식(Poisson Regression)을 도입하였다. 포아송회귀식의 일반식은 식(2), 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(n_i) = \frac{\lambda_i^{n_i} \exp(-\lambda_i)}{n_i!} \quad (2)$$

여기서, $P(n_i)$: 사고 n 이 고속도로 지점 i 에서 사고가 발생할 확률
 λ_i : 평균 사고건수

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i) \quad (3)$$

여기서, X_i : 사고를 결정하는 고속도로 지점 i 의 도로 환경 등의 속성
 β : 추정된 계수

λ_i 형태의 계수 β 를 추정하기 위해서는 표준 최우추정법(Standard Maximum Likelihood Method)을 사용하며 이때 우도함수($L(\beta)$)는 식(4)와 같다.

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\exp(\beta X_i)] [\exp(\beta X_i)]^{n_i}}{n_i!} \quad (4)$$

그러나 이러한 포아송 회귀식은 분산과 평균이 같다는 기본 전제조건을 만족하여야 하나 그러한 경우는 거의 존재하지 않으며, 분산이 평균보다 클 경우 과분산(Overdispersion) 문제가 발생하게 된다. 따라서 이를 해결하기 위하여 분산이 평균보다 크다는 가정에서 출발하는 음이항회귀식(Negative Binomial Regression)을 사용하는 것이 바람직하다. 음이항 분포는 사고수(λ_i)항에 오차항(ϵ_i)이 포함되며 식(5)와 같다.

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i + \epsilon_i) \quad (5)$$

여기서, ϵ_i : 오차 항으로 평균이 1이고 분산이 α 인 감마분포로 가정

이 두 모형의 적용성을 판별하기 위하여 식(6)이 사용되며, α 가 0에 가까우면 포아송회귀식이 적합하며 0에 가깝지 않으면 음이항회귀식을 사용하는 것이 바람직하다.

$$Var[n_i] = E[n_i][1 + \alpha E[n_i]] \quad (6)$$

2. 기하구조와 교통사고와의 관계

이기영 외(1999)는 고속도로 상에 발생하는 버스사고의 영향을 분석하기 위하여 1998년 전국 고속도로 교통사고자료를 분석한 결과, 운전경력이 많을수록 곡선반경이 클수록 사고건수가 낮게 나타난다고 하였다. 또한 종단경사가 낮을수록 사고건수가 낮게 나타난다고 하였다. 강민욱 외(2002)는 단일곡선구간과 배향곡선구간에서의 사고건수의 분포를 가장 잘 설명하는 확률분포를 찾아 사고와 기하구조요인간의 연관성을 설명하였다. 호남고속도로의 1996년~2000년 사고 자료를 음이항분포를 이용하여 분석하였다. 분석결과 곡선반경이 클 경우 작을 경우보다 사고가 적게 발생하는 것으로 나타났으며 곡선구간의 길이가 짧고 그때의 편경사가 급하게 변하는 구간에서 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 김상엽 외(2009)는 서해안 고속도로 340.9km를 대상으로 2003년~2008년에 발생한 교통사고자료를 활용하여 음이항모형으로 각 변수간의 상관관계를 도출하였다. 또한 고속도로의 기하구조와 교통사고 자료 분석을 통해 기하구조와 사고와의 상관성을 분석하여 설계 안전성 평가방법론을 개발하였다. 분석을 위하여 서해안 고속도로의 2003년~2008년 사고 자료를 대상으로 분석하였으며, 평면선형의 경우 1km 이상의 긴 직선일 경우와 두 직선사이의 짧은 곡선이 있을 경우 사고에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 황경성 외(2010)는 기하구조와 사고와의 상관성을 분석하여 연속적인 도로선형에 대한 검토를 수행할 수 있는 방법론을 제시하였다. 분석대상은 2003년~2008년의 서해안 고속도로에서 발생한 사고를 대상으로 하였으며, 분석결과 곡선의 길이와 곡선반경은 커질수록 사고를 감소시키며, 직선부의 직선길이는 길어질수록 사고가 증가하는 것으로 분석되었다.

Mohamed A. et al.(2000)은 도로기하구조, 교통특성 간의 관계를 설명하는 수학적 모형을 개발하기 위하여 음이항회귀분석을 이용하여 연령 및 성별에 따른 사고관계 모형을 개발하였다. 모형 개발을 위하여 Central Florida의 SR50 도로를 대상으로 1992년~

1994년 자료를 활용하였으며, AADT가 가장 영향이 큰 변수로 도출되었다. *Ciro Caliendo et al.*(2007)은 기존 연구들이 지방부 다차로도로의 사고예측모형에 대한 연구가 부족하다고 판단하여 4차로의 중분대가 있는 이탈리아 자동차전용도로의 1999년~2003년 사고 자료를 활용하여 교통사고 예측모형을 도출하였다. 분석을 위하여 Negative Multinomial Distribution을 활용하였으며, 분석결과 시거, 노면마찰력, 종단구배, 직선의 길이, 1/곡선반경, AADT는 유의한 변수로 나타났으나, 시거, 마찰력, 경사길이는 유의하지 않은 것으로 분석되었다. *Said M. Easa et al.*(2009)은 3차원적으로 설계요소가 실질적인 안전을 기반으로 설계될 수 있도록 충돌 예측모형개발이 필요하다고 하였다. 이에 워싱턴 주의 지방부 2차로도로의 2002년~2004년 사고 자료를 활용하여 모형을 추정하였다. 분석모형으로 Zero-Inflated Poisson(ZIP) 모형을 이용하였으며, 평면곡선이 하나 또는 여러 개의 종단곡선과 겹쳐질 때의 곡률도가 가장 영향이 큰 변수로 분석되었다. *N. S. Venkataraman et al.*(2011)은 사고빈도분석을 위하여 임의의 변수를 이용한 음이항 모형을 제안하였다. 분석을 위하여 워싱턴 주의 간선도로를 대상으로 1999년~2007년 9년간의 교통사고 이력자료를 분석하였다. 음이항모형은 임의의 변수를 이용한 음이항모형은 변수의 상관관계, 일시적인 변수의 영향, 지역 간 영향을 통하여 산출되었다. 분석결과 평균일교통량의 로그값 및 지점 조명 비율은 임의의 변수에 기초된다는 것을 발견하였다.

3. 시간대와 교통사고의 관계

유두선 외(2008)는 주야간 교통사고 특성 및 사고모형 분석을 위하여 청주시의 4지 신호교차로를 대상으로 분석을 실시하였다. 주야간별 다중선형, 다중비선형 및 포아송과 음이항회귀모형을 개발하여 사고모형간의 차이를 비교분석하였다.

Sean T. Doherty et al.(1996)는 젊은 운전자들의 위험상황에 대하여 승객탑승 유무와 주야별 주중, 주말별 사고율을 비교하여 분석하였다. 1988년 온타리오 교육부의 자료를 이용하였으며, 분석결과 16-19세 운전자들은 20-24세, 25-59세 운전자보다 승객이 있을 때 야간의 주말에 사고율이 높은 것으로 나타났다. *Lenny M. G. et al.*(1997)는 교통사고 많은 유발 요인들 중 하나인 시간의 변화가 운전능력에 미치는 영향을 분석하

였다. 운전능력의 측정은 속도와 차량의 좌우 흔들림의 평균과 표준편차를 측정하였다. 분석결과 6시와 2시에 운전능력이 낮게 나타났으며 10시와 22시에는 운전능력이 향상되는 것으로 나타나 반응시간은 시간에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. *Ivan J. N. et al.*(2000)은 밀도, 토지이용 그리고 시간에 따른 빛의 상태에 따른 사고율 예측을 위하여 포아송 모형을 추정하였다. 17개의 지방부, 도시부도로를 대상으로 분석하였으며, 분석결과 사고율은 시간에 따라 그리고 빛의 상태에 따라 다른 것으로 설명하였다. *Akerstedt T. and Kecklund G.*(2001)은 운전자의 사상 위험과 관련하여 성별 및 연령별 위험성을 오즈비(Odds ratio)를 이용하여 제시하였다. 분석결과 젊은 운전자(18-24세)는 야간이 오전보다 위험한 것으로 나타났으며 고령 운전자(65세 이상)는 야간보다 오전이 위험한 것으로 나타났다. 또한 남성이 여성보다 야간운전에서 2배 위험한 것으로 나타났다. *Sullivan J. M. and Flannagan M. J.*(2002)은 목적인 3가지 시나리오에서 보행자 사망과 자동차 사고에서 빛의 밝기 수준이 미치는 영향 정도를 산출하였다. 분석결과 보행자사고는 야간시 주간보다 빛의 수준의 수준이 변함에 따라 더 크게 변하는 것으로 나타났다. 반면 차량단독 도로이탈 사고는 주야간 차이가 적은 것으로 나타났다. *David Arditi et al.*(2007)는 야간공사가 위험한 작업조건을 만들것으로 예상되어 주간 및 야간시간대의 고속도로 작업구간에서의 사고특성을 비교하였다. 분석은 Illinois 고속도로의 1996-2001년 작업구간에서 발생한 사고자료를 활용하였으며 기상 및 조명조건을 고려한 분석결과 야간공사가 주간보다 더 위험한 것으로 나타났다. *Sullivan J. M. and Flannagan M. J.*(2007)는 빛의 수준에 대한 영향을 결정하기 위하여 3가지 조명상황에 대하여 3가지 보행자 사고 시나리오를 설정하였다. 각 분석대상에서 발생한 사고를 대상으로 조사한 결과 안전성은 조명정도에 영향을 받는 것으로 나타났으며 고속도로에서 조명의 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. *Johansson O. et al.*(2009)는 야간 교통사고 위험에 대하여 하루 중 야간시간 중에 발생한 교통사고 건수, 하루 중 주간의 같은 시간동안 발생한 교통사고 건수, 야간시간에 주어진 시간동안 발생한 사고 건수, 주간시간에 주어진 시간동안 발생한 사고건수를 통한 오즈비(Odds ratio) 분석방법을 제시하였다. 분석구간은 노르웨이와 스웨덴, 네덜란드를 대상으로 하였으며, 야간 교통사고 위험성은 도시부에서 30%, 지방부에

서 약 50% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 도시부와 지방부가 혼재된 지역에서는 40%의 교통사고 위험성이 증가하는 것으로 나타났다. Griswold J. et al.(2011)는 야간이 보행자와 차량간의 노출시간이 적음에도 불구하고 전체 보행자 사고 중 60% 이상이 발생하는 것에 대하여 보행자사고에 영향을 미치는 많은 요인들 중 시간별, 요일별, 연중 시간에 대하여 분석하였다. 새로운 평가방법인 graphical cross-tabulation을 적용하였으며 분석결과 황혼과 야간시작 첫시간에 보행자 사망사고가 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다.

4. 기존연구와의 차별성

기존연구들을 고찰한 결과, 많은 기하구조와 교통사고의 관계에 대한 연구와 시간대별 교통사고의 관계에 대한 연구가 이루어졌다. 또한 기하구조와 교통사고 관계 연구는 평면선형, 중단선형과 같은 기하구조 요소와 전체 교통사고와의 관계를 분석한 연구가 대부분이었으며 시간대에 따른 교통사고는 운전자의 성별, 나이와 같은 운전자요인과 조명과 같은 시설과 교통사고와의 관계를 분석한 연구가 대부분이었다. 그러나 시간대에 따른 교통사고에 영향을 주는 기하구조 요인을 분석한 연구는 미비한 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 주간, 야간 및 일출몰 시간대별 교통사고에 영향을 미치는 기하구조 요인에 대하여 포아송 및 음이항 회귀분석을 통하여 도출하였다.

III. 자료구축

1. 분석범위

본 연구에서는 전국 고속도로 중 비교적 주행속도가 높을 것으로 예상되는 제한속도가 110km/h인 고속도로 서해안선, 중부선, 중부내륙선을 분석대상 노선으로 설정하였다. 대상 노선 중 중부선의 경우, 제한속도 100km/h 구간인 중부선의 대전통영선구간은 분석에서 제외하였다. 또한, 중부내륙선의 경우, 김천JC-현풍JC 구간은 2007년 12월에 운영을 시작하여 해당구간의 2007년은 분석에서 제외하였다. 분석대상구간을 정리하여 <Table 1>에 제시하였다.

본 연구에서는 한국도로공사의 교통사고등급의 A~D

<Table 1> The area to be studied

Name of Route	Study Area	Except
Seohaean	All	
Jungbu	Nami JC - Hanam JC	Daejeon-Tongyeong
Jungbu-naeryuk	All	Gimcheon JC-Hyeonpung JC (2007)

<Table 2> Classification according to crash severity

Level A	Level B	Level C	Level D
· More than 3 fatalities or 10 casualties or 20 injured	· More than 5 injured or 1 fatality	· More than 1 injured	· PDO

* PDO : Property Damage Only

등급의 2007년~2010년의 4년간 사고 자료를 대상으로 분석을 실시하였으며, 각 등급의 분류기준은 <Table 2>에 제시하였다. 또한 사고원인 중 차량요소와 관련된 사고 및 노면잡물, 무면허, 음주, 졸음과 같은 본 연구와 무관할 것으로 판단되는 사고원인들은 분석에서 제외하였다. 마지막으로 본 연구의 목적인 운전자의 환경인식 능력을 고려한 교통사고빈도모형을 개발하기 위하여 맑은 날씨에 발생한 사고만을 대상으로 하였으며 총 2,037건의 교통사고에 대하여 분석을 실시하였다.

2. 변수설정

본 연구에서는 시간대에 따른 고속도로 교통사고에 영향을 미치는 요인을 도출하기위하여 분석대상구간인 고속도로 서해안선, 중부선, 중부내륙선을 10km로 구분하였다. 분석을 위하여 도로구간들은 구분할 때는 각 구간들이 동질성을 갖도록 구분하여 분석하는 것이 일반적이나 기존연구(N. S. Venkataraman et al.(2011))에 의하면 토지이용과 같은 지역변수에 영향을 받는다고 나타났다. 이에 본 연구에서는 도로구간을 10km로 구분한 후, 토지이용, 차선수, 교통량, IC/JC 개수 및 형태 등을 변수로 고려하여 분석을 실시하였다.

종속변수를 최근 4년 동안 (2007~2010년) 분석구간에서 발생한 시간대별 교통사고건수로 설정하였으며, 교통사고에 영향을 미칠 것으로 예상되는 변수를 독립변수로서 <Table 3>과 같이 설정하였다. 그리고 각 변수들의 기술통계량을 <Table 4>에 제시하였다.

<Table 3> Variable setting

Variables	Mean	Unit	
I.V.	X ₁	AADT	Veh/day
	X ₂	Rate of light vehicles	%
	X ₃	Rate of light vehicles	%
	X ₄	Rate of heavy vehicles	%
	X ₅	Number of lanes	Count
	X ₆	Number of IC/JC	Count
	X ₇	Trumpet type IC	Count
	X ₈	IC/JC (except Trumpet type)	Count
	X ₉	Short tangent (~1,421m)	Count
	X ₁₀	Middle tangent (1,421~4,000m)	Count
	X ₁₁	Long tangent (4,000m~)	Count
	X ₁₂	Small radian curve (~4,000m)	Count
	X ₁₃	Middle radian curve (4,000~10,200m)	Count
	X ₁₄	Large radian curve (10,200m~)	Count
	X ₁₅	Transition curve	Count
	X ₁₆	Uninterrupted curve (Y(1)/N(0))	1 / 0
	X ₁₇	Crest vertical curve	Count
	X ₁₈	Sag vertical curve	Count
	X ₁₉	Horizontal+Crest vertical curve	Count
	X ₂₀	Horizontal+Sag vertical curve	Count
	X ₂₁	Land use (urban(1)/rural(0))	1 / 0
	X ₂₂	Number of tunnels	Count
D.V.	Y _D	Number of accidents (daytime)	Accident
	Y _N	Number of accidents (nighttime)	Accident
	Y _S	Number of accidents (Sunrise or Sunset)	Accident

I.V. : Independent variable
 D.V. : Dependent variable

본 연구에서는 종속변수인 태양의 위치를 고려한 시간대별 사고건수의 설정을 위하여 한국천문연구원에서 제공하는 월별 일출, 일몰, 남중 시간 및 시민박명 시간을 이용하였다. 일출은 해가 뜨는 시간이며, 일몰은 해가

지는 시간, 남중 시간은 해가 가장 높은 곳에 위치할 때의 시간을 의미한다. 시민박명 시간이란 해가 뜨지는 않았으나 전체적으로 밝아 밖에서 일을 할 수 있고, 신문의 활자를 읽을 수 있는 시간을 말한다. 이에 본 연구에서는 운전자에게 영향을 미칠 것으로 예상되는 태양의 각도를 고려하여 일출몰 시간을 “일출~남중시각의 1/3 지점과 일몰~남중시각의 2/3 지점”으로 정의하였다. 또한, 주간 시간은 “아침의 시민박명시간~저녁의 시민박명시간 중 일출몰 시간을 제외한 시간”으로 정의하였다. 마지막으로 야간 시간은 “저녁의 시민박명시간~익일 아침 시민박명시간”으로 정의하였다.

연평균일교통량(X₁) (AADT, Annual Average Daily Traffic)은 교통량정보제공시스템 (TMS, Traffic Monitoring System)의 고속도로 교통량 자료를 활용하였다. TMS에서 제공하는 AADT는 IC기반으로 되어 있어 본 연구에서는 비율을 이용하여 10km 구간의 AADT를 산출하였다. AADT는 데이터 분포는 Persaud, B. and Dzbik, L.(1993)의 논문에서 비선형함수 중 Power 함수가 적합하여 LOG를 취하는 것이 적합하다고 하였으나, 본 논문에서는 V. Shankar et al.(1997)의 논문에서와 같이 AADT가 어떤 분포를 가지고 있는지 모르기 때문에 Linear in parameter로 가정하여 분석하였다. 또한, 평면곡선 사이의 직선의 길이 (X₉, X₁₀, X₁₁)는 분석대상구간의 평면곡선사이의 직선을 군집분석을 통하여 3그룹으로 분류하였다. 군집분석 결과, 짧은 직선은 1,421m 이하, 중간 직선은 1,421~4,000m이하, 긴 직선은 4,000m 초과로 구분되었다. 곡선반경의 크기(X₁₂, X₁₃, X₁₄)도 군집분석을 통하여 3

<Table 4> Description of variables

Vari-ables	Sample Size	Min.	Max.	Mean	S.D.	85th%	15th%	Vari-ables	Sampl e Size	Min.	Max.	Mean	S.D.	85th%	15th%	
X ₁	281	8,687	140,357	39,593	26,475	58,280	16,369	X ₁₄	281	0	3	0.13	0.48	0	0	
X ₂		63%	95%	81%	6%	87%	75%	X ₁₅		0	8	2.25	2.04	4	0	
X ₃		4%	27%	15%	4%	19%	11%	X ₁₆		0	1	0.29	0.45	1	0	
X ₄		0%	12%	4%	2%	6%	2%	X ₁₇		1	15	4.15	2.28	5	2	
X ₅		2	4	2.84	0.91	4	2	X ₁₈		1	11	4.23	2.17	5	2	
X ₆		0	3	1.02	0.72	2	0	X ₁₉		0	9	1.95	1.67	3	0	
X ₇		0	3	0.81	0.54	1	0	X ₂₀		0	10	1.95	1.68	4	1	
X ₈		-1	2	0.21	0.55	1	0	X ₂₁		0	1	0.90	0.30	1	1	
X ₉		0	8	3.25	1.96	5	1	X ₂₂		0	5	0.67	1.11	2	0	
X ₁₀		0	3	1.30	0.92	2	0	Y _D		0	18	3.31	2.97	6	1	
X ₁₁		0	2	0.12	0.37	0	0	Y _N		0	14	2.54	2.08	5	1	
X ₁₂		0	9	3.77	1.97	6	2	Y _S		0	8	1.40	1.63	3	0	
X ₁₃		0	3	0.79	0.85	2	0						-			

등급으로 구분하였으며 작은 곡선반경은 4,000m이하, 중간 곡선반경은 4,000m~10,200m, 큰 곡선반경은 10,200m 초과하는 곡선으로 구분되었다. 연속된 곡선(X₁₆)이란 평면곡선사이에 직선 없이 곡선반경이 다른 평면곡선이 연속되는 경우로 정의 하였다. 또한, 토지이용을 고려하기 위하여 분석구간이 도시부도로인지 지방부도로인지를 구분하는 변수(X₂₁)를 적용하였다. 도시부고속도로의 기준을 위하여 TMS에 명시되어있는 교통량 측정지점의 인구를 조사하였다. 현재 지방자치단체법 제 7조에 의하면 도시의 기준은 인구 5만 명이상으로 규정하고 있으며, 본 연구에서도 조사지점의 인구수를 기준으로 5만 명 이하의 지역은 지방부, 5만 명 이상의 지역은 도시부로 정의하였다. 트럼펫형 IC는 분석대상구간의 전체 IC/JC 296개 중 79.7%로 나타나 트럼펫형 IC와 비트럼펫형 IC/JC로 구분하였다. 그 외의 변수들은 10km 내에 존재하는 기하구조 또는 시설의 개수로서 제시하였다.

IV. 분석

본 연구에서는 고속도로의 교통사고 빈도모형개발을 위하여 <Table 3>에서 제시한 변수들을 이용하여 분석을 실시하였다. 종속변수는 주간, 야간 및 일출몰 시간에 발생한 교통사고 사고건수로 설정하고 독립변수는 나머지 변수들을 설정하였으며 통계프로그램인 LIMDEP을 이용하여 포아송회귀분석과 음이항회귀분석을 통해 적합한 모형을 선택하여 모형을 도출하였다. 모형선택은 기존연구(Washington, S. P. et al.(2003))와 같이 사고건수와 분산이 같지 않을 경우, 과분산(Overdispersion)이 발생하며 파라미터 α(알파)가 0일 경우 음이항은 포아송으로 수렴하는 성질을 이용하였다. 즉, α(알파)값이 0이 아닐 경우, 음이항분포를 적용하였으며 0일 경우 포아송 분포를 적용하였다.

1. 주간 교통사고

변수간의 다중공선성의 문제가 있는 변수와 신뢰수준 90%에서 통계적으로 유의하지 않은 변수들을 제외한 주간시간대의 교통사고모형을 <Table 5>에 제시하였다.

모형의 해석결과, 과분산(Overdispersion)의 알파(α) 값이 0.16, 유의수준 0.00으로 0이 아닌 것으로 나타나 도출된 모형은 음이항분포를 따르는 것으로 나타났으며, 모형식을 식(7)에 제시하였다.

<Table 5> Traffic Accident Model (Daytime)

Variables		Poisson			Negative Binomial		
		Parameter	Standard error	P-value	Parameter	Standard error	P-value
X ₁	AADT	9.79E-06	1.12E-06	0.00	9.81E-06	1.56E-06	0.00
X ₆	Number of IC/JC	0.25	0.04	0.00	0.27	0.06	0.00
X ₁₆	Uninterrupted curve	0.23	0.07	0.00	0.19	0.09	0.04
X ₂₁	Land use	0.45	0.08	0.00	0.44	0.10	0.00
Over Dispersion		-			α (0.16)		0.00
Observation		281					
Log Likelihood		-602.5			-583.48		
Restricted Log Likelihood		-714.24			-714.24		
ρ ²		0.16			0.18		

$$Y_D = \exp(9.81 \times 10^{-6} X_1 + 0.27 X_6 + 0.19 X_{16} + 0.44 X_{21}) \quad (7)$$

분석결과, 지역변수(X₂₁)의 계수가 0.44로서, 교통사고에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 도시부도로에서 지방부도로보다 교통사고가 많이 발생하는 것으로 분석되었는데 이는 도시부도로가 지방부도로보다 교통량이 많아 차량 간 상충이 증가하여 교통사고가 많이 발생한 것으로 판단된다. 이와 같은 이유로 AADT(X₁)도 증가할수록 교통사고가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, IC/JC 개수(X₆)가 증가할수록 교통사고가 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 유출입 지점이 늘어날 경우 차선변경과 같은 차량 간 상충이 발생하여 교통사고 위험이 높아지기 때문으로 판단된다. 그리고 평면 선형의 변화와 교통사고의 관계를 볼 때 곡선반경이 다른 두 개의 곡선이 직선 없이 연속될 경우(X₁₆) 교통사고가 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 도출된 주간시간의 음이항 모형의 우도비가 0.18으로 비교적 좋은 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

2. 야간 교통사고

변수간의 다중공선성의 문제가 있는 변수와 신뢰수준 90%에서 통계적으로 유의하지 않은 변수들을 제외한 야간시간대의 교통사고모형을 <Table 6>에 제시하였다.

모형의 해석결과, 모형의 우도비는 0.11로 나타났으며 과분산(Overdispersion)의 알파(α) 값이 0.05, 유

의수준 0.147로 신뢰수준 90%에서 알파값이 0이라는 귀무가설을 채택하여 도출된 모형은 포아송분포를 따르는 것으로 나타났다. 모형식은 식(8)에 제시하였다.

$$Y_N = \exp(1.29 \times 10^{-5} X_1 - 0.17 X_{14} - 0.07 X_{15} + 0.24 X_{16} + 0.08 X_{19} + 0.06 X_{20} + 0.24 X_{21} - 0.07 X_{22}) \quad (8)$$

분석결과에 따르면 지역변수(X_{21})와 AADT(X_1)는 도시부도로에서, 교통량이 증가할수록 교통사고가 증가하는 것으로 나타났으며 이는 주간과 같이 교통량의 증가로 차량 간 상충이 증가하여 교통사고가 많이 발생한 것으로 판단된다. 또한, 곡선반경이 큰 평면곡선(X_{14}), 완화곡선의 개수(X_{15})는 교통사고와 음의 상관관계를 가지며, 직선의 삽입 없이 곡선반경이 다른 평면곡선이 연속될 경우(X_{16})는 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 또한 평면곡선과 종단곡선이 중첩된 복합선형(X_{19} , X_{20})은 교통사고와 양의 관계를 갖는 것으로 나타나 복합선형의 설치하는 도로의 계획 및 설계단계에서부터 지양하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 마지막으로 터널의 개수(X_{22})는 야간 교통사고와 음의 상

관관계를 가지고 있어 개수가 증가할수록 교통사고는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 주간과는 달리 야간에는 터널 내부의 조명이 운전자의 주변 인식능력 향상에 도움을 준 것으로 판단된다.

3. 일출몰 교통사고

변수간의 다중공선성의 문제가 있는 변수와 신뢰수준 90%에서 통계적으로 유의하지 않은 변수들을 제외한 일출몰 시간대의 교통사고모형을 <Table 7>에 제시하였다.

모형의 해석결과, 모형의 우도비는 0.15로 나타났으며 과분산(Overdispersion)의 알파(α) 값이 0.102, 유의수준 0.186로 신뢰수준 90%에서 알파값이 0이라는 귀무가설을 채택하여 도출된 모형은 포아송분포를 따르는 것으로 나타났다. 모형식은 식(9)에 제시하였다.

$$Y_S = \exp(1.43 \times 10^{-5} X_1 - 1.09 X_2 + 0.13 X_5 + 0.37 X_6 - 0.38 X_7 - 0.12 X_{15} + 0.24 X_{16} + 0.15 X_{20}) \quad (9)$$

<Table 6> Traffic Accident Model (Nighttime)

Variables		Poisson			Negative Binomial		
		Parameter	Standard error	P-value	Parameter	Standard error	P-value
X_1	AADT	1.29E-05	1.33E-06	0.00	1.29E-05	1.46E-06	0.00
X_{14}	Large radian curve	-0.17	0.09	0.08	-0.17	0.10	0.09
X_{15}	Transition curve	-0.07	0.03	0.01	-0.07	0.03	0.02
X_{16}	Uninterrupted curve	0.24	0.10	0.02	0.24	0.11	0.03
X_{19}	Horizontal +Crest	0.08	0.03	0.01	0.08	0.03	0.01
X_{20}	Horizontal +Sag	0.06	0.03	0.02	0.06	0.03	0.03
X_{21}	Land use	0.24	0.10	0.02	0.24	0.11	0.02
X_{22}	Number of tunnels	-0.07	0.04	0.08	-0.07	0.04	0.11
Over Dispersion		-			α (0.05)		0.147
Observation		281					
Log Likelihood		-516.12			-514.76		
Restricted Log Likelihood		-582.62			-582.62		
ρ^2		0.11			0.12		

<Table 7> Traffic Accident Model (Sunrise or Sunset)

Variables		Poisson			Negative Binomial		
		Parameter	Standard error	P-value	Parameter	Standard error	P-value
X_1	AADT	1.43E-05	1.87E-06	0.00	1.44E-05	2.09E-06	0.00
X_2	Rate of light vehicles	-1.09	0.22	0.00	-1.09	0.24	0.00
X_5	Number of lanes	0.13	0.05	0.02	0.13	0.06	0.03
X_6	Number of IC/JC	0.37	0.09	0.00	0.37	0.10	0.00
X_7	Trumpet type IC	-0.38	0.12	0.00	-0.37	0.13	0.00
X_{15}	Transition curve	-0.12	0.03	0.00	-0.12	0.04	0.00
X_{16}	Uninterrupted curve	0.24	0.13	0.07	0.23	0.14	0.10
X_{20}	Horizontal +Sag	0.15	0.04	0.00	0.14	0.04	0.00
Over Dispersion		-			α (0.102)		0.186
Observation		281					
Log Likelihood		-411.55			-410.42		
Restricted Log Likelihood		-484.47			-484.47		
ρ^2		0.15			0.15		

<Table 8> Geometric Factors Affecting Traffic Accidents at Nighttime, Daytime, Sunrise and Sunset

Variable		Y _D	Y _N	Y _S
		NB	Poisson	Poisson
X ₁	AADT	9.81E-06	1.29E-05	1.43E-05
X ₂	Rate of light vehicles			-1.09
X ₅	Number of lanes			0.13
X ₆	Number of IC/JC	0.27		0.37
X ₇	Trumpet type IC			-0.38
X ₁₄	Large radian curve		-0.17	
X ₁₅	Transition curve		-0.07	-0.12
X ₁₆	Uninterrupted curve	0.19	0.24	0.24
X ₁₉	Horizontal+Crest		0.08	
X ₂₀	Horizontal+Sag		0.06	0.15
X ₂₁	Land use	0.44	0.24	
X ₂₂	Number of tunnels		-0.07	

도출된 일출물 시 교통사고모형에 따르면 주간 및 야간과 같이 AADT(X₁)은 교통사고와 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났으며, 평면곡선이 연속적(X₁₆)으로 설치되어 있을 경우 사고가 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 또한, 차로수(X₅)가 많을수록 교통사고가 증가하는 것으로 나타났는데 이는 AADT와 같이 교통량의 증가로 인한 차량 간 상충이 증가했기 때문으로 판단된다. 그리고 소형차의 비율(X₂)이 증가할수록 교통사고가 감소하는 것으로 분석되었는데 이는 차종 간에 존재하는 차량 성능 및 제원의 차이가 줄어들 교통류의 동질성이 증가했기 때문인 것으로 판단된다. 트럼펫형 IC와 완화곡선이 증가할수록 교통사고가 감소하는 것으로 나타났다. 마지막으로 평면곡선이 연속(X₁₆)되거나 평면곡선과 오목중단곡선이 중첩될 경우(X₂₀), IC 및 JC의 개수(X₆)가 증가할수록 교통사고가 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구들을 통해 도출된 주간, 야간 및 일출물 시간 교통사고발생에 미치는 영향요인들을 <Table 8>에 제시하였다. 분석결과를 활용할 경우, 야간 및 일출물 시간에 영향을 미치는 요인의 개선방안을 통하여 고속도로 교통안전 증진을 기대할 수 있을 것이다.

분석결과 시간대에 따른 교통사고에 미치는 영향요인 중 공통적인 요인은 AADT, 연속된 평면곡선으로 나타났다. 야간 교통사고에 영향을 미치는 요인 중 교통사고와 양의 상관관계를 갖는 것으로 분석된 변수는 직선의 삼입 없이 연속된 평면곡선과 평면곡선, 오목 또는 볼록 중단곡선이 중첩되는 복합선형 그리고 도시부도로로 나타났다. 야간 교통안전 증진을 위하여 곡선반경이 서로

다른 곡선들을 연속으로 설치할 경우 교통사고 발생가능성이 높아지므로 설계단계에서는 곡선반경이 큰 곡선과 완화곡선을 우선시하여 설계하여야 한다. 반면 이미 설계가 완료되어 운영하고 있는 운영단계에서는 Positive Guidance 기법을 적용하여 곡선이 연속됨을 미리 경고하는 주의표지 설치 및 곡선부에서 운전자의 선형변화 인지를 지원해 주는 갈매기 표지와 조명의 효과적인 설치를 통해 교통사고 예방을 위한 노력이 필요할 것이다. 또한 평면선형 및 중단곡선이 중첩되는 복합선형의 설계를 피하고, 이미 설계된 도로에 대하여는 경사도 및 도로 선형에 대하여 운전자가 충분히 주의를 할 수 있도록 표지 및 노면표시를 통하여 경고하여야 할 것이다.

일출물 교통사고에 영향을 미치는 요인 중 교통사고와 양의 상관관계를 갖는 요인으로는 차로수, IC/JC 개수, 직선의 삼입없이 연속되는 평면곡선, 평면곡선과 오목중단곡선이 중첩될 경우로 나타났다. 분석결과를 활용하여 교통안전을 향상시키기 위해서는 화물차와 같은 중차량의 비율이 증가할 경우 교통류의 동질성 확보를 통한 안전증진을 위해 차로운영을 동적으로 수행할 수도 있다. 독일의 아우토반과 같이 일정수준 이상의 화물차가 유입되는 경우 화물차전용차로를 탄력적으로 운영하는 것이 좋은 사례일 것이다. 또한 터널의 개수의 경우, 야간 교통사고 감소에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 야간 시에는 급격한 조도의 변화가 없고 터널 내부조명으로 운전자의 시인성에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 반면 주간 및 일출물 시에는 태양광에 노출되어 터널의 입출구부에서 운전자가 조도의 급격한 변화에 적응하는데 어려움이 있기 때문에 판단된다. 교통안전 증진을 위하여 터널의 입출구부에 차광시설과 같은 조도 적응시설을 설치한다면 고속도로 사고 감소에 기여할 수 있을 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 고속도로 교통안전 증진을 위하여 교통사고 빈도모형개발을 통해 야간 및 일출물 시간대 교통안전에 영향을 미치는 기하구조 요인을 도출하였다. 분석대상구간은 제한속도 110km/h로 운영 중인 고속도로 서해안선, 중부선, 중부내륙선의 2007년~2010년 사고자료를 분석대상으로 설정하였다. 야간 및 일출물 시간대의 교통사고 빈도모형을 주간 교통사고 빈도모형과 비교를 통하여 분석을 진행하였으며, 태양에 의한 영

향을 고려하기 위하여 맑은 날 발생한 사고를 대상으로 하였다. 교통사고모형은 포아송과 음이항 회귀분석 중 적합한 모형을 찾아 분석하였다. 분석결과, 주간 교통사고는 음이항회귀식이 적절한 것으로 나타났으며, 야간과 일출몰 교통사고는 포아송회귀식이 적절한 것으로 나타났다.

모형을 통해 도출된 야간 및 일출몰 시간대에 따른 교통사고에 영향을 미치는 기하구조 요인은 야간에는 AADT, 큰 곡선반경의 개수, 완화곡선의 개수, 연속된 평면곡선, 평면곡선과 볼록종단곡선의 복합선형, 평면곡선과 오목종단곡선의 복합선형, 도시부도로 그리고 터널의 개수로 도출되었다. 그리고 일출몰 시 교통사고에 영향을 미치는 요인으로는 AADT, 소형차비율, 차로수, IC/JC 개수, 트럼펫형 IC 개수, 완화곡선의 개수, 연속된 평면곡선, 평면곡선과 오목종단곡선의 복합선형으로 도출되었다.

본 연구결과를 활용할 경우, 각 야간 및 일출몰 시간에 교통안전에 영향을 미치는 기하구조 요인들을 고려하여 교통사고와 양의 상관관계를 가진 요인들의 개선과 같은 교통안전전략 수립의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구결과를 실제로 활용할 시에는 경제성을 함께 고려하여 안전성과 경제성이 균형을 이루는 가장 효율적인 방안을 마련하여야 할 것이다.

본 연구를 발전시키기 위해서는 다음과 같은 연구가 필요할 것이다. 본 연구에서는 제한속도 110km/h인 고속도로를 대상으로 분석을 실시하였으나 110km/h 외에 100km/h 도로 및 자동차전용도로와의 비교를 통해 제한속도에 따른 영향요인을 비교할 수 있을 것이다. 또한, 본 연구에서는 트럼펫형 IC에서 사고가 감소하는 것으로 나타났으나, 트럼펫형 IC의 경우 안전과 효율성면에서 다른 형태의 인터체인지에 비해 상대적으로 약점이 많은 인터체인지로 도출된 결과에 대하여 추가적인 연구가 필요하다. 마지막으로 본 연구에서는 선정된 분석구간에 대하여 10km의 등간격으로 구분하여 분석을 하였으나 외부요인을 최소화하기 위하여 각 도로 구간의 특성을 동질성을 갖도록 구간을 분류한 후, 추가적인 분석이 가능할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029449).

REFERENCES

1. A. Baruya Transport Research Laboratory, U.K.(1998), "Speed-Accident Relationships on Different Kinds of European Roads".
2. Cho S. W., Kim B. S. and Han S. Y.(2007), "The Problems and Improvements of Trumpet Type Interchange", Korean Society of Road Engineering: Road, Vol.9, No.4, Korean Society of Road Engineers, pp.26-35.
3. Ciro Caliendo, Maurizio Guida, Alessandra Parisi(2007), "A crash-prediction model for multi-lane roads", Accident Analysis and Prevention 39 pp.657-670.
4. David Arditi, Dong-Eun Lee, Gul Polat (2007), "Fatal accidents in nighttime vs. daytime highway construction work zones", Journal of Safety Research, Vol.38, Issue 4. pp.399-405.
5. Hwang K. S., Choi J. S., Kim S. Y., Hoe T. Y., Cho W. B. and Kim Y. S.(2010), "Freeway Crash Frequency Model Development Based on the Road Section Segmentation by Using Vehicle Speeds", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.28, No.2, Korean Society of Transportation, pp.151-159.
6. John M. Sullivan, Michael J. Flannagan (2002), "The role of ambient light level in fatal crashes: inferences from daylight saving time transitions", Accident Analysis and Prevention, Vol.34, pp.487-498.
7. John M. Sullivan, Michael J. Flannagan (2007), "Determining the potential safety benefit of improved lighting in three pedestrian crash scenarios", Accident Analysis and Prevention, Vol.39, pp.638-647.
8. John N. Ivan, Chunyan Wang, Nelson R. Bernardo(2000), "Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure", Accident Analysis and Prevention Vol.32, pp.787-795.

9. Julia Griswold, Barak Fishbain, Simon Washington, David R. Ragland(2011), "Visual assessment of pedestrian crashes", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.43, pp.301-306.
10. Kang M. W., Do C. W. and Son B. S.(2002), "Fitting Distribution of Accident Frequency of Freeway Horizontal Curve Sections & Development of Negative Binomial Regression Models", *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.20, No.7, Korean Society of Transportation, pp.197-204.
11. Kim H. and Baik H.(2010), "Analysis of Highway Hazardous Area by Sun Glare Intensity Using GIS Simulation", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.13, No.4, pp.91-100.
12. Kim S., Choi J., Cho W., Hwang G., Heo T. and Kim Y.(2009), "Accident Modeling considering Characteristics of Highway Geometrics in the High-Standard Roads", 2009 Korean Society of Road Engineerings conference 11th, pp.351-358.
13. Lee K. Y., Lee Y. T. and Chang M. S.(1999), "The Application and Development of Accident Model on Freeways", The 36th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, pp.117-122.
14. Maycock, G., Brocklebank, P. J., Hall, R. D.(1998), "Road layout design standards and driver behaviour" TRL Report No.332. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.
15. Michael G. Lenny, Thomas J. Triggs, Jennifer R. Redman(1997), "Time of day Variations in Driving Performance", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.29, No.4, pp.431-437.
16. Mohamed A. Abdel-Aty, A. Essam Radwan (2000), "Modeling traffic accident occurrence and involvement", *Accident Analysis and Prevention* 32, pp.633-642.
17. N. S. Venkataraman, G. F. Ulfarsson, V. Shankar, J. Oh, M. Park(2011), "Model of Relationship Between Interstate Crash Occurrence and Geometrics: Exploratory Insights from Random Parameter Negative Binomial Approach", *Journal of the Transportation Research Board*, No.2236, pp.41-48.
18. Osten Johansson, Per OleWanvik, Rune Elvik(2009), "A new method for assessing the risk of accident associated with darkness", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.41, pp.809-815.
19. Park B. H., Han S. W. and Park J. S. (2007), "Comparative Analysis on the Characteristics and Models of Traffic Accidents by Time Range in the Case of Cheongju 4-legged Signalized Intersections", The 57th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, pp.339-347.
20. Persaud, B. and Dzbik, L.(1993), "Accident Prediction Models for Freeways", *Transportation Research Record* 1401, pp.55-60.
21. Quimby, A., Maycock, G., Palmer, C. and Buttress, S.(1999), "The factors that influence a driver's choice of speed: a questionnaire study", TRL Report No.325. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.
22. Said M. Easa, Qing Chong You(2009), "Collision Prediction Models for Three-Dimensional Two-Lane Highways: I. Horizontal Curves", TRB 2009 Annual Meeting.
23. Sean T. Doherty, Jean C. Andrey and Carolyn MacGregor(1996), "The situation risks of young drivers: The influence of passengers, time of day and day of week on

- accident rates”, Accident Analysis and Prevention, Vol.30, Issue 1, pp.45-52.
24. Torbjorn Akerstedt and Goran Kecklund (2001), “Age, gender and early mornig highway accidnets”, Journal of sleep research, Vol.10, pp.105-105.
25. V. Shankar, J. Milton and F. Mannering (1997), “Modeling accidnet frequencies as zero-altered probability processes: an empirical inquiry”, Accident analysis and prevention, Vol.29, No.6, pp.829-837.
26. Venkataraman Shankar, Fred Mannering and Woodrow Barfield(1995), “Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies”, Accident Analysis and Prevention Vol.27, Issue 3, pp.371-389.
27. Washington, S. P. Karlaftis, M. G. and Mannering, F. L.(2003), Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, Chapman and Hall/CRC.
28. Yoo D., Oh S., Kim T. and Park B.(2008), “Comparative Analysis on the Characteristics and Models of Traffic Accidents by Day and Nighttime in the Case of Cheongju 4-legged Signalized Intersections”, The KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.28, No.2D, pp.181-189.

✿ 주 작성자 : 홍성민
✿ 교신저자 : 오철
✿ 논문투고일 : 2012. 1. 10
✿ 논문심사일 : 2012. 2. 16 (1차)
 2012. 6. 6 (2차)
✿ 심사판정일 : 2012. 6. 6
✿ 반론접수기한 : 2012. 12. 31
✿ 3인 익명 심사필
✿ 1인 abstract 교정필