

■ 論 文 ■

# 차량 속도를 이용한 도로 구간분할에 따른 고속도로 사고빈도 모형 개발 연구

## Freeway Crash Frequency Model Development

### Based on the Road Section Segmentation by Using Vehicle Speeds

황 경 성

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

최 재 성

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

김 상 업

(서울시립대학교 교통공학과 박사수로)

허 태 영

(한국해양대학교 데이터정보학과 교수)

조 원 범

(한국건설기술연구원 연구원)

김 용 석

(한국건설기술연구원 선임연구원)

### 목 차

- I. 서론
  - 1. 연구의 배경 및 목적
  - 2. 연구의 범위 및 방법
- II. 기존문헌 고찰
  - 1. 사고모형의 이론적 고찰
  - 2. 구간분할 방법
- III. 기하구조 분할법 정립
- IV. 사고예측모형 개발
  - 1. 변수선정 및 기초통계 분석
  - 2. 모형개발
  - 3. 결과분석
  - 4. 사고예측모형 정립
- V. 결론  
참고문헌

Key Words : 도로구간분할, 교통사고자료, 사고 예측모형, 음이항 모형, 차량 주행속도  
 Road Section Segmentation, Crash Data, Crash Prediction Model, Negative Binomial Model, Vehicle Operating Speed

### 요 약

본 논문은 기존 모형들보다 더 정확한 고속도로 사고 예측 모형을 개발하기 위해 수행한 연구 결과를 제시하고 있다. 기존 모형들은 도로 기하구조와 사고 건수 간 연관성을 밝히기 위해 해당 사고 지점 주변의 도로 특성만을 고려하는 반면, 본 연구에서는 해당 사고지점 전방에 위치한 도로 구간을 합쳐서 고려하는 점이 다르다. 차량 교통사고는 주행 중인 상황에서 발생하고, 특히 고속도로의 경우 한 지점의 차량 속도는 전방 도로 상황에 따라 민감하게 변하기 때문에 본 연구에서 적용한 기법은 상당히 현실적이라 할 수 있다. 모형을 구축하기 위해 서해안고속도로 4차로 구간 269.3km를 선정하여 기하구조 데이터를 구축하였고, 해당 구간에서 2003~2008년 6년 동안 발생한 1,664건의 교통사고를 매칭시켰다. 본 데이터의 사고 발생 특성은 포아송분포보다 음이항분포를 따르는 것으로 분석되었으며, 본 연구에서 개발한 모형에 따르면 교통사고 발생은 곡선길이가 곡선반경에 반비례 관계인 것으로 나타났다. 한편 교통사고 발생은 직선부의 직선길이에 비례하는 것으로 나타났다. 이 결과는 기존 연구 결과와는 다른 결과로서, 본 연구에서 가정했던대로 교통사고 발생은 해당 사고지점 전방에 위치한 도로 구간 상황에 의존한다는 것을 알 수 있다. 그 외에도 본 연구에서는 내리막 직선길이, 과속카메라 설치 여부, 분류부와 합류부의 교통사고 발생에 미치는 영향에 대해서도 중요한 결과를 도출했다. 본 연구 결과는 고속도로 도로 설계와 안전 진단 산업에 도움이 될 것으로 기대하며, 향후 본 연구 기법을 일반 국도나 도시내 주요 도로들에 대해서도 적용해 보는 것이 바람직할 것이다.

This paper presents a research result that was performed to develop a more accurate freeway crash prediction model than existing models. While the existing crash models only focus on developing crash relationships associated with highway geometric conditions found on a short section of a crash site, this research applies a different approach considering the upstream highway geometric conditions as well. Theoretically, crashes occur while motorists are in motion, and particularly at freeways vehicle speed at one specific point is very sensitive to upstream geometric conditions. Therefore, this is a reasonable approach. To form the analysis data base, this research gathers the geometric conditions of the West Seaside Freeway 269.3 km and six years crash data ranging 2003-2008 for these freeway sections. As a result, it is found that crashes fit well into Negative Binomial Distribution, and, based on the developed model, total number of crashes is inversely proportional to highway curve length and radius. Contrarily, crash occurrences are proportional to tangent length. This result is different from existing crash study results, and it seems to be resulted from this research assumption that a crash is influenced greatly by upstream geometric conditions. Also, this research provides the expected effects on crash occurrences of the length of downgrade sections, speed camera placements, and the on- and off-ramp presences. It is expected that this research result is useful for doing more reasonable highway designs and safety audit analysis, and applying the same research approach to national roads and other major roads in urban areas is recommended.

이 성과는 건설교통부 건설핵심기술연구사업 진환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단 과제에 연구결과 일부입니다. 연구지원에 감사드립니다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

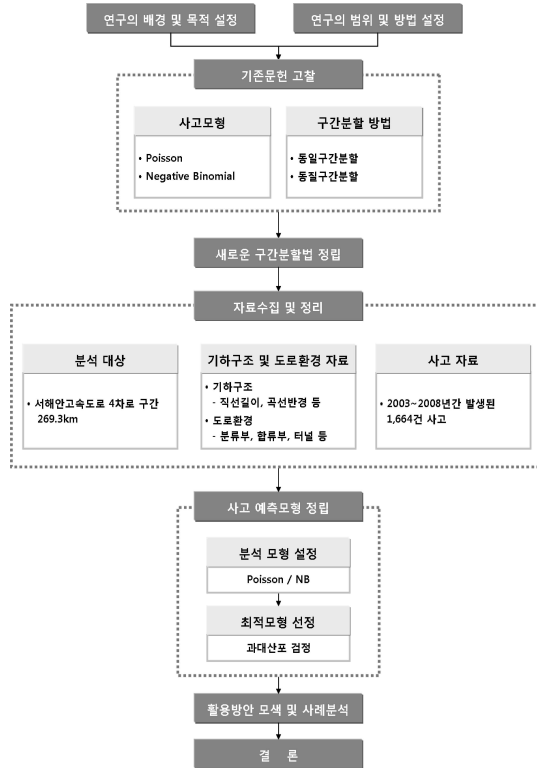
최근 고속도로 및 국도 중심의 고규격 도로 건설이 주를 이루고 있다. 그러나 2007년 고속도로에서 발생한 사고는 3,661건으로 여전히 많은 사고가 발생하고 있다. 고속도로에서 여전히 사고가 발생하는 이유 중 하나는 개별 선형설계에 대한 기준은 양호하나, 각 개별 선형설계의 조합에 문제가 있기 때문이다. 즉, 현재 도로설계 기준인 『도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙』(국토해양부, 2009)의 평면과 종단의 조합에 관한 규정은 각 도로설계요소에 대한 최소한 기준을 제시하는데 주력하고 있으며 각 설계요소간 연결성에 대한 기준을 미처 제시하고 있지 않아서 실제 도로를 보면 운전자의 기대심리를 위반하는 구간이 많이 존재하고 있다.

또한 교통사고는 단순히 사고지점의 기하구조에 따라 발생하기 보다는 연속된 도로구간의 기하구조에 따라 발생하는 경우가 많다. 따라서 도로 구간을 어떻게 구분하느냐에 따라 교통 사고 발생 모형식의 형태가 달라지게 되므로, 정확한 교통 사고 발생 특성을 규명하기 위해서는 사고 분석을 위해 도로 구간을 정확하게 구분하는 것이 매우 중요한 절차가 된다.

따라서 본 연구에서는 연속성있는 도로 설계를 위해 고속도로 기하구조와 교통사고 자료 분석을 통해 합리적인 도로 기하구조 분할방법을 정립하고, 기하구조와 사고와의 상관성을 분석하여, 연속적인 도로 선형에 대한 검토를 수행할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 도로의 다양한 기하구조 조건들이 교통사고에 미치는 영향을 분석하기 위해 도로 기하구조와 교통 사고 발생간의 연관성을 중점적으로 검토한다. 이때 도로의 분석 구간 길이를 결정하기 위해 차량 속도에 근거하여 도로 기하구조를 구분하여 데이터를 구축한다. 그 후 구축된 기하구조 데이터와 사고 데이터를 이용하여 과대산포 발생 여부에 따라 적절한 모형을 구축하고, 사고 발생에 영향을 미치는 기하구조 요소를 분석한다. 이를 위해 본 연구는 국내 고속도로중 고규격 고속도로로 판단되는 서해안고속도로 4차로 구간 269.3km를 선정하여 실증적인 도로 선형 설계자료를 구하였으며, 이



<그림 1> 본 연구의 수행과정도

렇게 선정된 구간에서 2003~2008년(6년) 동안 발생한 1,664건의 교통사고를 도로 설계자료와 매칭시켜 연속적인 도로 선형 기법의 적정성을 검토한다.

II. 기존문헌 고찰

1. 사고모형의 이론적 고찰

1) 포아송 모형

Jovanis와 Chang(1986)은 사고수를 이산적 확률변수로 해석하는 포아송 회귀모형(Poisson Regression Model)을 도입하였으며, 이는 개념적으로 선형회귀식에 비해 합리적인 모형이다. 포아송모형의 일반식은 식 (1)과 같다.

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

여기서,  $P(Y_i = y_i)$ 는 사고건수 또는 빈도인  $y_i$ 가 고

속도로  $i$  구간에서 발생될 확률을 의미하며,  $\lambda_i$ 는 평균 사고수를 의미하며 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$E(Y_i|x_i) = \exp(\alpha + x_i^T\beta) = \lambda_i \quad (2)$$

여기서,  $x_i$ 는 사고수를 결정하는 고속도로  $i(i=1,2,\dots,n)$  구간에서의 운전자, 도로환경 등의 속성변수를 의미하며,  $\beta$ 는 각 설명변수 계수를 의미한다.

일반적으로 평균사고 수  $\lambda_i$ 에 포함되어 있는 설명변수의 계수인  $\beta$ 를 추정하기 위해서는 표준최우추정법(Standard Maximum Likelihood Method)을 사용하며 우도함수( $L(\beta|y_i, x_i)$ )는 식(3)과 같다.

$$L(\beta|y_i, x_i) = \prod_i \frac{\exp(-\lambda_i)\lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (3)$$

그러나 포아송모형은 평균과 분산이 동일하다는 기본전제 조건을 만족하여야 하나, 현실에서의 교통사고 자료는 분산이 평균보다 큰 과대산포(Overdispersion) 문제가 발생하게 된다. 이러한 과대산포 문제를 해결하기 위하여 음이항모형을 고려할 것이다.

2) 음이항 모형

Miaou와 Lum(1993)은 분산이 평균보다 크다는 가정에서 출발하는 음이항회귀식(Negative Binomial Regression)을 사용하는 것이 바람직하다고 보고 있다. 음이항모형은 포아송모형의 기대 사고수  $E(Y_i|x_i)$ 에 잠재적 이질성을 반영할 수 있는  $\epsilon_i$ 를 포함시킨 모형으로 식(4)와 같다.

$$E(Y_i|x_i, \epsilon_i) = \exp(\alpha + x_i^T\beta + \epsilon_i) = h_i\lambda_i \quad (4)$$

여기서,  $h_i = \exp(\epsilon_i)$ 이며,  $\exp(\epsilon_i)$ 는 모수가 하나인 감마분포(Gamma distribution)로 가정한다. 따라서 평균이 1, 분산이  $1/\theta$ 인 감마분포를 따른다고 하며 식(5)와 같다.

$$h_i = \exp(\epsilon_i) \sim \text{Gamma}(\theta, \theta)$$

$$f(h_i) = \frac{\theta^\theta \exp(-\theta h_i) h_i^{\theta-1}}{\Gamma(\theta)}, h_i \geq 0, \theta > 0 \quad (5)$$

여기서,  $\Gamma$ 는 감마함수를 의미한다.

따라서 식(1)과 식(5)의 결합확률분포로부터  $h_i$ 에 대해 적분하면  $Y_i$ 만의 주변음이항분포(Marginal Negative Binomial Distribution)를 쉽게 유도할 수 있으며 식(6)과 같다.

$$P(Y_i = y_i|x_i) = \frac{\Gamma(\theta + y_i)}{\Gamma(1 + y_i)\Gamma(\theta)} r_i^\theta (1 - r_i)^{y_i} \quad (6)$$

여기서,  $r_i = \theta/(\theta + \lambda_i)$ ,  $\theta = \frac{1}{k}$ 을 의미하며, 음이항분포인 식(6)의 평균과 분산은 다음과 같다.

$$E(Y_i|x_i) = \lambda_i$$

$$\text{Var}(Y_i|x_i) = \lambda_i \left(1 + \frac{1}{\theta} \lambda_i\right) = \lambda_i (1 + k\lambda_i)$$

$k = \text{Var}(h_i)$ 로 정의되며, 과대산포 계수를 의미한다.

또한 음이항분포의 우도함수를 최대화하는 설명변수의 계수값인  $\beta$ 와 과대산포 모수인  $k$ 에 대한 추정값을 식(7)을 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

$$L(\beta, \theta|x_i) = \prod_i \frac{\Gamma(\theta + y_i)}{\Gamma(\theta)\Gamma(1 + y_i)} \left(\frac{\theta}{\theta + \lambda_i}\right)^\theta \left(\frac{\lambda_i}{\theta + \lambda_i}\right)^{y_i} \quad (7)$$

여기서  $n$ 은 고속도로상의 사고구간의 총 수를 의미한다. 포아송모형과 음이항모형의 모형적합도 판정을 위하여 과대산포계수  $k$ 가 이용되며 일반적으로 과대산포계수가 0.5 이하이면 포아송모형이 적합하고, 0.5 이상이면 음이항모형을 사용하는 것이 바람직하다고 알려져 있다. 그러나 이것은 임의적인 구분이기 때문에, 본 연구에서는 우도비 검정을 통해 과대산포 여부를 판단한다.

2. 구간분할 방법

교통사고는 단순히 사고지점의 기하구조에 따라 발생하기 보다는 연속된 도로구간의 기하구조에 따라 발생하는 경우가 많다. 따라서 도로 구간을 어떻게 구분하느냐에 따라 교통 사고 발생 모형식의 형태가 달라지게 되므로, 정확한 교통 사고 발생 특성을 규명하기 위해서는 사고 분석을 위해 도로 구간을 정확하게 구분하는 것이 매우 중요한 절차가 된다.

Shaw-Pin Miaou(1994)의 연구에 따르면 등구간으로 분할할 경우 그 구간 거리가 1mile 이하는 바람직

한 회귀식을 얻기 힘들다. 또한 구간분할을 불균등하게 할 경우, 구간길이가 지나치게 길게 되면 동일구간에서의 기하구조의 연속성을 유지하지 못하는데 단점이 있다고 분석하였다.

강정규 등(2002)은 호남고속도로를 대상으로 1996~2000년간 발생한 3,071건의 사고와 기하구조와의 관계를 음이항회귀식을 이용하여 분석하였다. 사용된 기하구조 자료는 호남고속도로를 100m 단위로 균일하게 분할 한 후, 직선부, 곡선부, 완화곡선부 등 총 3개의 유형으로 구분하여 모형을 구축하였다.

강민욱 등(2002)은 호남고속도로를 우선 단일곡선과 배향곡선으로 구분하고, 두 곡선 사이에 긴 짧은 직선은 설계속도에 따른 판단서거 개념을 도입하여 구간을 분할하였다.

Ciro Cliendo 등(2007)은 동일한 도로구간을 구분하기 위해서 횡단구성(횡단폭, 차로수, 길어깨 유형 및 폭, 중분대 유형 및 폭)의 변화에 따라 구간을 분할하였다.

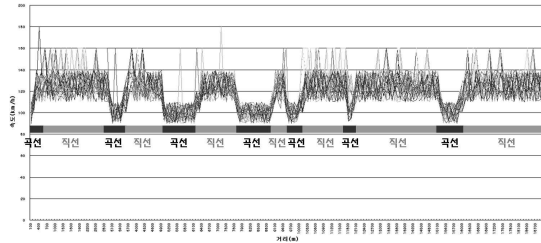
이동민 등(2009)은 국내 지방부 다차로도로 322.9km를 대상으로 곡선반경, 종단경사, 도로폭이 변화되는 구간을 세분화하였다. 우선 곡선반경이 변화되는 구간에 대해서 1차 구간분할 후에 종단경사가 변화되는 구간에 대해서 2차 구간분할을 한다. 마지막으로 도로폭이 변화되는 구간에 대해서 3차 구간분할을 하여 총 998개의 구간으로 분할하였다.

지금까지의 연구에서 제시한 구간 분할법은 연속된 기하구조 보다는 사고 지점에서의 기하구조 특성만을 고려하였다. 따라서 본 연구에서는 사고 지점의 기하구조 특성이 아닌 연속적인 기하구조의 특성을 반영할 수 있는 새로운 구간 분할법을 제시한다.

### III. 기하구조 분할법 정립

기하구조와 사고와의 관계 분석시 구간분할을 어떻게 하느냐에 따라 분석결과가 달라진다. 그러나 지금까지의 연구는 대부분 기하구조를 동일구간으로 분할하거나, 사고지점을 기준으로 하였다. 이 경우 모형의 적합도는 높일 수 있으나, 모형이 현실과 안 맞는 경우가 많았다.

본 연구에서는 교통사고는 서로 상이한 도로구간의 상대속도에 따라 발생하는 것이라 판단하고, 주행속도가 동일한 구간을 기하구조의 동질성이 확보된 것으로 가정하였다. 따라서 본 연구에서는 도로 기하구조를 주행속도의 특성이 상이한 직선부와 곡선부로 나누었다.



<그림 2> 주행속도 조사 결과

<그림 2>는 DGPS 장비를 장착한 차량을 이용하여 서해안고속도로 광천IC~대전IC 구간의 주행속도를 조사한 것이다. 조사방법은 다음과 같다.

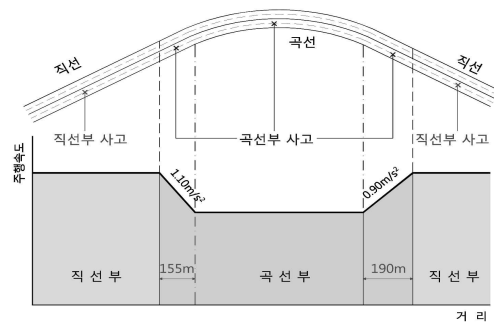
- 주행차량 조사법(Moving Vehicle Method) 이용
- 10명의 조사인원이 3회씩 반복 주행
- 100m당 속도 측정

조사결과 직선부와 곡선부의 주행속도는 명확히 다른 것으로 나타났으며, t-test를 이용하여 직선부와 곡선부의 주행속도를 비교하였다. 그 결과 t 통계량이 -80.40으로 95% 신뢰수준에서 직선부와 곡선부의 주행속도가 서로 같지 않으며, 서로 다른 주행 특성을 보이는 것으로 나타났다.

한편 곡선부의 진입, 진출에 따른 가감속 구간은 곡선부로 가정하였다. 즉, 곡선부 가감속 구간에서 발생한 사고는 기하구조적으로는 직선부에서 발생한 사고이지만 본 연구에서는 곡선부 사고로 하였다. 그 이유는 실제 직

<표 1> 직선부와 곡선부 주행속도 t-test 결과

구분	곡선부	직선부
평균	100.55	126.00
분산	50.97	151.93
관측수	1,710	4,470
자유도	6,178	
t 통계량	-80.40	
t 기각치(양측검정)	1.96	



<그림 3> 본 연구의 기하구조 분할법

선부 시종점부에서의 사고는 직선부의 기하구조 영향 보다는 곡선부의 기하구조 영향이 큰 것으로 판단하였기 때문이다. 여기서 곡선부 가감속도는 『도로선형 및 노면 안전성 분석 모형 개발』(한국건설기술연구원, 2007)에서 제시한  $-1.1m/s^2$ 과  $0.9m/s^2$ 을 이용하였으며, 이 값을 따르면 곡선부 진입전 155m, 곡선부 진출후 190m가 사실상 곡선부의 영향권인 것으로 나타났다.

본 연구에서 사용한 주행속도 분석법에 따라 도로를 구분한 결과, 직선부 137개 구간, 곡선부 140개 구간으로 분할되었다.

#### IV. 사고예측모형 개발

##### 1. 변수선정 및 기초통계 분석

본 연구에서는 도로의 기하구조와 사고와의 상관관계를 분석하고, 합리적인 사고예측모형을 정립하고자 한다.

본 연구에서는 선정된 구간에서의 6년간 사고자료를 이용했기 때문에 시간과 사고와의 상관관계를 분석하였다. <표 2>는 시간과 사고의 상관분석 결과이다.

그 결과 상관계수가 0.2166으로 그 값이 0과 가깝기 때문에 상관성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 6년간 총 사고수를 종속변수로 선정하였다.

또한 본 연구에서는 전 절에서 언급한대로 도로 기하구조를 주행속도의 특성이 상이한 직선부와 곡선부로 나누어 고려했기 때문에, 사고가 발생한 지점인 본구간과 사고의 발생에 영향을 미친 것으로 판단되는 이전구간을 미리 구분해서 사고 자료를 구축했다. 여기서 본구간이란 사고가 발생한 구간을 말하며, 만약 이 구간이 직선부일 경우 이전구간은 곡선부가 된다. 또 만약 사고가 발생한 구간이 곡선부일 경우 이전구간은 직선부가 된다. <표 3>는 본 구간과 이전구간으로 나눈 이후 각 구간에서 포함하고 있는 독립변수들의 유형을 제시한 것이다.

<표 3>에서 “1km당 종단변화”란 종단곡선을 제외한 전체 도로 구간에서의 높이 변화를 나타낸 것으로 식(8)와 같이 나타낸다.

<표 2> 시간과 사고의 상관분석 결과

	사고건수	년도
사고건수	1.0000	0.2166
년도	0.2166	1.0000

<표 3> 본 연구의 변수 선정

구분	본구간	이전구간	
종속변수	사고건수(건/6년)		
독립변수	평면	직선길이, 곡선반경	
	직선부	종단	종단경사 $\sim$ 3, 종단변화횟수, 1km당 종단변화
		도로환경	AADT, 과속카메라, 합류부, 분류부, 다리, 터널
	곡선부	평면	곡선길이, 곡선반경
		종단	종단경사 $\sim$ 3, 종단변화횟수, 1km당 종단변화
	도로환경	AADT, 과속카메라, 합류부, 분류부, 다리, 터널	과속카메라, 합류부, 분류부, 다리, 터널

주: 종단유형 : 1=오르막, 2=내리막, 3=복합  
과속카메라, 합류부, 분류부, 교량, 터널 : 0=무, 1=유

$$Bend_{Ver.} = \sum_{k=1}^n \left| \frac{S_k}{100} \times d_k \right| \quad (8)$$

여기서,  $S_k$ 는 각 구간의 종단경사(%),  $d_k$ 는 각 구간의 거리(m)를 의미한다.

또한 수집된 자료의 최대값, 최소값, 평균, 표준편차 등 기초통계량을 구하면 <표 4>와 같다. 그 결과 평균적으로 사고는 곡선부보다 직선부에서 더 많이 발생하였으며, 평균 곡선반경은 3,600m, 평균 직선길이는 1,500m 수준인 것으로 나타났다.

##### 2. 모형개발

본 연구에서는 과대산포 검정을 위하여 우도비(Likelihood Ratio, LR) 검정을 시행하였다. 과대산포 모수인  $k$ 의 유의성을 검정함으로써 포아송과 음이항모형 중 최적의 모형을 선택하였다. 과대산포 검정의 귀무가설( $H_0$ )과 대립가설( $H_1$ )은 식(9)와 같다.

$$H_0 : k = 0 \quad vs \quad H_1 : k > 0 \quad (9)$$

과대산포 검정을 시행하기 위하여 각 모형의 로그우도함수(Log Likelihood,  $\ln L$ )를 이용한 우도비 검정을 시행하여 최적 모형을 선택하였으며, 우도비 검정은 식(10)과 같다.

$$LR = -2(\ln L(P) - \ln L(NB)) \quad (10)$$

<표 4> 본 연구의 기초통계 분석

직선부					곡선부					
변수	최소값	최대값	평균	표준편차	변수	최소값	최대값	평균	표준편차	
사고건수(건/6년)	0	69	7.33	8.73	사고건수(건/6년)	0	45	4.21	5.01	
평균 AADT(대/일)	8,262	258,565	41,165.92	43,809	평균 AADT(대/일)	8,262	258,565	40,683.98	44,019	
이전 구간	곡선길이(m)	180	2,180	887.45	426.74	직선길이(m)	0	4,840	1,534.71	907.99
	곡선반경(m)	700	15,000	3,598.58	2,201.61	중단유형 (1=오르막,2=내리막,3=복합)	1	3	2.48	0.75
	중단유형 (1=오르막,2=내리막,3=복합)	1	3	2.27	0.82	중단변화횟수	1	5	2.19	0.93
	중단변화횟수	1	3	1.73	0.65	과속카메라 (0=무, 1=유)	0	1	0.11	0.32
	과속카메라 (0=무, 1=유)	0	1	0.02	0.15	합류부 (0=무, 1=유)	0	1	0.17	0.38
	합류부 (0=무, 1=유)	0	1	0.06	0.24	분류부 (0=무, 1=유)	0	1	0.16	0.37
	분류부 (0=무, 1=유)	0	1	0.06	0.24	교량 (0=무, 1=유)	0	1	0.79	0.41
	교량 (0=무, 1=유)	0	1	0.67	0.47	터널 (0=무, 1=유)	0	1	0.09	0.28
	터널 (0=무, 1=유)	0	1	0.07	0.26					
본 구간	직선길이(m)	220	4,840	1,553.28	898.55	곡선길이(m)	180	2,180	885.57	424.87
	곡선반경(m)	700	15,000	3,549.32	2,203.62	곡선반경(m)	700	15,000	3,549.32	2,203.62
	중단유형 (1=오르막,2=내리막,3=복합)	1	3	2.48	0.75	중단유형 (1=오르막,2=내리막,3=복합)	1	3	2.26	0.82
	중단변화횟수	1	5	2.18	0.95	중단변화횟수	1	3	1.74	0.64
	과속카메라 (0=무, 1=유)	0	1	0.12	0.32	과속카메라 (0=무, 1=유)	0	1	0.02	0.15
	합류부 (0=무, 1=유)	0	1	0.17	0.38	합류부 (0=무, 1=유)	0	1	0.06	0.23
	분류부 (0=무, 1=유)	0	1	0.16	0.37	분류부 (0=무, 1=유)	0	1	0.06	0.23
	교량 (0=무, 1=유)	0	1	0.80	0.40	교량 (0=무, 1=유)	0	1	0.66	0.48
	터널 (0=무, 1=유)	0	1	0.09	0.28	터널 (0=무, 1=유)	0	1	0.07	0.26

우도비의 점근분포(Asymptotic Distribution)는 자유도가 1인 카이제곱분포를 따르기 때문에 우도비 검정통계량과 유의수준  $\alpha$ 에서 자유도가 1인 카이제곱분포의 임계값과 비교한다. 분석결과 모든 경우에서 우도비 검정통계량의 값이 매우 크기 때문에 귀무가설을 기각하고 포아송모형보다 음이항모형이 최적의 모형으로 채택되었다.

3. 결과분석

<표 5>는 본 연구에서 구축한 모형의 결과이며, 신뢰수준 90% 이내에서 분석하였다.

1) 직선부 결과분석

직선부의 경우 90% 신뢰수준에서 총 9개의 변수가

유의한 것으로 분석되었다. 평면선형에서 유의한 변수는 이전 곡선길이, 이전 곡선반경, 직선길이인 것으로 나타났다. 이전 곡선길이와 이전 곡선반경의 경우 그 값이 커질수록 직선부에서의 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 직선부 이전의 곡선부의 곡선반경과 곡선길이가 길어질수록 직선부와의 상대속도가 줄어들기 때문인 것으로 판단한다. 반면 직선길이가 길어질수록 사고수가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 곡선부와의 상대속도 차이가 커지는 것 뿐만 아니라 운전자의 작업부하가 커지기 때문인 것으로 판단한다.

중단선형의 경우 직선부의 내리막과 복합경사는 사고를 증가시키는 것으로 분석되었다. 이는 직선부에서의 내리막과 복합경사는 서로 다른 차량간의 속도 차이를 높이기 때문인 것으로 판단한다.

기타 도로환경 측면에서 AADT는 사고의 노출정도를

크게 하기 때문에 AADT가 증가할수록 사고도 증가하는 것으로 나타났다. 과속카메라의 경우 이전 곡선부에서의 과속카메라는 사고에 큰 영향을 미치지 않지만, 직선부에서의 과속카메라는 사고를 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 곡선부에서는 선형 특성상 차량의 속도가 일정 수준으로 낮아지기 때문에 과속카메라가 속도를 감소시키는 것에 큰 영향을 끼치지 않지만, 직선부에서의 과속카메라는 서로 다른 차량간의 상대속도 차이를 낮추기 때문에 사고를 줄이는 효과를 보이는 것으로 판단한다. 또한 고속도로 진출 차량이 속도를 줄임에 따라 상대속도 차이가 커져서 직선부에 분류부가 설치된 경우 사고가 증가되는 것으로 분석되었다.

2) 곡선부 결과분석

곡선부의 경우 90% 신뢰수준에서 총 9개의 변수가 유의한 것으로 나타났다. 평면선형에서 유의한 변수는

곡선길이, 곡선반경으로 그 값이 커질수록 곡선부에서의 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 직선부 주행후 곡선부 진입시 곡선부의 곡선반경과 곡선길이가 길어질수록 직선부와와의 상대속도가 줄어들기 때문인 것으로 판단한다.

종단선형의 경우 이전 직선구간의 내리막과 복합경사는 곡선부의 사고를 증가시키는 것으로 분석되었다. 이는 이전 직선부에서의 내리막과 복합경사는 곡선부 진입시의 속도를 증가시켜 곡선부 주행차량과의 상대속도 차이를 높이기 때문인 것으로 판단한다.

기타 도로환경 측면에서 AADT는 직선부와 마찬가지로 사고의 노출정도를 크게 하기 때문에 AADT가 증가할수록 사고도 증가하는 것으로 나타났다. 과속카메라의 경우 곡선부에서의 과속카메라는 사고에 큰 영향을 미치지 않지만, 이전 직선부에서의 과속카메라는 사고를 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 이전 직선부에서의 과

<표 5> 모형개발 결과

		직선부						곡선부			
		변수	계수	표준오차	P값			변수	계수	표준오차	P값
		상수	0.3660	0.3432	0.286			상수	0.1014	0.5022	0.840
이전 구간	곡선길이(m)	-0.0004	0.0002	0.009	이전 구간	직선길이(m)	0.0001	0.0001	0.158		
	곡선반경(m)	-0.0001	2.60E-05	0.005		종단경사 1	0.000	-	-		
	종단경사 1	0.000	-	-		종단경사 2	1.0544	0.2497	0.000		
	종단경사 2	-0.0254	0.1838	0.890		종단경사 3	0.9311	0.2506	0.000		
	종단경사 3	0.0387	0.2025	0.849		종단 변화횟수(회)	-0.0465	0.1041	0.655		
	종단 변화횟수(회)	-0.0447	0.1443	0.757		1km당 종단변화	-0.0012	0.0123	0.925		
	1km당 종단변화	0.0156	0.0087	0.074		과속카메라	-0.4935	0.2029	0.015		
	과속카메라	-0.6386	0.4348	0.142		합류부	0.0847	0.3267	0.795		
	합류부	-0.1685	0.3089	0.585		분류부	-0.1442	0.3347	0.667		
	분류부	0.4099	0.3360	0.222		다리	0.0376	0.1790	0.834		
	다리	0.1765	0.1333	0.186		터널	-0.1436	0.2353	0.542		
	터널	0.1844	0.2302	0.423		AADT(대/일)	3.74E-06	1.51E-06	0.013		
본 구간	AADT(대/일)	5.40E-06	1.30E-06	0.000	본 구간	곡선길이(m)	-0.0005	0.0002	0.008		
	직선길이(m)	0.0006	0.0001	0.000		곡선반경(m)	-0.0001	0.0000	0.015		
	종단경사 1	0.000	-	-		종단경사 1	-0.4370	0.2285	0.056		
	종단경사 2	0.5834	0.2256	0.010		종단경사 2	-0.2293	0.2064	0.267		
	종단경사 3	0.5344	0.2047	0.009		종단경사 3	0.000	-	-		
	종단 변화횟수(회)	-0.0581	0.0883	0.511		종단 변화횟수(회)	-0.0904	0.1623	0.578		
	1km당 종단변화	-0.0025	0.0099	0.799		1km당 종단변화	0.0081	0.0117	0.488		
	과속카메라	-0.5380	0.1723	0.002		과속카메라	-0.3804	0.4522	0.400		
	합류부	-0.1173	0.2866	0.682		합류부	0.5661	0.2966	0.056		
	분류부	0.5842	0.2842	0.040		분류부	0.6388	0.2876	0.026		
	다리	0.2566	0.1806	0.155		다리	0.2377	0.1553	0.126		
	터널	-0.0246	0.2379	0.918		터널	0.1531	0.2727	0.574		
Number of Obs	137				Number of Obs	140					
k	0.1621				k	0.1780					
ln L	-343.19				ln L	-299.95					
LR	50.78 > 0.0158(x <sub>0.90,1</sub> <sup>2</sup> )				LR	37.80 > 0.0158(x <sub>0.90,1</sub> <sup>2</sup> )					
ρ <sup>2</sup>	0.2375				ρ <sup>2</sup>	0.2509					

속카메라는 곡선부 진입시 속도를 낮추기 때문에 사고를 줄이는 효과를 보이는 것으로 판단한다. 또한 곡선부에서 합류부와 분류부가 있을 경우 사고를 증가시키는 것으로 나타났다.

4. 사고예측모형 정립

사고에 영향을 미치는 기하구조 요인을 찾기 위해서는 수집 가능한 모든 기하구조 자료를 수집하여 분석을 수행해야 한다. 그 이유는 첫 번째는 교통사고는 다양한 기하구조 요인이 복합적으로 작용하여 발생하기 때문이고, 두 번째는 분석시 각 독립변수들이 서로 영향을 미쳐 추정되는 계수 및 유의수준이 달라지기 때문이다. 따라서 가능한 많은 자료를 수집하여 현실에 가깝게 분석을 수행해야 한다.

그러나 실제 모형을 정립하기 위해서는 모든 변수가 교통사고에 영향을 끼치는 것으로 분석되는 것은 불가능하며, 상당수의 변수들이 유의하지 않은 것으로 분석된다. 즉, 수집된 모든 변수를 이용하여 모형을 개발하고, 추정된 계수로 발생하는 사고수를 예측할 경우 올바르지 않은 결과가 도출될 수 있다. 따라서 통계적 기법을 이용하여 유의한 변수를 선정하고, 최적 모형을 도출하는 과정이 필요하다.

유의한 변수를 선정하는 과정은 단계선택(Step-wise), 전진(Forward), 후진(Backward) 등 3가지 방법이 있다. 본 연구에서는 3가지 방법중 후진(Backward) 방법을 이용하여 유의한 변수를 선정하였으며, 변수의 제거시 기준은 P값을 이용하였다.

<표 6>은 모형의 정립 결과이다. 그 결과 <표 5>의 결

과에 비해 변수들의 계수 크기만 다소 변화하였으며, 부호의 변화는 없는 것으로 나타났다. 또한 직선부와 곡선부 각각 8개의 변수가 최종 모형의 변수로 선정되었으며, 우도비(Log likelihood)가 직선부 0.1660, 곡선부 0.1724로 모형의 설명력이 다소 높은 것으로 나타났다.

VI. 결론

도로구간에서의 교통사고는 교통사고가 발생한 지점에서의 기하구조 조건보다는 운전자가 그동안 주행한 연속된 기하구조 변화 및 특성에 의해서 발생된다. 따라서 본 연구에서는 기하구조를 연속성이 반영될 수 있도록 동일한 구간으로 분할하고, 분할된 구간에서의 다양한 기하구조 조건과 사고와의 관계를 규명 하였다.

본 연구에서는 서해안고속도로 269.3km에서 2003~2008년(6년간) 발생한 1,664건의 교통사고를 대상으로 기하구조가 사고에 미치는 영향을 분석하였다. 분석시 고속도로 구간을 차량 속도에 근거하여 직선부와 곡선부로 나누어 동질성이 확보된 상태에서 차량 사고간의 관계를 규명하였다. 분석시 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 이용하였으며, 과대산포 검정을 통해 모형을 선택하였다. 그 결과 직선부와 곡선부 모두 과대산포가 발견되어 음이항 회귀모형이 선택되었다.

분석결과 곡선길이와 곡선반경은 커질수록 사고를 감소시키는 것으로 나타났으며, 직선부의 직선길이는 길어질수록 사고가 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 직선부의 내리막과 복합경사는 사고를 증가시키며, 과속카메라는 곡선부 보다는 직선부에 설치할 경우 사고 감소 효과가 큰 것으로 나타났다. 분류부와 합류부의 경우 곡선

<표 6> 사고예측모형의 정립 결과(음이항 회귀모형)

직선부				곡선부			
변수		계수	P값	변수		계수	P값
상수		0.9801	0.000	상수		-0.1887	0.002
이전 구간	곡선길이(m)	-0.0003	0.014	이전 구간	내리막	1.1451	0.000
	곡선반경(m)	-0.0001	0.003		복합	1.0179	0.000
	1km당 종단변화	0.0130	0.069		과속카메라	-0.3800	0.037
본 선 부	AADT(대/일)	5.73E-06	0.000	본 선 부	AADT(대/일)	4.48E-06	0.003
	직선길이(m)	0.0006	0.000		곡선길이(m)	-0.0007	0.000
	오르막	-0.5700	0.002		곡선반경(m)	-0.0001	0.034
	과속카메라	-0.5163	0.001		합류부	0.3419	0.079
	분류부	0.5048	0.000		분류부	0.8705	0.001
ln L		-347.98		ln L		-304.63	
$\rho^2$		0.1660		$\rho^2$		0.1724	

주 : P값이 0.1이하에서 유의한 변수를 선정함.



부에 설치할 경우 사고를 증가시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 상대속도 차이에 기인한 것으로 상대속도 차이를 줄일 수 있는 기하구조의 조합은 사고를 줄이고, 반면 상대속도 차이를 증가시키는 기하구조 조합은 사고를 증가시키는 것으로 분석되었다.

향후 다년간의 사고자료를 이용함에 따라 발생하는 통계적 문제점을 해결하기 위해 연도에 대한 보정과정이 필요하며, 저규격 고속도로나 국도에서 적용 가능한 모형 개발에 관한 연구가 필요하다.

**참고문헌**

1. 강민욱·도철웅·손봉수(2002), 「고속도로 평면선형상 사고빈도분포 추정을 통한 음이향회귀모형 개발 (기하구조요인을 중심으로)」, 대한교통학회지, 제20권 제7호, 대한교통학회, pp.197~204.
2. 강정규·이성관(2002), 「고속도로 선형조건별 교통사고 위험도 평가모형 개발 (호남고속도로를 중심으로)」, 대한교통학회지, 제20권 제4호, 대한교통학회, pp.163~175.
3. 국토해양부(2009), 『도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙』, 국토해양부.
4. 도로교통공단(2002), 『제3차 교통사고 잦은 지점 및 위험 도로 개량사업 추진계획(2002~2006)』, 도로교통공단.
5. 이동민·김도훈·성낙문(2009), 「지방부 다차로 도로구간에서의 사고 예측모형 개발 (대도시권 외곽 및 구릉지 특성의 도로구간 중심으로)」, 대한교통학회지, 제27권 제4호, 대한교통학회, pp.207~215.
6. Ciro Caliendo, Maurizio Guida and Alessandra Parisi(2007), 「A crash - prediction model for multi-lane roads」, Accident Analysis and Prevention 39. pp.657~670.
7. Jovanis P. and Chang H.(1986), "Modeling the Relationship of Accidents to Miles Traveled", Transportation Research Record 1068: 42-51.
8. Shaw-Pin Miaou and Harry Lum(1993), 「Modeling Vehicle Sccident and Highway Geometric Design Relationships」, Accident Analysis and Prevention, Vol.25 No.6.
9. Shaw-Pin Miaou(1994), 「The relationship between truck accidents and geometric design of road sections」, Accident Analysis and Prevention, Vol.26 No.4.

✉ 주 작 성 자 : 황경성  
 ✉ 교 신 저 자 : 황경성  
 ✉ 논문투고일 : 2009. 12. 17  
 ✉ 논문심사일 : 2010. 1. 18 (1차)  
                   2010. 2. 11 (2차)  
                   2010. 3. 2 (3차)  
 ✉ 심사판정일 : 2010. 3. 2  
 ✉ 반론접수기한 : 2010. 8. 31  
 ✉ 3인 익명 심사필  
 ✉ 1인 abstract 교정필