

도시부 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고 요인 분석

Development of Accident Factor Analysis for Urban Signalized Intersections

이용미

(서울대학교 환경대학원, 석사과정)

이영인

(서울대학교 환경대학원, 교수)

Key Word : 사고 건수, 사고 예측 모델, Poisson Distribution, Negative Binomial Regression,

목 차

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 방법

II. 문헌고찰

1. 기존 연구 고찰
 - 1) 국외사례
 - 2) 국내사례
2. 사고모형에 대한 이론적 고찰
 - 1) 비선형 회귀분석
 - 2) 적합도 검정

III. 자료수집

1. 사고자료 수집
2. 교통량 및 주변 환경자료 수집

IV. 모형개발 및 결과분석

1. 모형개발
2. 결과분석

V. 결론 및 향후 연구과제

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

건설교통부에 따르면 지난해(2006년)말 기준 국내 자동차 보유대수는 1416만대로 인구 3.4명당 1대 꼴로 연간 10%의 높은 증가율을 보이고 있다. 교통사고 건수 역시 22만여 건으로 자동차 1만대당 교통사고 사망자수는 4.8명에 달하며, 인구 10만명 당 교통사고 사망자수는 21.8명으로 OECD가입국 중 가장 많은 사망자수를 내고 있다. 연간 15조원에 달하는 사회·경제적 손실을 유발하는 교통사고비용만 보더라도 도로교통의 안전성을 향상시키는 일이 시급하다.

교통사고에 영향을 미치는 요인을 살펴보면, 크게 인적·자동차·도로환경적 요인을 들 수 있다. 인적요인에는 연령, 성별, 운전경력, 학력 등이 자동차 관련 요인에는 차종, 기계적 결함 등이 도로관련 요인에는 차선평, 구배, 좌·우회전 시거, 곡선반경 등이 있다. 앞에서 언급한 사고관련 요인들 중 인적요인과 자동차 관련 요인은 운영자가 쉽게 개선시키기가 힘든 요인이지만, 도로환경적 요인을 합리적으로 관리함으로써 위의 요소들로 인한 결점을 최대한 보완 할 수 있다.

특히 타 도로에 비해 다양한 패턴을 가지는 차량과 보행자가 밀집한 신호교차로의 경우 사고의 잠재력이 더욱 높다고 볼 수 있다. 2001년 경찰청에서 발간된 통계보고서에 따르면 교차로 사고는 52,027건으로 전체 교통사고의 18%를 차지하고 있으며, 2002년 21.1%, 2003년 25.9%로 매년 교차로 교통

사고의 비율이 증가하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 문헌고찰을 통해 교통사고요인과 분석기법을 고찰 한 후 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 분석 하여 우리나라 실정에 맞는 교차로 사고예측모형을 개발하고자 한다. 또한 교차로 안전성 저해요소를 추출하여 합리적 교통안전정책 수립을 위한 기초 연구를 수행하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 교차로에서 발생하는 교통사고 건수에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 공간적 범위로는 경기도 일산의 교차로 중 42개 교차로를 대상으로 하였으며, 시간적 범위로는 2005년 각 교차로에서 발생한 교통사고자료를 이용하였다

본 연구는 다음과 같은 절차와 방법으로 수행되었다.

- <1단계> 기존 문헌자료 고찰을 통해 교통사고요인과 분석 기법을 고찰한다.
- <2단계> 현장자료와 사고자료를 수집한 후 분석 목적에 맞도록 정리한다.
- <3단계> 교차로 사고건수와 교통량, 주변환경 및 기타요인을 설명할 수 있는 적합한 회귀모형을 도출한다.
- <4단계> 정립된 관계식을 통해 사고건수에 영향을 미치는 요인을 분석하여 시사점을 도출한다.

II. 문헌고찰

1. 기존 연구 고찰

1) 국외사례

Garrett D. Burchet 와 Thomas H. Maze(2002)는 미국 Iowa 주의 유료도로 644개 고정식 신호 교차로 자료를 기초로 하여 교통사고에 영향을 미치는 교차로의 특징을 설명하는 Safety Performance Function(SPF)를 개발하였다. 본 연구에서는 자료가 Over-dispersion을 가지는 관계로 Negative binomial model을 사용하였다. 분석결과 사고율이 교차로 디자인과 위치에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 특히 구배보다는 커브가 심할수록, 제한속도가 높을수록, 토지이용이 농업-상업적인 지역에서, 부도로 교통량이 많을수록, 안쪽보다는 바깥쪽 차선에서 사고가 많이 발생하였다. 설명변수 중 주도로 교통량은 토지이용에 높은 상관관계를 보여 모형에서 제외하였다.

John N. Ivan et. al(2001)에서는 미국 Maine주의 도로에서 차량과의 충돌로 발생하는 보행자 사고에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 분석결과 AADT가 클수록, 불량시거(Darkness)일수록, 제한속도가 증가 할수록, 큰 차종(Vehicle type)일수록, 조명시설이 불량할수록 도로가 젖거나 빙결되어 있을 경우, 토지이용이 농업적인 지역에서 사고가 증가하였다. 그러나 제한속도의 경우 도로폭에 길어깨를 합하여 산출한 값이나, 도로변 주차차 차량이 많을 수록 도로의 폭이 좁아지면서 차량 속도가 감소 하게되어 보행자 사고수를 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 토지이용이 상업적인 지역에서 대규모 빌딩들이 좁은 간격으로 많이 집결해있고 도로에 가까울수록 도로가 실제보다 좁아보이는 효과를 가져온다. 이는 운전자의 심리에 영향을 끼쳐 보행자의 행동에 더욱 민감하게 반응함으로써 사고를 감소시키는 결과를 나타냈다.

Jovanis와 Chang(1986)은 미국 인디애나주의 유료도로에 대해 차량간의 충돌유형별로 통행시간과 사고수와의 관계를 설명하는 사고모형을 개발하였다. 본 연구는 선형회귀분석의 문제점을 지적하면서 포아송회귀모형을 개발하도록 권고하고 있다. 모형분석 결과 트럭과 승용차의 통행거리가 증가할수록 사고수가 증가하며 승용차의 사고수가 트럭의 사고 수에 비해 우천시 상황에 큰 영향을 받는 것으로 보고하고 있다.

Raghubhushan K. Pasuqathy et. al(2000)에서는 차량 단독 사고와 차량 간 사고 두 가지 모델로 구분하여 포아송회귀분석을 통해 사고모형을 개발하였다. 모형분석 결과 두 모델 모두 AADT가 사고 수에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 차량 단독 사고는 주로 낮 시간 동안에 많이 발생하며 혼잡시 더욱 비번하게 발생하는 것으로 나타난 반면 차량 간 충돌 사고는 혼잡정도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 차량단독사고는 길 여계가 좁을수록, 시야가 불량할수록 증가하는 반면에 차량 간 충돌 사고는 신호등이 많을수록, 중차량이 증가할수록 늘어나는 것으로 보고되었다.

2003년 State Farm Dangerous Intersections Initiative팀에서 주관한 교차로에서의 사고위험에 대한 연구에서는 미국(25개 주) 및 캐나다(1개 주)의 199개의 교차로를 대상으로 하여 사고요인 분석 후 개선방안을 제시하였다. 분석결과 단기 개선책으로 포장표시 개선(61%), 신호가시성 개선(49%), 신호시기개선(49%)로 구성되었으며, 장기대책으로는 기하학적 형상 개선(62%), 접근로 관리 및 중앙선 설치(44%)로 보고되었다. 특히 회미해진 차선, 횡단보도와 정지선 표시는 후면 충돌사고와 측면 충돌사고의 원인이 되어 폭이 넓은 교차로에서는 좌회전 경로 등을 명확하게 표시해야 한다고 보고하고 있다.

2) 국내사례

오주택, 성낙문, 하오근(2005)의 연구에서는 국도변 신호교차로 안전성 향상을 위한 모델을 개발하였으며, 연구 결과로 주·부도로 교통량, 주도로 중차량 비율, 부도로 유출입구수, 주도로 중앙분리대, 주도로 제한속도가 교통사고에 영향을 미치는 변수로 보고되었다.

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

2. 사고모형에 대한 이론적 고찰

1) 비선형 회귀분석

교통사고 모형은 임의적이고 불규칙적으로 발생하는 특징을 가지고 있으며 이를 가장 잘 나타내는 3가지 유형으로 분리된다. 단순선형 회귀식, 포아송 회귀식, 음이항 회귀식이 그것이다.

단순선형회귀식은 사고건수에 영향을 미치는 인자들을 분석하는 가장 단순한기법이며, 식1과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_i = ax_i + \epsilon_i \quad (\text{식1})$$

여기서, y_i : 구간 i 에서 사고건수, 사고율 또는 사상자수 (종속변수)

x_i : 구간 i 에서 사고요인(독립변수)

ϵ_i : 구간 i 에서 정규분포 $\bar{N}(0, \sigma_u^2)$

그러나 이 방법은 변수값이 증가할수록 분산이 증가하여 선형회귀식의 일반 가정인 동분산성(Homoscedasticity)가정에 위배된다. 이는 변수의 유의수준에 변화를 주어, 변수에 대한 통계적 유의성을 떨어뜨린다. 뿐만 아니라 사고수와 같은 양

* State Farm 보험사에서 교통사고 경감을 위해 구성된 조직

의 변수에 대해 음(Negativity)의 사고수를 예측한다는 문제점이 있다. 특히 일정기간 동안 사고가 발생하지 않았거나 낮은 사고건수에 대해서 음의 예측값을 나타낸다. 또한 음의 사고 예측값에 대한 문제를 해결하기 위해 0의 사고를 제거하고 분석하는 기법(Left-Truncating the Accident Frequency at Zero)을 사용할 수 있으나, 표본수가 줄어들 뿐 아니라, 모형의 개념이 타 모형에 비해 열악하다. 이러한 문제점으로 인해, Jovanis와 Chang(1986), Joshua와 Garber(1990) 등은 사고수를 이산적 확률변수(Discrete Random Variable)로 해석하는 포아송 회귀식(Poisson Regression)을 도입하였으며, 이는 개념적으로 선형회귀식에 비해 합리적인 모형이다. 포아송 회귀식의 일반식을 서술하면 식 2와 같다.

$$P(n_i) = \frac{\lambda_i^{n_i} \exp(-\lambda_i)}{n_i!} \quad (\text{식2})$$

여기서, $P(n_i)$: 사고 n 이 고속도로 지점 i 에서 사상자가 발생할 확률

λ_i : 평균 사상자 수

$$\lambda_i = \exp(X_i) \quad (\text{식3})$$

여기서, X_i : 사고수를 결정하는 고속도로지점 i 의 운전자, 도로환경 등의 속성

β : 추정된 계수

λ_i 형태의 β 계수를 추정하기 위해서는 표준 최우추정법을 사용하는데 이때 우도함수 $L(\beta)$ 는 식 4와 같다.

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\exp(\beta X_i)] [\exp(\beta X_i)]^{n_i}}{n_i!} \quad (\text{식4})$$

그러나 이러한 포아송 모형은 분산과 평균이 같다는 기본 전제조건을 만족하여야하나, 실 사고수의 경우 분산이 평균보다 큰 과분산(Overdispersion) 문제가 발생하게 된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 Miaoud와 Lum(1993) 등은 분산이 평균보다 크다는 가정에서 출발하는 음이항회귀식(Negative Binomial Regression)을 사용하는 것이 바람직하다고 보고하고 있다. 음이항분포는 사고수(λ_i)항에 오차항(ϵ_i)이 포함되며 이는 식 5와 같다.

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i + \epsilon_i) \quad (\text{식5})$$

여기서, $\exp(\epsilon_i)$: 오차항으로 평균이 1이고 분산이 α 인 감마분포로 가정

이를 조건부 확률로 나타내면 다음과 같다.

$$P(n_i | \epsilon) = \exp[-\lambda_i \exp(\epsilon)] [\lambda_i \exp(\epsilon)]^{n_i} \quad (\text{식6})$$

식 6으로부터 ϵ 을 합하면 n_i 의 비조건분포를 산출한다.

$$P(n_i | \epsilon) = \frac{\Gamma(\theta + n_i)}{[\Gamma(\theta) \cdot n_i!]} \cdot U_i^\theta (1 - U_i)^{n_i} \quad (\text{식7})$$

여기서, $u_i = \theta(\theta + \lambda_i)$, $\theta = \frac{1}{\alpha}$

이때 우도함수는 식 8와 같으며, 이를 최대화 하는 α, β 를 산출한다.

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\Gamma(\theta + n_i)}{\Gamma(\theta) \cdot n_i!} \left[\frac{\theta}{\theta + \lambda_i} \right]^\theta \left[\frac{\lambda_i}{\theta + \lambda_i} \right]^{n_i} \quad (\text{식8})$$

여기서, N : 사고지점의 총 수

이 두 모형의 사용을 판별하기 위해서는 식 9가 사용되며, α 가 0에 가까우면, 포아송 회귀식이 적합하며, 0에 가깝지 않으면 음이항회귀식을 사용하는 것이 바람직하다.

$$Var[n_i] = E[n_i][1 + \alpha E[n_i]] \quad (\text{식9})$$

\hat{Y}_i : 모형에 의한 결과값

2) 적합도 검정

(1) Pearson 상관계수

Pearson 상관계수 r 은 두 변수 Y_1 과 Y_2 간의 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.

$$r_p = \frac{\sum (Y_{1i} - \hat{Y}_1)(Y_{2i} - \hat{Y}_2)}{[\sum (Y_{1i} - \hat{Y}_1)^2 \sum (Y_{2i} - \hat{Y}_2)^2]^{1/2}} \quad (6)$$

Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

\hat{Y}_i : 모형에 의한 결과값

(2) MSE(잔차 자승 평균합)

잔차자승합은 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료에 대해서 모형에 의한 결과 값이 어느 정도 그리고 어떻게 치우쳐있는지를 판단할 수 있는 기준을 제공해준다. 이 방법에 의한 결과 값이 작을수록 모형의 예측 값은 정확한 것

을 의미한다. 그러나 독립변수 p 증가시 항상 감소하는 값을 가지므로 독립변수를 고려하여 수정된 값인 잔차자승평균값을 사용한다. 이 값은 작을수록 모형의 예측값이 정확할것을 의미한다.

$$MPB = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p-1} \quad (7)$$

Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

\hat{Y}_i : 모형에 의한 결과값

(3) C_p 통계량

C_p 는 회귀모형의 예측오차를 최소화 하는 모형선택의 기준이 된다. 이 방법이 MSE와 다른 점은 각 수치의 음과 양의 차이로 인해 상쇄되지 않는다는 점이다. 결과 값이 0에 가까울수록 모형이 실제의 관측된 자료에 부합되는 결과를 나타냄을 의미한다. 합을 최소화 하는 회귀모형을 찾는 기준이 된다. 만일 k 개의 변수 중 p 개를 선택하게 되면 C_p 값을 $p+1$ 에 가까운 값을 가지게 된다. 따라서 모델을 선택할 때 C_p 값이 최소이거나 $p+1$ 에 가까운 값을 선택한다.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n-p-1} \quad (8)$$

Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

\hat{Y}_i : 모형에 의한 결과값

표 1. 변수의 수집방법 및 통계분석을 위한 표시방법

변 수	수집방법 및 분석을 위한 표시방법
사고발생건수	교차로 내에서 발생한 교통사고 건수(표시방법 : 건)
교차로타입	교차로 타입(표시방법 : 삼지교차로 = 3, 사지교차로 = 4)
주도로 차선수	편도 차선수(표시방법 : 차선)
부도로 차선수	전체 교통량중 증차량 비율(표시방법 : %)
주도로 증차량 비율	전체 교통량중 증차량 비율(표시방법 : %)
부도로 증차량 비율	전체 교통량중 우회전 비율(표시방법 : %)
주도로 좌회전 비율	전체 교통량중 좌회전 비율(표시방법 : %)
주도로 우회전 비율	전체 교통량중 우회전 비율(표시방법 : %)
부도로 우회전 비율	전용차로수(표시방법 : 차로)
주도로 도로변 제약시설물	제약시설물 여부(표시방법 : 있다 = 1, 없다 = 0)
주도로 차량유출입구 수	차량 유출입구수(표시방법 : 개)
부도로 좌회전 전용차로 수	전용차로수(표시방법 : 차로)
부도로 우회전 전용차로 수	전용차로수(표시방법 : 차로)
주도로 중앙 분리대	중앙 분리대 유무(표시방법 : 없다 = 0, 있다 = 1)
주도로 좌회전 시거	1~13단계로 구분(표시방법 : 10m미만 = 1, 1000m이상 = 13)
부도로 좌회전 시거	조명시설 설치 유무(표시방법 : 없다 = 1, 있다 = 0)
주도로 우회전 시거	1~13단계로 구분(표시방법 : 10m미만 = 1, 1000m이상 = 13)
주도로 우회전 시거	교통섬 설치 유무(표시방법 : 없다 = 1, 있다 = 0)
교차로 주변 환경(주거)	100m이내 주변 환경(표시방법 : 단독주택 = 1, 2층 이상 고밀도 주택 = 2)
교차로 주변 환경(상가)	100m이내 주변 환경(표시방법 : 저밀도상가(단층) = 1, 2층 이상 고밀도 상가 = 2)
교차로 주변 환경(주상복합)	100m이내 주변 환경(표시방법 : 단독주택 + 저밀도상가(단층) = 2, 단독주택 + 2층 이상 고밀도 상가 = 3, 2층 이상 고밀도 주택 + 저밀도상가(단층) = 3, 2층 이상 고밀도 주택 + 2층 이상 고밀도 상가 = 4)
주도로 버스 정류장	50m이내 버스정류장 유무(표시방법 : 있다 = 1, 없다 = 0)
부도로 버스 정류장	좌회전 유도선 유무(표시방법 : 없다 = 1, 있다 = 0)
주도로 차량 속도제약 시설	50m이내 속도제약 시설(표시방법 : 있다 = 1, 없다 = 0)

(4) 과분산(K)

Poisson 회귀모형에서 과분산(Overdispersion)은 모형계수의 분산을 실제보다 적게 예측하게 되는 원인이 된다. 또한 이것은 일부변수들의 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 Poisson 분포보다 더 크거나 작은 경우는 Poisson 모형이 적합하지 않음을 나타낸다.

$$DEV(x_0, x_1, \dots, x_{p-1}) = 2 \left\{ \sum_{i=1}^n Y_i \log_e \left(\frac{Y_i}{\mu_i} \right) - \sum_{i=1}^n (Y_i - \mu_i) \right\} \quad (9)$$

III. 자료수집

1. 사고자료 수집

본 연구에서의 사고자료는 현장조사 지점으로 선정된 42개의 교차로를 대상으로 2005년도의 각 교차로 교통사고건수를 정리하여 사용하였다.

2. 교통량 및 주변 환경자료 수집

본 연구에서 교차로 교통사고에 영향을 줄 수 있는 교통량 및 주변 환경자료에 대해서는 기존 문헌조사와 현장조사를 통하여 45개의 주요변수를 선정하였다. 선정된 45개의 자료는 직접 조사·수집하였다.

IV. 모형개발 및 결과분석

1. 모형개발

본 연구에서는 교차로 사고예측 모델을 개발하기 위하여 통계패키지 LIMDEP 7.0과 SAS 9.0을 이용하였다. 사용된 변수는 조사대상 교차로 42개 지점에서 조사된 교통사고건수, 교통량, 주변 환경요소등 45개중 SAS를 이용한 다중공선성 분석과 분산분석 결과 독립변수들 간의 심각한 상관관계를 보이거나 종속변수에 영향을 거의 끼치지 않는 변수 20개(주도로 좌회전 전용차로 수, 주·부도로 횡단보도 유무 등)를 제외한 25개의 변수를 모델개발에 활용하였다. 이에 대한 변

수 수집방법과 모델 개발을 위한 표시방법에 관한 내용은 다음 표 1과 같으며, 상세 내용은 표 2와 같다.

이러한 변수들을 이용하여 포아송 회귀모델과 음이항 회귀 모델의 적합성을 분석한 결과, 과분산 계수인 α 값이 0에 가까운 값을 나타내서 교차로 교통사고 예측모델 개발시 포아송회귀모델이 적합한 것으로 나타났다.

또한 SAS를 이용한 단계별 회귀(Stepwise regression)분석을 통하여서도 Limdep을 통한 분석결과와 같은 값이 도출되었다.

본 연구에서는 사고예측 모델개발시 주 모델과 보조모델을 나누어 개발하였다. 주 모델은 교통사고와 설명변수들간의 상

표 2. 변수의 상세 내용

변 수	변수명	평균	분산	최대값	최소값	비 고
사고발생건수	Y	-	-	-	-	-
교차로타입	X1	3.78	0.41	3	4	- 사고 건수에 미치는 영향분석
주도로 차선수	X2	3.19	0.70	2	4	- 주도로 ADT와 0.98의 상관성을 가짐. - Raghubhushan K. Pasuqathy et. al(2000)의 연구결과 : 예상부호(+)
부도로 차선수	X3	2.47	0.74	1	4	- 부도로 ADT와 0.97의 상관성을 가짐. - Garrett D. Burchet와 Thomas H. Maze(2002) 연구결과 : 예상부호(+)
주도로 중차량 비율	X4	17.04	5.60	4	27	- John N. Ivan et. al(2001)의 연구결과 : 예상부호(+)
부도로 중차량 비율	X5	15.50	5.67	5	32	
주도로 좌회전 비율	X6	13.30	5.76	5	28	- 사고 건수에 미치는 영향분석
주도로 우회전 비율	X7	12.21	5.34	0	22	- 사고 건수에 미치는 영향분석
부도로 우회전 비율	X8	24.23	17.46	5	69	- Garrett D. Burchet와 Thomas H. Maze(2002) 연구결과 : 예상부호(+)
주도로 도로변 제약시설물	X9	0.38	0.49	0	1	- State Farm(2003)의 연구결과 : 예상부호(-)
주도로 차량유출입구 수	X10	0.26	1.34	0	6	- Garrett D. Burchet와 Thomas H. Maze(2002) 연구결과 : 예상부호(+)
부도로 좌회전 전용차로 수	X11	0.61	0.49	0	1	- 사고 건수에 미치는 영향분석
부도로 우회전 전용차로 수	X12	0.28	0.45	0	1	- 사고 건수에 미치는 영향분석
주도로 중앙 분리대	X13	0.57	0.50	0	1	- State Farm(2003)의 연구결과 : 예상부호(-)
주도로 좌회전 시거	X14	76.42	41.08	30	150	- Raghubhushan K. Pasuqathy et. al(2000)의 연구결과 : 예상부호(+)
부도로 좌회전 시거	X15	69.88	32.24	30	150	
주도로 우회전 시거	X16	61.78	36.17	30	150	
주도로 우회전 시거	X17	51.42	34.29	30	150	
교차로 주변 환경(주거)	X18	1.57	0.83	0	2	- Garrett D. Burchet와 Thomas H. Maze(2002) 연구결과 : 예상부호(+), 예상 계수값 : 적은 계수값
교차로 주변 환경(상가)	X19	1.47	0.86	0	2	- Garrett D. Burchet와 Thomas H. Maze(2002) 연구결과 : 예상부호(+), 예상 계수값 : 큰 계수값
교차로 주변 환경(주상복합)	X20	0.80	1.43	0	4	- Garrett D. Burchet와 Thomas H. Maze(2002) 연구결과 : 예상부호(+), 예상 계수값 : 중간 계수값
주도로 버스 정류장	X21	0.35	0.48	0	1	- 사고 건수에 미치는 영향분석
부도로 버스 정류장	X22	0.19	0.39	0	1	- 사고 건수에 미치는 영향분석
주도로 차량 속도제약 시설	X23	0.19	0.39	0	1	- John N. Ivan et. al(2001)의 연구결과 : 예상부호(-)
주도로 좌회전 유도차선 설치	X24	0.47	0.50	0	1	- 사고 건수에 미치는 영향분석
부도로 좌회전 유도차선 설치	X25	0.54	0.50	0	1	- 사고 건수에 미치는 영향분석

관관계를 가장 잘 설명하는 모델이지만, 교통사고와 주요 설명변수들간의 상관관계를 설명하기에는 한계가 따르게 됨으로 인해 보조모델을 개발하고 이들 모델의 적합도(Fitness)를 검증하기 위해 부호의 적합성, Pearson 상관계수, C_p , MSE, χ^2 -값, Log-likelihood func. at Convergence을 분석하였다.

포아송 회귀모델을 이용하여 분석된 사고예측모델의 결과와 모델을 설명하는 변수들의 통계적 특성은 표 3.와 같이 나타났다. 주 모델과 예비 모델의 선정방법은 부호가 적합하고, 두 변수간의 연관성의 정도와 방향을 수량적으로 나타내어 주는 Pearson 상관계수가 높고, χ^2 -값이 유의수준보다 크며,

MSE와 C_p 의 값이 최소이며, Log-likelihood func. at Convergence 값이 큰 모델을 선정하였다. 주 모델의 경우 교차로 교통사고를 예측하기 위하여 주도로 차선수, 주도로 도로변 제약시설물, 주도로 차량 유출입구수, 교차로 주변환경(주거)가 선정되었다.

2. 결과분석

포아송 회귀 분석을 이용하여 도출된 각 모델의 결과를 살펴보면 표 3.와 같으며, 각 모형의 회귀계수값(Coefficient)은 포아송확률분포의 우도함수의 모수를 최대화함으로써 얻어진

표 3. 교차로 교통사고 예측 모델의 결과 값

변수		주 모델	예비모델 I	예비모델 II	예비모델 III
상수	coeff.	-1.6193	-1.0626	2.4573	-5.0938
	std. err.	0.7342	0.6399	0.7613	1.6185
	P-value	0.0274	0.0968	0.0012	0.0016
교차로 타입	coeff.				0.6192
	std. err.				0.3386
	P-value				0.0674
주도로 차선수	coeff.	0.6664	0.6333	0.6124	0.6138
	std. err.	0.1756	0.1769	0.1700	0.1642
	P-value	0.0001	0.0003	0.0003	0.0002
주도로 좌회전비용	coeff.	0.0794	0.0743	0.0745	0.0757
	std. err.	0.0221	0.0222	0.0214	0.0206
	P-value	0.0003	0.0008	0.0005	0.0003
부도로 우회전비용	coeff.			0.0143	0.0233
	std. err.			0.0076	0.0088
	P-value			0.0565	0.0080
주도로 도로변 제약시설물	coeff.	-0.9573	-0.9481	-1.1269	-1.0530
	std. err.	0.2424	0.2420	0.2413	0.2366
	P-value	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
주도로 차량유출입구수	coeff.	0.4125	0.3847	0.4308	0.3950
	std. err.	0.0985	0.0982	0.0936	0.0926
	P-value	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
주도로 중앙분리대	coeff.			0.4703	0.4630
	std. err.			0.2400	0.2319
	P-value			0.0500	0.0459
교차로 주변환경 (주거)	coeff.	0.2235		0.4526	0.5020
	std. err.	0.1513		0.1686	0.1652
	P-value	0.1398		0.0073	0.0024
교차로 주변환경 (주상복합)	coeff.			0.1651	0.1682
	std. err.			0.0865	0.0836
	P-value			0.0563	0.0043
R^2		0.7182	0.7011	0.7710	0.7926
χ^2		15.00	15.24	13.74	13.15
MSE		0.5696	0.5878	0.50501	0.47152
C_p		3.5880	3.6219	3.2944	0.27118
Log-likelihood func. at Convergence		-44.5416	-45.7763	-40.1844	-38.0970

결과값이다.

주도로의 교통량과 0.98의 상관관계를 가지는 주도로의 차선 수는 타 변수에 비해 가장 큰 계수값이 도출되었으며, 교통사고에 가장 큰 영향을 미치는 결과로 나타났다. 이는 교통량이 증가 할수록 차량간의 상충이 더욱 빈번하게 되어 사고 발생 확률이 높아지기 때문이다. Garrett D. Burchet 와 Thomas H. Maze(2002)의 연구에서도 주도로의 교통량의 증가가 사고를 유발한다는 결과가 보고된바 있다. 이 외에도 John N. Ivan et. al(2001)의 연구와 Raghubhushan K. Pasuqathy et. al(2000)의 연구에서도 같은 결론이 보고되었다.

교차로의 타입에 대한 결과를 살펴보면, 계수값이 타 변수 값에 비해 큰 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 교차로가 복잡할 수록 사고가 많이 발생하는 결과로 나타났다. 삼지교차로 보다는 사지교차로에서 다양한 패턴을 가진 차량들에 의해 더욱 많은 상충점이 생기고 운전자의 심리를 더욱 예민하게 만들어 사고의 위험이 더욱 높아지기 때문이다.

주도로의 좌회전 비율이 증가할수록 사고건수가 증가하는 결과가 나타났는데 이는 주도로의 좌회전 비율이 증가함에 따라 본선의 흐름을 방해하기 쉽고, 신호가 바뀐 후에도 교차로에 차량이 남게 되는 경우가 빈번해지면서 다른 신호를 받고 출발한 차량과의 충돌이 증가하기 때문이다.

부도로 우회전 비율에 따라 교통사고 발생 위험도 커지는 것을 볼 수 있는데, 부도로의 우회전 차량이 주도로에 진입할 경우에는 본선의 흐름을 살피며 들어오게 된다. 그런데 부도로의 우회전 차량이 증가하게 되면, 대기차량의 지체가 길어지게 되고 운전자는 주도로의 흐름을 충분히 살피지 않고 본선에 끼어들게 된다. 이 과정에서 차량간 상충이 빈번해지게 되며 교통사고 발생 확률도 증가하게 된다. 이는 부도로의 우회전 교통량이 증가할 수록 교통사고 발생률이 커진다는 Garrett D. Burchet 와 Thomas H. Maze(2002)의 연구와도 일치하는 내용이다.

주도로 도로변 제약시설물은 전체 모델에서 채택된 변수이며, 그 결과는 교통사고를 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 2003년 State Farm Dangerous Intersections Initiative팀에서 주관한 연구와도 일치하는 내용으로, 교차로 안전성 개선방안에 제시되었다.

주도로 차량 유출입구 수에 따라 교통사고의 발생 위험성도 큰 것으로 나타났다. 유출입구가 많을 수록 주도로의 흐름을 방해하며 차량간 상충횟수를 증가시키기 때문이다. 계수값이 0.4125로 비교적 큰 편이며 교통사고에 적지않은 영향을 끼치는 것을 알수있다. 이러한 결과는 교차로 인접 도로상의 유출입구 수에 대한 제한을 통하여 위험요소를 사전에 방지해야 함을 의미한다.

주도로 중앙분리대는 예상부호(-)과는 달리 (+)의 값을 가짐으로써 중앙 분리대의 설치가 오히려 교통 사고수를 증가시키는 결론이 나왔다. 이는 실제 조사지역에 설치된 중앙분리대가 도시 미관상의 이유로 주로 화단으로 꾸며져 있기 때문에, 보행자들이 도로를 무단횡단하거나 근처 횡단보도로 이동할 때, 오히려 중앙분리대를 보도용으로 사용하기도 하는

사실에서 이유를 찾을 수 있다. 양 방향 차선을 분리함으로써 차량간의 상충을 방지하고 교차로 통행시 차로의 연속성을 유지함으로써 교통사고를 감소시키는 원래의 목적에 맞지 않는 사용으로 교통사고수가 증가하는 것으로 해석할 수 있다.

교차로 주변환경에 대한 결과는 조사지역의 특징을 강하게 나타내는데, 주거지역에서 주상복합지역 보다 더욱 교통사고와의 연관성이 큰 결과가 나왔다. 조사지역인 경기도 일산은 신도시로 대부분이 주거지역이며 근처에 학교가 많이 들어서 있다. 따라서 오전, 오후 등하교시간 저녁 학원가에 많은 학생과 학부모들의 차량 통행이 발생하고 이는 차량과 보행자간의 많은 상충점 발생시켜 사고의 위험성을 높이기 때문이라 할 수 있다. John N. Ivan et. al(2001)의 연구에서는 토지이용이 상업적인 지역이 더 많은 교통량을 가지기 때문에 사고율이 높아진다고 보고한 바 있으나, 일산지역의 경우는 상업적인 지역보다 주거지역이 오히려 차량 통행을 많이 발생시켜 사고율이 증가하는 것으로 근본적인 이유는 같다고 볼 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 도시지역 교차로의 안전성에 영향을 끼치는 요인을 분석하기 위해 경기도 일산의 42개 교차로를 대상으로 45개에 달하는 다양한 요인들을 자료의 특성에 가장 알맞은 포아송 회귀모형을 이용하여 모델을 도출하였다. 그 결과 주도로의 차선수가 교통사고에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 주도로의 차선수가 주도로의 ADT와 9.8의 강한 상관관계를 가지는 것을 보아, 교통량 역시 교통사고를 예측하는데 가장 중요한 변수임을 알 수 있다. 교통사고에 영향을 끼치는 다른 주요 요인으로는 교차로타입, 주도로 차선수, 주도로 좌회전비율, 부도로 우회전비율, 주도로 도로변 제약 시설물, 주도로 차량 유출입구수, 주도로 중앙분리대, 교차로 주변환경등이 있다. 이렇게 개발된 사고예측 모형은 설계 이전에 교통사고를 예측하고 설계의 우선순위를 제시하는데 기초적인 방안을 제시할 것이라 기대된다.

본 연구에서 제시한 교차로 교통사고 예측 모델의 단점을 보완하기 위하여 향후 연구 · 보완되어야 할 몇 가지 사항을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 사고예측 모델에 고려된 변수 이외에 문헌적으로 교차로 교통사고와 밀접한 관계를 보이는 것으로 판단되는 변수에 있어서 통계적으로 유의하지 않게 나타난 변수에 대한 연구가 필요하다. 특히 커브라던가 제한속도등이 교통사고에 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 이는 일산지역의 도시부 교차로가 거의 비슷한 변수 값을 가지기 때문이라고 보이며, 앞으로의 현장조사 설계시 보다 구체적이며 정확한 변수의 처리 방안이 논의 되어져야 한다고 본다.

둘째, 교차로 교통사고에 영향을 미치는 교통량 및 주변환경 요소 외에도 운전자에대한 인적요소가 지대한 영향을 미친다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 인적요소를 제외한 상태에서 연구를 진행하였으나 보다 정확하고 세밀한 분석을 위해

서는 교차로에 관련된 모든 요소를 고려한 사고예측 분석이 이루어져야 할 것이다.

마지막으로 본 연구에서는 42개의 교차로 데이터를 이용하여 교통사고 예측 모델을 개발하는데 사용하였으나 보다 많은 데이터를 이용한다면 지역적 대표성을 확보하고 더욱 신뢰할 수 있는 모형을 개발 할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, “교통사고 많은 지점 개선방안에 관한 연구”, 1990
2. 김정현, 이수범, 박병정, “교통사고 잦은 지점 및 구간 선정 방법개선에 관한 연구”, 2002
3. 홍정열, 도철웅, “신호교차로에서의 사고예측모델개발 및 위험수준결정 연구”, 2002.
4. 오주택, 성낙문, 하오근, “국도변 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측 모델개발”, 2005
5. Garrett D. Burchet and Thomas H. Maze " Rural Expressway Intersection Characteristics that Contribute to Reduced Safety Performance", 2003
6. Maze, T.H., N. Hawkins, G. Burchett. "Rural Expressway Intersection Synthesis of Practice and Crash Analysis. Ames, IA: Center for Transportation Research and Education, Iowa State", 2004
7. John N. Ivan et al. "Finding Strategies to Improve Pedestrian Safety in Rural Areas", 2001
8. Raghubbhushan K. Pasuqathy et. al "Single and Multi-Vehicle Crash Prediction Models For Two-Lane Roadways", 2000
9. State Farm "A Preliminary Review of Studies Funded by State Farm's Dangerous", 2003
10. Chin, H. C., Quddus, M. A., "Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersection", Accident Analysis & Prevention, November 2001