

곡선부 위험도 판정척도 및 알고리즘 개발

Development of Measure of Effectiveness (MOE) and Algorithm for Hazard Level at Curve Sections

하태준* · 정준화** · 이정환*** · 이석기****

Ha, Tae-Jun · Jeong, Jun-Hwa · Lee, Jeong-Hwan · Lee, Suk-Ki

Abstract

At present, there is a no rational MOE for evaluating hazard level at curve sections. Therefore, this study focus on developing the MOE and algorithm for hazard level at curve sections. The scopes of this study limited to rural two-way roads. Actual data used is accident, geometric features, safety facilities of the selected sites at curve sections. In order to develop MOE for hazard level at curve sections, accident contributing factors were classified by road geometry, visual guidance facility, speed and driver factor. A relationship between the four factors mentioned and accidents was conducted. And, the MOE for hazard level at curve sections was derived from the previous relationship analysis, and the algorithm for hazard level was developed. Finally, worksheets were suggested based on the MOE and algorithm for road designers. These developed MOE and algorithm can be used to reduce serious accident contributing factors when designing roads and also, these will be used to determine an order of priority when reconstructing roads.

Keywords : accident, traffic safety, curve sections, hazard level, Measure of Effectiveness (MOE), algorithm

요 지

현재까지, 다양한 위험요소를 내포하고 있는 도로 곡선부의 위험도를 교통안전 측면에서 합리적이고 정량적으로 판단하는 기준이 부재한 실정이다. 이에 본 연구에서는, 지방부 2차로 도로를 대상으로, 곡선부 사고요인을 기하구조, 시선유도시설, 속도 및 운전자 사고요인으로 분류하여, 곡선부 사고와의 상관관계 분석을 실시하고, 곡선부 사고와 밀접한 관련이 있는 주요 곡선부 사고요인을 파악하여, 곡선부 위험도 판정척도를 제시하였으며, 곡선부 위험도 판정척도를 이용하여, 곡선부 위험도 판정 알고리즘을 개발하였다. 또한, 실무활용에 용이하게 하기 위하여 Worksheet을 제시하였다. 본 연구에서 개발된 곡선부 위험도 판정척도 및 알고리즘을 이용하여, 도로 곡선부 설계시 곡선부 사고요인을 사전에 파악할 수 있으며, 기존도로 개선사업 수행 시 사업우선순위 선정에도 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 사고, 교통안전, 곡선부, 위험도, 판정척도, 판정알고리즘

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

도로 기하구조의 물리적 요소는 횡단구성, 평면선형, 종단선형, 교차시설 등으로 구성되어 있다. 이 중 도로의 평면선형은 직선부와 곡선부로 나뉘게 되는데, 도로 곡선부의 경우 기하구조상 운전자의 시각변화가 현저하게 발생하고, 속도편차가 크게 나타나며, 원심력과 같은 물리적인 요인 등 다양한 원인에 의해 직선부보다 큰 사고위험 요인을 내포하고 있다.

특히, 오르막 · 내리막 구간과 같은 종단선형과 결합될 경우 곡선부의 위험도는 더욱 증가하게 된다. 그러나, 현재까

지 이러한 많은 위험요인을 내포하고 있는 곡선부의 위험도를 합리적이고, 정량적으로 평가할 수 있는 기준이 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 곡선부의 많은 사고요인을 종합적으로 고려하여 도로 곡선부의 위험도를 판정하는 척도를 제시하고, 제시된 판정척도를 이용하여, 곡선부 위험도 판정 알고리즘을 개발하고자 한다.

또한, 본 연구를 통해 개발된 곡선부 위험도 판정척도 및 알고리즘을 이용하여, 도로 곡선부 설계시 곡선부 사고요인을 사전에 파악할 수 있으며, 기존도로 개선사업시 활용되어 개선사업 우선순위 선정에도 이용 될 수 있을 것으로 기대된다.

*정회원 · 교신저자 · 전남대학교 토목공학과 부교수 (E-mail : tjha@chonnam.ac.kr)

**정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 수석연구원 (E-mail : jhjeong@kict.re.kr)

***정회원 · 전남대학교 토목공학과 박사수료 (E-mail : spiceljh@nate.com)

****정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 (E-mail : oksk@kict.re.kr)

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는, 지방부 2차로 도로로 제한하여, 도로의 곡선부만을 대상으로 위험도 판정척도 및 위험도 판정 알고리즘을 개발한다. 본 연구의 목적인 곡선부 위험도 판정척도 및 알고리즘 제시를 위하여, 진행된 연구의 전반적인 수행 흐름도는 그림 1과 같다.

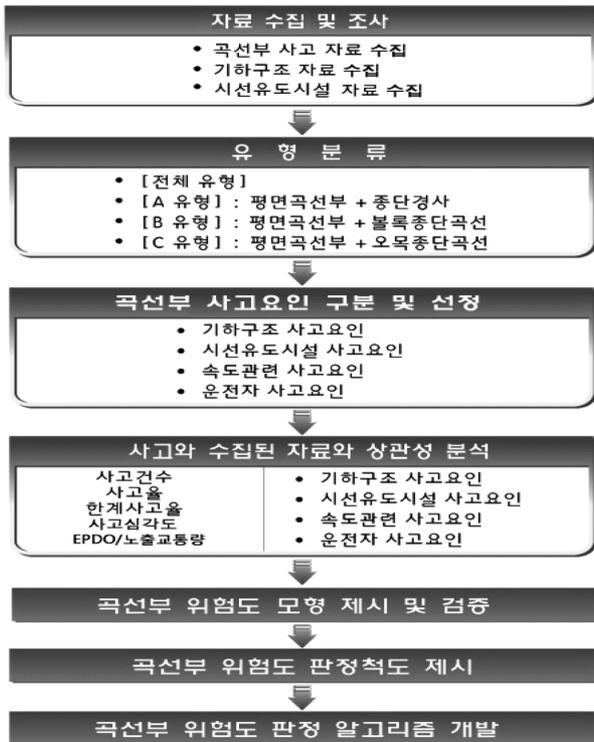


그림 1. 연구수행 흐름도

본 연구에서는, 첫 번째로 현장 조사를 실시한다. 현장 조사 지점은 교차로, 과속단속시스템 등의 주변 환경 영향이 최소화된 지점으로, 현장 답사를 실시한 후 연구의 목적에 만족되는 지점들을 선정하였다. 이와 같은 현장 조사를 통하여 대상 지점의 교통사고 자료, 기하구조 자료 및 시선유도시설 자료를 수집한다.

두 번째로, 현장 조사를 통해 수집된 자료를 이용하여, 곡선부 사고요인과 곡선부 사고자료의 상관관계 분석을 통해 곡선부 사고와 가장 밀접한 관련이 있는 요인들을 선정한다. 또한 선정된 곡선부 사고위험요인을 독립변수로 하고, 곡선부 사고를 종속변수로 한 회귀모형식을 제시하고 검증한 후, 곡선부 위험도 판정척도를 제시한다.

마지막으로, 앞에서 제시된 곡선부 위험도 판정척도를 이용하여, 곡선부 위험도 판정 알고리즘을 개발한다.

1.3 연구의 범위

본 연구의 전체 범위는, 곡선부 위험도 판정척도 및 알고리즘 개발이고, 공간적 범위로는 전라남·북도 주요 지방부 2차로 곡선부 도로로 제한한다. 시간적 범위로는 2004년~2006년에 발생한 곡선부 사고자료를 이용하였고, 도로 기하구조 및 시선유도시설 자료는 변경되지 않은 2008년도 현장 자료를 이용한다.

2. 기존 연구문헌 고찰

2.1 곡선부 주행속도에 관한 연구

1) McLean(1978)

차량의 속도는 시거나 다른 교통 및 도로 기하학적 요인들보다 운전자의 희망속도에 지배적인 영향을 받는다는 것을 밝혀내고 회귀분석을 통해 곡선부 주행속도 예측모형을 개발하였다.

2) Glennon(1983)

종단경사가 5%를 초과하지 않는 56개의 표본을 조사하여 곡물각을 변수로 한 곡선부 주행속도 예측모형을 개발하였다.

3) Lamm(1987)

곡선 구간의 자료를 이용하여, 곡물 변화율과 곡선반경, 곡물각을 변수로 한 곡선부 주행속도 예측모형을 개발하였다.

4) Islam 등(1994)

곡선반경이 평면곡선에서 주행속도를 예측하는데 가장 중요한 요소라는 것을 밝혀내고, 이를 이용하여 곡선부 주행속도 예측모형을 개발하였다.

5) Krammes 등(1995)

곡선부에서 주행속도를 예측하기 위한 가장 중요한 독립변수로서 곡물각, 곡선길이, 교차각이 있음을 밝혀내고, 이를 이용하여 곡선부 주행속도 예측모형을 개발하였다.

6) 최재성(1995)

운전자의 시각적 판단을 기초로 한 최소시거를 이용하여 평면곡선 및 종단경사의 영향을 고려한 곡선부 주행속도 예측모형을 개발하였다.

7) Lamm 등(1995)

261개 표본조사를 통해 주행속도에 영향을 미치는 변수 중 곡도를 고려한 곡선부 주행속도 예측모형을 제시하였다.

8) Gibreel 등(1999)

곡선부에서의 반경과 종단곡선 변화율, 종단경사 대수차, 평면곡선 교점과 종단곡선 교점간 평면상 거리 및 편경사 등을 고려한 곡선부 주행속도 예측모형을 제시하였다.

9) 이점호(2000)

직선거리, 속도규제 표지 수, 접근로 수, 횡단보도 수, 접속로 등을 이용하여 직선부와 곡선부의 주행속도 예측모형을 개발하였다.

10) 정준화(2000, 2001)

곡선부의 모든 위치에서 접근속도나 곡선반경을 유의한 변수로 설정하고, 곡선부 시점과 곡선부 1/4지점, 곡선 후 직선부에서 속도는 접근속도의 함수로 표현 하였으며, 그 외 4개 지점(2/4 지점, 3/4 지점, 곡선부 중점)은 접근속도와 곡선반경의 함수로 설명되는, 곡선부 주행속도 예측모형을 개발하였다.

11) Fitzpatrick(2000)

평면선형-중단경사, 평면선형-중단곡선, 평면직선-중단곡선 구간으로 구분하여 곡선부 주행속도 예측모형을 개발하였다.

12) 박영진(2002)

모형수립을 위한 자료의 구축에 있어, 직선부의 V_{85} 를 도출하기 위해 사용된 속도자료들과 평면곡선부의 V_{85} 를 도출하기 위해 사용된 속도자료들을 일치시켜 사용하여, 최대 속도차 추정모형 등을 개발하였다.

13) 한국건설기술연구원, RoSAS(2007)

선형조건에 따라 곡선반경, 중단경사 대수차, 시거 등을 주요 변수로 한 곡선부 주행속도 예측모형을 개발하였다.

14) 하태준(2008)

중단경사와 평면곡선이 조합된 경우, 중단곡선과 평면곡선이 조합된 경우, 직선구간과 중단곡선이 조합된 경우로 나누어 기하구조별 주행속도 예측 모형식을 개발하였다.

2.2 곡선부 교통안전에 관한 연구

1) Glennon(1983)

330개의 평면 곡선부에 대하여 기하구조, 교통 조건 등을 이용하여 곡선부 교통사고 예측모형을 개발하였다.

2) Spacek(1987)

사고율이 급증하는 경계가 평면곡선반경 200m에서 350m 사이임을 밝혔고, 평면곡선반경에 따른 사고율을 비교한 결과, 평면곡선반경 350m 미만의 경우가, 평면곡반경 400m를 초과하는 경우에 비해, 약 5배 이상의 사고율이 나타남을 확인하였다.

3) Leutzbach 등(1989)

곡률변화율(CCR)이 증가함에 따라 사고율이 증가한다는 것을 확인하였고, 가장 작은 CCR과 높은 CCR사이의 사고율은 약 2배정도 차이가 있음을 확인하였다.

4) Zegeer(1991)

워싱턴 주의 지방부 2차로 도로 10,900개의 곡선부 지점을 조사하여, 교통량과 기하구조의 각 요소를 독립변수로 하여 곡선부 교통사고 예측모형을 제시하였다.

5) Krebs 등(1997)

평면곡선반경이 200m 이상이 되면 사고율이 급증한다고 하였으며, 사고율이 둔화되는 시점은 평면곡선반경이 400m부터라는 결론을 얻었다. 또한 평면곡선반경에 따른 사고율을 비교한 결과, 평면곡선반경 200m미만의 도로가 평면곡선반경 400m 정도의 도로에 비해 2배 이상의 사고율이 나타남을 확인하였다.

6) Voigt(1998)

지방부 2차로에서 부도로가 Stop-Controlled된 3지와

4지 교차로를 대상으로 교통사고건수 예측모형을 제시하였다.

7) Lamm 등(1999)

평면곡선반경이, 곡선부 한 지점의 사고율과 대응됨에 반해, CCR은 일정길이를 갖는 도로구간의 사고율과 대응됨으로, 사고율이 상쇄되는 결과를 가져온다는 결론을 내렸고, 높은 CCR을 가진 도로는 사고율과 사고비용이 높고, 사고율 및 사고비용은 CCR이 500gon/km일 때, 급한 변화를 보였다.

8) 하태준(2003)

위험도로 개선사업을 시행할 경우, 안전에만 집중되어 있는 현재 개선안에서 벗어나 비용-효율적인 개선안을 제시하고자 하였으며, 이를 위해 위험도로구간의 교통사고 예측모형식을 개발하였다.

2.3 곡선부 운전자 행태에 관한 연구

1) Messer(1979, 1981)

지방부 2차로 도로의 설계일관성을 평가하고 향상시키는 방법은 운전자 Workload의 양을 기준으로 하며, 운전자의 Workload는 도로기하형태의 복잡성의 증가를 경험한 운전자의 Workload 양이 증가할 때의 시간 비율로 정의된다고 하였다.

2) Hirsh(1987)

운전자의 기대를 근거로 한 설계비일관성의 인식에 대한 접근을 소개하였고, 설계비일관성은 운전자의 기대와 일치하지 않는 도로 선형의 변화로 정의하였다.

3) Smith 등(1994)

직선들 사이의 짧은 평면곡선은 피하고, 큰 곡선반경을 갖는 긴 평면곡선으로 해야 한다고 하였다. 평면선형은 자연스럽게 일관성 있는 외관을 따르도록 해야 한다고 하였다.

4) Wooldridge(1994)

고속도로 상에서 수집한 속도자료를 분석한 결과, 높은 Workload나 큰 변화를 가지는 지점은 높은 사고율과 연관이 있다고 하였다. 또한, 운전자의 기대라는 변수가 설계자들에게 이용되고 있고, ASSHTO에서도 도로의 기능적인 분류, 교통량, 설계속도의 기준에 개인적인 요소를 주된 요인으로 초점을 맞추어 가고 있다고 하였다.

5) Fitzpatrick 등(1997)

대부분의 운전자는 설계속도나 제한속도가 아닌 운전자 자신들이 판단한 도로의 선형에 의해 주행속도를 결정한다고 하였다. 운전자가 급한 곡선을 완만한 곡선으로 인식하게 되어, 곡선부에서 안전을 보장받을 수 있는 속도를 초과하여 주행할 경우 위험요소로 작용할 수 있다고 하였다.

6) Krammes(1997)

운전자 시거를 이용한 방법론을 개발하였다. 운전자들은 도

로 주행시 필요한 정보의 대부분을 눈을 통해서 얻는다는 사실에 중점을 두어, 곡선부 평면선형에서의 작업부하를 예측하는 회귀모형식을 개발하였다.

7) Lidia Zakowska(1997)

운전자가 도로 주행 중 느끼는 도로 경관을 평가하기 위하여 정적인 도로 시각화와 동적인 도로 시각화로 구분하여 실험 및 비교하였다. 실험 결과, 곡선반경, 평면곡선, 교각의 영향에 대해서는 동적인 방법이 정적인 방법보다 더욱 유의한 것으로 나타났다.

8) Hassan 등(1997)

운전자가 기대하지 않는 평면곡선의 설계를 피하기 위하여 3차원 시계분석을 사용한 레드존이라 불리는 개념을 도입하였다. 레드존은 종단 곡선의 관계에서 시작되지 않은 평면곡선의 도로상의 위치들로 정의하였다.

9) Taiganidis(1999)

도로 기하구조 설계에 있어서 평면선형과 종단선형의 조화는 가장 중요한 항목이라고 하였다. 또한, 평면곡선과 종단선형의 조합에 따라 인지하는 도로형태는 다른 것으로 나타남을 알 수 있었다.

10) Hassan 등(2000)

Computer Animation을 사용한 3차원 도로영상을 이용하여, 운전자가 평면곡선의 특징을 다르게 인식하거나 평면곡선부 주행속도 선택에 영향을 줄 수 있다는 것을 증명하였다.

11) 금기정(2002)

교통사고 다발지점으로 선정되어 있는 국도 2개 지점에서 운전자의 시각 행태를 분석하였다. 곡선구간에서는 주된 시각 행태가 진행방향의 내측에 집중되고, 동체속도와 주시영역 등 시각 활동이 직선구간에 비해 위축되어, 시선유도시설의 효과 증진을 위해서는 이러한 운전자 시각 활동을 반영한 향후 검토가 필요하다고 하였다.

12) 정봉조(2002)

운전자 작업부하를 고려한 직선길이에 관한 연구에서, 운전 중인 운전자 뇌파를 측정하여 도로구간에서 적정한 데이터 수집방법을 제시하였고, 직선구간이 일반구간에 비해 운전자에게 더 많은 각성변화를 보이는 것을 증명하였다.

13) Suaun Bidulka 등(2002)

운전자들의 시각적인 도로 환경의 인지는, 매우 중요한 요소로, 주행 중 시각적으로 혼란이 오거나 다양한 요인으로 인하여, 도로 환경을 잘못 인지하게 될 때, 사고의 위험성도 커지게 된다고 하였다.

14) Thomas Janikula(2002)

도로 선형은 비슷한 크기의 평면선형과 종단선형의 조합이 이루어져야 한다고 하였고, 주행 중 점핑과 편평함이 동시에

존재한 Broken-Back Curve와 같은 선형은 일관성이 좋지 않은 선형이라고 하였다.

15) 김용석(2004, 2005)

곡선부 진입시 운전자의 주행 행태에 관한 연구에서, 주행 속도 프로파일 모형에 내재된 운전자 주행 행태에 대한 가정을 검증하였고, 복합선형 구간에서 운전자 주행 행태에 대한 기초적인 특성 분석을 시도하였다.

16) 전우훈(2006)

곡선 구간 내 조명 유·무와 구간 내 전조등의 보통·상향 운행 가능 여부를 판단하여, 시선유도표지의 반사성능을 제조정해야 할 필요가 있다고 하였다.

2.4 곡선부 설계일관성 평가에 관한 연구

1) Lamm(1988, 1991)

다음의 3가지 안전성 평가척도를 제시하였다.

■ 안전성 척도 I

대상 도로구간 전체에 걸쳐 각 설계 요소에 대한 85백분위 속도와 설계속도 간의 차이가 10km/hr를 넘지 않아야 한다.

■ 안전성 척도 II

두 개의 연속적인 설계 요소(직선부와 곡선부, 곡선부와 곡선부)간의 85백분위 속도 차가 10km/hr를 넘지 않아야 한다.

■ 안전성 척도 III

동일한 설계속도를 가진 도로 구간에서 주행 차량의 동적인 안전성을 보장하는 척도로, 필요한 횡방향 마찰계수와 가정된 횡방향 마찰계수의 차이가 0.01을 넘지 않아야 한다.

2) Al-Masaeid 등(1995)

기하요인과 포장상태를 변수로 상류부인 직선과 뒤따르는 곡선부에서의 속도 감소식을 개발하였다. 그 결과 곡도(Degree of Curve), 평면곡선에서의 종단곡선길이, 종단경사, 포장상태 등이 설계일관성에 중요한 영향을 미친다고 지적하였다.

3) Leisch(1997)

속도 차이를 육안으로 쉽게 구별할 수 있는 주행속도 프로파일을 사용하여 $\Delta V=10\text{km/hr}$ 기준을 근거로 설계일관성을 평가하였다.

4) 최재성(1998)

주행 중 운전자에게 제공되는 시거를 기준으로, 주행속도를 예측하여 도로 설계일관성을 평가하는 모형을 개발하였다.

5) FHWA(2000)

지방부 2차로 도로의 안전정도를 예측하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 사고예측 알고리즘은 지방부 2차로 도로의 교차로특성, 도로 기하구조 요인들의 상관관계에 의해 구축되었다.

6) Fitzpartrick 등(2000)

평면선형 조건에 따른 속도추정모형으로부터 운전자가 편안하게 가감속을 하기 위해 요구되는 길이와 희망속도로부터 곡선부에서 감속할 때의 길이에 따른 가속도를 계산하였고, 가감속도로 안전성 평가 등급을 제시하였다.

7) 하태준(2003)

3차원 실제 도로형상을 고려하여, 일관성을 평가하는 방법으로 가속도 개념을 사용하였다. 실제의 도로를 주행하는 차량에 나타나는 브레이크와 엑셀로 인한 진행방향 가속도(Y), 평면선형에 따른 횡방향 가속도(X), 종단선형에 따른 종방향 가속도(Z)를 합성한 3차원 가속도를 이용하여 새로운 안전성(일관성) 평가 방법을 제시하였다.

8) 하태준(2008)

기존의 3차원시거 분석모형을 사용하여 2차원시거와 3차원시거를 비교·분석하고, 평면선형과 종단선형이 조합된 3차원선형에서 주행속도를 이용한 필요정지시거 값과 3차원시거 분석모형으로 산정된 3차원시거 값을 비교하여 도로일관성을 평가하는 방법을 제시하였다.

3. 자료 수집 및 조사

3.1 조사지점 선정 및 유형 분류

3.1.1 조사지점 선정

도로주변 환경 및 교통운영 요소가 운전자 주행행태에 미치는 영향이 최소화된, 전라남·북도 내의 양방향 2차로 도로인 일반국도 1·2·13·18·19·22·23·24·29·77호선 및 지방도 49·55·58호선상의 78개 지점을 선정하여 현장조사하였다.

3.1.2 조사지점 유형 분류

도로 일반구간의 선형은 평면선형과 종단선형의 결합 형태에 따라 분류된다. 평면선형 직선부를 제외한 곡선부의 모든 선형조건은 본 연구에서 제시한 3가지 유형으로 분류될 수 있으며, 기존 연구의 곡선부 사고원인 및 특성이 3가지 유형에서 유사한 형태로 나타나고 있어 본 연구에서는 3가지 유형으로만 분류하였다. [A 유형]은 평지 또는 일정한 종단경사에 평면곡선이 위치한 경우이고, [B 유형]은 평면곡선부와 볼록 종단곡선이 조합된 경우를 뜻하며, [C 유형]은 평면곡선부와 오목 종단곡선이 조합된 경우이다. [전체 유형]은 [A 유형], [B 유형], [C 유형] 전부를 포함한다. 도로선형 유형별 조사지점 현황은 다음 표 1과 같다.

표 1. 도로선형 유형별 조사지점 현황 (총 78개 조사지점)

유형 분류	평면선형	종단선형	지점 수
[A 유형]	곡 선	평지 또는 종단경사부	30
[B 유형]		볼록 종단곡선	25
[C 유형]		오목 종단곡선	23
[전체유형]			78

3.2 도로 기하구조 자료 수집

조사지점의 각 유형별로 기하구조 특성에 관한 자료를 수집하였다. 조사된 도로 기하구조 자료는 시거, 평면곡선반경, 평면곡선길이, 교각, 차로 폭, 길어깨 폭, 종단곡선, 종단경사, 편경사, 종단곡선 길이, 종단곡선 변화율, 종단경사 대수차, 곡률변화율, 곡도 등이다.

3.3 곡선부사고 자료 수집

곡선부 사고 자료는 각 지점의 관할 경찰서를 방문하여, 열람이 가능한 곡선부 사고 자료 중 조사 지점에 해당하는 곡선부 사고 자료만을 사고 기록 양식에 맞추어 수집하였다.

3.4 도로 시선유도시설 자료 수집

갈매기표지, 표지병, 시선유도표지 수량은 육안조사를 통하여 조사하였고, 각 시설물간의 거리는 Walking Measure를 이용하여 현장측정을 원칙으로 하여 수집하였다.

4. 곡선부 위험도 판정척도 개발

4.1 곡선부 위험도 판정척도 개발 절차

곡선부 위험도 판정척도 개발을 위해, 도로선형을 유형별([A 유형], [B 유형], [C 유형], [전체 유형])로 분류하고, 기하구조 사고요인, 시선유도시설 사고요인, 속도관련 사고요인 및 운전자 사고요인과 곡선부 사고와 상관관계를 분석하여, 주요 곡선부 사고요인을 선정한다. 그리고, 선정된 곡선부 사고요인을 독립변수로 설정하고, 곡선부 사고를 종속변수로 하여 회귀분석을 실시하여 회귀모형식을 개발하고, 개발된 회귀모형식은 검증절차를 거쳐 곡선부 위험도 판정척도로 이용한다. 곡선부 위험도 판정척도 개발 절차는 그림 2와 같다.

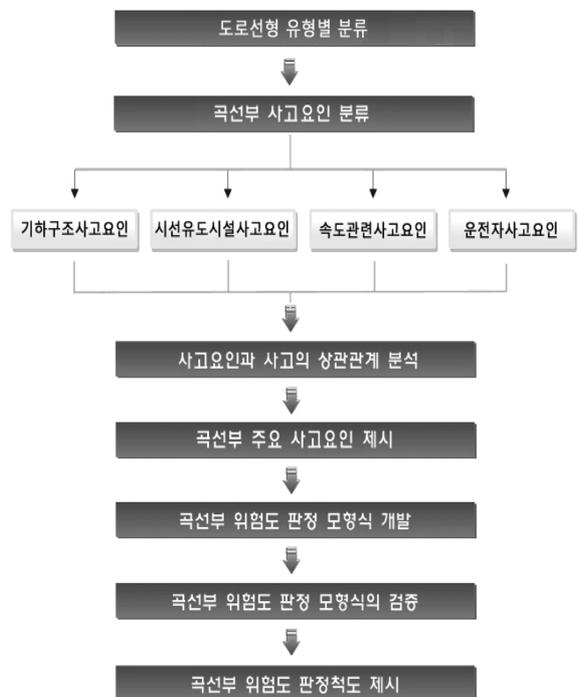


그림 2. 곡선부 위험도 판정척도 개발 절차

4.2 곡선부 사고요인 분류 및 분석

곡선부 사고의 표현방법에는 사고건수, 사고율, 한계교통

사고율, 사고심각도(Equivalent Property Damage Only, EPDO) 및 EPDO/노출교통량 등이 있고, 이 곡선부 사고의 표현방법은 곡선부 사고변수라고 명명한다. 곡선부 사고요인은 기하구조 사고요인, 시선유도시설 사고요인, 속도관련 사고요인 및 운전자 사고요인 등 4가지 요인으로 분류하였다. 또한, 도로 선형조건에 따라 구분된 유형별 곡선부 사고변수와 곡선부 사고요인의 상관관계를 분석하여 곡선부 사고변수와 가장 밀접한 관련이 있는 곡선부 사고요인을 도출한다. 그림 3은 곡선부 사고요인 분석의 개념도를 보여준다.

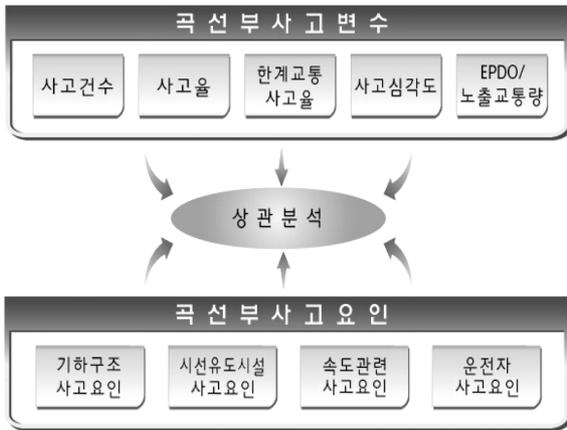


그림 3. 곡선부 사고요인 분석의 개념도

4.2.1 곡선부 사고요인 분류

곡선부 사고요인을 도출하기 위하여, 4가지로 분류된 유형에 따라 곡선부 사고변수와 곡선부 사고요인으로 구분하였다. 구분된 곡선부 사고요인은 세부변수로 구분할 수 있으며 곡선부 사고변수, 곡선부 사고요인 및 세부변수는 표 2와 같다.

표 2. 곡선부 사고변수, 곡선부 사고요인 및 세부변수

곡선부 사고변수	곡선부 사고요인	세부변수
사고건수	기하구조 사고요인	평면선형, 종단선형요소 등 총 14개 항목
사고율		
한계 교통사고율	시선유도시설 사고요인	설치유무, 설치간격 등 총 13개 항목
사고 심각도	속도관련 사고요인	다양한 기준속도 모형을 통해 산출된 속도차(개별차량의 속도차, 설계속도와 주행속도의 차, 차량의 가속도차) 등 총 80개 항목
EPDO/노출교통량	운전자 사고요인	운전자 Workload 1개 항목

1) 기하구조 사고요인

도로의 기하구조를 평면선형, 종단선형, 횡단구성으로 나누었고 각 기하구조에 따른 세부변수들은 표 3과 같다.

표 3. 기하구조 사고요인의 세부변수

	세부변수
평면선형	곡선반경, 곡선길이, 교각, 곡선부 편경사, 곡률, 시거 등
종단선형	종단경사, 종단경사차, 종단경사변화율, 종단곡선 등
횡단구성	차로 폭, 횡단경사, 측구, 길어깨 폭 등

2) 시선유도시설 사고요인

곡선부의 대표적인 시선유도시설을 갈매기표지, 표지병, 시선유도표지로 구분하였고 각 시설에 대한 세부변수는 표 4와 같다.

표 4. 시선유도시설 사고요인의 세부변수

	세부변수
갈매기표지	설치유무, 설치갯수, 설치간격, 설치형태, 관리상태 등
표지병	설치유무, 설치갯수, 설치간격, 관리상태 등
시선유도표지	설치유무, 설치갯수, 설치간격, 관리상태 등

3) 속도관련 사고요인

속도관련 사고요인은 개별차량의 속도, 설계속도와 주행속도의 차, 차량의 가속도차 등이 있다. 속도관련 사고요인을 도출하기 위하여, 현장조사를 통해 수집된 자료와 기존의 속도예측모형을 활용하여 속도관련 사고요인을 선정하였고, 그 세부변수들은 표 5와 같다.

표 5. 속도관련 사고요인의 세부변수

	세부변수
개별차량의 속도차	직선부속도 - V_{85}
설계속도와 주행속도의 차	설계속도 - V_{85}
차량의 가속도차	$(\text{직선부속도} - V_{85}) / \Delta t$

이상의 속도관련 사고요인에 포함되어 있는 곡선부 예측 주행속도는 기존의 연구에서 제시한 다양한 모형식을 활용하였다.

4) 운전자 사고요인

운전자 사고요인은 Workload로 대표될 수 있는 것으로, 본 연구에서 활용된 운전자 Workload는 현장 수집자료와 기존의 운전자 Workload 산정모형을 활용하여 도출하였고 세부변수는 표 6과 같다.

표 6. 운전자 사고요인의 세부변수

	세부변수
운전자 (Workload)	$WL=0.193+0.016DC$ <ul style="list-style-type: none"> • WL : 곡선부의 평균 작업부하(%) • DC : 곡률각 (deg/km)

4.2.2 곡선부 사고요인 분석

도로 선형조건에 따라 구분된 유형별로 곡선부 사고변수(사고건수, 사고율, 한계교통사고율, 사고심각도 및 EPDO/노출교통량)와 기하구조 사고요인, 시선유도시설 사고요인, 속도관련 사고요인 및 운전자 사고요인의 세부변수와의 상관관계 분석을 실시하였다. 위 4종류의 사고요인과 곡선부 사고변수와의 상관관계 분석결과는 표 7~표 10과 같다.

결론적으로, 곡선부 사고변수와 사고요인 세부변수의 상관관계를 분석한 결과를 종합해 보면, 각 유형에 따라 곡선부 사고변수와 관련이 있는 사고요인은 다소 차이를 보였으나, 특히 속도관련 사고요인이 모든 도로유형에서 가장 높은 상

표 7. 기하구조 사고요인과 곡선부 사고변수와의 상관관계 분석 결과

유형분류	상관관계 분석결과
[전체유형]	교각·편경사·시거·곡도·종단곡선변화를 다소 유의함
[A 유형]	교통량·종단경사 다소 유의함
[B 유형]	교통량·평면곡선반경·교각·편경사·곡률변화를·시거·곡도·종단경사변화를 다소 유의함
[C 유형]	곡선길이·교각·편경사·곡도 다소 유의함

표 8. 시선유도시설 사고요인과 곡선부 사고변수와의 상관관계 분석결과

유형분류	상관관계 분석결과
[전체유형]	갈매기표지 설치간격 다소 유의함
[A 유형]	표지병 갯수 다소 유의함
[B 유형]	갈매기표지 형태 다소 유의함
[C 유형]	표지병상태 다소 유의함

표 9. 속도관련 사고요인과 곡선부 사고변수와의 상관관계 분석 결과

유형분류	상관관계 분석결과
[전체유형]	다수의 세부변수 유의함
[A 유형]	다수의 세부변수 유의함
[B 유형]	다수의 세부변수 유의함
[C 유형]	다수의 세부변수 유의함

표 10. 운전자 사고요인과 곡선부 사고변수와의 상관관계 분석 결과

유형분류	상관관계 분석결과
[전체유형]	유의하지 않음
[A 유형]	유의하지 않음
[B 유형]	다소 유의함
[C 유형]	유의하지 않음

관관계를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서, 위 속도관련 사고요인이 곡선부 위험도 판정척도 모형식 개발에 이용함이 바람직하다고 판단된다.

4.3 곡선부 위험도 판정척도 개발

곡선부 위험도 판정척도를 개발하기 위해서, 곡선부 사고변수를 종속변수로 하였고, 전 절에서 선정한 속도관련 사고요인을 독립변수로 설정하였다. 종속변수인 곡선부 사고변수는 사고건수, 사고율, 한계교통사고율, 사고심각도 및 EPDO/노출교통량 등의 세부변수가 있고, 독립변수인 속도 관련 사고요인은 개별차량의 속도차, 설계속도와 주행속도의 차, 차량의 가속도차 등의 세부변수가 있다. 그림 4는 곡선부 위험도 판정척도 개발을 위한 변수들의 관계를 나타낸다.

그림 4의 개념도와 같이, 곡선부 사고변수와 속도관련 사고요인과의 상관관계 분석을 통해, 각각의 도로유형에 따른 종속변수와 독립변수들의 세부변수를 선정한다. 그리고, 위 주요세부변수들이 포함된 곡선부 위험도 판정모형식을 개발하고 검증한 후, 최종적으로 곡선부 위험도 판정척도를 제시한다.

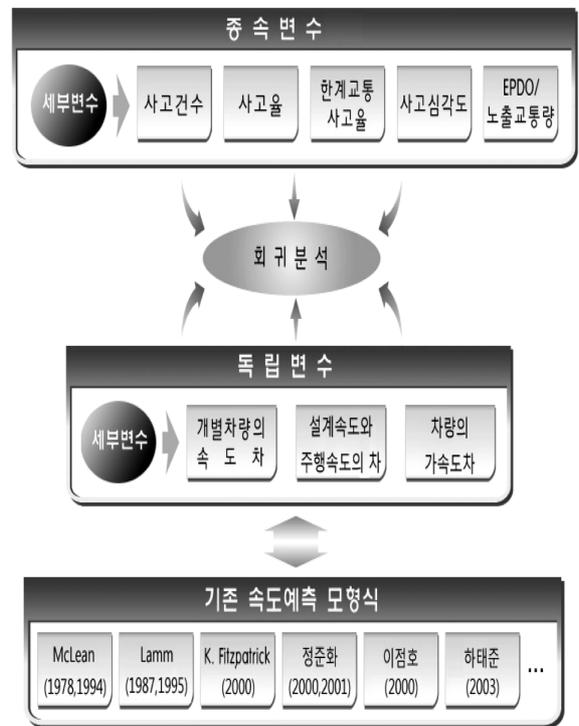


그림 4. 곡선부 위험도 판정척도 개발을 위한 변수들의 관계 개념도

4.3.1 곡선부 위험도 판정 변수 선정

곡선부 위험도 판정변수는, 위 그림 4와 같이 종속변수로는 곡선부 사고변수(사고건수, 사고율, 한계교통사고율, 사고심각도 및 EPDO/노출교통량)를, 독립변수로는 속도관련 사고요인(개별차량의 속도차, 설계속도와 주행속도의 차, 차량의 가속도차)으로 한다. 그리고, 독립변수 계산에 필요한 주행속도 예측모형은 기존의 연구에서 개발된 다양한 모형을 이용한다.

4.3.2 곡선부 위험도 판정 모형식 개발

도로선형조건에 따른 유형별로, 곡선부 위험도 판정 모형식 개발을 위한 회귀분석을 통해, 곡선부 위험도 판정 모형식을 제시하고 검증한 후, 최종적으로 곡선부 위험도 판정척도를 개발한다.

1) 곡선부 위험도 판정 모형식 개발을 위한 통계분석

통계분석은 통계프로그램인 SPSS 14.0을 이용하여 선형회귀분석을 실시하였고, 회귀모형 구축을 위해 Step-Wise 방법을 활용하였다. 선형모형은 상태지수와 분산팽창인자, 그리고 공차한계값과 Durbin-Watson 임계치를 검토하여, 다중공선성 등의 문제가 발생되지 않는 모형을 구축토록 하였다.

2) 곡선부 위험도 판정 모형식 제시

통계분석 결과를 통해 얻어진 도로선형 유형별 회귀모형식은 표 11과 같다.

4.3.3 곡선부 위험도 판정 모형식 검증 및 곡선부 위험도 판정척도 제시

회귀분석을 통해 도출된 모형식 검증을 위해 현장조사를 추가로 실시하여, [A 유형] 10개 지점, [B 유형]과 [C 유형]

표 11. 도로선형 유형에 따른 회귀모형식(곡선부 위험도 판정 모형식)

유형분류	종속변수	회귀모형식	독립변수	속도예측모형
[전체유형]	사고율	$y = -0.080 + 0.032x_{t1}$	x_{t1} : 개별차량의 속도차	건기원(2007)
	한계교통 사고율	$y = 4.607 - 17.315X_{a1}$	x_{a1} : 차량의 속도차	McLean(1978)
		$y = -62.763 - 23.055x_{t1} - 1.119x_{t2}$	x_{t1} : 차량의 가속도차 x_{t2} : 설계속도와 주행속도차	McLean(1978) Lamm(1993)
	EPDO/교통량	$y = -1.105 + 0.154x_{t1}$	x_{t1} : 개별차량의 속도차	건기원(2007)
[A 유형]	한계교통 사고율	$y = 4.486 - 16.385X_{a1}$	x_{t1} : 차량의 가속도차	McLean(1978)
		$y = 1.244 - 56.129x_{a1} + 34.173x_{a2}$	x_{a1} : 차량의 가속도차 x_{a2} : 차량의 가속도차	McLean(1978) 박영진(2002)
[B 유형]	사고율	$y = 1.115 - 1.589x_{b1}$	x_{b1} : 차량의 가속도차	정준화(2000)
		$y = 1.288 - 1.646x_{b1} - 0.020x_{b2}$	x_{b1} : 개별차량의 속도차 x_{b2} : 개별차량의 속도차	정준화(2000) 하태준(2008)
	한계교통 사고율	$y = -127.425 + 2.203x_{b1}$	x_{b1} : 개별차량의 속도차	박영진(2002)
		$y = -126.381 + 2.174x_{b1} + 0.093x_{b2}$	x_{b1} : 개별차량의 속도차 x_{b2} : 설계속도와 주행속도차	박영진(2002) 하태준(2008)
	EPDO/교통량	$y = 2.496 - 3.701x_{b1}$	x_{b1} : 차량의 가속도차	정준화(2001)
[C 유형]	사고율	$y = 0.336 + 0.010x_{c1}$	x_{c1} : 설계속도와 주행속도차	정준화(2001)
	한계교통 사고율	$y = -74.911 + 1.317x_{c1}$	x_{c1} : 개별차량의 속도차	박영진(2002)

표 12. 도로선형 유형별 곡선부 위험도 판정척도

유형분류	회귀모형식	종속변수	독립변수	R ²	유의수준
[A 유형]	$y = 4.486 - 16.385x_{a1}$	y : 한계교통사고율	x_{a1} : (직선속도-V ₈₅)/Δd, (McLean, 1978)	0.158	0.10
[B 유형]	$y = 1.115 - 1.589x_{b1}$	y : 사고율	x_{b1} : (직선속도-V ₈₅)/Δd, (정준화, 2000)	0.562	0.10
[C 유형]	$y = 0.336 + 0.010x_{c1}$	y : 사고율	x_{c1} : 설계속도-V ₈₅ , (정준화, 2001)	0.504	0.10

- [A 유형] $V_{85} = 53.8 + 0.464V_F - 3.26 \times (1/R) \times 10^3 + 8.5 \times (1/R)^2 \times 10^4$
- [B 유형] $V_{85} = 95.809 - 4646.9/R$
- [C 유형] $V_{85} = \alpha + \beta V_a + \gamma(1/R)^2$

- V_F : 회망속도 (km/hr)
- R : 곡선반경 (m)
- $V_a = f(B, H, W, S_j)$
- B : 평면선형 굴곡도 (°/km)
- W : 표준 횡단면 폭 (m)
- θ_i : 곡선부 교각 (°)
- H : 종단선형 굴곡도 (m/km)
- L : 구간길이 (km)
- h_i : 종단경사 고저차 (m)
- S_j : 곡선부 시점에서 ikm까지 신호등 개수 (개/km)
- α, β, γ : 추정 매개변수

각각 7개 지점, 총 24개 지점자료를 확보하였다. 추가 조사 지점의 곡선부 사고 자료와 본 연구에서 도출된 곡선부 위험도 판정척도 상의 곡선부 사고와 비교를 통하여 곡선부 위험도 판정모형의 검증을 실시하였다.

[전체 유형]의 모형검증 결과, 통계적으로 유의한 모형의 도출이 어려워 [전체 유형]은 곡선부 위험도 판정척도에서 제외하였고, [A 유형], [B 유형], [C 유형]의 경우 모형검증 결과를 통해 표 12와 같이 곡선부 위험도 판정척도를 제시하였다.

표 12의 위험도 판정척도를 살펴보면, [A 유형], [B 유형], [C 유형]에 대해 곡선부 사고에 대한 설명력이 높은 독립변수가 모두 속도차만을 알 수 있다.

4.3.4 곡선부 위험도 최종 판정기준 제시

기 제시된 곡선부 위험도 판정척도를 이용하여, 위험도 판정 모형식 개발시 사용한 78개 지점과 위험도 판정 모형식 검증시 사용한 24개 지점의 도로 기하구조 자료를 이용, 총 102개 지점에 대한 곡선부 위험도를 산정하였다. 그 산정된 위험도값의 분포와 누적빈도의 특성을 구하기 위해, 통계프로그램인 @RISK 프로그램을 이용하였고, 산정된 위험도 값

에 대한 최적합한 분포는 아래 그림 5와 같이 Exponential 분포인 것으로 나타났다.

곡선부 위험도를 최종적으로 판정하기 위한 기준을 제시하기 위해서, 곡선부 위험도의 전체 위험도 누적 확률을 1/3 씩 분할하여, “양호”, “보통” 및 “불량”으로 위험도 판정기준을 구분하였고, 그 구분 결과는 그림 5와 같다.

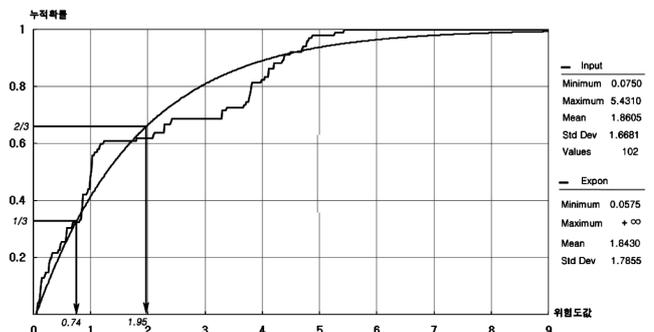


그림 5. 곡선부 위험도 최적합 분포 및 최종 판정기준제시

따라서, 곡선부의 위험도의 최종판정은 위험도가 0.74미만일

경우에는 “양호”, 위험도가 0.74이상 1.95미만일 경우에는 “보통”, 위험도가 1.95이상일 경우에는 “불량”으로 판정된다. 표 13은 곡선부 위험도 최종 판정의 정량적 기준을 나타낸다.

표 13. 곡선부 위험도 최종 판정기준

위험도 구분	위험도
양호	위험도 ≤ 0.74
보통	0.74 < 위험도 ≤ 1.95
불량	1.95 < 위험도

5. 곡선부 위험도 판정 알고리즘 개발

곡선부 위험도 판정을 위해, 곡선부 위험도 판정척도를 적용하여 위험도를 판정할 수 있는 알고리즘을 그림 6과 같이 제시하였다.

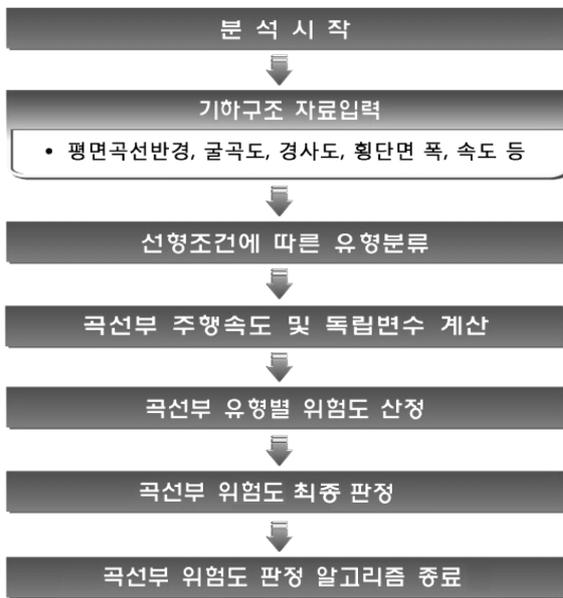


그림 6. 곡선부 위험도 판정 알고리즘 절차

5.1 곡선부 위험도 판정 알고리즘 개발

본 연구에서 제시된 곡선부 위험도 판정 알고리즘은 6단계로 구성되어 있고, 단계별 수행절차는 다음과 같다.

- Step 1: 위험도를 판단하고자 하는 도로 곡선부를 대상으로 평면, 종단선형 등의 기하구조 자료(평면곡선반경, 종단경사 등)를 조사하여 입력한다.
- Step 2: 위험도를 판단하고자 하는 곡선부를 평면 및 종단선형의 형태에 따라, 표 14를 이용하여 [A 유형], [B 유형], [C 유형]으로 분류한다.

표 14. 도로선형 유형분류

유형분류	종단선형형태	평면선형형태
[A 유형]	평지 또는 종단경사	곡선부
[B 유형]	볼록종단곡선	
[C 유형]	오목종단곡선	

- Step 3: 위험도 판정대상 곡선부의 주행속도를 표 15를 이용하여 계산한다.

표 15. 곡선부 주행속도 계산

유형분류	곡선부 주행속도 계산	단위
[A 유형]	$V_{85} = 53.8 + 0.464V_F - 3.26 \times \left(\frac{1}{R}\right) \times 10^3 + 8.5 \times \left(\frac{1}{R}\right)^2 \times 10^4$	○○○ km/hr
[B 유형]	$V_{85} = 95.809 - \frac{4646.9}{R}$	○○○ km/hr
[C 유형]	$V_{85} = \alpha + \beta V_a + \gamma(1/R^2)$ $V_a = f(B, H, W, S_i)$	○○○ km/hr

- Step 4: Step 3에서 계산된 곡선부 주행속도 예측값을, 곡선부 위험도 판정을 위한 독립변수식에 대입하여, 선형 유형별 독립변수를 표 16을 이용하여 계산한다.

표 16. 곡선부 위험도 판정척도 독립변수 계산

유형분류	곡선부 위험도 판정척도 독립변수 계산	단위
[A 유형]	$X_{a1} = \frac{\text{직선속도} - V_{85}}{\Delta d}$	○○○ km/hr
[B 유형]	$X_{b1} = \frac{\text{직선속도} - V_{85}}{\Delta d}$	○○○ km/hr
[C 유형]	$X_{c1} = \text{설계속도} - V_{85}$	○○○ km/hr

- Step 5: Step 4에서 계산된 독립변수 계산값을, 곡선부 위험도 판정척도 식에 대입하여, 선형 유형별 위험도를 표 17을 이용하여 산정한다.

표 17. 곡선부 위험도 판정척도를 이용한 위험도 산정

유형분류	곡선부 위험도 판정척도를 이용한 위험도 산정
[A 유형]	$y = 4.486 - 16.385x_{a1}$
[B 유형]	$y = 1.115 - 1589x_{b1}$
[C 유형]	$y = 0.336 + 0.010X_{c1}$

- Step 6: Step 1~5까지 단계적으로 계산된 곡선부 위험도를 이용하여, 표 18에 의해 양호, 보통, 불량으로 곡선부의 위험도를 최종적으로 판정한다.

표 18. 곡선부 위험도 최종 판정기준

위험도 구분	위험도
양호	위험도 ≤ 0.74
보통	0.74 < 위험도 ≤ 1.95
불량	1.95 < 위험도

5.2 곡선부 위험도 판정 Worksheet 개발

실무에서 곡선부 위험도 판정 알고리즘의 적용을 보다 용이하게 하기 위해 그림 7과 같은 Worksheet를 제안한다.

곡선부 위험도 판정 Worksheet			
곡선부 위치:			
Step 1;		기 하 구조 요소 입력	
평면곡선반경	○○○ m	곡선부 시점에서 <i>i km</i> 까지 신호등 갯수	○○ 개/km
평면선형의 굴곡도	○○ °/km	회망속도	○○○ km/hr
종단선형의 경사도	○○ m/km	직선속도	○○○ km/hr
표준 횡단면 폭	○○ m	설계속도	○○○ km/hr
Step 2;		곡 선 부 유 형 분 류	
[A 유형]		[B 유형]	[C 유형]
Step 3;		곡 선 부 주 행 속 도 계 산	
[A 유형]	$V_{85} = 53.8 + 0.464 V_F - 3.26 \times \left(\frac{1}{R}\right) \times 10^3 + 8.5 \times \left(\frac{1}{R}\right)^2 \times 10^4$	○○○km/hr	
[B 유형]	$V_{85} = 95.809 - \frac{4646.9}{R}$	○○○km/hr	
[C 유형]	$V_{85} = \alpha + \beta V_a + \gamma(1/R^2)$	○○○km/hr	
V_F : 회망속도, R : 평면곡선반경, B : 평면선형의 굴곡도, H : 종단선형의 경사도, W : 표준 횡단면 폭 S_i : 곡선부 시점에서 $i km$ 까지 신호등 갯수, α, β, γ : 추정 매개변수, $V_a = f(B, H, W, S_i)$			
Step 4;		곡선부 위험도 판정척도 독립변수 계산	
[A 유형]	$x_{a1} = \frac{\text{직선속도} - V_{85}}{\Delta d}$	○○○km/hr	
[B 유형]	$x_{b1} = \frac{\text{직선속도} - V_{85}}{\Delta d}$	○○○km/hr	
[C 유형]	$x_{c1} = \text{설계속도} - V_{85}$	○○○km/hr	
Step 5;		곡선부 위험도 판정척도를 이용한 위험도 산정	
[A 유형]	$y = 4.486 - 16.385x_{a1}$		
[B 유형]	$y = 1.115 - 1.589x_{b1}$		
[C 유형]	$y = 0.336 + 0.010x_{c1}$		
Step 6;		곡선부 위험도 최종 판정	
양호	(위험도 ≤ 0.74)		
보통	($0.74 < \text{위험도} \leq 1.95$)		
불량	($1.95 < \text{위험도}$)		

그림 7. 곡선부 위험도 판정 Worksheet

6. 결론 및 향후 연구과제

6.1. 결론

현재까지, 교통안전 측면에서 도로 곡선부의 위험도를 합리적이고 정량적으로 판단할 수 있는 기준이 없으므로, 본 연구에서는 도로 곡선부의 위험도를 판정하는 기준을 제시하였다.

그 결과 다음과 같은 결론이 도출되었다.

1. 곡선부 사고 발생지점의 기하구조 자료, 시선유도시설 자

료를 수집하였으며, 수집된 자료를 도로 기하구조 선형조건에 따라 곡선부 평면선형에 대해 종단선형 유형별로 구분하였고, 구분된 선형 유형에 따라 수집된 곡선부 사고와 기하구조 사고요인, 시선유도시설 사고요인, 속도관련 사고요인, 운전자관련 사고요인과 상관관계 분석을 실시한 결과, 속도관련 사고요인이 곡선부 사고와 높은 상관관계가 있는 것으로 파악되었다.

2. 속도관련 사고요인과 곡선부 사고와의 관계에 대한 회귀 모형식을 도출함으로써, 유형별로 곡선부 위험도 판정척도

를 제시하였다.

- 3. 곡선부 위험도 판정척도를 이용하여, 곡선부 위험도 판정 알고리즘을 개발하였으며, 이를 실무에 활용할 수 있도록 Worksheet를 구성·제시하였다.

6.2 향후 연구과제

본 연구는 시간적·공간적 한계 등으로 인하여, 연구의 범위가 제한된 바, 향후 이를 보완하기 위하여 다음과 같은 내용을 제안하고자 한다.

- 1. 제한된 곡선부 사고지점의 자료를 이용, 위험도 판정 척도를 선정하여, 다소 설득력이 높지 않은 모형식들이 도출되었다. 따라서 곡선부의 위험도를 최대한 정확히 제시할 수 있게, 더 많은 곡선부 사고지점 및 자료를 조사하여, 높은 설득력을 가진 판정척도의 제시가 필요할 것으로 판단된다. 또한 곡선부의 모든 유형을 포괄하는 곡선부 위험도 판정척도의 개발이 요구된다.
- 2. 개발된 곡선부 위험도 판정 알고리즘의 실무 활용도를 높이기 위하여 Worksheet를 제시하였지만, 곡선부 위험도 판정 프로그램을 개발하여, 보다 간편하고 정확하게 곡선부의 위험도를 판정할 수 있어야 할 것이다.
- 3. 실제 곡선부는 운전자의 시각변화가 현저하게 발생하고, 선형에 따라 운전자의 시각왜곡이 발생하게 된다. 그러나, 본 연구에서는 이러한 요인까지 고려하지 못하였으므로, 운전자의 시각적 특성까지 고려된 곡선부의 위험도 판정척도가 제시되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계 효율화사업의 연구비지원 (06 교통핵심 C01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

금기정, 김홍상, 김명수, 박영진(2002) 교통안전 증진을 위한 국도 곡선부에서의 운전자 시각 행태 분석, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제20권, 제3호.

김용석(2004) 긴 직선-곡선 연결선형에서 운전자 주행행태에 관한 현장조사 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제22권, 제7호.

김용석, 조원범, 정소영(2005) 도로 설계일관성 평가를 위한 복합선형 구간 주행속도 조사, **대한토목학회 정기학술대회**, 대한토목학회.

박영진(2002) **개별차량의 운전행태를 이용한 위험도 평가기법 개발**, 박사학위논문, 서울대학교.

이점호(2000) **설계일관성 분석을 통한 도로 선형 설계의 적정성 평가 연구**, 박사학위논문, 서울시립대학교.

전우훈, 조혜진(2006) 시선유도시설의 성능에 따른 운전자 반응 형태 연구, **대한토목학회 정기학술대회**, 대한토목학회.

정봉조(2002) 운전자 작업부하를 고려한 최장 허용 직선길이 결정에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제20권, 제2호.

정준화, 박영진, 박창호(2000) 속도에 따른 평면 곡선부 설치 방안 연구, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제20권, 제5-D호, pp. 537~547.

정준화(2001) **주행속도를 이용한 도로의 평면선형 안전성 평가 모형 개발**, 박사학위논문, 서울대학교.

최재성, 이점호(1995) 4차선 도로의 설계요소에 대한 교통안전성

분석 연구, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제15권, 제3호, pp. 511-522.

최재성(1998) 도로선형에 대한 설계일관성 평가 모형의 개발, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제16권, 제4호.

하태준, 박제진, 김유철(2003) 가속도를 고려한 도로의 설계일관성 평가기법에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제21권, 제1호.

하태준, 박제진, 오영욱, 강정규(2008) 3차원 시거를 이용한 도로 일관성 평가에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제26권, 제3호.

한국건설기술연구원(2007) **도로선형 및 노면 안전성분석 모형 개발**, RoSAS.

Al-Masaeid, H.R., M. Hamed, M. Abou-Ela, and Ghannam (1995) *Consistency of Horizontal Alignment for Different Vehicle Classes*, TRR 1500.

Federal Highway Administration (2000).

Fitzpatrick, Krammes, and Fambro (1997) *Operating Speed and Posted Speed Relationships*, ITE Journal.

Elefteriadou, F.L., Harwood, D.W., Collins, J.M.,McFadden, J., Anderson, I.B., Krammes, R.A., Irizarry, N., Parma, K.D., Bauer, K.M., and Passetti, K. (2000) *Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways*, Report FHWA-RD-99-171, USDOT, FHWA.

Gibreel, G.M., Easa, S.M., Hassan, Y., and El-Dimeery, I.A. (1999) State of the art of high way geometric design consistency, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 125, No. 4.

Glennon, J.C., Neuman, T.R., and Leish, J.E. (1983) *Safety and Operational Considerations for Design of Rural Highway Curves*, Report FHWA/RD- 86/ 035, USDOT, FHWA.

Hassan, Y., Easa, S.M., and Abd El Halim, A.O. (1997) Design considerations for combined highway alignments, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 123, No. 1.

Hassan, Y., Easa, S.M., and Abd El Halim, A.O. (2000) *Modeling Headlight Distance on 3D Hihghway Alignment.*, Transportation Research Record 1579.

Hirsh, M. (1987) Probabilistic approach to consistency in geometric design, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 113, No. 3.

Islam, M.N. (1994) *Evaluation of Design Consistency of Two-Lane Rural Highway*, ITE Journal.

Krammes, R.A. (1997) *Interactive Highway Safety Design Model : Design Consistency Module*, Public Roads.

Krammes, R.A., Brackett, R.Q., Shafer, M.A., Ottesen, J.L., Anderson, I.B., Fink, K.L., Collins, K.M., Pendleton, O.J., and Messer, C.J. (1995) *Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two Lane Highway*, FHWA- RD-94-034, FHWA, USDOT.

Krebs, H.G and Kloeckner, J.H. (1997) *Investigations of the Effect of Highway and Traffic Conditions Outside Built-Up Areas on Accident Rates*, Research Road Construction and Road Traffic Technique, Minister of Transportation, Bonn, Germany, Vol. 233, pp. 1-63.

Lamm, R., Guenther, A.K., and Chouelri, E.M. (1995) *Safety Module for Highway Design*, TRR 1512.

Lamm, R. and Choueiri, E.M. (1987) *Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods*, Research Report for the University of New York, USA.

Lamm, R., Psarianos, B., and Mailaender, T. (1999) *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*, McGraw-Hill.

Lamm, R., Coueiri, E., and Mailaender, T. (1991) *Side Friction Demand Versus Side Friction Assumed for Curve Design on Two-Lane Rural Highway*, TRB 1303.

Lamm, R. et al. (1988) *Possible Design Procedure to Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-*

- lane Rural Roads*, TRR 1195, pp. 117-119.
- Leisch, J.E. and Leisch, J.P. (1997) *New Concepts in Design Speed Application*, Transportation Research Board 631, Transportation Research Board.
- Leutzbach, W. and Zoellmer, J. (1989) *Relationship between Traffic Safety and Design Element.*, Research Road Construction and Road Traffic Technique, Vol. 545, Minister of Transportation, Bonn, Germany.
- Lidia Zakowska (1997) *The Effect of Road Visualization Method on Drivers's Road View Perception*, Cracow University of Technology.
- McLean, J.R. (1978) *Speeds on Curves : Regreesion Analysis. International Report*, Australian Road Research Board, Melbourne, Australia.
- Messer, C.J. (1979) *Highway Geometric Design Consistency Related to Driver Expectancy (Vol II)*, FHWA- RD- 79-35.
- Messer, C.J. (1981) *Methodology for Evaluation Geometric Design Consistency*, TRR 757.
- Shaun Bidulka, Tarek Sayed, and Yasser Hassan (2002) *Influence of Vertical Alignment on Horizontal Curve Perception Phase : Modeling Perceived Radius*, Transportation Research Record 1796.
- Smith, B.L. and Lamm, R. (1994) *Coordination of Horizontal and Vertical Alinement with Regard to Highway Esthetics*, Transportation Research Record 681, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 77-88.
- Spacek (1987) *Superelevation Rates in Tangents and Curves*, ETH Zurich, Institute for Traffic Planning, Highway and Railroad Construction, Research Report 22/79 of the Swiss Association of Road Specialists, Zurich, Switzerland.
- Taiganidis and Kanellaidis, G. (1999) *Approximate Perspective Design of Roads*, Journal of Transportation Engineering.
- Thomas Janikula and Norman W. Garrick (2002) *Three- Dimensional Visualization Approach to Illustrating Esthetic Concepts for Highway Design*, Transportation Research Record 1796.
- Voigt, A.P. and Bared, J.G. (1998) *Accident Model for Two-Lane Rural Roads: Segment and Intersections*, FHWA- RD-98-133.
- Woodlridge, M.D. (1994) Design consistency and driver error, *Presented at 72nd Annual Meeting of TRB*, Paper No. 930722, National Research Washington DC.
- Zegeer, C.V., Reinfurt, D., Neuman, T., Stewart, R., and Council, F. (1991) *Safety Improvements on Horizontal Curves for Two-Lane Rural Road Informational Guide*, FHWA-RD-90-074, FHWA.

(접수일: 2008.6.25/심사일: 2008.7.10/심사완료일: 2008.7.10)