

■ 論 文 ■

3차원시거를 이용한 도로일관성 평가에 관한 연구

A Study on Evaluation of Consistency Using 3-Dimensional Sight Distance

박 제 진

(한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원)

오 영 옥

(도로교통안전관리공단 전남지부 안전시설팀)

강 정 규

(한국도로공사 도로교통연구원 연구위원)

하 태 준

(전남대학교 토목공학과 부교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 내용 및 방법
 - II. 기존 연구문헌 고찰
 - 1. 시거의 정의 및 현행기준
 - 2. 시거분석모형에 관한 연구
 - 3. 속도예측모형에 관한 연구
 - 4. 설계일관성에 관한 연구
 - III. 자료조사
 - 1. 지점선정 및 기하구조 자료조사
 - 2. 주행속도 조사
 - IV. 2차원시거와 3차원시거의 비교
 - 1. 소프트웨어 선정 및 자료의 입력
 - 2. 2차원시거와 3차원시거의 비교
 - V. 도로일관성 평가방법 개발
 - 1. 주행속도 예측모형 개발
 - 2. 도로일관성 평가방법 개발
 - VI. 결론 및 향후 연구과제
 - 1. 결론
 - 2. 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 지방부 2차로 도로, 입체시거, 설계일관성, 속도예측모형, 기하구조
 Two-Lane Rural Highway, Three-Dimensional Sight Distance, Design Consistency, Speed Prediction Model, Geometry

요 약

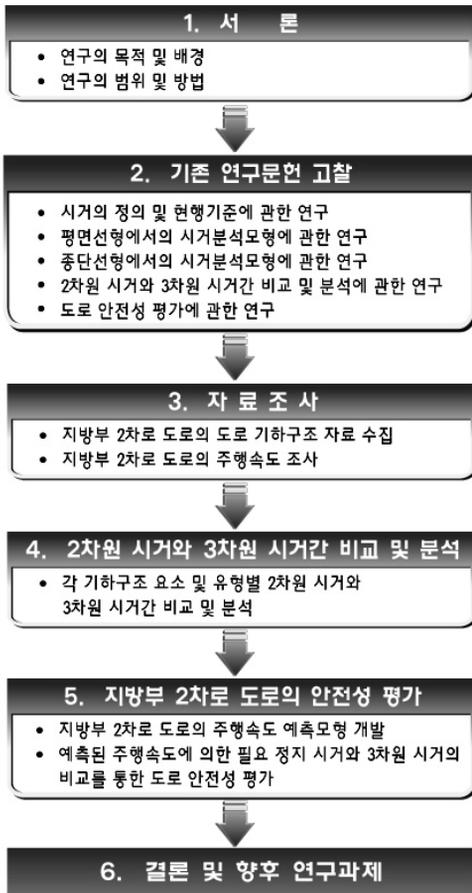
운전자는 도로를 주행하는 동안 도로의 기하구조 및 교통상황, 신호등, 표지판 등을 통하여 많은 정보를 얻게 되고, 이에 따라 가감속도 및 주행방향 등을 결정하게 되는데 대부분의 정보를 운전자의 시각을 통하여 구득하게 된다. 따라서 도로 주행 시 운전자의 시거확보는 안전한 도로 주행을 위하여 반드시 필요하다. 그러나 현행 기하구조 및 시거 설계지침에서는 평면선형과 종단선형을 분리하여 기준을 제시하고 있으며, 복합선형에 관한 정량적인 설계기준은 제시되어 있지 않다. 현재 2차원적 투영면에 분리된 요소로 설계되어지고 있지만 실제 도로는 3차원적인 문제이기 때문에 2차원적 설계는 안전하고 쾌적한 설계를 보장해주지 못한다. 본 연구에서는 수학적 계산을 통하여 입체시거를 분석한 기존의 모형을 이용하여 여러 가지 기하구조 요소 및 유형별로 분류한 후 기존의 2차원시거와 3차원시거를 비교하고 분석하여, 2차원시거에 비해 3차원시거가 얼마나 과대 또는 과소평가 되어지는 지를 알아보고, 지방부 2차로 도로 곡선부의 주행속도를 예측하는 모형을 개발하여 예측된 주행속도로 주행할 때 필요한 정지시거와 3차원시거를 비교하여 도로의 일관성을 평가하는 방법을 제시하고자 한다.

While driving a highway, A driver gets lots of information through geometrical structure, traffic situation, signs on the road. He gets most of the information by visual sense. Acceleration or deceleration and driving direction depend on sight distance. Therefore, it's essential to secure a driver's sight distance for a safe drive. However, design guides of geometrical structure and sight distance suggest respective standards of horizontal and vertical alignment. They do not indicate quantitative standard of combined alignment. Currently, element separated on a two-dimensional projected plane are available, but they do not guarantee safe and pleasant design. I will use the existent model analysing three-dimensional sight distance through mathematical calculation and sort a variety of geometrical structure element and type. In these researches, we will look at how much three-dimensional sight distance is overestimated or underestimated compared to two-dimensional. I will develop a program which predicts traffic velocity on the curvature of two-lane provincial road. stopped sight distance and three-dimensional sight distance will be compared at a predicted drive velocity. I will suggest the way to evaluate road consistency.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

운전자는 도로를 주행하는 동안 도로의 기하구조 및 교통상황, 신호등, 표지판 등을 통하여 수많은 정보를 구득하게 되고, 이를 통해 가감속도 및 주행방향 등을 결정하게 되는데 대부분의 정보는 운전자 시각에 의해 구득되어진다. 따라서 도로주행 시 운전자의 시거확보는 안전한 도로주행을 위하여 필수불가결한 사항이다. 도로기하구조의 기본요소는 도로선형으로서 평면선형과 종단선형이 조합된 복합선형으로 이루어져 있으며, 시거의 경우는 안전하고 쾌적한 도로를 만들기 위하여 도로 기하구조 설계 시 반드시 고려되어야 할 중요한 요소 중의 하나로 간주되어진다.



〈그림 1〉 연구의 수행과정

그러나 현행 도로 기하구조 및 시거 설계지침에서는 평면선형과 종단선형을 분리하여 기준을 제시하고 있으며, 복합선형에 관한 정량적인 설계기준은 제시되어 있지 않다. 현재 도로 기하구조는 2차원적 투영면에 분리된 요소로 설계되어지고 있지만 실제 도로는 3차원적인 문제이기 때문에 2차원적 설계만으로는 안전하고 쾌적한 설계를 보장해 주지 못한다. 또한 Easa는 2차원 설계로 인하여 3차원시거가 과대 또는 과소평가되어 복합선형 구간의 설계속도보다 낮거나 높은 주행속도를 유발시켜 운전자 부담을 최소화하기 위한 설계일관성이 결여되고 운전자 기대로부터 잦은 실망을 유발시킨다고 지적하였다. 본 연구에서는 수학적 계산을 통하여 3차원시거를 분석한 기존의 모형을 이용하여 여러 가지 기하구조 요소 및 유형별로 분류한 후 기존의 2차원시거와 3차원시거를 비교하고 분석하여, 2차원시거에 비해 3차원입체시거가 얼마나 과대 또는 과소평가 되는지를 확인하였다. 그리고 지방부 2차로 도로 곡선부의 주행속도를 예측하는 모형을 개발하여 예측된 주행속도로 주행할 때 필요한 정지시거와 3차원시거를 비교하여 도로의 일관성을 평가하는 방법을 제시하였다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 전라남도 내 지방부 2차로 도로를 대상으로 하였다. 시간적 범위는 2005년의 지방부 2차로 도로 기하구조와 속도조사 자료를 사용하였으며, 속도조사는 하루 중 피크시간대인 08~10시, 17~19시를 제외한 시간에 한하였고, 공간적 범위는 전라남도 내의 지방부 2차로 도로로 되어 있는 국도 13, 15, 23, 24, 29호선 내의 입체선형 구간 100개 지점을 선정하였다.

본 연구에서는 여러 시거분석모형들을 고찰해 본 후 평면선형을 좌표 상에 표현하고 시거분석을 실시한 다음에 종단선형의 정보를 합성하여 3차원시거를 계산하는 조건식을 유도한 기존의 시거분석모형을 시거 프로파일의 작성이 가능하도록 수치계산 프로그램인 Matlab으로 코딩하여 여러 가지 기하구조 요소 및 유형별로 입체시거와 기존 2차원시거를 비교하여 분석한 후, 2차원시거와 3차원시거가 얼마나 과대 또는 과소평가 되는지를 알아보았다. 그 다음, 지방부 2차로 도로의 기하구조 자료를 수집한 후 실제 도로의 주행속도를 조사하여 지방부 2차로 도로의 주행속도차를 예측하는 모형을 개발한 후에, 예측된 주행속도로 주행할 때 필요한 정지시

거와 3차원시거를 비교하여 도로의 일관성 평가방법을 제시하였다. 본 연구의 전반적인 연구수행 과정은 <그림 1>과 같다.

II. 기존 연구문헌 고찰

1. 시거의 정의 및 현행기준

1) 정지시거

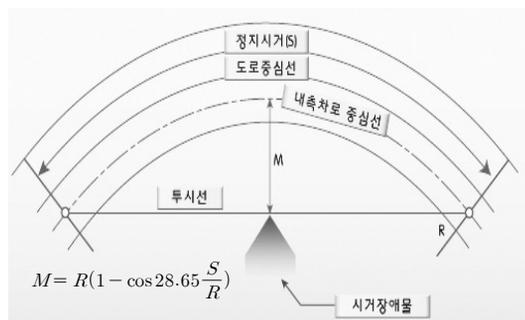
정지시거는 운전자가 자동차 진행 방향의 전방에 있는 장애물 또는 위험요소를 인지하고 제동을 걸어 정지하거나 혹은 장애물을 피해서 주행할 수 있는 길이로서 주행상의 안전과 쾌적성의 확보에 주요한 요소로 간주된다. 이러한 정지시거는 『도로의 구조·시설기준에 관한 규칙』에서 정하는 바와 같이 <표 1>의 기준에 의하여 산출된다.

<표 1> 정지시거 계산 방법

구분	설계기준	
정지시거	$D = \frac{V}{3.6}t + \frac{V^2}{254f}$	
종단경사 영향	$D = 0.694V + \frac{V^2}{254(f \pm s/100)}$	
블록 곡선	파라미터	정지시거 고려시*
	$D > L$ 경우	$L = 2D - \frac{385}{S}$
	$D < L$ 경우	$L = \frac{SD^2}{385}$
오목 곡선	파라미터	전조등 야간투시고려시*
	$D > L$ 경우	$L = 2D - \frac{120 + 3.5D}{S}$
	$D < L$ 경우	$L = \frac{SD^2}{120 + 3.5D}$
D : 정지시거(m) f : 종방향미끄럼마찰계수 V : 속도(km/h) s : 종단경사(%) t : 반응시간(2.5sec) L : 종단곡선길이(m)		
* 정지시거 고려시, 눈높이 : 1.0m, 물체높이 : 0.15m		
* 전조등 야간투시 고려시, 전조등 높이 : 1.0m, 전조등 조명각 : 1°		

2) 평면선형에서의 시거

평면선형에서 운전자가 전방을 볼 수 있는 거리는 장애물의 위치, 흠각기부 위치 및 기타 시야를 방해하는 물체에 의해 결정된다. 평면곡선부에서 시거를 측정하기 위한 기준은 운전자의 눈과 내측 차로의 중심선에서 보이는 물체이다. 시거는 차로의 중심을 따라서 관측되고, 중앙 지점에서 이에 상응하는 최소 측방여유폭이 계산된다.



<그림 2> 평면선형에서의 시거

3) 종단선형에서의 시거

블록 종단곡선의 최소길이는 통상 소요시거에 따라 결정된다. 운전자는 곡선 상에 있는 물체를 소요시거보다 더 멀리서 볼 수 있어야 한다. 종단곡선 길이 L 와 종단경사차 S , 두 지점간의 투시거리 D 에 대한 방정식을 유도하기 위해서 L 과 D 는 수평거리로 나타낸다. 오목 종단곡선의 길이를 결정하는데 고려해야 할 사항은 전조등 시거, 승차감, 배수 등이며, 이 중에서 전조등 시거와 지하차도의 시거 확보가 중요하다.

2. 시거분석모형에 관한 연구

1) Sanches(1994)

3차원으로 연결된 인터체인지 접속부의 선형과 시거와의 상호작용에 대해 연구하였다. 이 연구의 방법은 세 가지의 단계로 요약될 수 있다. 첫째, 선형은 InRoads라는 소프트웨어를 사용하여 형성된 삼각형 면들의 망으로 이상화된다. 둘째, 이상화된 망의 조감도가 컴퓨터를 이용하여 만들어지고, 시선과 정지시거 결정 기준이 되는 장애물을 연결하는 시선이 그려진다. 마지막으로, 다양한 운전자와 장애물의 위치를 통해 시야를 방해하는 제한요소를 결정할 수 있게 된다.

2) 평화엔지니어링(2000)

그래픽을 이용한 방식의 시거산정 방법은 최근 국내의 도로설계 프로그램에서도 적용되고 있다. 하지만 이러한 방법을 이용할 경우, 삼각망으로 모델링하고 시거를 분석하는데 많은 시간을 필요로 한다. 물론 이 방법은 컴퓨터 산업의 발전으로 그러한 분석시간의 단축이 가능하지만 시거

가 계산에 의한 절차가 아닌 그래픽적인 조건으로 결정되기 때문에 3차원 기하설계의 기준마련에 이용될 수 없다.

3) Easa(1996, 1997)

당시의 시거모델이 단지 2차원의 평면선형이나 종단선형에만 적용 가능함을 지적한 후 3차원 선형에서 시거를 산정할 수 있는 새로운 방법을 제시하였다. 이 연구는 Sanches의 연구와 같은 3차원 선형에서의 시거분석에 관한 내용을 다루었으나 그래픽 프로그램을 이용한 방법이 아닌 계산적인 알고리즘을 토대로 하였다는 점에 의의가 있다. 이 모형에는 유한요소법이 적용되었는데, 유한요소법은 도로표면을 4절점, 6절점, 그리고 8절점 요소의 사각형이나 삼각형 형태로 표현하는 데 이용되었다. 이 연구를 통해 얻어진 새로운 모델은 수치적인 예를 이용하여 평가되었고, 그 결과는 2차원 모델이 시거를 과소평가하거나 과대평가할 수 있다는 것을 보여주었다.

야간의 사고율이 주간보다 높다는 사실에도 불구하고 입체선형에서 야간의 시거분석 모형의 개발이 없었다. Easa 등(1997)은 전조등 시거를 평가할 수 있는 모형을 개발하였다. 이 모형에는 유한요소법이 적용되었는데, 연구결과는 오목종단곡선이 평면곡선과 조합될 때 3차원시거 값이 2차원시거 값보다 더 낮게 나타났으며 볼록 종단곡선과 평면곡선의 조합에서는 입체시거 값이 더 높게 나타났다.

4) 최주용(2003)

그래픽적 소프트웨어를 사용하거나 유한요소법을 이용하여 시거를 계산하는 방법들은 계산적이지 못하고 그래픽 프로그램이 필요하며, 도로의 형상을 정확히 표현하지 못하는 근사적인 방법이었음을 지적하고 3차원적인 형상에서의 3차원시거를 계산할 수 있는 방법을 개발하였다. X-Y-Z 공간좌표계 상에 분석요소들을 직선의 요소들로 표현하는 등의 정확한 수학적 개념들을 이용하여 2차원시거분석에서는 불가능하였던 도로의 측방사면을 고려한 3차원적인 시거를 계산하는 방법에 대한 수식의 유도를 실행한 다음 평면선형을 좌표 상에 표현하고 시거분석을 실시하고 종단선형의 정보를 합성하여 3차원시거를 계산하는 조건식을 개발하였다.

5) 이슬기, 이용재(2006)

도로설계시 시거에 영향을 미치는 다양한 요인들의 분석을 통해 시거의 불확실성과 안정성을 반영하여 새로운 시거기준이 제시될 수 있음을 확인하였다.

3. 속도예측모형에 관한 연구

1) 최재성(1998)

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

2) 정준화(2001)

곡선부 내 최저속도 예측모형 뿐만 아니라 곡선부 내 속도변화 예측모형을 개발하였다.

3) K. Fitzpatrick & J.M Collins(2000)

다양한 곡선반경과 종단경사가 조합된 선형에 대하여 곡선반경을 독립변수로 하는 속도예측모형을 개발하였다.

4) 이점호(2003)

직선거리, 속도규제 표지 수, 접근로수, 횡단보도 수, 접속로 등을 이용하여, 직선부와 곡선부의 주행속도 추정모형을 개발하였다.

5) 홍다희(2005)

고속도로로 주행속도예측모형을 개발하기 위해 현장조사를 실시하였다. 조사지점은 평면선형과 종단선형에 따라 유형화하여 현장조사를 실시하였으며 수집된 데이터를 이용하여 회귀모형을 개발하였다.

4. 설계일관성에 관한 연구

1) K. Fitzpatrick · J.M Collins(2000)

평면선형 조건에 따른 속도예측모형으로부터 운전자가 편안하게 가·감속을 하기 위해 요구되는 길이와 회랑속도로부터 곡선부에 감속할 때의 길이에 따라서 가속도를 계산하였고, 가감속도로 일관성 평가 등급을 제시하였다.

2) Lamn(2000)

곡률변화율과 속도차를 이용하여 <표 2>와 같은 세 가지 일관성 평가기준을 나타내었다.

〈표 2〉 도로의 일관성 평가 기준(Lamm, 1999)

평가등급	양호	보통	열악
CCR_s 분류 (gon/km)	≤ 180	$> 180,$ ≤ 360	≤ 360
$ V_{85_i} - V_d $ (km/h)	≤ 10	$> 10,$ ≤ 20	≤ 20
$ V_{85_i} - V_{85_{i+1}} $ (km/h)	≤ 10	$> 10,$ ≤ 20	≤ 20
$f_{RA} - f_{RD}$	$\geq +0.01$	$\geq +0.01,$ < -0.04	< -0.04

3) Messer(1979)

설계일관성을 평가하기 위하여 이용한 운전자 부담감은 개별 임계기하구조 요소 및 시거 등을 근거로 속도를 추정하고 있다. 즉, 평면곡선, 종단블록곡선, 교량, 분리도로 구간, 차로수 감소, 교차로, 입체철도 횡단, 노면폭 변화, 차로폭 감소, 그리고 입체교차 등 10개의 기하구조에 대한 임계성 평가방법이 개발되었다.

4) 운전자 기대에 의한 방법

Hirsh(1987)에 의해 운전자의 기대를 근거로 한 설계 비일관성의 인식에 대해 소개되었다. 설계 비일관성은 운전자의 기대와 일치하지 않는 도로선형의 변화로 정의된다. Hirsh(1987)은 일반적인 운전자들의 행동이 반영되지 않은 기하 설계일관성을 다른 연구들의 가정을 예로 들어 제안하였다.

Leisch(1977)에 의해 제안된 $15km/h$ 속도 변화 기준이 운전자들의 넓은 속도분포에서 명확하지 않다는 것이다. 그러므로 한 운전자에게 $15km/h$ 의 속도변화를 일으키는 설계는 다른 운전자에게는 다른 속도변화를 일으킨다. 그럼에도 불구하고 설계일관성을 평가하는데 완전한 운전자의 속도집단을 고려하는 것은 어렵다. 실제적인 분석이 운전자 속도분포의 다양함을 생각하는 점에서 매우 유용하다.

운전자의 기대는 유효시거와 관계가 있다. 특별히 블록곡선에서 시거가 제한될 때 사고율을 증가시킨다(Urbanik et al. 1989). 블록곡선 후의 급한 평면곡선 같은 기대되지 않는 숨어있는 요소는 아마 사고를 증가시킬 것이다.

이러한 기대되지 않는 평면곡선을 제공하는 설계를 피하기 위해 Hassan and Easa(1998)는 3차원시거분석을 사용한 레드존이라 불리는 개념을 적용하여 개발에 활용하였다. 레드존은 종단곡선과의 관계에서 시작되지 않은 평면곡선의 도로상의 위치들로 정의된다.

5) 김상엽·최재성(2006)

2차로 도로를 대상으로 하여 $R \leq 200m$ 인 경우와 $R > 200m$ 인 경우로 나누어 예측식을 개발하였다. 속도에 영향을 끼치는 요인으로써 $R \leq 200m$ 인 경우에는 곡선반경(R), $R > 200m$ 인 경우에는 기하구조의 영향보다는 곡선 상류부 $100m$ 지점속도(V_t)가 주요한 요인임을 확인하였다.

6) Salvatore Cafiso(2005)

2차로 도로에서 운전자의 주행 행태가 설계 일관성 평가와 정확히 일치하지 않다는 것을 확인하고 차량에 운전자의 운전행태와 요소를 측정할 수 있는 시스템 개발을 통하여 2차로 도로의 정확한 형태와 안전성 평가를 실시하였다.

이상의 기존문헌을 살펴보면 도로의 일관성 평가를 위한 다양한 방법들이 활발히 개발되어지고 있다. 그러나 기존에 속도예측모형 및 일관성 평가를 위해 사용된 시거는 2차원시거이다. 2차원시거의 경우 실제 시거보다 과대 또는 과소평가됨에 따라 본 연구에서는 보다 정확한 속도예측모형 구축 및 일관성 평가를 위해 3차원시거를 이용하여 안전성 평가를 실시한다.

III. 자료조사

1. 지점선정 및 기하구조 자료조사

본 연구는 도로주변 환경 및 교통운영 요소가 운전자 주행행태에 미치는 영향을 최소화하기 위해 교차로와 과속단속시스템의 영향이 없는 곳, 도로 주변 영향이 최소화된 곳, 도로에 인접하거나 운전자의 진행방향으로 주행에 비정상적인 상황 유발을 일으킬 수 있는 교량, 학교, 공장이 없는 곳을 연구대상으로 정하였다.

이상의 조건들이 만족되는 지점을 도로설계도에 기초하여 예비 답사한 연후 최종적으로 조사지점을 선정하고, 주행속도 및 기하구조를 조사하였으며 도로의 기하구조의 경우 운전자 주행 행태에 영향을 주는 요소들을 다양한 관점에서 분석하기 위해, 현장에서 조사된 자료를 토대로 평면선형과 종단선형의 결합형태에 따라 〈표 3〉과 같이 유형별로 분류하여 평면곡선반경(R), 평면곡선길이(CL), 편경사(e), 차로폭(LW), 길어깨 폭(SW), 종단경사(G), 종단곡선길이(L_v), 종단경사 대수차(A),

〈표 3〉 평면 및 종단선형 조합에 따른 유형분류

유형	종단선형	평면선형
A	평지 또는 종단경사부	곡 선
B	볼록 종단곡선	곡 선
C	오목 종단곡선	곡 선

〈표 4〉 조사지점 유형별 기하구조 특성

기하구조 요소	복합선형 유형		
	A	B	C
$R(m)$	300~2,000	450~900	300~3,000
$CL(m)$	105~987	128~611	269~693
$e(\%)$	1.0~7.0	2.0~6.0	2.2~6.5
$LW(m)$	3.4~3.6	3.4~3.6	3.4~3.6
$SW(m)$	1.2~2.5	1.1~2.3	1.2~2.0
$G(\%)$	-6.0~4.8	0.4~3.6	-3.8~-0.1
$Lv(m)$	-	120~380	40~260
$A(\%)$	-	1.0~7.3	0.7~5.3
$K(m/\%)$	-	35.7~118.3	17.1~214.3

종단곡선 변화비율(K) 등을 수집하였다.

각 기하구조 요소의 유형별 특성은 〈표 4〉와 같다.

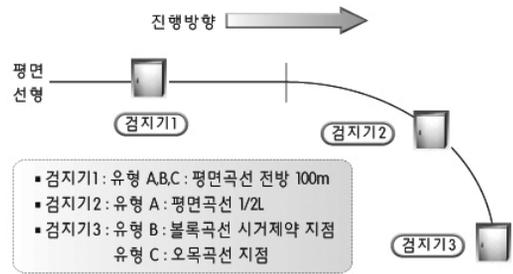
2. 주행속도 조사

속도자료는 자동차 간의 간섭이 주행속도에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 비침투 시간대를 시간적 범위로 하여 미국 nu-metrics사의 NC-97을 이용하여 수집되었다.

검지기 설치위치는 곡선부 전방 100m 지점, 곡선부 중간지점(이하 '1/2L')에서 수집되었으며, 단, 복합선형 구간 중 종단선형이 볼록곡선인 경우(이하 '평면_볼록곡

〈표 5〉 종단곡선과 평면곡선이 조합된 경우의 기하구조와 속도

지점 번호	기하구조										속도	
	곡선 반경 (R)	곡선장 (CL)	교각 (I)	종단 경사 (G)	종단경사 대수차 (A)	종단곡선 길이 (L_c)	종단경사변화비율 (K)	도로폭 (L_w)	노면폭 (S_w)	시거 (SD)	곡선부 진입전 속도 (V_1)	곡선부 내 속도 (V_2)
1	350	101.05	16.55	1.90	4.00	80	20.00	3.1	0.9	88.13	61.18	57.02
2	500	111.47	12.78	-6.50	9.10	182	20.00	3.1	0.9	87.74	57.16	56.35
3	120	100.40	47.96	0.50	1.00	27.5	27.50	3.1	0.9	96.23	56.35	49.24
4	120	100.40	47.96	1.50	1.00	27.5	27.50	3.1	0.9	98.75	49.24	52.33
5	240	113.00	26.99	3.83	7.77	160	20.59	3.1	0.9	111.23	40.26	35.68
6	50	59.88	68.65	6.79	4.32	97	22.45	3.1	0.9	37.61	46.97	44.69
7	90	100.13	63.78	2.87	1.99	39.8	20.00	3.1	0.9	96.69	58.09	53.40
8	90	100.13	63.78	-0.88	1.99	39.8	20.00	3.1	0.9	93.41	53.13	53.67
9	150	83.31	31.84	-0.72	0.72	15	20.83	3.1	0.9	81.40	61.85	58.09
10	300	213.52	40.80	-2.42	1.53	41	26.86	3.1	0.9	207.96	62.84	59.84
11	300	213.52	40.80	0.89	1.53	41	26.86	3.1	0.9	210.12	54.74	57.02
12	120	53.86	25.73	1.36	5.30	108	20.38	3.1	0.9	54.10	46.03	57.29



〈그림 3〉 도로선형 유형별 검지기 설치 위치

선')는 곡선부 중간지점 대신 시거가 제약되는 지점에, 종단선형이 오목곡선인 경우(이하 '평면_오목곡선')는 오목곡선의 정점부에 검지기를 설치하였다.

수집된 속도자료 중 추종이 일어날 수 있는 차두시간이 6초 이하인 경우는 다른 차량의 영향을 받았다고 가정하고 자료에서 제외하였으며, 차종은 승용차로 제한하여 분석을 수행하였다. 유형별 수집자료는 〈표 5〉, 〈표 6〉과 같다.

IV. 2차원시거와 3차원시거의 비교

1. 소프트웨어 선정 및 자료의 입력

최주용(2002)의 시거분석모형을 이용하여 수식들을 Matlab 프로그램 언어로 코딩하고, 입력되는 도로선형 자료에 의해 시거 프로파일이 계산될 수 있도록 하였다. 평면선형의 자료는 세 종류의 선형이 모두 포함되도록 〈표 7〉, 〈표 8〉과 같이 입력값을 설정하였다. 분석에 사

〈표 6〉 종단경사와 평면곡선이 조합된 경우의 기하구조와 속도

지점 번호	기하구조							속도	
	곡선반경 (R)	곡선장 (CL)	교각 (I)	종단경사 (G)	도로폭 (L _w)	노면폭 (s _w)	시거 (SD)	곡선부 진입전 속도 (V ₁)	곡선부 내 속도 (V ₂)
1	60	82.51	78.83	-3.97	3.1	0.9	78.13	48.31	41.87
2	60	82.51	78.83	3.97	3.1	0.9	74.19	53.40	49.38
3	80	74.20	53.17	1.74	3.1	0.9	70.18	54.07	46.97
4	80	74.20	53.17	-1.74	3.1	0.9	72.96	54.20	44.96
5	100	58.26	33.40	-0.88	3.1	0.9	56.55	58.63	51.92
6	200	67.34	19.30	-0.32	3.1	0.9	66.50	54.20	53.13
7	250	79.37	18.20	1.04	3.1	0.9	78.55	59.97	60.11
8	250	79.37	18.20	-1.04	3.1	0.9	79.53	64.27	58.77
9	240	121.50	29.02	-1.94	3.1	0.9	119.43	63.60	57.16
10	230	72.42	18.05	4.00	3.1	0.9	71.64	59.70	59.97
11	120	94.70	45.24	-0.44	3.1	0.9	91.07	55.41	50.32
12	180	110.75	35.27	-6.00	3.1	0.9	99.01	53.00	59.17
13	300	107.60	20.56	0.40	3.1	0.9	107.57	60.51	62.39
14	215	165.32	44.08	3.83	3.1	0.9	108.14	64.40	59.03
15	215	165.32	44.08	-3.83	3.1	0.9	78.97	54.61	56.22
16	180	90.56	28.84	1.00	3.1	0.9	90.38	69.63	61.72
17	350	67.10	10.99	-0.70	3.1	0.9	66.70	64.94	66.55
18	300	108.75	20.78	-1.00	3.1	0.9	107.60	64.27	66.41
19	120	98.22	46.92	-0.35	3.1	0.9	96.73	67.89	55.68
20	120	121.81	58.19	1.33	3.1	0.9	81.02	63.86	64.13
21	120	121.81	58.19	-1.33	3.1	0.9	58.81	64.94	65.21
22	400	75.78	10.86	-4.27	3.1	0.9	75.96	58.63	59.17
23	400	75.78	10.86	4.27	3.1	0.9	73.67	55.41	56.08
24	300	105.09	20.08	-4.27	3.1	0.9	105.09	55.55	54.87
25	250	83.56	19.16	-0.29	3.1	0.9	83.69	60.78	61.58
26	250	83.56	19.16	-0.29	3.1	0.9	82.65	53.80	55.68
27	160	102.35	36.67	-0.30	3.1	0.9	101.59	57.83	55.95

용된 상수값인 운전자 눈높이(h_e)와 장애물높이(h_o)는 각각 1.0m, 0.15m이며, 차로폭(w)과 측방여유폭(a_l , a_r)은 각각 3.6m, 9.2m로 하였다. 3차원선형의 표현을 위해 종단선형을 추가시켰는데, 평면선형의 사이에 종단경사구간과 2개의 곡선이 포함되도록 설정하였다.

2. 2차원시거와 3차원시거의 비교

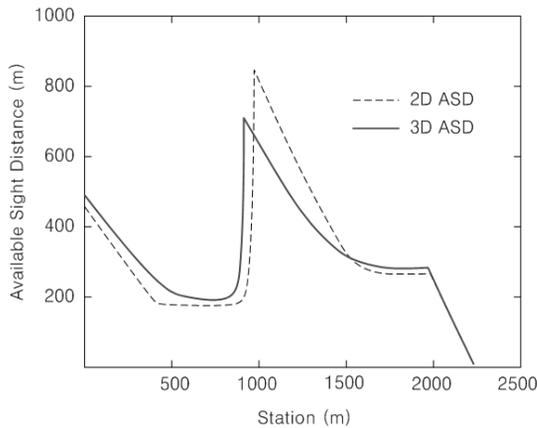
2차원시거와 3차원시거의 비교를 위하여, 2차원시거의 경우에는 측방사면의 경사를 ∞로 하였으며, 3차원시거 측방사면의 경사는 2:1로 한 후, 이들의 값을 〈그림 4〉와 같이 비교하였다. 특히, 평면곡선과 오목곡선이 조합된 경우 3차원시거가 2차원시거보다 10~20m 정도 길게 계산됨을 확인할 수 있었으며, 클로소이드와 상향종단경사, 직선과 상향종단경사를 제외한 모든 구간에서 3차원시거의 값이 2차원시거보다 크게 나온 것을 알 수 있었다. 이는 기존

〈표 7〉 평면선형 입력자료

No	Curve Type	Beginning Station	End Station	Length	Radius
1	T	0.000	305.000	10.000	∞
2	S	305.000	433.000	73.304	-366.000
3	C	433.000	944.000	100.000	-366.000
4	S	944.000	1072.000	168.904	-366.000
5	T	1072.000	1529.000	150.000	∞
6	S	1529.000	1742.000	40.000	610.000
7	C	1742.000	2274.000	32.723	610.000

〈표 8〉 종단선형 입력자료

No	Curve Type	Beginning Station	End Station	Length	G1	G2
1	T	0.000	433.000	433.000	-2	-2
2	P	433.000	944.000	511.000	-2	2
3	T	944.000	1500.000	556.000	2	2
4	P	1500.000	1700.000	200.000	2	0
5	T	1700.000	2274.000	574.000	0	0



〈그림 4〉 2차원시거와 3차원시거의 비교

의 2차원시거 산정방법과 달리 도로의 본래 성질인 3차원적인 형상 즉, $x-y-z$ 공간 좌표계 상에 수학적 개념을 사용함에 따라 다소 차이가 있다고 판단된다.

V. 도로일관성 평가방법 개발

1. 주행속도 예측모형 개발

1) 모형의 개발

도로 기하구조와 속도조사 자료를 이용하여 종단경사와 평면곡선이 조합된 경우와 종단곡선과 평면곡선이 조합된 경우로 구분하여 모형을 개발하였다.

속도조사 대상 교통류는 승용차로만 제한하였고, 차두시간이 6초 미만인 차량은 선두차량에 의한 차량군 형성으로 기하구조 및 교통조건에 의한 속도를 내지 못하는 것으로 간주하여 자료에서 제외하였고, 직선부에서의 속도보다 곡선부에서 속도가 높은 지점에 대해서도 직선부에서 차량이 충분히 속도를 내지 못한 것으로 판단하여 자료에서 제외하였다.

평면선형과 종단선형이 조합된 경우를 두 가지로 분류하고 기하구조와 주행속도의 자료를 정리하여 주행속도 예측모형식을 개발하기 위하여 통계분석 프로그램인 SPSS14.0K를 이용하였다.

종단경사와 평면곡선이 조합된 경우에는 곡선반경, 종단경사, 교각, 시거를 독립변수로 가정하였고, 종단곡선과 평면곡선이 조합된 경우에는 곡선반경, 교각, 진입부 종단경사, 종단경사 대수차, 종단곡선 변화비율, 시거를 독립변수로 가정하여 STEP-WISE 방법으로 변수를 선택하여 3차원 곡선 내의 주행속도를 예측할 수 있는

〈표 9〉 주행속도 예측모형 (종단경사+평면곡선)

기하구조	종단경사+평면곡선
독립변수	시거(x_1), 교각(x_2)
회귀모형	$y = 52.095 + 0.069x_1 - 0.172x_2$
R^2	0.584

〈표 10〉 주행속도 예측모형 (종단곡선+평면곡선)

기하구조	종단곡선+평면곡선
독립변수	진입부 종단경사(x_1), 종단경사대수차(x_2)
회귀모형	$y = 58.424 - 1.592x_1 - 1.422x_2$
R^2	0.680

다중회귀 모형식을 개발하였다. 주행속도 예측모형의 사용변수와 회귀식은 〈표 9〉, 〈표 10〉과 같다.

종단경사와 평면곡선이 조합된 경우는 시거와 교각을 독립변수로 사용하였고, 종단곡선과 평면곡선이 조합된 경우는 진입부 종단경사와 종단경사 대수차를 사용하여 모형식을 개발하였다.

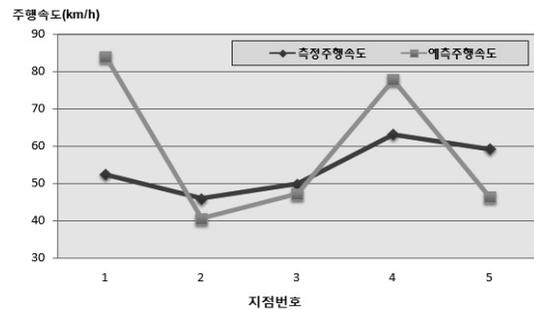
두 가지 유형의 기하구조 회귀모형식의 결정계수가 0.584와 0.680으로 나타나 두 가지 유형의 회귀모형 독립변수가 종속변수를 잘 설명하는 것으로 판단된다.

2) 모형의 검증

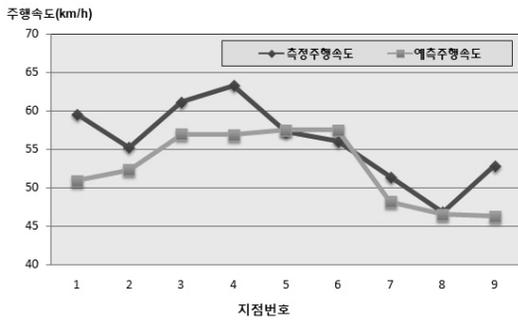
실제로 도로에서 측정된 속도와 예측모형으로 예측한 속도간의 차이를 살펴보고 모형이 속도를 적절하게 예측할 수 있는지를 검증하였다.

먼저, 종단곡선과 평면곡선이 조합된 경우에 대하여 측정된 주행속도와 예측된 주행속도를 비교해 본 결과는 〈그림 5〉와 같다.

또한, 종단경사와 평면곡선이 조합된 경우에 대하여 측정된 주행속도와 예측된 주행속도를 비교해 본 결과는



〈그림 5〉 종단곡선과 평면곡선이 조합된 경우의 측정속도와 예측속도 비교



〈그림 6〉 종단경사와 평면곡선이 조합된 경우의 측정속도와 예측속도 비교

〈그림 6〉과 같다.

그리고 각 유형에 따라서 대응표본 T-검정을 실시하였으며 그 결과는 〈표 11〉, 〈표 12〉와 같다.

종단곡선과 평면곡선이 조합된 경우는 1번 지점과 4번 지점의 경우 주행속도와 예측속도가 큰 차이를 나타냄을 확인할 수 있다. 또한, 검정결과를 살펴보면 종단곡선과 평면곡선이 조합된 경우 모형이 적합하지 않음을 알 수 있다. 그러나 종단경사와 평면곡선이 조합된 경우는 측정된 주행속도와 예측된 주행속도가 매우 유사하며 검정결과를 살펴봐도 모형이 적합함을 판단할 수 있다.

2. 도로일관성 평가방법 개발

기존에 개발된 여러 가지 도로일관성 평가방법 가운데 가장 일반적으로 쓰이고 있는 방법은 속도차에 의한 일관성 평가방법이다. 본 연구에서는 설계속도(V_d) 대신에 본 연구에서 개발한 주행속도 예측모형에 의해 예측된 주행속도($V_{85,p}$)를 정지시거 식(1)에 대입하여 필요정지시거 식(2)을 유도하여 운전자가 실제 주행속도로 주행시에 필요한 정지시거 값을 계산하였다.

$$SD = t \cdot V_d + \frac{V_d^2}{2g(f \pm G)} \quad (1)$$

$$SD_{\neq ed} = t \cdot V_{85,p} + \frac{V_{85,p}^2}{2g(f \pm G)} \quad (2)$$

- SD : 시거
- V_d : 설계속도
- $SD_{\neq ed}$: 필요정지시거
- t : 인지반응속도
- f : 노면마찰계수
- G : 종단경사

〈표 11〉 종단곡선과 평면곡선이 조합된 경우의 T-검정

대응표본 통계량				
구분	평균	N	표준편차	표준오차
측정 주행속도	54.17	5	6.98	3.12
예측 주행속도	59.24	5	2.12	9.00
대응표본 상관계수				
구분	N	상관계수	유의확률	
측정 주행속도 & 예측 주행속도	5	0.466	0.429	
대응표본 검정				
구분	대용차			
	평균	표준편차	표준오차	95% 신뢰구간 하한 상한
측정 주행속도- 예측 주행속도	-5.06	17.96	8.03	-27.37 17.24
	t		자유도	유의확률(양쪽)
	-0.630		4	0.563

〈표 12〉 종단경사와 평면곡선이 조합된 경우의 T-검정

대응표본 통계량				
구분	평균	N	표준편차	표준오차
측정 주행속도	55.97	9	5.13	1.71
예측 주행속도	52.57	9	4.81	1.60
대응표본 상관계수				
구분	N	상관계수	유의확률	
측정 주행속도 & 예측 주행속도	9	0.762	0.017	
대응표본 검정				
구분	대용차			
	평균	표준편차	표준오차	95% 신뢰구간 하한 상한
측정 주행속도- 예측 주행속도	3.40	3.44	1.14	0.75 6.04
	t		자유도	유의확률(양쪽)
	2.962		8	0.018

$V_{85,p}$: 예측주행속도

3차원시거 분석모형에 의해서 계산된 3차원시거 값과 주행속도에 의해서 계산된 정지시거 값을 비교하여 실제 운전자가 도로상에서 확보한다고 생각하는 3차원시거 값(SD_{3D})이 운전자가 주행하는데 필요하다고 판단되는 정지시거 값($SD_{\neq ed}$)보다 크면 도로일관성이 확보된 것으로 보고, 작으면 도로일관성이 확보되지 않은 것으로 판단하였다.

- $SD_{\neq ed} > SD_{3D}$: 시거에 의한 설계일관성 미확보
- $SD_{\neq ed} < SD_{3D}$: 시거에 의한 설계일관성 확보

기존의 여러 가지 도로일관성 평가방법 중, 속도차에 의한 일관성 평가방법에서 사용하는 기준인 속도차 10

〈표 13〉 속도에 따른 정지시거

속도 (km/h)	마찰계수	정지시거(m)
50	0.34	63.6
55	0.34	73.2
60	0.32	85.9
65	0.32	97.1
70	0.31	110.8
75	0.31	123.5
80	0.3	139.5
85	0.3	153.8
90	0.3	168.8

〈표 14〉 시거차에 의한 설계 일관성 등급

구분	시거변화
양호	$50m \leq \text{입체시거}(SD_{3D}) - \text{필요정지시거}(SD_{\text{reqd}})$
보통	$25m \leq \text{입체시거}(SD_{3D}) - \text{필요정지시거}(SD_{\text{reqd}}) \leq 25m$
불량	$\text{입체시거}(SD_{3D}) - \text{필요정지시거}(SD_{\text{reqd}}) \leq 25m$

km/h와 20km/h에 의하여 차이나는 정지시거 값을 이용하여 도로일관성 평가기준을 제시하고자 한다. 10 km/h와 20km/h 속도차가 나는 두 속도로 계산된 두 정지시거 값(〈표 13〉에 제시)을 비교하였더니 평균 정지시거차이 값이 속도차가 10km/h일 경우에 22.69m, 속도차가 20km/h일 경우에 47.77m가 계산되었다. 이렇게 계산된 값에 여유값을 두어 25m와 50m를 적용값으로 결정하여 〈표 14〉와 같은 기준을 제시하였다.

Ⅵ. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 3차원시거를 이용하여 도로일관성을 평가하려는 목적을 가지고 출발하여 다음과 같은 결과가 도출되었다.

- ① 기존의 3차원시거 분석모형을 사용하여 2차원시거와 3차원시거를 비교·분석하였다.
- ② 평면선형과 종단선형이 조합된 3차원선형에서 곡선부 내의 주행속도 예측모형을 개발하였다.
- ③ 주행속도 예측모형식으로 예측된 주행속도에 의한 필요정지시거 값과 3차원시거 분석모형으로 산정된 3차원시거 값을 비교하여 도로일관성을 평가하는 방법을 제시하였다.

2. 향후 연구과제

본 연구는 다양한 형태의 기하구조에 따라 현장조사를 실시하고 모형을 구축하였지만 평면곡선과 종단곡선이 조합된 선형의 경우와 직선부, 직선부와 곡선부의 연결지점의 경우 일관성 평가가 어렵다는 것을 알 수 있었다. 이에 향후에는 다양한 선형조건에 따라 3차원시거를 고려한 일관성 평가가 이루어져야 할 것이며, 도로의 장애물이나 지형에 많은 영향을 받는 시거에 대해서도 충분한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서는 자료의 한계로 인하여 3차원시거와 교통사고와의 관계에 대한 규명이 어려웠으므로 향후에는 조사대상 범주를 확대함과 더불어 야간의 시거 연구, 그리고 3차원시거와 교통사고와의 관계 등에 대한 단계적인 연구를 진행시킴으로써 일관성 평가지표로서의 보다 세부적인 기준을 수립해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙”, 건설교통부.
2. 김상엽·최재성·양지은·김문겸(2006), “설계 일관성 평가 모형의 고찰과 개선방안 연구”, 한국도로학회논문집, 제8권, 제4호.
3. 박제진·최주용·하태준(2008), “3차원 입체선형을 고려한 도로시거산정모형 개발에 관한 연구”, 한국도로학회논문집, 제10권 제1호.
4. 이슬기·이용재·김상기(2006), “신뢰성을 고려한 도로 시거 설계의 제고”, 대한교통학회지, 제24권 제1호, 대한교통학회, pp.121~131.
5. 이점호(2000), “설계일관성 분석을 통한 도로선형설계의 적정성 평가 연구”, 서울시립대학교 박사학위 논문.
6. 정준화(2001), “주행속도를 이용한 도로의 평면선형 일관성 평가 모형 개발”, 서울대학교 일반대학원 박사학위논문.
7. 최재성(1998), “도로선형에 대한 설계일관성 평가 모형의 개발”, 대한교통학회지, 제16권 제4호, 대한교통학회, pp.195~211.
8. 최주용(2003), “도로의 입체시거 모형의 개발”, 전남대학교 일반대학원 석사학위논문.

9. 홍다희(2005), "고속도로의 교통운영특성 및 도로 선형요소를 반영한 주행속도예측모형 개발", 서울 시립대학교 석사학위논문.

10. K. Fitzpatrick and J.M Collins(2000), "Speed-Profile Model for Two-Lane Rural Highways", TRR 1737.

11. R. Lamm(2000), "Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook", McGraw-Hill.

12. Salvatore Cafiso, Alessandro Di Graziano, and Grazia La Cava(2005), "Actual Driving Data Analysis for Design Consistency Evaluation", Transportation Research Record 1912, TRB.

13. Hassan, Y., Easa, S.M., Abd EL Halim, A.O.(1996), "Analytical Model for Sight Distance Analysis on 3-D Highways Alignment", Transportation Research Record 1523, TRB.

14. Hassan, Y., Easa, S.M., Abd EL Halim, A.O.(1997), "Modeling Headlight Distance on 3-D Highway Alignment", Transportation Research Record 1579, TRB.

✉ 주 작 성 자 : 박제진
 ✉ 교 신 저 자 : 박제진
 ✉ 논문투고일 : 2008. 3. 5
 ✉ 논문심사일 : 2008. 4. 9 (1차)
 2008. 5. 14 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2008. 5. 14
 ✉ 반론접수기한 : 2008. 10. 31
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필