

Identifying the Effects of Jurisdiction-Related Characteristics on the Highway Safety of Vulnerable Users

Joong Gi Sung^{1#}, Do Gyeong Kim²⁺

¹ Transportation Committee, Seoul Metropolitan Council, 15 Deoksugung-gil, Jung-gu, Seoul, Korea

² Department of Transportation Engineering, University of Seoul, 163 Seoulsiripdaero, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

Abstract

The main objective of this study is to enhance highway safety among vulnerable users such as children and elderly people through the investigation of crash characteristics and travel behaviors affected by a rapid demographic change. Both a conventional linear regression model and a beta regression model were estimated with 11 independent variables. No variable was found to be significant by the conventional regression model at 95% significance level whereas seven variables turned out to be significant in the beta regression model, indicating that it is very important to consider the characteristics of a dependent variable in model estimation process. It is found that two explanatory variables were positively related with the ratio of crash occurrence while the other five variables were negatively associated.

Key words: vulnerable users, traffic crashes, beta regression model, elderly people, children

1. 문제제기

통계청 발표 자료에 따르면 2015년 우리나라 65세 이상 인구는 총 662만 400명으로 전체 인구의 13.1%를 차지하고 있으며, 급격한 고령화의 진행으로 2017년에는 고령사회(노인인구비율 14% 이상)의 진입을 전망하고 있다. 이에 반해 14세 이하 유소년 인구는 출산율 저하로 인해 급격한 감소추세를 나타내고 있어 인구구조 변화에 따른 교통안전 측면의 대책마련이 시급한 실정이다.

위와 같은 인구구조의 변화는 실제 교통사고 사상자 변화에도 영향을 미치고 있다. 최근 5년 간 발생한 교통사고 사상자에 대한 검토결과 <Figure 1>과 같이 2010년 357,963명에서 2014년 342,259명으로 감소하는 추세를 나타내고 있으나, 전체 사고에서 65세 이상 고령자와 14세 이하 어린이 차지하는 비율은 지속적인 증가 추세를 나타내고 있다¹⁾. 또한 OECD 회원국 간의 교통사고 현황비교에서도 65세 이상 고령자인구 10만 명당, 14세 이하 어린이 인구 10만 명당 교통사고 사망자수가 각각 22.3명(OECD 평균 8.9명), 1.3명(OECD 평균 1.1

[#] The 1st author: Joong Gi Sung, Tel. +82-2-3783-1851, Fax, +82-2-3783-1854, e-mail, sung738@daum.net

⁺ Corresponding author: Do Gyeong Kim, Tel. +82-2-6490-2826, Fax, +82-2-6490-2819, e-mail, dokkang@uos.ac.kr

1) 도로교통공단 교통사고분석시스템(TASS) 연령층별 교통사고 사상자 재구성(2010~2014년)

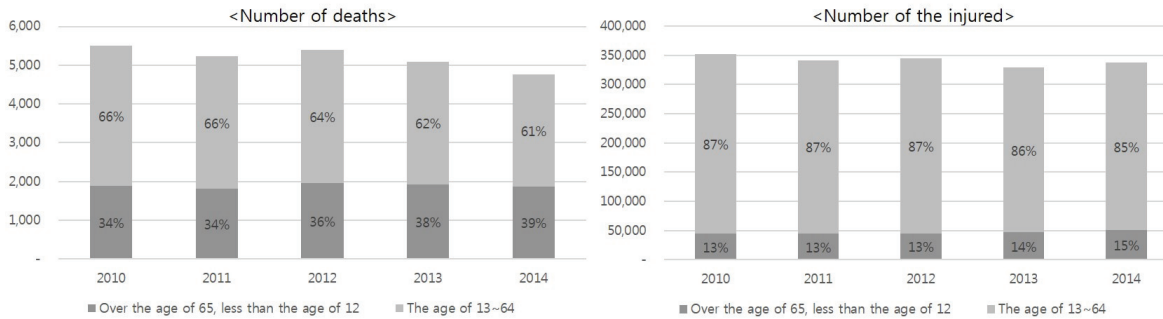


Figure 1. Trends in the number of deaths and injuries by years (2010-2014)

명)으로 다른 회원국에 비해 높은 수치를 나타내고 있어(Road Traffic Authority, 2014), 해당 연령대에 대한 사고감소 노력이 요구되고 있다.

우리나라의 경우 이와 같이 65세 이상 고령자와 13세 미만 어린이(이하 교통약자)의 교통안전성 확보를 위해 도로교통법 제12조와 제12조의2를 통하여 어린이보호구역과 노인 및 장애인 보호구역을 지정·관리하고 있으나 해당 연령대의 사고발생 비율은 여전히 답보상태를 나타내고 있어 보다 실효성 있는 대안마련이 요구되고 있다. 위와 같은 문제를 해결하기 위한 방안으로 최근 고령자 및 어린이 교통사고의 원인을 규명하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으나 대부분 미시적 관점에서의 사고원인 분석에 편중되어 행정구역 단위의 거시적인 사고원인 규명 및 대책마련에 어려움이 있는 실정이다.

본 연구는 위와 같이 지속적으로 증가하는 교통약자의 사고발생 특성을 행정구역의 속성과 연계하여 각각의 변수와 사고위험도 간의 상관관계를 규명함으로써 향후 자치단체별 교통안전 대책수립의 실효성을 증진시킬 목적으로 시행되었다. 연구 수행을 위한 시간적 범위는 교통사고 및 행정동 속성 데이터의 기준년도가 되는 2014년으로 한정하였으며, 공간적 범위는 각종 사회경제지표 등의 자료수집이 용이한 서울특별시 25개 자치구를 대상으로 설정하였다.

분석에 활용된 자료는 경찰청 교통사고 자료 및 도로교통법 위반 단속실적, 서울시 인구통계, 서울시 GIS, 교통문화지수 등을 통하여 수집하였다. 종속변수는 25개 자치구의 교통약자 사고발생비율로 설정하였으며, 독립변수는 자치구의 특성을 나타내는 인구수, 주거지

면적, 보호구역 지정비율, 운전행태, 단속건수 등의 11개 변수를 선정하였다. 분석을 위해 상용소프트웨어인 STATA 14 프로그램을 이용하여 선형회귀모형과 베타회귀모형을 예측하였다.

II. 이론적 고찰

1. 선행연구 검토

1) 사고모형 관련 기존연구 검토

교통사고모형에서 종속변수로 사용되는 교통사고건수는 0과 양의 정수 값만을 가지는 가산자료의 특성을 가지고 있다(Kim & Lee, 2013). 그렇기 때문에 통계적 사고모형으로는 Poisson 모형과 음이항회귀모형이 지금까지 가장 일반적으로 사용되고 있다(Abdel-Aty & Radwan, 2000; Kim, *et. al.*, 2006; Load, 2006; Savolainen & Tarko, 2005).

교통사고예측모형과 관련된 선행연구들 중 가장 많이 알려진 사고예측모형은 Smeed(1949)의 모형식이다. Smeed는 1938년 유럽 20개국 39년 동안의 통계자료를 기반으로 교통사고 사망자수를 자동차 보유수와 인구수에 비례하는 지수함수를 개발하여 교통사고 사망자수와 자동차보유대수, 인구수와의 상관관계를 규명하였다.

또한 이탈리아의 Trichopoulos(1972)는 유럽 17개국의 1970년 전체의 교통사고자료와 자동차 보유율, 도로밀도, 대도시 거주인구비율, 65세 이상 고령자 비율 등의 자료를 기반으로 10만인 당 사망자수를 종속변수

로 하는 다중회귀모형을 개발하였다. 분석결과 자동차 보유율과 도로밀도, (자가용+택시) 비율이 증가할수록 사고율은 증가하고 대도시 거주 인구비율과 청소년 및 노년층 인구비율이 많을수록 사고율이 감소한다는 연구결과를 도출하였다.

우리나라의 경우 Kim(1987)이 19개 공업 국가의 교통사고 데이터를 활용하여 다중회귀분석 모형을 개발하여 교통사고 사망자와 인구수가 밀접한 관계가 있음을 설명하였으며, 최근 Hong, *et. al.*(2015)의 연구를 통해 보다 미시적인 교통사고 예측모형이 개발되었다. 해당 연구에서는 기존의 시·군 단위 사고예측모형의 문제점을 지적하고 분석대상을 가장 작은 지역단위인 행정동 기준으로 구분하여 분석을 시행하였으며, 종속 변수를 교통사고 발생빈도(건)로, 독립변수를 도로 및 토지이용 변수(도로연장, 교차로개소수, 버스전용차로 설치율, 건축물 총 연장면적 등), 사회경제변수(인구, 종사자 및 취업자수, 수용학생수, 승용차 등록대수 등), 교통안전시설 및 정책변수(잔여시간표시기 및 음향신호기 설치율, 횡단보도예고표시 설치율, 과속방지턱 및 어린이보호구역 개소수, 도로교통법 위반 단속건수 등)로 구분하여 다중선형회귀모형을 통해 분석을 시행하였다. 분석결과 사고노출환경 측면에서는 도로연장, 건축물 총 연면적, 버스전용차로 설치율, 교차로 및 횡단보도 개소수, 횡단보도예고 설치율, 과속방지턱 개소수 및 경찰인력에 의한 단속실적 등이 사고발생과 관련이 있는 것으로 제시하고 있다.

2) 교통약자 관련 기존연구 검토

Oxley, *et. al.*(1997)은 멜버른 사고다발지점에서 관측한 비디오 영상을 바탕으로 노인 보행자와 일반 보행자 간 보행 특성 분석을 양방향 1차선 도로와 양방향 2차선 도로로 구분하여 분석하였다. 1차선 도로에 보행 횡단 시 평균 차간거리는 노인 보행자는 134.1m, 일반 보행자는 119.2m로 나타나 일반 보행자보다 노인 보행자가 교통 상황을 유의하며 횡단하는 것으로 분석되었다. 2차선 도로에 보행 횡단 시 평균 차간거리는 일반

보행자가 51.3m, 노인 보행자는 69.1m로 나타나 교통 상황이 상대적으로 덜 복잡한 1차선 도로보다 차간 거리가 짧은 것으로 분석되었다. 보행 횡단 시 평균 차간 거리는 노인 보행자가 길지만 신체 특성상 보행 횡단 속도가 느려 도로상에 머무는 시간이 더욱 긴 것으로 나타났으며, 이를 통해 노인 보행자의 교통사고 노출 위험도가 일반보행자에 비해 더 높다는 결론을 도출하였다. 또한 노인 보행 안전을 위해서는 접근 차량의 차간 거리 및 도착 시간이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되어 차량 운전자의 안전 운전 행태가 중요하다고 제시하고 있다.

Jordan(1998)은 1994년 필라델피아 경찰국에서 발표한 2,167건의 교통사고 중 879건의 어린이(5~18세) 교통사고를 바탕으로 분석을 실시한 결과, 대부분의 교통사고가 학교와 떨어진 통학로 상에서 하교 시간에 집으로 가는 도중에 발생한다는 결과를 도출하였다. 사고 유형은 무단 횡단, 신호 위반 등이 주된 이유로 분석되었으며, 어린이 교통안전 증진을 위해서는 어린이 교통안전 교육, 녹색 횡단 신호기의 설치, 불법 운전자에 대한 법적 제재 강화가 효과적일 것이라고 제시하였다.

Lim, *et. al.*(2006)은 고령보행자의 사망자/부상자 수를 예측하기 위해 종속변수를 보행자 사망자수와 보행자 부상자수로, 종속변수를 도로연장과 상업지 면적, 고령인구로 구분하여 회귀 분석을 실시하였으며, 분석 결과 고령보행자의 사망자와 부상자 수에 영향을 미치는 요인은 도로연장과 상업지 면적, 고령인구 등인 것으로 검토되었다.

Lee, *et. al.*(2012)의 연구에서는 고령자 집단과 비고령자 집단 간의 교통사고요인을 분석하였으며, 사고 심각도를 종속변수로 두고 사고유형적 특성, 운전자 특성, 기상적 특성, 도로시설적 특성 등 17개 독립변수를 정하여 순서형 로짓모형을 통해 분석을 시행하였다. 분석결과 사고유형적 특성에서 사고심각도가 가장 높은 변수는 고령자 집단은 차대차사고가 비고령자 집단에서는 물적 피해에 의한 사고로 나타났으며, 운전자 특성에서는 피해자가 보호장비를 착용하지 않은 상태에서 사고

심각도가 가장 높았다. 기상상태에 따라서는 고령자 집단은 흐린 날씨에 심각도가 더 높았으며, 도로 시설적 특성에서는 고령자 집단은 신호등이 설치되지 않은 지점 비고령자 집단은 차도 폭이 협소한 지역에서 사고심각도가 높게 나타났다. 위의 결과를 종합해 볼 때 고령자 집단은 시설에 민감하게 반응하였고, 비고령자 집단은 시설적인 부분보다는 개인의 성격이나 습관에 의해 사고심각도가 더 커진다는 결과를 도출하였다.

Park, *et. al.*(2012)은 어린이 보호구역의 안전성을 향상을 위해 현장조사와 초등학생을 대상으로 한 설문 조사를 통하여 위험 요인을 도출하였으며, 어린이 보호구역 관련 전문가의 델파이 기법을 통해 요인간 상관관계를 설정하여 ISM 구조화 모형을 통해 위험 요인을 분석하였다. 분석결과 간선도로의 경우 횡단 시 차량들의 정지행태 및 속도, 지구도로의 경우 보행로 주·정차로 인한 보행환경 대한 위험이 높은 것으로 분석되었다.

마지막으로 Lee & Lee(2014)는 서울시에서 발생한 어린이와 노인 보행자 교통사고 발생 분포와 근린환경 요소들과의 상관관계를 추정하여 보행안전을 위협하는 환경적 요인을 도출하였으며, 종속변수로는 어린이 및 노인 보행자 교통사고밀도로 선정하였고, 설명변수로 차량내부통행량, 보행자밀도, 어린이 및 노인 인구밀도, 용도혼합도, 교차로밀도, 도로면적 비율, 평균경사도, 버스정류장밀도, 지하철역밀도로 선정하여 최소자승기준 회귀모형을 사용해 어린이 및 노인 보행자 교통사고 밀도 공간회귀모형 결과를 도출하였다. 분석 결과 교차로밀도와 도로면적비율 등의 근린의 환경요인이 보행자 교통사고에 영향을 미치고 있음을 보여주었으며, 대중교통수단의 경우 보행증진과 자동차이용에는 긍정적 효과를 보이지만 교통약자 경우 버스정류장밀도와 지하철역밀도가 높을수록 사고발생이 증가하는 것으로 검토되었다.

2. 시사점 및 선행연구와의 차별성

사고모형의 개발과 관련한 선행연구 검토결과 일반적으로 교통사고와 그에 영향을 미치는 여러 요인들 간

의 상관관계를 규명하기 위해 선형회귀모형을 일반적으로 사용하는 것으로 나타났다. 또한 최근의 경우 대부분 미시적 관점에서의 분석이 이루어지고 있어 교통안전 정책수립을 위한 자료의 활용에 한계가 있는 것으로 나타났다. 교통약자와 관련한 연구의 경우 어린이 및 고령자의 보행안전 확보를 위한 다양한 연구가 진행되고 있으나 앞서와 마찬가지로 대부분 미시적 관점의 사고원인 규명에 초점을 맞춰 연구가 진행되었다는 점이 본 연구와의 차별성이라 할 수 있다. 또한 대부분의 연구에서 종속변수를 사고발생 건수로 규정하고 분석을 시행하기 때문에 상대적인 비교분석에 어려움이 있고, 종속변수 및 독립변수의 성질과 분석모형 등에서도 많은 차이가 있는 것으로 검토되었다.

사고모형과 관련한 연구는 분석에 사용되는 자료의 건실성과 분석 방법론의 적절성이 가장 중요한 요소이며, 같은 자료에 대해서 어떤 분석 방법, 즉 어떤 모형식을 사용하느냐에 따라 그 결과는 충분히 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 분석에 활용되는 종속변수인 교통약자교통사고비율 값이 0에서 1까지 나타낸다는 특성을 인지하고, 종속변수 특성에 따른 모형설정의 중요성 검증을 위해 일반선형회귀모형을 통해 나타난 결과와 베타회귀모형 통해 나타난 결과를 비교 분석하고자 한다.

III. 모형설정 및 기초통계 분석

1. 베타회귀모형(Beta Regression Model)

본 연구에서 종속변수로 활용되는 교통약자 사고비율은 0부터 1사이의 값을 나타내기 때문에 일반적인 선형회귀분석모형은 적합하지 않기 때문에 종속변수 속성을 정확하게 반영할 수 있는 베타회귀모형을 이용하여 요인분석을 실시하였다.

베타회귀모형은 종속변수가 변화율, 비율, 분수 등과 같이 0과 1사이의 값을 가질 때 적용되는 모형으로 모형의 예측값 범위가 실제 관측값의 범위와 동일한 형태이기 때문에 널리 사용되고 있다(Ferrari & Cribari-Neto,

2004). 단, 일부 종속변수의 값이 0 또는 1의 값을 가지고 있는 경우라면 베타회귀모형의 적용은 부적절하지만 해당 분석에서 사용된 사고발생비율의 경우 0과 1의 값을 가지는 경우가 없어 큰 무리가 없을 것이라 판단된다.

베타회귀모형은 독립변수 x 가 주어졌을 때 종속변수 y 의 조건부 평균을 모형화하는 것으로 이는 평균 $E(y|x) = \mu$ 와 같다. 그러나 종속변수 y 는 0과 1사이의 값을 가지기 때문에 평균 μ 또한 0부터 1사이의 값을 가지도록 조건부 평균인 μ 에 연결함수(link function)를 이용하여 다음 식(1)과 같이 표현한다.

$$g(\mu) = x\beta \text{ 또는 } \mu = g^{-1}(x\beta) \tag{1}$$

일반적으로 사용되는 연결함수는 로짓함수가 사용되는데, 로짓연결함수를 적용하게 되면 다음 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\ln\left(\frac{\mu}{1-\mu}\right) = x\beta \tag{2}$$

$$\mu = \frac{\exp(x\beta)}{1 + \exp(x\beta)}$$

베타분포의 조건부 분산은 다음 식(3)과 같으며, 여기서 ψ 는 스케일 팩터(scale factor)²⁾로 항상 0보다 커야 한다. 또한 평균이 동일할 때, ψ 가 커지면 커질수록 y 의 분산은 작아진다.

$$Var(y|x) = \frac{\mu(1-\mu)}{(1+\psi)} \tag{3}$$

베타분포의 밀도함수 및 y 의 평균과 분산은 다음 식 (4), (5)와 같다.

$$\pi(y;p,q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} y^{p-1}(1-y)^{q-1}, 0 < y < 1 \tag{4}$$

$$E(y) = \frac{p}{p+q} \tag{5}$$

$$var(y) = \frac{pq}{(p+q)^2(p+q+1)}$$

여기서, $E(y) = \mu = p/(p+q)$ 로 $\psi = p+q$ 로 치환하면 $p = m\psi$ 와 $q = (1-\mu)\psi$ 로 표현할 수 있으며, 확률변수 y 의 밀도함수는 다음 식(6)과 같이 변환된다.

$$f(y;p,q) = \frac{\Gamma(\psi)}{\Gamma(m\psi)\Gamma((1-\mu)\psi)} y^{m\psi-1}(1-y)^{(1-\mu)\psi-1},$$

$$0 < y < 1 \tag{6}$$

따라서 n 개의 독립된 관측값에 대한 로그우도함수(log-likelihood function)는 다음 식(7)과 같이 표현된다.

$$L(\beta, \psi) = \prod_{i=1}^n f_i(\mu_i, \psi) \tag{7}$$

$$\log L(\beta, \psi) = \sum_{i=1}^n l_i(\mu_i, \psi)$$

여기서,

$$l_i(\mu_i, \psi) = \log\Gamma(\psi) - \log\Gamma(\mu_i\psi) - \log\Gamma((1-\mu_i)\psi) + (\mu_i\psi - 1)\log y_i + \{(1-\mu_i)\psi - 1\}\log(1-y_i)$$

2. 변수설명 및 기초통계 분석

본 연구는 <Table 1>과 같이 1개의 종속변수와 11개의 독립변수를 통해 분석을 시행하였다. 종속변수인 교통약자사고발생비율(Crash Ratio)은 개별 자치구에서 발생한 총 사고건수 대비 13세 미만, 65세 이상 교통약자 사고건수 비율로 도로교통공단의 교통사고분석시스템을 통하여 자료를 수집하였으며, 평균 12.8%로 검토되었다.

인구비(pop_ratio)의 경우 기존문헌 검토를 통해 교

2) 베타분포는 2개의 파라미터인 p 와 q 의 값(두 개의 값 모두 0보다 커야 함)에 의해서 분포의 모양이 결정되어지며, ψ 는 두 파라미터의 합인 $p+q$ 를 의미함

Table 1. Descriptions of variables used in the study

Variables	Descriptions	Mean	St. Dev	Min	Max
<i>Dependent</i>					
crash_ratio	Number of vulnerable users related crashes divided by the total number of crashes	0.128	0.024	0.076	0.189
<i>Independent</i>					
pop_ratio	Ratio of number of vulnerable users to total population	0.222	0.013	0.198	0.240
resi_area	Area of residential areas in districts ($\times 1,000,000\text{m}^2$)	12.83	4.31	5.73	23.99
com_area	Area of commercial areas in districts ($\times 1,000,000\text{m}^2$)	1.01	0.97	0.15	3.91
desig_zone	Ratio of number of protection areas designated to total number of protection areas targeted	0.282	0.064	0.194	0.395
local_st	Ratio of road length being less than 12m in width to total road length	0.767	0.066	0.600	0.882
budget	Ratio of budgets invested in traffic safety to total amount of budgets allocated in transportation fields	0.056	0.034	0.004	0.141
drive_behav	Driving behavior part of Social Culture Index (1 if the score of this part is greater than average, 0 otherwise)	0.440	0.507	0.000	1.000
safety	Traffic safety part of Social Culture Index (1 if the score of this part is greater than average, 0 otherwise)	0.640	0.490	0.000	1.000
walk_behav	Walking behavior part of Social Culture Index (1 if the score of this part is greater than average, 0 otherwise)	0.640	0.490	0.000	1.000
vulnerable	Vulnerable users part of Social Culture Index (1 if the score of this part is greater than average, 0 otherwise)	0.600	0.500	0.000	1.000
violation	Number of violations per person in districts	0.039	0.022	0.010	0.102

통사고와 가장 밀접한 관련이 있는 것으로 검토된 변수로, 자치구내 총 인구에서 13세 미만, 65세 이상 교통약자가 차지하는 비율로 행정자치부의 주민등록인구통계를 활용하여 자료를 수집하였다. 자치구별 교통약자가 차지하는 인구구성비는 평균 약 22.2%인 것으로 나타났다. 주거지역 면적(resi_area)과 상업지역 면적(com_area)은 서울시에서 제공하는 GIS 시스템을 통해 산출하였는데, 본 연구에서는 변수값으로 실제 면적값을 사용했다. 전체 면적 중 해당 용도의 면적비를 사용하지 않은 이유는 서로 다른 용도의 면적비는 서로 밀접한 상관관계를 가지고 있기 때문에 다중공선성을 방지하기 위함이다.

보호구역 지정비율(desig_zone)은 해당 자치구내 어린이 및 노인 보호구역 지정 대상이 되는 시설 중 실제 지정되어 운영되고 있는 시설의 비율을 의미하는데, 이 변수는 도로교통공단 및 보건복지부 통계자료를 활용하여 구축되었다. 보호구역 지정비율의 평균값은 약 28.2%로 예상보다 낮게 나타났는데, 그 이유는 자치구

에 위치한 노인 이용시설 수 대비 보호구역 지정율이 매우 낮기 때문이다. 소로 구성비(local_st)는 자치구의 전체 도로연장 중 12m 미만의 도로 구성 비율로 서울시 통계자료를 통하여 구축되었는데, 평균 76.7%로 전체 도로연장 중 12m 미만의 도로가 매우 높은 비중을 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 투자예산(budget)은 자치구의 교통부분 예산 중 교통안전 분야에 투자된 예산을 비율로 나타내는 값으로 개별 자치구의 세입·세출 결산서를 기준으로 작성하였다. 투자예산은 최소 0.4%에서 최대 14.1%로, 평균 약 5.6%의 교통부분 예산을 안전 분야에 투자하는 것을 의미하는데, 아직까지도 자치구별 교통안전 분야의 예산은 매우 적은 상황이다.

운전행태(drive_behav), 교통안전(safety), 보행행태(walk_behav), 교통약자(vulnerable) 변수는 교통안전공단에서 발표하는 교통문화지수의 세부영역을 의미하는데, 각 영역별 평균 점수를 기준으로 대상 자치구가 평균 이상일 경우 1, 이하일 경우 0인 이항변수로 데이터를 구축하였다. 마지막으로 단속건수(violation)는 서

울지방경찰청의 자치구별 속도위반, 신호위반, 음주운전 단속건수의 합계를 자치구 인구로 나누어 자치구 인구 1명당 단속건수로 환산하여 분석에 활용하였다. 인구 1명당 평균 단속건수는 약 0.039건으로 100명당 3.9건의 단속실적으로 보이고 있는 것으로 나타났다.

IV. 분석결과

베타회귀모형은 SAS, SPSS, R/SPlus, Mathematica, WinBUGs 등의 프로그램을 이용하여 분석이 가능한데, 본 연구에서는 상용소프트웨어인 STATA 14 프로그램을 이용하여 모형을 개발하였다.

분석 결과 <Table 2>와 같이 95% 신뢰수준에서 베타 회귀모형을 적용한 경우 총 7개의 변수가 유의한 것으로 나타났으나, 일반선형회귀모형을 적용하여 모형을 예측한 결과 유의한 변수가 없는 것으로 나타나 예측모델의 종류에 따라 결과 값의 차이가 큰 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 종속변수가 비율로 표현될 경우 종속변수의 속성을 고려하지 않고 일반선형회귀모형을 적용할 경우에는 매우 왜곡된 결과가 도출될 수 있다는 것을 보여주는 것으로, 모형 예측 시 종속변수의 속성을 잘 대변할 수 있는 모형을 사용하는 것이 매우 중요한 것임을 알 수 있다.

베타회귀모형을 통해 유의한 것으로 나타난 7가지 변수 중 교통약자사고발생비율과 양(+의 상관관계)을 가지고 있는 변수는 인구비, 보호구역 지정비율 2개로

나타났다. 인구비의 경우 자치구 내 교통약자의 인구 구성비가 높을수록 교통약자사고발생비율이 높아진다는 것을 의미하며, 이는 인구비 변수가 교통사고에 노출되는 정도를 나타내는 노출변수라고 할 수 있기 때문에 나타나는 당연한 결과라 판단된다.

보호구역 지정비율의 경우 인구비와 마찬가지로 양(+의 상관관계)을 나타내고 있어 보호구역 지정비율이 높은 자치구가 교통약자 관련 교통사고가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 일반적으로 보호구역 지정률이 높으면 안전성이 향상될 것이라는 예상과는 반대의 결과라 할 수 있는데, 그 이유는 보호구역 지정비율의 경우 독립변수가 가져야 하는 가장 중요한 특성인 외생변수 조건을 따르지 않기 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 보호구역은 어린이 및 노인 이용시설을 대상으로 안전성 증진을 위해 예방적 측면에서 지정될 수도 있지만 어린이 및 노인 교통사고 발생빈도가 높은 지점 또는 구간을 대상으로 지정될 수도 있다. 이는 독립변수인 보호구역 지정비율이 외생변수(exogenous variable)가 아니라 종속변수인 사고발생 비율에 의해 영향을 받는 내생변수(endogenous variable)라는 것을 의미하는데, 그 결과 일반적인 예상과는 다소 다른 결과가 도출된 것으로 판단된다.

교통약자 사고발생 비율과 음(-)의 상관관계를 가지고 있는 변수는 주거지·상업지 면적, 투자예산, 보행행태, 단속건수 5개로 나타났다. 독립변수 중 상업지역 면적은 값이 커질수록 교통사고가 감소하는 음(-)의 상

Table 2. Model estimation results

Variables	Beta Regression Model			Conventional Linear Regression Model		
	Coefficient	Standard Error	p-value	Coefficient	Standard Error	p-value
Constant	-3.654	0.645	0.000	-0.048	0.101	0.639
pop_ratio	6.609	2.319	0.004	0.633	0.368	0.086
resi_area	-0.019	0.006	0.004	-0.002	0.001	0.069
com_area	-0.118	0.041	0.004	-0.013	0.006	0.058
desig_zone	1.333	0.511	0.009	0.143	0.079	0.093
local_st	0.649	0.506	0.200	0.066	0.081	0.430
budget	-2.647	1.142	0.021	-0.272	0.175	0.144
drive_behav	0.082	0.062	0.187	0.010	0.009	0.313
safety	0.017	0.061	0.780	0.001	0.009	0.933
walk_behav	-0.136	0.070	0.053	-0.015	0.011	0.201
vulnerable	0.081	0.056	0.151	0.009	0.009	0.362
violation	-3.150	1.340	0.019	-0.033	0.021	0.146

관관계를 나타내고 있는데, 이는 기존에 수행된 Lim, et. al.(2006)의 연구와 상반되는 결과이다. 그 이유는 상업지역 면적이 넓은 자치구일수록 어린이나 고령자에 비해 생산가능 연령층의 통행비중이 상대적으로 높아지기 때문에 전체사고에서 교통약자가 포함된 사고 발생 비율이 감소하기 때문이라 판단된다. 주거지역의 경우 교통약자 사고발생 비율과 음(-)의 상관관계를 가지는 유의한 변수로 나타났는데, 이러한 결과는 본 분석에 사용된 자료의 특수성 때문에 나타난 것이라 생각된다. 서울시의 경우 주거지역 면적이 적은 자치구는 중구, 종로구, 영등포구 등인데 이러한 자치구는 상업지역이나 공업지역의 비중이 높아 통행이 많이 발생하게 되므로 교통사고 발생 가능성이 더 높다고 말할 수 있다.

투자예산은 자치구의 교통부분 예산 중 교통안전 분야에 투자되는 비율을 나타내며 교통안전 분야의 예산이 많을수록 사고건수는 감소하는 음(-)의 상관관계를 나타내고 있다. 서울시 25개 자치구의 경우 평균적으로 교통부분에 배정된 예산의 약 5.6%를 교통안전에 투자하고 있는데, 본 연구결과에서 나타나듯이 투자액을 증가시킬수록 안전성 증진에 도움이 되므로 교통약자의 안전성 확보를 위해 관련분야 예산을 지속적으로 확대해야 할 필요성이 있다.

교통문화지수 산출에 사용되는 운전행태, 교통안전, 보행행태, 교통약자 4가지 변수 중에서는 보행행태를 제외한 모든 변수가 유의하지 않은 것으로 나타났다. 유의미한 변수인 보행행태는 교통사고와 음의 관계를 가지고 있는데, 이는 보행행태에 대한 점수가 평균 이상인 지자체는 평균 이하인 지자체 보다 교통사고 발생 건수가 낮은 것을 의미한다. 교통문화지수에서 보행행태 항목은 횡단보도 신호준수율, 횡단보도 우측 통행률, 횡단 중 휴대폰 사용률의 3가지 변수로 평가되므로 고령자 및 어린이의 무단횡단이 낮을수록 평가점수는 높아지게 되고 결국 교통사고 발생비율은 낮아지는 결과를 보이는 것으로 판단된다.

단속건수는 단속활동 횟수와 연관하여 설명할 수 있

다. 단속건수가 많은 지자체는 안전성을 높이기 위한 노력과 활동을 많이 기울이는 것이라 평가할 수 있으며, 그런 노력의 결과로 사고발생이 낮아지는 것으로 판단된다. 이는 단속이 많아지면 운전자는 단속을 당하지 않기 위해 과속 금지, 신호위반 금지 등과 같은 안전한 행을 하고자 하는 경향이 높아지기 때문에 나타난 결과라고 보여진다.

비록 유의미한 변수로 나타나지는 않았지만 소로 구성비는 교통약자 사고발생 비율과 양(+)의 관계를 가지고 있다. 소로는 12m 미만의 도로를 말하는데, 주로 이면도로 등의 도로가 소로에 포함된다. 기존 연구에서는 이면도로의 사고 중 보행자 사고비율이 79%를 차지하며 어린이 및 고령자의 사고가 과반 수 이상이라 제시하고 있는데(Lee & Lee, 2014), 이를 고려하면 이면도로의 연장이 높아질수록 사고발생 빈도는 점점 더 높아지는 것으로 해석된다.

V. 결론

우리나라의 65세 이상 인구는 해마다 증가추세를 보이고 있으며 우리 사회도 이미 고령화 사회에 접어든 것으로 분석되고 있다. 뿐만 아니라 갈수록 심각해지는 저출산으로 인해 우리 사회의 인구구조는 과거와는 확연히 다른 형태로 변화를 겪고 있는 중이다. 인구구조의 변화는 사회경제적으로 여러 가지 영향을 미치는데, 교통이라는 측면에서 볼 때는 통행목적의 변화, 통행행태의 변화 등과 같은 영향을 받는 것으로 예상된다.

본 연구는 급격한 인구구조 변화 및 이에 따라 변화하는 교통사고 특성 및 행태의 검토를 통해 교통약자의 통행안전성을 확보하기 위한 목적으로 시행되었다. 특히, 교통약자의 안전성을 저해시키는 요인으로 행정구역별 속성과 같은 거시적인 특성을 이용하여 분석하였다. 기존의 많은 연구는 교통사고 자체만을 중점적으로 분석하고자 하는 미시적인 연구가 주를 이루고 있으나, 본 연구에서는 자치구별 특성을 기반으로 집계된 거시적인 자료를 이용하여 분석을 시행한 것이 매우 큰 차별

점이라 할 수 있다.

자치구의 특성을 대표할 수 있는 많은 변수들 중 자료수집이 가능한 11개의 속성을 대상으로 13세 미만, 65세 이상의 교통약자 사고발생비율에 영향을 미치는 요인을 규명하기 위한 분석이 이루어졌다. 보다 정밀한 분석을 위해 본 연구에서는 종속변수가 0과 1사이의 비율값으로 표현되는 특성을 고려하여 베타회귀모형을 사용하여 분석을 시행하였다. 또한 비교분석을 위해 전형적인 선형회귀모형을 이용한 모형예측도 동시에 실시하였다. 분석결과 종속변수가 비율(0~1)로 표현될 경우 일반선형회귀모형을 적용하여 모형을 예측한 결과는 종속변수의 속성을 반영하지 못해 매우 왜곡된 결과가 나타나 모형 예측시 종속변수의 속성을 잘 대변할 수 있는 모형을 사용하는 것이 아주 중요하다는 결론을 도출하였다. 베타회귀모형을 적용한 모형예측 결과 총 11개의 독립변수 중 7개의 변수가 95% 신뢰수준에서 유의한 것으로 나타났다. 7개의 유의한 변수 중 인구비와 보호구역 지정비율은 양(+)의 상관관계를, 주거지·상업지 면적, 투자예산, 보행행태, 단속건수는 음(-)의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다. 보호구역 지정 비율의 경우 2016년 5월 관련제도의 개선으로 자치단체의 필요에 의해 보호구역 지정이 가능해 짐으로서 종속변수와의 관계에 대한 재검토가 필요하다 판단되며, 법규위반 단속과 투자예산의 경우 교통약자 사고발생과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타나 사고위험이 높은 기초자치단체의 지속적인 확대가 요구된다 하겠다.

본 연구에서는 자치구의 특성을 나타내는 11개의 변수를 이용하여 자치구의 교통약자 사고에 미치는 영향 요인을 규명하였다. 물론 본 연구에서 사용된 변수 외에도 다양한 자치구의 특성을 나타내는 변수들이 교통약자의 교통사고 발생건수에 영향을 미칠 수 있는데, 자치구의 특성을 대변하는 여러 가지 속성자료를 수집하는데 애로사항이 있었기 때문에 본 연구에서는 다양한 특성을 반영한 심층적인 연구라고 보기에 한계가 있다. 그러나 본 연구가 가지는 의의로는 행정구역별 특성에 따라 교통약자와 관련된 교통사고 발생은 서로

상이한 특성을 가지므로 서로 차별화된 정책을 통해 교통약자의 안전성을 확보해 나가는 것이 필요하다는 것을 규명한 것이다. 이 연구를 기반으로 향후 행정구역 단위의 거시적인 연구가 좀 더 체계적 또는 심층적으로 이루어질 수 있을 것으로 기대한다.

References

- Abdel-Aty, M. and E. Radwan. 2000. Modeling Traffic Accident Occurrence and Involvement. *Accident Analysis and Prevention*. 32(5): 633-642.
- Ferrari, S. and F. Cribari Neto. 2004. Beta Regression for Modeling Rates and Proportions. *Journal of Applied Statistics*. 31(7): 799-815.
- Hong, Ji Yeon, Soo Beom Lee, and Jeong Hyun Kim. 2015. Development of Traffic Accident Frequency Prediction Model by Administrative Zone- A Case of Seoul. *Korean Society of Civil Engineers*. 35(6): 1297-1308.
- Jordan, G. 1998. Child Pedestrian-Car Crashes near Schools Area Small Percentage of Total Child Pedestrian Crashes in Philadelphia. *Transportation Research Record*. 1636: 132-137.
- Kim, Do Gyeong and Yu Hwa Lee. 2013. Modelling Crash Frequencies at Signalized Intersections with a Truncated Count Data Model. *International Journal of Urban Sciences*. 17(1): 85-94.
- Kim, Do Gyeong, S. Washington, and Ju Taek Oh. 2006. Modeling Crash Types: New Insights into the Effects of Covariates on Crashes at Rural Intersections. *Journal of Transportation Engineering*. 132(4): 282-292.
- Kim, Hong Sang. 1987. Methoden zur Beschreibung des Unfallgeschehens- Versuch Eines Vergleichs Zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Republik Korea. Ph.D. Dissertation. University of Karlsruhe, Germany.
- Lee, Sae Young and Jae Seung Lee. 2014. Neighborhood Environmental Factors Affecting Child and Old Adult Pedestrian Accident. *Journal of the Urban Design Institute of Korea*. 15(6): 5-15.
- Lee, Sang Hyuk, Woo Dong Jung, and Yong Han Woo. 2012.

- Comparative Analysis of Elderly's and Non-elderly's Human Traffic Accident Severity. *Journal of the Korean Institute of Intelligent Transport Systems*. 11(6): 133-144.
- Lim, Kang Won, Taek Young Jang, Hun Jang, and Jun Ho Ji. 2006. Developing the Predicting Model of Older Driver's Accidents. *Conference Proceedings of Korean Society of Transportation*. 53(3): 193-202.
- Lord, D. 2006. Modeling Motor Vehicle Crashes Using Poisson-gamma Models: Examining the Effects of Low Sample Mean Values and Small Sample. *Accident Analysis and Prevention*. 38(4): 751-766.
- Oxley, J., B. Fildes, E. Ihsen, J. Charlton, and R. Day. 1997. Differences in Traffic Judgements between Young and Old Adult Pedestrians. *Accident Analysis and Prevention*. 29(6): 839-847.
- Park, Yu Kyung, Hyung Jung Jung, Young Ji Kim, and Ki Jung Kum. 2012. A Study on Development of Interpretive Structure Modeling(ISM) for Potential Risk Factors in School Zone. *Journal of the Korean Society of Road Engineers*. 14(6): 93-101.
- Road Traffic Authority. 2014. *Comparing the Traffic Crashes of OECD-member Countries*.
- Savolainen, P. and A. Tarko. 2005. Safety Impacts at Intersections on Curved Segments. *Transportation Research Record*. 1908: 130-140.
- Smeed, R. J. 1949. Some Statistical Aspects of Road Safety Research. *Journal of the Royal Statistical Society*. Series A(General). 112(1): 1-34.
- Trichopoulos, D. 1972. Factors Related to Mortality from Motor Vehicle Accidents in European Countries in 1970. *Accident Analysis and Prevention*. 7(1): 9-13.
- Korean References Translated from the English*
- 도로교통공단. 2014. OECD 회원국 교통사고 비교.
- 박유경, 정현정, 김영지, 금기정. 2012. ISM에 의한 어린이 보호 구역의 잠재위험 요인 구조화 모형 구축. *한국도로학회 논문집*. 14(6): 93-101.
- 이상혁, 정우동, 우용한. 2012. 고령자와 비고령운전자의 인적 교통사고 심각도 비교분석. *한국ITS학회논문지*. 11(6): 133-144.
- 이세영, 이제승. 2014. 어린이, 노인 보행자 교통안전을 위한 근린환경 요인. *한국도시설계학회지*. 12(5): 5-15.
- 임강원, 장백영, 장훈, 지준호. 2006. 고령자 교통사고 예측모형의 개발에 관한 연구. *대한교통학회 학술대회지*. 53(3): 193-203.
- 홍지연, 이수범, 김정현. 2015. 소규모 지역단위 교통사고예측 모형 개발 - 서울시 행정동을 대상으로 *대한토목학회논문집*. 35(6): 1297-1308.

Received: Aug. 5, 2016 / Revised: Aug. 29, 2016 / Accepted: Sep. 7, 2016

서울시 자치구 특성을 고려한 교통약자 교통안전 영향요인 분석

국문초록 이 연구는 급격한 인구구조 변화와 이에 따른 교통사고 특성 및 행태 검토를 통해 교통약자의 통행 안전성을 확보하기 위한 목적으로 시행되었다. 13세 미만, 65세 이상의 교통약자사고발생비율을 종속변수로 자치구의 11개 속성 값과의 상관관계를 규명하고자 일반선형회귀모형과 베타회귀모형을 통해 분석을 시행하였다. 분석결과 종속변수의 속성을 반영하지 못하는 일반선형회귀모형에서는 유의한 변수가 없는 것으로 나타난 반면, 베타회귀모형을 적용한 모형예측 결과 총 11개의 독립변수 중 7개의 변수가 95% 신뢰수준에서 유의한 것으로 나타났는데, 이를 통해 종속변수 속성을 고려한 분석모형 선정의 중요성을 제시하였다. 베타회귀모형 예측결과, 교통약자사고발생비율과 양(+)의 상관관계를 가지는 자치구 속성변수로 인구비와 보호구역 지정비율이, 음(-)의 상관관계를 가지는 변수로 주거지·상업지 면적, 투자예산, 보행행태, 단속건수가 도출되었다. 이 연구결과는 자치구별 교통약자 안전성을 증진시킬 수 있는 차별화된 전략을 수립하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

주제어 : 교통약자, 교통사고, 베타회귀모형, 고려자, 어린이

Profiles **Joong Gi Sung** : He is a member of Seoul Metropolitan Council. He received his B.A. from Kyonggi University and M.A. in Public Administration from Korea University. Currently, he is a Ph.D. candidate in Public Administration from Dongguk University in 2016. He is a Vice Chairman of Saenuri Party in Seoul Metropolitan Council. He wrote his own thesis titled "Study on the Introduction of Emergency Vehicle Assistants System for Eliminating the Disastrous Situation"(sung738@daum.net). **Do Gyeong Kim** : He received his B.A. and M.S. from University of Seoul, Korea in 1996 and 1998, respectively, and Ph.D. from University of Arizona in 2006. He has been working at the Department of Transportation Engineering, University of Seoul as a professor since 2007. His areas of research interest and expertise are broadly in the fields of sustainable transportation, with a particular focus on highway safety and mobility equity(dokkang@uos.ac.kr).