

## 선형유형 구분을 통한 고속도로 사고빈도모형 개발 연구

### Freeway Crash Frequency Model Development Based on the Classification of Geometric Alignment Type

김 상 업 Kim, Sangyoup	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 연구교수 · 주저자 (E-mail : road@uos.ac.kr)
최 재 성 Choi, Jaisung	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : traffic@uos.ac.kr)
이 수 범 Lee, Soobeam	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (E-mail : mendota@uos.ac.kr)
김 성 민 Kim, Seongmin	서울시립대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : mj10105@uos.ac.kr)
조 원 범 Cho, Wonbum	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 (E-mail : worber@kict.re.kr)
김 용 석 Kim, Yongseok	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 수석연구원 (E-mail : safey@kict.re.kr)

#### ABSTRACT

This paper presents how one can investigate the effects on crash occurrence of freeway geometric design elements including the horizontal, vertical alignment and road environment. At present, the available research results for the most part involve geometric data analysis that are obtained along a relatively long section of freeway, and, because of the long section's diverse geometric conditions, the results tend to miss the specific local geometric impacts on vehicle crashes. In this regard, this research attempts to establish vehicle crash models based on a set of freeway geometric patterns whose crash generating characteristics are identical because they are homogeneous in terms of producing the same vehicle operating speeds, and subsequently their actual relationships are described by providing statistical analysis made in this research. Also each standard is comprised of part of straight, curve and continuous curve. This research has revealed that each type of model has different relation between accident and geometry structure. This research results should be useful for doing more reasonable highway designs and safety audit analysis.

#### KEYWORDS

*classification of geometric alignment type, crash frequency model, poisson model, negative binomial model*

#### 요지

본 연구에서는 고속도로를 대상으로 각각의 구간에 대한 선형유형을 구분하여 사고빈도모형을 개발하였다. 현재 사고빈도모형 부문의 연구는 주로 고속도로 구간 전체를 대상으로 한 연구가 대부분이기 때문에 거시적인 측면에서 사고빈도모형이 개발되었다고 할 수 있으며, 이에 따라 각각의 구간특성이 정확히 반영되지 않은 상태에서의 사고빈도를 예측하였다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 인식하여, 동질구간 분할법을 사용하여 고속도로의 평면선형을 직선부, 곡선부, 연속곡선부로 구분하였고, 이를 군집분석을 통하여 직선부와 곡선부의 유형을 구분하여 고속도로의 각각의 구간별 특성을 반영한 사고빈도모형을 구축하였다. 본 연구 결과는 고속도로 각 구간의 사고빈도를 예측하는데 있어 더 정확하고 합리적인 결과를 도출해 낼 것이라 판단한다.

#### 핵심용어

*선형유형구분, 사고빈도모형, 포아송모형, 음이항모형*

# 1. 서론

## 1.1. 연구배경 및 목적

지금까지의 사고빈도모형은 대부분 고속도로 구간 전체를 대상으로 한 사고빈도모형이 대부분이었다. 이 경우 고속도로는 구간별로 다양한 기하구조 특성을 보이고 있기 때문에 각각의 구간별로 정확한 사고빈도를 예측하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 고속도로 각각의 구간별 특성을 구분할 수 있는 기준을 정립하였고, 구분된 고속도로 유형을 직선부, 곡선부, 연속곡선부로 나누어 구간별 선형특성이 반영된 정확한 사고빈도모형을 구축하고자 하였다.

## 1.2. 연구의 방법

본 연구는 14개의 고속도로(구마선, 남해2지선, 대전남부순환선, 마산외곽선, 제2중부선, 중부내륙선, 중부선, 중앙선, 중앙선의지선, 호남선, 호남선의지선, 남해선, 서해안선, 영동선)를 선정하여 기하구조와 6년간(2003년~2008년)의 사고자료를 구축하였다.

수집된 자료를 바탕으로 도로의 다양한 기하구조 조건들이 교통사고에 미치는 영향을 분석하기 위해 평면, 종단, 도로환경, 이전구간\*으로 구축된 기하구조 자료와 사고자료를 기초자료로 이용하였다. 또한 구간분할법을 통하여 평면선형을 직선부, 곡선부, 연속곡선부로 구분하였으며, 군집분석을 통하여 선형유형을 구분하였다. 이에 따라 사고빈도모형의 종류를 구분하였으며, 이를 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 이용하여 과대산포 발생 여부에 따라 적절한 모형을 선정하고, 사고 발생에 영향을 미치는 요소를 분석하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 익산포항고속도로의 사고빈도를 예측하여, 실제 발생한 사고빈도와의 비교를 통하여 예측의 정확도를 분석하였다.

# 2. 기존 연구 검토

## 2.1. 기존 사고빈도모형의 검토

John Milton과 Fred Mannering(1998)은 『The Relationship Among Highway Geometries-Traffic-related Elements and Motor-vehicle Accident Frequencies』(Transportation Research Board, 1998)에서 워싱턴주 주요 간선도로부의 1992년과 1993년에 발생한 31,306건의 사고자료를 활용하여, 본선거리, 편경사, 연평균 일교통량(AADT), 차선수, 길어깨, 종단경사, 횡단경사와 사

고진수와의 관계를 음이항회귀식을 사용하여 모형을 개발하였다. 모형분석 결과, 도로구간 길이가 0.4km 증가할 때마다 0.319씩 사고수가 증가하며, 종단경사가 1%보다 크고 차선당 AADT가 증가하면 사고수가 증가하였다.

이기영 등은 『고속도로 사고모형의 개발과 적용』(대한교통학회, 1999)에서 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 통해 고속도로의 고속버스 사고모형을 개발하였다. 종속변수로 사고유형별 사고건수를 적용하였고, 독립변수로 인적요인, 기하구조 및 환경요인, 그리고 기타요인 등 포괄적인 범위의 변수를 적용하였다. 모형분석 결과 운전경력이 많을수록, 곡선반경이 클수록, 그리고 종단경사가 낮을수록 사고건수가 낮게 나타났다.

Kay Fitzpatrick 등은 『Speed prediction rot two lane rural highways』(Research report FHWA-RD, 2000)에서 사고분석에 있어서 기하구조변수로써 차로폭, 중앙분리대의 유·무, 곡선반경, 편향각 등을 적용하여 사고와의 관계를 규명하였다. 차로폭이 동일하지 않은 도로구간에 있어서는 중요변수로 작용함을 모형을 통해 제시하였다. 연구결과 차로폭이 넓을수록 사고수는 감소하는 것으로 나타났다.

강민욱 등은 『고속도로 평면선형상 사고빈도분포 추정을 통한 음이항회귀모형 개발(기하구조요인을 중심으로)』(대한교통학회, 2002)에서 호남고속도로를 대상으로 음이항 회귀모형을 이용하여 사고빈도모형을 구축하였다. 그 결과 차량노출계수( $(365 \times AADT \times L) / 10^8$ )가 커질수록 사고가 증가하고, 곡선반경이 커질수록 사고가 감소하는 것으로 분석하였다. 또한 곡선반경과 별개로 곡선구간의 길이가 짧고 그 때의 편경사가 급하게 변화하는 구간에서 사고가 증가하는 것으로 분석하였다.

Ciro Caliendo 등은 『A crash - prediction model for multi-lane roads』(Accident Analysis and Prevention, 2007)에서 포아송 및 음이항 회귀모형을 이용하여 사고분석 모형을 개발하였다. 그 결과 구간길이, 곡선반경, AADT, 종단구배, 접속도로의 유무가 사고에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이동민 등은 『지방부 다차로 도로구간에서의 사고 예측모형 개발(대도시권 외곽 및 구릉지 특성의 도로구간 중심으로)』(대한교통학회, 2009)에서 수도권 내 지방부 도로 구간과 전라북도 지방부 도로구간 322.9km를 선정하였고, 2005년~2007년(3년간) 교통사고 자료를 수집하였다. 수집된 자료를 "0"의 확률에 대해서 적절히 반응할 수 있는 ZIP 모형(Zero Inflated Poisson Model)에 적용하여 다차로 도로구간에 대한 사고빈도모형을 개발하였다. 그 결과 EXPO( $365 \times ADT \times Length \times Year / 10^6$ ), 곡선반경, 종단구배변화, 가드레일, 지형, 횡단보도 개수, 버스정류장 개수가 지방부 다

\* 본 연구에서는 도로 기하구조를 직선부와 곡선부로 나누어 고려했기 때문에, 사고가 발생한 지점인 본구간과 사고가 발생한 본 구간에 대한 이전구간을 구분하였다. 여기서 본구간이란 사고가 발생한 구간을 말하며, 만약 이 구간이 직선부일 경우 이전구간은 곡선부가 된다. 또 만약 사고가 발생한 구간이 곡선부일 경우 이전구간은 직선부가 된다.

차로도로의 사고에 영향을 미치는 주요 설명변수인 것으로 나타났다.

## 2.2. 구간분할 방법

Shaw-Pin Miaou(1994)의 연구에 따르면 등구간으로 분할할 경우 그 구간 거리가 1mile 이하는 바람직한 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 음이항 회귀식을 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 배향 곡선으로 구분하고, 두 곡선 사이에 긴 짧은 직선은 설계속도에 따른 판단시거 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.

최재성 등(2010)은 기존의 구간분할 방법은 연속된 기하구조 보다는 사고지점에서의 기하구조 특성만을 고려한 분할법이였다. 기존연구를 보완하기 위하여 첫 번째는 포아송 분포가정에 최대한 부합되면서 단일 도로 연장별 도로 기하구조 및 시설 특징이 사고에 미치는 영향을 분석하는 것이고, 두 번째는 직선과 곡선을 구분하여 사고에 미치는 영향을 조사하였으며, 세 번째 모형은 직선과 곡선의 연결조합이 사고에 미치는 영향을 조사하는 것으로 하였다. 조사결과 세 번째의 직선과 곡선의 연결조합에 의한 분할법이 가장 합리적인 것으로 분석하였다.

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.

## 3. 구간분할법 정립

도로에서의 교통사고는 단순히 한 지점의 기하구조 특성에 따라 발생하기 보다는 연속된 도로구간의 기하구조에 따라 발생한다. 따라서 구간을 어떻게 구분하느냐에 따라 모형식의 형태 및 결과가 달라지므로 적절한 구간 분할법을 정립하는 것이 중요하다.

구간 분할법은 크게 동일구간 분할법과 동질구간 분할법으로 나눌 수 있다. 동일구간 분할법은 분석구간을 일정한 거리로 분할하는 것을 의미하며, 동질구간 분할법은 분석구간에서 기하구조 요인이 동질하다고 판단되는 구간을 거리에 상관없이 분할하는 것을 말한다.

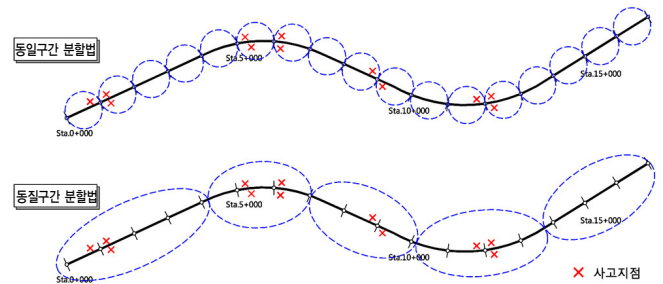


그림 1. 동일구간 분할법과 동질구간 분할법

그러나 지금까지의 사고빈도모형에 대한 대부분의 연구는 기하구조를 동일구간으로 분할하거나, 사고지점을 기준으로 하였다. 이 경우 모형의 적합도는 높일 수 있으나, 모형이 현실을 반영한다고 하기는 다소 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 직선과 곡선의 연결조합에 의한 분할방법을 채택하여 연속된 기하구조와 사고와의 관계를 반영하였다(최재성 외, 2010).

연속된 기하구조와 사고와의 관계를 반영하기 위하여 본 연구에서는 최재성 등(2010)의 직선-곡선, 직선-곡선-곡선의 접근 방법에 곡선-곡선의 개념을 추가 하였다. 즉, 회전반경이 다른 곡선의 연속된 연결 혹은 방향이 바뀌어서 나타나는 곡선을 다른 동질 구간으로 분석하여 구간분할을 직선부, 곡선부, 연속곡선부로 나누어 분할하였다.

## 4. 자료수집 및 가공

본 연구는 14개의 고속도로(구마선, 남해2지선, 대전남부순환선, 마산외곽선, 제2중부선, 중부내륙선, 중부선, 중앙선, 중앙선의지선, 호남선, 호남선의지선, 남해선, 서해안선, 영동선)를 선정하여 기하구조와 6년간(2003년~2008년)의 사고자료를 구축하였다.

### 4.1. 기하구조 자료 수집 및 구축

본 연구에서 수집된 기하구조 자료는 직선부와 곡선부로

분류하였으며, 표 1과 표 2를 보면 이전구간과 본 구간으로 구분하여 자료를 구축하였다. 이는 본 연구에서는 기하구조의 연속성을 반영하여 사고빈도모형을 개발하려고 했기 때문에 연속된 두 구간의 기하구조 자료를 동시에 구축하였다.

#### 4.2. 사고 및 교통량 자료 수집

본 연구에서는 선정된 14개의 고속도로의 사고자료와 교통량 자료를 수집하였다. 표 3과 같이 각각의 구간에 대한 구간 길이와 사고건수와 AADT자료를 구축하였다.

표 1. 직선부 기하구조 자료

이전구간									본구간							
곡선 길이 (m)	곡선 반경 (m)	종단 유형	종단변화 횟수	과속 카메라	합류부	분류부	교량	터널	직선 길이 (m)	종단 유형	종단변화 횟수	과속 카메라	합류부	분류부	교량	터널
540	1,200	1	2	0	0	0	1	0	440	1	1	0	0	0	1	0
620	3,000	3	2	0	0	0	0	0	660	2	1	0	0	0	0	0
560	1,000	2	1	0	0	0	1	0	3,000	3	3	0	1	1	1	0
480	1,500	1	2	0	0	0	1	0	1,380	3	2	0	0	0	0	0
400	5,000	2	2	0	0	0	0	0	1,020	3	2	0	0	0	1	0
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

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

표 2. 곡선부 기하구조 자료

이전구간								본구간								
직선 길이 (m)	종단유형	종단변화 횟수	과속 카메라	합류부	분류부	교량	터널	곡선 길이 (m)	곡선 반경 (m)	종단 유형	종단변화 횟수	과속 카메라	합류부	분류부	교량	터널
1,480	3	3	0	1	1	1	0	540	1,200	1	2	0	0	0	1	0
440	1	1	0	0	0	1	0	620	3,000	3	2	0	0	0	0	0
660	2	1	0	0	0	0	0	560	1,000	2	1	0	0	0	1	0
3,000	3	3	0	1	1	1	0	480	1,500	1	2	0	0	0	1	0
1,380	3	2	0	0	0	0	0	400	5,000	2	2	0	0	0	0	0
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

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

표 3. 본 연구 대상지의 지형 및 사고자료

No.	구간 길이(m)	2003년		2004년		2005년		2006년		2007년		2008년	
		사고 건수	AADT	사고 건수	AADT	사고 건수	AADT	사고 건수	AADT	사고 건수	AADT	사고 건수	AADT
1	1,480	1	17,175	0	15,953	2	16,324	0	15,780	5	16,830	4	19,844
2	540	0	17,175	0	15,953	0	16,324	0	15,780	0	16,830	0	19,844
3	440	0	17,175	0	15,953	0	16,324	0	15,780	0	16,830	1	19,844
4	620	0	17,175	0	15,953	0	16,324	2	15,780	0	16,830	1	19,844
5	660	0	17,175	1	15,953	0	16,324	1	15,780	0	16,830	0	19,844
6	560	0	17,175	0	15,953	1	16,324	0	15,780	1	16,830	1	19,844
7	3,000	3	17,175	0	15,953	1	16,324	1	15,780	6	16,830	10	19,844
8	480	0	17,436	0	15,597	0	16,508	1	15,608	0	16,276	0	19,715
9	1,380	0	17,436	2	15,597	1	16,508	1	15,608	2	16,276	1	19,715
10	400	0	17,436	0	15,597	0	16,508	0	15,608	0	16,276	2	19,715
11	1,020	0	17,436	0	15,597	0	16,508	0	15,608	1	16,276	1	19,715
12	840	0	17,436	0	15,597	0	16,508	0	15,608	0	16,276	0	19,715
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

## 5. 모형구축 및 분석

### 5.1. 변수선정

본 연구에서는 6년간 총 사고수를 종속변수로 선정하였고, 평면, 종단, 도로환경을 독립변수로 선정하였다. 본 연구에서 선정한 종속변수와 독립변수는 표 4와 같다.

표 4. 모형식 변수

구 분	본구간	이전구간	
종속변수	사고건수(건/6년)		
독립 변수	평면	직선길이	곡선길이, 곡선반경, CCR, 평균곡선길이, 곡선방향
	종단	종단경사 1~3, 종단변화 횟수, 1km당 종단변화	종단경사 1~3, 종단변화 횟수, 1km당 종단변화
	도로 환경	AADT, 과속카메라, 합류부, 분류부, 다리, 터널	과속카메라, 합류부, 분류부, 다리, 터널
	평면	곡선길이, 곡선반경, CCR, 평균곡선길이, 곡선방향	직선길이
	종단	종단경사 1~3, 종단변화 횟수, 1km당 종단변화	종단경사 1~3, 종단변화 횟수, 1km당 종단변화
	도로 환경	AADT, 과속카메라, 합류부, 분류부, 다리, 터널	과속카메라, 합류부, 분류부, 다리, 터널

### 5.2. 모형개발

#### 5.2.1. 군집분석을 통한 고속도로 구간유형 구분

본 연구에서는 선형특성이 유사한 구간에서의 사고 특성이 유사할 것이라고 판단하였고, 이에 따라 직선부는 직선길이, 곡선부는 곡선반경을 선정하여 사고와의 관계를 분석해보았다. 이를 위해 본 연구에서 선정한 14개 고속도로의 직선부 1,064구간과 곡선부 1,101구간의 직선길이와 곡선반경에 대한 사고와의 관계를 분석한 결과 직선길이와 길어질수록 사고건수는 증가하였으며, 곡선반경이 길어질수록 사고건수는 감소하는 추세를 보였다. 이에 대한 산점도는 그림 2와 같다.

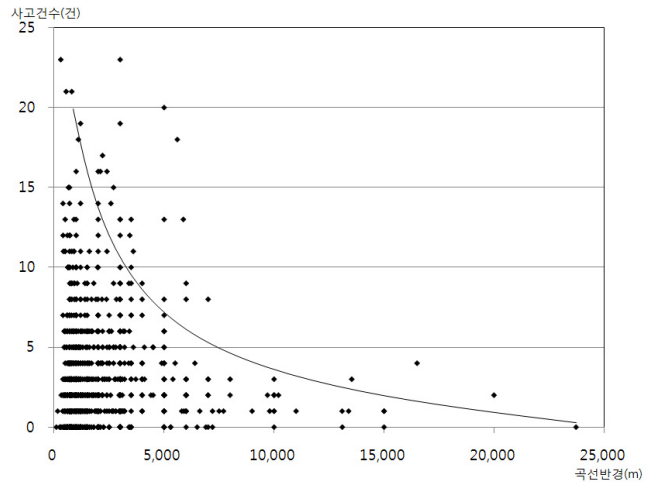
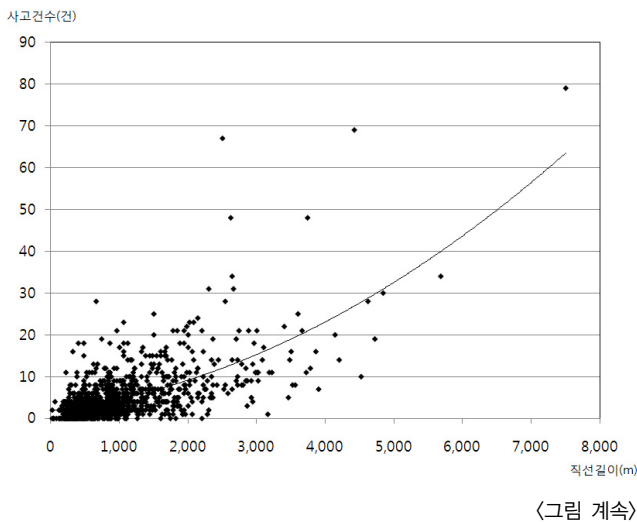


그림 2. 직선길이와 곡선반경에 따른 사고건수

따라서 본 연구에서는 유사한 평면선형을 구분하여 사고빈도모형을 개발하는 것이 모형의 설명력을 높일 것이라 판단하였고, 이를 위해 직선부와 곡선부의 선형유형을 각각 3가지 유형으로 구분하였다. 유형을 구분하기 위해 사용한 방법은 군집분석으로, 군집분석(Cluster Analysis)이란 다수의 대상들을 그들이 소유하는 특성을 토대로 유사한 대상들끼리 그룹핑하는 다변량 통계기법을 말한다. 본 연구에서는 군집분석을 통하여 직선부 유형을 유형1, 유형2, 유형3으로 구분하였고, 곡선부 유형을 유형4, 유형5, 유형6으로 구분하였다. 군집분석 시 비계층적 군집분석 방법인 “K-평균 군집분석”을 이용하여 분석하였고 군집분석 수행결과 표 5와 같이 유형별 직선길이와 곡선반경의 최종 군집 중심이 선정되었다.

표 5. 최종 군집 중심

구 분	유형 1	유형 2	유형 3
직선길이	708.62m	1,392.90m	2,388.05m
구 분	유형 4	유형 5	유형 6
곡선반경	1,018.77m	2,704.06m	5,075.46m

최종 군집 중심이 선정된 후 한 구간의 직선길이와 1,000m일 경우 이 구간에 대한 유형을 판단하기 위하여 판별분석이 필요하다. 판별분석이란 모집단으로부터 추출된 표본들이 어떠한 유형에 속해있느냐를 판별해주는 분석이다. 본 연구에서는 판별분석을 통해 각 유형별 분류함수

표 6. 분류함수 계수(Fisher의 선형 판별함수)

변 수	유형 1( $Q_1$ )	유형 2( $Q_2$ )	유형 3( $Q_3$ )
직선길이	0.005	0.013	0.027
상 수	-2.640	-11.830	-45.317
변 수	유형 4( $Q_4$ )	유형 5( $Q_5$ )	유형 6( $Q_6$ )
곡선반경	0.001	0.002	0.004
상 수	-1.708	-5.457	-14.474

(Classification Function)를 표 6과 같이 도출을 하였다.

위에서 도출한 유형별 분류함수를 통하여 고속도로 구간의 유형을 결정할 때는 직선길이를 곡선반경 값을 표 7의 분류 함수에 대입한 후 도출된 값이 가장 큰 유형을 그 고속도로 구간의 유형으로 선정한다.

표 7. 분류함수에 따른 유형판별 방법

평면선형	분류함수	유형 판별
직선부	$Q_1 = -2.640 + 0.005 \times \text{직선길이}$	직선부 유형판별 $= \text{Max}(Q_1, Q_2, Q_3)$
	$Q_2 = -11.830 + 0.013 X_1 \times \text{직선길이}$	
	$Q_3 = -45.317 + 0.027 \times \text{직선길이}$	
평면선형	분류함수	유형 판별
곡선부	$Q_4 = -1.708 + 0.0001 \times \text{곡선반경}$	곡선부 유형판별 $= \text{Max}(Q_4, Q_5, Q_6)$
	$Q_5 = -5.457 + 0.002 \times \text{곡선반경}$	
	$Q_6 = -14.474 + 0.004 \times \text{곡선반경}$	

표 8. 본 연구에서의 사고빈도모형 개발

평면선형	유형구분	모형식	우도비	$\rho^2$
직선부	유형1	$Z_{LT} = \exp(0.0515 - 0.0002X_2 + 0.0107X_3 + 14.9 \times 10^{-6}X_4 + 0.0007X_5 + 0.4997X_{10} + 0.4429X_{11} + 0.4976X_{12})$	15.78 > 0.0158 ( $x_{0.90,1}^2$ )	0.2375
	유형2	$Z_{MT} = \exp(0.4503 - 2.63 \times 10^{-5}X_2 + 6.01 \times 10^{-6}X_4 + 0.0005X_5 + 0.0892X_7 + 0.2221X_9 + 0.3226X_{10} + 0.1132X_{11})$	25.19 > 0.0158 ( $x_{0.90,1}^2$ )	0.2511
	유형3	$Z_{HT} = \exp(0.9033 - 0.0003X_1 - 0.0001X_2 + 0.0133X_3 + 6.39 \times 10^{-6}X_4 + 0.0006X_5 - 0.57X_6 + 0.5832X_{10})$	46.21 > 0.0158 ( $x_{0.90,1}^2$ )	0.1814
곡선부	유형4	$Z_{LC} = \exp(-0.2074 + 0.0106Y_6 + 0.3632Y_7 + 11.6 \times 10^{-6}Y_8 + 0.2016Y_{13} + 0.9013Y_{15} + 1.0144Y_{16} + 0.3922Y_{17})$	10.25 > 0.0158 ( $x_{0.90,1}^2$ )	0.2814
	유형5	$Z_{MC} = \exp(0.4170 - 0.0002Y_1 - 0.3011Y_2 + 7.41 \times 10^{-7}Y_8 + 0.0009Y_9 - 0.0002Y_{10} + 0.0047Y_{14} + 0.2716Y_{15})$	32.21 > 0.0158 ( $x_{0.90,1}^2$ )	0.3311
	유형6	$Z_{HC} = \exp(0.7593 + 1.1451Y_3 + 1.0179Y_4 + 4.48 \times 10^{-6}Y_8 - 0.0007Y_9 - 0.0001Y_{10} + 0.3419Y_{15} + 0.8705Y_{16})$	9.85 > 0.0158 ( $x_{0.90,1}^2$ )	0.2815
연속 곡선부	유형4	$Z_{LCC} = \exp(-0.9065 - 0.3114Y_1 + 0.0014Y_8 + 0.3579Y_9)$	7.84 > 0.0158 ( $x_{0.90,1}^2$ )	0.3715
	유형5	$Z_{MCC} = \exp(0.4647 + 0.3378Y_6 - 0.1389Y_7 + 8.04 \times 10^{-7}Y_8 + 0.3678Y_{11} + 0.3171Y_{12} - 0.4843Y_{15} + 0.5047Y_{16} + 0.0011Y_{18} + 0.0085Y_{19} - 0.3633Y_{20})$	15.41 > 0.0158 ( $x_{0.90,1}^2$ )	0.1372
	유형6	$Z_{HCC} = \exp(-0.9076 + 0.0001Y_1 + 0.0011Y_8 - 0.0063Y_9 - 0.0005Y_{10})$	22.14 > 0.0158 ( $x_{0.90,1}^2$ )	0.3167

구분	직선부 변수			곡선부 변수			
$X_1$	이전 곡선길이(m)	$X_{12}$	터널(0:무, 1:유)	$Y_1$	이전 직선길이(m)	$Y_{12}$	내리막(0:무, 1:유)
$X_2$	이전 곡선반경(m)			$Y_2$	이전 오르막(0:무, 1:유)	$Y_{13}$	종단변화 횟수(회)
$X_3$	이전 1km당 종단변화			$Y_3$	이전 내리막(0:무, 1:유)	$Y_{14}$	1km당 종단변화
$X_4$	AADT(대/일)			$Y_4$	이전 복합(0:무, 1:유)	$Y_{15}$	합류부(0:무, 1:유)
$X_5$	직선길이(m)			$Y_5$	이전 종단변화 횟수(회)	$Y_{16}$	분류부(0:무, 1:유)
$X_6$	오르막(0:무, 1:유)			$Y_6$	이전 1km당 종단변화	$Y_{17}$	다리(0:무, 1:유)
$X_7$	종단변화 횟수(회)			$Y_7$	이전 다리(0:무, 1:유)	$Y_{18}$	평균곡선길이(m)
$X_8$	1km당 종단변화			$Y_8$	AADT(대/일)	$Y_{19}$	CCR(gon/km)
$X_9$	합류부(0:무, 1:유)			$Y_9$	곡선길이(m)	$Y_{20}$	곡선방향(0:동향, 1:배향)
$X_{10}$	분류부(0:무, 1:유)			$Y_{10}$	곡선반경(m)		
$X_{11}$	다리(0:무, 1:유)			$Y_{11}$	오르막(0:무, 1:유)		

주) P값이 0.1 이하에서 유의한 변수를 선정함.

## 5.2.2. 사고빈도모형 개발

본 연구에서는 평면, 종단, 도로환경, 이전구간으로 분류된 독립변수를 설정하였고, 6년간의 사고빈도를 종속변수로 설정하였다. 모형식은 직선부, 곡선부, 연속곡선부로 나누어 모형을 구축하였다. 유형 구분이 된 고속도로의 사고와 기하구조 자료를 이용하여 포아송회귀모형과 음이항회귀모형의 두가지 모형식을 구축하였고 그 중 보다 적합한 모형을 선택하기위해 과대산포 검정을 하였다. 분석결과 모든 경우에서 우도비 검정통계량의 값이 매우 크기 때문에 귀무가설을 기각하고 포아송모형보다 음이항모형을 최적의 모형으로 채택하였다. 본 연구에서 개발한 사고빈도모형은 표 8과 같다.



### 5.3. 모형분석

#### 5.3.1. 직선부 결과분석

##### ① 평면선형

평면선형측면에서 이전 곡선반경( $X_2$ )의 값이 길어질수록 직선부에서의 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 직선부 이전의 곡선부의 곡선반경이 길어질수록 직선부와와의 상대속도가 줄어들기 때문인 것으로 판단한다. 직선길이( $X_5$ )가 길어질수록 사고수가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 곡선부와와의 상대속도 차이가 커지는 것뿐만 아니라 직선부에서의 서로 다른 차량 간의 상대속도 차이가 커지기 때문인 것으로 판단한다.

##### ② 종단선형

종단선형의 경우 유형1의 경우 이전 1km당 종단변화( $X_3$ )가 커질수록 사고가 커지는 것으로 나타났다. 유형2의 경우 종단변화 횟수( $X_7$ )가 많을수록 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 유형1과 유형2의 경우 종단변화와 종단변화 횟수에 의하여 상대속도가 차이가 발생하기 때문으로 판단된다.

##### ③ 기타 도로환경

기타 도로환경 측면에서 AADT( $X_4$ )는 모든 유형에서의 사고의 노출정도를 크게 하기 때문에 AADT가 증가할수록 사고도 증가하는 것으로 나타났다. 유형1과 유형2의 경우 분류부( $X_{10}$ )와 다리( $X_{11}$ )가 존재할 때에 사고가 증가 하는 것으로 나타났다. 즉, 다리나 분류부가 존재하지 않을 때 보다 다리 지점이나 분류부가 존재할 때 상대속도가 커짐으로써 이에 따른 사고가 늘어나는 것으로 판단된다.

#### 5.3.2. 곡선부 결과분석

##### ① 평면선형

평면선형 측면에서 곡선부의 유의한 변수는 유형4의 경우 모든 변수와의 관계가 적은 것으로 분석되었다. 유형5의 경우 곡선반경( $Y_{10}$ )과 곡선길이( $Y_9$ )가 증가함에 따라 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 유형6의 경우도 마찬가지로 곡선반경과 곡선길이가 증가함에 따라 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 유형6과 유형5의 경우 곡선부의 곡선반경과 곡선길이가 길어질수록 직선부와와의 상대속도가 줄어들기 때문인 것으로 판단한다. 반면 이전 직선부의 직선길이는 사고에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다.

##### ② 종단선형

종단선형의 경우 유형4의 경우 이전 1km당 종단변화( $Y_6$ )와 종단변화 횟수( $Y_{13}$ )가 증가함에 따라 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 유형5의 경우 이전 1km당 종단변화가 증가함에 따라 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 유형4과 유형5의 경우 이전 1km당 종단변화가 상대속도에 영향을 주는 것으로 판단된다. 반면 유형6의 경우 이전 1km당 종단변화가

사고에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다.

##### ③ 기타 도로환경

기타 도로환경 측면에서 AADT( $Y_8$ )는 모든 유형에서의 사고의 노출정도를 크게 하기 때문에 AADT가 증가할수록 사고도 증가하는 것으로 나타났다. 합류부가 존재할 때에 사고가 증가하는 것으로 나타났다.

#### 5.3.3. 연속곡선부 결과분석

##### ① 평면선형

연속곡선부의 평면선형 측면에서 유형4의 경우 사고에 영향을 미치는 유의한 변수는 이전 직선길이와 곡선반경으로 나타났다. 유형5의 경우 평균곡선길이( $Y_{18}$ ), CCR( $Y_{19}$ ), 곡선방향( $Y_{20}$ )으로 나타났다. 유형6의 경우 이전직선길이, 곡선길이 곡선반경으로 나타났다. 유형6의 경우 이전직선의 곡선길이와 곡선반경이 클수록 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 직선부로 진입시에 곡선부와 직선부의 상대속도가 적어지기 때문에 사고가 감소한 것으로 판단된다.

##### ② 종단선형

종단선형의 경우 유형4의 경우 관계가 적은 것으로 분석되었다. 유형5의 경우 이전 구간의 복합, 오르막, 내리막 분류부가 존재하면 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 유형6의 경우 종단선형에 모든 변수와의 관계가 적은 것으로 나타났다.

##### ③ 기타 도로환경

기타 도로환경 측면에서 AADT는 모든 유형에서의 사고의 노출정도를 크게 하기 때문에 AADT가 증가할수록 사고도 증가하는 것으로 나타났다. 합류부가 있을 시에 사고가 증가하는 것으로 나타났다.

## 6. 본 연구 사고빈도모형의 검증

### 6.1. 대상지 선정

본 연구에서는 익산포항고속도로를 대상으로 개발된 사고빈도모형의 예측치와 실제 발생한 6년간의 사고를 비교하였다. 익산포항고속도로는 크게 도동~포항구간 및 익산~장수구간으로 나눌 수 있으며 본 연구에서는 익산포항고속도로의 도동 분기점에서 포항 나들목까지의 68.4km를 대상으로 사고빈도를 예측하였다. 익산~장수구간은 2007년에 개통하여 2005년부터의 사고자료를 수집할 수 없기 때문에 분석에서 제외하였다. 익산포항고속도로의 일반개요는 표 9와 같다.

익산포항고속도로(도동~포항)의 평면선형은 총 55개 구간으로 직선부 24구간과 곡선부 31구간으로 구분된다. 익산포항고속도로(도동~포항)의 평면도 및 종단면도는 그림 3과 같다.

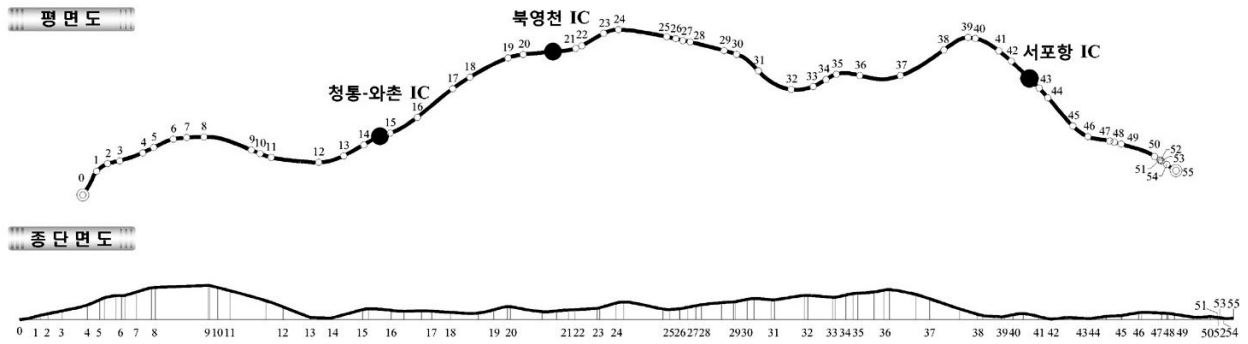


그림 3. 익산포항고속도로(도동~포항) 평면도 및 종단면도

표 9. 익산포항고속도로 일반개요

구 분	내 용
고속도로명	익산포항고속도로
구간 및 연장	도동 분기점~포항 나들목(68.4km), 2004년 개통 익산 분기점~장수 분기점(61km), 2007년 개통
차로수	4차로(익산 분기점~장수분기점, 팔공산 나들목~북영천 나들목, 서포항 나들목~포항 나들목, 98.6km) 6차로(북영천 나들목~서포항 나들목, 30.8km)
교량 및 터널	3개(총 2,480m), 9개(총 9,320m)
제한속도	최고 100km/h, 최저 50km/h

## 6.2. 실제사고빈도와 예측사고빈도 비교

본 연구에서는 판별함수를 통하여 익산포항고속도로 55개 구간의 유형을 구분하였으며, 구분된 유형을 사고빈도모형을 통하여 사고빈도를 예측하였다. 본 연구에서는 실제사고빈도와 예측사고빈도를 직선부, 곡선부, 연속곡선부로 나누어 비교분석해 보았다. 직선부의 경우는 실제사고빈도와 예측사고빈도가 유사하게 나타났고, 곡선부의 경우는 실제 사고가 집중되어 발생한 구간이 존재하여 실제사고빈도보다 예측사고빈도가 낮게 예측되었고, 연속곡선부의 경우는 실제 사고보다 조금 높게 추정되는 경향이 있었다. 실제사고빈도와 예측사고빈도의 비교를 그림 4와 같이 나타냈다.

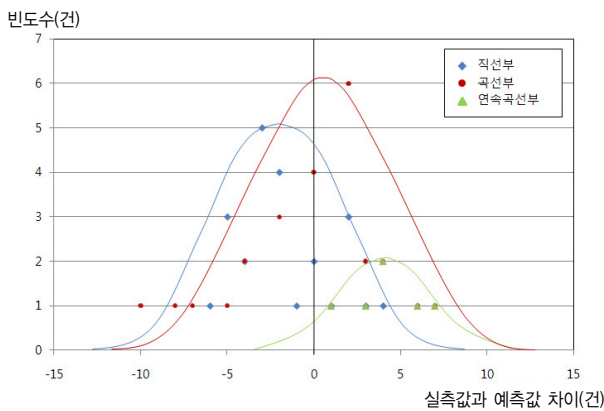


그림 4. 실제사고빈도와 예측사고빈도의 비교

## 7. 결론

본 연구에서는 고속도로 구간의 유형구분을 통하여 각 구간의 특성이 반영된 정확한 사고빈도모형을 개발하고자 하였다. 이를 위해 구간분할법을 사용하여 평면선형을 직선부, 곡선부, 연속곡선부로 나누었으며, 군집분석과 판별분석을 통하여 유형을 6가지로 구분하여 총 9개의 사고빈도모형을 구축하였다. 또한 본 연구에서는 사고발생 이전구간의 기하구조를 반영하여 연속적인 차량의 흐름을 반영한 사고빈도모형을 개발하고자 하였다.

개발된 모형을 통하여 익산포항고속도로를 대상으로 6년간의 사고를 예측하였으나 사고가 집중되는 구간이나 구간의 수가 적은 구간에 대해서는 예측력이 떨어지는 것으로 분석되었다. 향후 다른 고속도로에 대한 보다 많은 검증을 통하여 이를 보완한다면, 고속도로 구간별 사고빈도를 예측하는데 있어 유용한 사고빈도모형으로 사용할 수 있을 것이라 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구지원비(07교통체계-지능08)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- 강민욱, 손봉수, 도철웅(2002), 「도로의 기하구조에 따른 고속도로 사고빈도모형개발」, *대한토목학회논문집*, 제22권 6-D호, pp.1077~1088.
- 강승림(2003), 『고속도로 선형조건과 GIS 기반 교통사고 위험도지수 분석』, *대한교통학회지*, 제21권 제1호, pp.21-40.
- 강정규, 이성관(2002), 「고속도로 선형조건별 교통사고 위험도 평가모형 개발(호남고속도로를 중심으로)」, *대한교통학회지*, 제20권 4호, pp.163~175.
- 이동민, 김도훈, 성낙문(2009), 「지방부 다차로 도로구간에서의 사고 예측모형 개발(대도시권 외곽 및 구릉지 특성의 도로구간 중심으로)」, *대한교통학회지*, 제27권 4호, pp.207~215.
- 최재성, 김상엽, 황경성, 김용석, 조원범, 허태영(2010), 차량 속도를 이용한 도로 구간분할에 따른 고속도로 사고빈도모형 개발



- 연구, *대한교통학회지*, Vol.28 No.2, pp.151~159.
- Ciro Caliendo, Maurizio Guida and Alessandra Parisi(2007), 「A crash - prediction model for multi-lane roads」, *Accident Analysis and Prevention* 39, pp.657-670.
- Fitzpatrick, K. et. al. (2000), 「Speed prediction rot two lane rural highways」, *Research report FHWA-RD*, pp.99-171.
- Jovanis P. and Chang H.(1986), "Modeling the Relationship of Accidents to Miles Traveled", *Transportation Research Record* 1068: 42-51.
- Shaw-Pin Miaou and Harry Lum(1993), 「Modeling Vehicle Scident and Highway Geometric Design Relationships」, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.25 No.6.
- Shaw-Pin Miaou(1994), 「The relationship between truck accidents and geometric design of road sections」, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.26 No.4.
- Milton, John and Fred Mannering(1998), 「The Relationship Among Highway Geometries-Traffic-related Elements and Motor-vehicle Accident Frequencies」 The Relationship Among Highway Geometries」, *Transportation Research Board* 25, pp.395-413.

접 수 일 : 2010. 8. 26

심 사 일 : 2010. 8. 27

심사완료일 : 2011. 2. 15