

## 곡선부 시각왜곡현상을 고려한 인지곡선반경 산정에 관한 연구

## Estimation of Perceived Curve Radius Considering Visual Distortion at Curve Sections

신재만\* · 박제진\*\* · 손상호\*\*\* · 하태준\*\*\*\*

Shin, Jae-Man · Park, Je-Jin · Son, Sang-Ho · Ha, Tae-Jun

## Abstract

The seriousness of a traffic accident appears relatively higher on the curve sections compared with the straight sections due to a change in speed caused by a change in the driver's sight. In particular, the visual distortion phenomenon, one of the dangerous factors taking place on the curve sections, appears different according to the road's geometric design. Although it is a genuinely principal design factor which should be necessarily considered in designing a road, the previous researches on establishing the design standards for it have been insufficiently conducted. As a result, the establishment of the road design standards for the curve sections considering the sight distortion phenomenon is desperately required. This research examined the previous researches on the driver's behaviors, the driver's sight characteristics and the perceived curve radius on the curve sections, and developed the theoretical model of perceived curve radius to which a mathematical technique is applied in consideration of the visual distortion phenomenon on the two-lane curve sections in a local area. In addition, after the theoretical visual distortion was calculated on the basis of the theoretical model of perceived curve radius, the range of error on the theoretical recognition radius model formula was verified through comparing it with the previous researches' experiential visual distortion level and analyzing both of them. As a result, it was observed that as the curve radius practically increases in the theoretical recognition curve radius, the range of error tends to go down, which reflects well the characteristics of the curve sections on the road. Based on this research, it is expected that this research will be helpful to eliminate the safety defects when designing the curve sections and contribute to develop the road design standards considering human factors in the future.

**Keywords :** *curved section, visual distortion physiognomy, perceived curve radius, visual distortion, geometric structure*

## 요 지

도로 곡선부에서는 운전자의 시각변화로 인해 속도변화가 크게 발생하여 직선부에 비해 상대적으로 사고심각도가 크게 나타난다. 특히, 곡선부에서 발생하는 위험요소 중 하나인 시각왜곡현상은 도로 기하구조에 따라 다르게 나타난다. 실제 곡선부 시각왜곡현상은 도로설계 시 반드시 고려되어야 하는 주요 설계요소임에도 불구하고, 이에 대한 정량적 설계기준 수립 연구가 미흡한 실정이다. 이에 시각왜곡현상을 고려한 곡선부 도로 설계기준 수립이 절실히 요구되어진다. 본 연구에서는 곡선부 운전자 행태와 운전자 시각특성 및 인지곡선반경에 관한 선행 연구를 고찰하고, 지방부 2차로 곡선부 시각왜곡현상을 고려하여 수학적 기법을 적용한 이론적 인지곡선반경 모형식을 개발하였다. 또한, 이론적 인지곡선반경 모형식을 토대로 이론적 시각왜곡도를 산출한 후, 기존 연구의 경험적 시각왜곡도와 비교·분석을 통하여 이론적 인지곡선반경 모형식의 오차범위를 검증하였다. 그 결과, 이론적 인지곡선반경 모형식에서 실제 곡선반경이 증가할수록 오차범위가 감소하는 추세로 나타나 실제 도로 곡선부의 특성을 잘 반영하는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과를 토대로, 향후 도로 곡선부 설계시 안전상의 결함을 사전에 제거함으로써 도로 곡선부 위험요소를 최소화하고, 인간공학적 도로설계기준 개발 향상에 이바지할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어 :** 곡선부, 시각왜곡현상, 인지곡선반경, 시각왜곡도, 기하구조

## 1. 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

도로의 직선구간과 연결되는 곡선구간에서, 운전자가 주행시 느끼는 곡선반경인 인지곡선반경은 곡선부의 실제곡

선반경과 상이하게 나타나는데, 이를 시각왜곡현상이라 한다. 이 시각왜곡현상은 운전자에게 시각변화를 일으켜 운행속도에 영향을 미치고, 각 운전자의 시각변화에 따른 운행속도변화는 운전자들의 인지정도 차이에 따라 운행속도의 편차에 영향을 주어, 결국에는 곡선부 주행안전에 악영

\*한국도로공사 도로교통연구원 연구원, (E-mail : m750p@hotmail.com)

\*\*정회원 · 교신저자 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (E-mail : jjpark@ex.co.kr)

\*\*\*금광기업(주) SOC사업부 이사

\*\*\*\*정회원 · 전남대학교 토목공학과 교수

향을 미친다. 그러나, 현재까지는 주행속도에 영향을 미쳐 곡선부의 사고위험도를 증가시키는 시각왜곡현상을 정량적으로 분석하는 연구가 미미한 실정이다. 이에 본 연구에서는 시각왜곡현상을 정량적으로 산정할 수 있는 수학적 기법을 통한 이론적 모형식을 개발하고자 한다.

### 1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는 운전자가 인지하는 시각왜곡현상을 고려한 곡선부 인지곡선반경을 곡선부의 기하학적인 특성을 고려한 이론적 모형식을 개발하였다.<sup>1)</sup>

이론적 모형식을 통해 곡선부 시각왜곡현상을 고려한 인지곡선반경과 시각왜곡도를 산정하고, 기존의 경험적 모형식을 통해 곡선부 인지곡선반경과 시각왜곡도를 산정하여 이론적 모형식과 경험적 모형식을 비교분석하였다. 본 연구의 연구수행 흐름도는 그림 1과 같다.

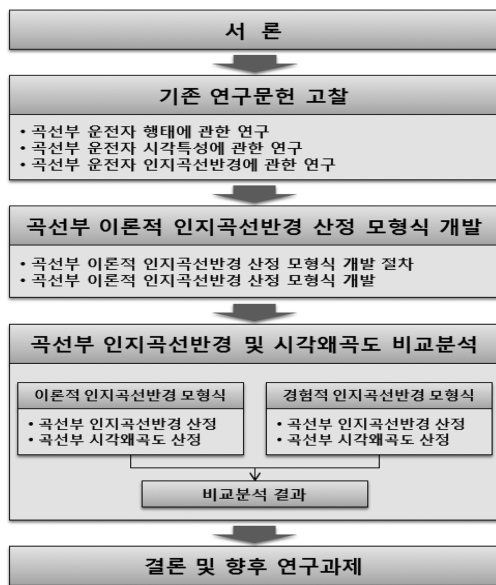


그림 1. 연구수행 흐름도

### 1.3 연구의 범위

본 연구에 앞서 도로 곡선부 운전자 행태와 곡선부 운전자 시각 특성, 곡선부 설계기준에 대한 연구문헌을 고찰한다. 이를 토대로 지방부 2차로 도로의 곡선부 시각왜곡현상을 고려한 인지곡선반경 모형식을 기하학적 조건에 의한 계산 방법으로 산출하기 위해 가정을 세우고, 정량적으로 분석하고자 한다.

## 2. 기존 연구문헌 고찰

### 2.1 곡선부 운전자 행태에 관한 연구

#### 2.1.1 Messer(1979, 1981)

지방부 2차로 도로의 설계일관성을 평가하고 향상시키는 방법은 운전자의 Workload로 이루어진다고 하였고, 운전자의 Workload는 도로기하 형태의 복잡성의 증가를 경험한 운전자의 Workload 양이 증가할 때의 시간 비율로 정의되

어진다고 하였다.

지방부 2차로 설계일관성 평가를 위해 운전 작업부하 ( $WL_n$ )를 이용한 방법론을 개발하였다. 작업부하의 수준을 1~6으로 구분하고, 평균 작업부하( $R_f$ )는 전문가 집단이 제시한 일반적인 도로 기하구조 특성값을 이용하여 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$WL_n = (U \times E \times S \times R_f) + (D + WL'_n) \quad (1)$$

$WL_n$ : 기대되는 작업부하

$U$ : 도로에 친숙하지 않는 운전자 계수

$E$ : 기대치 계수(도로의 특성이 이전과 비슷할 경우는  $E=C-1$ , 그 이외는  $E=1$ )

$C$ : 기하구조의 전이계수

$S$ : 시거

$R_f$ : 평균 작업부하

$D$ : 이전의 도로 특성의 영향

$WL'_n$ : 이전의 작업부하

또한,  $WL_n \leq 1$ 이면 그 도로는 일관성을 지닌 도로로 평가되며,  $WL_n \geq 1$ 이면 일관성이 결여된 도로라고 평가하였다.

#### 2.1.2 Krammes(1995)

Krammes는 운전자들의 시거를 이용한 방법론을 개발하였다. 운전자들은 도로 주행시 필요한 정보의 대부분을 눈을 통해서 얻는다는 사실에 중점을 두어, 곡선부 평면선형에서의 작업부하( $WL$ )를 예측하는 회귀모형식을 식 (2)와 같이 개발하였다.

$$WL = 0.193 + 0.016D \quad (2)$$

$$R^2 = 0.90, P\text{-value} = 0.0001$$

$WL$ : 곡선부의 평균 작업부하 (%)

$D$ : 곡률변화율

#### 2.1.3 김용석(2005)

복합선형에서 운전자의 주행 행태를 분석하기 위해 복합곡선의 형태에 따라 유형을 크게 평면곡선부[A 유형], 블록 중단-평면곡선부[B 유형], 오목 중단-평면곡선부[C 유형]로 분류하고, 각 유형의 특성을 대표하는 기하구조 특성과 주행속도의 관계를 분석하였다. 그 결과 유사한 평면곡선반경 대비 주행속도 변화는 [B 유형]에서 상대적으로 낮게 나타났으며 유형별 속도 차 비교에서는 유형간 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다.

## 2.2 곡선부 운전자 시각특성에 관한 연구

### 2.2.1 Fitzpatrick(1997)

대부분의 운전자는 설계속도나 제한속도가 아닌 운전자 자신이 판단한 도로의 선형에 의해 주행속도를 결정한다고 하였다. 운전자는 시거가 충분히 확보되었음에도 불구하고 도로선형을 실제와 다르게 인식할 수 있고, 도로의 형상은 선형의 조합에 따라 운전자가 평면곡선의 곡도(Degree of Curve)를 잘못 인식하도록 할 수도 있다고 하였다. 또한, 운전자가 급한 곡선을 완만한 곡선으로 인식하게 되어, 곡선부에서 안전을 보장받을 수 있는 속도를 초과하여 주행할 경우 위험요소로 작용할 수 있다고 하였다.

1) 곡선부 시각왜곡현상 분석 및 설계기법제시, 한국건설기술연구원, 2009.

### 2.2.2 금기정(2002)

교통사고 다발지점으로 선정되어 있는 국도 2개 지점에서, 운전자의 시각행태를 분석하였다. 운전자의 시각행태에서는 중앙 원점을 기준으로 좌우 및 상하방향으로 원활하고 활발한 전방의 주시행태를 나타내고 있음을 확인하였다. 곡선구간에서는 주된 시각행태가 진행방향의 내측에 집중되고, 동체속도와 주시영역 등 시각 활동이 직선구간에 비해 위축되어 시선유도시설의 효과 증진을 위해서는 운전자 시각 활동을 반영한 검토가 필요하다고 하였다.

### 2.2.3 이수범(2002)

도로이용자들이 종단선형구간에서 느끼는 도로안전성 요인을 파악하기 위하여 차량시뮬레이터(Driving Simulator)와 3D 그래픽 화면으로 종단선형구간을 재현하고 도로안전시설물의 설치 유·무에 따라 운전자가 느끼는 안전성의 변화와 도로 이미지를 조사하여 조사된 데이터를 바탕으로 수량화 제II류에 의한 정준상관분석을 실시하여 도로 안전성의 영향요인을 분석하였으며, 수량화 제I류에 의한 모형화를 실시하여 안전성을 예측한 결과 도로안전시설물과 운전자가 느끼는 안전성과의 관계를 명확히 규명하였다.

## 2.3 곡선부 운전자 인지곡선반경 산정에 관한 연구

### 2.3.1 박민철(2008)

동일한 선형에서 운전자의 위치에 따른 인지곡선 차이를 분석하고, 기하구조에 따라 같은 위치에서 운전자가 인지하는 곡선부 인지곡선반경을 분석하였으며, 왜곡도를 식 (3)~(6)과 같이 산정하였다.

$$Q_{L1} = \frac{R_1(\text{곡선부 시점 } 150\text{m 전})}{R_2(\text{곡선부 시점})} \quad (3)$$

$$Q_{L2} = \frac{R_3(\text{곡선부 중점})}{R_2(\text{곡선부 시점})} \quad (4)$$

$$Q_{G1} = \frac{R_S(\text{오목곡선})}{R_E(\text{경사변화없음})} \quad (5)$$

$$Q_{G2} = \frac{R_C(\text{볼록곡선})}{R_E(\text{경사변화없음})} \quad (6)$$

$Q_L$ : 위치(Location)에 따른 왜곡도

$Q_G$ : 기하구조(Geometric)에 따른 왜곡도

### 2.3.2 Yasser Hassan(2002)

실제 도로와 유사하게 제작한 애니메이션을 이용하여 도로 선형변화에 따른 운전자의 인지반응에 대한 연구를 진행하였다. 그 결과, 곡선부 인지곡선반경은 종단선형과의 결합에 의해서 영향을 받게 되며, Sag(오목) 종단곡선에서 배경의 이미지는 운전자들의 인지반응에 영향을 미친다고 하였으며 회귀모형식 식 (7)을 도출하였다.

$$R_p = -51.28 + 0.953R_a + 132.11V + 0.125R_a \cdot V \quad (7)$$

$R_p$ : 곡선부 인지곡선반경(m)

$R_a$ : 곡선부 실제 곡선반경(m)

$V$ : 종단선형 매개변수(0,1)

### 2.3.3 한국건설기술연구원(2009)

도로 곡선부를 유형별(평면, 볼록, 오목)로 분류하여 설문 조사를 실시하였으며, 설문조사 결과를 이용하여 곡선부 인지곡선반경 산정을 위한 식 (8)~(10)과 같은 선형회귀모형식을 개발하였다. 또한, 곡선부 시각왜곡현상에 영향인자들을 분석하여, 곡선부 영향인자들과 시각왜곡도를 분석한 후, 곡선부 시각왜곡도를 고려한 설계기법을 제시하였다.

$$Y_a = -4.028 + 0.999R \quad (8)$$

$$Y_b = 60.864 - 0.956R - 0.997CL - 0.083L \quad (9)$$

$$Y_c = -62.325 + 1.074R + 1.164CL \quad (10)$$

$Y_a$ : 평면종단곡선  $R$ : 평면곡선반경(m)

$Y_b$ : 볼록종단곡선  $CL$ : 평면곡선길이(m)

$Y_c$ : 오목종단곡선  $L$ : 종단곡선길이(m)

## 2.4 시사점 및 연구방향

기존 연구문헌 고찰 결과, 운전자가 느끼는 인지곡선반경은 운전자 행태, 시각특성, 기하구조 등에 의해 복합적으로 영향을 미친다.

본 연구는 수학적 기법을 이용하여 기하구조 영향을 가장 많이 받는 곡선부 인지곡선반경을 산정하였다. 산정된 인지곡선반경식은 기존 인지곡선반경 산정에 관한 연구와 비교·검증하였으며, 그 차이를 설명하고자 하였다.

## 3. 곡선부 이론적 인지곡선반경 산정 모형식 개발

도로 곡선부 평면곡선반경의 형태는 반경 크기에 따라 원의 크기도 달라진다. 그러나, 실제 운전자가 도로 곡선부 주행 중 인지하게 되는 원의 형태는 그림 2와 같이 타원 형태로 나타나게 된다.

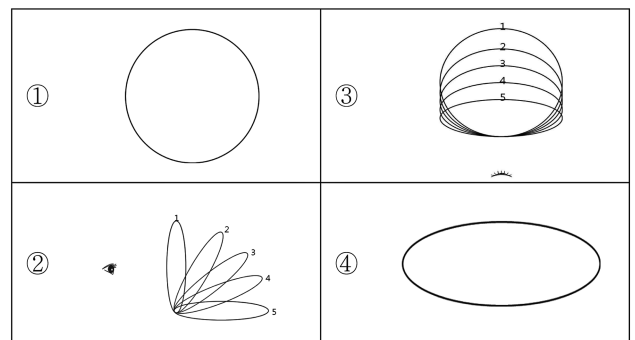


그림 2. 운전자가 느끼는 곡선부 시각왜곡현상

그림 2의 ①은 도로 곡선부 평면곡선반경의 형상을 의미하고, ② ③은 원1을 90°로 눕혔을 때, 원5의 형상으로 운전자는 평면곡선반경을 인지하게 된다. 또한, ④는 운전자가 도로 주행 중, 곡선부 평면곡선반경을 실제로 인지하게 되는 인지곡선반경의 형상을 의미한다.

### 3.1 곡선부 이론적 인지곡선반경 산정 모형식 개발 절차

운전자가 느끼는 곡선반경은 원이 아닌 타원이다. 그러나 본 연구의 목적은 운전자의 인지곡선반경을 산정하는 것이

므로 타원은 연구에 부적절하다 판단되어  $y = ax^2 + bx + c$ 의 2차함수 형태로 나타난다고 가정하였다. 2차함수를 통한 곡선반경 산정절차는 다음과 같다.

첫째, 2차함수 기본공식의 형태는  $(0, 0)$ ,  $(A_1, B_1)$ ,  $(A_2, B_2)$ 를 지나는 그림 3의 (A)와 같다. 그러나 실제 운전자가 인지하는 곡선의 형상은 2차함수 그래프를 시계방향으로  $90^\circ$  회전했을 시 1사분면에 나타나는 형상과 같으므로 (B)와 같이 나타난다.

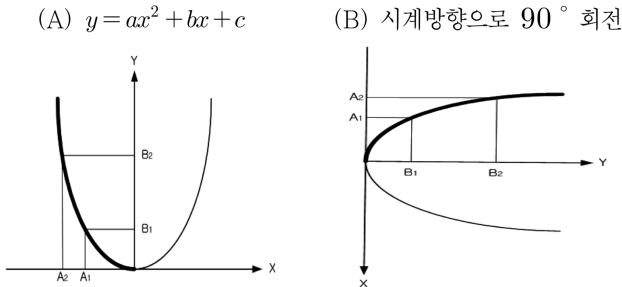


그림 3. 2차함수 그래프의 변환

이 때 2차함수  $y = ax^2 + bx + c$ 는  $(0, 0)$ ,  $(A_1, B_1)$ ,  $(A_2, B_2)$ 를 지나는 형태이므로 각 좌표를 식에 대입하면 계수  $a$ ,  $b$ 와 상수  $c$ 의 값이 도출된다. 이때의 2차함수를 식으로 표현하면 식 (11)과 같다.

$$y = ax^2 + bx + c \quad (11)$$

$y$ : 곡선부 깊이(m)

$x$ : 곡선부 폭(m)

$$a: \text{계수} \left( a = \frac{A_1 B_2 - A_2 B_1}{A_1 A_2 (A_2 - A_1)} \right)$$

$$b: \text{계수} \left( b = \frac{B_1}{A_1} - \frac{A_1 B_2 - A_2 B_1}{A_2 (A_2 - A_1)} \right)$$

$c$ : 상수( $c=0$ )

둘째, ‘도로의 구조·시설기준에 관한 규칙’에 따라 설계 속도 60km/h에서 85m 이상의 정지시거를 확보하여야 하므로 운전자는 곡선부 시작 지점 85m에서 곡선부를 인지한다고 가정한다.

셋째, 계산의 편의상 곡선부 종료지점 이후  $y$ 축 방향으로  $\Delta y$  구간의 선형 변화는 없다고 가정한다.

상기 가정을 바탕으로 운전자가 인지하는 곡선부를 표현하면 그림 4와 같다. 곡선부 시작점으로부터 85m 떨어진 지점에 위치한 운전자는 곡선부를 인식할 때 곡선부 시작점인 O점과 곡선부 종료지점 P점 그리고 곡선부 종료지점 이후  $y$ 축으로  $\Delta y$  만큼 진행했을 시 함수의 값에 속하는 임의의 점을 인식하게 된다. 그러나 실질적으로 운전자는 곡선 시작점으로부터 85m 거리로 떨어져 있기 때문에 실제 인지곡선은 이를 고려하여 산정되어야 한다. 그러므로 곡선부 인지곡선반경 산정의 마지막 단계에서는 곡선 OPQ를 축소한 곡선 O'P'Q'에 대한 계산을 시행한다.

O점은  $(0, 0)$ 지점으로 곡선부 시작지점, P점은  $(A_1', B_1')$ 으로 곡선부 종료지점, Q점은  $(A_2', B_2')$ 로 곡선부 종료지점 이후  $y$ 축으로  $\Delta y$  만큼 진행했을 시 함수의 값에 속하는 임의의 점이다.

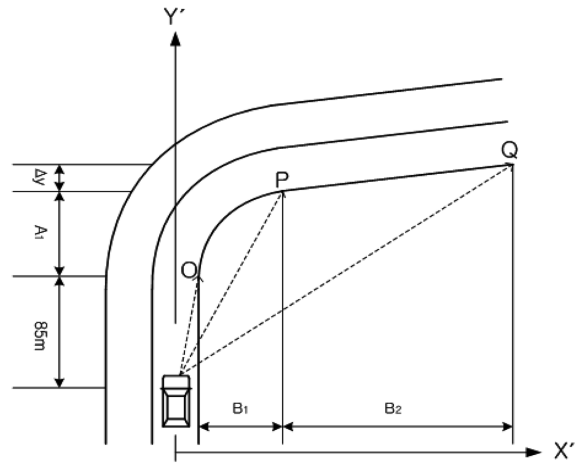


그림 4. 운전자가 인지하는 곡선부 지점

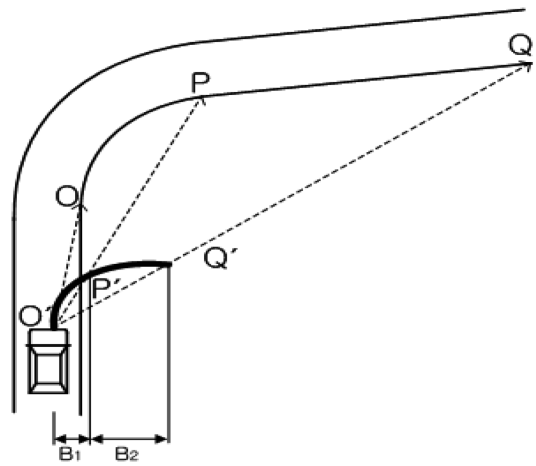


그림 5. 실제 운전자가 인지하는 곡선부 형태

운전자는 그림 4와 같이 곡선부 지점을 인지하고, 그림 5와 같이 곡선 OPQ를 축소한 곡선 O'P'Q' 형태로 인지한다. 그림 5에서 곡선 O'P'Q'는 실제 운전자가 인지하는 곡선부 형태를 나타낸 것이다. 운전자는 도로 및 사물을 인지할 때 그 높이는 왜곡하지 않으나 인지하려는 대상의 폭(너비)에 대해서는 왜곡하여 인지한다고 가정하였으므로, 곡선 O'P'Q'의 각 지점의 좌표는  $y$ 축 좌표는 일정하나  $B_1, B_2$ 의 값은 바뀌게 된다. 즉, 곡선 O'P'Q'의 좌표는  $(0, 0)$ ,  $(A_1, B_1')$ ,  $(A_2, B_2')$ 이 된다.

### 3.2 곡선부 이론적 인지곡선반경 산정 모형식 개발

곡선부 이론적 인지곡선반경 산정 모형식 개발 절차를 바탕으로 이론적 곡선부 인지곡선반경을 산정하는 방법은 다음과 같다. 우선, 2차 함수식 식 (11)을 식 (12)와 같이 (t)에 관한 X의 함수로 표현한다.

$$X(t) = (t, at^2 + bt) \quad (12)$$

$$a: \text{계수} \left( a = \frac{A_1 B_2' - A_2 B_1'}{A_1 A_2 (A_2 - A_1)} \right)$$

$$b: \text{계수} \left( b = \frac{B_1'}{A_1} - \frac{A_1 B_2' - A_2 B_1'}{A_2 (A_2 - A_1)} \right)$$

$$t: 0 \leq t \leq A_1$$

$A_1$ : 곡선부 종료지점( $y'$ 축)

이 때 운전자의 인지곡선반경은 실제 곡선구간인 곡선 O'P'구간이므로 매개변수 t의 범위는  $0 \leq t \leq A_1$ 가 된다. 곡선 X(t)의 특정구간에 대한 곡선길이를 구하기 위해서 X(t)를 미분한 후, 곡선부 시작지점부터 곡선부 종료지점까지 적분을 하면 식 (13)과 같이  $L_b^a(C)$ 형태로 나타난다.

$$L_b^a(C) = \int_b^a |X'(t)| dt \quad (13)$$

$L_b^a(C)$ : 매개변수

a: 곡선부 시작지점(0)

b: 곡선부 종료지점( $A_1$ )

이 때,  $|X'(t)|$ 는 좌표에 대한 거리의 값이 되어야 하므로  $|X'(t)| = \sqrt{1+(2at+b)^2}$ 가 되고, 이를 다시 적분한  $L_b^a(C)$ 은 식 (14)와 같다.

$$L_0^{A_1}(C) = \int_0^{A_1} \sqrt{1+(2at+b)^2} dt \quad (14)$$

$L_0^{A_1}(C)$ : 인지곡선 길이(m)

t: 매개변수

$$a: \text{계수} \left( a = \frac{A_1 B_2 - A_2 B_1}{A_1 A_2 (A_2 - A_1)} \right)$$

$$b: \text{계수} \left( b = \frac{B_1}{A_1} - \frac{A_1 B_2 - A_2 B_1}{A_2 (A_2 - A_1)} \right)$$

산정된  $L_0^{A_1}(C)$ 는 운전자가 인지하는 곡선부 길이이므로,  $L_0^{A_1}(C)$ 를 곡선길이를 갖는 반지름 길이( $R_p$ )를 산출하면 식 (15)와 같다.

$$R_p = \frac{360 \times L_0^{A_1}}{2\pi I} \quad (15)$$

$R_p$ : 인지곡선반경(m)

$L_0^{A_1}$ : 인지곡선길이(m)

$A_1$ : 곡선부 종료지점( $y'$  축)

I: 교각( $^\circ$ )

#### 4. 곡선부 인지곡선반경 및 시각왜곡도 비교분석

##### 4.1 곡선부 인지곡선반경 비교분석

3장에서 곡선부 인지곡선반경을 산정하기 위하여 수학적 접근을 통한 이론적 곡선부 인지곡선반경 산정 모형을 개발하였다. 개발된 이론적 곡선부 인지곡선반경 산정 모형과 기 개발된 경험적 인지곡선반경 산정 모형을 비교분석하기 위하여 다음과 같은 조건을 가정하였다.

첫째, 이론적 인지곡선반경 모형식은 2차원적인 평면선형만 고려하여 곡선부 인지곡선반경을 산정하였다. 따라서, 기존 연구에서의 경험적 인지곡선반경 산정을 위하여 2차원적인 평면선형만 고려하여 곡선부 인지곡선반경을 산정하였다.

둘째, 이론적 인지곡선반경 모형식과 경험적 인지곡선반경의 모형식에 사용되는 매개변수로 평면곡선반경(R), 인지곡선길이(L), 교각(I)이 사용되었으나, 평면곡선반경(R)만이 동일 매개변수임으로 동등한 조건의 비교분석을 위해 곡선반경(R)을 제외한 값은 '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙'에 의한 기본값을 제시하였다.

##### 4.1.1 곡선부 인지곡선반경 산정방법

각각의 인지곡선반경 모형식 [이론적 인지곡선반경], [경험적 인지곡선반경]을 이용한 곡선부 인지곡선반경 산정 모형은 표 1과 같다.

표 1. 인지곡선반경 산정 모형식

구분	모형식	비교
[이론적 인지곡선반경]	$R_p = \frac{360 \times L_0^{A_1}}{2\pi I}$	본 연구 개발 모형식
[경험적 인지곡선반경]	$Y_a = -4.028 + 0.999R$	한국건설기술연구원(2009)

표 2. 이론적 인지곡선반경 산정

구분	평면 곡선 반경 (m)	평면 곡선 길이 (m)	곡선부 인지곡선 반경(m)	구분	평면 곡선 반경 (m)	평면 곡선 길이 (m)	곡선부 인지곡선 반경(m)
1	100	50	96.920	41	900	50	899.571
2		60	95.441	42		60	899.389
3		70	93.664	43		70	899.172
4		80	91.612	44		80	898.917
5		90	89.305	45		90	898.626
6	200	50	198.377	46	1,000	50	999.608
7		60	197.599	47		60	999.443
8		70	196.656	48		70	999.246
9		80	195.550	49		80	999.017
10		90	194.281	50		90	998.754
11	300	50	298.879	51	1,100	50	1,099.640
12		60	298.355	52		60	1,099.490
13		70	297.719	53		70	1,099.310
14		80	296.971	54		80	1,099.100
15		90	296.111	55		90	1,098.860
16	400	50	399.134	56	1,200	50	1,199.670
17		60	398.738	57		60	1,199.530
18		70	398.258	58		70	1,199.360
19		80	397.694	59		80	1,199.170
20		90	397.045	60		90	1,198.950
21	500	50	499.288	61	1,300	50	1,299.690
22		60	498.969	62		60	1,299.560
23		70	498.584	63		70	1,299.400
24		80	498.131	64		80	1,299.230
25		90	497.611	65		90	1,299.020
26	600	50	599.393	66	1,400	50	1,399.710
27		60	599.125	67		60	1,399.590
28		70	598.803	68		70	1,399.440
29		80	598.425	69		80	1,399.280
30		90	597.990	70		90	1,399.090
31	700	50	699.468	71	1,500	50	1,499.730
32		60	699.237	72		60	1,499.610
33		70	698.960	73		70	1,499.480
34		80	698.635	74		80	1,499.320
35		90	698.262	75		90	1,499.140
36	800	50	799.526				
37		60	799.322				
38		70	799.079				
39		80	798.794				
40		90	798.466				

#### 4.1.2 곡선부 이론적 인지곡선반경 산정

곡선부 이론적 인지곡선반경 산정을 위하여 곡선반경(R)은 100m 간격으로 1,500m까지 선정하였으며, 평면곡선길이에 따른 영향을 분석하기 위해 설계속도 60km/h를 고려한 최소 평면곡선길이(CL) 70m를 기준으로  $\pm 20m$ 를 선정하였다. 산출된 인지곡선반경은 표 2와 같다.

#### 4.1.3 곡선부 경험적 인지곡선반경 산정

곡선부 경험적 인지곡선반경 산정을 위하여 [경험적 인지곡선반경] 모형식을 이용하였으며, 평면곡선반경(R)을 고려하여 인지곡선반경을 산정하였다. 평면곡선반경(R)은 100m 간격으로 1,500m까지 선정하였고, 산출된 인지곡선반경은 표 3과 같다.

#### 4.1.4 곡선부 인지곡선반경 비교분석

[이론적 인지곡선반경] 모형식을 통한 곡선부 인지곡선반경

표 3. 경험적 인지곡선반경 산정

구 분	평면곡선반경(m)	곡선부 인지곡선반경(m)
1	100	95.872
2	200	195.772
3	300	295.672
4	400	395.572
5	500	495.472
6	600	595.372
7	700	695.272
8	800	795.172
9	900	895.072
10	1,000	994.972
11	1,100	1,094.872
12	1,200	1,194.772
13	1,300	1,294.672
14	1,400	1,394.572
15	1,500	1,494.472

표 4. 곡선부 인지곡선반경 비교

실제곡선반경(m)	이론적 인지곡선반경(m)	경험적 인지곡선반경(m)	편차(m)
100	93.66	95.87	-2.21
200	196.66	195.77	0.88
300	297.72	295.67	2.05
400	398.26	395.57	2.69
500	498.58	495.47	3.11
600	598.80	595.37	3.43
700	698.96	695.27	3.69
800	799.08	795.17	3.91
900	899.17	895.07	4.10
1000	999.25	994.97	4.27
1100	1099.31	1094.87	4.44
1200	1199.36	1194.77	4.59
1300	1299.40	1294.67	4.73
1400	1399.44	1394.57	4.87
1500	1499.48	1494.47	5.01

과 [경험적 인지곡선반경] 모형식을 통한 곡선부 인지곡선반경을 비교·분석하였다. 분석결과, [이론적 인지곡선반경]과 [경험적 인지곡선반경]에서 실제 운전자 인지곡선반경을 다소 과소 평가하는 경향을 보였다. 그림 6과 같이 [이론적 인지곡선반경]과 [경험적 인지곡선반경]의 차로 비교가 가능하다.

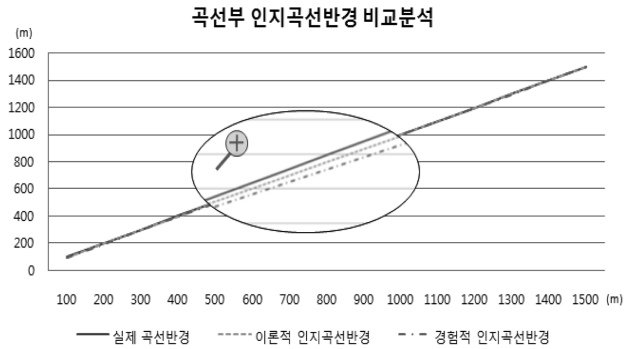


그림 6. 곡선부 인지곡선반경 비교

#### 4.2 곡선부 시각왜곡도 비교분석

곡선부 시각왜곡도는 곡선부 인지곡선반경에 대한 실제곡선반경의 비율을 통해 곡선부 시각왜곡도를 산정한다. 이는 곡선부 시각왜곡도가 1을 기준으로 하여 1에 가까울수록 곡선부 시각왜곡도가 작고, 1보다 커지거나 작아져 1에서 멀어질수록 곡선부 시각왜곡도는 커진다고 할 수 있다. 곡선부 시각왜곡도가 1보다 큰 경우는 곡선부 인지곡선반경이 실제 평면곡선반경에 비해 크게 인지되는 것이며, 곡선부 시각왜곡도가 1보다 작은 경우는 곡선부 인지곡선반경이 실제 평면곡선반경에 비해 작게 인지되는 것이다.

##### 4.2.1 곡선부 시각왜곡도 산정방법

곡선부 시각왜곡도 산정을 위해 곡선부 인지곡선반경과 실제 평면곡선반경을 곡선부 시각왜곡도를 산정식을 통하여 표 5와 같이 산정한다.

##### 4.2.2 곡선부 이론적 시각왜곡도 산정

시각왜곡도 산정식 [이론적 시각왜곡도]를 이용한 곡선부 시각왜곡도는 표 6과 같다.

##### 4.2.3 곡선부 경험적 시각왜곡도 산정

경험적 시각왜곡도 산정식 [경험적 시각왜곡도I], [경험적 시각왜곡도II]를 이용한 곡선부 시각왜곡도는 표 7과 같다.

##### 4.2.4 곡선부 시각왜곡도 비교분석

[이론적 시각왜곡도] 산정식을 통한 곡선부 인지곡선반경

표 5. 곡선부 시각왜곡도 산정식

구 분	곡선부 시각왜곡도 산정식
[이론적 시각왜곡도]	곡선부 시각왜곡도 = $R_p/R_a$
[경험적 시각왜곡도]	곡선부 시각왜곡도 = $R_p/R_b$

여기서,  $R_p$ : 곡선부 인지곡선반경 (m)

$R_a$ : [이론적 인지곡선반경]의 실제 평면곡선반경 (m)

$R_b$ : [경험적 인지곡선반경]의 실제 평면곡선반경 (m)

표 6. 곡선부 이론적 시각왜곡도 산정

구분	평면 곡선 반경 (m)	평면 곡선 길이 (m)	곡선부 인지곡선 반경(m)	구분	평면 곡선 반경 (m)	평면 곡선 길이 (m)	곡선부 인지곡선 반경(m)
1	100	50	0.96926	41	900	50	0.99952
2		60	0.95441	42		60	0.99932
3		70	0.93664	43		70	0.99908
4		80	0.91612	44		80	0.99880
5		90	0.89305	45		90	0.99847
6	200	50	0.99188	46	1,000	50	0.99961
7		60	0.98799	47		60	0.99944
8		70	0.98328	48		70	0.99925
9		80	0.97775	49		80	0.99902
10		90	0.97140	50		90	0.99875
11	300	50	0.99626	51	1,100	50	0.99967
12		60	0.99452	52		60	0.99953
13		70	0.99240	53		70	0.99937
14		80	0.98990	54		80	0.99918
15		90	0.98704	55		90	0.99896
16	400	50	0.99783	56	1,200	50	0.99972
17		60	0.99684	57		60	0.99961
18		70	0.99565	58		70	0.99947
19		80	0.99424	59		80	0.99931
20		90	0.99261	60		90	0.99912
21	500	50	0.99858	61	1,300	50	0.99976
22		60	0.99794	62		60	0.99966
23		70	0.99717	63		70	0.99954
24		80	0.99626	64		80	0.99941
25		90	0.99522	65		90	0.99925
26	600	50	0.99899	66	1,400	50	0.99979
27		60	0.99854	67		60	0.99970
28		70	0.99801	68		70	0.99960
29		80	0.99737	69		80	0.99948
30		90	0.99665	70		90	0.99935
31	700	50	0.99924	71	1,500	50	0.99982
32		60	0.99891	72		60	0.99974
33		70	0.99851	73		70	0.99965
34		80	0.99805	74		80	0.99955
35		90	0.99752	75		90	0.99943
36	800	50	0.99941				
37		60	0.99915				
38		70	0.99885				
39		80	0.99849				
40		90	0.99808				

과 [경험적 시각왜곡도] 산정식을 통한 시각왜곡도를 비교 분석하였다. [이론적 시각왜곡도]와 [경험적 시각왜곡도]에서 곡선부 시각왜곡도가 1보다 작은 값들로 나타났다. 이는 곡선부 인지곡선반경이 실제 평면곡선반경에 비해 작게 인지되는 것을 의미하며, 그에 따른 분석결과는 그림 7과 같다.

곡선부 시각왜곡도 산정결과, 곡선부 시각왜곡도가 1을 기준으로 1에 가까울수록 곡선부 시각왜곡도가 작고, 1보다 멀어질수록 곡선부 시각왜곡도는 커진다고 할 수 있다. 그러나

표 7. 곡선부 경험적 시각왜곡도 산정

구분	평면곡선반경(m)	시각왜곡도
1	100	0.95872
2	200	0.97886
3	300	0.98557
4	400	0.98893
5	500	0.99094
6	600	0.99228
7	700	0.99324
8	800	0.99396
9	900	0.99452
10	1000	0.99497
11	1100	0.99533
12	1200	0.99564
13	1300	0.99590
14	1400	0.99612
15	1500	0.99631

곡선부 시각왜곡도 비교분석

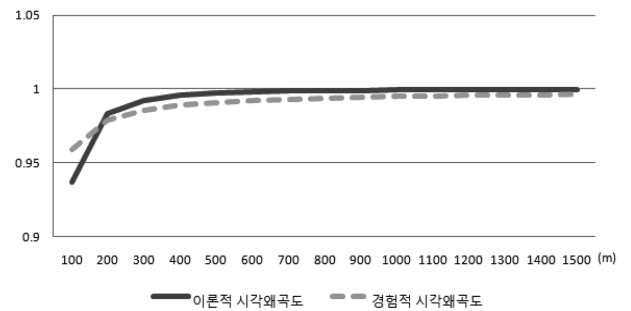


그림 7. 곡선부 시각왜곡도 비교

운전자가 곡선부를 작게 인식하여, 곡선부 진입 전 부적절한 감속 등으로 인한 문제점이 발생할 수 있을 것이다. 곡선부 시각왜곡도의 증가는 곡선부를 주행하는 운전자에게 작업부하를 주어 교통사고 발생위험을 가중시킨다. 또한 곡선부 시각왜곡도의 절대값이 같다 하더라도, 곡선부 시각왜곡도가 1보다 큰 경우와 작은 경우 각각 교통사고 발생위험이 다를 것이다. 본 연구에서는 연구의 한계로 인해 이를 각기 고려치 않고, 곡선부 시각왜곡도의 절대값이 클수록 교통사고의 위험이 높다고 판단하였다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

### 5.1 결 론

본 연구에서는 도로 곡선부의 시각왜곡현상을 고려한 인지곡선반경에 대하여 곡선부의 기하학적인 특성을 고려한 수학적 이론을 바탕으로 인지곡선반경을 산정하였다.

첫째, 이론적으로 인지곡선반경을 산정하기 위하여 인지곡선반경은 2차함수 형태  $y=ax^2+bx+c$ 로 나타나며, 곡선부 시작 지점 85m에서 곡선부를 인지하고, y축 방향으로  $\Delta y$  구간의 선형 변화가 없다고 가정하였다. 또한 운전자가 인지하는 곡선부 지점과 실제 운전자가 인지하는 곡선부 형태를 고려하여 모형식을 개발하였다.

$$R_p = \frac{360 \times L_0^{A_1}}{2\pi I} \quad (16)$$

$R_p$ : 인지곡선반경 (m)

$L_0^{A_1}$ : 인지곡선길이 (m)

$I$ : 교각 (°)

둘째, 이론적 인지곡선반경 산정을 위하여 곡선반경(R)은 100m 간격으로 1,500m까지 선정하였으며, 평면곡선길이에 따른 영향을 분석하기 위해 설계속도 60km/h를 고려한 최소 평면곡선길이(CL) 70m를 기준으로 이론적 인지곡선반경 모형을 이용하여 곡선반경을 산정하였다. 또한 곡선부 시각왜곡도는 곡선부 인지곡선반경에 대한 실제곡선반경의 비율을 통해 곡선부 시각왜곡도를 산정하였다.

셋째, 이론적 인지곡선반경과 경험적 인지곡선반경, 이론적 시각왜곡도와 경험적 시각왜곡도를 비교분석하였다. 곡선부의 인지곡선반경의 [이론적 인지곡선반경]과 [경험적 인지곡선반경] 모두 실제곡선반경 보다 곡선반경을 작게 인지하였으며, 곡선부 시각왜곡도는 [이론적 시각왜곡도]와 [경험적 시각왜곡도] 모두 1을 기준으로 1보다 작게 나타났다.

마지막으로, [이론적 인지곡선반경]과 [경험적 인지곡선반경I], [경험적 인지곡선반경II]의 인지곡선반경 및 시각왜곡도를 비교분석한 결과를 토대로 각 모형식에 영향을 미치는 인지곡선반경 영향인자를 아래와 같이 도출하였다.

- ① [이론적 인지곡선반경] 영향인자  
: 곡선반경(R), 교각(I), 인지곡선길이(L)
- ② [경험적 인지곡선반경] 영향인자  
: 곡선반경(R)

## 5.2 향후 연구과제

연구의 결과를 발전시키기 위한 향후 연구과제는 다음과 같다.

- ① 곡선부 이론적 인지곡선반경 산정을 위해 개발한 수학적 모형식이 3차원적인 볼록·오목 종단곡선의 종단요소를 반영하지 못한 한계로 인해, 향후 종단요소를 반영할 수 있는 모형식이 개발되어야 할 것으로 판단된다.
- ② 본 연구는 시·공간적 한계로 인해, 곡선부 시각왜곡현상을 고려한 이론적 인지곡선반경 모형식을 개발하는 과정에서 다양한 도로 기하요소와 환경요소를 반영하지 못하였으므로, 향후 제반 기하구조요소와 환경요소를 반영한 이론적 인지곡선반경 모형 개발이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

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

## 참고문헌

- 김대웅, 임채문(1991) 도로교통에 있어서 운전자 주시특성분석과 그 적용성에 관한 연구. *대한교통학회지*, 대한교통학회, 제9권, 제2호, pp. 101-119.
- 김용석, 조원범, 정소영(2005) 도로 설계 일관성 평가를 위한 복합선형 구간 주행속도 조사. *대한토목학회 학술발표대회 논문집*, 대한토목학회, pp. 4675-4678.
- 노관섭(1997) *도로의 시선유도시설 형태에 따른 운전자의 시인성 분석 연구*. 석사학위논문, 서울시립대학교.
- 박민철(2008) *곡선부 시각왜곡현상 분석에 관한 연구*. 석사학위논문, 전남대학교.
- 이상하(2004) *도로 시각왜곡현상에 관한 연구*. 석사학위논문, 전남대학교.
- 이수범, 김장욱, 권혁민(2005) 종단선형구간에서의 도로안전시설물 인지특성 모형개발. *대한교통학회지*, 대한교통학회, 제23권 3호, pp. 73-84
- 이은경(2000) *고속도로 IC 램프 유출구간에서의 운전자 시각행태 특성연구*. 석사학위논문, 명지대학교.
- 장정화(2001) *국도 곡선구간에서의 운전자 시각행태 특성 분석에 관한 연구*. 석사학위논문, 명지대학교.
- 하태준, 정준화, 이석기, 이정환(2009) 곡선부 시각왜곡현상 분석 및 설계기법 제시. *대한토목학회 논문집*, 대한토목학회, 제29권 제6D호, pp. 663-673.
- 한국건설기술연구원(2009) *곡선부 시각왜곡현상 분석 및 설계기법 제시*.
- Fitzpatrick, K., Krammes, R.A., and Fambro, D.B. (1997) Design speed, operating speed, and posted speed relationships, *Institute of Transportation Engineers Journal*, ITE, Vol. 67, No. 2, pp. 52-59.
- Hassan, Y., Easa, S.M., and El Halim, A.O.Abd (1998) Design considerations for combined highway alignments. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 123, No. 1.
- 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. (1995b) *Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-Lane Highway*. FHWA-RD-94-034, FHWA, USDOT.
- 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.
- Yasser Hassan, Tarek Sayed, and Shaun Bidulka (2002) *Influence of Vertical Approach to Illustrating Esthetic Concepts for Highway Design*. TRR 1796.

(접수일: 2010.5.17/심사일: 2010.5.25/심사완료일: 2010.5.25)