

■ 論 文 ■

# 신설 도시부 도로의 장래 교통량 변화를 반영한 교통사고 예측모형 개발

## Development of Traffic Accident Prediction Models Considering Variations of the Future Volume in Urban Areas

이 수 범

(서울시립대학교 교통공학과 조교수)

홍 다 희

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

### 목 차

- I. 서론
    - 1. 연구의 배경 및 목적
    - 2. 연구의 내용 및 방법
  - II. 기존 연구문헌 고찰
    - 1. 교통사고비용 산정사례
    - 2. 국내외 사고예측모형
    - 3. 사고유발요인과 사고와의 관계
  - III. 도로의 분류 및 구간선정
    - 1. 도로의 분류기준 제시
  - 2. 도시지역과 지방지역의 분류기준
  - 3. 도로의 물리적 요인 및 분석구간 선정
  - IV. 데이터 분석 및 사고예측모형 개발
    - 1. V/C에 따른 도로 유형 분류
    - 2. 모형구축
  - V. 도로 타당성 조사시 이용방안
  - VI. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 사고예측모형, V/C, 교통사고감소편익, 도로의 경제성평가, 안전도

### 요 약

현재 도로사업의 타당성 조사 시 사용하는 교통사고 감소편익 산정시 도로등급별로 사고율을 일률적으로 적용하고 있고, 도로특성 및 V/C에 따른 특성이 고려되고 있지 못하고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 도로유형별 V/C 및 교통 특성을 반영하여 사고를 예측할 수 있는 모형을 개발하여 도로의 신설 및 개량에 서 그 도로의 안전성을 평가할 수 있는 방법론을 제시하였다. 본 연구에서는 초기 단계로서 도시지역 도로를 대상으로 하여 모형을 개발하였다. 우선 도로유형별로 사고에 영향을 미치는 요인을 선정하였다. 이 때 선정 기준은 도로설계단계에서 획득할 수 있는 자료를 위주로 선정하였으며, 교통량, 중앙분리대의 유·무, 교차점수, 연결로수, 횡단신호등수 그리고 차로수를 선정하였다. 각 요인과 사고와의 관계를 분석해 본 결과 모두 통계적으로 유의한 수준에서 상관성이 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 도로의 등급 및 V/C에 따라 4가지 유형으로 분류하고, 각각에 대하여 포아송 선형회귀식을 통하여 사고예측모형을 도출하였으며, 실제 자료를 이용하여 검증하였다. 검증결과 모형식의 결과가 실제 사고 자료에 대해 비교적 양호하게 추정력을 보이는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 V/C에 따른 도로유형별 사고예측모형을 개발함으로써 도로의 물리적인 특성으로 인한 교통사고예측이 가능하고, 이 결과를 도로의 신설 및 개량에 대한 타당성 조사시 사고비용을 추정하는데 활용할 수 있을 것이라 판단된다. 본 연구에서 이용한 자료가 전라북도 한 지역으로 한정되어있어 전국적인 대표성을 지니는 데에는 한계가 있을 수 있다는 사실을 밝히고자한다.

The current traffic accident reduction procedure in economic feasibility study does not consider the characteristics of road and V/C ratio. For solving this problem, this paper suggests methods to be able to evaluate safety of each road in construction and improvement through developing accident prediction model in reflecting V/C ratio per road types and traffic characters. In this paper as primary process, model is made by the object of urban roads. Most of all, factor effecting on accident relying on road types is selected. At this point, selecting criteria chooses data obtained from road planning procedure, traffic volume, existence or non-existence of median barrier, and the number of crossing point, of connecting road, and of traffic signals As a result of analyzing between each factor and accident, all appear to have relatives at a significant level of statistics. In this research, models are classified as 4-categorized classes according to roads and V/C ratio and each of models draws accident predicting model through Poisson regression along with verifying real situation data. The results of verifying models come out relatively satisfactory estimation against real traffic data. In this paper, traffic accident prediction is possible caused by road's physical characters by developing accident predicting model per road types resulted in V/C ratio and this result is inferred to be used on predicting accident cost when road construction and improvement are performed. Because data using this paper are limited in only province of Jeollabuk-Do, this paper has a limitation of revealing standards of all regions (nation).

# 1. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라의 교통사고 절감편의 산정시 도로부문사업의 예비타당성 조사 표준 지침연구(제3판)의 도로 유형별 평균 교통사고 발생건수를 모든 신설 및 개량도로에 동일하게 적용하고 있다. 적용되는 교통사고<sup>1)</sup> 발생 건수는 2001년 기준으로 고속도로 3.44건/km, 일반국도 5.92건/km, 지방도 1.49건/km이다. 아직까지 우리나라에서는 신설 및 개선도로의 교통사고 절감편의 산정시 도로 및 교통특성을 반영하고 있지 못하고 있는 실정이다. 또한 V/C에 따라 교통사고율이 다르게 나타남에도 불구하고 교통사고 절감편의 산정시 초기년도의 사고건수를 최종년도까지 적용함으로써 시간의 흐름에 따라 변화하는 V/C에 따른 교통사고 변화를 예측할 수 있는 방안이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 즉 도로의 등급별로 사고율을 일률적으로 적용하고 있고, 절감편의 산정시 도로 특성 및 V/C의 변화에 따른 특성이 고려되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 도시지역의 도로 특성 및 사고 특성의 조사를 통해 도로의 설계단계에서 획득가능한 물리적인 특성과 V/C의 변화를 반영하여 보다 체계적인 도로 등급별 물리적 특성 및 V/C에 따른 사고예측모형을 개발하고자 한다. V/C에 따른 도로 유형별 사고모형을 개발함으로써 도로의 물리적인 특성으로 인한 교통사고건수 예측이 가능하고, 이 결과를 도로의 신설 및 개량에 대한 타당성 조사시, 사고비용을 추정하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

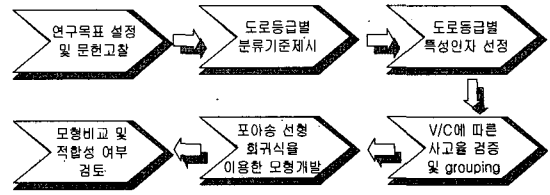
## 2. 연구의 내용 및 방법

### 1) 연구의 범위

범위	내용
시간적 범위	2001~2003년도의 도시지역의 사고 자료
공간적 범위	전라북도 내 도시지역의 국도·지방도
내용적 범위	도로유형별 V/C에 따른 사고 예측모형개발

### 2) 연구의 수행절차

본 연구의 연구수행 절차는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구의 수행절차

## II. 기존 연구문헌 고찰

### 1. 교통사고비용 산정사례

현재 국내 도로부문의 교통사고 절감 편익의 적용기준은 도로유형별 사고건수 원단위를 적용하여 교통사고 절감 편익을 산정케 하고 있다.

이러한 교통사고 절감편익의 적용기준은 도로의 전반적인 사고건수 원단위를 제시하고, 이에 따른 사고당 비용 원단위를 적용하고 있고 시간에 따라 변화하는 교통량은 반영하지 못하고 있어 교통 특성을 감안할 수 없는 문제점이 내재되어 있다. 정확한 사고예측이 불가능하여 기존 도로 개량의 경우 정량적인 분석이 어려운 실정이다.

<표 1> 도로유형별 교통사고 사상자수

도로유형	km당 사고건수	1억대·km당 사망자수	1억대·km당 부상자수	km당 사망자 발생건수
고속도로	3.44	1.78	43.56	0.33
일반국도	5.92	6.78	196.48	0.31
지방도	1.49	4.89	126.07	0.08

주) 한국개발연구원(2001), "도로부문사업의 예비타당성조사 표준 지침연구".

### 2. 국내·외 사고예측모형

김태완(1996)은 경부고속도로를 대상으로 차로수, 차로당 AADT, 선형, 구배, 유출입부에 따른 사고영향을 회귀식으로 개발한 결과 차로수가 많을수록 사고가 감소하며, 곡선반경 1000m이하와 종단구배 3%이상인 지점부터 사고가 급격히 증가한다고 보고하고 있다. Zeeger(1986)는 미국의 7개주의 2차로도로에 대한 자료를 기초로 종단선형, AADT, 차선폭, 전체 노면폭을 변수로 하는 사고모형을 개발하였다. 분석 결과, 종

1) 도로부문사업의 예비타당성 조사 표준 지침연구(제3판), 한국개발연구원(2001.12)

단선형이 완만할수록 ADT가 적을수록, 차선폭·노면 폭이 넓을수록 사고건수는 줄어들음을 보이고 있다. 또한 Hadi와 Jaradot(1998) 등은 미국 플로리다주를 대상으로 도로등급별 사고모형을 개발하였다. 모형에 사용한 변수는 구간길이, AADT, 차선폭, 길어깨폭, 중앙분리대 폭, 곡선부의 유무, 속도제한, 교차점수이다. 분석결과 4차로도로에서 중앙분리대의 폭을 넓히는 것이 안전도를 향상시키며, 양방향도로, 좌회전 차로가 있는 도로가 중앙분리대가 없는 도로보다 안전하다고 밝히고 있다.

## 2. 사고유발요인과 사고와의 관계

Kay Fitzpatrick(2000) 등은 사고분석에 있어서 기하구조변수로서 차로폭, 중앙분리대의 유/무, 곡선반경, 편향각(deflection angle) 등을 적용하여 사고와의 관계를 규명하였으며, 특히 차로폭이 동일하지 않은 도로구간에 있어서는 차로폭이 중요변수로 작용함을 모형을 통해 제시하였다. Bonneson과 Mccoy(2001)의 연구는 도로를 중앙 분리시설로 분리, 좌회전 차선으로의 분리와 비분리로 구분하여 각각의 조건에 따른 사고 예측모형을 개발하였다. 그 결과 사고는 AADT, 도로 길이, 밀도, 토지이용 등에 영향을 받는다는 결과를 제시하였다.

## Ⅲ. 도로의 분류 및 구간선정

### 1. 도로의 분류기준 제시

#### 1) 국외의 도로 분류기준

일본의 Japan Institute(2000), "Guidelines for the Evaluation of Road Investment Projects."에서는 교통사고비용 산정을 위해 도로를 고속도로와 일반도로로 분류하였다. 일반도로는 도로의 입지적 특성과 물리적인 요소인 차로수와 중앙분리대를 고려하여 사고 비용을 산정하고 있다. 미국 FHWA(1981), "Planning and Scheduling Work Zone Traffic Control".에서는 고속도로와 다차로 도로를 대상으로 도로를 도시지역, 교외지역, 지방지역 3가지 유형으로 분류하였다. 또한 도로유형별로 접근통제와 도로의 분리, 차로수에 따라 분류하여 사고율을 추정하였다.

#### 2) 국내 도로 분류기준

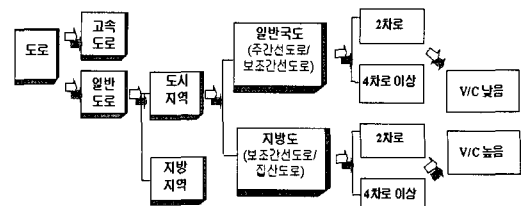
국내의 도시지역의 도로분류 기준은 크게 관할권별/기능별/폭원별에 의한 분류기준으로 <표 2>와 같다. 폭원별 분류의 경우 도로의 기능과 폭원이 모든 경우에 있어서 일치하고 있지 않아 본 연구에서는 폭원별 분류는 고려하지 않았다.

<표 2> 국내 도로 분류 현황

도로법 제11조 (관할권별)	도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제3조(기능별)	도시계획시설 기준에 관한 규칙(폭원별)
1. 고속국도	1. 고속도로	1. 광로
2. 일반국도	-도시지역: 도시고속도로	2. 대로
3. 특별시도·광역시도	-지방지역: 고속도로	3. 중로
4. 지방도	2. 일반도로	4. 소로
5. 시도	-도시지역·주간선도로	
6. 군도	-지방지역·보조간선도로	
7. 구도	·집산도로	
	·국지도로	

#### 3) 입지 및 물리적 요소를 고려한 도로 분류기준

본 연구에서는 도로법(관할권별)과 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(기능별)의 도로분류를 서로 연계하여 <그림 2>와 같이 도로등급을 분류하였다. 고속도로의 경우 도시 및 지방지역의 물리적인 요인의 차이는 존재하지만, 대상지역인 전라북도가 대도시를 끼고 있지 않은 조건을 가진 지역이라 판단되어 본 논문에서는 일반도로만을 입지적 특성을 고려하여 도시와 지방지역으로 분류하였다. 그중 도시지역의 일반국도(주간선도로와 보조간선도로 일부)와 지방도(보조간선도로와 집산도로 일부)를 대상으로 하였다. 또한 여기에 물리적 요소인 차로수(2차로, 4차로 이상)를 고려하여 도로유형을 분류하였다. 또한 이제까지 고려되지 못한 V/C에 따른 교통사고율을 적용한 모형을 구축하기 위하여 앞서 분류한 도로에 대하여 대상구간에 대한 V/C를 사고변화율(V/C가 높고, 낮음)을 분석하여 이에 따른 사고 예측모형을 구축하려고 한다.



<그림 2> 본 연구의 도로분류기준

## 2. 도시지역과 지방지역의 분류기준

도로의 도시지역과 지방지역으로 분류기준은 도시계획법과 지방자치법 7조에 근거하여 전라북도 내에서 '시(city) 즉, 인구2)가 50,000명 이상 거주하는 지역과 읍일 경우 20,000명 이상 거주하는 지역을 도시지역으로 분류하고, 그 외 지역을 지방지역3)으로 분류하였다. 전라북도 내의 6개시, 8개군 중 2000년 인구를 기준으로 전주시, 군산시(옥구읍 제외), 정읍시(신태인읍 제외), 김제시(만경읍 제외), 남원시(운봉읍 제외), 익산시(함열읍 제외), 고창군의 고창읍, 부안군의 부안읍, 완주군의 삼례읍만을 도시지역으로 분류하였다. 인구자료는 2000년 통계청 자료를 이용하여 교통사고자료와는 1~2년의 차이를 보이는 문제점이 있다.

## 3. 도로의 물리적 요인 및 분석구간 선정

### 1) 도로의 물리적 요인 선정

본 연구에서는 설계단계에서 이용 가능한 교통사고 예측모델을 구축하기 위해 설계 단계에서부터 파악가능한 도로의 물리적 요인을 설명변수로 선정하였다. 물리적인 요인으로는 교통량과 기하구조 자료를 이용하였다. 교통량 자료는 년 평균일교통량(AADT)을 이용하였으며, 도로 기하구조 자료는 현장조사와 자료수집의 용이성을 고려하여 중앙분리대, 차로수, 교차점수, 연결로수, 신호등수, 횡단 신호등수를 선정하였다.

#### (1) 교통량 및 차로수

교통량은 여러 가지 요인들로 사고를 유도하는 유발요인으로서 년 평균 일 교통량(AADT)을 변수로 선정하였다.선정한 구간 안에서 AADT(대/일)는 동일하므로 구간 교통량은 연장을 포함한 교통량을 의미한다. 또한 김태완(1996)은 차로수가 많을수록 사고가 감소한다는 결과를 보고하고 있다. 이에 본 연구에서도 도로설계의 기초가 되는 차로수가 사고에 미치는 영향을 평가하기 위해 변수로 선정하였다.

#### (2) 중앙분리대, 신호등수 및 횡단 신호등수

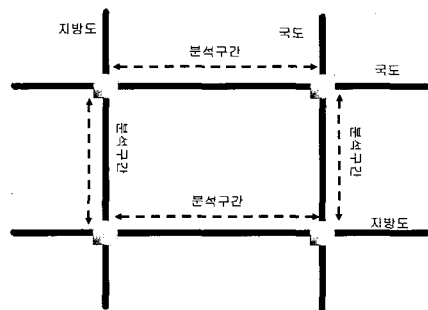
FHWA의 Cribbins 연구팀(1992)은 도로에 중앙분리대를 설치할 경우 중앙선 침범사고를 줄일 수 있다는 결과를 제시하고 있다. 이에 본 연구에서도 중앙분리대의 유·무가 사고에 미치는 영향을 보기 위해 변수로 설정하였다. 또한 신호등(개/km)과 횡단 신호등(개/km)이 존재함으로써 사고발생에 미치는 영향력을 알아보기 위해 각각을 변수로 선정하였다.

### (3) 교차점수와 연결로수

FHWA의 Fee연구팀(1992)은 사고발생이 연결로수와 비례하고 있는 것으로 보고하고 있다. 이에 교차점(개/km)과 연결로(개/km)가 존재함으로써 사고에 미치는 영향력을 알아보기 위해 교차점수(신호교차로와 비신호교차로 모두 포함)와 연결로수(접근로수; drive way)를 변수로 사용하였다. 연결로의 경우 도로의 노선대를 결정하는 수준의 모든 연결로를 파악하는 것은 현실적으로 어렵지만, 기본계획 및 설계단계의 공사비를 산출하는 과정에서 연결로가 고려된다고 판단되어 변수로 선정하였다. 또한 계획 및 설계단계에서 고려하기 어려운 휴게소나 주유소 등과 연결되는 연결로는 본 연구에서는 고려하지 않았다.

### 2) 분석 구간 선정

'도로의 구조·시설기준에 관한 규칙' 해설 및 지침의 9조를 살펴보면 설계구간은 동일 설계기준이 적용되는 주요 교차로 또는 도로의 주요 시설물 사이에 구간을 의미한다. 본 연구에서는 위의 설계구간에 근거하여 분석구간을 선정하였다. 국도와 지방도를 대상으로



〈그림 3〉 구간 분류 기준

2) 인구는 2000년 자료로서, 통계청, [http://www.nso.go.kr/cgi\\_bin/sws\\_99.cgi](http://www.nso.go.kr/cgi_bin/sws_99.cgi) 에서 이용하였다.  
 3) 전라북도내의 8개군 중 2000년 인구를 기준으로 하여 진안군, 무주군, 장수군, 임실군, 순창군, 고창군(고창읍 제외), 부안군(부안읍 제외), 완주군(삼례읍 제외), 군산시의 옥구읍, 익산시의 함열읍, 정읍시의 신태인읍, 남원시의 운봉읍, 김제시의 만경읍을 지방지역으로 분류하였다.

〈표 3〉 조사대상 도로

도로유형	조사대상도로
국도	1, 17, 19, 22, 23, 24, 26, 27, 30번
지방도	635, 643, 702, 705, 709, 711~714, 716, 718~722, 724, 730, 732~734, 736, 742, 745, 749, 795, 799번

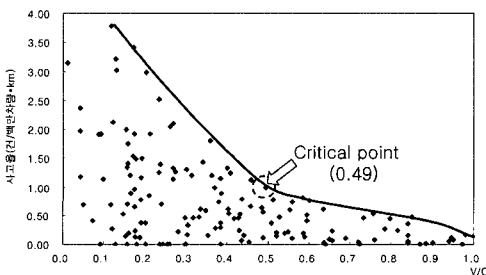
주요 교차로를 기준으로 하여 같은 등급의 도로가 만나는 교차로, 다른 등급의 도로가 만나는 교차로를 지점으로 하여 〈그림 3〉과 같이 분석구간을 선정하였다. 조사대상도로는 〈표 3〉과 같이 전라북도내의 도시지역의 일반국도와 지방도를 대상으로 하였다.

#### IV. 데이터 분석 및 사고예측모형 개발

##### 1. V/C에 따른 도로 유형 분류

신설 및 개량되는 도로는 개통된 후 시간의 흐름에 따른 교통량의 증가 및 도로특성의 변화로 인하여 도로 및 교통특성의 양상은 다르게 나타난다. 현재 도로 타당성 조사시 이에 대한 고려가 되고 있지 못하므로, 본 연구에서는 변화하는 교통특성을 반영하기 위하여 V/C에 따른 사고분포를 파악하여 교통사고예측모형을 구축하려 한다. V/C는 0.0~1.0까지 범위를 설정하였으며, 0.0~0.1이하, 0.11~0.2이하, 0.21~0.3이하……0.91~1.0이하와 같이 구간을 나누어 범위를 설정하였다. V/C에 따른 사고분포는 대상 구간 전체, 2차로와 4차로 이상으로 나누어 분포를 분석하였다. 먼저 대상구간 전체에 대하여 V/C에 따른 사고분포를 파악해보면 〈그림 4〉와 같이 V/C 0.5이하까지는 사고율이 최대 3.5건/백만대·km까지 높게 분포하는데 반하여 0.5 초과부터는 사고율은 0.0~1.0건/백만대·km로 나타나 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

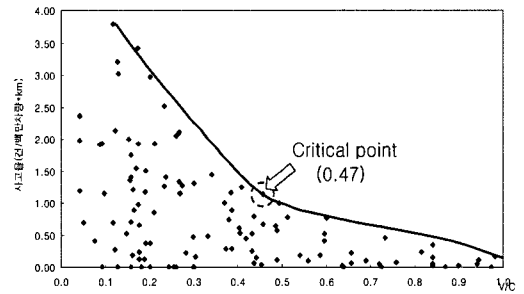
앞서 분류한 도로 분류에 따라 도시지역의 2차로와



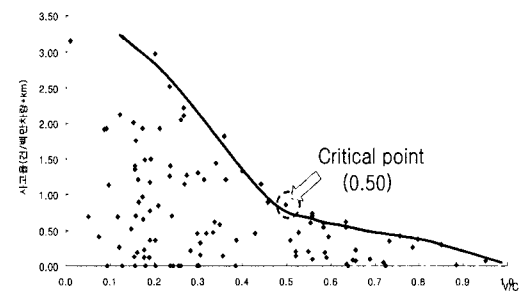
〈그림 4〉 V/C에 따른 사고분포(전체 구간)

4차로 이상으로 나누어 V/C에 따른 사고분포를 살펴 보면 〈그림 5〉~〈그림 6〉과 같다. 2차로의 경우 0.47 이하인 경우 최대 3.5건/백만대·km까지 높게 분포하는데 반하여 0.47 초과인 경우 사고율은 0.0~1.0건/백만대·km로 나타나 분포가 낮은 것으로 나타났다. 4차로 이상인 경우에는 0.5이하인 경우 사고율이 높게 나타나는 반면에 0.5 초과인 경우에는 사고율이 1.0건/백만대 이하로 낮게 분포하는 것으로 나타났다.

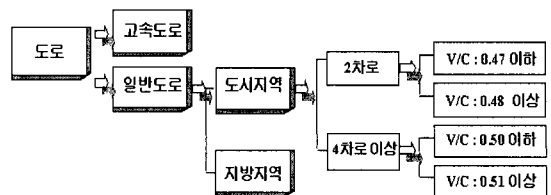
따라서 앞서 분류한 도로유형에 적용하여 본 연구의 대상구간을 V/C를 기준으로 2차로의 경우 0.47이하와 0.48이상으로 분류했다. 4차로 이상의 경우 0.50이하와 0.51이상으로 분류하여 〈그림 7〉과 같이 각각에 대한 교통사고예측 모델을 구축하고자 한다. 모형구축에 이용한 분석구간의 수는 〈표 4〉와 같다.



〈그림 5〉 V/C에 따른 사고분포(2차로)



〈그림 6〉 V/C에 따른 사고분포(4차로 이상)



〈그림 7〉 본 연구의 도로구분

〈표 4〉 분석대상의 분석구간

도로유형		분석구간개수	검증구간개수
2차로	V/C 0.47이하	50개	20개
	V/C 0.48이상	38개	20개
4차로 이상	V/C 0.5 이하	50개	20개
	V/C 0.51 이상	31개	20개
합계		169개	80개

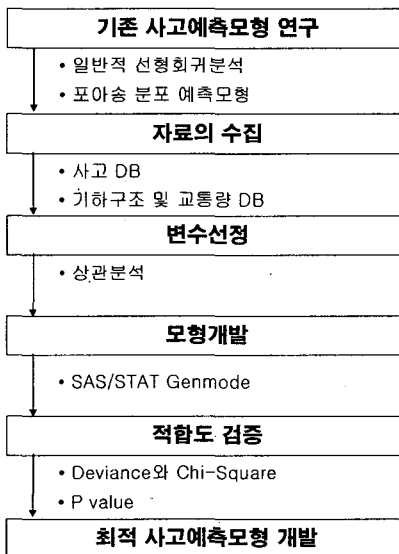
2. 모형구축

1) 모형 분포

본 연구에서는 일반화선형모형(Generalized Linear Model: GLM)중 포아송분포에 기반한 대수선형모형(Log-Linear Model) 즉 포아송 선형회귀식을 이용하여 교통사고예측모형을 개발하였다. GLM은 Response Variable을 정의하는 random component, 설명변수를 명시하는 systematic component, 랜덤성분과 체계적 성분간을 연결하는 link function으로 구성된다(Alan Agresti, 1999). 랜덤성분인 반응변수는 확률분포를 가정하게 되는데, 일반적으로 사고 자료는 포아송 분포를 가정하게 된다. 포아송 선형회귀식의 일반적 형태는 식(1)과 같다.

$$Y = \alpha + \text{EXP}(\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k) \quad (1)$$

사고예측모형의 개발과정은 〈그림 8〉과 같다.



〈그림 8〉 사고예측모형 개발과정

2) 모형의 검증방법

본 연구에서는 모형의 적합도 검정을 위해 포아송 선형회귀분석의 Deviance, Chi-Square, P-value를 이용하였다. Deviance는 포화모형과 적합된 모형을 비교한 우도비 검정(LRT: Likelihood ratio test) 값으로 식(2)와 같이 산정된다.

$$\text{Deviance} = -2(L_M - L_S) \quad (2)$$

여기서,  $L_M$  : 포화모형의 로그우도함수 최대값  
 $L_S$  : 적합모형의 로그우도함수 최대값

여기에서, Deviance의 값이 즉 Value/df가 1.0 근처이면 모형이 적당하다고 판단한다.

Chi-square value는 관측값과 기대값의 차이를 제곱평균하여 구한 값으로 Deviance와 같이 Value/df가 0.8~1.2사이에 있으면 모형이 적당하다고 판단한다.

$$X^2 = \sum \frac{(Y - Y')^2}{Y'} \quad (3)$$

여기서,  $Y$  : 관측값,  $Y'$  : 기대값

P-value는 모형의 적합성을 나타내는 값으로서 귀무가설(H0): '모형이 적합하지 않다' 일때 이를 기각할 확률을 의미한다. 이 값은 Chi-square값과 df(자유도)에 의해 계산되며, 그 값이 0.9이상이면 모형이 적합하다고 판단한다.

3) 변수 선정

본 연구에서는 도로등급별 물리적 요인 및 V/C를 반영한 사고예측모형을 구축하기 위해 도시지역의 사고 발생에 큰 영향을 미치는 변수를 앞서 선정하였다. 앞서 분류한 모형에 적합한 독립변수를 선정하기 위해 변수들과 사고건수에 대한 상관분석을 수행하였다.

(1) 2차로 이상일 경우

차로수가 2차로일때 V/C가 0.47이하일 경우와 0.48 이상일 경우의 상관계수를 〈표 5〉에서 살펴보면 V/C가 0.47이하일 경우 설정한 변수들 중 교통량과 연결로수가 0.459, 0.662로 사고와의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다. P값 또한 0.001과 0.000으로 95% 신뢰수준에서 매우 유의한 것을 나타났다. 이에 반하여 V/C가

0.48이상일 경우에는 연결로수와 횡단신호등수가 사고와의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다. 연결로수와 횡단신호등수의 P값 모두 0.050보다 작은 값을 가져 95%신뢰수준에서 유의한 것으로 나타났다.

(2) 4차로 이상일 경우

차로수가 4차로이상이며 V/C가 0.50이하일 경우와 0.51이상일 경우의 상관계수를 <표 6>에서 살펴보면 모두 충분대가 존재함으로써 사고는 감소하는 것으로 나타났으며, 나머지 변수들은 사고와 양의 관계를 가지

는 것으로 나타났다.

V/C가 0.50이하일 경우는 교차점수와 연결로수가 0.673, 0.560으로 사고와의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다. P값 또한 0.000으로 95% 신뢰수준에서 매우 유의한 것을 나타냈다. 이에 반하여 V/C가 0.51이상인 경우에는 교차점수와 신호등수가 0.769, 0.608로 사고와의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다. P값 또한 0.000으로 95% 신뢰수준에서 매우 유의한 것을 나타냈다. 따라서 V/C 0.50이하일 경우에는 동일구간내에서 교차점수와 연결로수가 많을수록, V/C 0.51이상인 경우

<표 5> 2차로 일 경우의 사고와의 상관계수

		사고 건수	교통량 (유의확률)	교차점수 (유의확률)	연결로수 (유의확률)	신호등수 (유의확률)	횡단 신호등 수 (유의확률)
0.47 이하	사고건수	1	0.459(0.001)	0.340(0.002)	0.662(0.000)	0.355(0.002)	0.355(0.002)
	교통량		1	0.143(0.215)	0.151(0.191)	0.078(0.502)	0.137(0.234)
	교차점수			1	0.377(0.001)	0.598(0.000)	0.426(0.000)
	연결로수				1	0.420(0.000)	0.305(0.007)
	신호등수					1	0.486(0.000)
	횡단신호등수						1
변수선택			●	×	●	×	×
0.48 이상	사고건수	1	0.360(0.026)	0.400(0.013)	0.609(0.000)	0.269(0.103)	0.427(0.008)
	교통량		1	0.365(0.024)	0.404(0.012)	0.022(0.895)	0.520(0.001)
	교차점수			1	0.598(0.013)	0.019(0.911)	0.355(0.029)
	연결로수				1	0.349(0.032)	0.191(0.251)
	신호등수					1	0.166(0.319)
	횡단신호등수						1
변수선택			×	×	●	×	●

<표 6> 4차로 이상일 경우의 사고와의 상관계수

		사고 건수	교통량 (유의확률)	충분대 (유의확률)	교차점수 (유의확률)	연결로수 (유의확률)	신호등수 (유의확률)	횡단신호등수 (유의확률)
0.50 이하	사고건수	1	0.294(0.034)	-0.245(0.080)	0.673(0.000)	0.560(0.000)	0.668(0.000)	0.579(0.000)
	교통량		1	0.193(0.172)	0.226(0.109)	0.104(0.463)	0.112(0.429)	0.173(0.219)
	충분대			1	-0.200(0.154)	-0.209(0.137)	-0.252(0.071)	-0.229(0.103)
	교차점수				1	0.375(0.000)	0.874(0.000)	0.839(0.000)
	연결로수					1	0.575(0.000)	0.589(0.000)
	신호등수						1	0.893(0.000)
	횡단신호등수							1
변수선택			×	●	●	●	×	×
0.51 이상	사고건수	1	0.299(0.103)	-0.310(0.090)	0.769(0.000)	0.457(0.010)	0.608(0.000)	0.324(0.075)
	교통량		1	0.147(0.430)	0.176(0.345)	0.370(0.040)	0.424(0.018)	-0.098(0.601)
	충분대			1	-0.432(0.015)	0.059(0.754)	-0.419(0.019)	-0.067(0.718)
	교차점수				1	0.456(0.010)	0.459(0.009)	0.134(0.473)
	연결로수					1	0.260(0.158)	0.229(0.215)
	신호등수						1	0.222(0.229)
	횡단신호등수							1
변수선택			×	●	●	×	●	×

에는 교차점수와 신호등수가 많을수록 사고가 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 중앙분리대가 존재할수록 사고가 감소하는 것으로 나타났다.

2) 모형구축

분류한 도로 유형별로 앞서 선정한 설명변수를 토대로 포아송 분포를 가정한 Log- Linear Model을 이용하여 차로수가 2차로 및 4차로 이상일때의 각각 V/C에 따른 교통사고예측모형을 구축하였다.

(1) 2차로 및 V/C 0.47 이하인 경우

2차로 및 V/C가 0.47 이하일 경우의 모형을 구축한 결과 <표 7>과 같이 Deviance와 피어슨 카이제곱이 각각 65.5243, 58.0069로, Value/DF가 1.0과 가깝게 나타나 교통량과 연결로수로 구축된 모델이 적정하다고 판단된다. 또한 P-value가 0.99로 나타나 모형이 적합하지 않다는 귀무가설을 기각하므로 구축한 모델이 적정한 것으로 나타났다. 따라서 도시지역 2차로이며 V/C가 0.47이하일 경우의 사고에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 교통량과 연결로 수이다.

그러므로 동일구간 안에서 연 평균 교통량이 많을수록, 연결도로의 수가 많을수록 사고가 많이 발생하게 된다. 또한 대상 도로로의 연결로의 간격이 짧을수록 사고 발생확률이 높아지므로 사고발생을 최소화하기 위해서는 설계단계에서부터 적절한 교통량이 되도록 설계되어야 하며, 연결로를 적절하게 배치하는 것이 바람직하다고 판단된다. 2차로 및 V/C가 0.47 이하인 경우의 사고건수예측모형 결과는 식(4)와 같다.

$$Y=0.276+Exp(6.3E-05X_1 + 0.3842X_2) \quad (4)$$

여기서, Y : 사고건수(건/km)  
 X<sub>1</sub> : 교통량(대/일)  
 X<sub>2</sub> : 연결로수(개/km)

<표 7> 2차로 및 V/C 0.47이하일 경우의 모형 분석결과

Criteria For Assessing Goodness Of Fit				
Criterion	DF	Value	Value/DF	P 값
Deviance	74	65.5243	0.8854	0.99
Scaled Deviance	74	65.5243	0.8854	
Pearson Chi-Square	74	58.0069	0.7838	
Scaled Pearson X2	74	58.0069	0.7838	
Log Likelihood		-142.7641		

(2) 2차로 및 V/C가 0.48 이상인 경우

2차로 및 V/C가 0.48이상일 경우의 모형을 구축한 결과 <표 8>과 같이 Deviance와 피어슨 카이제곱이 각각 28.9098, 22.5016으로 Value/DF가 1.0과 가깝게 나타났다. 또한 P-value가 0.99로 나타나 모형이 적합하지 않다는 귀무가설을 기각하여 구축한 모델이 적정한 것으로 나타나 연결로수와 횡단신호등수로 구축된 모델이 적정하다고 판단된다.

도시지역 2차로이며 V/C가 0.48이상일 경우의 사고에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 연결로수와 횡단신호등수이다. 그러므로 동일구간 안에서 연결로의 수가 많을수록, 횡단신호등 수가 많을수록 사고가 많이 발생하게 된다. 즉 동일 구간안에서 연결로 및 횡단신호등의 밀도가 높을수록 사고가 많이 발생하므로 설계 단계에서부터 차량 및 보행자의 동선을 충분히 고려하여 연결로 및 횡단 신호등의 밀도를 적절하게 배치하는 것이 바람직하다고 판단된다.

2차로이며, V/C가 0.48이상인 경우의 교통사고건수예측모형 결과는 식(5)와 같다.

$$Y=0.326+Exp(0.6936X_1 + 0.3475X_2) \quad (5)$$

여기서, Y : 사고건수(건/km)  
 X<sub>1</sub> : 연결로수(개/km)  
 X<sub>2</sub> : 횡단 신호등 수(개/km)

<표 8> 2차로 및 V/C 0.48이상일 경우의 모형 분석결과

Criteria For Assessing Goodness Of Fit				
Criterion	DF	Value	Value/DF	P 값
Deviance	35	28.9098	0.826	0.99
Scaled Deviance	35	28.9098	0.826	
Pearson Chi-Square	35	22.5016	0.643	
Scaled Pearson X2	35	22.5016	0.643	
Log Likelihood		-63.1888		

(3) 4차로이상 및 V/C가 0.50 이하인 경우

모형을 구축한 결과 <표 9>와 같이 Deviance와 피어슨 카이제곱이 각각 43.20, 47.4066으로 Value/DF가 1.0과 가깝게 나타나 충분한, 교차점수, 연결로수로 구축된 모델이 적정하다고 판단된다. 또한 P-value가 0.97로 나타나 모형이 적합하지 않다는 귀무가설을 기각하여 구축한 모델이 적정한 것으로 나타났다.

4차로 이상 및 V/C가 0.50이하일 경우의 사고에



가장 큰 영향을 미치는 요소는 중분대, 교차점수 그리고 연결로수이다. 중분대는 사고와의 음의 상관성을 나타내 중분대가 존재함으로써 사고가 발생하지 않는 가능성이 높은 것으로 나타났다. 또한 교차점수와 연결로수가 많을수록 사고가 많이 발생하게 되며, 평균 교차로의 간격이 짧을수록 사고가 많이 발생할 가능성이 높기 때문에, 사고발생을 최소화하기 위해서는 도로의 교차 및 연결되는 수를 줄이고, 교차로의 배치간격을 적절하게 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4차로 이상 및 V/C가 0.50이하인 경우의 사고건수 예측모형 결과는 식(6)과 같다.

$$Y=1.786+\text{Exp}(0.1724X_1+0.2734m+0.6455X_2) \quad (6)$$

- 여기서, Y : 사고건수(건/km)
- X<sub>1</sub> : 연결로수(개/km)
- m : 중분대 유무
- X<sub>2</sub> : 교차점수(개/km)

〈표 9〉 4차로이상 및 V/C 0.50이하 일때 모형 분석결과

Criteria For Assessing Goodness Of Fit				
Criterion	DF	Value	Value/DF	P 값
Deviance	48	43.20	0.9	0.97
Scaled Deviance	48	43.20	0.9	
Pearson Chi-Square	48	47.4066	0.9876	
Scaled Pearson X2	48	47.4066	0.9876	
Log Likelihood		63.7136		

(4) 4차로 이상 및 V/C가 0.51 이상일 경우

모형을 구축한 결과 〈표 10〉과 같이 Deviance와 피어슨 카이제곱이 각각 48.5482, 49.0393으로 Value/DF가 1.0과 가깝게 나타나 중분대, 교차점수, 신호등수로 구축된 모델이 적정하다고 판단된다. 또한 P-value가 0.99로 나타나 모형이 적합하지 않다는 귀무가설을 기각하여 구축한 모델이 적정한 것으로 나타났다.

도시지역 4차로 이상 및 V/C가 0.51이상일 경우의 사고에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 중분대, 교차점수 그리고 신호등수이다. 중분대는 사고와 음의 상관성을 나타내 중분대가 존재함으로써 사고 발생 가능성이 낮은 것으로 나타났다. 또한 교차점수와 신호등수가 많을수록 사고가 발생하게 되며, 또한 평균 교차로의 간격이 짧을수록 사고가 많이 발생할 가능성이 높기 때문에, 사고발생을 최소화하기 위해서는 교차로 및 신호등의 배치간격을 적절하게 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

$$Y=1.813+\text{Exp}(-0.908m+0.6454X_1+0.9857X_2) \quad (7)$$

- 여기서, Y : 사고건수(건/km)
- m : 중양분리대 유무
- X<sub>1</sub> : 교차점수(개/km)
- X<sub>2</sub> : 신호등수(개/km)

〈표 10〉 4차로 이상 및 V/C 0.51이상일때 모형분석결과

Criteria For Assessing Goodness Of Fit				
Criterion	DF	Value	Value/DF	P 값
Deviance	50	48.5482	0.9709	0.99
Scaled Deviance	50	48.5482	0.9709	
Pearson Chi-Square	50	49.0393	0.9807	
Scaled Pearson X2	50	49.0393	0.9807	
Log Likelihood		112.2711		

도시지역의 도로형태 및 V/C에 따라 구축한 모형은 〈표 11〉과 같다.

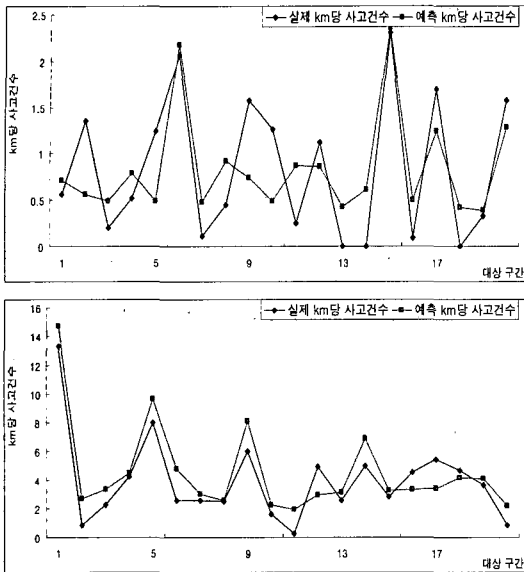
〈표 11〉 도로의 형태에 따른 모형식

도로형태		모형식
일반 도로	2차로	V/C 0.47 이하 Y=0.276+Exp(6.3E-05X <sub>1</sub> +0.3842X <sub>2</sub> )
		V/C 0.48 이상 Y=0.326+Exp(0.6936X <sub>2</sub> + 0.3475X <sub>3</sub> )
	4차로 이상	V/C 0.50 이하 Y=1.786+Exp(0.1724X <sub>1</sub> 2+0.2734m +0.6455X <sub>4</sub> )
		V/C 0.51 이상 Y=1.813+Exp(-0.908m +0.6454X <sub>4</sub> + 0.9857X <sub>5</sub> )

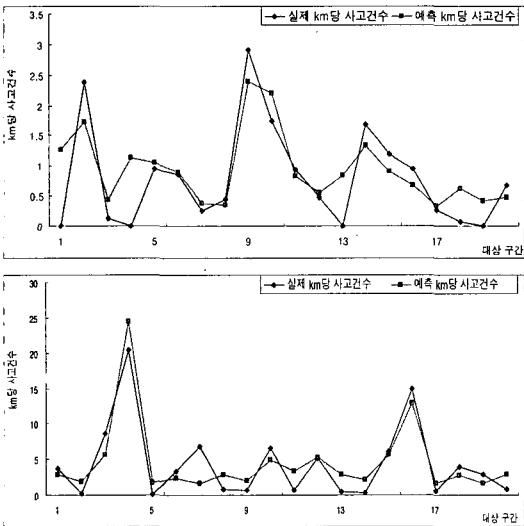
- 여기서, Y : 사고건수(건/km)
- X<sub>1</sub> : 교통량(대/일)
- m : 중양분리대 유무
- X<sub>2</sub> : 연결로수(개/km)
- X<sub>3</sub> : 횡단신호등수(개/km)
- X<sub>4</sub> : 교차점수(개/km)
- X<sub>5</sub> : 신호등수(개/km)

5) 모형의 검증

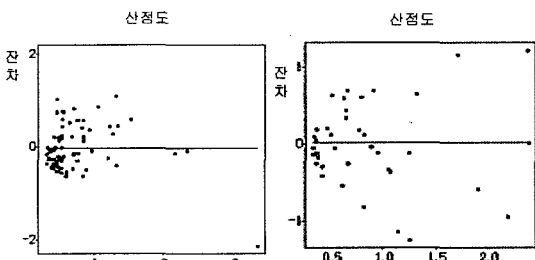
본 연구에서 제시한 모형으로 도출된 예측사고건수를 실제사고건수와 비교하여 신뢰성이 있는지 검증하는 것이 필요하다. 분석한 모형의 검증결과, 각 도로의 형태에 따른 모형의 Deviance와 P-value값 모두 통계적으로 유의하며, 〈그림 9〉~〈그림 12〉에서 보는 바와



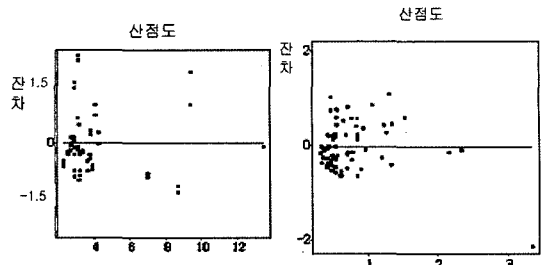
(그림 9) 2차로 및 V/C가 0.47이하와 0.48이상인 도로의 예측/실제 사고건수 비교



(그림 10) 4차로 및 V/C가 0.50 이하 및 0.51이상인 도로의 예측/실제 사고건수 비교



(그림 11) 2차로 및 V/C가 0.47 이하와 0.48이상인 도로의 잔차 산점도



(그림 12) 4차로 및 V/C가 0.50 이하 및 0.51이상인 도로의 잔차 산점도

같이 예측사고건수와 실제사고건수가 거의 같은 분포를 나타내고 있고, 잔차가 ±2 안에 있어 비교적 양호한 추정력을 보이고 있다고 판단된다.

또한 각 도로 형태에 따라서 추정치와 실제 사고 자료를 통계적으로 검증하는 방법으로 최소 제곱근오차(Root Mean Square Error; RMSE)를 이용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum [O_i - E_i]^2\right)} \quad (8)$$

여기서,  $O_i$ : 관측치

$E_i$ : 예측치

$n$ : 관측 자료수

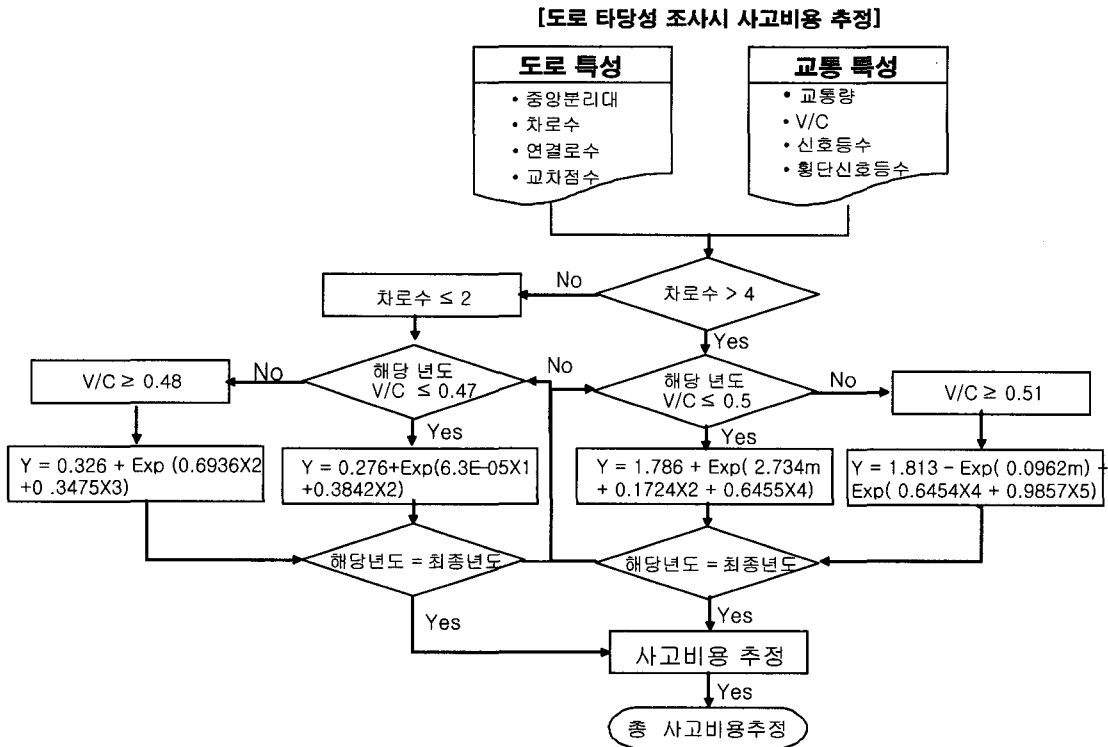
각 도로의 형태별로 구축한 모형을 검증한 결과, <표 12>와 같이 나타나 실제 사고자료를 비교적 양호하게 추정하였음을 알 수 있다.

(표 12) 각 도로형태별 최소 제곱근 오차

		도로형태	RMSE(건/km)
일반도로	2차로	V/C 0.47 이하	0.018
		V/C 0.48 이상	0.905
4차로	4차로	V/C 0.5 이하	1.34
		V/C 0.51 이상	0.15

## V. 도로 타당성 조사시 이용방안

도로 타당성 조사시 교통사고비용을 반영하도록 되어 있다. 하지만 현재 도로 타당성 조사시 초기년도와 도로 특성 및 교통사고 특성을 반영한 교통사고비용을 최종년도까지 일률적으로 적용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 시간에 변화에 따른 도로 및 교통특성을 반영



Y : 사고건수(건/km), X1 : 교통량(대/일), m : 중앙분리대 유무, X2 : 연결로수(개/km), X3 : 횡단신호등수(개/km), X4 : 교차점수(개/km), X5 : 신호등수(개/km)

(그림 13) 도로타당성 조사시 사고비용 추정과정

하기 위하여 V/C에 따른 교통사고예측모델을 개발함으로써 보다 세부적으로 사고비용을 산정할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 개발한 사고예측모델을 이용한 교통사고비용 산정방법은 (그림 13)과 같다.

- ① 차로수가 2차로 인지 4차로 이상인지를 판단
- ② 2차로의 인 경우의 해당년도의 V/C가 0.47이인지 0.48이상인지를 판단, 4차로이상인 경우의 해당년도의 V/C가 0.50인지 0.51인지를 판단
- ③ 각 해당 V/C별 사고예측모형으로 사고예측
- ④ 예측한 사고건수로 해당년도의 사고비용 추정
- ⑤ 해당년도가 최종년도가 될 때까지 feedback하여 사고비용을 추정
- ⑥ 총 사고비용 추정

**VI. 결론 및 향후 연구과제**

본 연구에서는 각 도로의 물리적인 특성과 교통 특성을 반영하여 사고를 예측할 수 있는 방법을 제시하였

다. 이를 위해, 전라북도 내의 도시지역의 국도와 지방도의 단일로를 대상으로 사고에 영향을 미치는 도로특성요인을 파악하고, 각 도로 형태에 따른 요인들과 사고와의 관계를 분석하여 도로유형별로 사고에 영향을 미치는 요인을 선정하였다. 이때 선정기준은 도로설계 단계에서도 획득 할 수 있는 요인을 위주로 선정하였으며, 이를 토대로 도로의 물리적인 요인과 V/C의 특성에 따른 해당구간의 사고발생가능성을 예측할 수 있는 모형을 제시하였다.

그 결과, 2차로이며 V/C가 0.47이하인 경우는 교통량과 연결로수가, V/C가 0.48이상인 경우는 연결로수와 횡단신호등수가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구에서 구축한 사고예측모델로 인하여 도로의 입지적 및 물리적 특성뿐만 아니라 시간의 변화에 따른 도로특성을 반영한 사고 예측이 가능하다.

본 연구의 결과를 이용하면 새로운 도로사업 설계시 여러 가지 대안에 대한 안전성 평가를 시행할 수 있다. 또한 도로사업의 타당성 조사시 사고감소편익을 산정할

때에 보다 세부적으로 결과를 산정할 수 있는 방법론을 제시하였다는 데에 그 의의가 있다고 할 수 있다. 본 연구에서 이용한 자료가 전라북도 지역으로 한정되어 있어 전국을 대표할 수 없으므로 향후 전국적인 사고 자료를 바탕으로 대표성을 지닐 수 있는 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 설계단계에서의 사고예측 모형개발시 교차로 간격에 따른 도시부와 지방부로 지역을 구분하는 것이 현실적으로 필요한 방법이라고 판단되므로, 향후 교차로 간격을 고려한 연구가 수행되기를 기대한다.

## 참고문헌

1. 경찰청(2004), "교통통계".
2. 한국건설기술연구원(1997), "도로의 기하구조와 교통 안전성에 관한 미국 연방도로청의 보고서", 도로교통 안전 기술보고서 pp97~02.
3. 건설교통부(2000), "도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침".
4. 김태완(1966), "도로기하구조가 교통사고에 미치는 영향-경부고속도로중심으로, 서울대 환경대학원석사논문".
5. 이수범·김정현·김태희(2003), "도로 및 교통특성에 따른 계획 단계의 도시부 도로 교통사고 예측모형개발", 대한교통학회지, 제21권 제4호, 대한교통학회, pp.133~144.
6. FHWA(1981), "Planning and Scheduling Work Zone Traffic Control".
7. Japan Institute(2000), "Guidelines for the Evaluation of Road Investment Projects."
8. TRB Special Report 214(1987), "Designing Safer Roads, Practices for Resurfacing, Restoration, and Rehabilitation", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
9. C. V. Zegeer, J. Hummer, L. Herf, D. Reinfurt, and W. Hunter(1986), "Safety Effects of Cross-Section Design for Two-Lane Roads", Report No. FHWA-RD-87-008, Federal Highway Administration, Washington, D. C.
10. Mohanmmad A. Hadi and A.S. Jaradat(1998), "Analysis of Commercial Minibus Accidents", Accident Analysis and Prevention vol.30 No.5.
11. Fitzpatrick, k. et. al(2000), "Speed Prediction Two Lane Rural Highways", Research Report, FHWA-RD-99-171.
12. James A. Bonneson, Patrick T. Mccoy(20010), "Effect of Median Treatment on Urban Arterial Safety and Accident Prediction Model", TRR, 1581.
13. FHWA(1992), "Safety Effectiveness of Highway Design Features", Vol. I -Access Control-.
14. FHWA(1992), "Safety Effectiveness of Highway Design Features", Vol. V -Intersection-.

✉ 주 작 성 자 : 이수범

✉ 논문투고일 : 2005. 3. 21

논문심사일 : 2005. 5. 13 (1차)

2005. 6. 1 (2차)

심사판정일 : 2005. 6. 1

✉ 반론접수기한 : 2005. 10. 31