▣ 論 文 ▣

도시부 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형 개발

Development of a Traffic Accident Prediction Model for Urban Signalized Intersections

박 준 태
(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

이 수 범
(서울시립대학교 교통공학과 교수)

김 장 욱
(서울시립대학교 교통공학과 연구교수)

이 동 민
(한국교통연구원 육상교통연구본부 책임연구원)

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 방법
Ⅱ. 기존문헌고찰
1. 선행 연구 문헌 검토
Ⅲ. 분석방법론 정립 및 데이터 구축
1. 분석방법 고찰
2. 분석방법론 정립
3. 데이터 구축
Ⅳ. 모형 개발 및 검증
1. 사고예측모형 개발 및 검증
2. 사고심각도모형 개발 및 검증
Ⅴ. 결론 및 향후 과제
참고문헌

Key Words : 사고예측모형, 포아송 모형, 사고심각도, 순서형 프로빗 모형, 신호교차로
Accident Prediction Models, Poisson Model, Accident Severity, Ordered Probit Model Signalized Intersections

요 약

교차로는 단일로에 비해 많은 상충점을 가지고 있어 사고의 잠재성이 더욱 높다고 볼 수 있다. 2006년 경찰청 자료에 의하면 교차로 부근의 교통사고가 단일로 교통사고에 비해 크게 증가하고 있는 것으로 나타났다. 그 중 신호교차로의 경우는 비신호교차로에 비해 교통사고 영향요인이 다양하고 개선의 여지가 많아 사고가 일어나는 원인을 예측하고, 교차로 위험요소에 따른 적절한 대비책을 사전에 마련할 수 있다면 안전측면에서 큰 효과를 얻을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 도시부 4지 신호교차로를 대상으로 과거 사고이력자료와 교차로 현장 조사를 활용하여 사고예측 모형 및 사고심각도 모형을 개발하였다.

본 연구는 크게 4단계로 나누어 진행되었다. 첫째, 기존 연구된 사고모형을 분석하였으며 둘째, 교통사고에 영향을 미치는 변수를 선정하였고 셋째, 통계적 방법론을 활용한 사고예측모형을 개발, 넷째, 모형의 검증을 실시하였다. 본 연구에서 개발된 신호교차로 교통사고 모형은 계획 및 운영단계에서 신호교차로의 안전성을 측정하는데 활용될 수 있으며, 궁극적으로 신호교차로의 교통사고를 줄이는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

It is commonly estimated that there is a much higher potential for accidents at a crossroads than along a single road due to its plethora of conflicting points. According to the 2006 figures by the National Police Agency, the number of traffic accidents at crossroads is greatly increasing compared to that along single roads. Among others, crossroads installed with traffic signals have more varied influential factors for traffic accidents and leave much more room for improvement than ones without traffic signals; thus, it is expected that a noticeable effect could be achieved in safety if proper counter-measures against the hazards at a crossroads were taken together with an estimate of causes for accidents

This research managed to develop models for accident forecasts and accident intensity by applying data on accident history and site inspection of crossroads, targeting four selected downtown crossroads installed with traffic signals. The research was done by roughly dividing the process into four stages; first, analyze the accident model examined before; second, select variables affecting traffic accidents; third, develop a model for traffic accident forecasting by using a statistics-based methodology; and fourth, carry out the verification process of the models

본 연구는 건설교통부 교통체계효율화사업의 연구비지원(06교통핵심C01)에 의해 수행되었습니다.

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

국가적 문제점으로 대두되고 있는 교통사고는 물적 손실 뿐만아니라 국민의 인명과 고통이라는 피해를 발생시키며 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 발생지점별로 교차로에서의 사고는 2002년 21.1%, 2003년 25.9%, 2004년 26.0%로 교통사고 발생비율이 증가 양상을 보이고 있으며 이러한 교통사고는 차량간의 상충이나 차량과 보행자간의 상충이 자주 발생하므로 정밀분석을 통한 교통사고 원인 및 문제점에 대한 안전대책이 필요하고 시설투자의 우선순위의 대안제시가 필요한 실정이다. OECD회원국 중에서 우리나라의 교통사고율이 매우 높은 것으로 나타나 아직까지도 교통사고 다발국, 교통 후진국이라는 오명을 벗지 못하고 있다.

도로에서의 교통사고를 완전히 없애고자 하는 목표는 현재로서는 달성하기 힘들겠지만 도로를 좀 더 안전하게 만들고 사고감소의 목표치를 설정하는 노력은 계속되고 있다.

본 연구는 국내 도시부 신호교차로를 대상으로 현장조사를 통한 교차로 교통조건, 환경조건, 도로조건의 데이터를 구축하였으며 과거 사고이력자료를 분석하여 사고예측모형 및 사고피해 분류에 따른 사고심각도모형을 개발하였다. 도시부 교차로는 형태, 위치, 구조, 용량 등의 다양한 구조적 조건에서 안전성이 결정되므로 본 연구에서는 다양한 조건들을 분석하여 교차로에서 사고 발생에 따른 위험을 예방하는데 목적이 있으며 또한 교차로 사고 예측 모형과 심각도 모형은 적절한 교통안전정책을 세우도록 방향을 제시하고 교차로의 안전성을 높이며 교통사고를 감소시키는데 있다.

- 기존 미흡한 교차로 안전성평가 방식을 개선하기위해 사고예측모형 개발
- 교차로 교통사고에 영향을 미치는 사고 요인을 규명
- 사고예측모형과 심각도모형 개발을 통한 교통안전정책 방향 제시

2. 연구의 범위 및 방법

도시부 신호 4지교차로를 대상으로 서울 및 수도권지역인 일산, 분당, 안양, 부천지역 총 171개 지역을 현장조사 하였고 2004년도 사고이력자료를 병행하여 활용하였으며 교차로개선사업이 이루어진 지점은 조사대상에서 제외하였다. 최근 지속적으로 이루어지는 신도시 개발 및 도시계획 등을 고려하여 구도심 및 신도심을 포함한 자료를 바탕으로 모형을 개발하였다.

〈그림 1〉 연구대상 지역 및 범위

Ⅱ. 기존문헌고찰

1. 선행 연구 문헌 검토

임윤택[1]은 서울시 교통사고 많은 지점 147개소를 대상으로 교통량, 횡단보도수, 교차각 등의 도로 특성이 교통사고에 미치는 영향을 분석한 결과 전체적으로 교통량이 많고, 횡단보도수가 많은 지점에서 사고가 많이 발생하였다.

1) 임윤택(1993), '도로특성이 교통사고에 미치는 영향분석'.

교차로에서는 교통량과 횡단보도수가 많은 교차로와 교차각이 작은 교차로에서 사고가 많이 발생하는 결과를 도출하였다. 이러한 사고건수와의 상관관계를 밝히고 다음과 같은 회귀식을 제안하였다.

〈표 1〉 교차로 연간사고건수 예측모형(임윤택)

연간사고건수(Y) = -12.335+(3.859×첨두교통량)+(3.319×횡단보도수)

Hoong Chor Chin, Mohammed Abdul Quddus[2]의 연구에서는 싱가포르의 52개 4지 신호교초로의 교통사고건수, 도로기하구조, 교통류 통제 특성의 관계에 대해 연구하였는데 조사되어진 32개의 설명변수 중 교차로 교통사고에 영향을 미치는 변수는 접근교통량, 우회전교통량, 좌회전 차로수, 버스정류장, 단속카메라가 총 교통사고와 관련이 높은 것으로 나타났다.

〈표 2〉 국내·외 신호교차로 교통사고 예측모형관련 문헌

연구자	주요내용
Zador, et, al (1985년)	- 교차로폭과 신호현시들의 변수를 수집후 집락추출법을 이용하여 신호교차로의 교통사고 건수예측을 실시하였음
Lau, et, al (1988년)	- 범주형 회귀모형을 이용하여 교차로내 사고발생건수 예측모형을 도출하였음
A. Bonneson (1993년)	- 주도로와 부도로의 교통량과 제한속도를 이용한 비선형회귀분석을 통하여 교통사고 건수예측 모형을 도출하였음
Seffer, Janson (1999년)	- 신호현시를 이용한 범주형 회귀모형을 도출하였음
하태준 외 (2001년)	- 교차분석 및 다중회귀분석을 이용하여 교통사고 건수를 예측
Hoong chor chin(2001년)	- 교통류 통제특성의 관계에 대하여 알아본후 교통사고에 영향을 미치는 변수를 제시하였음
임윤택 (1993년)	- 도로기하구조 및 교통현황변수를 이용하여 회귀분석을 실시하여 교차로 사고발생건수를 예측하였음
김효종 (1997년)	- 주성분분석을 실시하여 교차로사고발생에 가장영향을 많이 미치는 요인을 분석하였음

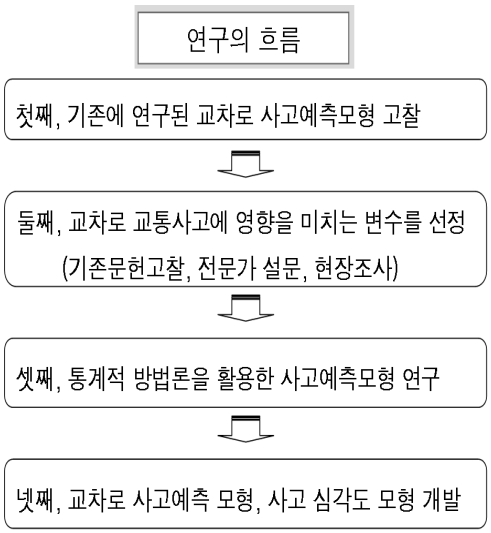
본 연구에서는 도시부 특성을 나타낼 수 있는 사고예측모형을 개발하기 위해 서울 및 수도권지역의 다양한 지역적 범위를 고려하였으며 50여개의 변수를 추출하여 교통사고와의 관계를 규명하였다.

기존 사고예측모형이 일정 추세를 따르는 선형 회귀모형식으로 개발되었으나 현재 교통사고의 임의적 발생 및 불확실성을 고려한 비선형 회귀방법론으로 개발하는 추세에 따라 본 연구에서도 비선형 회귀모형을 적용하였다.

Ⅲ. 분석방법론 정립 및 데이터 구축

1. 분석방법 고찰

사고예측모형을 개발하기 위해 교통사고의 불규칙적이고 임의발생이라는 특성을 고려한 비선형회귀분석개념의 포아송모형과 음이항모형을 심각도모형에서는 순서형 프로빗 모형 및 순서형 로짓 모형을 선택 적용하여 개발하였다. 연구의 흐름은 4단계로 구성하였으며 〈그림 2〉와 같다.



〈그림 2〉 연구의 흐름도

1) 분석방법에 대한 이론적 고찰

(1) 포아송 회귀 모형

포아송 분포는 각 사건이 서로 독립적이고 일정한 발생 확률을 가지고 있다는 전제하에 일정기간에 어떤 사건이 몇 번 일어날지의 확률을 묘사한다. 일반적으로 포아송 분포의 모양은 그 평균의 값에 달려 있으며, 이는 분산과 일치한다. 만약 평균이 0에 접근하면, 그 분포는

2) Hoong Chor Chin, Mohammed Abdul Quddus(2001), 'Appyling the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersection', Accident Analysis & Prevention

수직축에 크게 치우친 모양의 그래프를 보여주고, 평균이 매우 크고 수직축으로부터 멀리 떨어져 있으면, 포아송 분포는 대략 정규 분포와 유사하게 될 수 있다. 교통사고의 발생은 산발적이고 이산적인 형태의 분포를 나타내므로 포아송 분포를 사용하는 것이 일반적이다. 교차로의 사고건수$\hat{Y}_i$가 포아송 분포를 따른다는 가정하에 i번째 교차로에서 m개의 변수에 의해 발생할 사고의 확률에 대한 일반식은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$P(n_i) = \frac{\lambda_i{}^{\ni} \exp(\lambda_i)}{n_i!}$$

여기서, $P(n_i)$: 사고 n이 교차로 i에서 교통사고가 발생할 확률

$$\lambda_i = \exp(\beta_0 X_0 + \cdots + \beta_m X_m) = \exp\left(\sum_{j=0}^{m} \beta_j X_j\right)$$

여기서, β_j : 회귀추정계수

위에서 모형계수인 β는 최우추정법(Maximum Likelihood)을 이용하여 계산된 것이다. 따라서 포아송 회귀모형을 종속변수가 일정기간 동안 주어진 사건의 발생 횟수를 나타낸 것이고, 그 값이 크지 않으며, 즉 과분산(Overdispersion)화 되어 있지 않은 경우, 그리고 그 사건들이 서로 독립적으로 발생하는 경우에 가장 적합하다.

(2) 음이항 회귀 모형

음이항 회귀분석은 각 분포의 분산이 같아야 한다는 포아송 회귀분석의 제약조건을 완화시키는데 사용될 수 있다. 사고예측모형에 있어서 포아송 회귀분석은 추정된 자료의 평균을 실제자료의 분산이 초과하면 과분산으로 나타난다. 과분산은 조사되지 않은 다른 성질의 구간이 다양한 결과를 나타내기 때문이며 음이항 회귀분석은 사고 자료가 과분산일 때 사용하면 큰 효과를 나타낼 것으로 기대된다. 음이항 회귀분석은 포아송 회귀분석과 비슷하게 i 번째 교차로에서의 사고발생건수는 q개의 변수와 연관성을 가지며 아래의 식과 같다.

$$\lambda_i = \exp(\beta_0 X_0 + \cdots + \beta_m X_m + \epsilon i) = \exp\left(\sum_{j=0}^{m} \beta_j X_j\right)$$

여기서, β_j : 회귀추정계수

ϵ_i : 오차항으로 평균이 1이고 분산이 α인 감마분포로 가정

(3) 순서형 프로빗 모형

교통사고 심각도 모형 선정 방법에 있어서 교차로에서 발생하는 교통사고의 심각도 정도와 도로조건, 교통조건, 주변환경조건과의 관계를 분석하기 위해 확률선택모형(Probabilistic choice model)인 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)과 순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model)중 ϵ_{it}(오차항)의 분포에 따른 가정을 통해 사고 심각도 모형을 개발하였다.

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, 이상일 경우)과 같이 순서를 지닌 경우 일반적인 프로빗, 로짓 모형은 오류를 범할 수 있다. 또한 회귀분석의 경우 종속변수가 y=0, y=1간의 차이와 y=1, y=2간의 차이를 동일한 것으로 인식하여 분석을 함으로써 오류를 범할 수 있는 한계점을 지닌다.[3)]

이와 같은 한계점을 해결하기위해 종속변수가 순서를 지닌 경우(y=0, 1, 2, ・・・)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 연구에서는 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)과 순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model)을 적용함에 있어서 자료형태를 설명하기에 적합한 확률분포 결정하는데 영향력을 미치는 확률효용의 ϵ_{it}(오차항)에 대해 살펴보면 다음과 같다. ϵ_{it}(오차항)의 변동은 측정될 수 없으므로 ϵ_{it}(오차항)의 값은 알지 못하나 오차항 확률분포는 안다고 가정한다. 이 ϵ_{it}(ϵ오차항)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

3) 주미영, "프로빗과 순차적 프로빗 분석에 대한 이해와 적용", 2000

Distribution)인 와이블 분포(Weibull Distribution)를 한다고 가정하고, 프로빗 모형에서는 ϵ_{it}의 확률분포가 분산이 동일하고 공분산이 0인 정규분포(Normal Distribution)을 따른다고 가정한다.(Borooach 2002)

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_{it}(오차항)의 분포를 정규분포로 가정하고 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 사고 심각도 모형개발에 사용하였다.

2) 검증방법에 대한 이론적 고찰

모형에 대한 적합도 검증(Goodness-of-fit) 방법은 내부검증(Internal validation) 방법과 외부검증(External validation) 방법으로 구분된다. 내부검증방법은 변수선정에 있어서 기존문헌 등을 통해 변수들의 적절성을 평가하고, 모형식의 적용에 있어서 적절한 통계적 방법을 이용하였는지에 대해 검증하며, 자료수집의 타당성 및 대표성을 살펴보는 과정 등을 의미이다. 한편 외부검증방법은 내부검증방법과는 달리 보다 정량화된 방법으로 개발된 모형들을 검증하는 과정으로 Pearson 상관계수, MPB, MAD, 과분산을 통한 검증방법을 의미하며, 이에 대한 설명은 다음과 같다.

(1) ρ^2(우도비)

ρ^2(우도비)는 McFadden의 결정계수라고도 불리며 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높다고 평가되며 회귀분석의 결정계수와는 달리 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합도를 가진다고 볼 수 있다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)}$$

$$\bar{\rho}^2 = \frac{(N-K)}{N}\rho^2$$

(2) Pearson 상관계수

Pearson 상관계수 r 은 두 변수 Y_1과 Y_2간의 연관성의 정도와 방향을 수량적으로 나타낸 값이다. 상관계수는 -1에서 1사이의 값을 가지며 -1에 가까우면 음의 상관관계, 1에 가까우면 양의 상관관계이며 절대치가 0에 가까우면 상관관계가 거의 없음을 의미한다.

(3) MPB(Mean Prediction Bias)

이 통계수치는 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료에 대해서 모형에 의한 결과 값이 어느 정도, 그리고 어떻게 치우쳐 있는지를 판단할 수 있는 기준을 제공해준다. 이 방법에 의한 결과 값이 작을수록 모형의 예측 값은 정확한 것을 의미한다. 관련식은 아래와 같다.

$$MPB = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \hat{Y}_i\right)}{n}$$

여기서, Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

$\hat{Y}_i$: 모형에 의한 결과값

(4) MAD(Mean Absolute Deviation)

MAD는 모형의 예측 값이 평균적으로 얼마나 잘못 예측되었는지를 판단할 수 있는 척도를 제공해준다. 이 방법이 MPB와 다른 점은 각 수치의 음과 양의 차이로 인해 상쇄되지 않는다는 점이다. 결과 값이 0에 가까울수록 모형이 실제의 관측된 자료에 부합되는 결과를 나타냄을 의미한다. 관련식은 아래와 같다.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|Y_i - \hat{Y}_i\right|}{n}$$

여기서, Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

$\hat{Y}_i$: 모형에 의한 결과값

(5) 과분산(K)

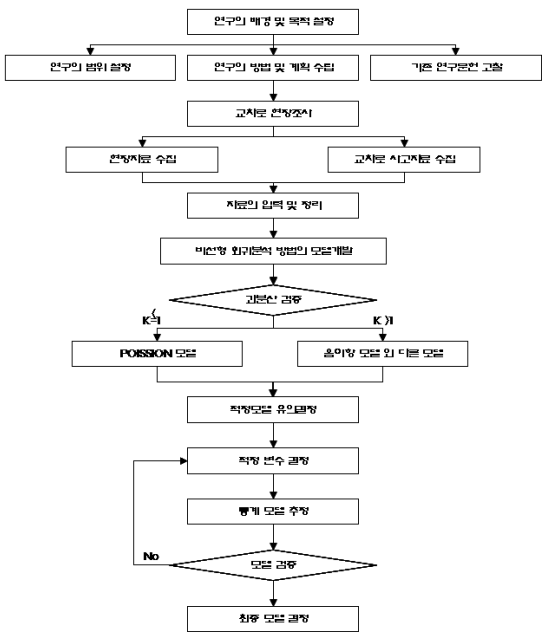
포아송 회귀모형에서 과분산은 모형계수의 분산을 실제보다 적게 예측하게 되는 원인이 된다. 또한 이것은 일

부 변수들의 중요도를 과장하여 나타내는 결과를 초래하기도 한다. 자유도, n-p 등에 의해 구분되는 모수를 포함하고 있는 모형의 편차는 과분산인지의 여부를 결정할 수 있는 수치를 제공한다. 분산이 포아송 분포보다 더 크거나 작은 경우는 포아송 모형이 적합하지 않음을 나타낸다.

2. 분석방법론 정립

1) 사고예측모형 분석방법론

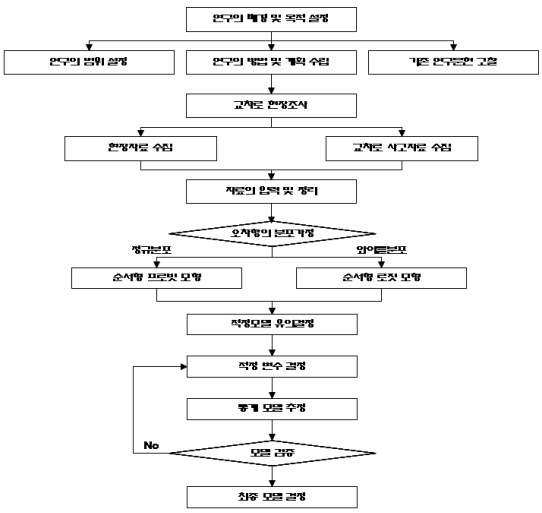
현장조사를 통하여 구축되어진 교차로 교통사고에 영향을 미치는 도로조건, 교통조건, 주변환경조건에 대한 자료를 수집하고 이를 토대로 교차로 사고예측모형을 개발하였다. 교차로 사고예측모형 개발 과정 및 평가에 대한 과정 흐름도를 살펴보면 〈그림 3〉과 같다.



〈그림 3〉 사고예측모형 개발과정

2) 사고심도모형 분석방법론

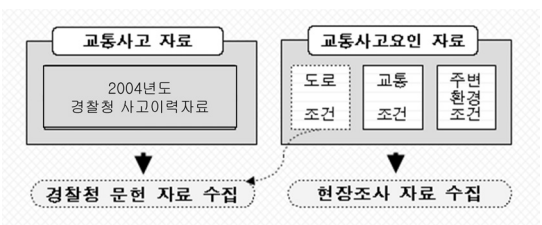
교통사고 심각도 모형 선정 방법에 있어서 교차로에서 발생하는 교통사고의 심각도 정도와 도로조건, 교통조건, 주변환경조건과의 관계를 분석하기 위해 확률선택모형(Probabilistic choice model)인 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)과 순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model)중 ϵ_{it}(오차항)의 분포에 따른 가정을 통해 사고 심각도 모형을 개발하였고, 이를 통하여 사고심각도에 영향을 미치는 주요 설명변수들에 대한 분석을 실시하였으며 〈그림 4〉는 심각도 모형 개발 과정에 대한 연구의 흐름도를 나타낸다.



〈그림 4〉 사고심각도모형 개발과정

3. 데이터 구축

자료수집은 크게 과거사고 이력자료와 교차로현장조사자료로 구분되며 교통사고에 영향을 미치는 교통량 및 주변환경자료에 대해서는 기존 문헌조사를 실시하였다. 사고자료는 2004년도 자료를 이용하였으며 모든 자료는 2004년도 기준으로 수집, 구축하였다.



〈그림 5〉 자료수집방법

〈표 3〉 조사대상 신호교차로 사고발생 현황(2004)

사고건수(건)	교차로수	백분율(%)
0~10	66지점	39
11~20	58지점	34
21~30	28지점	16
31 이상	19지점	11
합계	171지점	100

〈표 4〉 신호교차로 현장조사항목

조건	조사항목	조건	조사항목	조건	조사항목
교통 조건	주·부도로 교통량(ADT) 주·부도로 딜레마구간길이 주·부도로 중차량 비율 좌회전/우회전 교통량 비율 주도로 교통량 비율 신호주기길이(Cycle Length) 현시(Phase)수 주·부도로제한속도 주·부도로 좌회전 신호 주·부도로 차로당 교통량 주·부도로 신호시간 주도로 신호시간 비율	도로 조건	주·부도로 차로수 주·부도로 좌·우회전 전용차로 수 주·부도로 중앙분리대 주·부도로 좌·우회전 시거 주·부도로 교차로 교통섬 설치 유무 주·부도로 횡단보도 주·부도로 차량 속도제약 시설 주·부도로 좌회전 유도선 설치유무 주·부도로 교차로 교차각도 교차로 넓이	주변 환경 조건	주·부도로 차량주행 제약시설물 여부 주·부도로 차량 유출입구 수 주·부도로 교차로 접근로 지형 교차로 주변 토지이용 주·부도로 버스정류장 주·부도로 조명시설 유무

〈표 5〉 현장조사 데이터 구축 항목 및 방법

조건	조사항목
교차로 타입	
발생건수	교차로 내에서 발생한 교통 사고건수(표시방법:건)
사상자	교차로 내에서 발생한 사상자명수(표시방법:명)
주도로,부도로ADT	주도로, 부도로의 일평균 교통량(표시방법:대)
차선수	주도로, 부도로의 왕복 차선수(표시방법:차선)
중차량비율	전체 교통량 중 중차량 비율(표시방법:%)
좌회전비율	전체 교통량 중 좌회전 비율(표시방법:%)
우회전비율	전체 교통량 중 우회전 비율(표시방법:%)
도로변차량주행제약시설물여부	제약시설물 여부(표시방법:개)
주차장,상가,주택,이면도로등의차량유출입구수	차량 유출입구수(표시방법:개)
좌·우회전전용차로수	전용 차로수(표시방법:차로)
좌회전신호	좌회전 신호 유무(표시방법:없다=1,있다=0)
중앙분리대	중앙분리대 유무(표시방법:없다=1,있다=0)
좌·우회전시거	1~13단계로구분(표시방법:10m미만=1,1000m이상=13)
제한속도	각도로의 제한속도(표시방법:Km/h)
조명시설	조명시설 설치 유무(표시방법:없다=1,있다=0)
지형	각도로의 지형(표시방법:평지=1,오르막=2,기복=3)
교차로교통섬	교통섬 설치 유무(표시방법:없다=1,있다=0)
횡단보도	50m이내 황단보도 설치 유무(표시방법:없다=1,있다=0)
교차로주변환경	100m이내 주변환경(표시방법:주거=1,상가=2,주상복합=3,기타=4)
버스정류장	50m이내 버스정류장 유무(표시방법:없다=1,있다=0)
차량속도제약시설	50m이내 속도제약시설(표시방법:있다=1,없다=0)
좌회전유도차선설치	좌회전 유도선 유무(표시방법:없다=1,있다=0)
교차로교차각도	1~6단계로구분(표시방법:1=90도,2=80,3=70,4=60,5=60도미만)
교차로넓이	교차로의넓이(m^2)
주도로,부도로차로당교통량	주도로, 부도로의 일평균 교통량(표시방법:대/차선)
딜레마구간길이	$D = v_0(\gamma - \delta) + \frac{v_0}{2a} + W$ v_0=직진차량접근속도 γ=직진황색 시간 δ=운전자인지 반응시간 $W = w$(횡단거리)$+ L$(차량길이) a=차량의 감속도
주도로, 부도로신호시간비율	주도로신호/cyclelength,부도로신호/cyclelength

조사대상 교차로는 위치 및 교통특성이 도시부의 전형적인 모습을 나타낸다고 볼 수 있는 서울 및 수도권의 교차로 중 4지 신호 교차로171지점을 대상으로 하였다.조사대상교차로 171개 중 0~11건의 사고건수 범위가 66지점으로 가장 많은 지점수를 보였으며, 사고건수 분포는 전 구간에 고르게 나타났다.

기존 문헌 자료를 통해 교차로 교통량(2004년 교통량 통계연보) 및 주변환경 자료를 구축하였으며 현장조사를 통해 나머지 변수를 직접 수집·조사하였으며 모형 개발을 위한 변수 표시 방법에 관한 내용은 〈표 5〉와 같다.

Ⅳ. 모형개발 및 검증

본 연구에서는 사고모형 개발을 위해 통계패키지 LIMDEP (Limited Dependent Variable, ver 8.0)을 이용하였다. 사용된 변수는 조사대상 교차로 171개 지점에서 조사된 사고건수, 교통량, 주변 환경에 대한 55개 변수를 이용하였으며 교차로 사고예측모형에 있어 교차로 사고의 과분산 계수가 0에 가까움을 알 수 있었다.

심각도 모형에서는 개별사고 1,892개를 구분하여 오차항의 분포를 정규분포로 가정하고 순서형 프로빗 모형을 적용하여 개발하였다. 모형 개발전 사고건수 및 변수간의 상관관계 분석을 실시하여 어떤 요인이 사고와 관계가 있는지 알아보았다. 모형의 각 변수는 총 55개 수집변수 중 모형안에서의 t-값 및 p-value의 적합여부를 판단하였다.

1. 사고예측 모형 개발 및 검증

사고예측모형은 주모형과 보조모형 총 3개를 개발하

〈표 6〉 도시부 4지 신호교차로 사고예측모형 개발

변수		주 모형	보조모형Ⅰ	보조모형Ⅱ
상수	Coeff.	-1.89	-1.43	-1.19
	T-ratio	-3.839	-2.598	-2.369
	P-value	0.031	0.009	0.024
주도로교통량	Coeff.		0.08	
	T-ratio		2.064	
	P-value		0.039	
부도로 교통량	Coeff.	0.33	0.19	0.26
	T-ratio	7.258	3.719	5.732
	P-value	0.021	0.041	0.037
주도로 중차량비율	Coeff.	1.89		2.01
	T-ratio	4.728		4.578
	P-value	0.33		0.019
주도로 차로수	Coeff.	0.08		
	T-ratio	7.155		
	P-value	0.003		
부도로 차로수	Coeff.	0.07		
	T-ratio	7.328		
	P-value	0.035		
주도로버스정류장유무	Coeff.	-0.21		
	T-ratio	-5.022		
	P-value	0.024		
주도로유출입구	Coeff.		0.07	0.08
	T-ratio		6.32	7.118
	P-value		0.046	0.049
주도로 차량속도제약시설물수	Coeff.		0.15	
	T-ratio		7.908	
	P-value		0.02	
부도로 좌회전신호유무	Coeff.		0.14	
	T-ratio		2.668	
	P-value		0.008	
부도로 지형	Coeff.		0.17	
	T-ratio		5.463	
	P-value		0.033	
주도로딜레마구간길이	Coeff.		0.02	0.29
	T-ratio		7.79	8.605
	P-value		0.02	0.035
부도로중앙분리대유무	Coeff.			-0.3
	T-ratio			-7.086
	P-value			0.033
부도로횡단보도 유무	Coeff.			0.23
	T-ratio			2.905
	P-value			0.004

였으며 과분산 계수값이 모두 1이하로 나타나 포아송 모형이 적합한 것으로 나타났다. 모형의 전체설명력을 나타내는 ρ^2(우도비)가 높은 순으로 주모형과 보조모형을 구분하여 제시하였다.

포아송 회귀모형을 이용하여 분석한 사고예측모형의 결과와 모형을 설명하는 변수덜의 통계적 특성은 아래와 같으며 이를 모형식으로 표현하였다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2(우도비)와 MPB, MAD를 이용하여 모형을 검증하였다. 사고예측모형은 신뢰수준 95%이내에서 개발하였다.

• 주모형 개발

$$Y = \exp(-1.89+0.33X_1+1.89X_2+0.08X_3+0.07X_4-0.21X_5)$$

여기서, Y : 사고건수/년
X_1 : 부도로 교통량
X_2 : 주도로 중차량비율
X_3 : 주도로 차로수
X_4 : 부도로 차로수
X_5 : 주도로 버스정류장유무

주모형의 경우 년간 사고건수는 부도로 교통량, 주도로 중차량비율, 주도로/부도로 차로수의 증가에 따라 사고와 양(+)의 관계로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 버스정류장의 개수에 따라(없음:1, 있음:0) 증가하는 것으로 분석되었다. 교통량 처리에 있어 사고건수와의 양적단위를 맞추기 위해 자연로그 형태로 변환 처리하였다.

모형 검증에 있어서 적합도를 나타내는 우도비(ρ^2) 및 실측치와 예측치의 차이값을 나타내 MPB, MAD 및 과분산계수를 통계키지를 통해 산출하였다.

〈표 7〉 사고건수 예측모형 검증

변수	주모형	보조모형 I	보조모형 II
ρ^2	0.1904	0.1784	0.1745
MPB	0.0002	0.0257	0.0004
MAD	6.943	6.925	6.882
Alpha	0.242	0.259	0.248

2. 사고심각도 모형 개발 및 검증

사고 심각도 분석에서 모형의 설명력과 적합성을 나타내는 우도비(ρ^2) 및 x^2(Chi-Square)의 값이 적합한 결과로 나타나 교차로 사고 심각도 모형 개발시 순서형 프로빗 모형이 적합한 것으로 나타났다. 사고심각도모형 역시 주모형과 보조모형 총 3개의 모형을 개발하였으며 물피, 경상, 중상, 사망으로 구분하여 각 0, 1, 2, 3으로 정의하였다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2(우도비)와 MPB, MAD를 이용하여 모형을 검증하였으며. 또한 한계효과를 분석하여 제시하였다. 사고심각도모형은 신뢰수준 90% 이내에서 개발하였다. 사고심각도의 결과와 통계적 특성은 〈표 8〉과 같다

〈표 8〉 도시부 4지 신호교차로 사고심각도모형 개발

변수		주 모형	보조모형 I	보조모형 II
상수	Coeff.	0.49	0.54	0.53
	T-ratio	4.176	4.176	4.597
	P-value	0.000	0.08	0.068
부도로 중차량비율	Coeff.	1.36	1.28	1.26
	T-ratio	2.162	2.162	2.047
	P-value	0.031	0.031	0.041
우회전 비율	Coeff.	-6.08	-5.02	-4.95
	T-ratio	-2.364	-2.364	-2.008
	P-value	0.018	0.018	0.045
주도로 지형	Coeff.	-0.1	-0.08	-0.09
	T-ratio	-2.562	-2.562	-1.89
	P-value	0.01	0.01	0.059
주도로차량속도 제약시설	Coeff.	0.07		
	T-ratio	1.846	1.846	
	P-value	0.065	0.065	
부도로차로당 평균폭	Coeff.	0.07	0.06	0.06
	T-ratio	2.245	2.245	1.967
	P-value	0.025	0.025	0.049
주도로횡단보도유무	Coeff.		-0.31	
	T-ratio			-1.737
	P-value			0.082

• 주모형 개발

$$Y=0.49+1.36X1-6.08X2-0.10X3+0.07X4+0.07X5$$

여기서, Y : 사고심각도

X_1 : 부도로 중차량비율

X_2 : 우회전 비율

X_3 : 주도로 지형

X_4 : 주도로 차량속도 제약시설

X_5 : 부도로 차로당 평균폭

사고심각도 모형 개발의 경우 1892개 개별사고를 근거로 우선 추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness of Fit)를 타나내는 x^2는 16.631(d.f=6)를 나타내어 90% 신뢰수준에서 유의한 것으로 판단된다. 또 각 모형에서 선정된 설명변수에 대한 t-통계치와 유의수준 값을 고려할 때 통계적 유의성(Statistical Significance)이 있는 것으로 나타났다. 분석결과 교차로 사고 심각도에 영향을 미치는 변수는 부도로 중차량비율, 주도로 차량속도 제약시설 및 부도로 차로당 평균폭으로 나타났고 교차로 전체의 우회전 비율 및 주도로의 지형(평지, 경사, 기복)은 사고심각도와 음(-)의 관계로 나타났다.

사고예측 모형과 사고심각도 모형에 나타난 변수는 사고발생 빈도를 높이는 예측모형 변수와 사고발생시 심각도를 물피/경상/중상/사망과 관련된 변수가 각 다르게 나타났으며 사고예측모형에서는 교통량 등의 상충 및 사고노출과 관련된 변수가 나타났으며 심각도 모형에서는 총 6가지 변수가 채택되었다.

〈표 9〉 사고심각도모형 검증

	주모형			보조모형Ⅰ		
	추정계수	T-ratio	P-value	추정계수	T-ratio	P-value
mu(1)	1.29	37.17	0.00	1.29	37.17	0.00
mu(2)	3.33	30.06	0.00	3.33	30.03	0.00
ρ^2	0.1024			0.1023		
x^2	16.631(15.09)			16.253(15.09)		
D.F	5			5		
Num. of observations	1892			1892		
	보조모형Ⅱ			보조모형Ⅲ		
	추정계수	T-ratio	P-value	추정계수	T-ratio	P-value
mu(1)	1.3	37.2	0.00	1.29	37.18	0.00
mu(2)	3.3	30.0	0.00	3.32	30.10	0.00
ρ^2	0.1015			0.1015		
x^2	13.294(13.28)			13.286(13.28)		
D.F	4			4		
Num. of observations	1892			1892		

또한 〈표 10〉은 물피, 경상, 중상, 사망 사고와 관련된 한계효과를 정리한 것으로 사고 심각도에 따른 각 변수의 영향력을 통계패키지를 통해 산출하였다. 우회전비율의 경우 중상 및 사망사고 보다는 물피 및 경상 사고와 관계가 높은 것으로 나타났으며 부도로의 중차량비율은 중상사고와 (+)의 관계로 나타났다.

사고빈도모형과 사고심각도 모형에서 나타난 변수는 상관성이 매우 높거나 동일 변수는 아닌 것으로 사고가 높은 지점에 심각한 사고가 많이 발생하는 것이 아닌 것으로 판단할 수 있다.

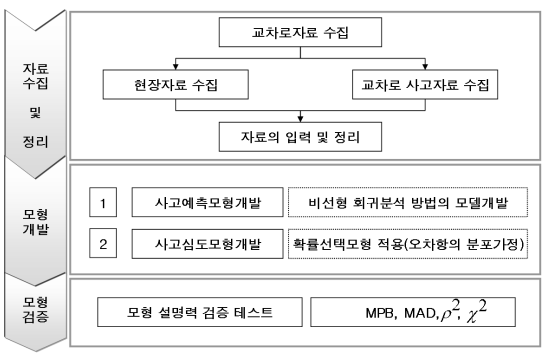
〈표 10〉 사고심각도 모형별 한계효과 분석

변수명	주모형 한계효과				보조모형Ⅰ한계효과				보조모형Ⅱ한계효과			
	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 중차량비율	-0.406	-0.063	0.449	0.02	-0.383	-0.06	0.424	0.019	-0.383	-0.06	0.424	0.019
우회전 비율	0.819	0.282	-0.012	-0.09	0.501	0.233	-0.661	-0.073	0.501	0.233	-0.661	-0.073
주도로 지형	0.031	0.005	-0.034	-0.002	0.023	0.004	-0.025	-0.001	0.023	0.004	-0.025	-0.001
주도로차량속도 제약시설	-0.02	-0.003	0.022	0.001								
부도로차로당 평균폭	-0.021	-0.003	0.023	0.001	-0.018	-0.003	0.02	0.001	0.102	-0.005	-0.095	-0.003
주도로횡단보도 유무					0.102	-0.005	-0.095	-0.003				

Ⅳ. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 도시부 신호교차로를 대상으로 사고예측모형과 사고심도모형을 개발하였다. 주모형을 포함해 보조모형을 개발하였으며 총 171개 지점을 대상으로 현장조사를 통한 다양한 변수의 데이터를 구축하였다. 사고건수에 영향을 미치는 변수에는 교통량 및 차로수, 버스정류장 및 딜레마구간 길이 등이 도출되었으며 사고심각도에 영향을 미치는 변수로는 중차량비율, 우회전비율, 교차로지형, 차로당 평균폭 등이 관련이 있는 변수로 나타났다. 개발된 모형은 기존·신설교차로의 안전성 평가 및 도로환경과 사고발생 및 심각도와의 관계를 규명함으로서 안전성 향상을 도모할 수 있으며 건설 우선순위를 제시하는데 활용될 수 있다. 본 연구의 결과로 지방부에 적용하기에는 도시와 지방 도로의 특성이 다르기 때문에 문제점이 따를 것으로 판단되며 교통사고에 영향을 미치는 인적요인에 대해서는 충분한 고려가 이루어지지 않았다.

추가적으로 설계요소의 변화에 따른 사고건수 변화에 대한 분석결과가 필요하나 본 연구에서는 사고보정계수에 대한 실증적 연구까지는 진행되지 못하였다.. 다년간의 사고자료분석과 도로설계전문가, 교통안전전문가의 의견을 수렴한 모형을 활용한 실질적 도로설계 요소 안전성 검증 평가가 향후 연구과제로 필요하다.



〈그림 6〉 연구의 과정

또한 데이터 구축에 있어서 중소도시(농촌지역 등)의 교차로 자료를 활용하지 못하여 포괄적인 지방도시부 4지 신호교차로 사고모형으로 활용되기는 어려움이 따른다.

향후 연구 과제로 교차로의 유형을 세분화한 모형개발이 필요하다. 도시부 도로 유형에 따라 교차로를 집분산도로와 집분산도로가 만나는 교차로(TYPE1), 집분산도로와 주보조간선도로가 만나는 교차로(TYPE2),, 주보조간선도로와 주보조간선도로가 만나는 교차로(TYPE3)로 구분하여 모형을 개발한다면 각 유형별 특성을 나타내는 모형이 개발 될 것으로 판단되며 교통사고에 영향을 미치는 주 원인을 분석할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 김원철 외 (2003), "교차로 안전진단을 위한 교통사고건수예측모형화 수법에 관한 연구", 대한토목학회 논문집-D, 대한토목학회, pp.427~435.
2. 김효종 (1997), "교통사고 유형에 미치는 영향요인 분석에 관한 연구", 전남대 대학원.
3. 남궁문 외 (1999), "수량화이론에 의한 요인분석과 교통사고예측모형에 관한 기초연구", 환경건설논문집 제8집, pp.89~98.
4. 도철웅 외 (1999), "신호교차로 교통상충 측정 방법의 개발과 평가", 대한토목학회 논문집, 제19권 제Ⅲ-3, 대한토목학회, pp.9~15.
5. 박정순·김태영·유두선 (2007), "도로환경요인과 교통사고의 상관분석 및 사고추정모형 개발 (청주시 4지 신호교차로를 중심으로)", 대한교통학회지, 제25권 제2호, 대한교통학회, pp.63~72.
6. 이수범·강인숙 (1999), "상충기법을 이용한 교차로 안전진단에 관한 연구", 대한교통학회지, 제17권 제4호, 대한교통학회, pp.9~17.
7. 이승환·이성호·박주남 (2003), "신호교차로 황색현시에서의 운전자 형태 및 딜레마 구간 연구방안", 대한교통학회지, 제21권 제4호, 대한교통학회, pp.7~16.
8. 이주현 (2002), "기하구조를 고려한 교차로 교통사고예측모형", 서남대 대학원.
9. 임윤택 (1993), "도로특성이 교통사고에 미치는 영향분석", 연세대 대학원.
10. 하오근 (2005), "국도변 신호교차로 안전성 평가를 위한 사고예측모형 개발과 심각도 분석", 한양대 대학원.
11. Daniel, J., Tsai, C., and Chien, S. (2002), Factors Influencing Truck Crashes on Roadways with Intersections, Paper submitted to the Transportation Research Board, Washington, D.C., Retting, R., Williams, A.

F., Prusser, D. F., and Weinstein, H. B. (1995), Classifying Urban Crashes for Countermeasure Development, Accident Analysis & Prevention 27(3), pp.283~294.

12. Maher, M. J. and Summersgill, I. (1996), A comprehensive Methodology for the Fitting of Predictive Accident Models, Accident Analysis & Prevention 28(3), pp.281~296.
13. Miaou, S. P., Lu, A., Lum, H. S. (1996), Pitfalls of Using R2 to Evaluate Goodness of Fit of Accident Prediction Models, Transportation Research Record 1542, pp.6~13, Washington, D.C.

♧ 주 작 성 자 : 박준태
♧ 교 신 저 자 : 이수범
♧ 논문투고일 : 2008. 2. 23
♧ 논문심사일 : 2008. 5. 7 (1차)
2008. 7. 7 (2차)
♧ 심사판정일 : 2008. 7. 7
♧ 반론접수기한 : 2008. 12. 31
♧ 3인 익명 심사필
♧ 1인 abstract 교정필