



Ordered Probit Model을 이용한 지역별 보행자사고 심각도 요인분석

The Study on the Accident Injury Severity Using Ordered Probit Model

김상엽* Kim, Sangyoup 최재성** Choi, Jaisung 남기찬*** Nam, Kichan 황경성**** Hwang, Kyoungsung

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

1980년대 이후 기술의 발달과 국민 소득의 증가로 인해 우리나라의 차량 보유대수는 급속도로 증가해 왔다. 이로 인해 보행은 모든 통행을 위해 사용되는 가장 기초적인 교통수단임에도 불구하고 다른 교통수단에 비해 불편한 것으로 인식되어 택지개발사업, 뉴타운개발사업 등 도시개발사업은 물론 관련 법규, 설계기준에서 상당부분 무시되어 왔다. 그러나 2000년대 들어 차량위주 개발로 인한 교통사고, 환경오염 등의 각종 교통문제들이 대두되었고, 녹색 교통수단으로서 보행의 중요성이 새롭게 인식되어지는 추세에 있다. 하지만 우리나라의 2005년 보행자 사망자 수는 2,548명으로 전체 교통사고 사망자 6,376명 중 40% 정도를 차지하였으며, 이는 OECD 국가 평균이 16.8%인 점을 감안할 때, 매우 높은 수치이다.

〈표 1〉 도로교통사고 사망자수 국제비교(2005년)

구 분	OECD 평균	한국	일본	영국	미국	프랑스
전체 사망자(명)	103,185	6,376	7,931	3,336	43,443	5,318
보행자 사망자(명)	17,320	2,548	2,442	699	4,881	635
비 율(%)	16.8	40.0	30.8	21.0	11.2	11.9

주) 도로교통안전관리공단, 「OECD 회원국 교통사고 비교」, 2007.

이러한 보행자 사고를 줄이기 위해 중앙정부와 지방자치단체는 보행자 안전 대책을 수립하여 지속적인 노력을 기울이고 있으나, 단편적이고, 국부적인 안전대책으로 인해 그 성과가 크지 않다. 또한 우리나라는 지역별 인구, 지형, 교통관련 인프라 등이 상이하여 〈표 2〉와 같이 2006년 보행자 사고건수는 물론 건당 사망자수가 지역별로 다르게 나타났다. 보행자 사고건수의 차이는 지역의 인구, 자동차 등록대수 등의 사회경제적 지표와 연관이 깊어 지역적 차이가 발생할 수 있지만, 사고 1건당 사망자수는 보행자 안전시설이나 차량의 통행 제한 등의 정부와 지자체의 정책과 연관이 깊다고 판단한다. 기존의 수립된 보행자 사고 안전대책은 이러한 지역별 특성을 반영하지 못하고 있어 본 연구에서는 지역별로 합리적인 보행자 안전시설 투자를 위한 지역별 보행자 사고 심각도의 요인을 분석한다.

다시 말하면, 본 연구에서는 지역별 보행자 교통사고의 발생실태 및 보행자 사고의 유발요인을 다양한 각도에서 심층적이고 체계적으로 분석함으로써 보행자 사고의 감소 및 예방을 위한 효과적인 교통안전대책 마련하고자 한다.

* 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사수료 · 공학석사 · 02-2210-2990 (E-mail: road@uos.ac.kr)
 ** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 02-2210-2522 (E-mail: traffic@uos.ac.kr)
 *** 비회원 · 연세대학교 도시공학과 석 · 박사통합과정 · 공학사 · 02-363-7409 (E-mail: skarlcks@yonsei.ac.kr)
 **** 비회원 · 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 공학사 · 02-2210-2990 (E-mail: jordanhks@hanmail.net)

또한, 이러한 분석을 통해 지역별로 보행자 교통사고 예방사업에 효율적인 투자와 저비용-고효율적인 안전대책을 마련하고자한다.

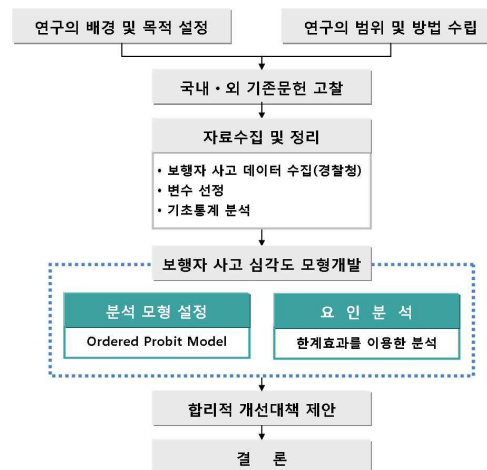
〈표 2〉 지역별 보행사고 현황(2006)

구 분	사고건수	사고심각도					건당 사망자수
		사상자수	사망	중상	경상	부상	
계	45,261	48,381	2,377	26,985	18,182	837	-
서울	8,852	9,478	212	4,772	4,213	281	0.024
광역시	12406	13179	483	7505	4954	237	0.039
경기	8,396	9,017	450	5,173	3,233	161	0.054
강원	1,697	1,830	117	994	703	16	0.069
충청	3,153	3,391	314	1,950	1,108	19	0.100
전라	3,948	4,246	311	2,136	1,750	49	0.079
경상	5,932	6,303	442	3,970	1,823	68	0.075
제주	877	937	48	485	398	6	0.055

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 지역별 보행자 사고 심각도와 보행자 사고 유발요인의 관계를 분석하기 위해 경찰청에서 제공하는 2006년 전국 45,261건 / 48,381명의 보행자 사고를 대상으로 하였으며, 각 보행자 사고에 대해 사고 심각도 정도는 사망, 중상, 경상 및 부상으로 구분하여 사고 심각도 분석에 이용하였다.

연구의 방법에 있어서 보행자 사고의 심각도 정도와 유발요인의 관계를 분석하기 위해 오차항의 분포를 정규분포(Normal Distribution)으로 가정하고 확률선택모형(Probabilistic Choice Model)인 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 통하여 사고 심각도 모형을 개발하였다. 또한 이를 통하여 사고 심각도에 영향을 미치는 주요 설명변수들에 대한 분석을 실시하였다.



〈그림 1〉 본 연구의 수행과정도

2. 기존문헌 고찰

2.1 기존연구 고

김범일 등은 「제한속도 설정에 따른 표통안전 편익평가-보행자 사망확률모형 개발 및 활용-」(대한토목학회, 2005)에서 제한속도 설정에 따른 교통안전 편익을 산정하기 위한 보행자 사망확률 모형을 개발하였다. 기본가정으로 제한속도를 낮게 설정하면 충돌속도가 낮아질 것으로 설정하였으며, 101건의 사고를 대상으로 이항로지스틱회귀모형을 이용하여 사고확률모형을 구축하였다. 분석결과 충돌속도가 낮을수록, 나이가 어릴수록 사망자 감소효과가 더 큰 것으로 나타났다.

이두희는 「횡단보도 보행자의 동태적 행위 관련 안전예측모형 개발」(대한토목학회, 2005)에서 대전지역의 보행자 사고가 발생한 32개 교차로를 대상으로 안전예측모형을 개발하였다. 횡단보도를 이용하는 보행자의 경향과 동태적 행위를 회귀모형을 이용하여 분석하였으며, 백만진입차량당 사고율을 반응변수로, 횡단보도 거리, 횡단보도폭, 횡단신호시간, 차량속도, 보행자 지체를 독립변수로 하여 구축하였다. 구축결과 횡단 보행자 사고율은 횡단보도폭이 좁을수록, 횡단신호시간이 증가할수록, 보행자 지체가 길어질수록 증가하는 것으로 나타났다.



박규영 등은 「보행자사고확률모형을 이용한 도로안전시설물의 효과도 추정」(대한교통학회, 2006)에서 지방부 4차로 국도를 대상으로 로짓모형을 이용하여 보행자 사고 확률모형을 구축하고, 추정시 도로안전시설물 설치여부를 설명변수로 포함하여 그 효과도를 추정하였다. 시설물별 효과정도는 승산비(Odd Ratio)를 이용하였는데, 분석결과 시거개선, 보도설치, 조명설치가 보행자 사고를 줄이기 위한 효과적인 대안으로 나타났다.

Al-Ghamdi는 「Pedestrian-vehicle crashes and analytical techniques for stratified contingency tables」(Accident Analysis and Prevention, 2002)에서 사우디아라비아의 수도 리야드에서 발생한 차량대 보행자 사고에 대하여 계층화된 분할표(Stratified Contingency Tables)를 작성하고, 승산비(Odd Ratio)의 이용가능성을 검토하였다. 사고시간대별 심각도, 도로종류별 심각도에 대한 분할표를 작성하고 χ^2-test 를 시행하여 유의관계를 검증하였으며, 승산비를 이용하여 이 관계를 해석하였다. 분석결과 시간대별로는 야간이, 도로종류별로는 중분대가 있는 2차로 도로가 시거확보 문제로 인해 보다 위험한 것으로 제시하고 있다.

Shankar et.al.은 「Modeling crashes involving pedestrians and motorized traffic」(Safety Science, 2003)에서 단일로를 대상으로 음이항회귀모형(Negative Binomial Regression Model)과 ZIP(Zero-Inflated Poisson) 모형을 이용하여 보행자 사고 예측모형을 구축하고, 두 모형을 비교하여 ZIP 모형이 더 적합한 모형임을 보였다. 모형구축 결과 일교통량, 신호등 간격, 조명설치, 중앙회전차로(Center-Turn Lane)의 존재가 보행자 사고에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Zajac & Ivan은 「Factors influencing injury severity of motor vehicle-crossing pedestrian crashes in rural Connecticut」(Accident Analysis and Prevention, 2003)에서 순서형 프로빗모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 지방부에서 도로종류와 지역종류에 따라 보행자 사고 심각도에 미치는 영향을 평가하는 모형을 개발하였다. 비신호 2차로 도로를 횡단하는 보행자를 대상으로 하였으며, 분석결과 보행자 사고에는 횡단구성 요소폭, 차량종류, 음주운전, 65세 이상 보행자 등이 영향을 많이 미치는 것으로 제시하였다.

Garder는 「The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine」(Accident Analysis and Prevention, 2004)에서 메인주의 사고자료를 이용하여 실제 주행속도와 입지특성이 보행자 사고에 어떤 영향을 미치는지를 분석하였다. 분석모형은 스웨덴에서 구축된 비선형회귀모형을 활용하였으며, 분석결과 고속이거나 넓은 도로가 더 많은 사고를 야기시키는 것으로 나타났다. 이 결과를 토대로 주간선도로의 안전개선에 보다 초점을 맞추어야 한다고 제시하고 있다.

Graham et.al.은 「The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine」(Accident Analysis and Prevention, 2005)에서 음이항회귀모형을 이용하여 사회경제적 박탈에 따라 보행자 사상사고의 특성을 분석하였다. 분석결과 박탈이 많아지면 보행자 사상사고가 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 어린이의 경우 더 증가하는 것으로 나타났다. 여기서 사회경제적 요소로는 도로공급, 고용, 강수량, 일조량 등을 이용하였다.

Lee and Abdal-Aty는 「Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida」(Accident Analysis and Prevention, 2005)에서 플로리다주 교차로에서 4년동안 발생한 차대사람 교통사고를 대상으로 분석을 시행하였다. 로그선형모형(Log-Linear Model)을 이용하여 운전자 유형, 교통도로환경 특성과 보행자 사고와의 상관관계를 도출하였다. 또한 순서형 프로빗모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 보행자 사고심각도별 모형을 구축하였다. 분석결과 보행자 사고건수와 부상사고건수에 운전자의 인적특성, 도로기하구조, 교통환경조건이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 교통량이 많은 곳에서 보행자 사고가 많이 발생하였으나, 사고증가율은 교통량이 적은 곳에서 더 가파른 것으로 나타났다.

국내외 보행자 사고 관련 연구를 검토한 결과 예측모형은 로짓 모형, 프로빗 모형, 로그선형모형 등 다양한 형태로 구축되고 있다. 그러나 분석대상은 주로 교차로를 대상으로 하였으며, 분석지역 또한 소수의 지역을 대상으로 하여



서로 다른 지역의 비교의 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 전국을 대상으로 지역별 보행자 사고의 심각도에 영향을 미치는 요소를 비교분석하고자 한다.

2.2 사고심각도 모형에 대한 이론적 고찰

본 연구에서는 행위의 강도, 효과와 선택의 선호도 등을 분석하기에 적합한 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 지역별 보행자 사고 심각도 분석을 실시하였는데, 이에 대한 모델 선택배경은 다음과 같다.

일반적으로 순서를 지니지 않은 종속변수의 경우($y=0, 1$)에는 프로빗 모형 또는 로짓 모형을 통하여 분석이 가능하다. 그러나 종속변수가 이항($y=0, 1$)이 아닌 그 이상($y=0, 1, 2, \dots, n$)으로 순서를 지닌 경우 일반적인 프로빗, 로짓 모형은 오류를 범할 수 있다. 또한 회귀분석의 경우 종속변수가 $y=0, y=1$ 간의 차이와 $y=1, y=2$ 간의 차이를 동일한 것으로 인식하여 분석을 함으로써 오류를 범할 수 있는 한계점을 지닌다.*

이와 같은 한계점을 해결하기 위해 종속변수가 순서를 지닌 경우($y=0, 1, 2, \dots, n$)에 사용할 수 있는 순서형 확률모형(Ordered Probability Model)을 적용하였고, 이러한 순서형 확률모형의 종류에는 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)과 순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model)이 있다.

본 연구에 적합한 확률분포를 선택하기 위해 모형을 결정짓는 확률효용의 ϵ_{it} (오차항)에 대해 살펴보아야 한다. 그러나 ϵ_{it} 의 변동은 측정될 수 없으므로 ϵ_{it} 의 값은 알지 못하나, ϵ_{it} 의 확률분포는 안다고 가정한다. 이 ϵ_{it} 의 확률분포 형태를 가정함에 따라 선형확률모형(Linear Probability Model), 로짓 모형(Logit Model), 프로빗 모형(Probit Model) 등 세 가지로 구분되는데, 선형확률 모형에서는 ϵ_{it} 의 확률적 분포가 균일분포(Uniform Distribution)임을 가정하고, 로짓 모형에서는 ϵ_{it} 의 확률적 분포가 분산이 동일하고 독립적(Identically and Independently Distribution, IID)인 와이블 분포(Weibull Distribution)라 가정하고, 프로빗 모형에서는 ϵ_{it} 의 확률분포가 분산이 동일하고 공분산이 0인 정규분포(Normal Distribution)를 따른다고 가정한다.**

ϵ_{it} 의 분포형태가 유사하고, 조작성이 풍부한 와이블 분포는 로짓 모형으로 유도되지만, ϵ_{it} 의 확률분포를 정규분포로 가정하는 것이 가장 일반적이므로 효용의 확률성분에 대해서 정규분포를 가정하는 것이 바람직하다. 그러나 결과적으로 도출되는 프로빗 모형은 다중적분의 형태를 띠기 때문에 파라메타의 계수값을 도출하기가 매우 어려운 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 자료의 분석시 사용하는 STATA/SE 9.0을 사용하여 파라메타의 계수값을 도출하였다. 따라서 본 연구에서는 ϵ_{it} 의 분포를 정규분포로 가정하고, 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 지역별 보행자 사고 심각도 모형을 개발하였다.

순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)에 대한 기본 이론에 대해 살펴보면 다음과 같다.

순서형 자료 y 가 $0, 1, 2, 3, \dots, y_i$ 의 순서형태를 가지고 있다면 순서형 확률모형은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 y &= \beta x_i + \epsilon_i, \quad \epsilon_i \sim N[0, 1] \\
 y &= 0 & \text{if } y \leq 0 \\
 y &= 1 & \text{if } 0 < y \leq \mu_1 \\
 y &= 2 & \text{if } \mu_1 < y \leq \mu_2 \\
 y &= 3 & \text{if } \mu_2 < y \leq \mu_3 \\
 &\vdots & \vdots \\
 y &= y_i & \text{if } \mu_{y-1} < y
 \end{aligned}$$

* 주미영(2000), "프로빗과 순차적 프로빗 분석에 대한 이해와 적용", 정부학연구, 6권1호, pp.24~46.
 ** Bonneosn,J.A., McCoy,P.T.(1993), "Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highway", Transportation Research Board, No.1401, pp.83~89.



여기서, y 는 측정이 가능한 효용(βx_i)과 측정이 불가능한 잠재효용(ε_i)으로 나타낼 수 있다. μ 는 각 설명변수에 추정계수 β 와 함께 추정하는 한계값(Threshold)이라 하며, 이를 통하여 선택대안에 대한 선택확률을 계산하는데 이용할 수 있다. 각 대안(순서에 따른)에 대한 선택확률은 다음 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Prob}[y = 0] &= \Phi(-\beta'x) \\ \text{Prob}[y = 1] &= \Phi(\mu_1 - \beta'x) - \Phi(-\beta'x) \\ \text{Prob}[y = 2] &= \Phi(\mu_2 - \beta'x) - \Phi(\mu_1 - \beta'x) \\ &\vdots \\ \text{Prob}[y = y_i] &= 1 - \Phi(\mu_{y-1} - \beta'x) \end{aligned}$$

각 설명변수가 사고 심각도에 미치는 영향도를 나타내는 한계효과(Marginal Effect)는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. 예를 들면, 터미변수인 경우($X=0$ 또는 1), 설명변수가 사고 심각도에 미치는 영향력을 나타내는 한계효과는 다른 설명변수를 고정한 상태에서 설명변수가 1인 경우의 선택확률과 0인 경우의 선택확률의 차이 ($\text{Prob}(1) - \text{Prob}(0)$)를 의미한다. 따라서 각 설명변수에 대한 한계효과의 합은 0이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \text{Prob}[y=0]}{\partial x} &= -\psi(\beta'x)\beta \\ \frac{\partial \text{Prob}[y=1]}{\partial x} &= [\psi(-\beta'x)\beta - \psi(\mu - \beta'x)]\beta \\ \frac{\partial \text{Prob}[y=2]}{\partial x} &= -\psi(\mu - \beta'x)\beta \end{aligned}$$

최종적으로 도출된 모형에 대하여 모델의 검증방법은 모델의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 모형의 적합성을 검증하는 x^2 (Chi-Square)값을 이용한다. 여기서 ρ^2 (우도비)는 McFadden의 결정계수라고도 불리며 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 모델의 적합도가 높다고 평가되며 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합도를 가진다고 볼 수 있다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\cdot)}{LL(0)} \quad (0 \leq \rho^2 \leq 1) \quad (3)$$

여기서, $LL(\cdot)$: Log Likely Function
 $LL(0)$: Restricted Log Likelihood

3. 자료수집 및 기초통계 분석

본 연구에서는 지역별 보행자 사고에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 경찰청에서 제공하는 2006년 전국 45,261건 / 48,381명의 보행자 사고 자료를 수집하였다. 이 자료는 발생지역, 발생시간, 발생장소, 운전자 특성, 차량특성, 보행자특성, 도로특성, 사고유형 등으로 구성되어있으며, 보행자 사고와 관련이 있다고 판단되는 11개의 항목을 선별하였다. 또한 '불명', '기타' 등 보행자 사고 요인이 명확하지 않은 10,792개의 자료를 제거하여 총 37,589개의 자료로 정리하였다.

〈표 3〉은 본 연구에서 선정한 변수의 표시방법 및 기초통계량을 나타낸 것이며, 여기서 사고유형의 경우 변수 속성에 의해 각각의 사고유형을 터미변수(Dummy Variable)로 처리하였다.



〈표 3〉 변수의 표시방법 및 기초통계량

변 수	변수의 표시방법	기초통계량 (N=37,589)					
		최소값	최대값	평 균	표준 편차		
종속변수	심각도	• 정상 및 부상=0; 중상=1; 사망=2	0	2	0.6850	0.5709	
독립변수	운전자 나이	• 25세 이하=0; 25~65세=1; 65세 이상= 2	0	2	0.9620	0.4374	
	보행자 나이	• 25세 이하=0; 25~65세=1; 65세 이상= 2	0	2	0.8568	0.7266	
	사 고 유 형	사고유형 1	• 차:사람 길가장자리구역 통행중=1; Otherwise=0	0	1	0.0982	0.2976
		사고유형 2	• 차:사람 보도통행중=1; Otherwise=0	0	1	0.0568	0.2315
		사고유형 3	• 차:사람 차도통행중=1; Otherwise=0	0	1	0.1395	0.3465
		사고유형 4	• 차:사람 횡단중=1; Otherwise=0	0	1	0.5558	0.4969
	차량 종류	• 오토바이=0; 소형=1; 중형=2; 대형=3	0	4	1.1919	0.6992	
	도로 종류	• 고속국도=0; 일반국도=1; 특별광역시도/시도=3; 군도 지방도 기타 =4	0	3	2.0213	0.5225	
	차로폭	• 6M 미만=0; 13M 미만=1; 13M 이상=2	0	2	0.5813	0.7494	
	시간	• 주간=0; 야간=1	0	1	0.4594	0.4984	
날씨	• 맑음=0; 흐림=1; 안개·비·눈=2	0	2	0.2562	0.6221		

4. 모형개발 및 결과분석

4.1 모형개발

본 연구에서는 지역별 보행자 사고 심각도 분석을 실시하기 위하여 통계패키지 STATA/SE 9.0을 이용하였다. 지역은 총 8개의 지역으로 구분하였으며, 사용된 변수는 1차 선별과정에서 구축된 14개의 변수 중 상관성이 높은 계수를 2차 선별하여 8개의 설명변수를 선정하였다. 또한 ϵ_i (오차항)의 분포를 정규분포로 가정하고, 순서형 프로빗 모형을 적용하여 보행자 사고 심각도 분석을 실시하였다.

본 연구를 수행함에 있어 종속변수에 영향을 주는 설명변수의 중복을 방지하고, 각각의 변수들 간의 독립성을 확보할 수 있는 변수만을 채택하기 위해 종속변수와 설명변수, 설명변수와 설명변수간의 상관관계를 신뢰수준 95%($\alpha = 0.05$) 이내에서 분석하였다. 또한 기존의 사고 심각도 모형은 설명력이 뛰어난 3~4개의 설명변수를 조합하여 하나의 모형만을 개발하였으나, 이는 설명변수와 종속변수를 다양한 각도로 분석하는데 한계가 있으며, 서로 다른 지역간의 보행자 사고 심각도를 비교분석하는데 한계가 있다. 따라서 서로 다른 지역의 보행자 사고 심각도에 영향을 미치는 요소를 비교분석하기 위하여 각 지역별 서로 같은 설명변수를 이용하여 모형을 개발하였다.

식(4)는 본 연구를 통해 개발된 지역별 모형의 기본식이다.

$$U_i = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (4)$$

여기서, U_i : 확률적 효용 α : 상수
 β : 추정계수 X : 설명변수

〈표 4〉는 순서형 프로빗 모형을 이용하여 분석된 보행자 사고 심각도의 결과와 모형을 설명하는 변수들의 특성이다. 또한 〈표 5〉는 각 모델의 설명변수들이 사고 심각도에 미치는 영향을 나타내는 한계효과(Marginal Effect)를 나타낸 것이다.



〈표 4〉 모델 분석 결과

변수명	서울시			광역시			경기도			강원도		
	추정계수	t통계량	유의수준	추정계수	t통계량	유의수준	추정계수	t통계량	유의수준	추정계수	t통계량	유의수준
상수	2,4488	4.32	0,000	1,6164	21,32	0,000	0,5739	9,57	0,000	0,8797	12,82	0,000
운전자 나이	-1,2180	-40,16	0,000	-0,1861	-6,76	0,000	-0,9492	-29,43	0,000	-1,0491	-12,44	0,000
보행자 나이	0,3221	13,18	0,000	0,3688	21,20	0,000	0,4148	18,65	0,000	0,4444	9,42	0,000
사고유형 1	-0,0949	-3,36	0,000	-0,1615	-3,07	0,002	-0,1371	-2,18	0,030	-0,0278	-0,20	0,839
사고유형 2	0,0703	0,95	0,340	0,0248	0,40	0,687	0,0731	0,95	0,341	0,1214	0,76	0,446
사고유형 3	0,1144	1,90	0,057	0,0450	0,97	0,335	0,0856	1,63	0,102	0,0482	0,35	0,730
사고유형 4	0,3629	7,51	0,000	0,3010	7,76	0,000	0,3480	8,43	0,000	0,3408	3,38	0,001
차량종류	0,2200	10,07	0,000	0,1279	6,94	0,000	0,2548	11,96	0,000	0,1931	3,35	0,001
도로종류	-1,0732	-25,56	0,000	-0,8809	-25,51	0,000	-0,0605	-2,59	0,009	-0,1747	-3,06	0,002
차로폭	0,0344	1,58	0,113	0,0681	4,42	0,000	0,0429	2,09	0,036	0,0231	0,44	0,663
시간	0,0109	0,33	0,745	0,0815	1,25	0,210	0,0451	1,46	0,145	0,1133	1,98	0,048
날씨	0,0504	1,88	0,059	0,0606	1,77	0,077	0,0764	2,97	0,003	1,3356	11,50	0,000
μ_1	3,3427			2,3435			2,3788			3,6897		
$LL(\beta)$	-3,890,27			-7,625,25			-4,791,84			-878,37		
$LL(0)$	-5,553,68			-8,460,46			-5,573,54			-1,308,65		
ρ^2	0,2995			0,0987			0,1403			0,3288		
x^2	3,326,81			1,670,42			1,563,39			860,55		
Number of Obs.	6,988			10,429			6,627			1,490		

변수명	충청도			전라도			경상도			제주도		
	추정계수	t통계량	유의수준	추정계수	t통계량	유의수준	추정계수	t통계량	유의수준	추정계수	t통계량	유의수준
상수	1,5260	22,37	0,000	1,4710	18,37	0,000	2,0706	5,89	0,000	0,8786	19,21	0,000
운전자 나이	-1,5048	-24,62	0,000	-1,5623	-35,84	0,000	-1,6996	-46,63	0,000	-0,6406	-6,62	0,000
보행자 나이	0,4657	13,71	0,000	0,4237	13,33	0,000	0,4159	15,66	0,000	0,2682	3,98	0,000
사고유형 1	-0,2516	-2,49	0,013	-0,0444	-0,44	0,658	-0,3566	-1,54	0,090	-0,4667	-2,36	0,017
사고유형 2	-0,2522	-1,97	0,049	0,2248	1,66	0,097	0,2464	2,66	0,008	0,2690	0,63	0,528
사고유형 3	-0,0633	-0,60	0,545	-0,0415	-0,45	0,652	0,4199	6,12	0,000	-0,6368	-2,31	0,021
사고유형 4	0,1176	1,97	0,048	0,2615	3,47	0,001	0,4082	8,18	0,000	0,5316	-2,90	0,004
차량종류	0,1005	2,72	0,007	0,1814	5,21	0,000	0,1817	6,45	0,000	0,4268	6,01	0,000
도로종류	-0,0413	-1,95	0,050	-0,2123	-6,42	0,000	-0,1385	-4,57	0,000	-0,2668	-3,23	0,001
차로폭	0,0276	5,21	0,000	0,2219	6,48	0,000	0,0572	1,99	0,046	0,0083	0,11	0,910
시간	0,0637	2,53	0,010	0,1751	3,56	0,000	0,0101	3,25	0,002	0,0146	3,88	0,000
날씨	0,3812	9,93	0,000	0,0963	2,49	0,013	0,0500	1,96	0,050	0,8499	8,93	0,000
μ_1	2,7104			2,8356			3,0984			3,6641		
$LL(\beta)$	-1,745,39			-1,870,15			-2,786,96			-463,82		
$LL(0)$	-2,403,99			-3,031,55			-2,885,11			-724,42		
ρ^2	0,2740			0,3831			0,3624			0,3597		
x^2	1,317,20			2,322,80			3,168,61			521,21		
Number of Obs.	2,648			3,319			5,243			845		



〈표 5〉 한계효과

변수명	서울시			광역시			경기도			강원도		
	Y=0	Y=1	Y=2	Y=0	Y=1	Y=2	Y=0	Y=1	Y=2	Y=0	Y=1	Y=2
운전자 나이	0.4743	0.4780	-0.0037	0.0695	0.0800	-0.0104	0.3429	0.4013	-0.0584	0.3146	0.3202	-0.0057
보행자 나이	-0.1254	-0.1264	0.0010	-0.1378	-0.1584	0.0207	-0.1498	-0.1754	0.0255	-0.1332	-0.1356	0.0024
사고유형 1	0.0370	0.0372	-0.0003	0.0603	0.0694	-0.0090	0.0495	0.0580	-0.0084	0.0083	0.0085	-0.0001
사고유형 2	-0.0274	-0.0276	0.0002	-0.0093	-0.0106	0.0014	-0.0264	-0.0309	0.0045	-0.0364	-0.0371	0.0007
사고유형 3	-0.0446	-0.0449	0.0003	-0.0168	-0.0194	0.0025	-0.0309	-0.0362	0.0053	-0.0144	-0.0147	0.0003
사고유형 4	-0.1413	-0.1424	0.0011	-0.1125	-0.1293	0.0169	-0.1257	-0.1471	0.0214	-0.1022	-0.1040	0.0018
차량종류	-0.0857	-0.0863	0.0007	-0.0478	-0.0550	0.0072	-0.0921	-0.1077	0.0157	-0.0579	-0.0589	0.0010
도로종류	0.4179	0.4212	-0.0033	0.3291	0.3785	-0.0494	0.0218	0.0256	-0.0037	0.0524	0.0533	-0.0009
차로폭	-0.0134	-0.0135	0.0001	-0.0254	-0.0293	0.0038	-0.0155	-0.0181	0.0026	-0.0069	-0.0070	0.0001
시간	-0.0042	-0.0043	0.0000	-0.0305	-0.0350	0.0046	-0.0163	-0.0191	0.0028	-0.0340	-0.0346	0.0006
날씨	-0.0196	-0.0198	0.0002	-0.0226	-0.0260	0.0034	-0.0276	-0.0323	0.0047	-0.0405	-0.0407	0.0072

변수명	충청도			전라도			경상도			제주도		
	Y=0	Y=1	Y=2	Y=0	Y=1	Y=2	Y=0	Y=1	Y=2	Y=0	Y=1	Y=2
운전자 나이	0.4259	0.5281	-0.1022	0.5515	0.5917	-0.0402	0.4827	0.5338	-0.0511	0.2194	0.2214	-0.0020
보행자 나이	-0.1318	-0.1634	0.0316	-0.1496	-0.1605	0.0109	-0.1181	-0.1306	0.0125	-0.0919	-0.0927	0.0008
사고유형 1	0.0712	0.0883	-0.0171	0.0157	0.0168	-0.0011	0.1013	0.1120	-0.0107	0.1598	0.1613	-0.0015
사고유형 2	0.0714	0.0885	-0.0171	-0.0794	-0.0852	0.0058	-0.0700	-0.0774	0.0074	-0.0921	-0.0930	0.0008
사고유형 3	0.0179	0.0222	-0.0043	0.0147	0.0157	-0.0011	-0.1193	-0.1319	0.0126	0.2181	0.2201	-0.0020
사고유형 4	-0.0333	-0.0413	0.0080	-0.0923	-0.0990	0.0067	-0.1159	-0.1282	0.0123	-0.1820	-0.1837	0.0017
차량종류	-0.0285	-0.0353	0.0068	-0.0640	-0.0687	0.0047	-0.0516	-0.0571	0.0055	-0.1462	-0.1475	0.0013
도로종류	0.0117	0.0145	-0.0028	0.0749	0.0804	-0.0055	0.0393	0.0435	-0.0042	0.0914	0.0922	-0.0008
차로폭	-0.0078	-0.0097	0.0019	-0.0783	-0.0841	0.0057	-0.0162	-0.0180	0.0017	-0.0028	-0.0029	0.0001
시간	-0.0180	-0.0224	0.0043	-0.0618	-0.0663	0.0045	-0.0029	-0.0032	0.0003	-0.0050	-0.0051	0.0001
날씨	-0.1079	-0.1338	0.0259	-0.0340	-0.0365	0.0025	-0.0142	-0.0157	0.0015	-0.2911	-0.2937	0.0027

4.2 결과분석

추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness of Fit)를 나타내는 x^2 는 521.21(제주도)~3,326.81(서울시)을 나타내어 모든 지역에서 95% 신뢰수준에서 유의한 것으로 나타나 모형의 적합도는 우수한 것으로 판단하며, 모형의 설명력을 나타내는 R^2 (우도비)는 0.0987(광역시)~0.3831(전라도)로 대부분의 모형이 설명력이 있는 것으로 판단한다. 또한 설명변수에 대한 t-통계량, 유의수준, 사고심각도에 미치는 영향에 대해 살펴보면 다음과 같다.

운전자 나이는 모든 지역에서 보행자 사고 심각도에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 유의수준이 0.05이하로 95% 신뢰수준에서 통계적 유의성(Statistical Significance)이 있는 것으로 나타났다. 이는 운전자의 나이가 많아질수록 보행자 사고의 심각도는 낮아지는 것을 의미한다. 이에 따른 한계효과를 살펴보면 부상 및 경상(Y=0)의 범위가 0.0695(광역시)~0.5515(전라도), 중상(Y=1)의 범위가 0.0800(광역시)~0.5917(전라도)로 보행자 사고 발생시 운전자 나이가 많아질수록 사망사고에 비해 중상사고, 경상 및 부상사고가 발생할 가능성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 캠페인, 교육 등을 통해 나이가 어린 운전자에게 보행자 사고의 심각성 및 안전한 운전을 할 수 있도록 유도하는 것이 필요하다고 판단한다.

보행자 나이의 추정계수는 모든 지역에서 정(+)의 값으로 나타났으며, 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 즉, 보행자 나이가 많아질수록 보행자 사고의 심각도는 높아지는 것을 의미한다. 이에 따른 한계효과를 보면 사망(Y=2)의 범위가 0.0008(제주도)~0.0316(충청도)로 보행자 나이가 많아질수록 사망사고가 발생할 가능성이 높은 것으로 나타났다. 기존의 연구들을 살펴보면 김범일 등(2005)의 연구와 Zajac & Ivan(2003)의 연구에서도 보행자 나이가



많아질수록 보행자 사고의 심각도는 높아지는 것으로 분석되었다. 따라서 고령자를 보행속도, 이동거리, 장애물에 대한 반응속도 등을 고려한 보행시설의 물리적 개선과 관련법규의 정비가 필요하다 판단하며, 이를 통해 고령자 사망사고의 비율을 줄일 수 있을 것이라 판단한다.

사고유형에서는 사고유형 2(차:사람 보도통행중), 사고유형 3(차:사람 차도통행중)의 경우 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다. 반면, 사고유형 1(차:사람 길가장자리구역 통행중)의 경우일 때, 강원도, 전라도, 경상도를 제외한 모든 지역에서 보행자 사고 심각도가 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 강원도, 전라도, 경상도 등 지방지역에서는 보행자와 차량과의 명확한 분리가 이루어지지 않았기 때문으로 판단한다. 또한 사고유형 4(차:사람 횡단중)의 경우 모든 지역에서 보행자 사고의 심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 이에 따른 한계효과를 살펴보면 사고유형 1의 경우 부상 및 경상(Y=0)의 범위가 0.0370(서울시)~0.1598(제주도), 중상(Y=2)의 범위가 0.0372(서울시)~0.1613(제주도)로 나타났으며, 사고유형 4의 경우 사망(Y=2)의 범위가 0.0011(서울시)~0.0214(경기도)로 나타났다. 따라서 차량과 사람을 최대한 분리시킬 수 있는 가드레일 설치 및 보행자의 무단횡단을 방지 시설 등을 통해 보행자 사망사고를 줄일 수 있을 것이라 판단한다.

차량종류는 모든 지역에서 보행자 사고 심각도에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 이는 차량이 대형이 될수록 보행자 사고의 심각도는 높아지는 것을 의미하며, 이에 따른 한계효과는 사망(Y=2)의 범위가 0.0007(서울시)~0.0157(경기도)에 분포하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 대형 차량일 경우 사망사고가 발생할 확률이 높아지는 것을 의미한다. 기존의 Zajac & Ivan(2003)의 연구에서도 차량종류와 보행자 사고 심각도를 분석하였는데, 차량의 크기가 커질수록 보행자 사고의 심각도는 높아지는 것으로 분석되었다. 따라서 보행자 사망사고를 줄이기 위해 보행자가 많은 지역에서의 대형차량 통행을 금지시킬 필요가 있다고 판단한다.

도로종류에 대한 추정계수는 모든 지역에서 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 이는 차량의 속도가 높은 도로일수록 보행자사고의 심각도가 높아지는 것을 의미한다. 이에 따른 한계효과를 살펴보면 부상 및 경상(Y=0)의 범위가 0.0117(충청도)~0.4179(서울시)에 분포하며, 중상(Y=1)의 경우 0.0145(충청도)~0.4212(서울시)에 분포하는 것으로 나타났다. 즉, 고속의 도로에서 사고가 발생할 경우 사망사고에 비해 부상 및 경상, 중상사고가 발생할 확률이 높다는 것을 의미한다. 기존의 Garder(2004)의 연구에서도 고속의 도로가 더 많은 사고를 야기시키는 것으로 분석하였다. 따라서 보행자가 많은 주거, 상업 지역 등에서 Traffic Calming 등의 기법을 통해 물리적으로 차량의 속도를 낮추고, 규제를 통해 차량의 속도를 제한해야한다고 판단한다. 이를 통해 보행자 사고 건수 및 심각도를 줄일 수 있을 것이라 판단한다.

차로폭에 대한 추정계수는 모든 지역에서 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 서울시, 강원도, 제주도에서는 설명변수가 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 서울시의 경우 보행자 신호, 횡단시설 등이 적절하게 공급되었기 때문이고, 강원도와 제주도는 지역의 특성상 차로폭이 넓은 도로 광로는 거의 존재하지 않고, 대부분의 지역이 소로로 구성되어 있기 때문인 것으로 판단한다. 또한 한계효과를 살펴보면, 사망(Y=2)의 경우 0.0017(경상도)~0.0057(전라도)로 차로폭이 넓을수록 보행횡단 시간이 길어짐에 따라 사망사고가 발생할 확률이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 이두희(2005)의 연구에서도 횡단신호시간이 증가할수록 보행자 사고율은 증가하는 것으로 분석하였다. 따라서 차로폭에 따른 적절한 도로 횡단시설물의 설치가 필요하고 판단한다.

시간은 모든 지역에서 주간일수록 보행자 사고 심각도가 낮아지는 것으로 나타났다. 그러나 서울시, 광역시, 경기도에서는 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났는데, 이는 대도시의 경우 가로등 등의 조명시설이 충분히 공급되어있기 때문인 것으로 판단한다. 한계효과를 살펴보면, 사망(Y=2)의 경우 0.0001(제주도)~0.0045(전라도)로 야간이 될수록 보행자 사망사고의 확률이 증가하는 것으로 나타났다. 기존 Al-Ghamdi(2002)의 연구와 Shakar et.al,(2002)의 연구에서도 야간이 보행자 사고에 영향을 미치는 것으로 분석하였으며, 조명시설 설치의 중요성을



제시하였다. 따라서 지방지역에서 야간에도 운전자의 시거를 확보할 수 있을 정도의 조명시설 설치가 필요하다.

날씨에 대한 추정계수는 모든 지역에서 정(+)의 영향을 미치는 것으로 분석되었는데, 이는 눈, 비 등의 악천후일수록 보행자 사고의 심각도가 높아지는 것을 의미한다. 유의수준의 경우 서울시와 광역시를 제외한 모든 지역에서 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났는데, 이는 서울시의 경우 악천후 상황에서 보행자 안전시설 등의 정비가 잘 되어있기 때문으로 판단한다. 또한 한계효과를 살펴보면, 사망(Y=2)의 경우 0.0015(경상도)~0.0259(충청도)로 악천후일수록 보행자 사망사고의 확률이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 악천후시 보행자의 안전을 보장하기 위한 안전시설 및 제설작업 등이 신속히 이루어 질 수 있는 시스템을 구축함으로써 보행자 사망 사고를 줄일 수 있을 것이라 판단한다.

5. 결론 및 향후연구과제

보행은 모든 통행을 위해 사용되는 가장 기초적인 교통수단이며, 타 교통수단에 의한 교통사고나 환경오염 등의 각종 교통문제들을 보완하는 녹색 교통수단으로서 그 중요성이 새롭게 인식되어지는 추세에 있다. 따라서 안전한 보행권 확보를 위한 노력이 지속되고 있으나, 우리나라의 보행자 사망사고는 OECD 국가의 평균에 비해 상당히 높다. 이에 따라 각 지자체는 보행자 사고를 줄이기 위한 안전대책을 수행하였으나, 각 지역의 특성을 반영하지 못함에 따라 그 비용대비 효과는 크지 않은 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 지역별 보행사고의 특성을 파악하고, 보행자 사고의 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 전국 37,589개의 자료를 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 분석하였다. 2차 선별과정을 통해 보행자 사고 심각도를 설명하기에 유의하게 나타난 변수들은 운전자 나이, 보행자 나이, 사고유형1~4, 차량종류, 도로종류, 차로폭, 시간, 날씨 등 총 11개로 나타났으며, 분석결과 ρ^2 (우도비)는 0.0987(광역시)~0.3831(전라도)로 대부분의 모형이 설명력이 있는 것으로 판단한다.

또한 한계효과와 개선대책을 살펴보면 <표 6>과 같다.

<표 6> 한계효과와 개선대책

변수	부호	한계효과 범위			관련연구	개선대책
		Y=0	Y=1	Y=2		
운전자 나이	-	0.0695(광역시) ~0.5515(전라도)	0.0800(광역시) ~0.5917(전라도)	-	-	• 캠페인, 교육 등
보행자 나이	+	-	-	0.0008(제주도) ~0.0316(충청도)	김범일 등(2005) Zajac & Ivan(2003)	• 보행시설의 물리적 개선 • 관련법규의 정비
사고 유형1	+	0.0370(서울시) ~0.1598(제주도)	0.0372(서울시) ~0.1613(제주도)	-	-	• 가드레일 등의 설치
사고 유형4		-	-	0.0011(서울시) ~0.0214(경기도)	-	• 무단횡단 방지시설 설치
차량 종류	+	-	-	0.0007(서울시) ~0.0157(경기도)	Zajac & Ivan(2003)	• 관련법규의 정비
도로 종류	-	0.0117(충청도) ~0.4179(서울시)	0.0145(충청도) ~0.4212(서울시)	-	Garder(2004)	• 물리적으로 차량의 속도 감소 • 규제를 통한 차량의 속도 제한
차로폭	+	-	-	0.0017(경상도) ~0.0057(전라도)	이두희(2005)	• 적절한 도로 횡단시설물의 설치
시 간	+	-	-	0.0001(제주도) ~0.0045(전라도)	Al-Ghamdi(2002) Shakar et.al.(2002)	• 조명시설 설치(지방지역)
날 씨	+	-	-	0.0015(경상도) ~0.0259(충청도)	-	• 안전시설 설치 • 제설작업 등의 신속한 시스템 구축



대부분의 경우 지역에 상관없이 거의 유사한 결과가 도출되었으나, 사고유형 1, 차로폭, 시간, 날씨에 관해서는 지역별 차이가 있었다. 즉, 사고유형 1, 차로폭의 경우 지방지역에서는 보행자 사고 심각도에 큰 영향이 없었으나, 시간, 날씨는 도시지역에 비해 지방지역에서 보행자 사고 심각도에 큰 영향이 있었다. 따라서 이러한 결과를 토대로 지역별 보행자 안전대책 수립시 이용되어 불필요한 부분의 투자를 방지하고, 비용대비 효용이 높은 안전대책을 수립할 수 있을 것이다. 또한 이를 토대로 보행자 사고로 인한 사회경제적 손실을 줄이고, 모든 보행자가 만족할 수 있는 안전한 보행자 도로를 구축할 수 있을 것으로 기대한다.

향후 본 연구에서 고려한 보행자 사고 심각도에 영향을 미치는 변수외에 더 많은 변수를 수집하여 모형을 구축하여야 하며, 보다 미시적인 관점에서의 분석 및 개선대책이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 김범일, 오철, 강연수(2005), “제한속도 설정에 따른 교통안전 편익평가-보행자 사망확률모형 개발 및 활용-”, 2005 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp.3782~3785.
2. 도로교통안전관리공단(2007), “OECD 회원국 교통사고 비교”, 도로교통안전관리공단.
3. 박규영, 이수범(2006), “보행자사고확률모형을 이용한 도로안전시서물의 효과도 추정(4차로 일반국도를 대상으로)”, 대한교통학회지, 제24권 제4호, 대한교통학회, pp.55~65.
4. 이두희(2005), “횡단보도 보행자의 동태적 행위 관련 안전예측모형 개발”, 대한토목학회논문집, 제25권 제3D호, 대한토목학회, pp.439~445.
5. 이성우, 민성희, 박지영, 윤성도(2005), 「로짓·프라빗모형 응용」, 박영사.
6. 주미영(2002), “프로빗과 순차적 프로빗 분석에 대한 이해와 적용”, 정부학 연구, 제6권 제1호, pp.24~48.
7. Al-Ghamdi, A.S.(2002) “Pedestrian-vehicle crashes and analytical techniques for stratified contingency tables”, Accident Analysis and Prevention 34, pp.205~214.
8. Bonneosn,J.A., McCoy,P.T.(1993), "Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highway", Transportation Research Board, No.1401, pp.83~89.
9. Garder, P.E.(2004), "The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine", Accident Analysis and Prevention 37, pp.533~542.
10. Graham, D., S. Glaister, R. Anderson(2005), "The effect of area deprivation on the incidence of child and adult pedestrian casualties in England", Accident Analysis and Prevention 37, pp.125~135.
11. Lee, C., M. Abdel-Aty(2005), "Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida", Accident Analysis and Prevention 37, pp.775~786.
12. Shakar, V.N., et.al.(2003), "Modeling crashes involving pedestrians and motorized traffic", Safety Science 41, pp.627~640.
13. Zajac, S.S., J.N. Ivan(2003), "Factors influencing injury severity of motor vehicle-crossing pedestrian crashes in rural Connecticut", Accident Analysis and Prevention 35, pp.369~379.