



도시부 신호교차로에서의 자전거사고 분석

A Study of Bicycle Crash Analysis at Urban Signalized Intersections

오 주 택* 김 응 철** 지 민 경***
Oh, Jutaek Kim, Eungcheol Ji, Minkyung

Abstract

The rapid growths of economy and automobiles since the 1970's have caused serious traffic jams and environmental disruption in urban areas. To relieve these problems caused by urbanization, there should be considered alternative means of transportation modes. Many developed countries have accepted bicycles as a so called "Green Mode" for environmentally oriented strategies to increase the qualities of urban lives. Korea have also attempted various means to raise bicycle usages.

In this research, significant factors affecting bicycle crashes at signalized intersections in urban areas were studied. The model results showed that Poisson regression is the best fit methodology for data modeling and revealed that traffic volume, a number of driveways, configuration of the ground, presence of bicycle path, school, and bus stop, residential area, size of intersection are significant factors affecting the bicycle crashes.

Keywords : green mode, bicycle crash, signalized intersections, poisson regression

요 지

1970년대 이후 급속한 경제성장과 자동차의 증가로 인해 도심지의 극심한 교통정체와 환경파괴의 문제가 대두되었다. 이러한 도시의 부정적 문제를 해결하기 위해서는 승용차위주의 교통수단을 승용차외의 대체교통수단으로 전환하는 것이 보다 효과적인 방법이라 할 수 있다. 이러한 관점에서 자전거는 환경친화적인 그린교통수단(Green Mode)으로 세계 각국에서는 각광받고 있고, 국내에서도 자전거의 이용률을 높이기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 자전거 이용의 활성화를 위해 우선적으로 고려되어야 하는 안전성 측면에서 자전거 사고에 영향을 미치는 영향인자들에 대한 분석을 시도하였다. 자전거 사고의 안전성 분석을 위하여 비선형 회귀분석을 통해 사고모델을 개발하였고, 이들 개발된 모델들을 이용하여 자전거사고에 영향을 미치는 주요설명변수들에 대한 분석을 시도하였다. 모델분석결과, 포아송회귀분석(poisson regression)이 모델개발에 가장 적합한 것으로 나타났으며, 자전거 사고에 영향을 미치는 변수로는 교통량, 진출입구 수, 지형, 자전거도로, 학교, 주거지역, 교차로의 크기, 버스정류장 등으로 분석되었다.

핵심용어 : 그린교통수단, 자전거사고, 신호교차로, 포아송회귀모델

* 한국교통연구원 도로교통연구실 책임연구원

** 경희원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 조교수

*** 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정



1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

1970년대 이후 급속한 경제성장과 자동차의 증가로 인해 도심지에서는 극심한 교통정체와 환경파괴라는 새로운 문제가 대두되고 있다. 이러한 교통정체는 운전자의 통행시간을 증가시키고 유류소모, 차량 운영비의 증가, 환경문제 등 다양한 2차적인 문제들을 야기시키고, 결국엔 국가적인 차원에서 이러한 문제점에 대한 새로운 해결책을 요구하기도 한다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 현재 이루어지고 있는 승용차위주의 통행수단을 다른 통행수단으로 대체하는 노력들을 필요로 한다. 이를 위한 효과적인 방법 중 하나는 대중교통수단의 증대를 통한 승용차 사용의 감소를 들 수 있으나, 자전거 이용의 활성화를 통한 교통수단 전환도 승용차의 훌륭한 대체수단이 될 수 있을 것으로 판단된다. 이는 자전거가 하나의 그린교통수단(Green Mode)으로써 미국 등 소위 선진국에서는 이미 널리 이용되고 있는 환경친화적 정책의 하나인 점을 볼 때도 알 수 있다.

하지만 이에 반해 국내의 자전거 이용률은 선진국에 비해 매우 미미한 수준에 불과하다. 이는 자전거 전용도로의 부족과 안전에 대한 무관심 등이 큰 역할을 하고 있다고 볼 수 있다. 도로교통안전관리공단에서 제공하는 자전거사고 통계자료를 살펴보면 2000년~2005년 까지 매년 6,000여건의 자전거 사고가 발생하고 있으며, 이 중 매년 200여명의 사망자와 6,000여명이 부상을 당하는 것으로 나타나고 있다.

따라서 본 연구에서는 자전거 이용의 활성화를 위해 자전거 사고의 안전성을 높일 수 있는 방법을 모색하였다. 이를 위해 본 연구에서는 사고예측모델 개발을 통해 신호교차로에서 발생할 수 있는 자전거 사고를 예측하고 이에 대한 통계적 분석을 시도하였다. 본 연구의 결과는 향후 자전거 이용자의 안전성을 향

상하고, 궁극적으로 자전거 이용의 활성화를 위한 기본적인 토대를 제공할 것으로 기대된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 도시부 신호교차로에서 발생하는 자전거 사고의 요인을 분석하기 위해 인천시 경찰청에 협조를 요청하여 얻은 2005년 신호교차로 자전거 사고 40개 지점에서 발생한 51건의 사고를 분석하였다. 연구 방법에 있어서 교통사고의 특성상 불규칙적이고 이산적인 분포를 반영하기 위해 비선형 회귀분석 방법인 포아송 회귀분석과 음이항 회귀분석을 통해 모델을 개발하였고, 이들 개발된 사고모델들을 이용하여 신호교차로 자전거사고에 영향을 미치는 주요 설명변수들에 대한 분석을 실시하였다. 그림 1은 본 연구의 수행 흐름도를 도식화한 것이다.

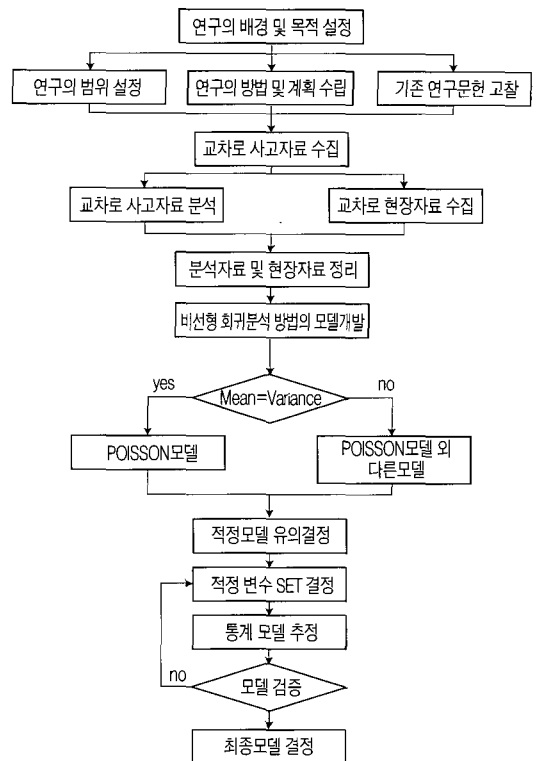


그림 1. 연구수행절차



2. 문헌고찰

2.1 기존문헌고찰

우선 국내의 자전거관련 연구들을 살펴보면, 황정훈 등(2005)은 자전거 이용이 활성화된 네덜란드의 하우텐시를 참고하여 자전거 주행환경 개선방안에 대한 연구를 수행하였다. 개선방안에 대한 환경, 안전, 편리성 측면에서 비교평가를 수행하고, AHP를 통하여 종합적인 분석을 실시하였다. 연구결과, 도로 공간의 재배분에 의한 자전거도로 설치와 자동차와 분리된 자전거도로망을 구성하는 개선안이 효과적인 것으로 나타났다. 오창수 등(1999)은 자전거도로 시설기준에 관한 연구를 통하여 자전거도로 시설기준에 대한 개선방안을 시설기준의 측면, 자전거 도로의 설치위치, 자전거 횡단로 시설기준 등의 측면에서 분석하였다. 분석결과, 자전거전용도로보다는 겸용도로나 혼용도로의 경우가 82% 이상으로 대부분 안전성이나 효율성 측면에서 미흡한 것으로 나타났다. 손영태 등(2002)은 자전거 교통류에 기본 특성에 관한 연구에서 연속류시설의 경우 5000대/시/차로, 단속류 시설의 경우 약 3000대/시/차로의 포화교통류를 보이는 것으로 분석하였고, 통행시 점유면적이 2.21m×4.1m 이상일 경우 쾌적한 상태의 통행이 가능한 것으로 분석하였다. 추가적인 연구로써 노용호 등(1998)에 의한 도시 자전거 이용시설 정비계획의 문제점과 개선방안, 이재영 등(1998)에 의한 자전거 관련연구의 세계적 동향과 전망, 이병주 등(2001)에 의한 자전거 이용자의 행태분석에 관한 선행연구들이 진행되었다.

국외의 자전거관련 연구들을 살펴보면, Wang 등(2004)은 Tokyo의 115개 신호교차로에서 1992년부터 1995년 동안 수집된 데이터를 이용하여 방법론을 구축하였으며, 교차로에서 자전거와 자동차간에 발생하는 사고를 직진차량과의 충돌, 좌회전차량과의 충돌 그리고 우회전차량과의 충돌로 분석한 결과 좌회전 차량과 우회전차량은 교차로를 횡단하는 자

전거 이용자를 인지하는데 어려움이 많기 때문에 회전차량의 충돌사고 빈도가 높게 나타난다고 규명했다. Brown 등(2002)의 연구에서는 자동차에 의한 희생자들은 대부분 16세 이하의 어린이에게 발생되며, 사고발생시 자동차와 자동차간의 부상정도보다 자동차와 자전거 사이에서 발생한 부상의 심각도는 매우 크다고 규명하였다. 또 Doherty 등(2000)의 연구에서는 Toronto 와 Ottawa에서의 통근자의 자전거 사고는 2,945명의 자전거를 이용하는 성인을 대상으로 조사되었으며, 그 결과 사고의 주된 요인으로 쉘, 요일, 지역, 도로의 표면상태가 자동차 교통류에 민감한 영향을 주며, 계절상으로 가을의 도로 표면상태가 사고에 더욱 영향을 주는 것으로 나타났다. Rasanen 등(1998)은 자동차 운전자와 자전거 이용자 사이의 인지능력과 사고자료를 이용하여 실제의 사고거동을 세부적으로 재구성하여 분석한 결과 자동차 운전자와 자전거 이용자의 충돌사고가 발생했을 경우, 운전자의 37%가 위험성을 인지하지 못했거나 대처할 수 있는 충분한 시간을 확보하지 못하여 사고가 발생되며, 대부분의 자동차 운전자와 자전거 이용자의 충돌 패턴은 운전자가 우회전하기 전에 좌측에서 다가오는 차량에 집중하고 있을 때 자전거 이용자가 접근하는 경우로 분석되었다. Roders(1995)는 자전거 사고의 심각도가 여성운전자, 44세 이상의 자전거 운전자 그리고 야간에 증가되고 45~64세의 중장년의 경우 15세 이하의 아동에 비해 2배의 위험성을 내포하고 있으며, 65세 이상의 노인은 15세 이하의 아동보다 6~9배 높은 것으로 나타났다. 이밖에 Hoque(1990)는 대도시에서는 오전 첨두시간(08:00~09:00)에 자전거 사고가 발생하는 연령층의 67%가 5~17세의 나이에서 나타나며, 성인의 경우에는 70%가 오후 첨두시간(18:00~19:00)에 사고가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 야간에 발생하는 사고의 약 80%이상이 간선도로 구간과 높은 제한속도(75kph 이상)가 적용된 주도로에서 발생하는 것으로 나타났다.



2.2 사고모델에 대한 이론적 고찰

사전거 교통사고의 특성상 임의적이고 불규칙적으로 일어난다는 점을 고려하여 사고모델의 개발은 포아송(Poisson) 회귀분석에서 출발하는 것이 적절하다고 판단된다. 만약 사고 데이터의 특성이 포아송분포의 기본가정인 데이터의 평균과 분산의 일치성을 위반시 이를 설명할 수 있는 음이항(negative binomial)회귀방식을 사용한다. 이들 모델식에 대한 통계학적 배경과 사고모델의 선정시 사용되는 적합도 검증(goodness-of-fit)방법에 대해 알아 보면 다음과 같다(오주택 등, 2005).

2.2.1 포아송 회귀모델

사고의 발생은 비교적 드문 이산형태의 분포를 나타내므로 포아송 분포를 사용하는 것이 일반적이다. 신호교차로에서의 사고건수 \hat{Y}_i 가 포아송 분포를 따른다는 가정하에 i 번째 신호교차로에서 m 개의 변수에 의해 사고가 발생할 확률의 일반식은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{Y}_i &= \exp(\beta_0 X_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m) \\ &= \exp\left(\sum_{j=0}^m \beta_j X_j\right) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, β_j : 회귀추정계수

위에서 모델계수인 β 는 최우추정법(maximum-likelihood)을 이용하여 계산된 것이다. 따라서 포아송 회귀모델은 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.

2.2.2 음이항 회귀모델

음이항 회귀분석은 각 분포의 분산이 같아야 한다는 포아송 회귀분석의 제약조건을 완화시키는데 사용될 수 있다. 사고예측모델에 있어서 포아송 회귀분

석은 추정된 자료의 평균을 실제자료의 분산이 초과하면 과분산으로 나타난다. 과분산은 조사되지 않은 다른 성질의 구간이 다양한 결과를 나타내기 때문이며, 음이항 회귀분석은 사고자료가 과분산일 때 사용하면 큰 효과를 나타낼 것으로 기대할 수 있다. 음이항 회귀분석은 포아송 회귀분석과 비슷하게 i 번째 신호교차로에서의 사고발생건수는 q 개의 변수와 연관성을 가지며 식(2)와 같다.

$$Function(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_q X_{iq} \quad (2)$$

그러나 음이항 회귀분석은 분산을 나타내는 과분산이 포함된 2차식의 형태이므로 식(3)와 같은 형태를 가지게 된다.

$$P(y_i) = \frac{(y_i + K - 1)!}{y_i!(K - 1)!} \cdot \frac{\mu^{y_i}}{(1 + \mu)^{y_i + K}} \quad (3)$$

여기서, K : 과분산 계수

μ : 평균값(mean response)

그 분산은 식(4)를 통해 주어진다.

$$Var(y_i) = E[y_i] + KE[y_i]^2 \quad (4)$$

여기서, $Var(y_i)$: y_i 의 분산(variance)

$E[y_i]$: y_i 의 평균값(mean)

결과적으로 음이항 회귀분석은 조사되지 않은 다른 성분에 의하여 포아송 회귀분석의 분산을 변형시키게 된다. 과분산 계수인 K 가 0에 가까우면 음이항 회귀분석은 포아송 회귀분석으로 바뀌게 되고, K 가 큰 값을 가지게 되면 자료에 있어서 평균값인 μ_i 에 비해 더 큰 변화성을 가지게 된다.

포아송 회귀분석의 경우 계수 μ_i 는 log-likelihood 인 $\log_e L(\beta)$ 를 최대화함으로써 구할 수 있지만 음이항 회귀분석의 경우 추정된 \hat{K} 에 더하여 추정계수벡터와 \hat{Y} 가 $\log_e L(\beta, K)$ 를 최대화함으로써 구할 수 있게되며, 관련식은 식(5)와 같다.



$$\log_e L(\beta, K) = \sum_i \left[\left(\sum_{j=0}^{y_i} \log_e(1 + K_j) \right) - \log_e(1 + K_{y_i}) + y_i \log_e u_i - \left(y_i + \frac{1}{K} \right) \log(1 + K_{\mu_i}) - \log(y_i!) \right] \quad (5)$$

2.2.3 모델 검증

본 연구에서는 적합도 검증방법(goodness-of-fit)으로 오주택 등(2005)에서 제시한 내부검증방법(internal validation)과 외부검증방법(external validation)을 종합하여 모델을 검증하고 선정하였다.

내부검증방법은 변수선정에 있어서 변수들의 적절성을 평가하고, 모델식의 적용에 있어서 적절한 통계적 방법을 이용하였는지에 대해 검증하며, 자료수집의 타당성 및 대표성을 살펴보는 정성적인 검증방법으로 표 4에서 나타낸 것과 같이 후보모델을 선정하기 위해 사용하였다. 반면, 외부검증방법은 내부검증방법과는 달리 보다 정량화된 방법으로 개발된 모델들을 검증하는 과정으로 ρ^2 , MPB, MAD, 과분산을 통한 검증방법을 의미하며, 이에 대한 설명은 다음과 같다.

2.2.3.1 ρ^2 (우도비)

최종적으로 개발된 모형에 대하여 모형의 적합성을 검증하기 위해 ρ^2 (우도비)를 사용하였으며, ρ^2 는 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 적합도가 높은 모델로 평가된다. ρ^2 의 값이 0.2와 0.4 사이의 값만 가져도 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 가지는 것으로 평가할 수 있다(McFadden, 1976).

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\beta)}{L(0)} \quad (0 \leq \rho^2 \leq 1) \quad (6)$$

여기서, $L(\beta)$: log likelihood function

$L(0)$: restricted log likelihood

2.2.3.2 MPB(Mean Prediction Bias)

이 통계수치는 모델을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료에 대해서 모델에 의한 결과값이 어느 정도 그리고 어떻게 치우쳐 있는지를 판단할 수 있는

기준을 제공해준다. 이 방법에 의한 결과값이 작을수록 모델의 예측값은 정확한 것을 의미한다.

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

여기서, Y_i : 모델을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

\hat{Y}_i : 모델에 의한 결과값

2.2.3.3 MAD(Mean Absolute Deviation)

MAD는 모델의 예측값이 평균적으로 얼마나 잘못 예측되었는지를 판단할 수 있는 척도를 제공해준다. 이 방법이 MPB와 다른점은 각 수치의 음과 양의 차이로 인해 상쇄되지 않는다는 점이다. 결과값이 0에 가까울수록 실제의 관측된 자료에 부합되는 결과를 나타냄을 의미한다.

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

여기서, Y_i : 모델을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

\hat{Y}_i : 모델에 의한 결과값

2.2.3.4 과분산(K)

포아송 회귀모델에서 과분산은 모델계수의 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 모델의 편차는 과분산인지의 여부를 결정할 수 있는 수치를 제공한다. 분산이 포아송 분포보다 더 크거나 작은 경우는 포아송 회귀 모델이 적합하지 않음을 나타낸다.

$$DEV(x_0, x_1, x_2, \dots, x_{p-1}) = 2 \left\{ \sum_{i=1}^n Y_i \text{Log}_e \left(\frac{Y_i}{\hat{\mu}_i} \right) - \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\mu}_i) \right\} \quad (9)$$

여기서, DEV : 모델편차(model deviance)



3. 자전거사고 현황 및 자료수집

3.1 전국 자전거사고 현황

최근 6년간(2000~2005년) 전국에서 발생한 자전거사고를 살펴보면 매년 평균 약 6,000건의 사고, 200명 이상의 사망자, 약 6,000명의 부상자수가 발생하는 것으로 나타났다. 다음 그림 2를 보면 발생건수, 사망자, 부상자 모두 2000년부터 2002년까지 감소하였는데, 2003년 이후 증가추세를 보이고 있다. 이는 자전거 활성화 정책 및 캠페인 등으로 인해 자전거 이용자는 늘어나는데 반해 자전거 이용시설은 부족하고 안전에 대한 대책이 미흡하여 자전거 사고발생이 증가 한다고 볼 수 있다.

표 1. 전국 자전거 사고 발생 현황

연도	피해상황	발생건수(건)	사망자수(명)	부상자수(명)
2000		5,948	286	5,956
2001		5,804	267	5,806
2002		5,231	216	5,238
2003		5,510	220	5,543
2004		6,180	220	6,186
2005		7,047	257	7,117

출처 : 도로교통안전관리공단 홈페이지

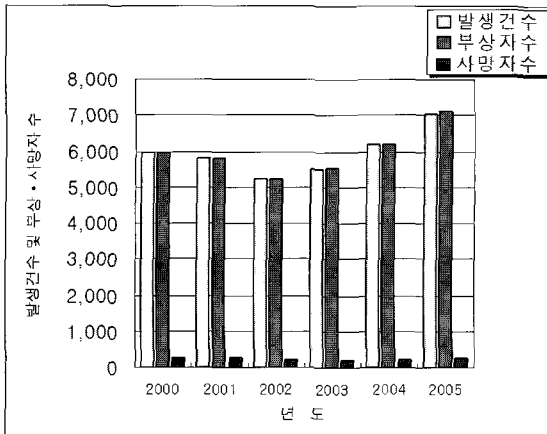


그림 2. 전국 자전거사고 발생 현황

3.2 인천시 자전거사고 현황

인천시 2005년 자전거사고 발생현황은 발생건수 191건 중 사망 11명, 중상 79명, 경상 71명, 부상 6명, 인적피해 없음 24명으로 나타났다. 이 중 사망 5.8%, 중상 41.4%, 경상 37.2%로 전체피해상황의 84.4%를 차지하는데, 이는 자전거와 차량의 사고가 발생하게 되면 자전거 운전자의 피해가 심각하다는 것을 알 수 있다. 인천시 2005년 자전거사고 현황은 그림 3과 같다.

표 2. 인천시 2005년 자전거사고 피해

피해상황	사상자(명)	백분율
사망	11	5.8%
중상	79	41.4%
경상	71	37.2%
부상	6	3.1%
피해없음	24	12.5%

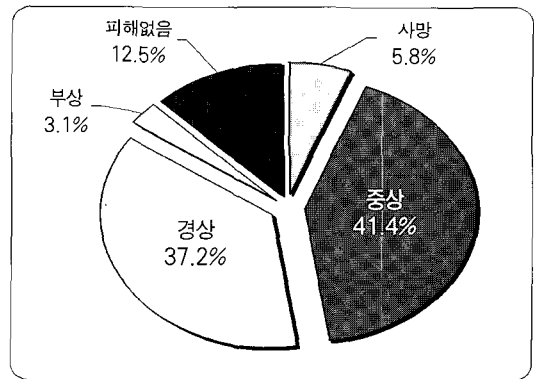


그림 3. 인천시 2005년 자전거사고 피해

3.3 사고자료 수집

본 연구에서의 자전거사고 자료는 인천시 경찰청 협조를 얻어 확보한 2005년 신호교차로 40개 지점에서 발생한 51건의 자전거사고 자료를 정리하여 사용하였다. 51건의 자전거사고중 직각충돌 40건, 측면충돌 9건, 정면충돌 1건, 후미추돌 1건으로 나타

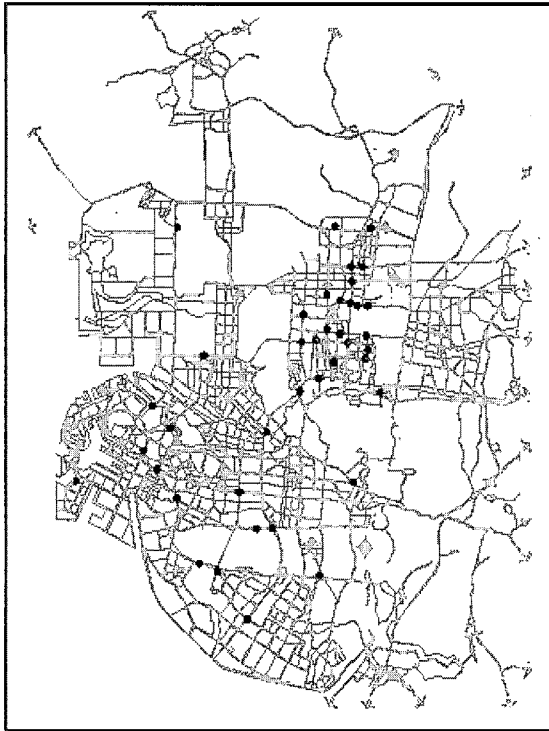


그림 4. 자전거사고 발생위치

났으며, 그림 4는 인천시 신호교차로 자전거사고가 발생한 40개 지점 위치를 나타내었다.

3.4 교통량 및 주변 환경자료 수집

본 연구에서는 인천시 도시부 신호교차로에서 발생한 자전거사고 40개 지점을 대상으로 사고예측모델을 개발한다. 자전거사고에 영향을 미치는 교통량 및 주변환경 자료에 대해서는 기존 문헌조사를 통하여 조사가 필요한 변수들을 결정하였으며 40개 사고 지점에 대한 현장조사를 직접 실시하여 필요한 자료를 확보 하였다. 총 수집된 63개의 설명변수들 중에서 각 변수간의 독립성을 확보 할 수 있는 변수만을 채택하기 위해 종속변수와 독립변수, 독립변수들 간의 상관분석과 교차분석을 실시하였다. 표 3은 주요 설명변수의 표시방법을 나타내었다.

표 3. 주요 설명변수의 통계분석을 위한 표시방법

변 수	통계분석을 위한 표시방법
사고발생건수	교차로에서 발생한 교통사고 건수 (1건=0, 2건=1, 3건=2, 4건=3, 5건=4)
ADT	주도로, 부도로 일평균 교통량 (대)
진출입구 수	교차로 50m내 진출입구 수
지 형	평지: 무유, 경사: 무유, 굴곡: 무유
자전거도로 유무	교차로 주변 자전거도로 (무유)
자전거 유발 시설물	학교: 무유, 관공서: 무유, 역전: 무유, 쇼핑물: 무유
토지이용	주거: 무유, 상업: 무유, 공업: 무유
교차로 크기	주도로폭과 부도로폭의 곱(m ²)
버스정류장	교차로 50m 내 버스정류장 (무유)
속도제한시설	주도로, 부도로의 속도제한시설 (무유)
좌회전 시거	주도로, 부도로의 좌회전 시거(m)
우회전 시거	주도로, 부도로의 우회전 시거(m)
횡단보도	주도로, 부도로의 횡단보도 (무유)
교차로 교통섬	교차로 내 교통섬 설치 (무유)
제한속도	주도로, 부도로 제한속도 (km/h)

4. 사고예측모델

4.1 사고예측모델 개발

본 연구에서는 신호교차로 자전거 사고예측모델을 개발하기 위하여 통계패키지 LIMDEP 8.0을 이용하여 분석하였다. 사용된 변수는 조사대상 신호교차로 40개 지점에서 조사된 자전거 사고건수, 교통량, 주변환경요소를 이용하여 모형개발에 활용하였다. 이러한 변수들을 이용하여 포아송 회귀모델과 음이항 회귀모델로 개발한 결과 주 모델의 과분산계수(K)의 값이 0.004로 분석되어 신호교차로 자전거 사고예측모델은 포아송 회귀모델이 적합한 것으로 나타났다.

일반적인 사고예측모델의 경우 가장 예측성이 높



표 4. 신호교차로 자전거 사고예측모델의 결과값

변 수		주 모델	후보모델 I	후보모델 II	후보모델 III
상 수	coeff.	-37.79	-4.16	-38.79	-28.73
	t-ratio	-2.63	-3.22	-2.49	-2.14
	P-value	0.01	0.00	0.01	0.03
차량교통량	coeff.	3.18		3.09	2.31
	t-ratio	2.51		2.27	1.95
	P-value	0.01		0.02	0.05
교차로 주변 진출입구 수	coeff.			0.48	0.47
	t-ratio			1.95	1.82
	P-value			0.05	0.07
주도로지형(굴곡)	coeff.		2.75		
	t-ratio		1.86		
	P-value		0.06		
부도로 자전거도로	coeff.	-2.06	-2.70		
	t-ratio	-1.94	-2.08		
	P-value	0.05	0.03		
자전거 유발 시설물(학교)	coeff.				1.27
	t-ratio				2.07
	P-value				0.04
토지이용(주거)	coeff.	2.71	2.03	2.42	
	t-ratio	2.54	1.60	2.27	
	P-value	0.01	0.11	0.02	
교차로 크기	coeff.		0.02		
	t-ratio		2.93		
	P-value		0.00		
버스정류장	coeff.	-1.00			
	t-ratio	-1.63			
	P-value	0.10			
ρ^2		0.38	0.31	0.30	0.22
MPB/year		0.24	-0.01	-0.00	0.00
MAD/year		0.29	0.30	0.30	0.37

은 모델(best fit model)을 기준으로 안전성을 고려하고 있다. 그러나 사고예측모델의 주요 역할은 사고예측을 통한 대상지역의 안전성 평가와 주요변수와 사고와의 관계를 규명함으로써 대상지역의 안전성 향상을 유도하는 것이다. 하나의 주 모델(best fit model)만을 가지고 변수들을 설명할 경우 안전성 평

가에 주요변수가 생략될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 신호교차로 자전거 사고예측모델을 신호교차로 자전거사고와 설명변수들 간의 적합도를 가장 잘 설명하는 주 모델과 후보모델로 나누어 개발하였다. 표 4는 포아송 회귀모델을 이용하여 분석된 사고예측모델의 결과를 나타내며 주 모델로 선정된 모델식은 다



음과 같다.

$$Y = \exp(-37.79 + 3.18X_1 - 2.06X_2 + 2.71X_3 - 1.00X_4) \quad (10)$$

- 여기서, Y : 연평균 사고발생건수
- X_1 : Ln(평균 일교통량(ADT))
- X_2 : 부도로 자전거도로
- X_3 : 토지이용(주거)
- X_4 : 버스정류장

주 모델과 후보모델의 선정방법은 모델 전체의 적합도를 나타내주는 ρ^2 가 높고 MPB, MAD를 비교하여 가장 적은 값이 나온 모델을 주 모델로 선정하였다.

본 연구에서는 고려하고 있는 40개의 사고지점을 기초로 개발하여 최소 1건 이상의 자전거사고를 포함하고 있기 때문에 본 연구에서 개발된 사고모델은 사고건수 $n=1$ 을 $Y=0$ 기준으로 환산하여 모델을 개발하였다. 따라서 표 4에 나타난 모델은 사고건수 $n=1$ 을 기준으로 해석되어야 하며, 만약 식(10)에서 나온 결과 값이 $Y=2.1$ 건 이라면 이 값에 1건을 추가한 $Y=3.1$ 건으로 해석해야 한다.

4.2 결과 분석

포아송 회귀분석을 이용하여 도출된 각 모델의 결과를 살펴보면 표 4와 같으며, 각 모델의 회귀계수값(coefficient)은 포아송확률분포의 우도함수의 모수를 최대화함으로써 얻어진 결과 값이다. 포아송 회귀분석을 이용하여 최종선정된 주 모델과 후보 모델 변수들의 특성을 분석하여 보면 다음과 같다.

먼저, 주 모델 변수들의 특성을 분석하여 보면 교통량의 계수값은 3.18로 타 변수에 비해 가장 설명력이 높고, 교차로 자전거사고에 가장 큰 영향을 미치는 결과로 나타났다. 이는 교차로 내 교통량이 증가하게 되면 자전거와 차량간 상충이 증가하고 이로 인해서 자전거사고가 발생할 확률이 높아지는 원인

을 찾을 수 있다. 이러한 연구결과는 교차로 내 교통량이 증가함에 따라 교차로 내의 상충이 증가함으로써 교통사고가 증가한다는 기존연구결과 오주택 등(2005)와도 일치한다.

부도로의 자전거도로에 대한 계수값은 -2.06으로 부도로에 자전거도로가 있으면 자전거사고가 줄어드는 것으로 나타났다. 자전거이용자 대부분은 보도 보다는 차도를 이용하게 되는데 이는 자전거도로가 보도에 설치되어 있다면 자전거이용자는 자전거도로를 이용함으로써 차량교통류와 분리 운행되기 때문에 보다 안전하게 이용할 수 있으므로 사고가 줄어드는 것을 의미한다.

토지의 이용 중 주거지역은 계수값이 2.71로 자전거사고에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 자전거가 근거리 교통수단으로 주거지역에서 멀리 않은 곳에 목적지를 두고 이용하는데 그 원인을 찾을 수 있을 것이다. 실제로 자전거는 주거지역 근처의 공원이나 아파트 주변, 학교 등에 이용되므로 자전거의 이용도가 높은 주거지역이 자전거사고에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

버스정류장의 경우 -1.00의 추정계수를 가지는 것으로 예측되었다. 신호교차로 주변에 버스정류장이 있는 경우 자전거사고의 발생가능성을 감소시키는 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다. 교차로주변에 설치되어있는 버스정류장 용량이 부족하여 일반차로를 점유하는 경우가 빈번하게 발생하고 있으며, 이로 인한 일시적인 교통량의 감소가 속도저하를 가져와 교차로에서의 사고발생을 억제시키는 것으로 판단된다.

이외에 후보모델들의 설명변수들을 분석하여 보면, 교차로 주변의 진출입구수가 많으면 자전거사고가 늘어나는 것으로 나타났는데, 이는 진출입구수가 많으면 그만큼 자전거 이용자들이 유출입이 증가하게 되므로 차량의 운전자들이 신호교차로 주변에서 우회전이나 좌회전시 자전거 이용자들이 갑자기 나타나 충돌의 위험이 있을 수 있음을 의미한다. 따라서 이러한 충돌의 위험을 줄이기 위해서는 교차로 인



접도로의 진출입구 수에 대한 제한을 두어 주행차량과 자전거와의 상충을 효율적으로 줄일 수 있는 도로의 설계가 필요할 것이다.

주도로의 지형이 굴곡이면 자전거사고에 위험성이 있는 것으로 나타났다. 이는 교차로 주변의 지형이 굴곡이면 주도로에서 주행하는 차량의 운전자 시야가 불량하게 되어 차도에 있는 자전거 이용자를 발견하지 못하여 자전거사고가 일어날 수 있음을 의미한다. 따라서 교차로의 설계시부터 주·부도로의 접속부에 대해 경사가 있는 지형보다는 평지에 가까운 지형으로 설계해야 함을 의미한다.

또한, 본 연구에서는 자전거 유발시설물중 학교가 자전거사고에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 통계청의 자료에 따르면 우리나라 청소년들의 자전거 이용률이 높고, 대부분의 청소년은 통학시 자전거 이용을 하고 있는 것으로 나타났다. 이는 통학시 자전거 이용자가 증가하게 되면 학교 인접 교차로에도 자전거 교통량이 증가하게 되어 자전거사고 또한 증가하는 것을 의미한다. 따라서 학교 등의 교육당국에서는 자전거 이용 학생들의 안전한 자전거 이용을 할 수 있도록 충분한 지도 및 교육이 필요 할 것이다.

이외에 교차로의 크기가 커질수록 자전거사고가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 교차로의 크기가 커질수록 자전거가 교차로를 횡단을 할 때 교차로에 머무는 시간이 길어지게 되고 그 결과 차량과의 상충시간도 길어지게 되어 자전거사고가 증가하게 됨을 의미한다. 따라서 교차로의 크기가 큰 교차로의 설계시 자전거 전용육교 또는 지하도 등 교차로 입체화 설계 기법의 도입이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 인천광역시 신호교차로 자전거사고 지점 40곳의 자전거사고 자료와 현장조사를 통하여 구축된 자료를 이용하여 자전거사고 예측모델을 개발하였다. 신호교차로 자전거사고에 영향을 미치는

설명변수들로는 교통량, 진출입구 수, 교차로주변의 굴곡여부, 부도로 자전거도로, 학교, 주거지역, 교차로 크기, 버스정류장의 유무 등으로 분석되었고, 이중 교통량이 신호교차로 자전거사고를 예측하는데 있어서 가장 중요한 변수로 나타났다. 본 연구에서 개발된 사고예측모델은 기존 또는 신설교차로의 안전성 평가 및 자전거사고의 원인을 정량적으로 규명하는데 이용함으로써 교차로의 보수·설계시 안전성 향상에 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 개발한 신호교차로 자전거사고 예측모델의 미비점을 보완하기 위하여 향후 연구과제들을 살펴보면 다음과 같다. 우선, 본 연구를 통해서 신호교차로 자전거사고 위험성을 예측할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다. 그러나 본 연구에서의 사고예측모델에는 적은 표본 집단으로 인한 과잉적합의 문제가 발생할 수 있어 보다 많은 사고지점을 이용한 사고예측모델의 개발이 필요하다.

둘째, before/after study의 필요성이다. 연구결과에서는 제시하지 않았지만 사고모형에 대한 개발결과 과속방지턱, 보도와 차도의 구분 등의 변수에서 상당히 유의한 설명력을 가지는 것으로 나타났다. 그러나, 이러한 설명변수의 회귀계수가 (+)인 점을 고려해보면, 교통량의 증가 혹은 자전거 이용자의 증가로 인하여 교통사고의 발생이 이미 증가하여 안전성 확보를 위하여 사전에 설치된 경우일 확률이 높다. 따라서, 이러한 변수들에 대하여는 설치되기 전/후의 상황을 비교·검토하여 추가적인 개선방안을 연구할 필요가 있다.

셋째, 정확한 사고분석을 위해서는 사고당시 현장 상황 및 기하구조, 주변 환경요건에 대한 자료에 대하여 데이터베이스 구축이 필요하며 합리적이고 체계적인 자료의 정리가 이루어져야 할 것이다.

마지막으로, 본 연구는 신호교차로에서 발생한 자전거사고만을 분석하였으나, 향후 비신호 교차로, 도로구간등 다양한 도로유형에서 발생하는 자전거사고에 대한 보다 면밀한 분석과 연구가 이루어져야 할 것이다.



감사의 글

본 연구를 위해 자전거사고 자료를 제공해주신 인천광역시 경찰청 및 인천관할 경찰서 관계자 분들께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

노용호, 차효준, 김형철(1998), “도시 자전거 이용시설 정비계획의 문제점과 개선방안”, 대한교통학회 제34회 학술발표회 논문집, pp.52-61.

손영태, 김정현, 오영태, 김홍상, 박우신(2002), “자전거 교통류의 기본 특성에 관한 실험 연구”, 대한교통학회지, 제20권 제4호, pp.19-26.

오주택, 성낙문, 하오근(2005), “국도변 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형개발”, 대한토목학회지, 제25권 제1D호, pp.9-15.

오주택, 신성훈, 성낙문, 박동주, 최은수(2005), “철도건널목 사고요인 분석에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제23권 제1호, pp.33-44.

오창수, 이종철, 최주남, 박형현, 박대룡, 김현곤(1999), “자전거도로의 시설기준에 관한 연구”, 대한교통학회 제36회 학술발표회 논문집, pp. 275-280.

이병주, 박영석, 남궁문(2001), “자전거 이용자의 행태 분석 및 선택행동 LISREL 모델”, 대한토목학회지, 제21권 제1D호, pp.13-22.

이재영, 이재춘, 김형철(1998), “자전거 관련 연구의 세계적 동향과 전망”, 대한교통학회 제34회 학술발표회 논문집, pp.216-225.

황정훈, 김갑수(2005), “자전거 주행환경 개선방안의 평가에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제23권, 제8호, pp.203-213.

Gregory B. Roders(1995), “Bicyclist Deaths and Fatality Risk Patterns”, *Acci. Anal. and Prev.* Vol. 27, No.2, pp.215-223.

McFadden, D.(1976), “The Theory and Practice of Disaggregate Demand Forecasting for Varous Modes of Urban Transportation”, University of California-Berkeley, *Institute of Transportation Studies, Working Paper No.7623.*

MD. Mazharul Hoque(1990), “An Analysis of Fatal Bicycle Accidents in Victoria(Australia) with A Special Reference to Nighttime Accidents”, *Acci. Anal. and Prev.* Vol.22, pp.1-11.

Mikko Rasanen and Heikki Summala(1998), “Attention and Expectation Problems in Bicycle-Car Collisions : An In-Depth Study”, *Acci. Anal. and Prev.* Vol.30, No.5, pp.657-666.

Rebecca L. Brown, Matthew E. Koeplinger, Charles T. Mehlman, Michael Gittelman, and Victor F. Garcia(2002), “All-Terrain Vehicle and Bicycle Crashes in Children: Epidemiology and Comparison of Injury Severity”, *Journal of Pediatric Surgery*, Vol.37, No3, pp.375-380.

Sean T. Doherty, Lisa Aultman-Hall, Jill Swaynos (2000), “Commuter Cyclist Accident Patterns in Toronto and Ottawa” , *Journal of Transportation Engineering*, Vol.126, No.1, pp.21-26.

Yinhai Wang, Nancy L. Nihan(2004), “Estimating the Risk of Collisions Between Bicycles and motor vehicles at Signalized Intersections”, *Acci. Anal. and Prev.*, Vol.36, pp.313-321.

도로교통안전관리공단 홈페이지 www.rtsa.or.kr

접 수 일 : 2006. 11. 20
 심 사 일 : 2006. 11. 24
 심사완료일 : 2007. 5. 18