

■ 論 文 ■

# 신호교차로에서의 사고예측모형개발 및 위험수준결정 연구

Development of a Traffic Accident Prediction Model and Determination of the Risk Level at Signalized Intersection

**홍 정 열**

(한양대학교 교통공학과 석사과정)

**도 철 응**

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

## 목 차

- I. 서론
  - II. 기존문헌고찰
    - 1. 사고유발요인에 따른 사고예측모형
    - 2. 분석이론에 따른 사고예측모형
  - III. 교차로 변수자료 조사 및 분석
    - 1. 설명 변수의 자료조사
    - 2. 설명 변수의 자료분석
    - 3. 설명 변수의 선택
  - IV. 교차로사고예측모형개발 및 위험수준결정
    - 1. 사고예측모형의 개발
    - 2. 위험수준의 결정
    - 3. 모형의 검증
  - V. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 신호교차로, 교통조건, 도로조건, 교통통제조건, 교통사고예측모형, 위험수준

## 요 약

교차로에서의 교통사고건수는 90년 이후로 계속 증가해오고 있는 추세이므로 교차로의 안전성을 증가시키기 위한 노력이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 신호 교차로의 도로조건, 교통조건, 교통운영조건 등을 분석하여 안전성에 방해가 되는 요소들을 찾아내고, 그 요소들과 사고와의 상관관계를 이용하여 각 교차로의 안전을 평가할 수 있는 사고예측모형을 개발하였다. 또한 이 교차로사고예측모형은 사전에 위험요소들을 처리하여 적절한 교통안전정책을 세우도록 방향을 제시하고, 교차로의 안전성을 높이려는데 목적이 있다.

교차로 내의 사고건수는 2001년 1월부터 2001년 12월까지 1년 간의 원주시 교차로 사고건수자료를 수집하였고, 각 교차로들의 도로조건, 교통조건, 교통운영조건은 현장 조사하여 수집하였다. 수집한 자료들을 1차 통계 분석한 결과 사고와 상관관계가 높게 나타나는 요소들로는 지역유형, 토지이용, 버스정차활동, 노상주정차활동, 전체교통량, 회전 교통량, 차로수, 도로폭, 교차로 면적, 주기, 시거, 회전반경 등으로 나타났다. 또한 위의 요소들을 가지고 2차 상관 분석한 결과 유의확률이 95%이상 만족하고, 각각의 독립변수들 간의 상관관계가 적어 사고율에 영향을 주는 변수로는 차로수, 회전반경, 시거, 주기가 선택되었다. 따라서 위의 요소들로 각 요소들의 분포현황에 알맞은 교통사고예측모형식을 만들고, 일반적인 선형회귀모형과의 정확도를 비교하였다. 또한 국내 사고통계를 이용하여 사고건수의 분포도를 분석한 후 교차로의 위험 수준을 단계별로 분류하였다. 마지막으로 모형의 타당성을 검토하기 위해 Spearman 순위상관계수에 적용하였더니 결정계수 값이 0.985로 매우 유의하다는 것과 모형식에서 구해진 각 교차로별 위험 순위도가 거의 타당한 것으로 나타났다. 또한 실제사고건수와 예측사고건수를 본 연구에서 분류한 위험수준으로 비교한 결과 교차로의 80%가 위험수준이 같다는 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구는 한국과학재단 첨단도로연구센터 연구지원으로 수행되었음.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 1990년 3,394,803대였던 자동차 수가 2000년에는 12,059,276대로 10년 동안 약 4배가 증가함으로써 전국적으로 교통혼잡의 문제점이 대두되어 왔다. 이것은 에너지 자원을 낭비할 뿐만 아니라 교통사고의 증가로 개인의 불행, 인적, 물질적 피해 또한 증가하고 있어 그 심각성이 더해지고 있다. 2001년 경찰청에서 발간된 통계보고서<sup>4)</sup>에 따르면 2000년의 국내 총 교통사고 건수는 290,481건으로 1990년의 255,303건에 비해 계속적으로 증가해 온 것을 알 수 있다. 그 중 2001년의 교차로 사고는 52,027건으로 총 사고건수의 약 18%를 차지하고 있다. 이러한 통계는 교차로 사고가 전체 사고에 비교적 많은 영향을 주고 있으며 교차로 안전에 대한 정책수립이 시급하다는 것을 보여주고 있다. 교차로는 도로의 중요한 부분으로서 교차로설계와 운영에 따라서 도로의 서비스 수준, 효율성, 안전성이 좌우된다. 그러므로 교차로에 관련된 여러 조건들을 분석하여 교차로에서 사고가 일어나는 원인을 예측하고, 교차로 위험 순위에 따른 적절한 대비책을 사전에 마련할 수 있게 된다면 안전측면에서 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 과거의 연구문헌들을 고찰한 후, 교차로 사고에 영향을 주는 요소들을 분석하였다. 또한 우리나라 교차로의 실정에 맞도록 비선형 사고예측모형을 구축하고 위험수준을 구분하였다.

### 2. 연구 범위 및 방법

#### 1) 연구의 시간적, 공간적 범위

- 1991~2001년 10년 간 지역별 사고자료<sup>4)</sup>
- 2001년 각 시도별 사고났은 곳<sup>5)</sup> 사고자료
- 2001년 원주시 신호교차로 64곳의 사고자료와 교차로 현황 조사자료

#### 2) 연구의 방법

- 기존 연구에 대한 문헌고찰
- 연구대상 신호교차로의 사고 및 현황분석
- 신호교차로 사고에 영향을 주는 요인분석

- 교차로 사고예측모형개발과 위험수준연구
- 모형의 적합도 검증

## II. 기존문헌고찰

### 1. 사고 유발요인에 따른 사고예측모형

#### 1) 교통량과 사고와의 관계

James A. Bonneson<sup>12)</sup>의 연구에서는 교차로의 교통량과 사고자료를 분석하였다. 그 결과 교통량과 사고와의 관계를 음지수분포로 분석하여 주도로와 부도로 교통량과 사고와의 관계를 정의함으로써 사고예측모형을 개발하였다.

#### 2) 도로의 중앙처리와 사고와의 관계

James A. Bonneson과 Patrick T. McCoy<sup>10)</sup>의 연구에서는 중앙분리시설로 분리, 두 방향 좌회전 차선으로 분리, 그리고 분리되지 않았을 때를 구분하여 각각의 조건에 따른 사고예측모형을 분류하였다.

#### 3) 신호현시와 사고와의 관계

Sheffer와 Janson<sup>9)</sup>의 연구에서는 신호현시 방법에 따라 교차로 사고율에 영향을 준다는 결론에서 사고예측모형을 개발하였다. 분석결과 전체 사고건수와 교차로 진입 시 사고건수는 선행 좌회전 현시가 후행 좌회전 현시에 비해 많고, 각도 충돌의 경우 후행 좌회전 현시에서 사고가 더 많이 발생한다고 하였다.

### 2. 분석이론에 따른 사고예측모형

#### 1) 다중선형회귀분석을 이용한 사고예측모형

이 분석은 오차분산을 줄이고 사고에 대해 보다 충실한 설명이나 예측이 가능하고, 사고에 영향을 주는 독립변수의 값을 통제된 상태에서 특정 독립변수가 사고에 독립적으로 행사하는 영향력을 측정할 수 있다. 따라서 상대적인 비교와 보다 정밀한 인과관계의 분석이 가능하다.

#### 2) 수량화 이론을 이용한 사고예측모형

김원철의 '교차로 안전평가수법에 대한 연구'<sup>7)</sup>에서

수량화 1류를 이용하여 구축한 교통사고예측모형은 설명변수들의 각 경우를 조합하여 변수들간의 상대적 중요도, 아이템과 카테고리의 수량, 아이템의 범위, 증상관계수 등으로 사고예측모형을 구축하였다.

**3) 상충이론을 이용한 사고예측모형**

이수법의 '상충기법을 이용한 교차로 안전진단 기법에 관한 연구'<sup>8)</sup>에서는 Sweden의 상충분석기법을 이용하여 같은 지점에서의 상충건수와 사고건수에 영향을 주는 도로요소 및 교통량은 같다고 하여 상관관계식을 도출하였다.

**III. 교차로 변수자료 조사 및 분석**

**1. 설명 변수의 자료조사**

**1) 현장조사자료**

원주시의 교차로 중에서 사고가 많은 T자형, Y자형, 십자형 신호 교차로만을 대상으로 교차로의 교통조건, 도로조건, 교통운영조건내의 여러 가지 요소들과 사고와의 관계를 분석하였다. 사고자료는 2001년 한해 동안의 사고건수를 조사한 것이므로 2001년 이후에 교통조건, 도로조건, 교통통제조건에 변화가 있었던 교차로는 조사대상에서 제외하였다. 교통조건에 해당하는 요소들에 대한 조사는 날씨가 맑은 평일 오전, 오후 침두 시간에 실시하였다.

**2) 현장조사자료의 수집방법**

**(1) 교통조건조사**

교통조건은 그 시설을 이용하는 교통류의 특성을 말하며, 시설을 이용하는 교통의 구성과 사용되고 있는 교통통제의 종류와 관계된다.

- 직진 교통량(대/시간)
- 좌회전 교통량(대/시간)
- 우회전 교통량(대/시간)
- 교차로부근의 버스정차활동
- 교차로부근의 노상 주·정차활동

직진 교통량, 좌회전 교통량, 우회전 교통량은 날씨가 맑은 평일 오전 7:30~8:30, 오후 13:00~

〈표 1〉 현장조사 자료

조건	조사 자료	
교통 조건	교통량	직진교통량
		좌회전교통량
		우회전교통량
	버스정차활동	있음, 없음
	노상주차활동	있음, 없음
도로 조건	차로수	좌회전,우회전 차로수 직진 차로수
	기하형태	십자형, T자형, Y자형 기타
	보·차도구분	있음, 없음
	횡단보도	있음, 없음
	교통섬	있음, 없음
	좌·우회전 차선형태	있음, 없음
	방향별 차로수 감소	있음, 없음
	중앙분리시설	있음,없음
	유턴	있음,없음
		차로폭, 평균 도로폭, 길어깨폭, 회전반경, 면적, 상충점수, 교차각, 시거, 접근속도
교통 통제 조건	통제방식	비보호 좌회전
		회전금지
		보호좌회전
	현시방식, 신호주기	
기 타	지역	시가지, 비시가지
	주변토지이용	상업
		주거
		공업
	학교	

14:00, 오후 17:30~18:30 침두시간 동안의 각 접근로에서 모든 이동류별로 교통량을 측정하여 시간당 교통량(대/시간)을 구하였다. 또한 교차로부근의 노상주차활동은 정지선에서 75m이내에서 발생하는 모든 주차활동, 주차면에 들어오거나 나가는 활동 유·무를 측정하였다. 버스정차활동은 교차로부근에서 정차하는 시내버스의 유·무를 측정하였다.

**(2) 도로조건 조사**

도로조건이란 시설의 물리적 특성에 관계되는 것으로서 도로의 종류와 주변개발환경, 차선 폭, 갓길 폭과 측방 여유폭, 설계속도, 평면 및 종단선형 등의 기하구조를 포함한다.

- 차로폭과 도로폭 : 각 접근로의 차로폭과 도로폭을 조사하였고 접근로별로 폭이 다를경우 각 방향별로 모두 측정하여 평균을 구하였다.
- 차선수 : 전체 차선수는 주도로, 부도로의 차선수를 조사하였고, 좌회전 차선수는 좌회전과 직진 공용차선을 제외한 좌회전 전용차선만 측정하였다.
- 기하형태 : 십자형, Y자형, T자형, 기타
- 좌·우회전 차선형태: 좌·우회전이 전용차선으로 운영되는지 직진과 공용차선으로 운영되는지 구분하여 조사하였다.
- 차로수감소 유·무 : 주도로, 부도로의 차량이 진행 방향으로 진행시 교차로 통과 후 차로수가 감소되었는지 조사하였다.
- 교차로면적 : 각 교차로 면적은 모든 방향의 정지선, 또는 횡단보도가 있는 경우 횡단보도의 옆선을 기준하여 각 방향에 직선을 그려 만들어지는 사각형의 넓이를 교차로 면적으로 정하였다.
- 교차각 : 십자형, T자형, Y자형 교차로들의 주방향과 부방향의 도로가 교차하는 지점의 교차각을 측정하였다.
- 시거 : 시거계산을 위해 진입속도가 필요하나 전체

교차로의 속도를 측정하기 곤란하여 정지선후방 10m에서 좌우방향시거를 측정하였다.

(3) 교통통계조건 조사

교통통제는 일반적으로 주차, 차선이용, 회전, 속도통제 등이 있는데 이것은 기존도로를 최대한 효율적으로 활용하게 하고, 교통사고를 줄일 수 있는 매우 효과적인 방법이다. 그러므로 이 연구에서는 각 교차로들의 통제방식, 현시방식, 현시수, 신호주기 등을 조사하여 사고와 어떠한 관계가 있는지 알아보았다.

· 통제방식: 비보호좌회전, 회전금지, 보호좌회전

· 현시방식

1현시 : 직진신호

2현시 : 양방향 보호좌회전(전용좌회전→직진)

일방보호좌회전(동시신호→직진)

방향별분리좌회전(각 방향 동시신호)

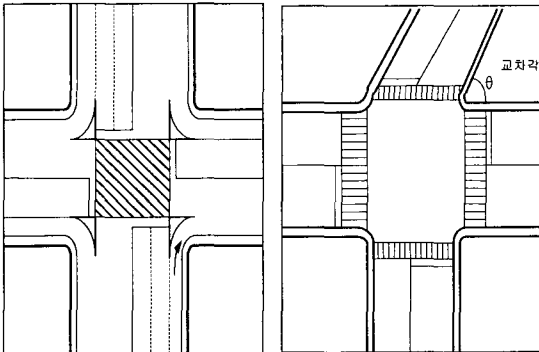
3현시 : 양방 및 일방보호 좌회전

(전용좌회전→동시신호→직진)

선행·후행좌회전(동시신호→직진→동시신호)

방향별 분리 및 양방보호 좌회전

(동시신호→전용좌회전→동시신호)



<그림 1> 교차로 면적

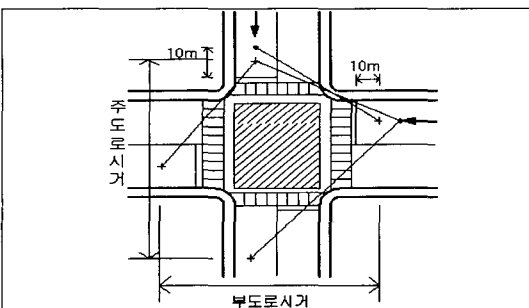
<그림 2> 교차각

2. 설명변수자료의 분석

교차로의 위험을 판단하는 방법으로서 교통사고건수에 의한 방법은 총 사고건수가 많은 지점부터 배열하는 방법으로서 각 지점의 교통량을 반영하지 않기 때문에 이 방법을 사용하면 교통량이 많은 도로를 위험도로 선정하는 경향이 있다. 그러므로 교통량의 영향을 반영하지 못하는 단점을 보완하기 위해 교차로와 같이 한 지점에 대한 경우의 교통사고율을 이용하여 설명변수와의 관계를 분석하였다.

1) 사고자료의 분석

조사대상 교차로 64개 중 21개 교차로가 1년에 11~15건의 사고가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 20건 이상 사고가 발생하는 교차로는 전체의 15%정도로 적은 비율을 차지하여 주로 교차로사고는 20건 이하로 발생하는 것을 알 수 있다.



<그림 3> 시거

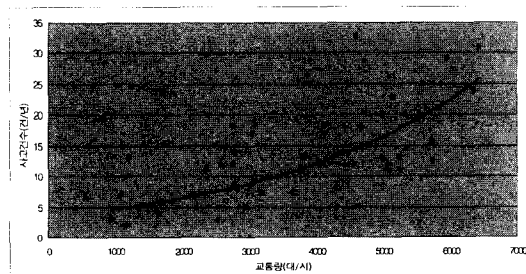
〈표 2〉 조사대상교차로 사고현황

사고건수(건)	교차로수	백분율(%)	누적백분율(%)
0~5	12	18.75	18.75
6~10	11	17.19	35.94
11~15	21	21.81	68.75
16~20	8	12.50	81.25
21~25	3	4.68	85.93
26~30	2	3.13	89.06
31~35	3	4.69	93.75
36~41	4	6.25	100

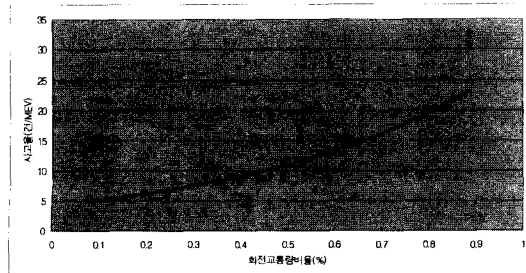
2) 교통조건에 따른 사고현황

교차로 사고건수와 평균일교통량의 관계를 산점도로 나타낸 결과 〈그림 4〉와 같이 지수관계를 나타내는 것을 알 수 있었다. 교통량과 사고와의 상관관계 분석 결과 상관계수 값이 0.666이며 유의확률이 0.001로 95%의 신뢰수준에서 만족하였다. 회전교통량과 사고와의 관계는 선형모형이나 2차 함수 모형보다 지수모형과 적합하게 증가하는 형태를 보였다. 상관계수도 0.30054, 유의확률 0.0462로 95%의 신뢰수준에서 만족하였다.

교차로부근의 정지선에서 75m 이내에서 발생하는 버스정차활동 및 노상주차활동 유·무에 따라 사고발



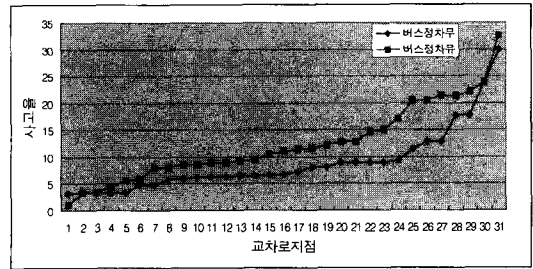
〈그림 4〉 사고건수와 교통량과의 관계



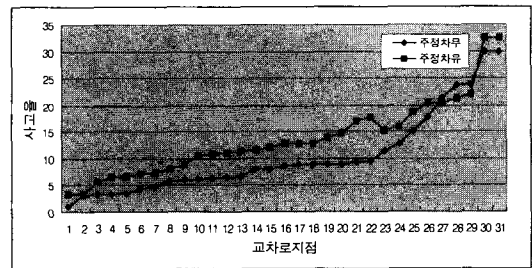
〈그림 5〉 회전교통량비율과 사고율과의 관계

〈표 3〉 버스정차 및 노상주차 활동의 ANOVA분석

	버스정차활동	노상주차활동
상관계수	0.760	0.670
F Value	2.879	4.048
Pr>F	0.0003	0.0048



〈그림 6〉 버스정차 유·무와 사고율과의 관계



〈그림 7〉 주정차 유·무와 사고율과의 관계

생에 영향을 준다는 것을 증명하기 위해 ANOVA 분석으로 유의수준 5%에서 검정하였다. 그 결과 버스정차 및 노상주차활동은 상관계수가 0.76과 0.67으로 비교적 상관계수가 높은 관계에 있는 것으로 나타났다.

3) 도로조건에 따른 사고현황

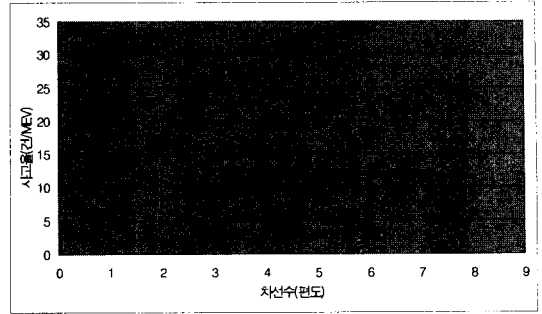
도로조건에 포함되는 요소 중 보도와 차도의 분리, 횡단보도, 길어깨, 중앙분리시설 등은 현장조사결과 자료의 취약성 때문에 분석대상에서 제외하였다. 도로조건 요소들의 분석은 범주형 자료와 수치형자료로 나누어 실시하였다. 범주형 요소들과 수치형 요소들의 분석 결과는 〈표 4〉, 〈표 5〉와 같다. 교차각과 도로폭은 상관계수가 매우 작아 사고에 거의 영향을 주지 않으므로 비교적 상관계수가 높은 차선수, 시거, 교차로면적을 사고에 영향을 주는 요소로 채택하였다.

〈표 4〉 범주형요소들의 변수채택

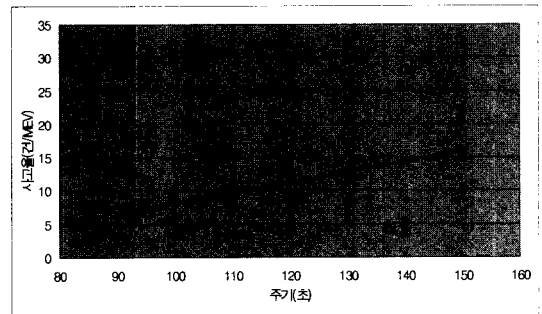
	기하형태	교통섬 유·무	U-turn 유·무
유의확률	0.0805	0.3499	0.0003
변수채택여부	N	N	Y
	유도선 유·무	좌회전 차선수	
유의확률	0.3539	0.2286	
변수채택여부	N	N	

〈표 5〉 사고와 도로조건 요소들의 상관분석

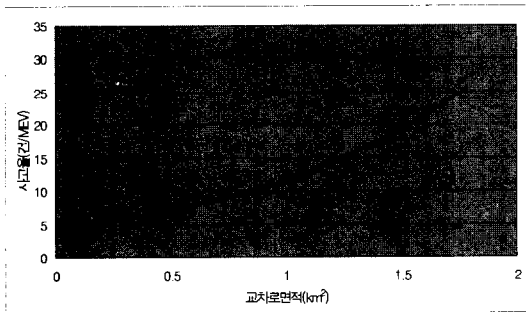
	교차각	차선수	시거
상관계수	-0.055	0.339	0.306
유의확률	0.334	0.004	0.014
변수채택여부	N	Y	Y
	도로폭	교차로면적	
상관계수	-0.048	0.756	
유의확률	0.357	0.000	
변수채택여부	N	Y	



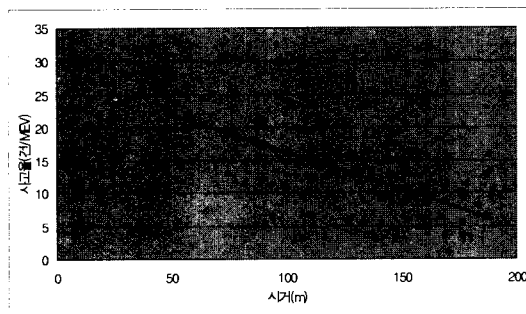
〈그림 10〉 사고율과 차선수와의 관계



〈그림 11〉 주기와 사고율과의 관계



〈그림 8〉 사고율과 교차로면적과의 관계



〈그림 9〉 사고율과 시거와의 관계

〈표 6〉 사고와 교통통제조건의 상관분석

	현시	통제방식	주기
상관계수	0.1010	0.0028	0.225
유의확률	0.2488	0.8222	0.04
채택여부	N	N	Y

시와 통제방식은 범주형 자료로 유의확률이 5%의 유의수준에 만족하지 않으므로 사고발생에 영향을 준다고 말할 수 없다. 수치형 자료인 주기의 경우 5%의 유의수준에 만족하고 상관계수도 0.251인 선형의 상관관계를 가진다는 것을 알 수 있다.

5) 기타 조건에 따른 사고현황

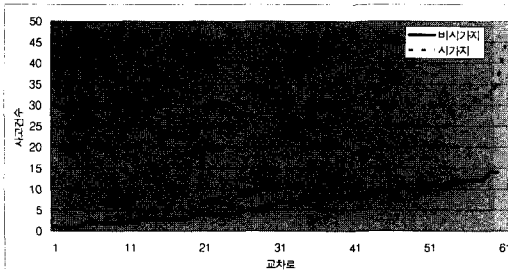
(1) 지역유형별 사고현황

〈그림 12〉와 같이 시가지, 비시가지 교차로 자료를 오름차순으로 나타낸 결과 시가지의 교통사고 건수가 비시가지의 교통사고 건수보다 높게 분포되는 것을 볼 수 있다.

따라서 조사결과를 통계적으로 검증하기 위해 유의수준 5%에서 Anova 분석을 이용하여 검증해 본 결과 유의확률이 0.0001로 모형이 매우 유의함을 알 수

4) 교통통제조건에 따른 사고 현황

통제방식, 현시수, 신호주기 등이 사고발생에 영향을 미치는지 알아보기 위한 분석결과는 〈표 6〉과 같다. 현

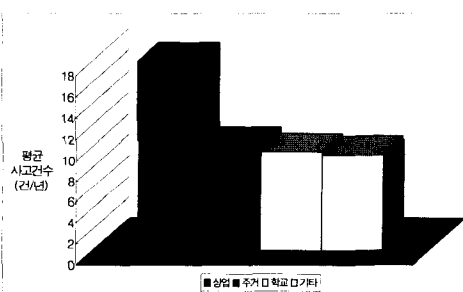


〈그림 12〉 지역유형별 사고현황

있었다. 즉, 교차로가 시가지에 위치하였는지 비시가지에 위치하였는지에 따라 사고 발생 수에 차이가 있다는 결론을 유의수준 5%에서 내릴 수 있다.

(2) 토지이용별 사고현황

토지이용이 사고에 영향을 주는 지 알아보기 위하여 교차로가 위치해 있는 곳의 토지이용을 주거, 상업, 학교로 나누고 그 이외 공업, 농업 용지 등을 기타로 구분하여 조사하였다. 총 조사대상 교차로 중에서 상업지역에 위치한 교차로가 35% 가장 많았고, 주거지역이 31%, 학교지역 16%, 기타가 18%의 비율로 구성되었다. 이 자료를 이용하여 좀 더 정확한 분석 결과를 얻기 위해 ANOVA 분석으로 유의수준 5%에서 검정한 결과 유의확률이 0.0064로 매우 작게 나타나 토지이용에 따라 교통사고 발생건수에 차이가 있다는 것을 알 수 있다.



〈그림 13〉 토지이용별 사고발생

〈표 7〉 토지이용과 사고와의 ANOVA 분석결과

R2	C.V	$\sqrt{MSE}$	Count Mean	
0.237019	58.45892	7.19402616	12.30612245	
DF	Type I SS	Mean Square	F-value	Pr > F
3	723.47760	241.1592025	4.66	0.0064
DF	Type III SS	Mean Square	F-value	Pr > F
3	723.47760	241.1592025	4.66	0.0064

3. 설명변수의 선택

앞의 분석들을 바탕으로 하여 교차로 교통사고에 영향을 주는 변수 중 선택된 변수는 버스정차활동, 노상주정차활동, 전체교통량, 회전교통량비율, 전체차선수, 유턴 유·무, 교차로면적, 시거, 주기이다. 그러나 버스정차활동, 노상주정차 활동 유·무와 지역유형, 토지이용은 사고와 상관관계가 있으나 모형 개발에 있어 사고를 예측하는데 매우 적은 영향을 주는 것으로 나타났다. 따라서 이 분석의 정확성을 위해 단계 추출법을 사용한 결과 변수들간의 상관관계가 적게 분석되어 독립성을 갖는 변수로 시거, 교차로면적, 주기, 회전교통량 비율이 선택되었다.

이렇게 선택된 변수들을 일괄적으로 선형회귀 분석하여 모형을 만든 결과 결정계수 값이 0.479로 비교적 사고건수를 정확하게 반영하지 못하는 것으로 나타났다. 그러므로 각각의 변수의 분포형태에 적합한 모형을 개발하여야 한다는 것을 알 수 있다.

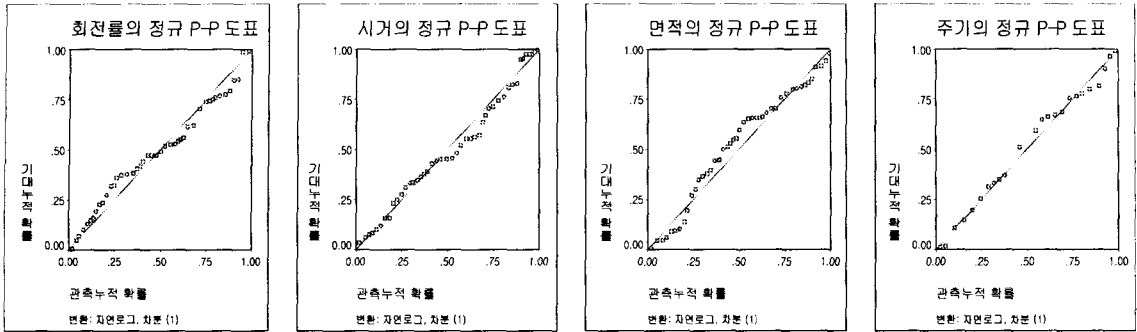
〈표 8〉 단계선택법 선택 요소의 상관계수

	사고율	면적	시거	주기	회전율
사고율	1.000	0.507	-0.306	0.225	0.242
(유의확률)	0.000	0.000	0.014	0.040	0.029
면적	0.507	1.000	-0.130	0.127	0.129
(유의확률)	0.000	0.000	0.156	0.038	0.158
시거	-0.306	-0.130	1.000	-0.340	0.106
(유의확률)	0.014	0.156	0.000	0.003	0.207
주기	0.225	0.127	-0.340	1.000	-0.173
(유의확률)	0.040	0.038	0.003	0.000	0.089
회전율	0.242	0.129	0.106	-0.173	1.000
(유의확률)	0.029	0.158	0.207	0.089	0.000

〈표 9〉 선형회귀분석을 이용한 사고예측모형 분석 결과

R	R제곱	수정된 R제곱	추정값의 표준오차
0.717	0.514	0.479	0.4923

모형	비표준화계수		유의확률
	B	표준오차	
상수	3.038	0.388	0.000
면적	1.492E-03	0.000	0.000
시거	-1.7E-02	0.004	0.000
주기	-8.0E-03	0.002	0.000
회전교통량비	5.711E-03	0.004	0.169



〈그림 14〉 채택된 변수들의 P-P 도표

선택변수인 면적, 시거, 주기, 회전교통량비율은 회귀분석 시 〈그림 14〉와 같이 P-P 도표에서의 직선에 자료들이 거의 일치하므로 정규분포를 따르고 있다는 것을 알 수 있다.

**IV. 교차로사고예측모형개발 및 위험수준결정**

**1. 사고예측모형의 개발**

상황이나 조건에 관계없이 어떤 교차로에서 하나의 사고가 발생하면 1건이라고 계산하는 사고건수와 달리 사고율은 교통량을 고려하여 계산한 방법이므로 사고예측모형 개발 시에는 사고율과 여러 조건들과의 관계를 분석하여야 하는 것이 정확할 것이다.

따라서 교차로와 같이 한 지점에 대한 경우의 교통사고율 방법을 사용하여 기본모형을 구현하였다. 교차로와 같이 한 지점에 대한 경우의 교통사고율은 식(1)로 나타낸다.

$$R_a = \frac{N_a \times 1,000,000}{365 \times N_y \times N_{EV}} \tag{1}$$

즉, 이 식을 이용하여 1년 동안의 사고건수  $N_a$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_a = N_{MEV} \times R_a \tag{2}$$

- $R_a$  : 예측사고율(건수/1 MEV)
- $N_a$  : 교통사고건수(년 간 총사고건수)
- $N_y$  : 관측년수(년)
- $N_{EV}$  : 일평균진입교통량(대/일)
- $N_{MEV}$  : 연간진입교통량(MEV)

3장에서 분석한 바와 같이 사고율과 관계가 있는 변수인 교차로면적, 시거, 주기, 회전교통량비율 중 교차로 면적과 회전교통량비율은 사고율과의 관계에 있어 증가하는 관계가 지수함수의 형태이므로

$$\text{사고율} = \text{Exp}(\text{상수} \times \text{교차로면적})$$

$$\leftarrow R_a = e^{c \times \text{교차로면적}} \tag{3}$$

$$\text{사고율} = \text{Exp}(\text{상수} \times \text{회전교통량비율})$$

$$\leftarrow R_a = e^{d \times \text{회전교통량비율}} \tag{4}$$

시거와 주기는 직선의 형태를 보이므로

$$\text{사고율} = \text{상수} \times \text{주기} + \text{상수} \times \text{시거}$$

$$\leftarrow R_a = a \times \text{주기} + b \times \text{시거} \tag{5}$$

위의 식들로부터 비선형회귀모형 사고율  $R_a$ 는

$$R_a = a \times \text{주기} + b \times \text{시거} + e^{c \times \text{교차로면적}} + e^{d \times \text{회전교통량비율}} \tag{6}$$

로 나타낼 수 있다.

비선형 회귀분석을 통해 각 회귀계수들의 추정치를 구하고 기본모형식에 대입하여 개발한 평균사고율 모형식은 식(7)과 같다.

모형식의 수정결정계수는 0.62952로 종속변수의 총 변동 중에서 회귀식에 의해 설명되는 비율이 약 63%임을 알 수 있고, 유의확률이 0.001로 모형과 변수들이 유의함을 알 수 있다.

$$R_a = 0.0525 \times C - 0.0646 \times D + e^{0.00278 \times A} + e^{0.0249 \times R_T} \tag{7}$$



- $R_a$  : 평균사고율(건수/1MEV)
- $C$  : 주기(초)
- $D$  : 시거(m)
- $A$  : 교차로면적( $m^2$ )
- $R_T$  : 회전교통량비율(%)
- $N_{MEV}$  : 연간진입교통량(MEV)
- $N_a$  : 교통사고건수(년 간 총사고건수)

식(7)을 식(2)에 대입하면 다음과 같은 교차로 교통사고예측모형 식(8)이 완성된다.

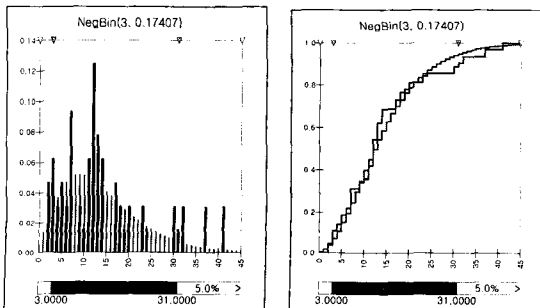
$$N_a = N_{MEV} \times (0.0525 \times C - 0.0646 \times D + e^{0.00278 \times A} + e^{0.0249 \times R_T}) \quad (8)$$

## 2. 위험수준의 결정

### 1) 사고건수에 따른 위험수준 결정

지역 내 교차로의 안전성을 보다 효율적으로 개선하기 위해서는 현재 운영되고 있는 교차로 중 위험도가 높은 교차로를 우선적으로 개선해야 할 것이다. 그러므로 본 연구에서는 위험수준을 4단계로 나누어 효율적인 교차로 안전성 향상에 기여하도록 하였다. 위험수준은 A, B, C, D 네 가지 범위로 나누었다.

이 범위는 2001년 각 시도별 도로별 사고 잦은 곳 현황에서 교차로 사고건수 자료를 수집하여 전체 대상교차로를 25%씩 나누어 해당되는 사고건수를 기준으로 위험범위를 구분해 보았다. 또한 <그림 15>와 같이 사고자료를 @RISK 프로그램을 이용하여 자료에 적합한 분포를 찾은 결과 Negative Binomial 분포를 따르는 것으로 나타났다. 따라서 상승누적곡선을



<그림 15> 사고건수의 적합분포 및 상승누적곡선

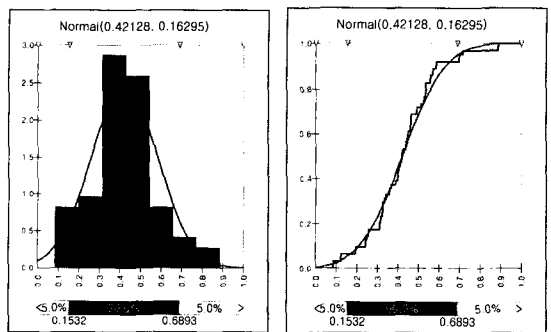
<표 10> 위험수준 기준

위험수준	구분	기준사고건수
A	낮은 위험	0건 이상, 6건 이하
B	위험	7건 이상, 12건 이하
C	높은 위험	13건 이상, 19건 이하
D	매우높은 위험	20건 이상

을 이용하여 25%씩 범위를 나누어 위험수준을 구분한 결과는 <표 10>과 같다.

### 2) 회전교통량비율에 따른 위험수준

회전교통량비율 분석결과 좌회전과 우회전 교통량 비율이 30~50%일 때의 교차로수가 가장 많았고, 사고건수가 가장 많았던 교차로의 회전교통량비율은 70~80% 범위 내에 있는 것으로 분석되었다. 따라서 앞의 분석과 같이 회전교통량비율이 높아질수록 사고율이 높다는 것을 확인할 수 있었고, <그림 16>과 같이 사고자료를 @RISK 프로그램을 이용하여 자료에 적합한 분포를 찾은 결과 정규 분포를 따르는 것으로 나타났다. 따라서 25%씩 범위를 나누어 위험수준을 구분한 결과는 <표 11>과 같다. 4단계의 위험수준으로 분류한 결과 회전교통량비율이 55%이상일 경우 '매우높은위험'으로 분류되었고, 35%이하일 경우 '낮은위험'으로 분류되었다.



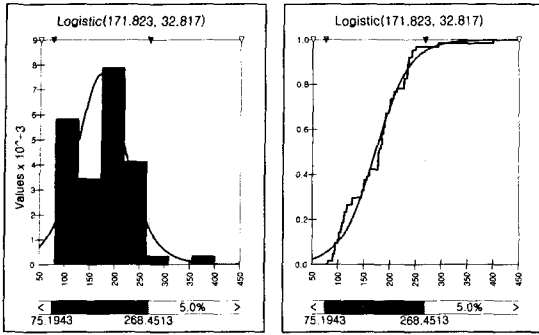
<그림 16> 회전교통량비율의 적합분포 및 상승누적곡선

<표 11> 회전교통량비율에 따른 위험수준 구분

낮은 위험	위험	높은 위험	매우높은위험
0~35(%)	35~45(%)	45~55(%)	55(%)이상

### 3) 시거에 따른 위험수준

교차로 분석결과 시거가 100~150m인 교차로가



〈그림 17〉 시거의 적합한 분포 및 상승누적곡선

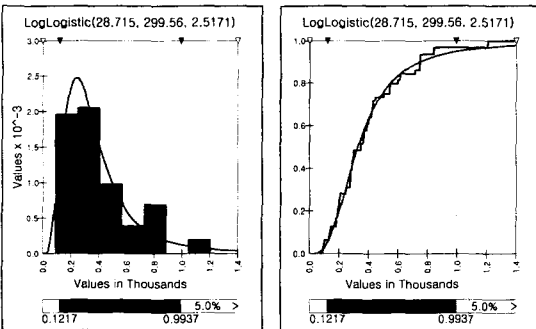
〈표 12〉 시거에 따른 위험수준 구분

낮은 위험	위험	높은 위험	매우높은위험
220m 이상	180~220m	140~180m	140m이하

가장 많았고, 300m의 넓은 시거를 확보한 교차로는 1곳, 50m의 매우 열악한 시거를 가진 곳은 5곳이었다. 〈그림 17〉과 같이 사고자료를 @RISK 프로그램을 이용하여 자료에 적합한 분포를 찾은 결과 Logistic 분포를 따르는 것으로 나타났다. 상승누적분포를 이용하여 25%씩 범위를 나누어 위험수준을 구분한 결과는 〈표 12〉와 같다.

4) 면적에 따른 위험수준

교차로면적은 교차로의 규모와 관계없이 교차로 내부의 도류화를 어떻게 처리했는가에 따라 면적 크기가 좌우된다. 따라서 교차로면적이 클수록 상충기회가 잦기 때문에 사고의 위험이 높다. 〈그림 18〉과 같이 사고자료를 @RISK 프로그램을 이용하여 자료에 적합한 분포를 찾은 결과 LogLogistic 분포를 따르는 것으로 나타났다. 따라서 상승누적곡선을 이용하



〈그림 18〉 교차로면적의 적합분포 및 상승누적곡선

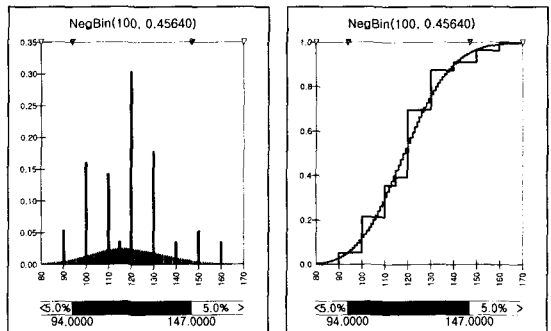
〈표 13〉 면적에 따른 위험수준 구분

낮은 위험	위험	높은 위험	매우높은위험
200m <sup>2</sup> 이하	200~300m <sup>2</sup>	300~500m <sup>2</sup>	500m <sup>2</sup> 이상

여 25%씩 범위를 나누어 위험수준을 구분한 결과는 〈표 13〉과 같다. 조사교차로 분석 결과 교차로면적이 200m<sup>2</sup>이하일 경우 '낮은위험'으로 분류되었고, 500m<sup>2</sup> 이상의 교차로면적을 가진 교차로에 대해서는 '매우높은위험'으로 분류되었다.

5) 주기에 따른 위험수준

대부분의 교차로의 주기는 100초와 120초로 운영되고 있었다. 주기가 길어질수록 차량의 접근속도가 높아지는 경향이 있어 사고의 위험이 크다. 〈그림 19〉와 같이 사고자료를 @RISK 프로그램을 이용하여 자료에 적합한 분포를 찾은 결과 Negative Binomial 분포를 따르는 것으로 나타났고, 상승누적곡선을 이용하여 25%씩 범위를 나누어 위험수준을 구분한 결과는 〈표 14〉와 같다. 그러므로 주기가 110초일 때 '낮은위험', 140초 일 때 '매우높은위험'으로 분류하였다.



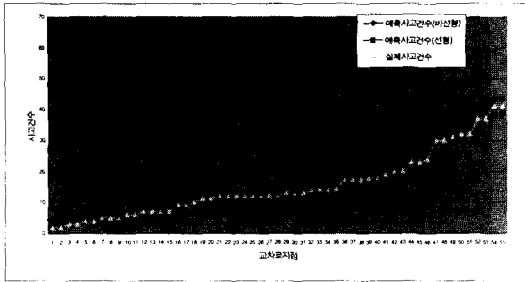
〈그림 19〉 주기의 적합분포 및 분포의 상승누적곡선

〈표 14〉 주기에 따른 위험수준 구분

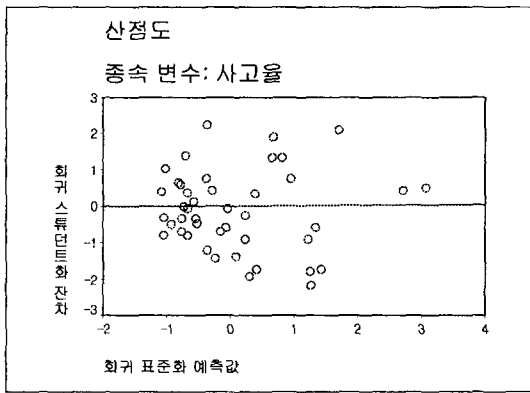
낮은 위험	위험	높은 위험	매우높은위험
90, 100초	110, 120초	130초	140초

3. 모형의 검증

연구대상 조사자료의 분석으로 도출한 예측사고건수가 실제사고건수와 신뢰성이 있는지 검증하는 것이 필요하다. 먼저 개발된 모형은 상관계수가 0.879로



(그림 20) 예측사고건수와 실제사고건수비교



(그림 21) 스튜던트화 잔차 산점도

상당히 강한 양의 상관관계를 가지고 있으며 통계적으로 매우 유의하다. 같은 변수로 개발한 선형회귀모형에 비해 비선형모형이 오차가 적고, 정확한 것으로 분석되었다.

또한 스튜던트화잔차가 정규성과 등분산성의 가정에 만족한다. 두 번째 검정 방법인 Spearman의 순위상관분석 결과 스피어만 순위상관계수는 0.985로서 예측된 사고건수와 실제사고건수의 순위가 거의 일치하고 있다는 것을 알 수 있다. 마지막으로 분류한 위험수준으로 예측된 사고건수와 실제 사고건수를 비교한 결과는 약 80%가 위험수준이 같았다.

**V. 결론 및 향후과제**

다음은 본 연구를 통해 얻어진 결과이다.

- 교통조건들 중 교통량, 회전 교통량비율이 사고율에 영향을 주는 것으로 나타났다.
- 도로조건들 중 유턴 유·무, 차선수, 시거, 교차로면적이 사고에 영향을 주는 것으로 나타났다. 특히

교차로면적은 사고에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다고, 시거는 사고율과 음의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다.

- 교통통제 조건 요소들 중 주기만이 사고에 영향을 주는 것으로 분석되었다.
- 교차로면적과 회전교통량비율은 비선형 회귀모형식으로 사고예측모형을 개발하였다.
- 선택된 변수들로 개발된 사고예측모형은 결정 계수 값이 0.629로 선형회귀분석모형보다 비선형 모형이 더 잘 설명한다고 할 수 있다.
- 위험수준을 분류하여 실제 사고 건수를 비교한 결과 80%이상의 정확도를 보였다.
- 모형의 검증을 통해 이 사고예측 모형이 교차로의 안전성을 진단할 수 있는 것을 알 수 있다.
- 그러나 교통사고의 원인은 위에서 분석되었던 교차로의 교통, 도로, 교통통제조건들 외에도 운전자의 운전실력이나 나이, 성격 등의 인적요인, 차량의 종류, 무게, 작동상태 등의 차량요인, 날씨, 사회환경과 같은 환경적 요인 등의 다양한 요인에도 영향을 받는다. 그러나 이 연구에서는 조사의 어려움으로 인하여 운전자 특성이나 차량에 관한 요소는 배제하였기 때문에 정확한 사고건수를 예측하는 데에 한계가 있다. 따라서 인적요인, 차량요인, 환경요인을 고려한 사고예측모형 개발에 관한 연구가 향후 진행되어야 할 것이다.

**참고문헌**

1. 도철용(1998) 교통공학원론(上), 청문각.
2. 하태준·강정규·박재진(2001), "신호교차로 교통사고 예측모형의 개발 및 적용 (광주광역시 4-지 신호교차로를 중심으로)", 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.207~218.
3. 심관보(1998), "교차로 교통사고 위험도평가지수의 개발에 관한 연구", 교통안전연구논집.
4. 경찰청(2001) "교통통계".
5. 도로교통안전관리공단 교통사고 종합분석센터(2001), "전국 시도 및 도로별 사고 잦은 곳 현황", 도로교통안전관리공단.
6. 임윤상(1993), "도로특성이 교통사고에 미치는 영향 분석", 연세대학교 대학원 석사논문.
7. 김원철(2000), "교차로 안전평가기법에 대한 연구".

- 원광대학교 토목환경공학과 석사논문.
8. 이수범·강인숙(1999), "상충기법을 이용한 교차로 안전진단에 관한 연구", 대한교통학회지, 제 17권 제4호, 대한교통학회, pp.9~17.
  9. Sheffer and Janson(January 1999), Accident and capacity comparisons of leading and lagging left turn signal phasings, TRB.
  10. James A. Bonneson, Patrick T. McCoy, Effect of Median Treatment on Urban Arterial Safety an Accident Prediction Model TRR 1581.
  11. Zador. p. Stein. H, Shapiro. S, Tarnoff. P, Effect of signal timing on traffic flow and crashes at signalized intersections, TRR 1010.
  12. JamesA. Bonneson and Patrick T. McCoy, Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highways, TRR 1401.

✉ 주 작 성 자 : 홍정열

✉ 논문투고일 : 2002. 11. 1

논문심사일 : 2002. 11. 16 (1차)

2003. 1. 3 (2차)

심사판정일 : 2003. 1. 3

✉ 반론접수기한 : 2003. 4. 30