

■ 論 文 ■

고속도로 선형조건별 교통사고 위험도 평가모형 개발 (호남고속도로를 중심으로)

Traffic Accident Prediction Model by Freeway Geometric Types

강 정 규

(한국도로공사 도로연구소 연구위원)

이 성 관

(한국도로공사 도로연구소 연구위원)

목 차

- I. 서론
- II. 기존연구검토
 - 1. 도로 기하구조와 교통사고
 - 2. 교통사고 예측모형
- III. 교통사고 평가 알고리즘 구축
- IV. 교통사고 평가모형 개발
 - 1. 속성자료 수집 및 분석
 - 2. 모형개발
- V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 교통사고, 도로안전도, 도로선형, 교통사고 예측모형, 선형회귀분석

요 약

교통사고의 원인은 도로, 차량들의 물리적 요인과 인적요인으로 분류하고 있다. 이중 차량과 관련해서는 수많은 신기술들이 개발되었고 또 개발 중에 있으며 인적요인에 관해서는 최근 국내에서도 중요한 연구들이 수행 중에 있으나 그 결과를 실용화하는데는 더 많은 시간이 필요할 것으로 보인다.

도로요인에 관한 그 동안의 연구가 국도 등에 집중되었기 때문에 오히려 도로의 위계상 최상위 위치에 있는 고속도로를 중심으로 한 연구가 미진한 것처럼 비쳐지는 것도 부정할 수 없는 사실이다. 미국은 도로 안전도 증진을 목표로 IHSDM(Interactive Highway Safety Design Module)이라는 통합설계모듈의 개발을 추진 중에 있으며, 국내에서도 기초적인 연구가 시작되었다. 이러한 평가모형의 개발에 필수적인 것이 도로설계대안별로 교통안전도를 계량적으로 평가하는 모형의 개발이다.

본 연구에서는 먼저 교통사고의 원인이 되는 도로요인 중 특히 도로선형과 교통사고와의 관계를 밝혀 내기 위해 도로선형의 변화(선형개량, 도로확장)가 비교적 적었던 호남고속도로를 대상으로 고속도로의 선형요소와 교통사고와의 미시적인 관계를 규명하였다. 이를 위해 대상도로를 직선부, 곡선부, 완화곡선부 등으로 1차 구분하였으며 이들 구간의 선형요소와 지난 5개년('96년~'00년) 간의 교통사고 자료를 데이터베이스화하여 모형산정에 이용하였다. 또한 도로선형 요소 중 특히 교통사고와 관계가 큰 것으로 분석된 몇몇 요소들을 이용해 고속도로 선형조건별 안전도평가모형을 구축하였다.

I. 서론

도로는 우리나라 교통시설에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 전체 물동량의 70.8%(1999년 기준)를 도로가 부담하고 있으며 여객수송에서는 전체의 78.4%인 연간 10,455,862,000명이 도로를 이용하고 있다. 특히, 고속도로는 1970년에 경인·경부고속도로가 개통된 이래 국가물류의 중심축 역할을 하고 있으며 1980년대의 우리나라 고도산업성장의 원동력이 되었다는 것은 부인할 수 없는 사실이다. 그러나 이러한 도로의 역기능으로 인한 부작용 역시 무시할 수 없는 상황에 이르고 있다. 우리나라의 경우 인구 100,000명 당 교통사고 사망자수가 29.3명으로 OECD 가입국들의 평균치(12.7명)의 2배가 넘고 부상자 수는 매년 350,000명에 이르고 있다. 교통사고로 인한 사회적 비용도 국민총생산(GNP)의 2.7%인 13.1조(1999년 기준)에 달하는 것으로 추정되고 있어서 교통혼잡비용과 함께 국가경쟁력을 약화시키는 주된 요인이 될 것으로 예견되고 있다.

교통사고의 원인은 도로, 차량 등의 물리적 요인과 인적요인으로 분류되고 있다. 이중 차량과 관련해서는 수많은 신기술들이 개발되었고 또 개발 중에 있으며 인적요인에 관해서도 최근 들어 비중 있는 연구가 시작되고 있으나 그 결과를 실용화하는데는 많은 시간이 소요될 것으로 보인다. 도로요인에 대하여는 그 동안 많은 연구가 있었으나 대체로 가시적이고 포괄적인 사항을 중심으로 수행되었으며 도로의 물리적 요소인 기하구조에 대해서는 극히 제한적인 연구만이 국내에서 수행되었다.

안전한 도로 설계와 관련해서는 많은 변수가 복합적으로 섞여 있어 순수 인력에 의존하기 보다 세부설계와 기준점검 작업을 도와줄 수 있는 전산시스템에 대한 의존도가 높아지고 있는 현실을 감안할 때, 고속도로 설계대안별 교통안전도를 계량적으로 평가할 수 있는 모형이 필수적이다. 따라서 본 연구는 안전한 도로설계를 위한 도로설계 및 설계검사용 전산시스템에 활용 가능한 고속도로 선형조건별 교통사고 예측모형을 개발하는 것을 목표로 하였다.

II. 기존 연구 검토

1. 도로 기하구조와 교통사고

교통사고의 원인 중 교통공학적인 기술사항과 깊은

〈표 1〉 도로의 구성요소

| 기하구조 | 세부요소 |
|------|--|
| 평면선형 | 곡선반경·길이, 곡선부 편경사, 완화구간, 시거, 직선거리 |
| 종단선형 | 직선 및 곡선구간의 경사, 경사구간 길이, 시거, 종단곡선 |
| 횡단면 | 차로폭, 차로수, 횡단경사, 포장상태, 미끄러짐저항, 좌회전차로, 오르막차로, 가·감속 차로, 측구, 길어깨폭, 분리대 폭·형식, 방호시설, 진입로, 분리대개구부, 차광막, 측면경사, 성토 높이, 진·출입 시설 및 통제 |

관련이 있는 도로환경요인, 특히 도로요소가 교통사고에 미치는 영향을 규명하기 위한 수많은 연구가 그간 이루어졌지만 인적요인이나 기타 환경요인과 혼재되어 있어 순수한 도로요소와 사고와의 관계를 도출하는데는 어려움이 있었다.

도로요소는 크게 도로기하구조와 안전시설로 구분할 수 있는데 이중 도로요소의 핵심이라 할 수 있는 도로기하구조는 평면선형, 종단선형, 횡단면의 세 가지 요소로 구성된다. 또 이는 다시 〈표 1〉에 제시된 바와 같은 세부구성요소로 구분할 수 있으며 이러한 세부요소의 우열 정도에 따라 교통안전에 미치는 영향이 달라진다. 따라서 본 절에서는 도로의 기하구조를 3대요소로 구분하여 각 요소별 세부요소 수준이 교통안전에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

1) 평면선형

(1) 곡선반경·길이

곡선반경은 교통안전과 관련하여 도로의 평면선형 가운데 가장 많은 연구가 이루어져 왔다. 한국건설기술연구원(1989)의 연구나 김경석·진광성(1996)은 곡선반경의 고유값과 교통사고와의 관계를 평가하기도 하였으며, Fitzpatrick(2000a)은 2차로 지방부 도로의 선형 일관성 평가하는 선형지수로서 최대반경/최소반경 비를 제시하였다. Fitzpatrick(2000b)은 개개의 곡선반경이 그 곡선이 포함된 평면곡선 선형의 일반적인 특성과 상충되는지를 결정할 때 곡선반경/평균반경 비를 사용할 수 있다고 제시하였다.

(2) 곡선부 편경사

평면곡선부의 편경사와 사고율과의 관계를 다룬 Harwood(2000)의 연구 혹은 Tanner(1992)의 연구

결과에 의하면 곡선부에서 편경사와 교통사고간에는 밀접한 관계가 있음을 확인하였다.

(3) 완화곡선

Charles(1992)나 Harwood(2000)의 연구결과에 의하면 완화곡선의 적절한 추가로 곡선부의 사고율을 낮출 수 있음을 제시하였다. 반면 Fitzpatrick(2000b)은 산지부에서의 완화곡선 사용은 교통사고를 증가시킨다는 결과를 제시하기도 했다.

(4) 직선길이

Fitzpatrick(2000b)은 평균직선길이가 길면 운전자의 지루함을 초래하게 되어 안전상 문제가 될 수 있고, 평균직선길이가 짧으면 짧은 곡선구간을 초래하여 이 역시 안전상 문제를 초래할 수 있음을 지적하였다. Zegeer(1991)는 일정 길이 이상의 직선은 이전 곡선부 사고의 증가를 초래할 수 있다는 결론을 제시하였고 Fink and Krammes(1995)는 긴 직선부의 효과는 곡률이 클수록 더 커지며, 짧은 직선부 길이가 사고와 큰 관계를 갖지 않는다는 결론을 제시하였으며, Matthews and Barnes(1988)는 곡선반경과 직선길이의 관계에 따른 사고율을 제시하기도 하였다. 이러한 결과에 반해 Datta(1983)는 직선길이와 사고가 유의할 만한 관계를 갖지 않는다는 결론을 제시하였다.

2) 종단선형

(1) 종단경사

김경석·진광성(1996)은 종단경사는 사고와의 뚜렷한 연관성을 보이지는 않으나 같은 지점에서 곡선반경이 작으면 복합적으로 작용하여 교통사고에 미치는 영향이 매우 크다고 주장하였으며 상향경사에서의 교통사고율이 더 높음을 제시하여 오르막차로의 필요성을 확인하였다. 또한 종단경사와 선형의 연속성은 상관관계가 비교적 높다는 결과를 제시하여 종단경사가 큰 지점이 선형의 연속성이 나쁜 곳임을 제시하였다.

(2) 시거

김경석·진광성(1996)에 의하면 시거와 교통사고간에는 시거가 100m 내외일 때 사고율 높은 것으로

나타났으며 사망자 수는 시거 230m 전후에 가장 많고 부상자 수는 시거 100m 내외에서 가장 많은 것으로 분석되었다.

3) 횡단면

(1) 차로폭 및 길어깨폭

차로폭 및 길어깨폭은 기하구조 요인 중 사고율과 밀접한 관련이 있는 요인으로 알려져 있다. Harwood(2000)에 의하면 차로폭과 길어깨폭 모두 교통량이 많을 때는 사고에 대한 민감도가 큰 반면 교통량이 적을 때는 민감도가 낮은 것으로 나타났다.

(2) 중앙분리대

1995년도에 고속도로 비상탈주로 5개소 15,870m 구간에 PC 방호벽(중앙분리대)을 설치한 결과 총 사고건수가 '94년 77건에서 '95년 35건으로 55%감소하였으며 특히 사망자수는 '94년 48명에서 '95년 9명으로 81%, 그리고 부상자수는 '94년 94명에서 '95년 36명으로 62%가 감소하여 중앙분리대의 대형사고 방지 효과가 뛰어나다는 것을 입증하고 있다.

4) 기타

(1) 조명

Griffish(1994)는 도시고속도로의 조명과 도로 안전 사이에는 긍정적인 관계가 있으며 조명이 없는 도로의 평균 주/야간 사고비율은 조명이 있는 도로보다 66% 더 높고 조명이 없는 도로에 조명이 설치되면 야간사고의 평균 40%가 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 속도

일반적으로 평균속도가 높거나 속도의 분산이 클수록 교통사고의 피해 정도가 심각해진다. 속도는 기하구조나 설계수준 영향을 반영한 값으로 속도차이에 의한 설계 안전도 수준 정의가 R. Lamm(1999) 등에 의해 다음과 같이 제시되었다.

〈표 2〉 설계 안전도 수준

| 설계 안전도 수준 | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------|
| 양호 | 보통 | 열악 |
| $\Delta V_{85} \leq 10\text{km/h}$ | $10\text{km/h} < \Delta V_{85} \leq 20\text{km/h}$ | $\Delta V_{85} > 20\text{km/h}$ |

주) ΔV_{85} : 두 지점의 V_{85} 차이

(3) 선형의 연속성(평면직선부와 평면곡선부의 관계)

김경석·진광성(1996)은 교통사고 발생에 미치는 기하구조의 영향을 선형의 연속성이라는 개념을 이용하여 연구하였다. 선형의 연속성이란 해당도로의 기하구조 특성이 운행상의 특성과 일관성을 가질 때의 조건, 즉 운전자가 해당도로에 기대하는 선형(기하구조) 수준이 설계에 의해 일관성 있게 제공되는 상태로 정의되어 있다. 선형의 연속성은 전후 도로의 곡선반경의 차이에 따라 결정이 되고 선형의 연속성이 가장 나쁜 경우에 사고가 가장 많이 발생하며, 사망 사고는 선형의 연속성이 양호한 곳에서 더 높게 나타난다고 밝혔다. 또한 곡선부 교통사고와 밀접한 관계를 갖는 것은 단독곡선반경이 아니라 전후 곡선의 곡선반경 차이(선형의 연속성)라 할 수 있고 이 차이가 심한 곳이 사고취약지점이 될 가능성이 큰 것으로 판단되며 실제로 국도 및 고속도로 사고취약지점은 선형의 연속성이 양호하지 않다는 결론을 제시하였다.

(4) 운전자 작업부하 (Driver WorkLoad)

선형의 일관성이나 선형 요소간의 조화가 미진할수록(도로조건), 교통량이 많거나 출입 교통빈도가 높아 가감속 또는 차로변경이 잦을수록(교통조건), 교통류 내의 운전자 집단이 이질적일수록(운전자 조건), 날씨나 노면 상태가 비정상일수록(환경조건) 운전자 작업부하는 높아진다. 즉 도로, 교통, 운전자, 환경 등 제 조건이 열악할수록 운전 중에 처리해야 할 정보의 양과 대응해야 할 업무(task)량이 늘어나 결국 운전자 부하는 증가하게 된다. 도로 평면선형과 관련된 운전자 작업부하는 시거, 곡선반경, 측방여유폭, 도로폭(차로폭) 등의 순서로 영향력이 크며 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{운전자 작업부하} &= (0.4 \times \text{시거}) + (0.3 \times \text{곡선반경}) \\ &+ (0.2 \times \text{측방여유}) + (0.1 \times \text{도로폭}) \end{aligned} \quad (1)$$

2. 교통사고 평가모형

교통사고 평가모형을 개발하는 이유는 장래 도로교통 구성요소의 조합에 따른 사고율을 평가 또는 예측하여 특정 목적에 활용하기 위함이다. 대부분의 모형에서 교통사고 위험도는 도로교통 구성요소에 의해 영향을 받는다는 가정 하에 교통사고위험도와 이들

변수들간의 관계를 기술할 수 있는 거시적 모형이 주로 단순회귀모형, 중회귀모형, 포아송회귀모형, 음이항회귀모형 등의 형태로 개발되어 왔다.

1) 국내 교통사고모형 검토

강정규(1985)는 경부선(4차로)과 호남선(2차로)을 대상으로 곡선반경이 짧아질수록 사고율이 높아지며, 종단경사 증가에 따른 완만한 사고율의 증가를, 종단경사와 짧은 곡선반경이 결합될 때 사고율이 급증함을 결과로 제시했다.

한국건설기술연구원(1989)은 전국 일반국도의 사고 많은 지점 93개소를 대상으로 곡선반경과 종단경사가 교통사고에 미치는 영향을 분석하고, 곡선반경이 300m 이하인 지점이 300m 이상인 지점보다 사고율이 높았으나 300m 이하에서 곡선반경에 따른 변별력은 없다는 결과를 제시했다.

김태원(1996)은 경부고속도로를 대상으로 도로기하구조와 교통사고간의 관계를 분석하였으며 차로수, 평면곡선, 종단경사, 유출입부를 설명변수로 채택한 두가지 유형의 중회귀모형을 제시하고 있다.

김경석·진광성(1996)은 충청북도 국도를 대상으로 차로폭, 곡선반경, 선형의 연속성, 종단경사, 중앙분리대, 길어깨폭, 시거 등 7가지 기하구조 요소에 대한 상대적인 사고위험도를 나타내는 "사고위험도 판단지수"를 설명변수로 채택하여 단순회귀모형을 제시하였다.

이상과 같이 그동안 국내에서 수행된 연구의 대부분이 중회귀 보다는 대표변수를 이용한 단순회귀방정식을 제시하고 있다. 가장 빈번하게 채택되는 변수들로는 곡선반경, 종단경사, 차로수, 차로폭, 길어깨폭, 평경사 등을 들 수 있다.

2) 국외 교통사고모형 검토

외국의 경우 풍부한 자료를 바탕으로 많은 교통사고율과 기하구조간의 모형 개발이 시도되었다.

Gupta(1975)는 사고와 시거 및 평면곡선간에 주목할만한 상관관계가 있는 것으로 보고하였으나 유의한 다중선형회귀모형을 도출하는 데는 실패하였다. Polus(1980)는 이스라엘에 소개한 2차로 고속도로에서 발생한 사고를 중심으로 평균주행속도, 곡선반경, 경사, 최대와 최소 곡선반경 비율 등의 기하구조 관련요소

를 설명변수로 하여 모형정립을 시도한 결과 평균주행속도가 사고에 영향을 미치는 변수로 파악되었으며 경사의 영향은 미미한 것으로 분석되었다.

Vogt et al(1998)은 지방부 2차로 도로 데이터를 바탕으로 교통사고 모형을 제시하였으며, Zegeer et al(1986)은 차로폭과 길어깨폭을 주요 설명변수로 채택하여 단독차량사고, 정면충돌사고, 동향·대향 측면사고로 세분하였다.

Anderson et al(2000)은 곡률, 곡선길이, 접근 직선길이, 이전의 곡선길이와 곡률, 차로폭, 총 포장 폭(차로폭+포장된 길어깨폭)을 채택하여 사고율 설명을 시도하였으며 최종적으로 평균속도가 증가할수록 사고율도 증가한다는 결과를 제시하였으며, 곡률과 사고율간의 관계식을 파악한 결과 평균사고율은 평균곡률도가 증가할수록 대략 선형적으로 증가한다는 결과를 제시하였다.

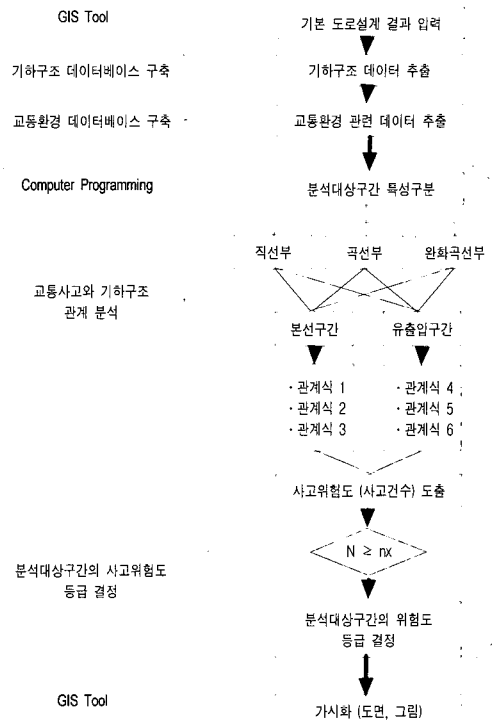
Zegeer et al(1986)은 2차로 지방부 도로에 대한 통계적 분석을 통해 평면곡선의 특성과 사고와의 관계를 수치화 하였으며, 완화구간이 부족한 급격한 곡선구간, 도로폭이 좁은 곡선구간, 부적절한 편경사를 포함한 구간에서 사고율이 높다는 결과를 제시하였다. 다른 요인들이 다 동등할 때 높은 교통량과 긴곡선을 갖는 곡선부 또한 사고율이 높았다.

Krammes et al(1992)은 2차로 지방부 도로를 대상으로 일관성 없는 도로 기하구조가 사고에 미치는 영향을 분석하였으며, 도로 기하구조 요소를 계량화하기 위해 주행속도 변화를 이용한 방법, 운전자 작업부하를 이용한 방법 등을 이용하였다.

III. 교통사고 평가 알고리즘 구축

도로의 기하구조와 교통사고의 상관관계를 밝혀내기 위한 모형식 구축 과정에서 활용한 일련의 과정을 그림으로 나타내면 아래의 <그림 1>과 같은 알고리즘이 만들어질 수 있다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 본 연구에서 도출한 교통사고 평가모형은 크게 세 개의 핵심 모듈로 구분할 수 있다.

첫 번째 모듈은 기본 데이터베이스의 구축 및 필요 데이터 선별과정을 담고 있다. 이는 설계자가 특정 노선이나 구간에 대한 설계안을 제시한다는 가정 하에 본 설계안을 놓고 교통사고 평가모형에서 필요로 하는 기하구조 데이터와 교통환경 데이터를 추출해내는



<그림 1> 교통사고 평가모형이 가지는 알고리즘

작업을 하게 된다. 본 모듈은 데이터베이스의 구축, 편집, 유지관리의 편의를 위해 지리정보시스템(GIS: Geographic Information Systems)을 활용하게 된다.

두 번째 모듈은 이전 단계에서 정리된 기하구조 요소와 교통환경 데이터를 이용해 교통사고 위험도를 도출해내는 과정이다. 먼저 분석의 대상이 되는 구간이 직선부, 곡선부, 완화곡선부 셋 중에 어디에 해당하는지를 판단하고 이어서 차량의 유출입과 관계된 구간인지 아니면 본선구간인지를 판단하게 된다.

본선구간 혹은 유출입구간 해당여부가 결정되면 이어서 해당 모형식에 앞 모듈에서 구축된 데이터베이스의 필요 데이터들이 입력되게 되며 사고위험도가 결과물로 도출된다. 본 연구에서 제안하는 교통사고 위험도 평가모형은 위험도의 고유값 자체도 의미는 있지만 도출된 위험도의 상대적 위치에 보다 의미를 두어 최종적으로 분석대상구간의 위험도 등급을 설정하게 된다. 따라서 앞서 설명한 분석대상구간에 대한 교통사고위험도는 바로 등급 판단으로 이어지게 되고 정해진 등급의 위험도 범주 중 하나의 등급을 차지하게 된다.

세 번째 모듈에서는 이러한 위험도 등급을 사용자

가 쉽게 이해할 수 있도록 가시화 시키는 과정이 포함된다. 이러한 가시화 작업 역시 GIS 프로그램을 이용하게 되며, 사용자의 이해를 돕기 위해 도면, 그래프, 텍스트 등 다양한 형식의 표현방법을 선택할 수 있다.

IV. 교통사고위험도 평가모형 개발

1. 속성자료 수집 및 분석

1) 자료수집

교통사고와 도로 기하구조 및 교통환경요소간의 연관성 분석을 위해 조사대상지점은 최근 도로 조건의 변화(선형개량, 도로의 확·포장)가 최소로 판단되는 호남고속도로로 선정하였다. 호남고속도로는 1973년 11월 2차로로 개통된 이래 교통량의 증가에 따라 1986년 9월에 현재와 같은 4차로로 확장되었다. 확장 이래 부분적인 재포장의 변화는 있었으나 교통환경에 큰 영향을 줄만한 도로 기하구조의 변화는 없었기 때문에 다년간에 걸쳐 기하구조와 교통사고자료간의 일관된 비교가 가능하다.

본 연구에서는 호남고속도로 전 구간의 설계요소와 선형조건에 대한 데이터베이스 구축 작업을 한국도로공사 "지리도형정보시스템" 상의 준공도를 통해 수행하였다. 또한 한국도로공사 고속도로 교통량 통계를 이용하여 교통환경 데이터인 교통량 데이터를 수집하였으며, 고속도로 교통사고 통계자료를 통해 교통사고 데이터를 정리함으로써 교통사고 예측모형 개발을 위한 데이터베이스를 준비하였다. 특히 교통사고 통계자료의 경우 호남고속도로 100m 이점 단위로 정리된 1996년 1월 1일~2000년 12월 31일까지의 총사고 3,071건을 대상으로 하였다.

교통사고와 도로 기하구조와의 상관성 분석을 위해 선행연구 검토 결과를 참고로 아래와 같이 기본 기하구조요소 9가지를 선정하였다.

- ① 직선부, 곡선부, 완화곡선부 구분
- ② 곡선반경
- ③ 곡선길이
- ④ 직선길이
- ⑤ 완화곡선길이

- ⑥ 클로소이드 파라미터(Clothoid Parameter : A)
- ⑦ 종단경사
- ⑧ 편경사
- ⑨ 본선구간, 유출입구간유무

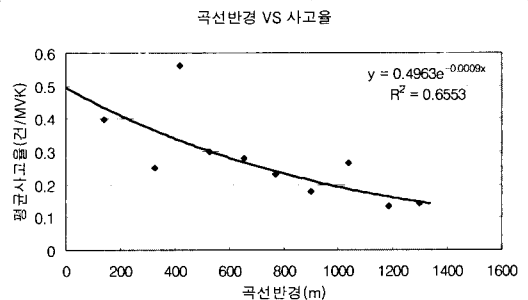
이상의 9가지의 기본 기하구조요소를 조합하여 모형식 도출을 위한 통계처리 작업을 수행하였다.

2) 자료분석

호남고속도로 상하행을 분리하여 직선구간 326개, 곡선구간 380개, 완화곡선구간 586개에 대하여 기하구조 요소를 입력하되, 직선구간의 경우 이전 완화곡선과 이전 곡선, 이전 직선의 기하구조 요소를 함께 정리하고, 곡선구간의 경우 이전 완화곡선, 이전 직선, 이전 곡선의 기하구조 요소를 마찬가지로 완화곡선의 경우도 이전 직선, 곡선, 완화곡선의 기하구조 요소를 정리하여 데이터베이스화하였다. 이는 분석대상 구간이 정해지면 그 구간의 기하구조요소만을 분석하는 것이 아니라 선형의 연속성이라는 관점에서 분석구간 이전의 도로특성에 대한 고려가 이루어 질 수 있도록 하기 위함이었다. 본 연구에서 분석한 호남고속도로의 개별 기하구조 요소에 대한 특징 및 범위는 아래와 같다.

(1) 곡선반경

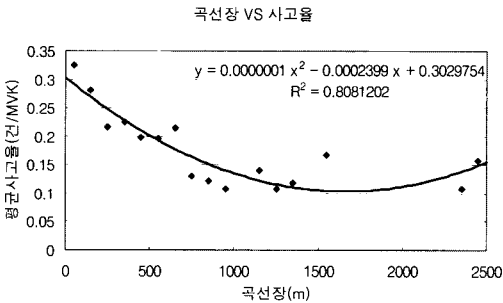
호남고속도로의 곡선반경은 0~42,961.74m에 분포하고 있다. 분석결과 곡선반경이 커질수록 사고율이 점차로 작아지는 곡선의 형태를 보이는 것으로 나타났다. 곡선반경이 280~460m 인 경우 가장 사고율이 높고, 곡선반경이 280m 미만인 경우 두 번째로 사고율이 높은 것으로 나타났다.



〈그림 2〉 곡선반경과 사고율 간의 관계

(2) 곡선길이

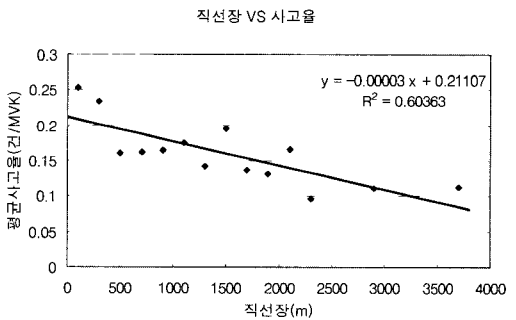
곡선길이 분포는 34~2,414m 였으며, 곡선길이가 늘어날수록 사고율은 점차 감소하다 일정 길이(약 1,500m) 이상이 되면 사고율이 일정수준을 유지하거나 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 사고율을 최소로 하는 곡선 길이 범위는 약 1,000~1,500m 구간이라는 결과를 도출하였다.



<그림 3> 곡선길이의와 사고율 간의 관계

(3) 직선길이

직선길이 분포는 48~3,784m 였으며, 직선길이가 증가할수록 사고율이 감소하는 경향을 보였으며, 직선길이 2,200~2,400m 구간이 최소 사고율을 보이는 구간으로 나타났으며 이후로는 직선길이의 증가에도 불구하고 평균사고율이 일정수준 이하로 떨어지지 않는 결과를 보였다.



<그림 4> 직선길이의와 사고율 간의 관계

(4) 완화곡선길이

완화곡선길이의 범위는 40.20~1,319.78m 였다.

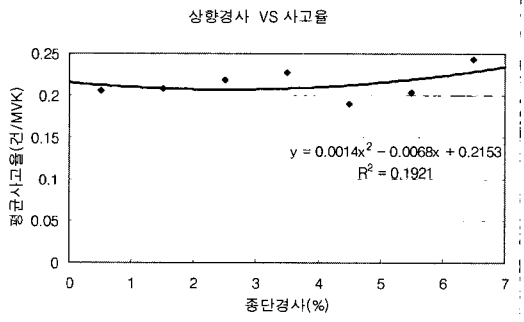
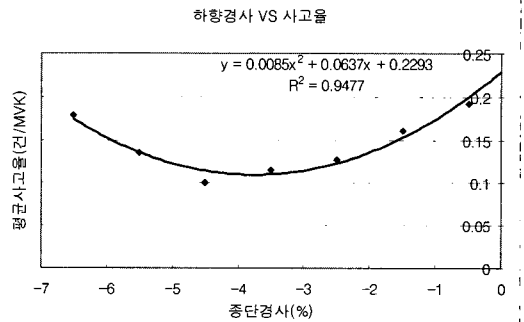
(5) 클로소이드파라메타

완화곡선과 관계되어 적용된 클로소이드파라메타

A의 범위는 200~1,462m 였다.

(6) 종단경사

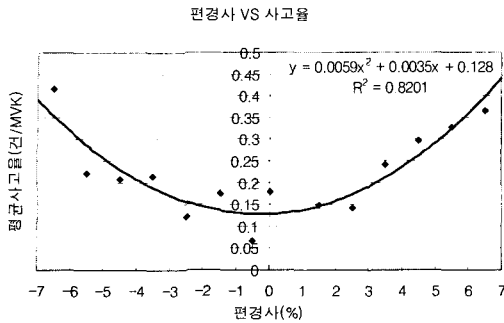
전체 구간의 종단경사는 -6.4977%~6.5103% 로 분포하고 있으며, 종단경사와 교통사고의 관계분석 결과 종단경사가 음(-)인 경우 다시 말해 하향경사인 경우 사고율과의 관계식은 뚜렷한 포물선 형식을 띄고 있으나 종단경사가 양(+)인 경우 다시 말해 상향경사인 경우 사고율과의 관계는 직선식에 가까운 경향을 보이는 것으로 나타났다. 최소의 사고를 유발하는 종단경사는 하향경사 -4~-3% 구간에 존재한다는 결과를 도출하였다.



<그림 5> 종단경사와 사고율 간의 관계

(7) 편경사

편경사 분포는 -7~7%인 것으로 나타났으며, 0~1% 일 때 사고율이 가장 높은 것으로 분석되었으나 이 경우에 해당하는 데이터 수의 부족으로 인한 결과로 평가되었고, 전반적으로 편경사와 사고율과의 관계는 0%를 중심으로 포물선 형상을 띄었다. 다시 말해 편경사의 절대값이 커질수록 사고가 발생할 확률이 높아진다는 결과를 도출하였다.



〈그림 6〉 편경사와 사고율 간의 관계

(8) IC존재

본 연구에서 데이터베이스 구축시 IC존재에 대한 표기방법은 IC가 존재하는 구간에 대해서는 모두 1을 표기하였고 IC가 없는 일반구간에 대해서는 0을 표기함을 원칙으로 하였다.

2. 모형개발

호남고속도로 데이터베이스를 이용하여 선택된 기하구조와 사고와의 관계를 다양한 방법으로 회귀분석하였다. 특히 본 연구에서 구축한 데이터베이스의 경우 동일한 조건의 기하구조를 가지는 경우라도 사고가 발생한 경우와 사고가 발생하지 않은 경우로 나뉘며 사고가 발생하지 않은 경우가 차지하는 비율이 증가하면 전체적인 사고율을 낮추는 역할을 함에 따라 회귀분석을 통해 설정된 모형식의 설명력을 떨어뜨리는 결과를 가져왔다. 종속변수를 사고수(건) 혹은 사고율(건/백만차량-km) 등 두 가지 경우로 설정하고 사고를 이산적인 확률분포로 해석하는 포아송회귀식(Poisson Regression)을 도입하여 분석해 보기도 하였으나, 이 역시 실제 사고데이터의 과분산(Over dispersion) 문제와 관련되어 설명력이 현저히 떨어짐에 따라 분산이 평균보다 크다는 가정에서 출발하는 음이항회귀식(Negative Binomial Regression)을 사용하여 모형식을 추정해 보기도 하였다. 그러나 두 경우 모두 선형회귀식에 비해 설명력이 떨어졌으며 결국 사고수를 종속변수로 하는 선형회귀분석 모형을 최종 모형 형식으로 선택하였다.

1) 변수선택

이전 단계에서 구축한 기본 기하구조 데이터베이스

를 직선구간, 곡선구간, 완화곡선구간으로 1차 구분하고 선형의 연속성을 고려하여 대상구간의 기하구조 데이터를 확장하였다. 변수선택은 확장된 기하구조 요소로 대상으로 Stepwise방법, Forward방법, Backward방법 등 세 가지 방법을 사용하여 수행하였다. 변수 선택을 위해서는 종속변수를 정의해야 하는데 본 연구에서는 사고건수(건)와 사고율(건/백만차량-km)의 두 가지 종속변수에 대해 독립변수 선택 과정을 수행하였으나 최종 모형에서 상대적으로 설명력이 떨어지는 사고율 관련 결과를 제외하고 사고건수를 중심으로 하였다.

(1) Stepwise 방법

상기 요소들을 대상으로 Stepwise 방법을 사용해 변수선택 작업을 수행한 결과 아래와 같이 1차적인 변수가 선택되었다.

① 직선구간

본선구간에서는 상수(Constant), 직선의 길이(L), 직선 편경사(SE), 이전 완화곡선의 편경사(KSE), 이전 곡선 종단경사(CD), 이전 곡선반경(CR), 이전 곡선길이(CL), 이전 직선의 편경사(LSE), 교통량(AADT) 등이, 유출입구간에서는 상수(Constant), 직선길이(L), 직선 종단경사(D), 직선 편경사(SE), 이전 완화곡선 파라메타(KA), 이전 완화곡선길이(KL), 이전 완화곡선 종단경사(KD), 이전 곡선길이(CL), 이전 곡선반경(CR), 이전 직선길이(LL), 이전 직선 종단경사(LD), 교통량(AADT) 등이 1차적으로 변수로 선택되었다.

② 곡선구간

본선구간에서는 상수(Constant), 곡선길이(L), 곡선 종단경사(D), 곡선편경사(SE), 이전 완화곡선길이(KL), 이전 곡선편경사(CSE), 이전 직선편경사(LSE) 등이, 유출입구간에서는 상수(Constant), 곡선길이(L), 이전 완화곡선 종단경사(KD), 이전 완화곡선 파라메타(KA), 이전 완화곡선 편경사(KSE), 이전 직선길이(LL), 이전 직선 편경사(LSE), 이전 곡선 편경사(CSE) 등이 1차적으로 변수로 선택되었다.

③ 완화곡선구간

본선구간에서는 상수(Constant), 완화곡선길이(L), 완화곡선 파라메타(A), 이전 곡선길이(CL), 이전 완화곡선길이(KL), 교통량(AADT) 등이, 유출입구간에서

는 상수(Constant), 이전 곡선길이(CL), 이전 완화곡선길이(KL), 이전 완화곡선 종단경사(KD) 등이 1차적으로 변수로 선택되었다.

(2) Forward 방법

Forward 방법을 사용해 변수선택 작업을 수행한 결과는 아래와 같다.

① 직선구간

본선구간에서는 Stepwise 방법을 이용한 결과와 동일하며, 유출입구간에서는 Stepwise 방법을 이용한 결과에 이전 곡선종단경사(CD)가 추가되어 변수로 선택되었다.

② 곡선구간

본선구간에서는 Stepwise 방법을 이용한 결과에 이전 곡선길이(CL), 이전 곡선반경(CR) 등이 추가되었으며, 유출입구간에서는 Stepwise 방법을 이용한 결과와 동일한 변수가 선택되었다.

③ 완화곡선구간

본선구간과 유출입구간 모두 Stepwise 방법을 이용한 결과와 동일한 변수가 선택되었다.

(3) Backward 방법

Backward 방법을 사용해 변수선택 작업을 수행한 결과는 아래와 같다.

① 직선구간

본선구간에서는 Stepwise 방법을 이용한 결과와 동일하며, 유출입구간에서는 Forward 방법을 이용한 결과와 동일한 변수가 선택되었다.

② 곡선구간

본선구간에서는 Forward 방법을 이용한 결과와 동일한 변수가, 유출입구간에서는 상수(Constant), 곡선길이(L), 이전 완화곡선 종단경사(KD), 이전 완

화곡선 파라메타(KA), 이전 완화곡선길이(KL), 이전 완화곡선 편경사(KSE), 이전 직선길이(LL), 이전 직선 종단경사(LD), 이전 직선 편경사(LSE), 이전 곡선 편경사(CSE), 교통량(AADT) 등이 변수로 선택되었다.

③ 완화곡선구간

본선구간에서는 상수(Constant), 완화곡선 파라메타(A), 이전 직선편경사(LSE), 이전 완화곡선편경사(KSE) 등이, 유출입구간에서는 상수(Constant), 이전 곡선종단경사(CD), 이전 직선길이(LL), 이전 완화곡선 편경사(KSE) 등이 변수로 선택되었다.

2) 다중공선성 진단

이전 단계에서 선택된 변수들에 대한 다중공선성 진단 과정을 거치게 된다. 다중공선성은 독립변수 사이에 근사적 선형 종속성이 존재할 때 발생하게 되며, 회귀계수 추정량의 표준오차가 큰 값을 갖게 되어 회귀계수의 유의성 검정이 별 의미를 갖지 못하게 되는 등 분석결과에 좋지 않은 영향을 초래하게 된다. 다중공선성이 존재함을 확인하는 일반적인 방법은 5보다 큰 분산상승요소(VIF: Variance Inflation Factor)가 존재하는지 확인하는 방법과 상태지수(CI: Condition Index)가 10 이상의 값을 가지는가를 확인하는 방법 등을 들 수 있다.

(1) 직선부

① 본선구간

직선부 본선구간에 대한 다중공선성 진단 결과는 <표 3>과 같다. 따라서 선택된 변수들은 다중공선성 문제를 발생시키지 않으므로 독립변수로 사용하여도 문제가 없음을 알 수 있다.

② 유출입구간

직선부 유출입구간에 대한 다중공선성 진단결과 <표 4>와 같이 직선 편경사(SE), 이전 곡선반경(CR), 이전 완화곡선길이(KL), 이전 완화곡선파라메타(KA) 등은 다중공선성이 발견되어 독립변수에서 제외하였다.

<표 3> 직선부 본선구간 다중공선성 진단결과

| 구분 \ 변수 | Const | L | SE | KSE | CD | LSE | CR | CL | AADT |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| VIF | | 1.075 | 3.969 | 1.945 | 1.053 | 3.597 | 1.166 | 1.255 | 1.117 |
| CI | 1.000 | 1.267 | 1.945 | 2.776 | 3.183 | 3.420 | 4.020 | 5.097 | 9.185 |

〈표 4〉 직선부 유출입구간 다중공선성 진단결과

| 구분 \ 변수 | Const | CL | AADT | D | L | LL | CR | CD | KL | SE | KA |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| VIF | | 4.801 | 1.089 | 1.521 | 1.106 | 1.464 | 6.458 | 1.425 | 6.083 | 1.137 | 8.597 |
| CI | 1.000 | 2.034 | 2.414 | 2.687 | 3.581 | 3.820 | 4.890 | 5.127 | 6.702 | 12.189 | 24.267 |

(2) 곡선부

① 본선구간

곡선부 본선구간에 대한 다중공선성 진단결과는 〈표 5〉와 같이 선택된 변수가 모두 독립변수로 사용 가능함을 알 수 있다.

② 유출입구간

곡선부 유출입구간에 대한 다중공선성 진단결과는 이전 완화곡선 편경사(KSE)를 제외한 나머지 변수들을 모두 독립변수로 선택 할 수 있다는 결과를 보여 준다.

(3) 완화곡선부

① 본선구간

완화곡선부 본선구간에 대한 다중공선성 진단 결과 〈표 7〉과 같이 완화곡선 파라메타(A)와 이전 곡선반경(CR)은 다중공선성 문제가 있음이 드러나 독립변수에서 제외하였다.

② 유출입구간

완화곡선부 유출입구간에 대한 다중공선성 진단 결과 〈표 8〉과 같이 완화곡선 파라메타(A)와 이전 직선 종단경사(LD)는 다중공선성 문제가 발생되어 독립변수에서 제외하였다.

이상에서 직선부, 곡선부, 완화곡선부 각각의 본선구간, 유출입구간에 대한 변수 선택과 다중공선성 진단을 수행하였고 그 결과 선택된 독립변수에 대한 선형회귀분석을 통해 다음단계에서 교통사고 예측모형을 도출하였다.

3) 모형정산

다중공선성 진단 과정을 거쳐 도출된 독립변수들을 이용해 선형회귀분석을 수행한 결과를 정리하면 아래와 같다. 사고건수를 종속변수로 할 경우 교통량(AADT) 변수를 반드시 독립변수로 포함시키는 것이 교통환경 요소를 제대로 반영하는 것으로 판단되며

〈표 5〉 곡선부 본선구간 다중공선성 진단결과

| 구분 \ 변수 | Const | L | LSE | KL | SE | CSE | D | CR | CL |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| VIF | | 1.184 | 1.899 | 1.160 | 1.889 | 1.973 | 1.037 | 1.244 | 1.288 |
| CI | 1.000 | 1.380 | 2.047 | 3.275 | 3.380 | 3.787 | 3.974 | 5.623 | 9.956 |

〈표 6〉 곡선부 유출입구간 다중공선성 진단결과

| 구분 \ 변수 | Const | AADT | LL | L | LD | KD | LSE | KL | KA | KSE |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| VIF | | 1.377 | 1.571 | 1.835 | 1.299 | 1.313 | 2.776 | 1.672 | 1.799 | 3.027 |
| CI | 1.000 | 1.568 | 2.206 | 2.704 | 3.791 | 4.159 | 5.209 | 5.912 | 8.869 | 11.442 |

〈표 7〉 완화곡선부 본선구간 다중공선성 진단결과

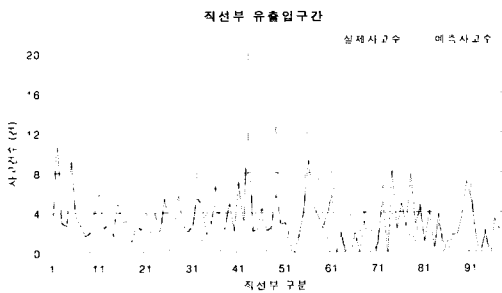
| 구분 \ 변수 | Const | KSE | L | AADT | KL | CL | CR | A |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| VIF | | 1.019 | 1.736 | 1.055 | 1.226 | 1.392 | 1.698 | 2.430 |
| CI | 1.000 | 2.471 | 3.583 | 4.560 | 5.128 | 6.111 | 10.007 | 12.848 |

〈표 8〉 완화곡선부 유출입구간 다중공선성 진단결과

| 구분 \ 변수 | Const | CL | A | LD |
|---------|-------|-------|--------|--------|
| VIF | | 4.031 | 16.990 | 25.341 |
| CI | 1.000 | 1.791 | 3.990 | 34.856 |

〈표 9〉 대응표본 T검정 결과(99% 신뢰구간)

| 구분 | | t값 | 유의확률 (양쪽) | 귀무가설 기각여부 |
|-----------|-----|--------|--------------|--------------|
| 직선부 | 본선 | 1.340 | 0.181 | 기각불가 |
| | 유출입 | -0.946 | 0.349 | 기각불가 |
| 곡선부 | 본선 | -0.132 | 0.895 | 기각불가 |
| | 유출입 | -0.161 | 0.873 | 기각불가 |
| 완화 곡선부 | 본선 | 1.263 | 0.207 | 기각불가 |
| | 유출입 | 2.555 | 0.013 | 기각불가 |



〈그림 7〉 평가모형 결과와 실제 사고건수 비교

대응표본 검정의 귀무가설 모형식에서 도출된 사고건수와 실제 사고건수에는 차이가 없다고 설정하고, 대립가설을 차이가 있다고 설정했을 때 대응표본 검정 후 아래의 〈표 9〉와 같은 결과를 얻을 수 있다.

적합도 검정을 통해 신뢰성이 입증된 상기 모형식들에 대해 실제 사고발생건수와 평가모형 결과를 비교하여 그래프로 나타내면 아래의 〈그림 7〉과 같은 형상을 나타낸다. 직선부 유출입구간에 대한 예를 들었지만 직관적으로 판단해 볼 때도 평가모형이 현실을 상당부분 설명하고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 호남고속도로를 대상으로 고속도로 선형요소별 교도사고 특성을 분석하여 보고 고속도로 기하구조별 교통사고위험도 평가모형을 개발하였다. 도로를 직선부, 곡선부, 완화곡선부로 1차 구분한 후 이에 대한 길이, 반경, 종단경사, 편경사 등의 기본 기하구조 요소를 입력하여 데이터베이스를 구축하고 이전 선형에 대한 고려를 통해 데이터베이스를 확장하였으며 통계적 분석과정을 거쳐 각 선형별 기본구간과 유출입구간에 대한 교통사고 위험도 평가모형식

을 도출하였다. 선형회귀분석이라는 현실적인 제약이 존재함에도 불구하고 개발된 모형에 대한 적합도 검정 등의 과정에서 모형의 현실 설명력이 상당히 뛰어난 것을 알 수 있었다. 특히 도로의 선형을 직선부, 곡선부, 완화곡선부로 구분하고 이를 다시 본선구간과 유출입구간으로 구분하여 각각의 모형식을 도출해 냄으로써 기존의 연구들이 하나의 모형식 내에서 확연하게 차이나는 도로선형 요소를 무리하게 분석하려고 했던 문제점을 해결하였다고 볼 수 있다.

본 연구를 통해서 도로기하구조 대안에 따른 교통사고 위험도를 평가하기 위한 모형식이 도출되었으나, 분석대상구간의 위험도 수준을 평가하기 위해서는 본 모형식을 통해 도출된 교통사고 예측치에 대한 평가 기준이 수립되어야 하며 위험도 등급이 설정되어야만 〈그림 1〉에서 설명한 것과 같이 객관적인 위험도 판단이 가능할 것으로 사료된다.

본 연구의 최종 목표로 할 수 있는 도로 안전도 평가모형에 적용하기 위해서는 보다 다양한 기하구조에 대한 일반화 연구는 물론 다른 형태의 교통사고 위험도 평가모형 등과 비교연구 하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 강정규(1985), "고속도로의 기하구조가 교통사고 발생에 미치는 영향에 관한 연구", 서울대학교 환경대학원.
2. 건설교통부(1999), "도로안전시설 설치 및 관리지침(교량용 방호울타리편)".
3. 김경석·진광성(1996), "도로의 기하구조와 안전성의 상호관계분석 연구", 국토연구원.
4. 김태원(1996), "도로의 기하구조가 교통사고에 미치는 영향", 서울대학교 환경대학원.
5. 한국건설기술연구원(1989), "교통사고와 도로의 기하구조 조건과의 관계".
6. 한국도로공사(2001), "고속도로 건설공사 표준도".
7. Charles V. Zegeer, J. Richard Stewart, Forrest M. Council, Donald W. Reinfurt, and Elizabeth Hamilton(1992), "Safety Effects of Geometric Improvements on Horizontal Curves", TRR 1356.
8. Datta, TK; Perkins, DD; Taylor, JI; Thompson, HT(1983), "Accidents Surrogates for Use in

- Analysing Highway Safety Hazards”, FHWA-RD-82-103.
9. Fitzpatrick, K; Wooldridge, MD; Tsimhoni, O; Collins, JM; Green, P; Bauer, KM; Parma, KD; Koppa, R; Harwood, DW; Anderson, I; Krammes, RA; Poggioli, B(2000a), “Alternative Design Consistency Rating Methods for Two-Lane Rural Highways”, FHWA-RD-99-172.
 10. Fitzpatrick, K, Elefteriadou, L, Harwood, DW, Collins, JM, McFadden, J, Anderson, IB, Krammes, RA, Irizarry, N, Parma, KD, Bauer, KM, Pasetti, K(2000b), “Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways”, FHWA-RD-99-171.
 11. Griffiths, MS(1994), “Comparison of the Safety of Lighting Option on Urban Freeways, Public Roads”.
 12. Gupta, RC; Jain, RP(1975), “Effect of Certain Roadway Characteristics on Accident Rates for Two-Lane, Two-Way Roads in Connecticut (Abridgment)”, TRR 541.
 13. Harwood, D. W.; Council, F. M.; Hauer, E.; Hughes, W. E.; Vogt, A.(2000), “Prediction of the Expected Safety of Rural Two-Lane Highways”, FHWA-RD-99-207.
 14. Ingrid B. Anderson and Raymond A. Krammes (2000), “Speed Reduction as a Surrogate for Accident Experience at Horizontal Curves on Rural Two-Lane Highways”, TRR 1701.
 15. Kenneth L. Fink, Raymond A Krammers (1995), “Tangent length and Sight distance effects of Accident Rates at Horizontal Curves of Rural Two-Lane Highways”.
 16. Polus, A(1980), “Relationship of Overall Geometric Characteristics to the Safety Level of Rural Highways”, Traffic Quarterly vol 34.
 17. Raymond A. Krammes and Stephen W. Glascock(1992), “Geometric Inconsistencies and Accident Experience on Two-Lane Rural Highways”, TRR 1356.
 18. Ruediger Lamm, Basil Psarianos, Theodor Mailaender(1999), “Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook”, McGRAW-HILL.
 19. Vogt, A; Bared, JG(1998), “Accident Models for Two-Lane Rural Roads”, FHWA-RD-98-133.
 20. Zegeer, C; Stewart, R; Reinfurt, D; Council, F; Neuman, T; Hamilton, E; Miller, T; Hunter, W(1991), “Cost-Effective Geometric Improvements for Safety Upgrading of Horizontal Curves”, FHWA-RD-90-021.
 21. Zegeer, C. V., Hummer, J., Reinfurt, D., Herf, L., Hunter, W.(1986), “Safety Effects of Cross-section Design for Two-Lane Roads”, FHWA-RD-87-008.
 22. Matthews, Barnes(1988), “Relation Between Road Environment and Curve Accidents”, 14th ARRB Conference.

✉ 주 작 성 자 : 강정규
 ✉ 논문투고일 : 2002. 6. 29
 논문심사일 : 2002. 7. 28 (1차)
 2002. 7. 31 (2차)
 심사판정일 : 2002. 7. 31
 ✉ 반론접수기간 : 2002. 12. 31