■ 論 文 ■

고속도로 선형조건과 GIS 기반 교통사고 위험도지수 분석
(호남 · 영동 · 중부고속도로를 중심으로)

A GIS-based Traffic Accident Analysis on Highways using Alignment Related Risk Indices

강 승 림
(국토연구원 책임연구원)

박 창 호
(서울대학교 지구환경시스템공학부 교수)

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 선행연구 검토
1. 교통사고 분석기법
2. 교통사고 영향인자
3. 문제점 및 개선안
Ⅲ. GIS를 응용한 사고분석 시스템
Ⅳ. 자료수집 및 사고분석
1. 사고관련 자료 수집 및 처리
2. 교통사고분석
Ⅴ. 사고예측모형의 개발 및 검증
1. 도로선형요소의 조합별 위험도
2. 모형구축
3. 모형의 검증
Ⅵ. 사고위험도지수의 설정 및 활용
1. 사고위험도지수 및 위험도 평가기준
2. GIS를 응용한 가시화 및 활용
Ⅶ. 결론
참고문헌

Key Words : 사고분석, GIS, 도로선형요소의 상호작용, 선형의 연속성, 사고발생가능성, 사고위험도지수, 위험도평가등급

요 약

본 논문에서는 GIS(Geographic Information System:지리정보체계)를 기반으로 도로의 선형조건을 이용하여 고속도로의 사고위험도를 파악하고 평가할 수 있는 방법을 개발하였다. 고속도로 평면곡선부에 대한 다양한 사고분석을 통해 도로의 선형조건이 교통사고에 미치는 영향을 규명하였으며, 이 결과를 토대로 사고예측모형을 구축하였다. 특히 사고영향인자를 규명하는 데에 있어서는 도로선형요소의 상호작용과 선형의 연속성을 반영함으로써 보다 현실적이고 객관적인 예측모형을 구축할 수 있도록 하였다. 아울러 사고예측모형의 추정결과와 사고자료를 토대로 고속도로의 선형조건에 따른 종합적인 사고위험도지수를 설정하고 이에 대한 평가기준을 마련하였다. 한편, 주어진 도로선형조건에 따라 사고발생가능성을 예측하고 사고위험도를 평가하는 일련의 과정을 GIS와 결합하여 프로그래밍함으로써 해당구간의 사고율, 사고위험도지수, 위험도평가등급이 자동적으로 결정될 수 있게 하였을 뿐만 아니라 관련정보 및 평가결과를 시각적으로 제공하여 이용자가 보다 쉽게 이해하고 편리하게 사용할 수 있는 사고위험도 평가 프로그램을 개발하였다. 개발된 사고예측모형과 이를 토대로 설정한 사고위험도지수 및 위험도평가등급은 안전하고 비용-효율적인 도로설계에 도움을 줄 수 있을 뿐 만 아니라, 사고취약구간에 대한 대책 마련에도 이바지 할 것으로 기대된다.

Ⅰ. 서론

1968년 경인고속도로의 개통과 함께 시작된 우리나라의 고속도로는 2001년 현재 총 연장이 2,294km에 이르고 있으며 국내의 전체 여객 및 화물 수송의 약 30% 가량을 담당하고 있다. 하지만 이와 같은 양적인 성장과 함께 교통사고로 인한 피해 역시 증가해 왔다. 특히 고속도로에서 발생하는 교통사고의 치사율은 다른 도로에 비해 매우 높을 뿐 만 아니라[1] 선진국들과 비교해도 그 격차가 확연하기 때문에[2] 고속도로의 안전성 재고가 절실히 요청되고 있는 실정이다. 또한 치명적인 사고의 빈번한 발생이 전체 교통소통에 심각한 영향을 미친다는 사실을 감안한다면 안전을 위해서 뿐만 아니라 비반복적인 교통혼잡 발생의 경감을 위해서도 고속도로 교통사고를 저감시킬 수 있는 방안이 모색되어야 할 것이다. 이를 위해서는 우선 도로의 선형조건과 사고와의 관계를 명확하게 파악함으로써 보다 정확하고 현실적인 사고예측모형을 구축해야 하며, 이를 토대로 도로의 사고위험도[3]를 평가할 수 있는 기준이 설정되어야 한다. 고속도로 곡선부에서 발생하는 사고를 보다 현실적으로 예측하기 위해서는 사고분석 및 사고예측모형의 구축과정에서 다양한 도로선형요소들 간의 상호작용이 반영되어야 하며, 해당 곡선부의 선형조건 뿐만 아니라 상류부의 선형조건(선형의 연속성)까지도 고려되어야 한다. 이에 따라 도로선형요소의 상호작용 및 선형의 연속성과 사고와의 관계를 밝히기 위한 연구가 지속되고 있기는 하지만 아직 명확한 관계를 밝혀내지 못하고 있는 실정이며, 현재까지 국내외에서 수행된 기존의 연구결과들은 대부분 지방부 2차로 도로를 대상으로 사고지점의 도로특성(도로선형, 교통상황 등)만을 고려하여 개별 도로선형요소와 사고와의 관계를 정립하려는 시도라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 GIS 기법을 기반으로 도로선형요소의 상호작용 및 선형의 연속성을 고려한 다양한 사고분석을 통해 고속도로 곡선부의 사고위험도를 효과적으로 파악·평가할 수 있는 방법을 제시함으로써 안전하고 비용-효율적인 도로설계와 사고취약구간에 대한 대책 마련을 위한 토대를 마련하고자 한다.

Ⅱ. 선행연구 검토

1. 교통사고 분석기법

특정한 교통상황과 선형조건을 갖는 도로의 일정구간에 대한 교통사고를 예측하기 위해 기존의 연구들은 대부분 상관분석, 분산분석 등을 통해 교통사고를 가장 잘 설명할 수 있는 대표적인 변수들을 선정하고, 회귀분석을 통해 이 변수들과 교통사고와의 관계를 규명하였으며, 이 과정에서 사용된 회귀식은 유형별로 크게 선형회귀식[4], 비선형회귀식, log-normal 회귀식, 포아송회귀식, 음이항회귀식[5]으로 분류된다.

한편, 통계적기법 외에 신경망이론, 위험도분석(risk analysis), 다중분석계층기법(Multiple Analysis Classification technique) 등 다양한 방법을 이용하여 교통사고를 분석하고 모형화 하려는 시도가 이루어지고 있으며, 이중 신경망이론을 통해 구축된 모형은 비교적 설명력이 높았다.

2. 교통사고 영향인자

현재까지 사고위험도를 설명·예측하기 위해 다양한 거시적 모형들이 개발되어 왔으며, 이들은 설명변수로 무엇을 설정하느냐에 따라 다음과 같은 세 가지 모형군으로 나눌 수 있다.

- 사고위험도=함수[기하구조]
- 사고위험도=함수[기하구조+교통환경]

1) 우리나라 고속도로의 사망률은 0.096명/건으로 일반국도(0.053명/건), 지방도(0.056명/건), 자동차전용도(0.045명/건)에 비해 약 2배나 높다(2000년, 경찰청 통계자료).
2) 우리나라 고속도로의 단위구간 당 사망률은 0.584명/km로 미국(0.047명/km), 일본(0.053명/km)에 비해 약 10배나 높다(한국도로공사, 2001).
3) 사고위험도는 사고발생가능성을 의미하며, 일반적으로 사고건수, 사고율 등으로 표시된다. 도로의 사고위험도를 파악하고 비교하기 위해서는 합리적인 사고관련지표가 마련되어야 하는데, 본 연구에서는 도로의 선형조건에 따른 사고지표(사고율 추정치)와 사고자료를 토대로 사고위험도지수 및 위험도평가등급을 설정하였으며 이것을 이용하여 도로의 사고위험도(사고발생가능성)를 설명하고자 한다.
4) 선형회귀식은 교통사고분석에 이용되는 가장 단순한 기법으로 도로선형요소와 사고율간의 평균적이고 대표적인 관계를 가장 잘 표현할 수 있어 전통적으로 많이 이용되고 있다.
5) 포아송회귀식과 음이항회귀식은 교통사고와 같이 무작위로 발생하는 이산적 사건을 모형화 하기 위한 가장 적합한 방법으로 알려져 있으며 최근에(특히 종속변수가 사고건수인 경우) 많이 이용되고 있다.

○ 사고위험도=함수[선형의 연속성]

1) 기하구조

기존의 연구에서는 사고예측모형의 설명변수로 곡선반경, 종단경사(국토개발원, 1996), 완화곡선(C. V. Zegeer 등, 1991, R. Kulmala 등, 1988), 직선길이(C. V. Zegeer 등, 1992, E. Hauer, 1999) 등이 이용되었으며, 사고예측모형들은 대부분 각각의 설명변수들과 사고와의 관계를 각기 개별적으로 파악하였다. 특히 곡선반경(곡률)이 곡선부 사고에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 곡선반경이 작을수록 사고율이 높았다(C. V. Zegeer 등, 1990, L. F. Kenneth 등, 1995).

2) 선형의 연속성(consistency)

선형의 연속성(일관성)은 해당 도로의 선형특성이 운행상의 특성과 일관성을 가질 때의 조건으로 운전자의 기대에 어긋나지 않는 설계요소의 결합, 즉 운전자가 해당 도로에 기대하는 선형수준이 설계에 의해 일관성 있게 제공되는 상태를 의미한다. 일반적으로 선형의 연속성이 보장된 도로는 운전자에게 일관성 있는 주행행태를 제공하기 때문에 사고발생가능성이 낮아지게 되는 반면, 선형의 연속성에 어긋난 도로는 급격히 변화하는 도로상황에 대해 운전자가 적절히 대처하지 못하기 때문에 사고율이 높다.

속도에 관계되는 사고의 대부분은 도로선형의 급격한 변화로 인해 요구되는 급격한 속도변화에 대해 운전자가 적절히 대처하지 못해 곡선부에서의 적정속도를 초과함으로써 발생되며, 감속의 폭이 클수록 사고발생가능성이 높다. 따라서 특히 긴 직선구간에 연결된 급격한 곡선구간은 사고율이 높다고 알려져 있다. 즉, 단조로운 직선구간을 주행하는 운전자는 주의력이 떨어져 있을 뿐만 아니라 감속에 대한 판단도 어려워지기 때문에 사고가 발생할 가능성이 높다. 또한 곡선반경이 큰 곡선부에서 곡선반경이 작은 곡선부로 급격히 변화하는 구간에서도 속도의 감소폭이 크기 때문에 이러한 선형조건에 운전자가 적응하지 못하는 경우에는 사고와 연결될 가능성이 매우 높다. 이러한 관점에서 곡선부에서 발생하는 사고를 정확하게 예측하기 위해서는 해당 곡선부의 도로특성 뿐만 아니라 상류부로부터의 선형변화(선형의 연속성)를 적절히 반영해 주어야 한다. 기존의 연구에서는 선형의 연속성 평가를 위한 지표로 선형지표(alignment indices)(K. Fitzpatrick 등, 2000, A. Polus 등, 1987), 속도의 변화(R. Lamm 등, 1988, A. K. Raymond 등, 2000, B. A. Ingrain 등, 2000), 운전부하(driver workload)(A. K. Raymond 등, 2000)가 이용되었다. 운전부하(driver workload)는 이에 대한 직접적인 측정이 불가능할 뿐만 아니라 운전자가 주어진 여러 조건에 대해서 다양한 반응행태(평가결과)를 보이기 때문에 계량화가 쉽지 않았다. 한편, 속도의 변화(운행속도의 감소폭 예측치)가 선형의 연속성이나 사고에 대한 설명력은 컸지만 이러한 속도관련 지표는 일반적으로 선형지표(곡률)의 함수로 예측되며, 신설도로의 설계과정에서 적용이 불가능하다는 문제점이 있다. 반면 선형지표는 도로선형요소의 함수로서 연속적인 선형요소에 대한 정량적 측정 및 비교가 가능하며 도로선형요소의 상호작용까지 반영할 수 있다. 또한 해당 곡선부의 선형특성 뿐만 아니라 상류부의 선형특성까지 고려함으로써 운전자의 기대를 반영할 수 있다. 따라서 도로의 선형조건과 관련된 척도를 이용하여 선형의 연속성을 평가하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3. 문제점 및 개선안

1) 교통사고 분석기법

도로의 선형조건과 교통사고간의 관계를 설명하기 위해 관련된 변수들을 모두 고려하여 다중회귀모형을 구축하려는 시도가 있었으나 대부분 설명력이 매우 낮았다. 그 이유는 무엇보다 대부분의 사고가 도로의 선형조건 뿐만 아니라 도로환경, 차량 등의 물리적 요인과 인적요인이 복합적으로 작용하여 발생되기 때문이라고 할 수 있다. 또한 사고는 도로선형요소들의 복합적인 상호작용에 의해 발생되기 때문에 이것이 고려되지 않는다면 바람직한 결과를 기대하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 사고예측과정에서 도로선형요소들 간의 잠재적인 상호작용을 반영하기 위해 개별 도로선형요소에 의한 사고분석 뿐만 아니라 도로선형요소의 조합에 의한 사고분석을 수행하고자 한다. 또한 기존의 연구에서와 같이 각각의 도로선형요소 데이터 값을 그대로 이용하면 사고와의 상관관계

를 밝혀내기 어려울 뿐만 아니라 도로선형요소 간의 상호작용을 파악하고 정량화 하여 모형에 반영하기도 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 일단 도로선형요소의 조합에 의한 사고분석을 통해 도로선형요소의 조합별 위험도를 도출하고[6], 이것을 설명변수로 이용한 회귀분석을 통해 사고예측모형을 구축하고자 한다.

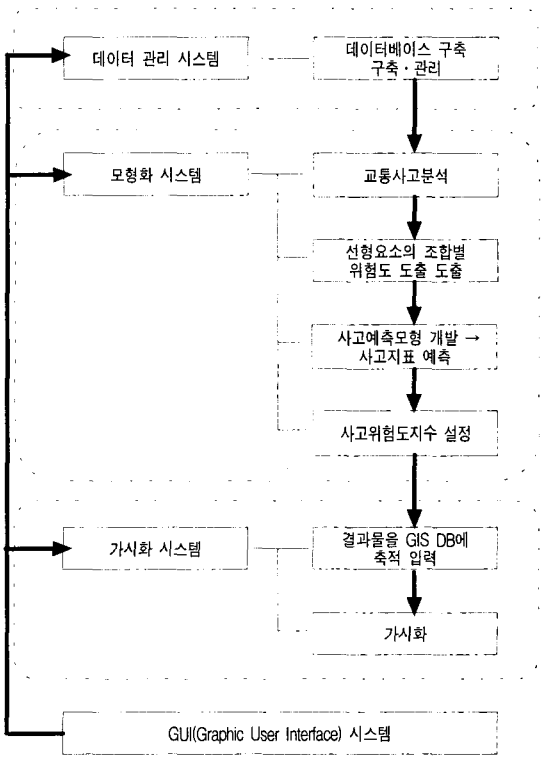
2) 교통사고 영향인자

교통사고는 다양한 도로선형요소들의 복합적인 상호작용의 결과로 발생되며, 이러한 요인들은 상황에 따라 사고에 직·간접적으로 영향을 주면서 하나의 요소가 다른 요소와 상호작용 하여 사고의 위험도를 증가시키거나 감소시킬 수 있다. 따라서 사고예측과정에서는 개별적인 도로선형요소의 영향뿐만 아니라 서로 영향을 주는 도로선형요소들간의 상호작용까지도 반영해 주어야 한다. 하지만 도로선형요소들의 상호작용이 사고에 미치는 영향에 대한 바른 이해와 정량화가 어렵기 때문에 기존의 연구들은 대부분 사고에 대한 도로선형요소들의 영향을 독립적으로 간주하고 이들 사이의 잠재적인 상호작용을 무시하였다. 또한 보다 현실적인 사고예측을 위해서는 사고예측과정에서 반드시 선형의 연속성을 반영해 주어야 하지만 기존의 연구 대부분은 곡선부에 대한 지점특성만을 고려하고 상류부의 선형에 대해서는 고려하지 못했으며, 일부 연구에서 선형의 연속성을 반영하고자 하는 시도는 있었지만 일관성 있는 결과를 이끌어 내지는 못했기 때문에 이에 대한 보다 심도 있는 연구가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구에서의 문제점을 고려하여 선형의 연속성 평가지표(곡선부에 인접한 직선길이, 누적직선길이, 연속적인 두 곡선부에 대한 곡률차, 평균곡률)와 사고와의 관계를 분석[7]함으로써 분석구간에 대한 선형의 연속성을 반영하고자 한다. 또한 도로선형요소들의 조합(곡선반경과 다른 도로선형요소[8]와의 조합)과 사고와의 관계에 대한 분석을 통해 도출된 도로선형요소의 조합별 위험도를 사고예측모형의 설명변수로 이용하여 선형요소들 간의 상호작용을 반영함으로써 보다 현실적인 사고예측모형을 구축하고자 한다.

Ⅲ. GIS를 응용한 사고분석 시스템

GIS는 그 특성상 ① 방대한 자료의 수집·분석이 가능할 뿐만 아니라 ② 공간분석 및 지도화(mapping) 작업을 효과적으로 수행할 수 있으며 ③ 의사결정과정을 지원할 수 있는 가시화 기능을 가지고 있기 때문에 보다 효과적인 사고분석을 위해 자료의 수집·처리 및 관리, 관련정보의 조회 및 가시화 과정에서 활용되고 있으며, 본 연구에서도 시스템 통합자로서의 역할을 훌륭하게 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 GIS를 응용한 사고분석 시스템을 구상하였으며, 이것을 기반으로 고속도로 곡선부의 사고위험도를 파악하고 평가하는 방안을 개발하여 적용해 보고자 한다. 시스템 구상의 목적은 GIS를 활용한 하나의 틀 속에서 도로의 사고위험도를 평가할 수 있는 시스템을 개발하는데 있으며, 본 시스템은 다음과 같이 네 가지의 하위시스템으로 구성된다(〈그림 1〉 참고).



〈그림 1〉 사고분석 시스템의 구성

6) 이에 대한 상세한 설명은 Ⅴ장의 1. 도로선형요소의 조합별 위험도에서 제시하였다.
7) 곡률차, 평균곡률의 경우 곡선부에 인접한 직선길이에 따라 구분하여 분석
8) 종단경사, 곡선길이, 직선길이, 누적직선길이, 곡률차, 평균곡률

1 단계 : GIS tool을 이용하여 도로의 선형조건, 교통사고, 교통량 등에 관한 각종 공간/속성정보를 수집, 처리, 관리하고, 이러한 작업에서 가장 기본이 되는 기본공간단위[9](BSU:Basic Spatial Unit)를 구분하여 관리한다.

2 단계 : 고속도로 곡선부 사고에 영향을 미치는 도로선형요소의 조합을 도출하여 이것과 사고와의 관계를 규명한다. 결국 이 과정을 통해 도출된 도로의 선형조건(도로선형요소의 조합)과 사고와의 관계가 모형식으로 정리되고, 이 모형식에서 도출된 사고지표(사고율 추정치)와 사고자료를 토대로 고속도로의 곡선부에 대한 종합적인 사고위험도지수와 위험도평가등급이 설정된다.

3 단계 : 이전 단계에서 도출된 결과물들은 다시 GIS Tool을 이용하여 이용자가 쉽게 인식할 수 있는 형태로 가시화된다.

Ⅳ. 자료수집 및 사고분석

1. 사고관련 자료 수집 및 처리

1) 교통사고 영향인자 선정

해당 곡선부의 선형조건을 반영하기 위해 곡선반경(곡률[10]), 곡선길이[11], 종단경사, 편경사를 선정하였으며, 상류부의 선형조건을 고려하여 직선길이[12], 이전 곡선부와의 거리[13], 누적직선길이[14], 곡률차[15], 평균곡률[16]을 선정함으로써 선형의 연속성까지 반영할 수 있도록 하였다.

2) 대상도로 및 분석구간 선정

본 연구에서는 4차로 고속도로 중 최근 도로 조건의 변화(선형개량, 도로의 확·포장 등)가 최소로 판단되는 호남·중부·영동고속도로를 대상도로로 선정하였다[17]. 본 연구에서는 분석구간을 4차로 고속도로 곡선부(기본구간)[18]로 정하였기 때문에 이에 해당되지 않는 구간은 제외하였으며, 1996년부터 2000년까지 해당 구간에서 발생한 사고자료를 이용하였기 때문에 1996년 이전에 4차로 폭으로 확장된 구간만을 분석구간에 포함시켰다.

3) 자료 수집 및 정리

호남·영동·중부고속도로(남해고속도로 일부구간 포함)의 345개 곡선부를 상·하행으로 구분하여 총 690개의 곡선구간별로 도로선형, 교통사고, 교통량에 대한 자료를 수집·정리하여 데이터베이스를 구축하였다. 도로선형요소에 대한 자료(곡선반경, 종단경사, 곡선길이, 직선길이, 완화곡선길이, 편경사)는 한국도로공사 '지리도형정보시스템'의 종평도를 이용하여 곡선구간별로 정리하였다. 교통량 자료는 1996년~2000년의 구간별 AADT(교통량 통계)를 합산하여 5년 간 방향(상·하행)별 연평균일교통량(AADT)을 산출하였다. 교통사고 자료는 한국도로공사에서 매년 조사·정리하는 지점별 사고통계자료를 이용하여 곡선구간별로 5년 간(1996년~2000년) 발생한 총 사고건수를 정리하였으며, 일단 사고건수로 정리된 사고자료는 사고율 개념으로 재정리하여 각 구간별로 상대적인 비교가 가능하게 하였다.

$$AR = \frac{\text{5년간 교통사고건수} \times 1,000,000}{365 \times \text{5년간 연평균일교통량} \times \text{곡선구간길이}}$$

(건/MVK[19])

9) 기본공간단위(BSU:Basic Spatial Unit)란 교통사고분석을 위한 최소 공간단위로서 균질한(Homogeneous) 도로선형 속성 및 사고자료를 가지는 분석단위라 할 수 있다.
10) 곡률은 1/곡선반경을 의미하지만 매우 작은 값을 갖기 때문에 본 연구에서는 분석의 편의를 위해 1000/곡선반경 값을 이용
11) 원곡선길이
12) 원곡선부(혹은 완화곡선부)에 인접한 이전 직선구간의 길이
13) 연속적인 두 원곡선부 사이의 거리를 의미하며 원곡선부에 인접한 완화곡선길이까지 포함하여 산출
14) 곡선반경이 2500m 이상인 곡선구간은 직선부로 간주하고 원곡선부에 인접한 완화곡선길이까지 포함하여 산출
15) 해당 곡선부의 곡률 - 이전 곡선부의 곡률
16) (해당 곡선부의 곡률 + 이전곡선부의 곡률)/2
17) 호남·중부·영동고속도로 모두 확장이래 부분적인 재포장의 변화는 있었으나 교통환경에 큰 영향을 줄만한 도로 기하구조의 변화는 없었다.
18) 일반적으로 직선부나 완화곡선부보다는 곡선부에서의 사고율이 높을 뿐만 아니라 치사율도 높기 때문에 본 연구에서는 교통안전 측면에서 가장 문제가 되는 곡선부에서 발생하는 사고를 다루었으며, 인터체인지, 톨게이트 등에서 발생한 사고는 도로의 선형조건 이외에 다른 요인들도 많은 영향을 미친다고 알려져 있기 때문에 기본구간만을 대상으로 분석하였다.
19) Million Vehicle Kilometer

2. 교통사고분석

1) 사고자료 분석

본 연구에서는 사고자료의 분포를 파악하기 위해 Kolmogorov-Smirnov 검증[20]을 수행하였으며, 분석결과 사고자료는 95% 유의수준에서 정규분포를 따랐다. 개별적인 도로선형요소 및 선형요소의 조합과 사고와의 관계를 살펴보기에 앞서 각각의 도로선형요소와 사고율과의 상관분석을 실시하였으며, 상관분석 결과를 감안하여 사고분석에 이용할 도로선형요소로 곡선반경(곡률), 종단경사, 곡선길이, 직선길이, 누적직선길이, 곡률차, 평균곡률을 결정하였다.

2) 개별 도로선형요소에 의한 사고분석

(1) 곡선반경과 사고와의 관계

곡선반경이 작을수록 평균사고율이 높았으며, 특정한 곡선반경 값을 기준으로 비슷한 평균사고율을 나타내어 교통사고에 미치는 영향이 유사하다고 판단되는 곡선반경의 범위가 존재함을 확인할 수 있었다. 특히 곡선반경이 460m 미만인 구간은 곡선반경이 460m 이상인 구간에 비해 평균사고율이 2배 이상, 곡선반경이 710m 이상인 구간에 비해 7배 이상 높았으며, 곡선반경 460m, 710m, 2500m가 곡선반경과 사고율과의 관계에 있어서 사고율에 민감한 곡선반경의 구분점(Threshold) 역할을 하고 있다는 점을 발견할 수 있었다. 한편, 곡선반경이 2500m 이상인 구간은 다른 구간에 비해 특히 사고율이 낮았으며, 사실상 이 구간은 곡선부의 의미를 상실하여 직선구간으로 간주될 수 있다[21]. 따라서 이하의 분석과정에서는 곡선반경이 2500m 미만인 구간과 곡선반경이 2500m 이상인 구간을 별도로 구분하였다.

(2) 종단경사와 사고와의 관계

상향경사구간과 하향경사구간의 사고율은 큰 차이를 보이지 않았으며, 경사가 급할수록 사고율이 증가하였다. 곡선반경이 2500m 미만인 경우에 종단경사가 5% 미만인 하향경사 구간과 종단경사가 3% 초과인 상향경사 구간에서의 평균사고율은 다른 구간에 비해 2배정도 높았다.

(3) 곡선길이와 사고와의 관계

곡선반경이 2500m 미만인 구간인 경우에 곡선길이가 짧을수록 사고율이 높았다. 또한 곡선길이 110m, 170m, 800m가 곡선길이와 사고율과의 관계에 있어 사고율에 민감한 곡선길이의 구분점(Threshold) 역할을 하고 있다는 점을 발견할 수 있었다.

(4) 직선길이와 사고와의 관계

곡선반경이 2500m 미만인 구간에서 직선구간의 길이가 3000m 미만인 경우에는 직선길이가 짧을수록 평균사고율이 높았으며, 특히 직선길이가 100m~200m인 경우는 직선길이가 500m~3000m인 경우보다 평균사고율이 2배 이상 높았다. 한편, 분석에 이용된 곡선구간은 모두 곡선반경이 400m 이상으로 급격한 곡선구간이 거의 없기 때문에 직선길이가 길어져도 사고율이 증가하지는 않았다.

(5) 누적직선길이와 사고와의 관계

곡선반경이 2500m 미만인 경우에는 누적직선길이가 짧을수록 평균사고율이 높았으며, 누적직선길이가 100m~200m인 구간에서의 평균사고율은 다른 구간보다 2배 이상 높았다. 한편, 누적직선길이가 길어질수록 사고율은 점차 감소하다가 누적직선길이가 700m 이상이 되면 사고율의 변화가 거의 없었다.

(6) 곡률차와 사고와의 관계

곡선반경이 710m 미만인(R_1, R_2) 곡선부에서는 인접한 직선길이가 300m 미만인 경우에만, 곡선반경이 710m~2500m인(R_3) 곡선부에서는 인접한 직선길이가 200m 미만인 경우에만 두 곡선부 사이의 곡률차와 직선길이가 사고에 영향을 미쳤다[22].

---

20) 참고문헌 : 이학식, 2001.

21) R. Lamm 등(1999)은 CCR(curvature change rate)이 35 이하인 경우, 즉 곡선반경이 1923m 이상인 경우를 직선구간으로 간주하였다.

22) 본 연구에서는 운전자가 이전의 곡선부를 주행하면서 현장의 도로선형조건에 익숙해진다고 간주하였으며, 이 경우 연속적인 두 곡선부의 곡률 차이를 심적인 충격으로 느낀다고 보았다. 또한 이러한 심적 충격을 완화시키는 요인으로 현재 주행하는 곡선부와 바로 직전에 주행한 곡선부 사이의 거리를 가정하였으며, 이 거리가 일정 수준 이상으로 길어질 경우에는 두 곡선부의 곡률차가 사고에 영향을 주지 않는다고 보았다.

(7) 평균곡률과 사고와의 관계

평균곡률의 증가에 따라 사고율의 증가폭이 컸으며, 특히 평균곡률이 2이상인 구간은 다른 구간에 비해 평균사고율이 1.4배~8.7배정도 높았다[23]. 한편, 곡선반경이 2500m 이상인 구간에서는 각각의 도로선형요소가 사고에 거의 영향을 주지 않았다.

2) 도로선형요소의 조합에 의한 사고분석

본 분석은 고속도로 사고가 상기한 특정 도로선형요소의 영향으로 일어난다기보다는 도로선형요소들의 잠재적인 상호작용에 의해 발생된다는 판단에 근거하고 있다. 실제로 국내외에서 이루어진 기존의 연구를 살펴보더라도 이러한 사실에 공감하면서 도로선형요소의 상호작용과 사고와의 관계를 밝히기 위해 노력하고 있지만 아직까지 뚜렷한 관계를 밝혀내지는 못하고 있다. 개별 도로선형요소와 사고와의 관계분석 결과 곡선반경이 사고에 가장 큰 영향을 주었을 뿐만 아니라 다른 선형요소들에 비해 사고와의 상관관계가 높았기 때문에 본 연구에서는 곡선반경과 다른 도로선형요소[24]와의 조합에 따른 사고분석을 통해 곡선반경과 다른 선형요소의 상호작용이 사고에 미치는 영향을 파악하였다. 곡선반경과 다른 도로선형요소의 상호작용이 사고에 미치는 영향을 보다 정확하게 파악하기 위해 사고에 미치는 영향[25]이 비슷한 곡선반경을 갖는 곡선구간이 다른 도로선형조건에 따라 사고에 미치는 영향에 어떠한 차이를 보이는지 살펴보았으며, 도로선형요소를 개별적으로 고려한 경우보다 사고율의 변화에 일관성을 보였기 때문에 이를 파악하기가 어렵지 않았다.

(1) 곡선반경 · 종단경사와 사고와의 관계

전반적으로 상향경사구간과 하향경사구간의 사고율은 큰 차이를 보이지 않았으며, 곡선반경 그룹이 동일해도 경사가 급할수록 사고율이 증가하였다. 곡선반경이 2500m미만인 구간(R_1, R_2, R_3)에서 종단경사가 ±4% 이상(상·하행)일 경우에는 종단경사가 곡선반경과 복합적으로 작용하여 ±4% 미만(상·하행)인 경우보다 평균사고율이 1.5배정도 높았다.

(2) 곡선반경 · 곡선길이와 사고와의 관계

곡선반경 그룹이 동일해도 곡선길이가 짧을수록 사고율이 높았으며[26], 곡선길이가 일정 수준 이하일 경우에는 곡선반경과 복합적으로 작용하여 사고에 보다 큰 영향을 미쳤다. 곡선반경이 460m 미만인 구간(R_1)에서 곡선길이가 170m 미만인 경우에는 곡선길이가 300m 이상인 경우보다 평균사고율이 3배 이상 높았으며, 곡선반경이 460m~710m인 구간(R_2)에서도 곡선길이가 150m 미만인 경우에는 곡선길이가 230m 이상인 경우보다 평균사고율이 2배 이상 높았다. 또한 곡선반경이 710m~2500m인 구간(R3)에서는 곡선길이가 사고에 거의 영향을 주지 않았지만 곡선길이가 90m 미만인 경우에는 곡선길이가 90m 이상인 경우보다 평균사고율이 2배 이상 높았다.

(3) 곡선반경 · 직선길이와 사고와의 관계

곡선반경 그룹이 동일해도 직선길이가 짧을수록 사고율이 높았는데, 이것은 가·감속거리가 충분하지 않았기 때문으로 판단되며, 특히 직선길이가 일정 수준 이하일 경우는 연속적인 두 곡선부 사이에 직선구간이 없는 경우보다 오히려 사고율이 높았다. 곡선반경이 460m 미만인 구간(R_1)에서 직선길이가 400m 미만인 경우에는 직선길이가 700m~900m인 경우보다 평균사고율이 2.5배 이상 높았다. 곡선반경이 460m~710m인 구간(R_2)에서는 직선길이가 사고에 큰 영향을 미치지는 않았지만 직선길이가 300m 미만인 경우와 직선길이가 800m이상인 경우의 평균사고율이 직선길이가 300m~800m인 경우보다 1.3배 이상 높았으며, 곡선반경이 710m~2500m인 구간(R_3)에서도 직선길이가 사고에 거의 영향을 주지 않았지만 직선길이가 0m~200m인 경우와 직선길이가 3000m 이상인 경우의 평균사고율이 직선길이가 200m~3000m인 경우보다 2배정도 높았다.

(4) 곡선반경 · 누적직선길이와 사고와의 관계

곡선반경 그룹에 따라 누적직선길이가 사고에 영향을 미치는 정도가 달랐으며, 누적직선길이가 일정 수준 이하인 경우에는 사고율이 높았다. 곡선반경이 710m

23) 연속적인 두 곡선부의 평균곡률이 크다는 것은 곡선반경이 작은 급격한 곡선구간이 적어도 한 구간 포함되어 있다는 것을 의미한다.
24) 종단경사, 곡선길이, 직선길이, 누적직선길이, 곡률차, 평균곡률.
25) 사고발생가능성(사고위험도)
26) 곡선길이가 충분히 확보되면 곡선부에서 급격한 가·감속이 발생되지 않는다.

~2500m인 구간(R_3)에서는 누적직선길이가 사고에 거의 영향을 주지 않았지만 곡선반경이 710m 미만인 구간(R_1, R_2)에서 누적직선길이가 600m 미만인 경우에는 누적직선길이가 곡선반경과 복합적으로 작용하여 사고율이 높았다.

(5) 곡선반경 · 곡률차와 사고와의 관계

곡선반경이 작고 인접한 직선길이가 짧을수록 곡률차(곡선반경의 변화)가 사고에 미치는 영향이 컸다. 곡선반경 그룹이 동일해도 이전 곡선부보다 곡선반경이 작아져서 감속이 필요하다고 판단되는 경우에 사고율이 가장 높았으며, 곡선반경이 이전 곡선부에 비해 상당히 커지는 경우(곡률차가 -1 미만인 경우)에도 사고율이 높았는데, 이것은 급격한 선형조건 변화에 대해 운전자가 적절히 대응하지 못 할 가능성이 있기 때문으로 사료된다. 이와 같이 곡선부에 인접한 직선길이가 일정 수준 이하일 경우(운전자가 연속적인 두 곡선부의 곡률차를 인식하는 경우)에는 곡선반경과 곡률차(곡선반경의 변화)가 복합적으로 작용하여 사고에 영향을 미쳤다. 곡선반경이 710m~2500m인 구간(R_3)에서 곡률차가 -1 미만이거나 0.5 이상인 경우에는 곡률차(곡선반경의 변화)가 곡선반경과 복합적으로 작용하여 곡률차가 0인 경우보다 평균사고율이 1.5배~2.5배정도 높았지만 곡률차가 이보다 작은 경우에는 곡률차가 0인 경우와 평균사고율에 거의 차이가 없었다. 반면 곡선반경이 710m 미만인 구간(R_1, R_2)에서는 곡률차가 0 이상 0.5 미만인 경우에도 곡률차가 -1 미만이거나 0.5 이상인 경우와 마찬가지로 곡률차가 0인 경우에 비해 평균사고율이 1.5배~3배정도 높았다.

(6) 곡선반경 · 평균곡률과 사고와의 관계

평균곡률이 사고에 미치는 영향은 그리 크지 않았지만 곡선반경 그룹이 동일해도 평균곡률이 큰 구간(곡선반경이 작은 급격한 곡선부가 연속되거나 곡률차가 크다고 판단되는 구간)에서의 사고율이 높았다. 곡선반경이 710m 미만인 구간(R_1, R_2)에서는 평균곡률이 2이상인 경우의 평균사고율이 평균곡률이 1미만인 경우보다 1.3배~2.5배정도 높았으며, 곡선반경이 710m~2500m인 구간(R_3)에서는 평균곡률이 1이상인 경우의 평균사고율이 평균곡률이 0.5미만인 경우보다 1.3배~3배정도 높았다.

이상과 같은 도로선형요소의 조합에 의한 사고분석결과 종단경사, 곡선길이, 직선길이, 누적직선길이, 곡률차, 평균곡률은 곡선반경 그룹[27]에 따라 사고에 영향을 미치는 정도가 달랐는데, 곡선반경이 710m 미만인 구간(R_1, R_2)에서는 각각의 도로선형요소에 따라 사고율의 변화폭이 비교적 컸다. 「도로의 구조 · 시설 기준에 관한 규칙 - 해설 및 지침」에서는 최대 종단경사, 최소 평면곡선길이, 동일종단경사 내에서 직선구간의 제한 길이를 단지 설계속도에 따라 일률적으로 규정하고 있지만, 위와 같은 분석결과를 감안한다면 곡선반경 그룹에 따라 각각의 도로선형요소가 다르게 정해져야 할 것으로 판단된다.

V. 사고예측모형의 개발 및 검증

1. 도로선형요소의 조합별 위험도

도로선형요소의 조합에 의한 사고분석 결과를 통해 선형조건이 사고에 미치는 영향을 보다 명확하게 파악할 수 있었으며, 도로선형요소의 조합별로 일정 범위 내에서 평균사고율이 비슷했기 때문에 사고발생가능성(위험도)이 비슷한 도로선형요소의 조합을 구분 지을 수 있는 구분점(Threshold)을 파악할 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 도로선형요소의 상호작용이 사고에 미치는 영향을 사고예측과정에 반영하기 위해 도로선형요소의 조합별 평균사고율을 토대로 이에 대한 사고발생가능성(위험도)을 수치화 하였다(〈표 1〉~〈표 5〉 참고[28]).

27) 곡선반경 그룹이 동일하면 곡선반경이 사고에 미치는 영향(곡선반경에 따른 사고발생가능성)이 비슷함

28) R_1 : 곡선반경이 460m 미만인 곡선구간
R_2 : 곡선반경이 460m~710m인 곡선구간
R_3 : 곡선반경이 710m~2500m인 곡선구간
R_4 : 곡선반경이 2500m 이상인 곡선구간
- : 분석구간 내에 해당 조건을 갖는 곡선부가 존재하지 않음

〈표 1〉 곡선반경 · 종단경사의 조합별 위험도

종단경사 (%)	표준화(구간수)				위험도(GR)			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
~-6	-	5.9(1)	3.4(3)	-	17	5	2	1
-6~-4	-	5.4(8)	2.7(16)	0.6(7)	15	4	2	0
-4~-2	20.0(1)	4.0(10)	1.9(55)	1.1(19)	15	3	1	0
-2~0	8.5(6)	4.0(40)	1.8(137)	1.0(44)	9	3	1	0
0~2	10.1(6)	3.8(40)	1.9(138)	1.1(44)	9	3	1	0
2~4	27.1(1)	4.4(10)	1.8(55)	1.3(19)	15	3	1	0
4~6	-	6.0(8)	3.4(16)	1.0(7)	15	5	2	0
6~	-	7.9(1)	3.6(3)	-	17	5	3	1

〈표 2〉 곡선반경 · 곡선길이의 조합별 위험도

곡선길이 (m)	표준화(구간수)				위험도(CLR)			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
~70	-	17.2(2)	10.5(4)	-	16	16	10	0
70~90	-	8.8(6)	7.1(6)	-	14	8	6	0
90~110	12.6(6)	8.2(8)	3.3(12)	-	12	7	2	0
110~130	-	7.6(2)	3.4(10)	-	12	7	2	0
130~150	-	7.1(4)	3.4(12)	-	12	6	2	0
150~170	13.4(2)	5.6(2)	2.0(12)	-	12	5	1	0
170~190	8.4(2)	3.7(8)	2.1(14)	0.9(4)	7	3	1	0
190~210	-	3.5(2)	1.5(14)	1.5(4)	7	3	1	0
210~230	8.3(2)	3.5(4)	1.5(21)	-	7	3	1	0
230~250	-	2.6(8)	2.1(18)	-	7	2	1	0
250~300	-	3.4(18)	2.0(32)	0.9(16)	7	2	1	0
300~400	4.1(2)	2.9(18)	2.2(72)	1.4(14)	5	2	1	0
400~500	-	3.2(16)	2.3(50)	1.5(26)	5	2	1	0
500~600	-	2.3(8)	2.4(32)	1.5(26)	5	1	1	0
600~700	-	2.4(6)	2.0(32)	1.3(14)	5	1	1	0
700~800	-	1.7(2)	2.2(20)	1.2(10)	5	1	1	0
800~900	-	-	1.2(12)	1.0(4)	5	1	1	0
900~1000	-	1.6(2)	2.0(18)	0.9(2)	5	1	1	0
1000~1500	-	0.7(2)	1.4(18)	1.1(38)	5	0	0	0
1500~	-	-	1.4(14)	1.1(14)	5	0	0	0

즉, 도로선형요소의 조합별 평균사고율에 대한 표준화 값[29]과 설계기준을 근거로 하여 각각의 도로선형요소 조합에 따른 사고발생가능성(위험도)을 정수로 나타내었다. 이것은 평균사고율(사고발생가능성)이 가장 낮은 선형조건(도로선형요소의 조합)을 이상적인 조건으로 간주하여 이에 대한 위험도를 0으로 두고 각각의 도로선형요소 조합에 대한 상대적인 사고발생가능성의 차이를 파악하는 과정으로, 도로선형요소의 조합별로 평균사고율이 높은 선형조건(도로선형요소의 조합)에 대해 높은 위험도가 매겨지게 된다.

29) 도로선형요소의 조합별로 산출된 각각의 평균사고율 값들을 평균사고율의 최소값으로 나누어줌으로써 표준화하였으며, 따라서 이 값은 도로선형요소의 조합에 따른 상대적 사고발생가능성(사고위험도)이라고 할 수 있다. 즉, 평균사고율에 대한 표준화 값이 높은 구간은 사고가 발생할 가능성이 큰 반면, 이 값이 낮은 구간은 사고가 발생할 가능성이 작다고 볼 수 있다.

〈표 3〉 곡선반경 · 직선길이의 조합별 위험도

직선길이 (m)	표준화(구간수)				위험도(LR)			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
0	7.6(1)	3.8(20)	1.7(44)	0.5(7)	7	3	1	0
0~100	11.8(3)	5.1(16)	2.8(36)	0.7(5)	11	4	2	0
100~200	14.1(2)	4.4(12)	4.3(23)	1.0(10)	16	3	3	0
200~300	16.9(1)	4.4(12)	1.9(50)	2.0(10)	16	3	1	0
300~400	18.8(5)	3.2(14)	2.4(45)	1.5(10)	16	2	1	0
400~500	-	3.4(12)	2.0(21)	0.9(7)	7	2	1	0
500~600	-	3.3(6)	1.6(27)	1.6(11)	7	2	1	0
600~700	-	3.1(6)	2.2(40)	0.9(9)	7	2	1	0
700~800	6.3(1)	1.7(5)	1.2(19)	1.8(11)	7	1	0	0
800~900	8.4(1)	4.4(6)	0.9(13)	1.0(9)	7	3	0	0
900~1000	-	-	1.3(18)	0.8(8)	7	3	0	0
1000~1500	-	3.6(5)	1.5(43)	0.8(21)	7	3	0	0
1500~2000	-	4.7(1)	2.2(12)	0.9(11)	7	3	1	0
2000~3000	-	3.9(3)	1.5(22)	1.3(7)	7	3	1	0
3000~	-	-	4.2(10)	1.1(4)	11	4	3	0

〈표 4〉 곡선반경 · 누적직선길이의 조합별 위험도

누적직선길이 (m)	표준화(구간수)				위험도(TLR)			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
0	-	-	2.5(5)	-	9	3	2	0
0~100	-	-	-	-	12	5	4	0
100~200	13.4(1)	5.6(6)	5.1(5)	0.9(1)	12	5	4	0
200~300	13.4(2)	6.4(11)	1.6(10)	0.8(4)	12	5	1	0
300~400	16.4(1)	5.0(8)	1.7(27)	0.8(3)	15	4	1	0
400~500	16.4(3)	5.4(16)	1.7(23)	1.6(4)	15	4	1	0
500~600	16.4(2)	5.2(17)	2.4(34)	1.4(3)	15	4	1	0
600~700	-	3.9(10)	2.0(32)	0.9(6)	13	3	1	0
700~800	13.6(1)	3.7(10)	1.3(21)	1.2(4)	13	3	0	0
800~900	-	3.6(5)	1.4(22)	1.7(6)	13	3	0	0
900~1000	13.6(2)	4.2(5)	1.4(21)	0.8(7)	13	3	0	0
1000~1500	13.6(2)	4.1(15)	1.8(64)	0.8(21)	13	3	1	0
1500~2000	-	4.1(6)	1.6(37)	0.9(13)	13	3	1	0
2000~3000	-	4.0(3)	1.7(45)	1.0(23)	13	3	1	0
3000~4000	-	4.0(3)	1.3(18)	1.1(15)	13	3	1	0
4000~5000	-	3.9(1)	2.3(15)	1.2(10)	13	3	1	0
5000~6000	-	3.8(2)	1.4(19)	1.1(8)	13	3	0	0
6000~7000	-	-	1.3(6)	1.1(3)	13	3	0	0
7000~8000	-	-	1.5(8)	1.1(2)	13	3	0	0
8000~9000	-	-	-	0.8(5)	13	3	0	0
9000~10000	-	-	0.7(4)	-	13	3	0	0
10000~	-	-	1.3(7)	1.0(2)	13	3	0	0

〈표 5〉 곡선반경·곡률차의 조합별 위험도

직선길이(m)	표준화(구간수)		위험도(RR)	
	R_1	R_2	R_1	R_2
0				
곡률차〈-1	-	-	11	4
곡률차〉-1	-	1.2(2)	7	1
곡률차=0	7.9(1)	2.4(8)	7	1
곡률차〈0.5	-	5.7(3)	14	5
곡률차〉0.5	-	6.0(7)	14	5
0~300				
곡률차〈-1	-	5.7(1)	11	5
곡률차〉-1	-	3.5(6)	6	3
곡률차=0	6.7(2)	3.8(6)	6	3
곡률차〈0.5	13.9(2)	6.6(12)	13	6
곡률차〉0.5	18.0(2)	6.8(15)	17	6
300~800	14.4(6)	3.4(43)	13	3
800~	8.7(1)	4.6(15)	13	4
직선길이(m)	표준화(구간수)		위험도(RR)	
	R_3	R_4	R_3	R_4
0				
곡률차〈-1	6.7(2)		6	0
곡률차〉-1	2.6(10)		2	0
곡률차=0	1.6(22)		1	0
곡률차〈0.5	3.2(9)		2	0
곡률차〉0.5			4	0
0~200				
곡률차〈-1	3.6(4)		3	0
곡률차〉-1	2.8(23)		2	0
곡률차=0	2.9(16)		2	0
곡률차〈0.5	2.5(9)		2	0
곡률차〉0.5	4.9(7)		4	0
200~3000	1.9(310)	1.5(114)	1	0
3000~	4.5(10)	1.2(4)	4	0

〈표 6〉 곡선반경·평균곡률의 조합별 위험도

직선길이(m)	표준화(구간수)		위험도(MR)	
	R_1	R_2	R_1	R_2
0				
평균곡률〈1	-	-	7	3
1≤평균곡률〈2	-	4.8(20)	9	4
평균곡률≥2	9.6(1)	-	9	4
0~300				
평균곡률〈1	-	-	11	3
1≤평균곡률〈2	-	6.4(35)	15	5
평균곡률≥2	16.3(5)	5.5(5)	15	5
300~800				
평균곡률〈1	-	1.5(2)	9	1
1≤평균곡률〈2	15.5(2)	5.5(35)	15	5
평균곡률≥2	19.7(4)	8.3(6)	19	7
800~				
평균곡률〈1	-	-	7	3
1≤평균곡률〈2	-	5.5(15)	7	5
평균곡률≥2	10.4(1)	-	9	5
직선길이(m)	표준화(구간수)		위험도(MR)	
	R_3	R_4	R_3	R_4
0				
평균곡률〈0.5	1.3(6)		0	0
0.5≤평균곡률〈1	2.6(21)		2	0
1≤평균곡률〈2	3.9(17)		3	0
0~200				
평균곡률〈0.5	3.1(1)		2	0
0.5≤평균곡률〈1	3.2(22)		2	0
1≤평균곡률〈2	3.6(36)		3	0
200~1000				
평균곡률〈0.5	1.4(30)		0	0
0.5≤평균곡률〈1	2.1(155)		1	0
1≤평균곡률〈2	3.1(91)		2	0
1000~				
평균곡률〈0.5	1.4(7)		0	0
0.5≤평균곡률〈1	3.2(37)		2	0
1≤평균곡률〈2	-		2	0

예를 들어 위험도가 17인 도로구간은 위험도가 9인 도로구간보다 사고발생가능성이 2배정도 높다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 평균사고율을 기준으로 부여한 도로선형요소의 조합별 위험도[30](GR, CLR, LR, TLR,

30) GR : 곡선반경·종단경사의 조합별 위험도
CLR : 곡선반경·곡선길이의 조합별 위험도
LR : 곡선반경·직선길이의 조합별 위험도
TLR : 곡선반경·누적직선길이의 조합별 위험도
RR : 곡선반경·직선길이·곡률차의 조합별 위험도
MR : 곡선반경·직선길이·평균곡률의 조합별 위험도

RR, MR)가 합리적인지 확인하기 위해 제시한 위험도에 따른 평균사고율의 차이가 통계적으로 유의한지 살펴보았다. 본 연구에서는 Scheffé법과 Bonferroni법[31]을 이용하였으며, 두 가지 검정법을 이용한 결과 모두에 대해서 등급간 평균의 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 도로선형요소의 조합별 위험도의 설정이 타당하다고 볼 수 있다.

2. 모형구축

본 연구에서는 고속도로 곡선부에 대한 사고예측모형[32]을 구축하기 위해 도로선형요소의 조합별 위험도 값으로 전환된 새로운 데이터베이스를 이용하여 회귀분석을 수행하였다. 즉, 사고율[33]을 종속변수로 두고, 도로선형요소의 조합별 위험도(선형조건)를 독립변수로 하여 회귀분석을 수행함으로써, 곡선부 사고발생에 상대적으로 큰 영향을 미치는 도로선형요소의 조합을 파악하였으며, 이와 같이 파악된 도로선형요소 조합의 영향력(상대적 중요도)을 객관적인 수식으로 제시하였다. 회귀분석에 이용할 독립변수를 결정하기 위해 앞에서 제시한 6가지 도로선형요소의 조합별 위험도(독립변수)와 사고율(종속변수)에 대한 상관분석을 수행하였으며, 상관분석 결과를 고려하여 CLR, RR, LR, GR를 회귀모형의 독립변수로 선정하였다. 상관분석을 통해 선택된 독립변수를 이용하여 회귀분석[34](다중선형회귀식, 포아송회귀식, 음이항회귀식)을 수행하였으며, 이 중 가장 적합하다고 판단되는 모형식을 선택하였다[35].

〈표 7〉에서 보는 바와 같이 통계적으로 모형의 유의성과 독립변수의 유의성이 확보된 10가지 형태의 모형 중 CLR, RR, GR 변수를 포함한 모형의 설명력이 결정계수(R_2) 0.668로 가장 높았으며 추정값의

〈표 7〉 후보모형

적용 변수	모형 형태	추정 독립변수					결정계수 (R_2)	추정값의 표준오차 (SEE)	모형의 유의성 (F통계량 기준)	독립변수의 유의성 (t통계량 기준)
		α	β	γ	δ	ϵ				
CLR	$\alpha+\beta$*CLR	8.110	10.458	-	-	-	.576	18.677	유의함	유의함
RR	$\alpha+\beta$*RR	4.626	10.044	-	-	-	.534	19.579	유의함	유의함
LR	$\alpha+\beta$*LR	9.788	9.814	-	-	-	.513	20.034	유의함	유의함
GR	$\alpha+\beta$*GR	7.968	10.180	-	-	-	.510	20.084	유의함	유의함
CLR, RR	$\alpha+\beta$*CLR+γ*RR	3.566	6.699	5.436	-	-	.658(.657)	16.783	유의함	유의함
CLR, GR	$\alpha+\beta$*CLR+γ*GR	5.394	7.005	5.201	-	-	.647(.646)	17.070	유의함	유의함
CLR, LR	$\alpha+\beta$*CLR+γ*LR	6.332	6.974	5.041	-	-	.648(.647)	17.047	유의함	유의함
RR, GR	$\alpha+\beta$*RR+γ*GR	4.601	4.909	6.108	-	-	.571(.570)	18.809	유의함	유의함
CLR, RR, GR	$\alpha+\beta$*CLR +γ*RR+δ*GR	**3.638**	**6.163**	**3.747**	**2.566**	-	.668(.666)	16.568	유의함	유의함
CLR, RR, LR	$\alpha+\beta$*CLR +γ*RR+δ*LR	4.198	6.359	3.769	2.159	-	.664(.662)	16.664	유의함	유의함
CLR, RR, GR, LR	$\alpha+\beta$*CLR+γ*RR +δ*GR+ϵ*LR	3.865	6.123	3.395	2.146	0.815	.668(.666)	16.568	유의함	유의하지 않음(LR)

주) · 모형과 매개변수의 유의성은 모두 95% 유의수준으로 분석한 결과임
· 중회귀 모형의 괄호 안 결정계수는 조정된 결정계수(R^2_{adj})를 의미함

32) 사고예측모형을 통해 추정된 사고지표(사고율)과 사고자료를 토대로 해당 곡선부에 대한 종합적인 사고위험도지수가 부여된다.

33) $AR=\frac{5년간\ 교통사고건수\times100,000,000}{365\times5년간\ 연평균일교통량\times곡선구간길이}$ (건/억대km)

34) SPSS Ver10.0과 LIMDEP을 이용하여 수행.

35) 포아송회귀식과 음이항회귀식을 이용한 회귀분석 결과는 다중선형회귀분석 결과보다 설명력이 향상되지 못했는데, 이것은 앞에서 살펴본 바와 같이 분석에 이용된 사고자료의 분포가 정규분포(95% 유의수준)를 따랐기 때문으로 판단되며, 따라서 여기에서는 다중선형회귀분석을 통한 사고예측모형의 구축과정을 다루었다.

표준오차(SEE)도 16.568로 가장 낮았다.

〈표 8〉에 따르면 다중회귀식은 비표준화계수에 의해 식(1)과 같이 표현된다.

$$Y=3.638+6.163CLR+3.747RR+2.566GR \quad (1)$$
$$(4.285)(13.913) \quad (6.479) \quad (4.292)$$

R^2 : 0.668
F : 445.909

여기에서
Y : 사고율(건/억대km)
CLR : 곡선반경·곡선길이의 조합별 위험도 (CLR≥0)
RR : 곡선반경·인접한 직선길이·곡률차의 조합별 위험도(RR≥0)
GR : 곡선반경·종단경사의 조합별 위험도 (GR≥0)[36]
주) 모형식의 괄호 안 수치는 t-통계량을 의미함

또한 t-통계량에 의한 각 독립변수들의 유의성 검증결과는 다음과 같다(〈표 8〉 참고).

- CLR(곡선반경·곡선길이의 조합별 위험도)은 다른 두 변수(RR, GR)가 회귀식에 포함되어 있는 경우 유의적이며(유의확률 : .000), 부호가(+)로 나타났기 때문에 CLR이 커질수록 사고율이 높다(다른 변수가 동일하다면 6.163 건/억대km만큼)고 해석할 수 있다.
- RR(곡선반경·직선길이·곡률차의 조합별 위험도)은 다른 두 변수(CLR, GR)가 회귀식에 포함되어 있는 경우 유의적이며(유의확률 : .000), 부호가(+)로 나타났기 때문에 RR이 커질수록 사고율이 높다(다른 변수가 동일하다면 3.747 건/억대km만큼)고 해석할 수 있다.
- GR(곡선반경·종단경사의 조합별 위험도)은 다른 두 변수(CLR, RR)가 회귀식에 포함되어 있는 경우 유의적이며(유의확률 : .000), 부호가(+)로 나타났기 때문에 GR이 커질수록 사고율이 높다(다른 변수가 동일하다면 2.566 건/억대km만큼)고 해석할 수 있다.

〈표 9〉의 분산분석 결과표에 따르면, F값은 445.909(유의확률 : .000)로 회귀식이 종속변수를 설명하는데 유용하다고 할 수 있다. t-통계량에 의한 각 독립변수들의 유의성 검증결과, 각각의 변수는 나머지 다른 두 변수가 회귀식에 포함되어 있는 경우 유의적이다.

표준화된 회귀계수(Standardized Coefficient)를 비교하면 독립변수 각각의 유의성과 관련하여 종속변수에 대한 독립변수들의 영향력을 비교할 수 있다. 〈표 8〉에 나타난 표준화계수(beta)의 절대값을 비교

〈표 8〉 계수

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	Constant	3.638	.849		4.285	.000					
	CLR	6.163	.443	.447	13.913	.000	.759	.475	.311	.483	2.072
	RR	3.747	.578	.273	6.479	.000	.731	.244	.145	.282	3.551
	GR	2.566	.598	.180	4.292	.000	.714	.164	.096	.284	3.525

〈표 9〉 분산분석 결과표

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	367243.0	3	122414.317	445.909	.000(a)
	Residual	182835.5	686	274.528		
	Total	550078.4	689			

36) 본 모형에서는 도로선형요소의 조합별 위험도를 독립변수로 이용하였기 때문에 각각의 독립변수는 0이상의 값을 갖게 되며, 따라서 사고율 추정치는 음의 값을 갖지 않는다.

〈표 10〉 공선성 진단

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	CLR	RR	GR
1	1	3.155	1.000	.03	.01	.01	.01
	2	.507	2.495	.89	.08	.01	.04
	3	.237	3.650	.02	.90	.10	.16
	4	.102	5.566	.06	.00	.88	.79

해보면 세 개의 독립변수 중 사고율에 가장 영향력이 큰 변수는 CLR(곡선반경·곡선길이의 조합별 위험도)이며, 그 다음은 RR(곡선반경·직선길이·곡률차의 조합별 위험도), GR(곡선반경·종단경사의 조합별 위험도)의 순이다.

한편, 곡선부 사고에 가장 큰 영향을 미치는 선형요소는 곡선반경이지만 동일한 곡선반경을 갖는 곡선구간도 나머지 다른 선형조건에 따라 사고발생가능성을 감소(혹은 증가)시킬 수 있기 때문에, 사고위험도를 최소화하기 위해서는 가능한 사고발생가능성을 높이는 도로선형조건(도로선형요소의 조합)이 배제되도록 하는 것이 바람직하다(〈표 1〉~〈표 5〉) 참고).

다중공선성 진단[37] 결과, 〈표 8〉, 〈표 10〉에 나타난 바와 같이 공차한계값(Tolerance)은 .10보다 크고, 분산팽창요인(VIF)은 10보다 훨씬 작으며, 상태지수(Condition Index) 값도 15보다 훨씬 작기 때문에 공선성의 문제는 없다고 볼 수 있다.

한편, 지레값, 스튜던트 잔차, DEBETAS, Cook's D, DFFITS, COVRATIO를 이용하여 모형에 대한 이상점의 유무를 알아보았으며[38], 분석결과 이상점으로 파악되는 자료는 없었다. 또한 모형의 잔차와 예측값의 분포형태를 산포도 형식으로 나타낸 잔차도 또한 X축을 따라 증가하거나 감소하지 않고 비교적 균일하게 퍼져 있어 이분산성의 문제도 없는 것으로 보인다.

3. 모형의 검증

4차로 고속도로 일부 구간을 대상으로 구축한 검증 데이터[39]를 본 연구에서 개발한 사고예측모형에 적용하여 곡선구간별로 사고율을 추정하였으며, 추정치와 실제 사고자료를 비교하여 사고율 추정치와 실제 관측치 사이에 차이가 없다는 것을 통계적으로 입증하였다.

개발한 사고예측모형을 최소제곱근오차(Root Mean Square Error:RMSE)를 이용하여 검증하였다.

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

O_i : 관측치
E_i : 추정치
n : 관측자료수

4차로 고속도로 일부 구간의 곡선부를 대상으로 개발한 모형을 검증한 결과, 전체구간(총 88개 곡선부 : 상·하행 구분)에 대한 최소제곱근오차(RMSE)가 0.1202건/MVK으로 비교적 양호한 추정력을 보였다. 검증을 위해 이용된 곡선부 중 곡선반경이 460m~710m인 곡선부(R2 : 22구간)의 최소제곱근오차(RMSE)는 0.0874건/MVK, 곡선반경이 710m~2500m인 곡선부(R3 : 44구간)의 최소제곱근오차(RMSE)는 0.0751건/MVK, 곡선반경이 2500m 이상인 곡선부(R4 : 8구간)의 최소제곱근오차(RMSE)는 0.0586건/MVK으로 나타났지만, 곡선반경이 460m 미만인 곡선부(R1 : 14구간)의 최소제곱근오차(RMSE)는 0.2452건/MVK으로 다른 구간에 비해 컸으며, 실제 사고자료보다 과대 추정되는 구간이 많았다. 이와

36) 본 모형에서는 도로선형요소의 조합별 위험도를 독립변수로 이용하였기 때문에 각각의 독립변수는 0이상의 값을 갖게 되며, 따라서 사고율 추정치는 음의 값을 갖지 않는다.
37) 다중공선성 진단을 위해 가장 많이 사용되는 지표는 공차한계, 분산팽창요인(variance inflation factor : VIF), 상태지수값이 있으며, 공차한계가 .10이하, 분산팽창요인이 10이상, 상태지수값이 15이상이면 공선성이 문제될 수 있다.
38) 참고문헌 : 이학식, 2001
39) 본 연구에서는 남해선(진성-대저간 : 334.0km~413.7km)과 남해지선(장유-가락간 : 3.5km~12.5km) 일부구간(44개 곡선부 : 상·하행 구분 총 88개)에 대한 도로선형·교통사고·교통량 자료를 이용하여 모형의 검증과정에서 이용할 데이터베이스를 구축하였다.

〈표 11〉 대응표본 검정(사고예측모형)

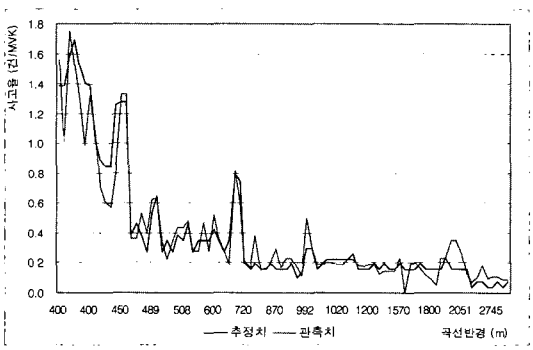
		Paired Differences					t	df	Sig. 2-tailed
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	E-O	.74	12.13	1.29	-1.83	3.31	.575	87	.566

같이 다른 구간에 비해 곡선반경이 460m 미만인 구간에서의 최소제곱근오차가 큰 것은 사고예측모형의 구축을 위해 이용된 데이터 중 이 구간에 해당되는 곡선부의 수가 14구간 밖에 되지 않아 다양한 선형조건의 조합에 따른 사고지표(사고율)를 추정하기에는 자료의 양이 충분하지 않았기 때문으로 판단된다.

또한 개발된 사고예측모형을 대응표본 T검정을 이용하여 검증하였으며, 검증결과 〈표 11〉에 나타난 바와 같이 양측검증에서 t-값이 0.575, 유의확률이 0.566으로 나타나 귀무가설(H0 : d0=0)[40]은 유의수준 $\alpha = .05$에서 기각되지 못한다. 즉, 사고예측모형을 이용하여 추정된 사고율과 실제로 관측된 사고율에는 차이가 없는 것으로 나타났다.

〈그림 2〉는 검증과정에서 이용된 44개 곡선부(상·하행 구분 : 총 88개)에 대한 사고율 추정치와 실제 관측치를 나타내고 있다.

모형검증 결과, 본 연구에서 고속도로 곡선부에 대



〈그림 2〉 사고율 추정치와 관측치의 비교

한 사고지표(사고율)의 추정을 위해 개발한 사고예측모형은 설명력이 비교적 높았으며 곡선부의 사고를 신뢰할만한 수준으로 추정하였기 때문에 의미 있는 사고예측모형으로 사료된다.

Ⅵ. 사고위험도지수의 설정 및 활용

1. 사고위험도지수 및 위험도 평가기준

1) 사고위험도지수의 설정

우리나라 4차로 고속도로의 경우 지방부 2차로 도로에 비해 좋은 선형을 가지고 있을 뿐만 아니라, 그 위계와 운행 특성 면에서 현격한 차이를 보인다. 이러한 점을 감안했을 때 지방부 2차로 도로를 중심으로 한 기존의 위험도로 평가기준[41]을 4차로 고속도로에 적용한다는 것은 문제가 있으며, 따라서 본 연구에서는 우리나라 4차로 고속도로에 적용 가능한 사고위험도 평가기준을 마련하고자 한다. 이를 위해 선행연구결과를 토대로, 사고자료 기반의 접근방법을 통해 도로선형조건에 따라 곡선부의 사고위험도를 평가하는 기준을 마련하였다. 본 연구에서 제시한 사고예측모형[42]을 통해 추정된 사고지표(사고율)가 해당 구간에 대한 사고발생가능성을 나타내기는 하지만 실제로 도로의 사고위험도 평가에 활용되기 위해서는 이에 대한 객관적인 평가기준이 마련되어야 한다[43]. 본 연구에서는 곡선부의 사고위험도를 보다 효과적으로 평가하기 위해 해당 곡선부의 상대적인 사고위험도

40) 귀무가설 H0 : 두 사고율의 차이=0

41) 도로의 선형조건에 따라 해당도로의 안전성을 판단할 수 있는 기준을 제시한 선행 연구들(E. M. Choueiri 등, 1987b; R. Lamm 등, 1987b; M. A. Nielsen 등, 1998)은 모두 지방부 2차로 도로를 대상으로 도로에서 발생한 사고자료와 해당 연구에서 제시한 평가척도의 관계를 분석하고 그 결과를 토대로 도로의 안전성을 파악할 수 있는 방안을 제시하였다.

42) 사고예측모형을 통해 추정된 사고지표(사고율)은 도로선형요소의 잠재적인 상호작용을 고려하여 예측된 결과로서 곡선부의 사고위험도에 영향을 미치는 선형요소들을 종합적으로 파악한다고 볼 수 있다.

43) 임의의 도로선형조건 하에서 발생될 것으로 예측되는 사고지표(사고율, 사고건수 등)가 신뢰할만한 수준으로 추정되더라도 어느 정도가 위험한 수준인가를 결정하는 작업이 이루어져야 하는데 이것은 간단한 문제가 아니다. 여기에서 문제는 예측된 사고율에서 어느 정도의 수준을 위험하다고 판단할 것인가에 대한 것이며, 이 문제는 결국 사고위험도의 허용수준을 어느 정도로 할 것인가와 직결된다.

(사고발생가능성)를 파악하는 기준을 제시하였다. 즉, 곡선부 전체에 대한 평균사고율(0.223건/MVK)을 기준으로 종합적인 사고위험도지수를 설정하였는데, 곡선부 전체의 평균사고율(0.223건/MVK)에 해당하는 사고위험도를 1로 두고 해당 곡선부에 대한 사고율 추정치를 지수화(Indexing) 하였으며, 이에 따라 사고율 추정치(사고발생가능성)가 상대적으로 높은 곡선부에 대해 높은 사고위험도지수(RI)가 부여된다.

$$RI = \frac{\text{사고율 추정치}(\text{건}/MVK)}{\text{곡선부의 평균사고율}(\text{건}/MVK)} \quad (3)$$

2) 사고위험도지수의 검증 및 평가

본 연구에서는 사고예측모형의 검증과정에서 추정한 사고율을 식(3)에 적용하여 사고위험도지수(RI)를 산정하고, 이것과 실제 관측된 사고자료를 이용하여 산출한 사고위험도지수를 비교해 보았다. 즉, 최소제곱근오차(RMSE)와 대응표본 T검정(Paired Sample T-test)을 통해 사고위험도지수의 추정치와 관측치 사이에 차이가 없다는 것을 통계적으로 입증하였다.

4차로 고속도로 일부 구간의 곡선부를 대상으로 설정한 사고위험도지수를 검증한 결과, 전체구간(총 88개 곡선부 : 상·하행 구분)에 대한 최소제곱근오차(RMSE)가 0.5388로 비교적 양호한 추정력을 보였다. 또한 설정한 사고위험도지수를 대응표본 T검정을 이용하여 검증한 결과 양측검증에서 t-값이 0.575, 유의확률이 0.566으로 나타나 귀무가설(H0 : d0=0)[44]은 유의수준 α=.05에서 기각되지 못한다. 즉, 사고위험도지수의 추정치와 관측치 사이에는 차이가 없는 것으로 나타났다.

이상의 검증결과, 본 연구에서 설정한 사고위험도지수는 곡선부의 사고위험도를 신뢰할만한 수준으로 파악하였기 때문에 곡선부의 사고위험도 평가에 적합하다고 사료된다.

3) 위험도 평가등급의 설정

본 연구에서는 사고자료 기반의 접근방법을 통해 선행 연구결과를 고려하여 사고위험도지수(사고율 추정치)에 대한 위험도 평가등급을 정하였으며, 그 결과는 〈표 12〉에 나타나 있다. 본 연구에서는 사고위험도지수(사고율 추정치)를 기준으로 한 위험도 평가등급의 구분이 합리적인지 알아보기 위해 〈표 12〉에서 제시한 위험도 평가등급별 사고위험도지수(사고율 추정치)의 차이가 통계적으로 유의한지 살펴보았으며, Scheffe법과 Bonferroni법[45]을 이용하여 분석한 결과 두 가지 검정법을 이용한 결과 모두에 대해서 등급간 평균의 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 이와 같은 위험도 평가등급의 구분이 타당하다고 볼 수 있으며, 〈표 12〉의 사고위험도지수(사고율 추정치)를 토대로 한 위험도 평가등급이 해당 등급별 위험도 수준을 적절히 파악하는 것으로 사료된다.

〈표 12〉 위험도 평가등급

사고율 추정치 (건/백만대km)	사고위험도지수	평가등급
0~0.223	0~1	매우양호
0.223~0.446	1~2	양호
0.446~0.669	2~3	양호
0.669~0.892	3~4	보통
0.892~1.115	4~5	보통
1.115~1.338	5~6	보통
1.338~1.561	6~7	열악
1.561~1.784	7~8	열악
1.784~2.007	8~9	열악
2.007~2.230	9~10	매우열악
2.230~	10~	매우열악

2. GIS를 응용한 가시화 및 활용

1) 사고위험도 평가 프로그램의 개발

(1) 데이터베이스 구축

본 연구에서는 사고위험도 평가 프로그램의 개발 및 적용[46] 과정에서 요구되는 다양한 공간정보(spatial data)와 속성정보(attribute data)를 shapefile[47]

44) 귀무가설 H0 : 사고위험도지수 추정치(E) - 사고위험도지수 관측치(O) =0
45) 참고문헌 : 이학식, 2001
46) 대상구간 : 호남고속도로
47) shapefile은 GIS 데이터 포맷의 하나로서 포인트, 라인, 폴리곤의 위치 및 속성정보를 저장하는데 사용되는 벡터형식의 파일구조를 가지며, 각각의 shapefile은 shapefile.shp(좌표), shapefile.shx(공간 index), shapefile.dbf(속성)로 구성되어 있다.

format으로 구축하였다.

(2) 사고위험도 평가

① 도로선형요소의 조합별 위험도 도출

제시한 도로선형요소의 조합별 위험도 기준(〈표 1〉~〈표 6〉 참고)을 함수화 함으로써 대상구간의 도로선형요소에 대한 데이터가 입력되면 자동적으로 도로선형요소의 조합별 위험도(CLR, RR, GR)가 산출된다.

② 사고예측모형의 수행

구축한 사고예측모형(식(1) 참고)에 이전 단계에서 도출된 도로선형요소의 조합별 위험도를 적용하여 해당구간에 대한 사고지표(사고율)를 추정한다.

③ 종합적인 사고위험도지수의 도출

설정한 종합적인 사고위험도지수 및 위험도 평가등급(〈표 12〉 참고)에 따라 이전단계에서 추정된 사고율이 종합적인 사고위험도지수와 위험도 평가등급으로 전환된다.

(3) 가시화

① 도로선형정보의 가시화

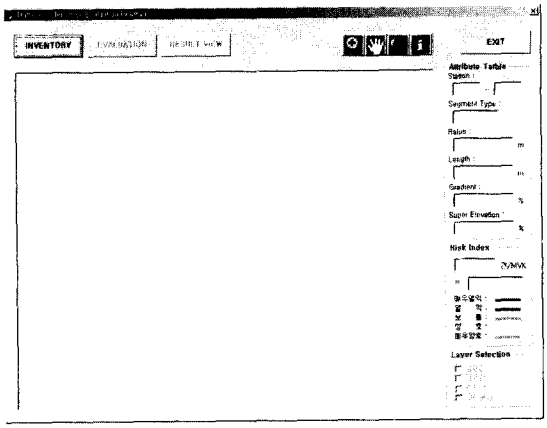
데이터베이스 구축과정에서 생성된 레이어(도로에 대한 공간정보)와 속성정보를 이용하여 해당 구간별 도로선형정보를 시각적으로 확인할 수 있게 하였다.

② 결과물의 가시화

일단 사고위험도 평가과정이 성공적으로 수행되고 나면 평가결과를 시각적으로 확인할 수 있게 하였다. 이 과정에서는 곡선부별로 획득된 사고율 추정치와 사고위험도지수 값을 가시화 하였을 뿐만 아니라, 결정된 위험도 평가등급을 기본도(Base Map)에 적용하여 위험도 평가등급에 따라 색상을 다르게 표현함으로써 이용자가 대상구간 전체에 대한 사고위험도를 한눈에 파악할 수 있도록 하였다.

(4) Graphic User Interface(GUI)

본 프로그램의 GUI[48]는 ① 프로그램의 단계별 수행을 위한 명령버튼, ② 화면의 확대·이동·전체보기 및 정보의 확인을 위한 도구박스, ③ 공간·속성정보를 시각적으로 제공해 주는 창으로 구성된다(〈그림 3〉 참고).



〈그림 3〉 Graphic User Interface(GUI)

2) 사고위험도 평가 프로그램의 적용

(1) 도로선형정보의 확인(INVENTORY)

도구박스(화면의 확대·이동·전체보기 및 정보의 확인)를 이용하여 관심이 있는 곡선부와 직선부, 완화곡선부를 선택함으로써 우측의 Attribute Table 창을 통해 해당구간에 대한 도로선형정보를 확인할 수 있다(〈그림 4〉 참고).

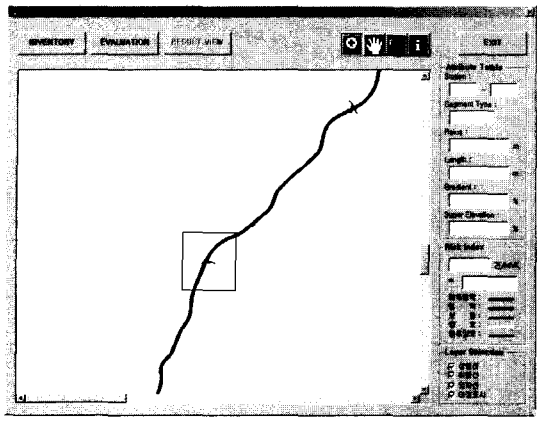
(2) 사고위험도 평가(EVALUATION)

미리 주어진 조건과 모형식에 따라 대상구간의 모든 곡선부에 대한 사고율 추정치와 사고위험도지수, 위험도평가등급이 내부적으로 결정된다(〈그림 5〉 참고).

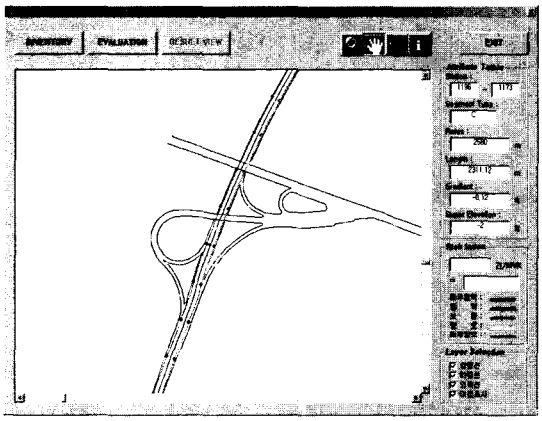
(3) 결과의 가시화(RESULTVIEW)

곡선부별로 위험도평가등급에 따라 다르게 부여된 색상 값을 기본도(Base Map)에 적용하여 가시화 함으로써 전체 도로구간에 대한 사고위험도를 한눈에 파악할 수 있다(〈그림 6(a)〉 참고). 또한 도구박스를 이용하여 사고위험도지수가 높아 문제가 예상되는 곡선부를 선택함으로써 해당구간에 대한 도로선형정보(Attribute Table 창) 뿐만 아니라 사고율 추정치와 사고위험도지수(Risk Index 창)를 한눈에 확인할 수 있다(〈그림 6(b)〉 참고).

48) 이용자는 GUI를 통해 원하는 단계를 클릭함으로써 해당 과정을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 현재 본인이 어느 과정을 수행중이며 도출된 결과가 어떤 의미를 가지고 있는지 쉽게 파악할 수 있다.

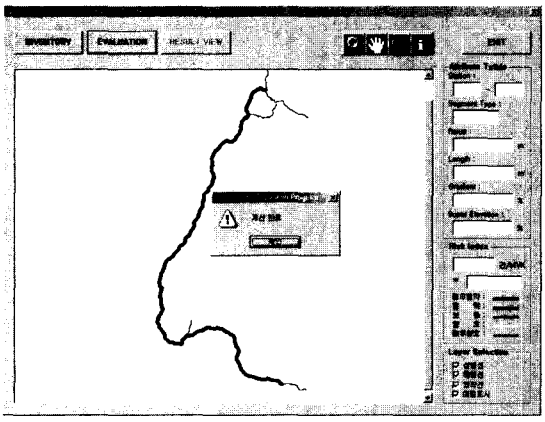


(a)



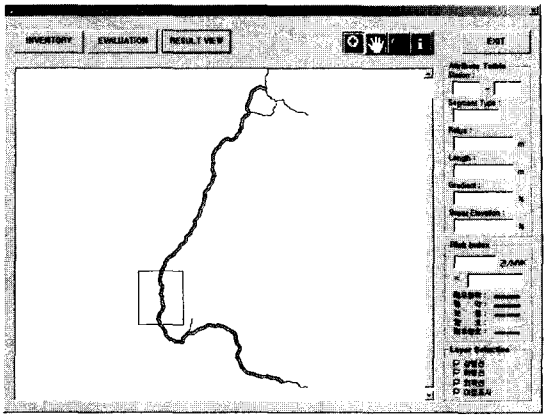
(b)

〈그림 4〉 도로선형정보의 확인과정

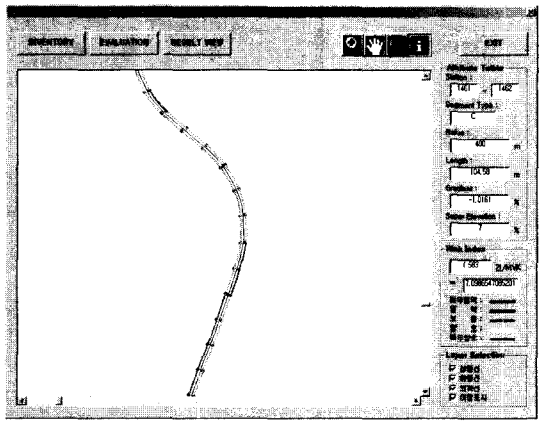


〈그림 5〉 사고위험도 평가 과정

본 연구에서는 연구의 수행을 위해 도로선형정보에 관한 GIS 기반의 데이터베이스(GIS-based database)



(a)



(b)

〈그림 6〉 결과의 가시화 과정

를 구축하였으며, GIS의 가시화 및 탐색·질의·공간분석 기능을 활용하여 사고위험도평가 프로그램을 개발함으로써 보다 효과적인 사고위험도 평가를 가능하게 하였다. 즉, 임의의 도로선형조건 하에서 곡선부의 사고위험도를 파악하고 평가하는 일련의 과정을 GIS 기법을 활용하여 프로그래밍 함으로써 데이터베이스로 구축된 도로선형정보에 따라 사고지표(사고율 추정치), 사고위험도지수, 위험도평가등급이 자동적으로 결정될 수 있게 하였으며, 미리 데이터베이스로 구축된 도로선형정보와 도출된 결과물들을 기본도(Base Map)에 적용하여 공간정보와 함께 가시화 함으로써 한눈에 확인할 수 있게 하였다. 이와 같이 본 연구에서 개발한 사고위험도 평가 프로그램은 사고위험도지수와 위험도 평가등급의 도출과정 및 결과를 시각적으로 표현함으로써 이용자가 쉽게 이해하고 편

리하게 이용할 수 있다.

Ⅶ. 결론

본 연구에서는 GIS(Geographic Information System:지리정보체계)를 기반으로 4차로 고속도로의 선형조건을 이용하여 해당도로의 사고위험도를 파악하고 평가할 수 있는 방법을 제시하였다. 이를 위해, ① 4차로 고속도로를 대상으로 곡선부 사고에 영향을 미치는 도로선형요소를 파악하고, ② 개별 도로선형요소 및 도로선형요소의 조합과 사고와의 관계를 분석하였으며, ③ 이를 토대로 도로의 선형조건에 따라 해당구간의 사고발생가능성을 예측할 수 있는 모형식을 제시하였다. 기존의 연구들과는 달리 사고분석 과정에서 도로선형요소들 간의 잠재적인 상호작용을 파악하고 정량화 하였을 뿐만 아니라, 이것을 선형의 연속성과 함께 사고예측과정에 반영함으로써 보다 정확하고 현실적인 사고예측모형을 개발하였다. 또한 ④ 곡선부에 대한 사고위험도를 보다 효과적으로 파악하기 위해 사고예측모형의 추정결과와 사고자료를 토대로 사고위험도지수를 설정하고 이에 대한 위험도 평가등급을 제시함으로써 우리나라 4차로 고속도로에 적용 가능한 사고위험도 평가기준을 마련하였다. 아울러 ⑤ 도로의 사고위험도를 파악하고 평가하는 일련의 과정을 GIS와 결합함으로써 이용자가 쉽게 이해하고 편리하게 사용할 수 있는 사고위험도 평가 프로그램을 구현하였다. 본 연구에서 제시한 사고위험도 평가방법이 효과적으로 활용되기 위해서는 보다 다양한 선형조건(도로선형요소의 조합)대한 연구가 필요하며, 이를 위해서는 다양한 조건에 부합되는 데이터가 충분히 확보되어야 할 것이다. 또한 일정 도로구간 전체에 대한 사고위험도를 평가하기 위해서는 곡선부와 같이 단위구간이 아닌 노선이나 도로망 단위의 일관성 있는 사고위험도 평가 방안이 필요하며, 사고위험도 평가결과 위험한 수준으로 파악된 경우 해당구간의 위험도 평가등급에 따라 취해야 할 개선방안이 보다 명확하게 제시되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 국토개발원(1996), "도로의 기하구조와 안전성의 상호관계분석 연구".
2. 이학식 · 김영(2001), "SPSS 10.0 매뉴얼(통계분석방법 및 해설)", 법문사.
3. 한국도로공사(1995), "고속도로 교통사고특성 및 감소대책에 관한 연구".
4. Choueiri E. M. and R. Lamm(1987b), "Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods, Part I, Operating Speed and Accident Rates on Two-Lane Rural Highway Curved Sections", Investigations About Consistency, Final Report, NSF/ENG-87026, Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University.
5. Collins J., K. Fitzpatrick, K. A. Bauer, and D. W. Harwood(1999), "Speed variability on rural two-lane highways", Transportation Research Record 1658, TRB National Research Council, Washington D.C.
6. Fitzpatrick K., et al(2000), "Speed prediction for two lane rural highways", Research report, FHWA-RD-99-171.
7. Hauer E.(1999), "Safety and the Choice of Degree of Curve", Transportation Research Record 1665, TRB National Research Council, Washington D.C.
8. Ingrid B. A. and A. K. Raymond(2000), "Speed reduction as a surrogate for accident experience at horizontal curves on rural two-lane highways", Transportation Research Record 1701, TRB National Research Council, Washington D.C.
9. Kenneth L. F. and A. K. Raymonds(1995), "Tangent length and sight distance effects of accident rates at horizontal curves of rural two-lane highways", The 74th annual meeting Transportation Research Bcoard Washington D.C.
10. Kulmala R. and M. Roine(1988), "Accident Prediction Models for Two-Lane Roads in Finland", Technical Research Centre of Finland, Traffic Safety Theory and Research Methods, Session 4, Statistical Analysis and Models, Amsterdam.

11. Lamm R. and E. M. Choueiri(1987), "Recommendations for evaluating horizontal design consistency based on investigations in the state of new york", Transportation Research Record 1122, TRB National Research Council, Washington D.C.
12. Lamm R., E. M. Choueiri, A. Paluri(1987b), Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods, Part Ⅱ, A Design Method to Determine Critical Operating Speed Inconsistencies on Two-Lane Rural Roads in the State of New York, Final Report, NSF/ENG-87027, Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University.
13. Lamm R., et al.(1988), "Possible Design Procedure to Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-Lane Rural Road", Transportation Research Record, 1195, TRB National Research Council, Washington D.C.
14. Lamm R., et al.(1999), "High Design and Traffic Safety Engineering Handbook", Mcgraw-Hill.
15. Leisch J. E. and J. P. Leisch(1977), "New concepts in design speed application as a control in achieving consistent highway design", proceedings of 56th TRB annual meeting, TRB.
16. Mensah A. and E. Hauer(1998), "Two Problems of averaging arising in the estimation of the relationship between accidents and traffic flow", Transportation Research Record 1635, TRB National Research Council, Washington D.C.
17. Nielsen M. A. and P. Greibe(1998), "Signing and Marking of Substandard Horizontal Curves on Rural Roads", Proceeding of AET European Transport Conference, Vol. 428, PTRC Education and Research Service Ltd.
18. Polus A. and D. Dagan(1987), "Models for Evaluating the Consistency of Highway Alignment", Transportation Research Record 1122, TRB National Research Council, Washington D.C.
19. Raymond A. K. and W. G., Stephen(1992), "Geometric inconsistencies and accident experience on two-lane rural highway", Transportation Research Record 1356, TRB National Research Council, Washington D.C.
20. Zegeer C. V., Stewart, R., Reinfurt, D., Council, F., Neuman, T., Hamilton, E., Miller, T., and Hunter, W.(1991), "Cost Effective Geometric Improvements for Safety Upgrading of Horizontal Curves", FHWA-RD-90-021, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
21. Zegeer C. V., J. R. Stewart, and M. C. Forrest(1992), "Safety effect of geometric Improvements on horizontal Curves", Transportation Research Record 1356, TRB National Research Council, Washington D.C.

♧ 주 작 성 자 : 강승림
♧ 논문투고일 : 2002. 10. 25
논문심사일 : 2002. 12. 18 (1차)
2003. 1. 29 (2차)
심사판정일 : 2003. 1. 29
♧ 반론접수기한 : 2003. 6. 30

A Study on the Applications of Airspace Design Criterions Affecting on the Flight Safety

YANG, Han Mo · YOO, Kwang Eui

The airspace has to be designed considering the flight safety and economic efficiency of aircraft operators. The International Civil Aviation Organization(ICAO) published standards and recommended practices for safe design of the airspace. Each contracting country must follow the ICAO standards in designing the airspace for the utilization of civil aviation. Normally, each member establishes its own standards and national aviation law for the safe and efficient design of the airspace, regarding the ICAO standards. However, our government has not developed yet clear and detailed standards and regulation system for airspace design. This might lead to aviation accidents and disputes between operators of aviation system This study is to review the characteristics of ICAO standards and a legal problem related to application of international standards for airspace design. Specifically this research analyzed the case of airspace design and operation of a domestic airport. The results of analysis are as follow: (1) For the safety of civil aviation, it is very required to establish national regulation system to follow ICAO standards in designing airspace, (2) It is also necessary to establish separate procedure for civil aircraft in military air base, when the aerodrome is co-used by military and civil aircraft. If the same procedure for military aircraft is applied to civil aircraft, it is necessary to make clear what the design concept is, (3) and the differences from ICAO standards have to be publicly known.

A GIS-based Traffic Accident Analysis on Highways using Alignment Related Risk Indices

KANG, Seung Lim · PARK, Chang Ho

A traffic accident analysis method was developed and tested based on the highway alignment risk indices using geographic information systems(GIS). Impacts of the highway alignment on traffic accidents have been identified by examining accidents occurred on different alignment conditions and by investigating traffic accident risk indices(TARI). Evaluative criteria are suggested using geometric design elements as an independent variable. Traffic accident rates were forecasted more realistically and objectively by considering the interaction between highway alignment factors and the design consistency. And traffic accident risk indices and risk ratings were suggested based on model estimation results and accident data. Finally, forecasting traffic accident rates, evaluating the level of risk and then visualizing information graphically were combined into one system called risk assessment system by means of GIS. This risk assessment system is expected to play a major role in designing four-lane highways and developing remedies for highway sections susceptible to traffic accidents.

An Assessment of the Quantitative Effect of TSS by Vessel Traffic Flow Simulation

PARK, Young-Soo · JONG, Jae-Yong · PARK, Jin-Soo · INOUE, Kinzo

Marine traffic management could be defined as the implementation of managerial technical measures to improve vessel traffic safety. The managerial elements of vessel traffic management for ports and harbours or narrow channels include the total amount of traffic control, the vessel traffic separation scheme, speed restriction, traffic control by signals, the navigation information service and so forth.

This research aims to quantify how much the traffic separation schemes(TSS) contribute to the alleviation effect of ship handling difficulty and to propose a design standard when the individual management measure is applied in an actual waterway.