

생활도로내 비신호교차로 사고예측 모형 개발

Model for Predicting Accidents at a Unsignalized Intersections in a Community Road

장일준* · 김장욱** · 이형록*** · 이수범****

Chang, Iljoon · Kim, Jang Wook · Lee, Hyeong Rok · Lee, Soo Beom

Abstract

The unsignalized intersections in a community road in the city of Seoul have 3,753 traffic accidents(9%) of total 41,702 cases in 2008, not high in the occurrence rate of traffic accidents, but seem to have a quite high potential of accidents due to the unreasonable and insufficient operation of systems and facilities in the part of traffic foundations. In particular, the un-signalized intersections in a community road have an insufficient measure for safety as compared to the crossroads with signals, and there are few analysis of traffic accidents and domestic researches on the model of affecting factors. Our country also has no concept of passing priority in operating a crossroad without signals, differently from foreign countries, so the researches and safety measures for improving the safety of a crossroad without signals in a community road are urgent. Therefore, This study set out to analyze the road conditions, traffic conditions, and traffic environment conditions on unsignalized intersection, to identify the elements that would impose obstructions in safety, and develop a traffic accident prediction model to evaluate the safety of an unsignalized intersection using the correlation between the elements and an accident. In addition, the focus was made on suggesting appropriate traffic safety policies by dealing with the danger elements in advance and on enhancing the safety on intersection in developing a traffic accident prediction model for an unsignalized intersection.

Keywords : community road, unsignalized intersections, accident prediction models, negative binomial distribution models

요 지

서울시의 생활도로내 비신호교차로는 2008년 총 41,702건의 교통사고 가운데 3,753건(9%)로 교통사고 발생율은 높지 않은 실정이나, 교통 기초부분의 불합리하고 미비한 제도 및 시설 운영으로 인하여 사고의 잠재성이 더욱 높다고 볼 수 있다. 특히 생활도로내 비신호교차로의 경우는 신호교차로에 비해 안전대책이 미흡한 실정이며, 교통사고의 분석 및 영향요인 모형에 관한 국내 연구가 매우 부족한 상황이다. 또한 외국과는 달리 우리나라의 경우 비신호교차로 운영의 통행우선권 개념이 설정되어 있지 않기 때문에 생활도로내 비신호교차로의 안전성 향상을 위한 연구와 안전대책이 시급하다. 따라서 본 연구에서는 생활도로내 비신호 교차로 교통사고예측모형 구축 과정 중 일반적으로 제한된 변수의 선정 및 모형의 구축에만 주로 초점이 맞추어진 기존 방법론의 문제점을 개선하고, 자료수집 및 수집과정에서 발생하는 자료의 불확실한 상태를 인정하면서 자료의 불확실성을 최소화하여 이용할 수 있는 방법론을 개발하는데 연구의 주안점을 두었으며, 사전에 위험요소들을 처리하여 적절한 교통안전정책을 세우도록 방향을 제시하고, 생활도로내 비신호 교차로의 안전성을 높이려는데 목적이 있다.

핵심용어 : 생활도로, 비신호교차로, 사고예측모형, 음이항 모형

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 짧은 기간 동안 고속성장을 통해 세계 11위의 경제대국의 위치에 오르는 등 눈부신 발전을 하고 있으며, 이러한 경제적인 발전과 함께 풍요로운 삶의 부산물인 자동차 또한 그 보유대수가 급격하게 증가하고 있다. 이러한 자동차 보유대수의 급격한 증가에 따라 새로운 교통문제들이 많이 발생되고 있으며, 경제적인 풍요로움을 바탕으로 삶의

질을 향상시키고자하는 사람들의 욕구가 점점 증가하고 있는 상태이다.

이러한 욕구는 다양한 형태로 나타나고 있으며, 특히 교통 측면에서는 안전한 교통환경조성에 대한 욕구가 점점 증가하고 있다. 이와 관련하여 경찰청 발표자료에 따르면 우리나라의 교통사고 사망자는 지난 2000년 10,236명이었던 것이 매년 감소하여 2008년에는 5,870명으로 약 42.7%가 감소한 것으로 나타났다. 이 기간 동안 교통량의 폭발적인 증가를 고려하면 교통사고율은 상당히 감소했다고 할 수 있으나, 여

*정회원 · 경원대학교 도시계획학과 교통전공 교수 (E-mail : ijchang@kyungwon.ac.kr)

**정회원 · 교신저자 · 현대해상 교통기후환경연구소 연구위원 (E-mail : newaxlrose@hotmail.com)

***정회원 · 한국교통연구원 녹색성장실천연구본부 연구원 (E-mail : ehoomil@naver.com)

****정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (E-mail : mendota@uos.ac.kr)

표 1. 2008년도 비신호교차로 사고 현황

구 분	발생건수(건)	사망자(명)	부상자(명)
전체교통사고	215,822	5,870	338,962
비신호교차로 교통사고	23,014	318	35,594
점유율(%)	10.66	5.42	10.5

자료 : 경찰청 교통사고 통계 자료

전히 교통사고 사망률은 스웨덴, 영국, 일본 등의 교통선진국들에 비해 2~3배나 높은 현실이다. 2007년 한해 동안 발생한 교통사고통계를 기준으로 작성한 「2008년 OECD 교통사고 국제비교 결과」를 살펴보면 우리나라는 “차량 1만 명당 교통사고 사망자수” 등에서 비교가 가능한 26개국 중 5위를 기록하고 있다. 이는 우리나라가 세계 11위의 경제대국이라는 점을 감안해볼 때, 국가의 위상에 걸맞지 않는 부끄러운 현실이라 할 수 있다.

2008년 한 해 동안 우리나라에서 발생한 교통사고는 215,822건이며, 전체 교통사고 가운데 비신호교차로에서 발생한 교통사고가 23,014건, 10.66%를 차지하고 있다. 서울시의 경우 2008년 총 41,702건의 교통사고 가운데 생활도로내 비신호교차로의 사고가 3,753건(9%)으로 교통사고 발생율은 높지 않은 실정이나, 기초부분의 불합리하고 미비한 제도 및 시설, 운영으로 안전운전 선진화가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

교차로는 도로의 중요한 부분으로서 교차로 설계와 운영에 따라서 도로의 서비스 수준, 효율성, 안전성이 좌우된다. 특히, 생활도로내 비신호 교차로에서는 교차로의 형태, 위치, 구조, 조명설치, 보차분리 등이 도로 전체의 용량 및 안전성을 결정하게 되므로 그에 따라서 도로설계 시 교통조건, 도로조건, 교통운영조건 등에 주안점을 두어 교차로를 설계, 운영해야 한다. 그러므로 비신호 교차로에 관련된 여러 조건들을 분석하여 생활도로내 비신호 교차로에서 사고가 일어나는 원인을 예측하고, 위험요인에 따른 적절한 대비책을 사전에 마련할 수 있게 된다면 안전측면에서 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 비신호 교차로 안전을 조사하는 방법으로 과거 사고자료를 이용하여 분석하였는데 그것은 많은 시간과 많은 자료를 필요로 하므로 효율적이지 못하다. 그러므로 빠르고 정확한 예측모형을 개발하는 것이 시급한 실정이다.

이에 본 연구에서는 교통안전을 평가하는 과거의 연구문헌들을 고찰한 후, 우리나라 생활도로내 비신호 교차로의 실정에 맞도록 가장 적합한 사고예측모형을 구축하기 위하여 생활도로내 비신호 교차로들의 교통조건, 도로조건, 교통운영조건 등의 자료와 교통사고 자료를 수집하였다. 또한, 각 조사대상 변수들이 사고에 얼마나 영향을 주는지를 분석하여 교차로 사고에 영향을 주는 요소들을 선택하고 생활도로내 비신호 교차로의 사고예측모형을 개발하고자 한다.

1.2 연구의 범위

1.2.1 내용적 범위

생활도로내 비신호 교차로에 관련된 여러 조건들을 분석하여 비신호 교차로에서 사고가 일어나는 원인을 예측할 수 있고, 비신호 교차로의 위험 요인에 따른 적절한 대비책을

사전에 마련할 수 있게 된다면 안전측면에서 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다. 따라서 연구의 내용적 범위는 다음과 같이 정하였다.

- 생활도로내 비신호 교차로 위험분석 및 사고 예측모형개발에 관련한 기존 연구에 대한 문헌고찰
- 연구대상 생활도로내 비신호 교차로 사고 및 현황 분석
- 생활도로내 비신호 교차로 사고에 영향을 주는 요인 분석
- 생활도로내 비신호 교차로 사고예측모형 개발
- 모형의 적합도 검증

1.2.2 시간적 · 공간적 범위

시간적 범위는 '07~'08년(2년간) 경찰청 교통사고 관리 자료(TAMS)와 '08년 삼성화재 교통사고 통계자료로 정하였다. 또한 공간적 범위인 서울시 210개 생활도로내 비신호 교차로 기하구조 설계도면과 현장조사를 통하여 자료를 수집하였다.

- 2007~2008년 2년간 서울시 교통사고자료
- 2007~2008년 2년간 서울시 비신호 교차로 교통사고 통계자료
- 2008년 삼성화재 교통사고 통계자료
- 조사대상 지역인 서울시의 생활도로내 비신호 교차로 사고에 영향을 주는 요소를 분석하기 위하여 비신호 교차로는 그림 2와 같이 4가지의 형태가 존재하지만, 우리나라의 비신호 교차로 운영 특성상 III과 IV유형은 거의 존재하지 않으므로 I, II의 유형으로 3지와 4지의 비신호 교차로를 공간적 범위로 정하였다.



그림 1. 공간적 범위

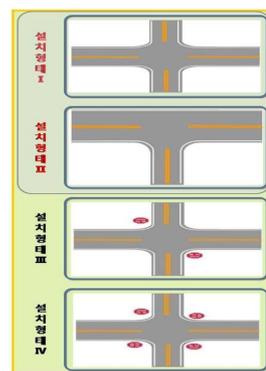


그림 2. 교차로 유형

1.3 연구의 내용 및 방법

본 연구는 첫 번째 단계로 문헌고찰을 통하여 이전에 연구된 신호교차로 및 비신호 교차로의 문제점으로 발견하였다. 대부분의 과거 연구들은 교차로 조건들 중 교통량과 같은 일부 변수에 치중하여 개발하고, 변수의 특성을 고려하지 않은 채 선형회귀모형을 기본으로 하여 개발하였다. 따라서 생활도로내 비신호 교차로의 사고를 가장 정확하고 간단하게 예측할 수 있도록 비선형 회귀모형개발방법을 정하였다.

두 번째 단계로 서울시의 생활도로내 비신호 교차로 중에서 사고가 많은 T자형, Y자형, 십자형 비신호 교차로만을 대상으로 교차로의 교통조건, 도로조건, 교통운영조건내의 여러 가지 요소들과 사고와의 관계를 분석하였다. 사고 자료는 “2007~2008년 경찰청 교통사고 관리 자료(TAMS)와 2008년 삼성화재 사고통계자료” 중 사고 많은 지점의 사고건수 자료를 사용하였다. 비신호 교차로 사고요인 요소들을 선정하고 현장 조사하였다.

세 번째 단계로 두 번째 단계에서 조사된 비신호 교차로 사고자료와 각 비신호 교차로의 현장조사 자료들을 바탕으로 상관관계를 분석하였다. 상관관계 분석 후 사고와의 상관관계가 높은 조사자료를 변수로 정하고, 각각의 변수들이 사고와 어떠한 분포를 이루고 있는지 분석하였다.

네 번째 단계에서는 세 번째 단계에서 사고에 영향을 주는 변수들을 비선형 회귀분석을 이용하여 생활도로내 3지와 4지 비신호 교차로 사고예측모형을 개발하였다.

마지막 단계에서는 개발된 사고예측모형의 신뢰성을 증명하기 위하여 예측사고건수가 실제사고건수 자료를 통계적으로 검증하는 방법으로 최소 제곱근오차(RMSE : Root Mean Square Error)를 이용하여 검증하였다.

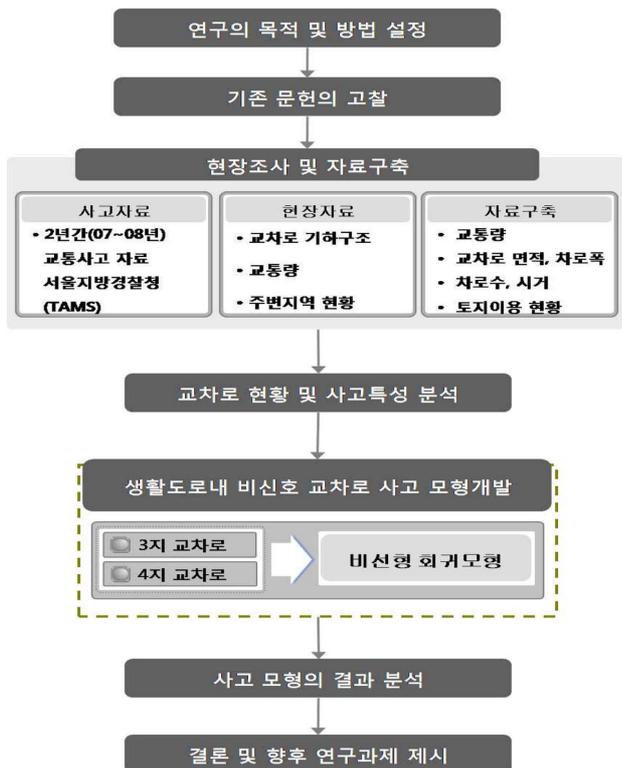


그림 3. 연구흐름도

2. 기존문헌고찰

2.1 국내문헌

박용진(1994)은 신개발 주거지역 내의 비신호교차로의 운영특성을 분석하고, 회귀분석을 통해 교차로 통과 속도에 영향을 미치는 상충방향의 영향을 분석하여 보다 실질적인 비신호교차로 운영방안을 제시하였다.

문영준(2001)은 현행 비신호교차로의 운영실태, 교통사고, 운전자 형태 및 문제점을 조사·분석하고, 다음으로 비신호 교차로 전방향정지제어(AWSE : All-Way Stop Controlled) 도입을 위한 교통량, 운영체계, 지체도 및 안전도 측면에서의 교통 모형 및 효과적도를 분석하여 전방향 정지제어 기능화 시스템 도입방안을 제시하였다.

고동석(2003)은 우리나라 비신호교차로 가운데 미국의 도로용량편람(HCM : Highway Capacity Manual)과 양방향정지제어(TWSE : Two-Way Stop Controlled) 교차로에 대한 분석 방법이 적용가능하다고 판단되는 비신호교차로를 대상으로 임계간격과 추종시간의 기준을 분석하였다.

이슬기(2003)은 최근 유용성이 입증된 AASHTO의 시거모형(2001)과 임계간격을 활용하여 우리나라 도시지역의 비신호교차로에 적합한 교차로 시거를 산정하고, AASHTO와의 비교를 통해 우리나라 비신호교차로의 시거산정 기준을 판단하였다.

이수범(1996)은 무신호교차로의 안전에 영향을 미치는 요소 중 가장 중요한 요소를 교차로 시거로 보고 나머지 요소들을 첨가시키면서 분석하는 방법을 사용하였다. 많은 요소들을 고려하기 위해서 Simulation 방법을 채택하였고, Monte Carlo Simulation 모형을 사용하였다.

김정현, 김영찬(2003)은 양방향 정지식과 무통계식으로 운영되고 있는 비신호교차로의 서비스 수준을 분석할 수 있는 방법론을 개발하였다.

박병호 외 3명(2007)은 청주시 3지와 4지 비신호교차로를 대상으로 사고유형 및 사고위치에 따른 교통사고의 주요원인을 밝히고, 사고의 특성을 찾고자하였다. 이를 위하여 사고발생과 사고미사발생을 종속변수로 선정하고, 교통사고자료와 도로의 기하구조, 교통량, 시거 등을 독립변수로 하는 판별모형을 개발하였다.

2.2 국외 연구

NCHRP Report 500(2003)에서는 비신호교차로의 문제점을 고찰하고, 비신호교차로의 개선된 관리 방법, 기하구조 설계 개선을 통한 교차로 사고의 발생빈도 및 심각성 감소, 시거 개선방안 등의 다양한 전략을 제시하였다.

Mark(2003) 등은 미국의 Hamilton시의 사례를 바탕으로 회전교차로의 이점 및 단점, 회전교차로의 적절한 설치 위치, 계획 단계 등 현대식 회전교차로에 대한 전반적인 내용에 대하여 설명하고 있다.

Abishai(2003)의 연구는 정지표지판 설치가 양보표지판 설치와 비교하여 사고율에 있어서 어떤 차이가 있으며, 교통통제의 수준을 높이는 것이 교통안전에 도움을 주는 지에 대해 연구하였다.

Zador et al.(1985)의 연구는 도로 폭, 평균통과시간, 황색

신호시간, 전적시간을 집락추출법을 사용하여 교차로 사고에 측모형을 개발하였다.

Lau *et al.*(1988)의 연구는 교통량, 교차부 형태, Phase형태, 교차도로의 차로수, 주도로 좌회전 배치 등의 변수를 이용하여 사고예측모형을 개발하였다.

Arndt 등(2005)의 연구에서는 호주의 퀸즈랜드의 206개의 비신호교차로를 표본으로 하여 사고율에 있어서 도로의 기하구조, 교도량, 그리고 다른 요인들이 어떠한 영향을 주는지에 대해 조사하였다.

NCHRP 3-46 연구에서는 TWSC 교차로의 임계간격과 추종시간에 영향력이 크다고 판단되는 요소를 기하구조, 주도로의 교통량, 주도로의 차선수, 부도로의 접근구배, 부도로의 혼용차선, 주도로의 좌회전 전용차선, 근거리에서의 신호교차로, 주도로의 좌회전 전용차선, 근거리에서의 신호교차로, 주도로의 우회전 교통류 비율 등으로 나누어 분석하였다.

국·내외의 연구 문헌을 고찰한 결과, 선행된 연구들의 대부분은 신호교차로의 경우 사고특성과 사고예측모형 개발 및 안전요인에 관한 연구들이 대부분이지만, 비신호교차로에 관한 연구는 사고예측모형과 안전요인에 관한 연구보다는 운영적 특성에 관한 연구들이 주를 이루었다.

이에 본 연구에서는 생활도로내 비신호 교차로 교통사고예측모형 구축 과정 중 일반적으로 제한된 변수의 선정 및 모형의 구축에만 주로 초점이 맞추어진 기존 방법론의 문제점을 개선하고, 자료수집 및 수집과정에서 발생하는 자료의 불확실한 상태를 인정하면서 자료의 불확실성을 최소화하여 이용할 수 있는 방법론을 개발하는데 연구의 주안점을 두었으며, 생활도로내 비신호 교차로 사고에 영향을 주는 요소를 찾아내어 변수로 정하고, 그 변수들과 사고와의 관계가 어떠한 분포를 이루고 있는지 정확하게 분석하여 실제사고건수와 가장 가까운 값을 찾아내도록 하는 모형식을 개발하였다.

3. 분석방법론 정립 및 데이터 구축

사고예측모형을 개발하기 위해 교통사고의 불규칙적이고 임의발생이라는 특성을 고려한 비선형회귀분석개념의 포아송 모형과 음이항모형을 선택 적용하여 개발하였다. 연구의 흐름은 4단계로 구성하였으며 그림 4와 같다.

3.1 분석방법에 대한 이론적 고찰

3.1.1 포아송 회귀모형

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 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 i 번째 교차로에서 m 개의 변수에 의해 발생하는 사고의 확률에 대한 일반식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

연구의 방법론

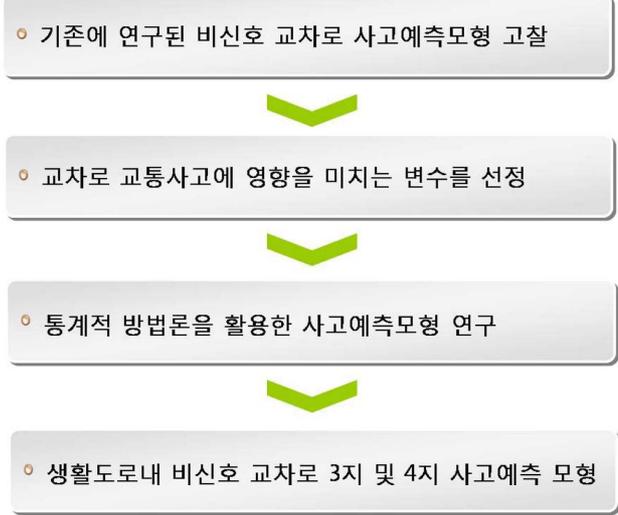


그림 4. 연구 방법론

$$P(n_i) = \frac{\lambda_i^{n_i} \exp(-\lambda_i)}{n_i!} \quad (1)$$

여기서, $P(n_i)$: 사고 n_i 가 교차로 i 에서 교통사고가 발생할 확률

$$\lambda_i = \exp(\beta_0 X_0 + \dots + \beta_m X_m) = \exp\left(\sum_{j=0}^m \beta_j X_j\right) \quad (2)$$

여기서, B_j : 회귀추정계수

위에서 모형계수인 β 는 최우추정법(Maximum Likelihood)을 이용하여 계산된 것이다. 따라서 포아송 회귀모형을 종속 변수가 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.

3.1.2 음이항 회귀모형

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 과분산을 발생시킬 때 사용한다. 음이항 회귀분석은 포아송 회귀분석과 비슷하게 i 번째 교차로에서의 사고발생건수는 q 개의 변수와 연관성을 가지며 식 (3)과 같다.

$$\lambda_i = \exp(\beta_0 X_0 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon_i) = \exp\left(\sum_{j=0}^m \beta_j X_j\right) \quad (3)$$

여기서, β_j : 회귀추정계수

ε_i : 오차항으로 평균이 1이고 분산이 α 인 감마분포 가정

3.1.3 포아송 및 음이항 회귀모형의 비교

일반적으로 음이항분포는 포아송분포에 대한 대응으로 사용하고 있다. 즉, 포아송분포와 음이항분포의 지지(support)는 동일하다. 그러나 포아송분포는 평균과 분산이 동일하지만, 음이항분포는 평균보다 분산이 커 포아송분포에 대한 보다 강건한(robust)분포로서 음이항분포가 사용된다.

이러한 포아송 분포와 음이항 분포를 이용하여 모형을 구축할 때 2개의 모형 중 한 가지를 선택하게 되는데, 이를 판별하기 위해서는 다음과 같은 식이 사용된다.

$$Var[n_i] = E[n_i][1 + \alpha E[n_i]] \quad (4)$$

식 (4)에서 $\alpha=0$ 이라면, 과분산이 존재하지 않고 음이항 분포는 극한치에서 포아송 분산으로 합치된다. 만약 $\alpha>0$ 이라면, 과분산이 존재하고, 음이항 모형이 포아송 모형에 비하여 선호된다. 그러므로 실증분석에서 $\alpha=0$ 인지 여부에 대한 통계적 검증은 과분산에 대한 검정일 뿐만 아니라 모형선택을 위한 검정으로 사용될 수 있다.

3.2 검증방법에 대한 이론적 고찰

모형에 대한 적합도 검증(Goodness-of-fit) 방법은 내부검증(Internal validation)방법과 외부검증(External validation) 방법으로 구분된다. 내부검증방법은 변수선정에 있어서 기존 문헌 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.

3.2.1 ρ^2 (우도비)

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

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)} \quad (5)$$

$$\bar{\rho}^2 = \frac{(N-K)}{N} \rho^2 \quad (6)$$

3.2.2 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.

3.2.3 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 다음과 같다.

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

여기서, Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료
 \hat{Y}_i : 모형에 의한 결과값

3.2.4 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 다음과 같다.

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

여기서, Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료
 \hat{Y}_i : 모형에 의한 결과값

3.2.5 RMSE(Root Mean Square Error)

RMSE는 모형의 예측 값과 실제실험/관측 결과가 평균적으로 얼마만큼 차이가 있는지 척도를 제공해준다. 이 방법이 역시 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 다음과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i - Y_i)^2} \quad (9)$$

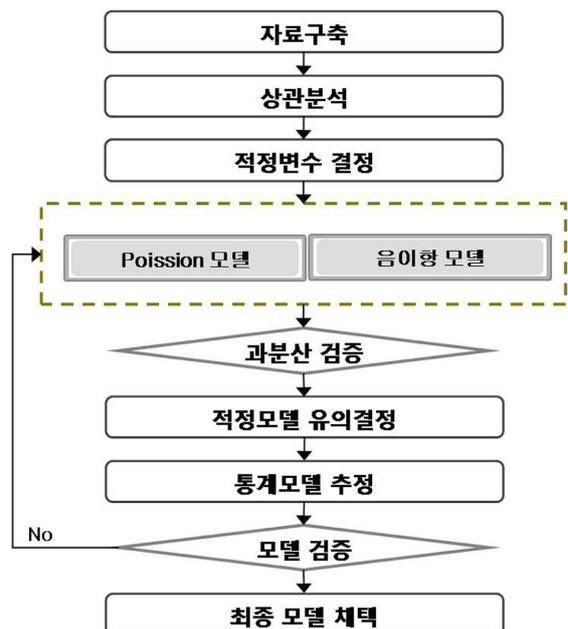


그림 5. 모형개발 방법론

여기서, \bar{Y}_i : 관측치
 Y_i : 예측 관측치
 n : 관측 자료수

3.3 모형개발 방법론 설정

현장조사를 통하여 구축되어진 비신호 교차로 교통사고에 영향을 미치는 교통조건, 도로조건, 교통통제 조건, 기타조건에 대한 자료를 수집하고 이를 토대로 생활도로내 비신호 교차로 사고예측모형 개발 과정 및 평가에 대한 과정 흐름도를 살펴보면 그림 5와 같다.

4. 자료의 정리 및 분석

생활도로를 한 마디로 정의하면 지구 구획내 도로 중 폭 9m 미만의 도로이며 신호가 없고 버스통행이 없는 도로(마을버스 제외)로써 대중교통시설로부터 도보 접근이 가능한 도로를 말한다. 본 연구에서는 그림 6에 정의된 생활도로내에 위치한 비신호교차로를 생활도로내 비신호교차로로 명명하였다.

4.1 자료수집

조사대상 교차로는 위치 및 교통특성이 생활도로내 교차로의 전형적인 모습을 나타낸다고 볼 수 있는 서울시의 교차로 중 3지 및 4지 비신호 교차로를 대상으로 하였다. 조사대상지역 지점수는 판단표본샘플링(Judgement Sampling)방법에 따라 결정된 210개 지점이 선정되었다.

그리고 관련문헌 조사를 통하여 교차로 교통사고에 영향을 미치는 것으로 규정 되어있는 다양한 요소를 검토하여, 이 중 공통적으로 주요 영향요소로 규정되어 있는 18개의 항목을 선정하였다. 이 18개의 항목은 도로조건, 교통조건, 도로

표 2. 현장조사 자료

조건	조사자료	
교통조건	교통량	직진, 좌회전, 우회전 교통량
	교차로부근의 노상주차	있음, 없음
도로조건	차로수	직진, 좌회전, 우회전 차로수
	기하형태	십자형, T자형, Y자형, 기타
	보·차도 구분	있음, 없음
	횡단보도	있음, 없음
	방향별 차로수 감소	있음, 없음
	조명시설	있음, 없음
	기타	차로폭, 평균 도로폭, 면적, 길어깨폭, 회전반경, 시거, 상층접수, 교차각, 접근속도
교통통제 조건	통제방식	Stop controlled, Yield controlled
기타	주변토지 이용	아파트지역, 주상혼합지역, 기타지역

환경조건과 관련된 요소들로서, 이 요소들과 사고와의 관계 분석이 가장 우선적으로 수행되어야 할 것이다. 18개의 조사 항목에 대한 구체적인 내용은 표 2에 제시하였다. 교통사고 자료는 경찰청 및 삼성화재 사고통계 자료입수가 가능한 2007년에서 2008년까지 총 2년간의 기록을 이용하였다.

교통량은 평일 오전, 오후 첨두시에 조사되었고, 운전자 시거와 같은 기상 영향을 받는 변수를 고려하여 날씨가 맑은 날에 조사를 실시하였다.

또, 현장조사를 위한 조사 양식은 관련문헌조사를 통해 선정한 18개의 요소를 조사할 수 있는 형식으로 구성하였다.

4.2 생활도로내 비신호교차로 운영현황

서울시 생활도로내 비신호교차로의 운영현황을 조사한 결과 약 36,741개소이며, 3지는 27,598개소, 4지는 8,955개소, 5지는 193개소로 조사되었다. 각 구별 생활도로내 비신호교차로는 성북구가 2,803개소로 가장 많았으며, 그 다음으로는 은평구(2,507개소), 광진구(2,377 개소)이며, 운영개소가 가장 작은 구는 양천구 403개소로 조사되었다.

서울시 최근 2년간 ('07~'08) 생활도로내 비신호교차로에서

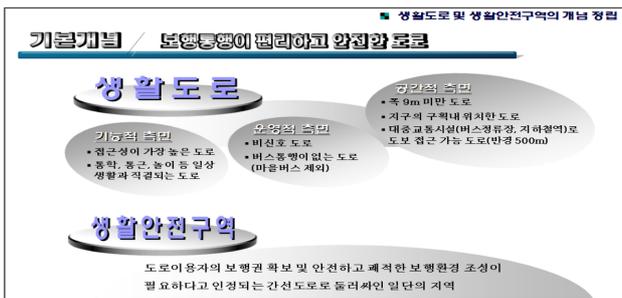


그림 6. 생활도로의 기본 개념

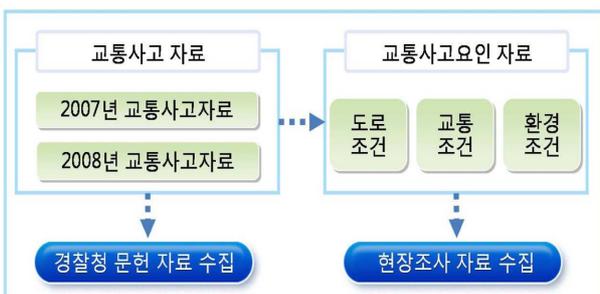


그림 7. 자료수집방법

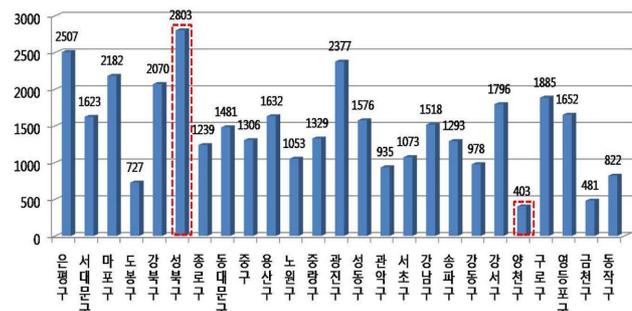


그림 8. 서울시 생활도로내 비신호교차로 운영 현황

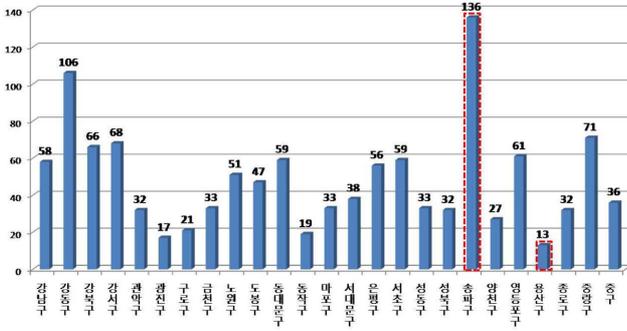


그림 9. 서울시 생활도로내 비신호교차로 사고 현황

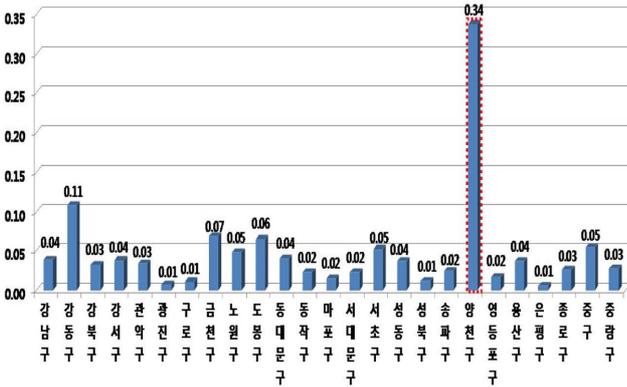


그림 10. 서울시 생활도로내 비신호교차로 지점대비 사고 현황

발생한 교통사고의 각 구별 발생 건수의 비교결과 송파구가 136건으로 가장 높으며, 그 다음으로는 강동구(106건), 중랑구(71건) 순으로 조사되었다. 서울시 각 구별 생활도로내 비신호교차로의 운영현황과 비신호교차로 교통사고 자료를 매칭하여 지점대비 사고 현황을 분석해 본 결과 비신호교차로 운영지점이 많다고 하여 교통사고 발생이 높은 것은 아닌 것으로 분석되었다.

4.3 생활도로내 비신호교차로 사고현황 분석

서울시 최근 2년간 ('07~'08) 생활도로내 비신호교차로에서 발생한 교통사고를 사고유형별로 분석한 결과 측면충돌이 984건(81.7%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로는 기타 60건(5%), 추돌 45건(3.7%) 순으로 나타났다.

생활도로내 비신호교차로 교통사고유형별 중 차대차와 차대사람 사고를 구분하여 비교한 결과 차대차 사고는 전체사고(1,204건)의 92.3%인 1,111건이며, 차대사람 사고는 7.7%인 93건으로 분석되었다. 차대사람의 경우에는 횡단 중 사고가 41%로 가장 높으며, 그 다음으로는 보행자가 차도통행으로 인한 사고가 27%로 높은 것으로 분석되었다. 또한 차대

표 3. 비신호교차로 사고유형 분석

구분	소계	측면충돌		정면충돌		횡단중	차도통행	보도통행	측면통행	차량단독	기타
		충돌	추돌	충돌	추돌						
사고건수	1,204	984	45	36	38	25	6	6	4	60	
(100%)	(100%)	(81.7%)	(3.7%)	(3.0%)	(3.2%)	(2.1%)	(0.5%)	(0.5%)	(0.3%)	(5.0%)	

자료 : 경찰청 교통사고 통계 자료('07~'08)

표 4. 비신호교차로 사고유형별(차대사람, 차대차) 분석

(단위 : 건)

전체						
구분	비신호교차로 사고	차대사람	차대차			
사고건수	1,204(100%)	93(7.7%)	1,111(92.3%)			
차대사람						
구분	합계	횡단중	차도통행	측면통행	보도통행	기타
사고건수	93(100%)	38(41%)	25(27%)	6(6.5%)	6(6.5%)	18(19%)
차대차						
구분	합계	횡단중	차도통행	측면통행	보도통행	기타
사고건수	1,111(100%)	984(88.5%)	45(4.1%)	4(0.4%)	36(3.2%)	45(3.8%)

자료 : 경찰청 교통사고 통계 자료('07~'08)

차 사고의 경우에는 횡단중 사고가 88.5%로 가장 높으며, 그 원인으로는 비신호교차로의 통행우선권 미확립으로 인한 차량의 회전시 발생하는 차량이 많은 것으로 판단된다.

비신호교차로 내에서 발생한 사고의 부상정도를 분석한 결과, 경상사고가 1,301명(65.6%)로 가장 많았으며, 그 다음으로는 중상사고가 591명(29.8%)으로 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 비신호교차로 사고 부상정도를 분석한 결과 사망자수는 차대사람(3명)이 차대차(2명)보다 교통사고건수에 비해 차대사람이 높은 것으로 분석되었다. 이는 비신호교차로에서는 차대사람이 차대차보다 사고 심각도가 높은 것으로 분석되었고 차대사람 사고와 차대차 사고의 비교시 차대사람 사고의 경우 중상자의 비율이 높은 것을 확인할 수 있다.

비신호교차로 사고원인별 분석결과 교차로 통행우선권위반으로 인한 사고가 744건(61.8%)으로 가장 높으며, 그 다음으로는 안전운전의무 위반으로 인한 사고가 274건(22.8%)로

표 5. 비신호교차로 사고 사상정도별 분석

전체						
구분	사고건수	사망(명)	중상(명)	경상(명)	부상(명)	사상자수 소계(명)
사고건수 및 사상자수	1,204(100%)	5(0.3%)	591(29.8%)	1,301(65.6%)	85(4.3%)	1,982(100%)
차대사람						
구분	사고건수	사망(명)	중상(명)	경상(명)	부상(명)	사상자수 소계(명)
사고건수 및 사상자수	93(100%)	3(1.8%)	73(44%)	84(50.6%)	6(3.6%)	166(100%)
차대차						
구분	사고건수	사망(명)	중상(명)	경상(명)	부상(명)	사상자수 소계(명)
사고건수 및 사상자수	1,111(100%)	2(0.1%)	518(28.5%)	1,217(67%)	79(4.4%)	1,816(100%)

자료 : 경찰청 교통사고 통계 자료('07~'08)

표 6. 비신호교차로 사고원인별 분석

전체								
구분	합계	통행우선권 위반	양보운전위반	지시위반	안전운전의무 위반	일시정지장소 위반	보호자 보호위반	통행방법위반
사고건수	1,204 (100%)	744 (61.8%)	122 (10.1%)	41 (3.4%)	274 (22.8%)	12 (1.0%)	6 (0.5%)	5 (0.4%)
차대사람								
구분	합계	통행우선권 위반	보호자 보호위반	지시위반	안전운전의무위반			
사고건수	93 (100%)	5 (5.4%)	6 (6.5%)	3 (3.2%)	79 (84.9%)			
차대차								
구분	합계	통행우선권위반	양보운전위반	지시위반	안전운전의무위반	일시정지장소위반		
사고건수	1,111 (100%)	744 (67%)	122 (11%)	38 (3.4%)	195 (17.6%)	12 (1.1%)		

자료 : 경찰청 교통사고 통계 자료('07~'08)

높은 것으로 분석되었다. 또한 차대사람의 경우 안전운전의 의무위반 79건(84.9%)로 가장 높았고, 차대차의 경우 통행우선권위반이 744건(67%)으로 가장 높은 것으로 분석되었다.

5. 모형개발 및 검증

앞에서 수행된 교통사고자료와 문헌조사결과 및 현장조사 자료를 이용하여 생활도로내 비신호 교차로 교통사고예측모형에 적용을 위해 선정한 변수를 이용하여 통계패키지 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences, Ver 15.0)을 이용하였다.

5.1 3지 비신호 교차로 사고예측 모형

생활도로내 비신호 3지 교차로의 사고예측모형의 경우 포 아송 모형과 음이항 모형에 대한 선택을 위해 α 값 검증 결과 α 의 p-value가 0.000으로 대립가설을 기각하지 못하고 채택하게 되어 음이항 모형이 적합한 것으로 나타났다.

음이항 회귀모형을 이용하여 분석한 사고예측모형의 결과와 모형을 설명하는 변수들의 통계적 특성은 표 8과 같으며, 이를 모형식으로 표현하였다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 MPB, MAD를 이용하여 모형을 검증하였다. 사고예측모형은 신뢰수준 95%이내에서 개발하였다.

$$Y = \exp(-1.3932 + 0.172X_1 + 0.215X_2 - 0.0009X_7 - 1.238X_{10} - 0.782X_{12}) \quad (10)$$

- 여기서, Y : 사고건수
- X₁ : 교통량
- X₂ : 접근로 차로폭
- X₇ : 교차로 시거
- X₁₀ : 보차분리 유무
- X₁₂ : 조명설치 유무

3지 교차로 모형의 경우 연간 사고건수는 교통량과 접근로 차로폭 크기의 증가에 따라 사고와 양(+)의 관계로 증가하는 것으로 나타났지만, 교차로 시거, 보차분리 유무, 조명설치

표 7. 생활도로내 비신호 3지 교차로 사고예측 모형

변수	음이항 회귀 모형	
상수	Coeff.	-1.3932
	t-ratio	-3.834
	p-value	0.000
교통량	Coeff.	0.00042
	t-ratio	4.272
	p-value	0.000
접근로 차로폭	Coeff.	0.221
	t-ratio	1.73
	p-value	0.042
교차로 시거	Coeff.	-0.0009
	t-ratio	2.269
	p-value	0.012
보차분리 유·무	Coeff.	-1.238
	t-ratio	4.286
	p-value	0.000
조명설치 유·무	Coeff.	-0.782
	t-ratio	-2.257
	p-value	0.005
α	Coeff.	0.207
	t-ratio	3.967
	p-value	0.000

표 8. 3지 교차로 사고예측모형 검증

변수	3지 교차로
ρ^2	0.327
MPB	0.0029
MAD	0.4189

유무에 따라 사고와 음(-)의 관계로 나타났다. 교통량 처리에 있어 사고건수와의 양적단위를 맞추기 위해 자연로그 형태로 변환 처리하였다.

모형 검증에 있어서 적합도를 나타내는 우도비(ρ^2) 및 실

표 9. 생활도로내 비신호 4지 교차로 사고예측 모형

변수	음이항 회귀 모형
상수	Coeff. -2.592
	t-ratio -4.384
	p-value 0.000
교통량	Coeff. 0.003
	t-ratio 3.837
	p-value 0.000
접근로 차로폭	Coeff. 0.288
	t-ratio 1.812
	p-value 0.034
교차로 시거	Coeff. 0.242
	t-ratio 1.670
	p-value 0.048
보차분리 유·무	Coeff. -0.002
	t-ratio 1.960
	p-value 0.025
조명시설 유·무	Coeff. -1.642
	t-ratio -3.614
	p-value 0.005
α	Coeff. -0.927
	t-ratio 1.979
	p-value 0.024

측치와 예측치의 차이값을 나타내 MPB, MAD 및 과분산계수를 통계패키지를 통해 산출하였다.

5.2 4지 비신호 교차로 사고예측 모형

생활도로내 비신호 4지 교차로의 사고예측모형의 경우 포이송 모형과 음이항 모형에 대한 선택을 위해 α 값 검증 결과 α 의 p-value가 0.000으로 대립가설을 기각하지 못하고 채택하게 되어 음이항 모형이 적합한 것으로 나타났다.

음이항 회귀모형을 이용하여 분석한 사고예측모형의 결과와 모형을 설명하는 변수들의 통계적 특성은 표 9와 같으며, 이를 모형식으로 표현하였다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 MPB, MAD를 이용하여 모형을 검증하였다. 사고예측모형은 신뢰수준 95% 이내에서 개발하였다.

$$Y = \exp(-2.592 + 0.157X_1 + 0.293X_5 + 0.252X_6 - 0.002X_7 - 1.642X_{10} - 0.927X_{12}) \quad (11)$$

여기서, Y : 사고건수년

X₁ : 교통량

X₅ : 교차로 면적

X₆ : 교차각

X₇ : 교차로 시거

X₁₀ : 보차분리 유무

X₁₂ : 조명설치 유무

4지 교차로 모형의 경우 연간 사고건수는 교통량, 교차로

표 10. 4지 교차로 사고예측모형 검증

변수	4지 교차로
ρ^2	0.341
MPB	-0.03
MAD	3.87

면적과 교차각 이 사고와 양(+)의 관계로 증가하는 것으로 나타났지만, 교차로 시거, 보차분리 유무, 조명설치 유무에 따라 사고와 음(-)의 관계로 나타났다. 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 통계패키지를 통해 산출하였다.

5.3 모형의 2차 검증

개발된 생활도로내 비신호 3지 및 4지 교차로 모형의 예측사고건수가 실제사고건수와 신뢰성이 있는지 검증하는 것이 필요하다. 검증을 하기 위해 모형개발에 사용되지 않은 3지 교차로 15개, 4지 교차로 15개의 지점을 선정하여 개발한 생활도로내 비신호 교차로의 사고예측모형을 검증하였다.

검증결과, 각 지점의 값이 통계적으로 모두 유의하며, 그림 7~그림 8에서 보는 바와 같이 예측사고건수와 실제사고건수가 거의 같은 분포를 나타내고 있어 비교적 양호한 추정력을 보이고 있다고 판단된다.

또한 각 지점에 따라서 추정치와 실제 사고자료를 통계적으로 검증하는 방법으로 최소 제곱근오차(Root Mean Square Error : RMSE)를 이용하여 검증하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i - Y_i)^2} \quad (12)$$

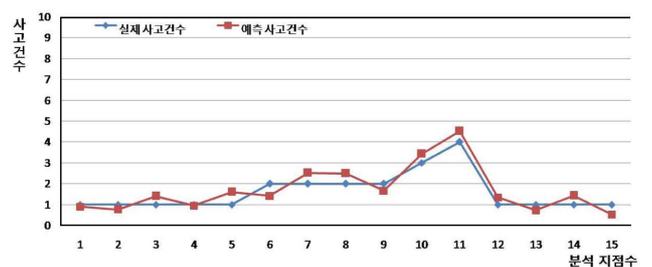


그림 11. 3지 교차로의 예측/실제 사고건수 비교

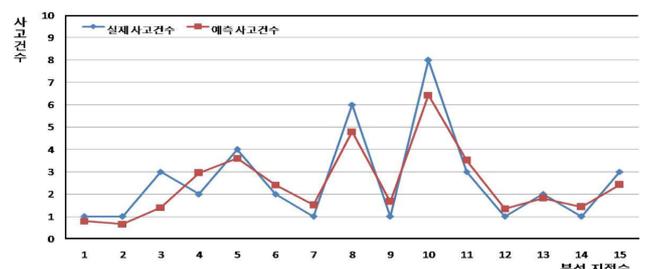


그림 12. 4지 교차로의 예측/실제 사고건수 비교

표 11. 개발모형의 최소 제곱근 오차

구분	RMSE
3지 비신호 교차로	0.416
4지 비신호 교차로	0.796

여기서, \bar{Y}_i : 관측치
 Y_i : 예측 관측치
 n : 관측 자료수

생활도로내 비신호 교차로를 3지 교차로와 4지 교차로 분류하여 모형을 검증한 결과, 표 12와 같이 3지 교차로와 4지 교차로의 RMSE(최소제곱근 오차) 값은 0.416, 0.796으로 나타나 실제 사고자료를 비교적 양호하게 추정하였음을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후과제

6.1 연구결과

본 연구는 크게 2가지의 유형의 결과를 도출하였다. 첫 번째는 생활도로내 비신호 3지 교차로의 사고예측모형의 개발, 두 번째는 생활도로내 비신호 4지 교차로의 사고예측모형을 개발하였다.

개발된 사고예측모형은 서울시의 총 210개 지점을 대상으로 현장조사를 통한 다양한 변수의 데이터를 구축하여 개발하였으므로, 현재 생활도로내 비신호 교차로의 통행우선권 개념이 설정되어 있지 않아 안전대책 수립이 필요한 시점에서 기하구조 및 교통조건 등의 자료를 수집하여 모형을 활용하면 간단하게 결과를 도출할 수 있어 향후 비신호 교차로의 안전대책 수립시에 효율적으로 운영될 것으로 판단된다.

우선 생활도로내 비신호 3지 교차로에 대한 사고예측 모형은 교차로 교통량, 접근로 차로폭 크기, 교차로 시거, 보차분리 유·무, 조명설치 유·무를 독립변수로 하는 음이항 회귀모형을 아래와 같이 개발하였다.

6.1.1 3지 교차로 모형개발

$$Y = \exp(-1.3932 + 0.172X_1 + 0.215X_2 - 0.0009X_7 - 1.238X_{10} - 0.782X_{12}) \quad (13)$$

여기서, Y : 사고건수/년
 X_1 : 교통량
 X_2 : 접근로 차로폭
 X_7 : 교차로 시거
 X_{10} : 보차분리 유무
 X_{12} : 조명설치 유무

두 번째로 생활도로내 비신호 4지 교차로 사고예측 모형은 교통량, 교차로 면적, 교차각 크기, 교차로 시거, 보차분리 유·무, 조명설치 유·무를 독립변수로 하는 음이항 회귀모형을 아래와 같이 개발하였다.

6.1.2 4지 교차로 모형개발

$$Y = \exp(-2.592 + 0.157X_1 + 0.293X_5 + 0.252X_6 - 0.002X_7 - 1.642X_{10} - 0.927X_{12}) \quad (14)$$

여기서, Y : 사고건수/년
 X_1 : 교통량
 X_5 : 교차로 면적
 X_6 : 교차각
 X_7 : 교차로 시거
 X_{10} : 보차분리 유무
 X_{12} : 조명설치 유무

두 모형 모두 α 값 검증 결과 α 의 p-value가 0.000으로 포이송 회귀모형 대신 음이항 회귀모형을 채택하여 개발하였다. 모형개발 결과 3지 교차로에서는 교통량과 접근로 차로폭 크기의 증가에 따라 사고와 양(+)의 관계로 증가하는 것으로 나타났지만, 교차로 시거, 보차분리 유무, 조명설치 유무에 따라 사고와 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 4지 교차로 모형은 교통량, 교차로 면적과 교차각이 사고와 양(+)의 관계로 증가하는 것으로 나타났지만, 교차로 시거, 보차분리 유무, 조명설치 유무에 따라 사고와 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 생활도로내 비신호 교차로에서의 시거, 보차분리, 조명시설 설치가 사고의 감소에 영향이 있는 것을 알아낼 수 있었다.

6.2 향후 연구과제

본 연구는 생활도로내 비신호 교차로의 3지 및 4지의 사고예측 모형을 개발하였다. 본 연구결과는 서울시의 생활도로내 비신호 교차로 210개 지점의 기하구조 및 교통조건 등의 변수를 사용하여 모형을 개발하였으나, 최근 2년간(2007~2008)의 경찰청 사고자료를 사용하고, RMSE 검증 과정에서 데이터의 부족으로 3지와 4지 각각 15개 지점만을 사용하여 예측사고건수가 실제사고건수와 신뢰성이 있는지를 검증한 한계점이 있다.

따라서 향후 보다 정교한 모형 구축을 위해서는 다년간의 교통사고 자료의 DB구축이 필요하고, 다양한 분석방법으로 접근하여 검토할 필요가 있다. 또한 생활도로내 비신호 교차로의 사고 위험수준결정에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 경원대학교 지원에 의한 결과임.

참고문헌

- 강영균(2008) 지능형 이론을 이용한 도시부 신호교차로 교통사고 빈도예측모형 개발, 서울시립대학교.
- 건설교통부(2000) 도로의 구조시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 대한토목학회.
- 고동석 외 2인(2000) 수도권 지역 4지 비신호 교차로에 대한

- 이동류별 차량의 임계간격과 추종시간 기준에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제18권 제6호, pp. 19-32.
- 대한교통학회(2004) **도로용량편람**.
- 문영준 외 1인(2001) 비신호교차로 전방향 정지제어 도입 타당성 연구, **교통개발연구원 총서**, 교통개발연구원.
- 박용진(1994) 신도시 4지 비신호 교차로의 운영특성에 관한 연구, **국토계획**, 대한국토·도시계획학회, pp. 223-224.
- 박용진(1994) 비신호 교차로에서의 교통류 특성 및 접근지체모형 개발에 관한 연구(상충지역 통행속도 이용), **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제12권 제2호, pp. 47-56.
- 이수범(1996) 무신호 교차로의 안전에 의한 서비스수분 측정에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제14권 제2호, pp. 259-260.
- 이슬기 외 2인(2003) 임계간격을 이용한 비신호 교차로의 시거산정에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제21권 제5호, pp. 97-100.
- 이용재 외 1인(2001) 비신호 교차로의 중차량 용량 보정계수에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제19권 제2호, pp. 88-98.
- 홍정열(2002) **신호교차로에서의 교통사고예측모형 개발 및 위험수준결정 연구**, 한양대학교.
- Design and Safety of Pedestrian Facilities, FHWA (1998).
- James A. Bonneson, Estimation of Safety at two-way stop-controlled intersections on rural Highway, TRR 1401.
- NCHRP REPORT 500 (2003) Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan, TRB.
- Abishai Polus (1985) Driver behaviour and accident records at unsignalized urban intersection, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 17.
- (접수일: 2010.12.15/심사일: 2011.1.24/심사완료일: 2011.1.24)