



지방부 신호교차로 안전성 판단을 위한 사고예측모형 개발

Development of Traffic Accident Frequency Model for Evaluating Safety at Rural Signalized Intersections

김 응 철* 이 동 민** 김 도 훈***
 Eungcheol Kim Dongmin Lee Dohoon Kim

Abstract

Even though accident frequencies in roadway segments have been decreasing since 2000, there has been increasing the number of vehicle crashes at intersections. Due to this increase, safety problems at intersection recently started to be regarded as significant issues. The purpose of this study is to analyze the effects of road conditions, traffic operational conditions, and other influencing condition on intersection safety. Then a traffic accident frequency prediction model to evaluate the safety at intersections was developed based on the correlations between influencing factors and vehicle crashes. In this research, critically significant factors affecting vehicle crashes at rural four-legs signalized intersections were investigated. It was found that Poisson regression was the best fit method to developing a accident frequency modeling using the collected data in this study. Through this study, it was concluded that exclusive left turn lane, crosswalk, posted speed, lighting, angle, and ADT are significant influencing factors on the intersection safety.

Keywords : intersection design, safety evaluation, accident frequency, poisson regression

요 지

일반도로구간에서의 사고발생건수는 2000년부터 2006년까지 감소추세를 보이는 반면 교차로에서의 교통사고건수는 현재까지 꾸준히 증가하고 있기 때문에 교차로에서의 안전성을 증대시키기 위한 노력이 절실히 필요한 실정이다. 본 연구에서는 신호교차로에서의 도로조건, 교통조건, 교통운영상의 조건 등을 분석하여 교차로의 설계 안전성을 저해시키는 요인들을 찾아내고, 그 요인들과 사고와의 상관관계를 이용하여 지방부 4지 신호교차로의 안전성 판단을 위한 사고예측모형을 개발하고자 한다. 또한 사전에 위험요소를 제거하여 교차로에서의 안전성 평가를 위한 가이드라인을 제시함으로써, 교차로에서의 안전성을 높이는데 그 목적이 있다. 본 연구는 교차로에서의 사고분석을 위하여 비선형 회귀분석을 통해 사고모형을 개발하였고, 이러한 모형들을 이용하여 차대차 사고에 영향을 미치는 주요 설명변수들에 대한 분석을 시도하였다. 모형분석결과, 포아송회귀분석(Poisson Regression)이 모형개발에 가장 적합한 것으로 나타났으며, 사고에 영향을 미치는 변수로는 좌회전 전용차로, 횡단보도, 제한속도, 조명시설, 교차각, ADT 등으로 분석되었다.

핵심용어: 교차로 설계, 안전성 판단, 사고빈도, 포아송회귀모형

* 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 조교수
 ** 정회원 · 한국교통연구원 책임연구원
 *** 정회원 · 한국교통연구원 연구원



1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국민소득의 증가로 인하여 과거에 비해 월등히 삶의 질이 높아짐에 따라 보다 편리하고 안전한 교통수단으로써 자동차 보유가 보편화된지 이미 오래이다. 1970년 우리나라 국내총생산은 8조원에서 2006년 840조원(통계청, 통계연보, 2007)으로써 단기간에 급격한 경제성장이 이루어졌음을 보여주고 있으며, 이러한 경제성장에 힘입어 자동차 수요 역시 크게 증가한 것으로 나타났다. 그러나 1990년대까지만 해도 자동차의 교통사고가 해마다 꾸준히 증가하였으나 2000년도 이후부터는 점차 감소하기 시작했다. 이는 운전자의 안전교육 및 매년 교통사고 다발지점의 안전시설 확충을 위한 정책으로 인한 결과로 볼 수 있다. 그러나 교차로에서의 사고발생빈도는 2000년에 19.8%에서 2006년 44.5%로서 약 2.3배 증가하였으며 비신호교차로보다 신호교차로에서의 사고발생건수 또한 증가추세에 있다. 이처럼 편리하고 쾌적한 수송수단으로써 우리가 자동차로부터 얻게 되는 편익이 증가할수록 자동차의 증가로 야기되는 각종 사회적인 비용의 발생문제를 심각하게 고려해야만 한다. 또한 도로설계시 교통조건, 도로조건, 교통운영상의 조건을 면밀히 분석하고 지방부 신호교차로에서의 사고원인 예측을 위한 모형을 개발하여 기존 교차로에서의 위험성에 대해서 사전에 적절한 대비책이 마련되어야만 한다. 따라서 본 연구에서는 수도권 주변 및 전라북도 전지역의 지방부 교차로 특성을 갖는 4지 신호교차로를 중심으로 교차로 설계시 안전성 평가 알고리즘 개발을 위한 사고빈도예측모형을 개발하여 4지 신호교차로에서 발생하는 교통사고의 발생원인을 검토하는데 그 목적이 있다. 다음 그림 1은 본 연구에서 수행한 연구의 흐름도를 나타낸 것이다.

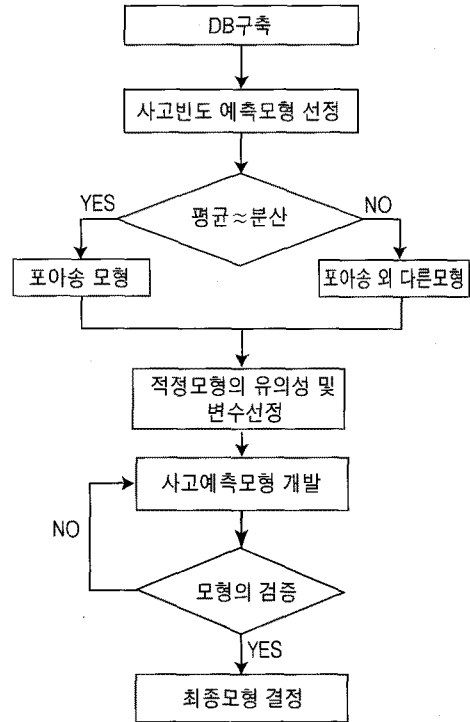


그림 1. 연구 흐름도

2. 문헌고찰

2.1 기존연구 고찰

교차로에서 차대차 사고에 영향을 미치는 요인들은 매우 다양하다. 따라서 서로 다른 요인들을 분석하여 교차로에서의 교통사고 예측모형을 개발하고 그에 따른 원인분석 및 개선사항을 제시한 연구가 국내 및 국외에서 다양하게 수행되고 있다.

우선 사고예측모형 개발에 관한 기존연구를 살펴보면, 홍정열 등(2002)은 2001년도 원주시의 64개 교차로에서의 사고자료를 이용하여 사고건수와 다양한 요인들 간의 두 단계의 상관분석을 통해서 다중선행회귀분석과 비선형회귀분석을 수행하였다. 이때 선택된 설명변수들은 평균사고율, 신호주기, 시거, 교차로 면적, 회전교통량비율, 교차로 진입교통량



등으로 나타났으며, 최종적으로 선형회귀모형보다 비선형회귀모형의 설명력이 더욱 높은 것으로 분석되었다. 하태준 등(2001)은 광주광역시의 교차로를 대상으로 교통사고 예측모형을 개발하기 위해 다중회귀분석을 실시하였는데, 교차로에서의 기하구조

및 교통운영조건을 고려하지 않고 교차로의 방향별 접근 교통량만을 이용하여 사고유형별 교통사고 예측모형을 개발하였다. 임운택(1993)은 서울시 교통사고 잦은 지점 147개소를 대상으로 교통량, 횡단보도 수, 교차각 등의 도로 특성이 교통사고에 미치는

표 1. 교차로 설계요소의 안전도에 관한 기존연구결과

설계요소	저 자	연구 결과	
좌회전 전용차로	Harwood et al (2002)	지방부 주도로의 한방향 전용차로의 설치는 교차로 사고를 18~24% 감소시키며, 양방향 좌회전 전용차로의 설치는 사고를 33~42% 감소시킴	
	McCoy & Malone (1989)	도시부 교차로에서 좌회전 차로의 설치는 교차로 전체 사고감소에 효과가 있으며, 특히 충돌사고, 접촉사고, 좌회전사고는 6%~77%까지 감소됨	
	Foody & Richardson (1973)	신호교차로에서 좌회전차로의 설치는 38%의 사고감소율을 보이며, 비신호 교차로에서는 76%까지 사고감소율이 나타나는 것으로 분석됨	
	Gluck et al(1999)	비신호 교차로에서 좌회전차로의 설치는 진입차량 백만대 당 사고율을 50%까지 감소시키며, 신호교차로에서는 18% 감소시킨다.	
	Vogt(1999)	지방부 4지교차로에서 주도로의 좌회전차로의 설치는 사고율을 38% 감소됨.	
우회전 전용차로	Harwood et al (2000)	비신호 교차로에서의 우회전 전용차로의 설치는 2.5~10%의 감소효과가 있으며, 신호교차로에서는 5%의 감소효과가 있는 것으로 분석됨	
3지 또는 4지교차로	Bauer & Harwood (1996)	지방부와 도시부 정지표시의 4지교차로는 3지교차로보다 사고가 2배정도 많으며, 특히 지방부 4지 정지표시교차로에서 연평균 1.1의 사고가 일어나는 반면 3지교차로에서는 연평균 사고가 0.6건, 도시부에서는 각각 2.2와 1.3건으로 나타남	
교차로의 형태	Hanna et al (1976)	3지 : Y형 교차로가 T형 교차로보다 사고율이 50% 더욱 높게 나타남 4지 : off set된 4지교차로의 사고율이 일반 4지교차로 사고율의 약 43%에 해당됨.	
	McCoy et al(1985)	지방부의 양방향 정지표시 교차로에서는 3지, 4지교차로 모두 교차각(90-예각)이 클수록 사고빈도는 증가되는 것으로 분석됨	
교차각	Bauer and Harwood (1996)	교차각은 4지신호교차로에서 사고빈도와 통계적으로 유의한 관계로 나타났으며, 교차각을 직각으로 했을 경우에 사고율이 20%까지 감소되는 것으로 분석됨	
	Bauer and Harwood (1996)	지방부 비신호 4지교차로에서 조명시설이 있는 경우에는 그렇지 않은 경우보다 총 부상사고율이 21%감소되는 것으로 분석됨	
조명시설	Box(1989)	조명시설이 있는 경우의 사고발생빈도는 조명시설이 없는 경우보다 보행자 사고가 50%에서 33%로 감소했으며, 충돌사고 또한 32%에서 11%로 감소되는 것으로 분석됨	
	Hauer(1988)	주도로의 교통량 ADT는 모든 사고예측모형에서 중요한 요인으로 작용되며, 주도로 ADT의 관계효과는 교차로의 구성에 따라 1.77~2.68의 범위를 가지며, (도시부/지방부, 4지/3지, 신호/비신호) 부도로에서의 상관관계효과는 1.24~1.80로 나타남	
교통량	Lau and May(1988)	교차로에 진입하는 총 교통량의 비율은 신호 및 비신호 교차로 모두 사고예측에 영향을 미치는 중요한 요소인 것으로 분석됨	
	Hauer(1988)	횡단보도 설치전과 설치후의 사고율을 분석한 결과 횡단보도 설치이후 사고율이 설치전보다 50%까지 감소하는 것으로 분석됨	
통제방식	비통제방식	Poch & Mannering (1996)	통과차량이 적은 교차로에서 교통통제가 없는 경우 전체사고와 직각 충돌사고 감소
	양보방식	Hauer(1988)	비통제방식에서 양보통제방식으로 변경하면 22%~63%까지 교통사고 감소
	정지표지방식	Agent & Deen (1975)	정지표시방식 교차로에서는 50% 이상의 사고가 직각 충돌사고인 반면 양보방식의 경우 50% 이상이 충돌사고임
	신호기	Hanna et al (1976)	신호등을 운영하면 충돌사고는 많아지는 반면 직각 충돌사고는 감소하며, 전체적으로는 사고율이 약간 높아짐



영향을 분석한 결과 전체적으로 교통량이 많고, 횡단보도수가 많은 지점에서 그렇지 못한 지점보다 더욱 많은 사고를 유발하는 것으로 분석되었다. 또한 교차로에서는 교통량과 횡단보도수가 많은 교차로와 교차각이 작은 교차로에서 사고가 많이 발생하는 결과를 도출하였다. Joshua 등(1990)의 연구에서는 중차량과 교차로의 기하구조 및 교통운영조건을 이용하여 다중선형 및 포아송 회귀모형을 개발하였는데, 다중선형회귀모형은 독립변수가 사고발생빈도에 미치는 설명력이 낮게 나타났으나 포아송 회귀모형의 경우에는 독립변수가 사고발생빈도에 미치는 설명력이 큰 것으로 분석되었다. Sheffer 등(1999)의 연구에서는 신호현시방법 중 선행좌회전 현시와 후행좌회전 현시방법에 따라 교차로 사고율에 영향을 준다고 가정하였다. 대상 교차로들을 분석한 결과 선행좌회전은 두 개의 대향차선을 가진 교차로에서 좌회전시 가장 적은 사고율을 보였다. 하지만 후행좌회전은 3개의 대향차선을 가진 교차로에서 보호선행좌회전 사고율의 0.5배보다 더 낮은 것으로 나타났다. 이밖에 Bauer와 Harwood(1996)는 평면교차로에서의 사고와 기하구조와의 상관관계를 분석하여 통계학적 사고모형을 개발하였다. 그들의 연구결과에서도 교통량이 모형에 가장 큰 영향을 미치는 변수로 지목하였고 기하구조 등이 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 Bonneson 등(1993)의 연구에서는 교차로의 교통량과 사고와의 관계를 음지수분포로 분석하여 주도로와 부도로 교통량과 사고와의 관계를 정의함으로써 사고예측모형을 개발하였다.

도로설계요소들의 안전성 평가는 교차로 사고예측 모형개발과 함께 사전-사후분석 등을 통해서도 수행되고 있다. 이러한 교차로에서의 사고예측모형을 구성하는 각각의 도로설계요인이 교통사고에 어떠한 영향을 미치는지에 관한 기존연구를 검토한 결과는 표 1에서 요약·설명하고 있다.

2. 사고모형에 대한 이론적 고찰

2.1 포아송 회귀모형

신호교차로에서의 사고건수 \hat{y} 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

다시 말해서, 포아송 회귀모형은 종속변수가 일정 기간 동안 주어진 사건의 발생횟수를 나타낸 것이며, 위에서 모형계수인 β_j 는 최우추정법(Maximum-Likelihood)을 이용하여 계산된 것이다.

포아송 회귀모형에서 과분산 K 는 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 포아송 분포보다 더 크거나 작은 경우는 포아송 회귀모형이 적합하지 않음을 나타낸다.

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

여기서, DEV : 모형편차(model deviance)

2.2 ρ^2 (Rho-Squared)

최종적으로 개발된 모형에 대하여 모형의 적합성을 검증하기 위해 ρ^2 (우도비)를 사용하였으며, ρ^2



는 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 적합도가 높은 모형이라고 할 수 있다. 그러나 교통사고와 도로시설의 관계에 대한 모형의 ρ^2 값은 0.2와 0.4 사이의 값만 가져도 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 가지는 것으로 평가할 수 있다(McFadden, 1976).

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\beta)}{L(0)} \quad (0 \leq \rho^2 \leq 1) \quad (3)$$

여기서, $L(\beta)$: log likelihood function
 $L(0)$: restricted log likelihood

2.3 MPB(Mean Prediction Bias)

MPB는 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료에 대해서 모형에 의한 결과값의 치우침 정도를 판단할 수 있는 기준을 제공해준다. 이 방법에 의한 결과값이 작을수록 모형의 예측값은 정확한 것을 의미한다.

$$MPB = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (4)$$

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

2.4 MAD(Mean Absolute Deviation)

MAD는 모형의 예측값이 평균적으로 얼마만큼의 오차가 포함되었는지를 판단할 수 있는 척도를 제공해준다. 이 방법이 MPB와 다른 점은 각 수치의 음과 양의 차이로 인해 상쇄되지 않는다는 점이다. 결과값이 0에 가까울수록 실제의 관측된 자료에 부합되는 결과를 나타냄을 의미한다.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (5)$$

여기서, Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

\hat{Y}_i : 모형에 의한 결과값

3. 교통사고 현황 및 자료수집

3.1 도로형태별 사고추이 분석

2000년부터 2006년까지의 도로형태별 사고추이를 살펴보면 총 사고건수는 점차 감소하는 추세이다. 이는 운전자의 안전교육 증대 및 도로시설물에 대한 안전성이 향상되고 있다는 것을 나타내며 우리나라의 교통사고율도 선진국의 대열에 가까워지고 있다는 것을 의미한다. 그러나 단일로와 교차로사고를 비교해보면 매년 단일로에서의 사고발생건수는 감소하고 있는데 반해, 교차로에서의 사고발생건수는 해마다 큰 폭으로 증가하고 있다. 더욱이 교차로에서도 신호교차로의 사고발생비율이 매년 증가추세를 나타내고 있다. 이는 단일로에서는 안전운전 활성화 정책으로 인해 안전성이 확보되었지만 교차로에서는 그렇지 못하기 때문에 나타난 결과로 분석된다. 따라서 교차로에서의 도로기하구조 및 교통운영상의 문제점을 검토하고 교차로에서의 안전성 판단을 위한 사고예측모형을 개발하여 운전자의 안전을 확보해야 할

표 2. 도로유형별 사고추이

구분	총계	단일로(%)	교차로	
			소계(%)	신호교차로(%)*
2000	287,903	230,876(80.2)	57,027(19.8)	25,568(44.8)
2001	257,860	210,093(81.5)	47,767(18.5)	20,780(43.5)
2002	228,584	179,813(78.7)	48,771(21.3)	23,547(48.3)
2003	231,270	168,956(73.1)	62,314(26.9)	30,995(49.7)
2004	204,992	147,724(72.1)	57,268(27.9)	23,737(41.4)
2005	195,219	112,695(57.7)	82,524(42.3)	46,895(56.8)
2006	203,742	113,085(55.5)	90,657(44.5)	51,645(57.0)

자료: 도로교통안전관리공단, 사고통계분석, 2007

* 팔호안의 비율은 전체 교차로 사고중 신호교차로 사고의 비율임.



필요성이 있다. 표 2는 2000년부터 2006년까지의 도로유형별 사고추이를 나타내고 있고, 그림 2는 단일로와 교차로에서 발생한 사고의 연도별 변화를 설명하고 있다.

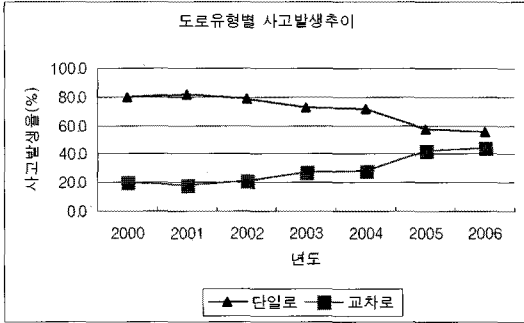


그림 2. 도로유형별 사고발생 추이

3.2 사고자료 수집 및 정리

본 연구에 사용된 사고자료는 2004년 한해동안 수도권 주변 34개 지방부 교차로, 공주시 외곽 지역의 12개 지방부 교차로 및 전라북도 전지역에서의 57개 지방부 교차로, 총 103개 지방부 4지선호교차로에서 발생한 교통사고자료이다. 또한 교차로 교통사고에

표 3. 지방부 103개 교차로에서의 사고현황

피해상황	사상자(명)	백분율(%)
사망	6	2.6
중상	128	54.7
경상	59	25.2
물피	33	14.1
피해없음	8	3.4

표 4. 주요 변수의 정의 및 기초통계량

변수	변수의 정의	구분	기초통계량 (N=103)			
			최소값	최대값	평균	표준편차
사고건수	교차로에서 발생한 교통사고건수	연속형 변수	0	9	1.903	1.550
주도로 제한속도	주도로 제한속도 [표시방법 : km/h]		50	80	73.107	9.185
제한속도 차	접근로의 제한속도 차 [표시방법 : 주도로-부도로]		0	50	8.641	10.669
교차각	접근로의 교차각 [표시방법 : 90° - 예각]		0	60	12.282	16.844
주도로 ADT	주도로의 ADT [표시방법 : ln교통량]		7.9	10.4	9.040	0.595
ADT(주+부)	교차로ADT [표시방법 : lnADT(주+부)]		8.4	10.8	9.456	0.534
부도로 차로수	접근로의 부도로 차로수 [표시방법 : 무=0, 유=1]		1	4	1.874	0.860
좌회전전용 차로수	주도로 접근로의 좌회전 전용차로수 [표시방법 : 무=0, 유=1]		0	2	1.262	0.780
우회전전용 차로	주도로 접근로의 우회전 전용차로 유무 [표시방법 : 무=0, 유=1]		0	1	0.641	0.482
주도로 횡단보도	주도로 접근로의 횡단보도 설치 유무 [표시방법 : 무=0, 유=1]		0	1	0.942	0.235
주도로 조명시설	주도로의 조명시설 유무 [표시방법 : 무=0, 유=1]	더미 변수	0	1	0.854	0.355
부도로 접근로에서의 종단변화 유무	부도로 접근로의 종단변화 유무 [표시방법 : 무=0, 유=1]		0	1	0.039	0.194
주도로 버스정류장	교차로 30m이내 버스정류장 유무 [표시방법 : 무=0, 유=1]		0	1	0.330	0.473



영향을 미치는 교통량 및 도로기하구조 자료에 대해서는 국내·외 문헌조사를 통하여 설명변수의 유형을 정리하고 사고가 발생한 교차로에서의 현장조사를 통해 수집된 교통량, 도로위계, 교통섬 유무, 중앙분리시설 유무, 교차로의 제한속도, 교차각 등의 추가 자료를 92개의 주요변수로 세분화하였다. 이러한 변수들은 변수들간의 상관관계분석 등을 거쳐 최종적으로 선별된 변수들은 4지신호교차로에서의 사고빈도 예측모형개발에 이용되었다. 표 3은 본 연구에서 사용된 지방부 103개 신호교차로에서의 사고현황을 나타낸 것이며, 표 4는 본 연구에서 개발한 모형의 주요변수의 정의 및 기초통계량을 나타낸 것이다.

이는 하나의 주모형만을 가지고 변수들을 설명할 경우 안전성 평가에 필요한 주요 독립변수가 생략될 수도 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 지방부 4지신호교차로의 특성을 나타낼 수 있는 4개의 대안모형을 개발하였으며, 이 중에서 종속변수와 사고빈도와 설명변수들 간의 적합도가 가장 좋은 모형 I을 최종모형으로 선정하였다. 표 5는 각 모형에서 사용된 변수와 모형의 적합도(ρ^2)를 보여주고 있으며, 표 6은 최종적인 4개의 대안모형에서 사용된 변수의 상관계수와 모델의 적합도에 대한 통계값들을 설명하고 있다.

표 5. 최종모형 및 예비모형의 분석결과

구분	설명변수	ρ^2
모형 I	주도로 좌회전 전용차로수, 주도로 횡단보도, 주도로 제한속도, 주도로 조명시설, 부도로 접근로에서의 중단변화 유무, 주도로 버스정류장, 교차각(90° - 예각), ADT(주+부)	0.122
모형 II	부도로 차로수, 좌회전 전용차로, 주도로 횡단보도, 주도로 제한속도, 주도로 조명시설, 주도로 ADT	0.109
모형 III	부도로 차로수, 우회전 전용차로, 주도로 횡단보도, 주도로 제한속도, 주도로 조명시설, ADT(주+부)	0.107
모형 IV	부도로 차로수, 좌회전 전용차로, 제한속도차, 주도로 조명시설, 교차각(90° - 예각), 주도로 ADT	0.096

4. 모형개발 및 결과분석

4.1 모형개발

본 연구는 지방부 4지신호교차로에서의 사고예측모형을 개발하기 위하여 통계패키지인 LIMDEP 8.0을 이용하여 분석하였다. 본 연구를 수행함에 있어 종속변수에 영향을 주는 독립변수의 중복을 방지하고 각각의 변수 사이의 독립성을 확보할 수 있는 변수만을 채택하기 위해 종속변수와 독립변수, 독립변수와 독립변수간의 상관관계를 신뢰수준 90% ($\alpha = 0.1$)이내에서 분석하였다. 최종적으로 모형개발에 사용된 독립변수로는 접근로의 차로수, 좌회전 전용차로 유무, 횡단보도, 제한속도, 조명시설, 교차각 그리고 교통량(ADT)다. 이러한 독립변수들을 이용하여 과분산검증을 수행한 결과 대안모형들 모두 과분산계수(K)가 0에 가까운 값으로 나타나 지방부 4지신호교차로에서의 사고예측모형은 포아송 회귀모형이 적합한 것으로 분석되었다.

본 연구에서의 사고빈도 예측모형의 주요 역할은 사고예측을 통한 대상교차로의 안전성 평가를 위해서 주요 독립변수와 사고빈도와의 관계를 규명함으로써 대상지역의 안전성 향상을 유도하는 것이다.

4.2 결과분석

앞 절에서 설명한 바와 같이 개발된 각 대안 모형들을 평가한 결과 최종적으로 선정된 사고빈도 예측모형식은 다음 식 (6)과 같다.

$$U_i = -5.1488 - 0.2209X_1 - 0.5297X_2 + 0.3758X_3 - 0.6197X_4 + 0.5409X_5 - 0.3060X_6 + 0.0088X_7 + 0.6291X_8 \quad (6)$$

여기서,

U_i : 사고빈도

X_1 : 주도로 좌회전 전용차로수



표 6. 4지신호교차로 사고빈도 예측모형의 결과값

변 수		모형 I	모형 II	모형 III	모형 IV
상 수	추정계수	-5.1488	-2.4213	-2.7578	-2.0771
	T-통계치	-3.5856	-1.7644	-1.7481	-1.6346
	P-value	0.0003	0.0777	0.0804	0.1000
부도로 차로수	추정계수		0.2274	0.2154	0.2920
	T-통계치		2.5334	2.2274	2.9725
	P-value		0.0113	0.0259	0.0030
좌회전 전용차로	추정계수	-0.2209	-0.2001		-0.2061
	T-통계치	-2.2462	-2.0440		-2.0834
	P-value	0.0247	0.0410		0.0372
우회전 전용차로	추정계수			-0.2626	
	T-통계치			-1.6500	
	P-value			0.0990	
주도로 횡단보도	추정계수	-0.5297	-0.5613	-0.6411	
	T-통계치	-2.1646	-2.3211	-2.5830	
	P-value	0.0304	0.0203	0.0098	
주도로 제한속도	추정계수	0.3758	0.4238	0.4385	
	T-통계치	2.0606	2.3908	2.4642	
	P-value	0.0393	0.0168	0.0137	
제한속도 차	추정계수				0.0121
	T-통계치				1.6911
	P-value				0.0908
주도로 조명시설	추정계수	-0.6197	-0.6779	-0.7129	-0.6387
	T-통계치	-3.1119	-3.4563	-3.6880	-3.2018
	P-value	0.0019	0.0005	0.0002	0.0014
부도로 접근로에서의 종단변화 유무	추정계수	0.5409			
	T-통계치	1.7204			
	P-value	0.0854			
주도로 버스정류장	추정계수	-0.3060			
	T-통계치	-1.7839			
	P-value	0.0744			
교차각(90° - 예각)	추정계수	0.0088			0.0079
	T-통계치	2.0352			1.8499
	P-value	0.0418			0.0643
주도로 ADT	추정계수		0.3053		0.2982
	T-통계치		1.9872		1.9009
	P-value		0.0469		0.0573
ADT(주+부)	추정계수	0.6291		0.3281	
	T-통계치	4.2896		1.9238	
	P-value	0.0000		0.0544	
Log likelihood function		-152.6685	-154.8992	-155.3665	-157.2254
Restricted log likelihood		-173.9187	-173.9187	-173.9187	-173.9187
Degrees of Freedom		8	6	6	6
ρ^2		0.122	0.109	0.107	0.096
χ^2		42.5	38.0	37.1	33.4
MPB/year		0.121	0.002	0.002	-0.001
MAD/year		0.841	0.883	0.896	0.091
K(Overdispersion)		0.00015	0.00011	0.00013	0.00010
N		103			



- X_2 : 주도로 횡단보도(무=0, 유=1)
- X_3 : 주도로 제한속도(km/h)
- X_4 : 주도로 조명시설(무=0, 유=1)
- X_5 : 부도로 접근로에서의 종단변화 유무(무=0, 유=1)
- X_6 : 주도로 버스정류장(무=0, 유=1)
- X_7 : 교차각(90-예각)
- X_8 : ADT(주+부)(lnADT(주+부))

사고모형 분석결과, 식 6에서 보는 바와 같이 주도로에 설치되어있는 좌회전차로의 계수는 -0.2209로, 이는 주도로에 좌회전 전용차로가 설치되었을 경우 사고발생건수를 감소시킬 수 있다는 것을 의미한다. 즉, 신호교차로에 좌회전 차로를 설치하였을 경우에는 대향차량 및 직진차량과 좌회전 차로를 이용하는 차량과의 상충횟수가 감소하여, 결과적으로 교통사고 발생확률이 감소되는 것이다. 이는 기존문헌 결과에서도 좌회전 전용차로 설치로 인한 사고감소 효과가 매우 큰 것으로 분석되었다. 주도로의 횡단보도 유무의 계수는 -0.5297로 이는 주도로에 횡단보도를 설치함으로써 보행자의 횡단을 보장해줌과 동시에 차대차 사고발생도 함께 감소시킬 수 있음을 설명하고 있다.

일반적으로 차량의 속도는 사고발생빈도와외 상관관계가 매우 높은 것으로 알려져 있다. 속도의 증가는 운전자의 돌발상황 발생시 제동거리를 증가시키기 때문에 사고가 발생할 확률을 높일 수 있다. 본 연구에서 개발한 사고발생빈도 예측모형에서 이 속도의 계수는 +0.3758로 속도의 증가가 교통사고 발생율을 높이는 영향을 설명하고 있다. 최근 국도상에도 도로조명시설의 설치가 확대되고 있어 야간운전조건을 향상시키고 있다. 조명시설이 없는 교차로에서의 야간운전 시에는 운전자의 가시범위가 주간에 비해 한정되어, 돌발상황에 대한 조치를 하기 위한 충분한 시야를 확보할 수 없다. 이러한 조명시설에 대한 사고감소의 영향이 모형식에서도 설명되고 있다.

교차로에서는 교차각이 주행의 안전성 및 쾌적성

에 미치는 영향이 크다. 특히 예각으로 교차로가 교차되는 경우에는 운전자의 시거가 충분히 확보될 수 없기 때문에 사고의 발생위험이 증가할 수 있다. 일반적으로 교차로 설계의 지침에서도 90도의 교차각을 갖도록 설계하여 좌회전 및 우회전차량 운전자의 시거가 충분히 확보되도록 권고하고 있다. 본 연구에서 개발된 사고발생 예측모형에서도, 교차각이 작아질수록 사고발생빈도가 많아지는 추세를 확인할 수 있었다. 기존연구들(Hauer 1988, Lan 1988)에서 설명하고 있듯이, 교통량은 교통사고 발생빈도에 가장 많은 영향을 미치는 요인들 중 하나이다. 특히 교차로에서는 교차로 통행차량들이 많아지면, 차량간의 상충이 증가하게 되고, 이로 인한 차량간의 사고 발생확률이 높아지게 된다. 이러한 교통량의 교통사고 발생에 미치는 영향을 개발된 사고모형을 통해 확인할 수 있었다. 이외에도, 교차로지역 내에서 설치된 버스정류장의 영향과, 접근로의 종단경사 변화의 존재가 교통사고 발생빈도에 미치는 영향을 개발된 사고모형을 통해 확인할 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구과제

일반도로구간에서의 사고발생건수는 2000년부터 2006까지 감소추세를 보이는 반면, 교차로에서의 교통사고건수는 현재까지 지속적으로 증가하고 있다. 본 연구에서는 이러한 교차로에서의 사고발생원인을 검토하고, 안전성을 증대시키기 위해, 지방부 4지선 호교차로의 도로설계 안전성을 평가할 수 있는 모형을 개발하였다. 모형개발을 위해서 수도권 외곽, 공주시 외곽의 지방부 도로의 교차로와 전라북도 지역에서, 교차로 도로 및 교통조건을 조사하여, 이를 사고자료와 합쳐, 사고예측모형 개발을 위한 데이터베이스를 구축하고, 교차로 설계의 안전성에 영향을 주는 요인을 선정하였다. 본 연구에서는 지방부 신호교차로의 특성을 나타낼 수 있는 4개의 대안모형을 개발하였으며, 이 중에서 지방부 4지선호교차로에서



의 사고빈도와 독립변수들 간의 적합도가 가장 좋은 모형 I 을 최종모형으로 제시하였다. 그 결과, 교차로에서 사고에 영향을 미치는 독립변수로는 좌회전 전용차로, 횡단보도, 제한속도, 조명시설, 지형, 버스정류장, 교차각, ADT로 분석되었다.

본 연구는 연구의 범위를 지방부 4지선호교차로로 한정되었으며, 특정지역의 사고자료에 의한 분석결과의 왜곡을 방지하기 위해 특정지역의 교차로만을 조사하는 방식에서 벗어나 대도시권 외곽의 지방부 교차로와 전라도의 광범위한 지역의 지방부 교차로를 대상으로 사고예측모형을 개발하여 모형의 범용성과 대표성을 높이고자 하였는데 큰 의미가 있다고 할 수 있다. 하지만 본 연구를 더욱 발전시키기 위해서는 다년간의 사고자료를 통한 연차별 사고빈도의 차이분석이 이루어져야 한다. 이는 현재 교통사고 자료 획득의 어려움을 안고 있는 반드시 해결해야 할 문제이다. 또한 각 설계요소들에 대한 사전-사후분석의 필요성이다. 본 연구결과에서 도출된 교차로 시설물에 대해서 설치전과 설치후의 사고자료를 이용하여 사고예측모형을 개발한다면 현재의 사후연구(After Study)방식의 단점이 개선될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구가 갖고 있는 이러한 한계점들은 향후 연구를 통해 발전시킬 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업(06교통핵심C01)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

도로교통안전관리공단, 통계연보, 2007
 성낙문, 오주택, 오재학(2005), "교차로의 안전도 평가에 관한 연구", 대한토목학회지, 제25권 제1D호, 대한토목학회, pp. 1-8
 임윤택(1993), "도로특성이 교통사고에 미치는 영향분석", 연세대학교 석사학위 논문, 2006
 하태준, 강정규, 박계진(2001), "신호교차로 교통사고

예측모형의 개발 및 적용", 대한교통학회지, 제19권 제6호, pp207-218
 홍정열, 도철웅(2002), "신호교차로에서의 사고예측모형개발 및 위험수준결정 연구", 대한교통학회지, 제20권 제7호, pp.155-166
 Agent, K. R., and R. C. Deen.(1975), "Relationship Between Roadway Geometrics and Accidents," *Transportation Research Record 541*, TRB
 Bauer, K.M. and D.W. Harwood(1996), "Statistical Models of At-grade Intersection Accidents", *Final Technical Report*, FHWA-RD-96-125, November
 Bonneson, J.A. and McCoy, P.T.(1993), "Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highways". TRR 1401
 Box, P.C.(1988), "Major Road Accident Reduction by Modern Illumination" presented at *Visibility Symposium in Minneapolis*, Minnesota, TRB
 Foody, T. J., and W. C. Richardson(1973), "Evaluation of Left Turn Lanes as a Traffic Control Device", *Ohio Department of Transportation*, 1973
 Gluck, J., H.S. Levinson, and V. Stover(1999), "Impacts of Access Management Techniques" NCHRP Report 420, TRB
 Hanna, J. T., T. E. Flynn, and L. T. Webb.(1976), "Characteristics of Intersection Accidents in Rural Municipalities" *Transportation Research Record 601*, TRB
 Harwood, D.W., F.M. Council, E. Hauer, W.E. Hughes, and A. Vogt(2002), "Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways", FHWARD- 99-207, *Federal Highway Administration*, December
 Joshua, S.C and Garber, N.J(1990), "Estimating Truck Accident, Rate and Involvements Using Linear and Poisson Regression Models", *Transportation Planning and Technology*,



- Vol15, pp41-58, 1990
- Hauer, E.(1988), "The Safety of Older Persons at Intersections," Transportation in an Aging Society: Improving Mobility and Safety for Older Persons, Volume 2, Special Report 218, TRB, pp. 194-252
- Lau, M. Y., and A. D. May.(1988), "Accident Prediction Model Development: Signalized Intersections" UCB-ITS-RR-88-7, *Institute of Transportation Studies*, University of California-Berkeley, December
- Lau, M. Y., and A. D. May.(1989), "Accident Prediction Model Development: Unsignalized Intersections" UCB-ITS-RR-89-12, *Institute of Transportation Studies*, University of California-Berkeley, May
- McCoy, P. T., and M. S. Malone(1989), "Safety Effects of Left-Turn Lanes on Urban Four-Lane Roadways", *Transportation Research Record 1239*, TRB
- McCoy, P. T., E. J. Tripi, and J. A. Bonneson.(1994), "Guidelines for Realignment of Skewed Intersections" Nebraska Department of Roads Research Project Number RES1 (0099) P471, 1994.
- Poch, M., and F. L. Mannering.(1996), "Negative Binomial Analysis of Intersection Accident Frequencies," presented at the 75th annual meeting of the TRB, January.
- Sheffer, C. and Janson, B.N.(1999), "Accident and capacity comparisons of leading and lagging left-turn signal phasings", January 1999, TRB
- Vogt, A.(1999), "Crash Models for Rural Intersections: Four-Lane by Two-Lane Stop-Controlled and Two-Lane by Two-Lane Signalized", FHWA-RD-99-128, *Federal Highway Administration*, October

접 수 일 : 2008. 3. 24

심 사 일 : 2008. 3. 24

심사완료일 : 2008. 8. 4