

■ 論 文 ■

순서형 프로빗 모형을 이용한 사고심각도 분석

The Study on the Accident Injury Severity Using Ordered Probit Model

하 오 근

(한국교통연구원 연구원)

오 주 택

(한국교통연구원 책임연구원)

원 제 무

(한양대학교 도시대학원 교수)

성 낙 문

(한국교통연구원 책임연구원)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
- II. 문헌고찰
 - 1. 기존 연구 고찰
 - 2. 사고 심각도 모형에 대한 이론적 고찰
- III. 자료수집
 - 1. 사고자료 수집
 - 2. 교통량 및 주변 환경자료 수집
- IV. 모형개발 및 결과분석
 - 1. 모형개발
 - 2. 결과분석
- V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 교차로, 교통사고, 사고심각도, 순서형 확률모형, 순서형 프로빗 모형

요 약

최근 폭등하는 자동차의 이용과 교통사고의 증가는 물적 손실이란 측면에서 뿐만 아니라, 국민의 기본 생활권을 위협한다는 측면에서 교통사고를 줄이기 위한 많은 노력이 요구된다. 특히, 일반 도로구간에 비해 사고의 잠재성이 상대적으로 높은 교차로의 경우 이에 대한 적절한 대책이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 교차로 교통사고에 있어서 사고 심각도에 영향을 미치는 요인들을 분석하고 이를 통하여 교차로 안전성 향상에 기여하고자 한다. 사고 심각도 분석에 있어서 사고 자료의 특성을 고려하여 순서형 확률모형 중 적절한 모형을 적용하였다.

데이터의 ϵ_i (오차항)의 분포를 정규분포로 가정하여 순서형 프로빗 모형을 적용하였고 모형의 설명력과 적합성을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 χ^2 (Chi-square)의 값을 이용하여 최적의 사고 심각도 모형을 개발하였다. 개발된 심각도 모형을 분석한 결과, 교차로 교통사고 심각도에 영향을 미치는 변수는 부도로 교통량, 주도로 중차량 비율, 주도로 우회전 비율, 주도로 조명시설, 주도로 제약시설, 부도로 좌회전 유도선 등으로 분석되었다.

In recent years, the rapid growth of vehicles have increased traffic crashes. Since they can cause the economic losses and have put the life quality in danger, there should be numerous efforts to reduce traffic crashes. To reduce traffic crashes, this research seeks to improve the safety of intersections by analysing causations of injury severity with Ordered Probability Model.

This research applied the Ordered Probit Model, which assumes that ϵ_i (random error) is normally distributed, for model calibration and used ρ^2 (likelihood ratio)and χ^2 (Chi-square) for model selection. The results show that minor road traffic, heavy vehicle rates, major and minor right-turn rates, presence of lightings, speed limits, instructive line for left-turn traffic are significant factors affecting crash severities at signalized intersections.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

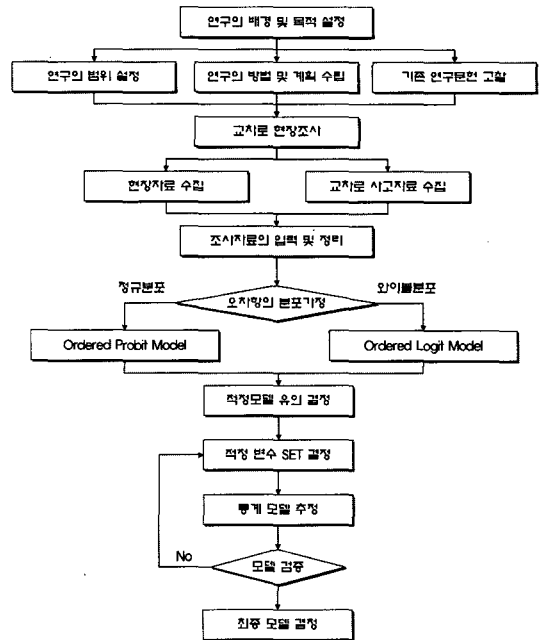
우리나라는 1970년 이후 급속한 경제성장과 더불어 자동차 보유대수는 12만 여대에서 2003년에는 1,458만대를 넘어서고 있으며 자동차의 보급 확대에 따른 교통사고도 꾸준히 증가하고 있다. 2001년 경찰청에서 발간된 통계보고서에 따르면 전체 교통사고는 26만여건으로 이중 교차로 교통사고는 47,767건으로 전체 교통사고의 18.3%를 차지하고 있는 실정이다. 또한 2002년 21.1%, 2003년 25.9%로 매년 교차로 교통사고의 비율이 점차 증가하고 있으며 이러한 교통사고로 인하여 발생하는 사회경제적 비용은 연간 9조 2천억 원(경찰청 통계연보, 2004)이라는 전문학적인 지출을 보이고 있다. 이와 같이 교통사고의 피해가 심각한 상황에서 피해를 줄이기 위한 절실한 노력이 요구되며 그 출발점은 사고원인을 규명하고 합리적인 교통사고 개선대책을 마련하는 일이라 하겠다. 또한 국내의 연구 현황에 있어서 부분적인 사고예측모델들은 개발되고 있지만 사고의 심각도 부분에 대한 연구가 많이 미비한 실정으로 이에 대한 연구가 필요한 실정이라 하겠다.

이 같은 관점에서 본 연구에서는 사고심각도에 관련된 연구문헌들을 고찰하여 교차로를 대상으로 교통사고에 영향을 미치는 교통량 및 주변환경요소등의 조사되어진 설명변수를 통해 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하고 교차로 교통안전에 영향을 미치는 요소를 추출하여 효율적인 교통안전 대책수립과 교차로 운영상 교통사고 감소에 기여하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 교차로에서 발생하는 교통사고 심각도와 교통량 및 주변환경요소와의 관계를 분석하기위해 공간적 범위로는 충청남·북도의 교차로 중 계층적 샘플링(Stratified Random Sampling)방법을 통하여 77개 교차로를 대상으로 하였고, 시간적 범위로는 2001년 이후 도로기하구조의 변화가 없는 교차로를 대상으로 하였으며 각 교차로에서 발생한 교통사고에 대해 사고 심각도 정도(대물사고, 경상, 중상, 사망)로 구분하여 사고심각도 분석에 이용하였다.

연구의 방법에 있어서 교차로에서 발생하는 교통사고의



(그림 1) 연구수행과정

심각도 정도와 교통량 및 도로기하구조와의 관계를 분석하기 위해 확률선택모형(Probabilistic choice model)인 순서형 프로비트 모형(Ordered Probit Model)과 순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model)중 ϵ_{it} (오차항)의 분포에 따른 가정을 통하여 사고 심각도 모델 개발하였고, 이를 통하여 사고 심각도에 영향을 미치는 주요 설명변수들에 대한 분석을 실시하였다. <그림 1>은 본 연구에서 수행한 연구의 흐름도를 나타낸다.

II. 문헌고찰

1. 기존 연구 고찰

교차로 교통사고 심각도에 영향을 미치는 요소는 매우 다양하다. 각기 다른 요소에 의하여 발생하는 교통사고에 따른 심각도를 예측하고 그 원인을 분석 및 개선하기 위하여 국내·외에서는 많은 연구가 수행되고 있다.

국내의 연구를 살펴보면 교차로에 대한 사고원인분석과 그에 따른 개선대책에 관한 연구들이 주를 이루고 있다. 김원철 등(2001)의 연구에서는 교차로 교통사고에 있어서 교통량, 주행차량 속도, 도로의 종단구배, 교통섬을 고려하여 분석하였고, 임윤택(1993)의 연구

에 따르면 교통량과 횡단보도수가 많고 교차각이 작은 교차로에서 사고가 많이 발생하는 결과를 도출하였다.

홍정열(2002)의 연구에서는 원주시의 사고가 잦은 신호교차로의 사고 자료와 현장조사를 바탕으로 안전에 방해가 되는 요소를 찾아 모형을 구축하였는데 설명변수를 선정하기 위해 교통조건, 도로조건, 교통통제조건에 대한 현장조사 자료를 분석한 결과 교통량, 회전교통량, 버스정류장, 노상주차, U-턴 유무, 차선수, 시거, 교차로 면적, 주기가 유의하게 나타났으며 이외에 토지이용과 지역 유형에 따른 사고 또한 영향을 주는 결과가 나타났다.

국외의 연구를 살펴보면 Kara Maria Kockelman(2002)의 연구에서는 미국의 GES(General Estimates System) 데이터를 이용하여 사고 심각도에 영향을 미치는 요소를 찾기 위해 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 적용하였다. 이 연구에서는 차량 단독사고, 차량 대 차량사고, 모든 사고형태에 대해 3가지 사고형태에 따라 분석을 실시하였다. 분석결과 차량 단독사고에 있어서 화물차가 승용차에 비해 안전성이 낮은 것으로 나타났고 차량 대 차량 사고에서 운전자의 사고 심각도는 작은 반면에 조수석에 위치한 탑승자의 사고 심각도가 높게 나타났으며 차량의 연식이 얼마 되지 않은 새로운 차의 운전자가 남자이고 어릴수록 저속을 유지함으로 인하여 사고 심각도가 낮은 것으로 나타났다.

Lourens 등(1999)의 연구에서는 남자와 여자의 성별에 따른 교통사고 특성에 대해 연구한 결과 1년 동안의 주행거리(mile)에 대한 사고에 있어서 남자와 여자의 사고특성에는 차이가 없는 것으로 나타났고 모든 연령대에서 음주운전으로 인한 사고는 치명적인 교통사고에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 여기서 흥미로운 것은 운전자의 교육수준에 따라 교통사고에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다.

Zhang 등(2000)의 연구에서는 운전자 연령에 따른 사고에 대하여 캐나다의 사고 데이터를 이용하여 사고 심각도에 영향을 미치는 요인에 대해 분석하였는데 나이가 많은 운전자 일수록 치명적인 부상 사고가 많은 것으로 나타났고 Dobson 등(1999)의 연구에서는 음이항 모델을 적용하여 분석한 결과 젊은 여성운전자의 경우 중년층의 여성운전자에 비해 3건의 교통사고가 더 발생하는 것으로 나타났다.

2. 사고 심각도 모형에 대한 이론적 고찰

본 연구에서는 행위의 강도, 효과와 선택의 선호도

등을 분석하기에 적합한 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 교차로 교통사고 심각도 분석을 실시하였는데 이에 대한 모델 선택배경을 알아보면 다음과 같다.

일반적으로 프로빗, 로짓 모형은 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($y=0, 1, 2, \dots$ 이상일 경우)과 같이 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(주미영, 2002).

이와 같은 한계점을 해결하기 위해 종속변수가 순서를 지닌 경우($y=0, 1, 2, \dots$)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 살펴보면 다음과 같다. ϵ_{it} (오차항)의 변동은 측정될 수 없으므로 ϵ_{it} (오차항)의 값은 알지 못하나 오차항의 확률분포는 안다고 가정한다. 이 ϵ_{it} (오차항)의 확률분포형태를 가정함에 따라 선형확률모형(Linear Probability model), 로짓 모형(Logit Model), 프로빗 모형(Probit Model) 등 세 가지로 구분되는데 선형 확률모형에서는 ϵ_{it} 의 확률적 분포가 균일 분포(uniform distribution)임을 가정하고, 로짓 모형에서는 ϵ_{it} 의 확률적 분포가 분산이 동일하고 독립적(IID : Identically and Independently Distribution)인 와이블 분포(Weibull Distribution)를 한다고 가정하고, 프로빗 모형에서는 ϵ_{it} 의 확률분포가 분산이 동일하고 공분산이 0인 정규분포(Normal Distribution)를 따른다고 가정한다(Bonneson, 1993).

ϵ_{it} (오차항)의 분포형태가 유사하고 조작성이 풍부한 와이블 분포는 로짓 모형으로 유도 되지만 ϵ_{it} (오차항)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 LIMDEP(Limited

Deoendent Variables, ver 8.0)을 사용하여 파라메타의 계수값을 도출하였다. 따라서 본 연구에서는 ϵ_n (오차항)의 분포를 정규분포로 가정하고 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 사고 심각도 모형 개발에 사용하였다.

순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)에 대한 기본 이론에 대해 살펴보면 다음과 같다. 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)은 일반적인 순서형 자료는 y 가 0, 1, 2, 3, ..., y_i 까지 가는 자료형태를 가지고 있다면, 순서형 확률모형은 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

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

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

각 설명변수가 사고심각도에 미치는 영향도를 나타내는 한계효과(marginal effect)는 식(3)과 같이 나타낼 수 있는 이는 각 설명변수에 대하여 편미분을 적용하여 나타낼 수 있다. 예로, 더미변수인 경우($X=0$ 또는 1), 설명변수가 사고심각도에 미치는 영향도를 나타내는 한계효과는 다른 설명변수를 고정된 상태에서 설명변수가 1인 경우의 선택확률과 0인 경우의 선택확

률의 차이(= $Prob(1) - Prob(0)$)를 의미한다. 따라서 각 설명변수에 대한 한계효과의 합은 0이 된다.

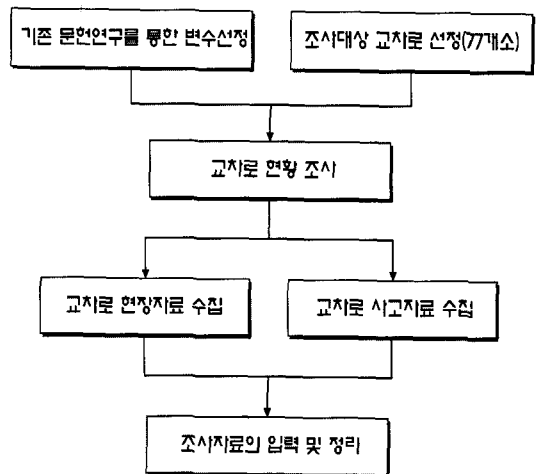
$$\begin{aligned}
 \frac{\partial Prob[y=0]}{\partial x} &= -\phi(\beta x)\beta \\
 \frac{\partial Prob[y=1]}{\partial x} &= [\phi(-\beta x)\beta - \phi(\mu_1 - \beta x)]\beta \\
 \frac{\partial Prob[y=2]}{\partial x} &= -\phi(\mu_2 - \beta x)\beta
 \end{aligned} \tag{3}$$

최종적으로 도출된 모형에 대하여 모델의 검증방법은 모델의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 모형의 적합성을 검증하는 χ^2 (Chi-Square)값을 이용한다. 여기서, ρ^2 (우도비)는 McFadden의 결정계수라고도 불리며 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 모델의 적합도가 높다고 평가되며 회귀 분석의 결정계수와는 달리 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합도를 가진다고 볼 수 있다. 또한 χ^2 (Chi-Square)값은 모형개발시 각 변수들 간의 독립성을 검증하기 위하여 사용하며 검증방법은 χ^2 통계량과 χ^2 분포표를 이용하여 임계치를 비교함으로써 모델의 적합성을 검증할 수 있다.

III. 자료수집

자료수집과정은 사고자료 수집과 교통량 및 주변 환경자료 수집과정으로 수행하였으며 전체적인 자료수집 과정은 <그림 2>와 같다.

1. 사고자료 수집



<그림 2> 자료수집방법

본 연구에서의 사고자료는 2001년 이후 도로의 기하구조에 대한 변화가 없는 교차로를 대상으로 2001년도의 각 교차로 교통사고에 대한 내용을 구분(대물사고, 경상, 중상, 사망)하여 사용하였다.

2. 교통량 및 주변 환경자료 수집

본 연구에서 교차로 교통사고에 영향을 미치는 교통량 및 주변 환경자료에 대해서 기존 문헌조사와 현장조사를 통하여 24개의 주요변수를 결정하였고 현장조사를 통하여 자료를 구축하였다. 현장조사에 앞서 사고에 영향을 미치는 24개 변수중 각 교차로의 주도로, 부도로 교통량에 대한 자료는 도로교통 통계연보를 통하여 자료를 수집·정리하였고 나머지 변수에 대한 자료에 대해서는 현장에서 직접 조사·수집 하였으며 이에 대

〈표 1〉 변수의 수집방법 및 통계분석을 위한 표시방법

변수	수집방법 및 분석을 위한 표시방법
사고정도	교차로 내에서 발생한 교통사고(대물사고 : 0, 경상 : 1, 중상 : 2, 사망 : 3)
ADT	주도로, 부도로의 일평균 교통량(표시방법 : 대)
차선수	주도로, 부도로의 편도 차선수(표시방법 : 차선)
중차량 비율	전체 교통량중 중차량 비율(표시방법 : %)
좌회전 비율	전체 교통량중 좌회전 비율(표시방법 : %)
우회전 비율	전체 교통량중 우회전 비율(표시방법 : %)
도로변 제약시설물	제약시설물 여부(표시방법 : 있다 = 1, 없다 = 0)
차량유출입구 수	차량 유출입구수(표시방법 : 개)
좌회전 전용차로 수	전용차로수(표시방법 : 차로)
우회전 전용차로 수	전용차로수(표시방법 : 차로)
좌회전 신호	좌회전 신호 유무(표시방법 : 없다 = 0, 있다 = 1)
중앙 분리대	중앙 분리대 유무(표시방법 : 없다 = 0, 있다 = 1)
좌회전 시거	1~13단계로 구분(표시방법 : 10m미만 = 1, 1000m 이상 = 13)
우회전 시거	1~13단계로 구분(표시방법 : 10m미만 = 1, 1000m 이상 = 13)
제한속도	각 도로의 제한속도(표시방법 : Km/h)
조명시설	조명시설 설치 유무(표시방법 : 없다 = 1, 있다 = 0)
지형	각 도로의 지형(표시방법 : 평지 = 1, 오르막 = 2, 기복 = 3)
교차로 교통섬	교통섬 설치 유무(표시방법 : 없다 = 1, 있다 = 0)
횡단보도	50m이하 횡단보도 설치 유무(표시방법 : 없다 = 1, 있다 = 0)
교차로 주변 환경	100m내 주변 환경(표시방법 : 주거 = 1, 상가 = 2, 수상복합 = 3, 기타 = 4)
버스 정류장	50m내 버스정류장 유무(표시방법 : 있다 = 1, 없다 = 0)
차량 속도제약 시설	50m내 속도제약 시설(표시방법 : 있다 = 1, 없다 = 0)
좌회전 유도차선 설치	좌회전 유도선 유무(표시방법 : 없다 = 1, 있다 = 0)
교차로 교차각도	1~6단계로 구분(표시방법 : 1 = 90도 이상, 6 = 60도 이하)

한 자료수집과정은 〈그림 2〉와 같으며 모델 개발을 위한 변수표시방법에 관한 내용은 다음 〈표 1〉과 같다.

IV. 모형개발 및 결과분석

1. 모형개발

본 연구에서는 교차로 사고 심각도 분석을 실시하기 위하여 통계패키지 LIMDEP(Limited Dependent Variables, ver 8.0)을 이용하였다. 사용된 변수는 조사 대상 교차로 77개 지점에서 조사된 교통사고건수, 교통량, 주변 환경에 대한 46개의 변수를 이용하여 484개의 sample을 이용하여 분석에 활용하였고 ϵ (오차항)의 분포를 정규분포로 가정하고 순서형 프로빗 모형을 적용하여 사고 심각도 분석을 실시하였다. 그 결과 모형의 설명력과 적합성을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 χ^2 (Chi-square)의 값이 적합한 결과로 나타나 교차로 사고 심각도 모델 개발시 순서형 프로빗 모형이 적합한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 사고 심각도 모델 개발시 주 모델과 보조 모델을 나누어 개발하였다. 주 모델은 사고 심각도를 가장 잘 나타내는 모델로 사고 심각도와 설명변수들간의 상관관계를 가장 잘 설명하는 모델이지만, 사고 심각도에 따른 주요 설명변수들간의 상관관계를 설명하기에는 한계가 따르게 되고 사고심각도를 설명할 수 있는 주요 설명변수가 생략될 수 있는 위험성이 있음으로 인하여 보조모델을 개발하였다.

순서형 프로빗 모형을 이용하여 분석된 사고 심각도의 결과와 모델을 설명하는 변수들의 통계적 특성은 〈표 2〉와 같이 나타났다. 여기서 모델을 설명하는 변수에 대한 유의성 검증시 신뢰 수준은 90%($\alpha=0.1$)를 기준으로 하였으며 주 모델과 보조 모델의 선정방법은 모델의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 모델의 적합성을 나타내는 χ^2 (Chi-Square)를 이용하여 선정하였는데 각 모델의 수치를 비교하여 가장 높은 모델을 주 모델로 선정하였다. 주 모델의 경우 부도로 교통량, 주도로 중차량 비율, 주도로 우회전 비율, 부도로 우회전 비율, 주도로 조명시설, 주도로 제약시설물이 선정되었다.

2. 결과분석

본 연구에서는 조사지점(77개)으로 선정된 교차로의 사고 자료를 대물사고($Y=0$), 경상($Y=1$), 중상($Y=2$),

〈표 2〉 모델 분석 결과

변수명	주 모델			보조 모델 1			보조 모델 2			보조 모델 3		
	추정계수	T-통계치	유의수준	추정계수	T-통계치	유의수준	추정계수	T-통계치	유의수준	추정계수	T-통계치	유의수준
상수	1.4776	1.958	0.050	1.6296	2.176	0.029	0.3621	3.616	0.000	0.3987	4.129	0.000
부도로 교통량	0.3601	1.782	0.074	0.3611	1.789	0.073	-	-	-	-	-	-
주도로 중차량 비율	1.0848	1.755	0.079	-	-	-	-	-	-	-	-	-
주도로 우회전비율	0.7576	1.808	0.070	0.7749	1.851	0.064	-	-	-	-	-	-
부도로 우회전비율	0.5411	2.049	0.040	0.6089	2.334	0.019	0.5564	2.260	0.023	0.5544	2.252	0.024
주도로 조명시설	0.3414	2.129	0.033	0.3559	2.224	0.026	0.2753	1.805	0.071	0.2555	1.682	0.0925
주도로 제약시설	-0.3476	-2.148	0.031	-0.3933	-2.465	0.013	-0.2461	-1.687	0.091	-0.2645	-1.821	0.068
부도로 좌회전 유도선	-	-	-	-	-	-	0.1859	1.450	0.094	-	-	-
mu(1)	0.7842	15.406	0.000	0.7824	15.414	0.000	0.7805	15.404	0.000	0.7779	15.390	0.000
mu(2)	1.8031	23.338	0.000	1.7956	23.366	0.000	1.7914	23.359	0.000	1.7863	23.333	0.000
LL(θ)	532.2775			533.8179			535.0854			536.1347		
LL(0)	639.7051			639.7051			639.7051			639.7051		
ρ^2	0.167933			0.165525			0.163544			0.161903		
x^2	15.8552 (12.6)			12.7743 (11.1)			11.2393 (9.49)			9.1408(7.81)		
Degree of Freedom	6			5			4			3		
Num. of observations	484			484			484			484		

주: ()의 수치는 χ^2 (Chi-Square)의 임계치 임.

〈표 3〉 한계효과

변수명	한계효과 1				한계효과 2				한계효과 3				한계효과 4			
	Y=0	Y=1	Y=2	Y=3	Y=0	Y=1	Y=2	Y=3	Y=0	Y=1	Y=2	Y=3	Y=0	Y=1	Y=2	Y=3
부도로 교통량	-0.124	-0.015	0.074	0.065	-0.124	-0.015	0.074	0.064	-	-	-	-	-	-	-	-
주도로 중차량 비율	-0.373	-0.046	0.225	0.195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
주도로 우회전비율	-0.261	-0.032	0.157	0.136	-0.267	-0.032	0.159	0.140	-	-	-	-	-	-	-	-
부도로 우회전비율	-0.186	-0.231	0.112	0.097	-0.210	-0.025	0.125	0.110	-0.192	-0.023	0.114	0.101	-0.191	-0.023	0.113	0.101
주도로 조명시설	-0.112	-0.021	0.066	0.067	-0.210	-0.025	0.125	0.110	-0.091	-0.015	0.054	0.053	-0.085	-0.014	0.050	0.049
주도로 제약시설	0.120	0.013	-0.072	-0.062	0.136	0.014	-0.081	-0.070	0.085	0.009	-0.051	-0.044	0.091	0.010	-0.054	-0.048
부도로 좌회전 유도선	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.064	-0.008	0.038	0.034	-	-	-	-

주: Y=0(대물사고), Y=1(경상), Y=2(중상), Y=3(사망)

사망(Y=3)으로 구분하고 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 사고 심각도를 분석하였다. 종속변수는 사고 심각도 정도(y=0, 1, 2, 3)를 적용하고 설명변수는 교차로 교통량 및 주변 환경에 대한 46개의 현장조사 자료를 토대로 484개의 sample을 분석하였으며, 그 결과는 〈표 2〉와 같다. 또한 각 모델의 설명변수들이 사고 심각도에 미치는 영향을 나타내는 한계효과(Marginal effect)는 〈표 3〉과 같다.

우선 추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness of Fit)를 나타내는 x^2 는 15.8552(d.f.=6)를 나타내어 90% 신뢰수준에서 유의한 것으로 나타나 모형의 적합도는 우수한 것으로 판단된다. 또 각 모델에서 선정된 설명변수에 대한 t-통계치와 유의수준 값을 고려할 때 통계적 유의성(Statistical Significance)이 있

는 것으로 나타났다.

분석결과 교차로 사고 심각도에 영향을 미치는 변수로 부도로 교통량, 주도로 중차량 비율, 주도로 우회전 비율, 부도로 회전 비율, 주도로 조명시설, 주도로 제약시설, 부도로 좌회전 유도선이 선정되었으며 각 설명변수들이 사고 심각도에 미치는 영향에 대해 살펴보면 다음과 같다.

부도로 교통량은 교통사고 심각도에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났는데 이는 교통량이 증가함에 따라 사고의 심각도가 커짐을 의미한다. 이에 따른 한계효과를 살펴보면 중상(Y=2)의 범위가 0.074, 사망(Y=3)의 범위가 0.065로 부도로 교통량이 증가함에 따라 중상사고와 사망사고가 발생할 가능성이 높다는 것을 의미한다. 특히 부도로 교통량의 한계효과와 범위

중 증상($Y=2$)의 범위가 가장 높게 나타난 것으로 보아 부도로 교통량의 증가로 인해 중상사고가 일어날 가능성이 높은 것으로 나타났다. 이는 교통량이 증가하게 되면 차량간의 상충이 발생하게 되고, 운전자의 감정을 자극하여 공격적인 감정표출로 연결되어 사고가 발생할 수 있는 확률이 높아질 수 있기 때문이다. 기존에 연구들을 살펴보면 교통량이 증가함에 따라 교통사고도 지수관계의 형태로 증가한다는 Bonneson(1993)의 연구와 교통량이 증가함으로써 교통사고도 증가한다는 Oh(2004)의 연구 외에도 여러 연구에서 교통량과 사고와는 밀접한 관련이 있다고 밝혀왔다.

주도로 중차량 비율에 대한 결과를 살펴보면 중차량 비율이 증가함에 따라 사고의 심각도가 높은 것으로 나타났다. 또한 한계효과를 살펴보면 중상($Y=2$)의 범위가 0.225, 사망($Y=3$)의 범위가 0.195로 교차로 상에 중차량의 비율이 증가함에 따라서 중상사고가 발생할 가능성이 큰 것으로 나타났다. 이는 Kara Maria Kockelman(2002)의 연구와도 일치하는 내용으로 중차량의 비율이 증가함으로써 사고의 심각도가 높은 것으로 나타났다. 이는 교통사고 발생시 일반 승용차에 비해 중차량의 교통사고로 인해 인명피해가 많이 나타나는 것을 의미하며 교차로 상에서 중차량에 대한 통제가 필요함을 의미하는 것이다.

주·부도로 우회전 비율이 증가함에 따라서 교통사고의 심각도도 증가하는 것으로 나타났는데 이는 우회전 비율이 증가함에 따라 주도로 직진차량과의 상충확률이 증가하게 되고 이로 인해 부도로 우회전 차량과의 사고가 발생하는 것이다. 또한 한계효과를 살펴보면 우회전 차량 비율이 증가함에 따라 사망사고 보다는 중상사고가 발생할 확률이 높은 것으로 나타났다. 이러한 이유는 부도로의 우회전방식은 비보호로 운영되기 때문에 사고의 위험성이 높고 만약 직진차량과 우회전 차량과의 충돌시 우회전 차량의 운전석은 차량 왼쪽에 위치하고 차량 충돌지점은 대부분이 차체 왼쪽이기 때문에 차량 충돌로 인한 중상사고가 발생할 위험이 높게 나타날 것이다. 또한 교차로를 통과하는 차량의 속도는 일반구간에 비해 저속으로 운행하게 되고 이때 발생한 교통사고에서 차량 운전자의 사망보다는 중상이 발생할 확률이 높게 나타나는 것이다.

주도로 조명시설의 경우 주도로 상에서 조명시설이 없을수록 사고 심각도는 증가한다는 것으로 나타났는데 이는 야간에 차량 운행시 도로의 조명시설의 부족으로 인하여 운전자의 시거확보가 어렵고 도로상의 보행자나

계약시설물에 대한 감지가 어렵게 되어 교통사고로 이어짐으로 인해 나타난 결과이다. 또한 한계효과를 살펴보면 중상($Y=2$)의 범위가 0.066, 사망($Y=3$)의 범위가 0.067로 주도로 조명시설로 인한 사망사고가 발생할 가능성이 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 교통사고를 줄이기 위해서는 도로상의 조명시설에 대한 확보를 통하여 운전자의 교통 환경을 개선함으로써 사고의 발생 위험을 줄이고 사고예방에도 효과적이라 볼 수 있다.

주도로 속도제한 시설의 경우 교차로로 접근하는 주도로 상에 과속방지턱이나 과속카메라와 같은 속도 제한 시설물이 있음으로 인해 교통사고로 인한 사고심각도에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났고 이는 속도제한 시설물의 설치로 인하여 사고심각도를 줄일 수 있다. 또한 한계효과를 살펴보면 대물사고($Y=0$)의 범위가 0.120, 경상($Y=1$)의 범위가 0.013으로 속도제한 시설물의 설치로 인하여 사고발생시 사고정도를 경감할 수 있다는 것을 의미하는 것이다. 이는 차량이 교차로로 접근시 속도제한 시설물이 있을 경우 차량속도를 줄이게 되고 또한 주의를 기울이게 됨으로써 사고를 줄일 수 있을 것이다. 만약 사고가 발생한다고 해도 속도제한 시설물로 인하여 차량의 속도가 저하된 상태에서 사고가 발생함으로써 인하여 사고심각도가 낮게 나타난 것이다. 따라서 교차로 설계시 속도제한시설물에 대한 설계를 병행함으로써 교차로 진입차량에 대한 속도를 제한하여 교통사고를 줄이고 또한 사고 심각도도 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

부도로 좌회전 유도선의 경우 좌회전 유도선이 없음으로 인하여 사고의 심각도가 증가하는 것으로 나타났다 또한 한계효과를 살펴보면 중상($Y=2$)의 범위가 0.038, 사망($Y=3$)의 범위가 0.034로 좌회전 유도선이 없음으로 인하여 발생한 교통사고에서 중상사고의 발생 가능성이 큰 것으로 나타났다. 교차로 상에서는 교차로의 기하구조에 따라 좌회전을 하는 회전각도는 각기 다르게 나타난다. 또한 똑같은 규격의 교차로라 할지라도 차량의 속도, 위치, 주변 차량의 통행상황에 따라 핸들을 돌리는 정도가 달라진다. 이러한 좌회전 유도선은 운전자의 시선을 유도하고 차량이 원활하게 좌회전 하도록 진행경로를 알리는 목적이 있다. 하지만 좌회전 유도선이 없음으로 인하여 운전자가 진행방향을 감지하기가 어렵게 되고 핸들의 오조작으로 인하여 진입방향 차량과의 충돌이나 보행자와의 사고가 발생하는 것이다. 이러한 교통사고를 줄이기

위해 교차로 내에 좌회전 유도선의 설치를 의무화하고 차량의 회전궤적을 고려한 안정된 좌회전 유도선의 설치가 필요하다고 본다.

V. 결론 및 향후 연구과제

교차로는 도로의 중요한 부분으로서 교차로 설계와 주변 환경에 따라서 서비스 수준, 자율성, 안전성이 좌우된다. 또한 교차로의 형태, 위치, 구조 등이 교차로의 안전성을 결정 하게 되므로 교차로 설계시 교차로 주변 환경에 대해 주안점을 두어 교차로를 설계, 운영해야 한다. 따라서 교차로에 관련된 여러 조건들을 분석하여 교차로 사고 심각도에 영향을 미치는 원인을 분석하고 이를 통해 교차로 위험 순위에 따른 적절한 대비책을 사전에 마련해야 할 것이다.

본 연구에서는 교차로 교통사고 심각도 분석을 위해 계층적 샘플링(Stratified Random Sampling)방법을 통하여 선정된 77개 교차로에 대한 현장조사를 통하여 구축된 자료와 각 지점별 교통사고 자료를 이용하여 순서형 확률 모형중 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 사고 심각도 분석을 실시하였다.

사고 심각도를 설명하기에 유의하게 나타난 변수들을 살펴보면 부도로 교통량, 주도로 중차량 비율, 주도로 우회전 비율, 부도로 우회전 비율, 주도로 조명시설, 주도로 속도제약 시설물, 부도로 좌회전 유도선이 나타났다. 이렇게 개발된 사고 심각도 모형을 통하여 기존·신설교차로의 안전성 평가 및 도로환경과 사고심각도와의 관계를 규명함으로써 교차로 보수·설계시 안전성 향상을 도모할 수 있으며 건설우선순위를 제시하는데 활용될 수 있다. 또한 교통사고의 발생위험성을 줄임으로써 교통사고로 인한 사회·경제적 손실비용을 줄일 수 있을 것으로 본다.

본 연구에서 제시된 교차로 교통사고 심각도 모형의 단점을 보완하기 위하여 향후 연구·보완되어야 할 몇 가지 사항을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 사고 심각도 모형에 고려된 변수 이외에 문헌적으로 교차로 교통사고와 밀접한 관계를 보이는 것으로 판단되는 변수에 있어서 통계적으로 유의하지 않게 나타난 변수에 대한 연구가 필요하다. 특히 주·부도로 회전 시기는 교차로 교통사고 심각도에 지대한 영향을 미칠 것으로 판단되나 분석결과 영향이 없는 것으로 나

타났고, 주·부도로 교통섬 또한 교통사고에 영향이 없는 것으로 나타났다. 이는 현장조사 설계시 보다 정확한 현장조사 방안의 모색이 필요하고 보다 구체적인 변수 처리 방안이 논의 되어져야 한다고 본다.

둘째, 본 연구에서는 지방부 도로 상의 교차로 자료를 토대로 사고 심각도 모델을 개발하였다. 하지만 본 모델을 도시부 교차로에 적용시 지역특성과 교차로 기하구조의 특성이 다르기 때문에 적용상의 문제점이 따르게 된다. 따라서 도시부 교차로에 대한 사고 심각도에 대한 연구를 통하여 보다 폭넓은 연구가 이루어져야 할 것이다.

셋째, 보다 정확한 교차로 교통사고 심각도 분석을 위하여 사고유형을 좀더 세분화한 사고자료와 교차로 주변환경 및 기하구조에 대한 자료에 대해서 데이터베이스 구축이 필요하며 합리적이고 보다 체계적인 자료의 정리가 이루어져야 할 것이다.

마지막으로 교통사고에 영향을 미치는 교통량 및 주변환경 요소 외에도 운전자에 대한 인적요소가 지대한 영향을 미친다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 인적요소를 제외한 상태에서 연구를 진행하였으나 보다 정확하고 세밀한 분석을 위해서는 교차로에 관련된 모든 요소를 고려한 사고 심각도 분석이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 강경우·백병성(1998), "순서형 프로빗모형을 이용한 속도선택행태에 관한 연구", 대한교통학회지, 제9권 제16호, 대한교통학회, pp.93~100.
2. 김원철·이병주·이수범·남궁문(1999), "교차로 특성에 따른 교통사고 요인분석", 제20권 제7호, 대한토목학회.
3. 김원철·이수범·남궁문·Hirofumi, Imada(2001) "교차로 안전진단을 위한 교통사고건수예측모델화 수법에 관한 연구", 제21권 제4호, 대한토목학회.
4. 임운택(1993), "도로특성이 교통사고에 미치는 영향분석", 연세대학교 석사학위논문.
5. 오주택·성낙문·하오근(2005), "국도변 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형개발", 제25권 제1호, 대한토목학회, pp.9~15.
6. 최열·김종성(2003), "순서형 프로빗 모형을 이용한 주택규모 선택에 관한 연구", 대한국토·도시계획학회지, 제38권 제7호, 대한국토·도시계획학

회, pp.69~80.

7. 주미영(2002), "프로빗과 순차적 프로빗 분석에 대한 이해와 적용", 정부학 연구, 제6권 제1호, pp.24~48.
8. 정연주(2001), "유도선 유무에 따른 교차로 안전에 관한 연구", 한양대학교 석사학위논문.
9. 홍정열 · 도철웅(2002), "신호교차로에서의 사고 예측모델개발 및 위험수준결정 연구", 한양대학교 석사학위논문.
10. Asad J. Khattak(2000), "Injury Severity in Multi-Vehicle Rear-end Crashes", Transportation Research Record 2101.
11. Bonneson, J. A., McCoy, P. T.(1993), "Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highway", Transportation Research Record 1401, pp.83~89.
12. Dissanayake and Ratnayake(2005), "An Investigation on Severity of Rural Highway Crashes in KANSAS", Proceedings of the Transportation Research Board 84th Annual Meeting.
13. Dobon, A., Brown, W., Ball, J., Powers, J., and McFaden, M.(1999), "Women drivers' behavior, socio-demographic characteristics and accidents", Accident Analysis & Prevention.
14. Kara, M. K.(2001), "Driver Injury Severty : An Application of Ordered Probit Models", Accident Analysis & Prevention. Vol.28, pp.313~321.
15. Lourens, P. F., Vissers, J. A. M. M., and Jessurun, M.(1999), "Annual mileage, driving violations and accident involvement in relation to driver' sex, age and level of education", Accident Analysis & Prevention.
16. Neter J., Kutner, M., Nachtsheim, C., and Wasserman W.(1996), "Applied Linear Statistical Models, chapter 13-14", McGraw-Hill.
17. 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, Vol. 28, pp.739~753
18. Oh, J., Washington, S.P., and Choi, K.(2004), "Development of accident prediction models for rural highway intersections" Proceedings of the Transportation Research Board Annual Meeting, CD-ROM.
19. Shankar, V., Milton, J., and Mannering, F.(1997), "Modeling accident frequencies as zero-altered probability process: An empirical inquiry", Accident Analysis & Prevention 29(6), pp.829~837
20. Washington S., Karlaftis, M., and Mannering F. (2003), "Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, Part III" Chapman & Hall/CRC.
21. Zajac, S.S., Ivann J. N. (2003), "Factors influencing injury severity of motor vehicle-crossing pedestrian crashes in rural Connecticut" Accident Analysis & Prevention. Vol. 35, pp.369~379
22. Zhang, J., Lindsay, J., Clarke, K., Robbins, G., and Mao, Y.(2000), "Factors affecting the severity of motor vehicle traffic crashes involving elderly drivers in Onario", Accident Analysis & Prevention. Vol. 32, pp.117~115.

✉ 주 작 성 자 : 하오근

✉ 논문투고일 : 2005. 2. 28
 논문심사일 : 2005. 5. 19 (1차)
 2005. 6. 9 (2차)
 2005. 6. 24 (3차)

심사판정일 : 2005. 6. 24

✉ 반론접수기한 : 2005. 12. 31