

■ 論 文 ■

입체선형의 주행속도를 고려한 편경사 안전을 산정에 관한 연구

Estimation of the Superelevation Safety Factor Considering Operating Speed at 3-Dimensional Alignment

박 태 훈

(전남대학교 토목공학과 박사과정)

김 중 호

(전남대학교 토목공학과 박사수료)

박 재 진

(전남대학교 공업기술연구소 선임연구원)

박 주 원

(원우기술개발(주) 대표이사)

하 태 준

(전남대학교 토목공학과 부교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 연구범위 및 방법
 - II. 기존 연구문헌 고찰
 - 1. 설계속도와 주행속도
 - 2. 평면선형에서의 주행속도 특성
 - 3. 평면선형에서의 편경사 산정
 - III. 자료 수집 및 분석
 - 1. 자료 수집
 - IV. 편경사 안전을 산정
 - 1. 편경사 안전을 산정 목적
 - 2. 주행속도를 고려한 편경사 산정
 - 3. 편경사 안전을 산정
 - V. 결론 및 향후 연구과제
 - 1. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 입체선형, 주행속도, 편경사, 안전율, 도로선형설계

요 약

도로를 건설하는 궁극적인 목적은 운전자의 편의성을 고려해야 함에도 불구하고 지금까지의 도로선형설계시 도로 이용자인 운전자를 고려하지 않고 있는 실정이다. 운전자의 편의성은 시간적 측면에서 정시성 및 신속성을 고려하고 있지만, 더불어 추가적으로 고려되어야 할 요소로서 사고에 대한 안전성을 감안해야만 한다.

본 연구에서는 지방부 일반국도 4차로 단곡선부의 1차로를 대상으로 입체선형의 주행속도특성을 고려한 편경사 안전율을 산정하고자 한다. 첫째, 기하구조의 영향을 분석하기 위해 선행차에 의해 영향을 받지 않는 승용차의 주행속도를 조사하였다. 둘째, 종단선형의 영향과 평면선형의 영향을 조합하여 6개 구간, 즉 12개 지점에서 주행속도를 측정하여 주행속도 특성을 기초 통계 분석하였다. 셋째, 기초 통계 분석 결과를 바탕으로 최대편경사를 새로운 안전율(α)개념을 도입하여 주행속도를 고려한 편경사값을 산정하였다.

연구결과, 입체선형에서 승용차의 주행특성을 알 수 있었고, 이를 고려한 안전율을 제시할 수 있었다. 최대편경사를 산정함에 있어 본 연구의 결과인 3차원적 입체선형을 고려한 안전율을 적용한다면 도로설계시 운전자의 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 더불어, 본 연구의 범위를 확장하여 다양한 기하구조를 가진 도로구간에 대한 자료를 수집·분석한 후, 3차원적 입체선형을 고려한 모델이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

The propriety between suppliers and demanders in geometric design is very important. Although the final purpose of constructing roads is to concern about the driver's comfort, unfortunately, it has not been considered so far.

We've considered the regularity and quickness in considering driver's comfort but there should be considered the safety for the accident as well. If drivers are appeared to be more speeding than designer's intention, there will be needed some supplements to increase the safety rate for the roads.

Even if both an upward and downward section are supposed to exist at the same time for solid geometry of the roads like this, it is true that the recent design for the 3-D solid geometry section has been done as flat 2-D and the minimum plane curve radius and the maximum cant have been decided just by calculating without considering operating speed between an upward and downward section at the same point.

In this investigation, thus, I'd like to calculate the safety of the cant by considering the speed features of the solid geometry for the first lane of four lane rural roads. To begin with, we investigated the driving speed of the car, which is not been influenced by a preceding car, to analyze the influence of the geometrical structure by using Nc-97. Secondly, we statistically analyzed the driving features of the solid geometry after comparing the 6 sections, that is, measuring the driving speed feature at 12 points and combining the influence of the vertical geometry and plane geometry to the driving speed of the plane curve which was researched before. Finally, we estimated the value of cant which considers the driving speed not by using it which has applied uniformly without considering it properly, though there were some differences between a designed speed and driving speed through the result of the basic statistical analysis but by introducing the new safety rate rule, a notion of α .

As a result of the research, we could see the driving features of the car and suggest the safety rate which considers these. For considering the maximum cant, if we apply the safety rate, the result of this experiment, which considers 3-D solid geometry, there'll be the improvement of the driver's safety for designing roads. In addition, after collecting and analyzing the data for the road sections which have various geometrical structures by expanding this experiment, it is considered that there should be developed the models which considers 3-D solid geometry.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도로선형설계에서 공급자와 수요자의 적정성은 매우 중요하다. 도로를 건설하는 궁극적인 목적은 운전자의 편의성을 고려해야 함에도 불구하고 지금까지의 도로선형 설계시 도로이용자인 운전자를 고려하지 않고 있는 실정이다. 운전자의 편의성에는 시간적 측면에서 정시성 및 신속성을 고려하고 있지만, 더불어 부가적으로 고려되어야 할 요소로서 사고에 대한 안전성을 감안해야만 한다. 만약, 운전자들이 설계자의 의도보다 과속하는 것이 현상으로 나타나면 도로의 안전율을 더 높일 수 있도록 하는 설계상의 보완책이 필요할 것이다.

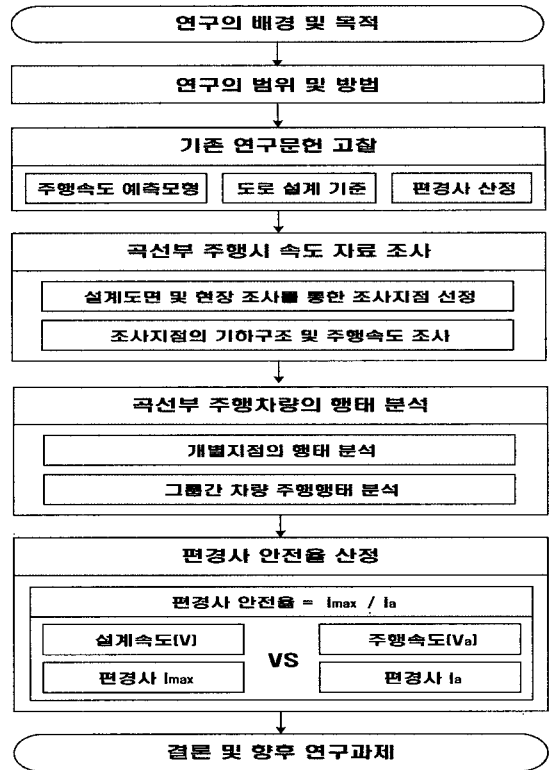
중단경사가 ±4% 이상인 입체선형구간에서는 평면선형뿐만 아니라 중단선형의 영향도 동시에 존재한다. 3차원적인 입체선형구간에 대한 현행의 설계는 평면 2차원으로 시행되어지고 있고, 동일 지점에 대한 오르막 구간과 내리막구간의 주행속도차이를 고려하지 않는 일률적인 계산에 의해 최소평면곡선반경과 최대편경사를 결정하고 있는 실정이다.

이러한 배경 하에, 본 연구는 지방부 4차로 도로의 입체선형을 주행하는 운전자의 주행행태를 고려하여 직선부와 같이 안전성과 쾌적성에 가장 큰 영향을 미치는 기본적인 요소인 편경사에 대한 안전율을 산정하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 지방부 4차로 도로중에서 평면선형과 중단선형이 조합되어 있는 입체선형 12개 구간을 공간적 범위로 설정하고 승용차 주행속도 특성을 1차로를 중심으로 조사하였다.

본 연구의 방법은 도로설계요소의 기본개념을 정립하고 기존의 평면선형에서의 승용차 주행특성 논문을 참고하여, 입체선형에서 현장 조사를 통하여 얻어진 자료를 통계 분석하여, 그 분석을 바탕으로 설계속도를 근거로 한 현행의 최대편경사와 곡선부 85백분위 주행속도를 근거로 최대편경사의 안전율을 제시하였다. 본 연구의 수행 흐름도는 <그림 1>에 나타나 있다.



<그림 1> 연구 수행 흐름도

II. 기존 연구문헌 고찰

1. 설계속도와 주행속도

1) 설계속도

AASHTO(1994)에 따른 설계속도는 ①지세, 인접 토지 이용 상황, 도로의 기능적 분류에 기초한 것으로, 이 속도는 ②운전자가 기대하는 정도의 속도를 유지할 수 있어야 하며, ③그 도로 유형을 이용하는 차량 속도의 누적 분포도에서 높은 값을(85백분위값)을 가져야한다.

도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(2000)(이하 도로구조령)에 따르면, 설계속도는 도로 설계요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 기후가 양호하고 교통 밀도가 낮으며 차량의 주행조건이 도로의 구조적인 조건에만 지배되고 있는 경우에, 평균적인 운전기술을 가진 운전자가 도로의 어느 구간에서도 안전하고 쾌적성을 유지하며 주행할 수 있는 최고속도이다.

2) 주행속도

AASHTO(1994)에 따르면, 주행속도는 양호한 기상조건과 구간별 설계속도에 의해 결정되는 안전 한계속도를 넘지 않는 일반 교통 조건에서 운전자가 주행할 수 있는 최고 구간 속도이다.

Fitzpartrick 등(1997)은 운전자의 85백분위가 주행하는 속도라고 규정했다.

2. 평면선형에서의 주행속도 특성

1) R. Lamm 등의 연구

차량이 주행하는 85백분위 속도를 주행속도로 정의하였고, 도로 설계를 <표 1>과 같이 분류하였다.

<표 1> 주행속도 변화에 따른 도로설계

	주행속도의 변화
좋은 설계	$\Delta V \leq 10 \text{ km/hr}$
적절한 설계	$10 \text{ km/hr} < \Delta V \leq 10 \text{ km/hr}$
불량한 설계	$20 \text{ km/hr} < \Delta V$

2) 최재성·정준하 등의 연구

지방부 2차로 도로를 주행하는 차량의 주행속도는 시거에 영향을 받으며, 이 최소시거를 통해 평면곡선상을 주행하는 차량의 주행속도를 예측하였고, 정준하 등은 국도 4차로를 대상으로 곡선부 및 전방 직선부 주행속도를 조사하여 주행속도에 영향을 미치는 요소 중 곡선반경을 가장 핵심적인 요소로 평가하였다.

3. 평면선형에서의 편경사 산정

도로는 평면적인 요소와 입체적인 형상이 조화를 이루어야만 하고, 자동차 주행시 운동학적 또는 역학적으로 안정감이 있도록 설계되어야만 한다. 특히, 도로의 곡선부를 주행하는 자동차는 원심력을 받게 되는데, 노면에 편경사를 설치함으로써 횡단방향으로 안정된 주행을 유지할 수 있다.

1) 이종달 등의 연구

곡선부 편경사의 결정에 있어서, 차량의 무게중심을 고려해 대형차를 기준으로 한 편경사 설치에 중점을 두어 좀

더 실제에 적합한 구조로 개선하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 차량의 무게중심에 대한 편경사 공식을 산정하였고, 도로구조령과 비교하였다. 산정된 값을 실제도로에 적용하여 그에 따른 3가지 대안을 제시하였고, 각 안에 대한 분석으로 최종적으로 가장 적합한 도로를 도출하였다.

III. 자료 수집 및 분석

1. 자료 수집

평면선형과 종단선형이 조합된 12개 지점을 설계도면과 현장조사를 통해 선정하였다. 개략적인 조사지점은 <표 2>와 같다. 평지와 오르막(내리막)의 구분은 승용차의 주행특성을 고려하여 종단경사 ±4%로 구분하였고, 주행방향을 기준으로 좌, 우로 나누었다.

일반국도 1호선 전라남도 목포~무안 구간의 3개 지점과 일반국도 2호선 전라남도 보성~별교 구간의 2개 지점, 일반국도 29호선 전라남도 화순~능주 구간의 1개 지점에서, 주행방향별로 12개 지점에 대해 1차로의 자유 속도 자료를 수집하였다.

<표 2>는 각 조사 지점의 곡선반경, 종단경사 등 선행조건을 정리한 것이다. 자료의 일관성을 위해 설계속도가 80km/hr인 구간과 신호등, 과속카메라, 횡단보도 등의 영향을 받지 않고 운전자가 시거 제약을 받지 않는 경우에 국한하여 조사 대상 구간을 선정하였다.

자료 조사는 미국 Nu-Metrics사의 NC-97을 이용하였고, 차량간의 간섭을 최소화하기 위하여 교통량이 적은 시간대(11시~15시)중에서 2시간을 선택하여 곡선부 시점 전방 100m, 곡선부 시점(BC), 곡선부 L/4, 곡선부 중앙(2L/4), 곡선부 종점(EC)에 NC-97 장비를 노면에 설치하여 차량의 주행속도를 측정하였다.

2. 자료 분석

6개 지점의 평면곡선부의 운전자의 행태를 분석한 결과, 평면곡선부에서의 속도 분포는 선행 연구에서 확인할 수 있는 바와 같이 곡선부 진입에서 속도가 감소하다가 중간부분에 최저속도를 보인 후, 점점 증가하는 행태를 나타내었고, 운전자들이 내리막보다는 평지에서 빨리 주행하는 것으로 나타내었다.

IV. 편경사 안전을 산정

1. 편경사 안전을 산정 목적

본 연구의 조사 대상 지점에서 운전자들이 직선 구간뿐만 아니라 곡선부 최소속도 지점에서도 설계속도를 초과하여 주행한다는 것은 도로 설계와 운영측면의 안전상에 문제가 있고 제한속도를 초과하는 범위가 클수록 사고율 또한 높아진다.

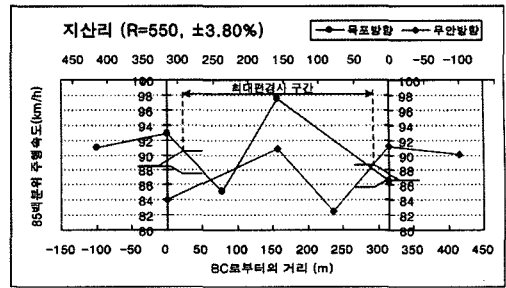
이런 과속에 대한 안전율을 높이는 방법은 대략 2가지 방법이 있다. 첫째, 설계 조건을 좋게 하는 것이지만, 이는 또 다른 과속의 원인을 제공하는 단점이 있다. 둘째, 다른 설계 요소를 강화해 주어 설계의 융통성을 확보해 주거나 연속 구간의 선형 일관성을 확보해 주는 것이다.

이와 더불어, 본 연구의 결과로 동일 구간에서 주행속도의 차이가 있음에도 불구하고 이를 반영하지 않고 일률적인 값만 적용했던 최대편경사를 새로운 안전율 개념을 도입하여 주행속도를 고려한 최대편경사를 산정하고자 한다.

2. 주행속도를 고려한 편경사 산정

평면곡선내 편경사 접속설치구간은 최대편경사가 6%이면 23.3m, 최대편경사가 5%이면 19.4m으로 곡선부 시작점에서 23.3m, 19.4m 떨어진 점에서부터 최대편경사가 시작된다. 수집된 속도자료를 바탕으로 동일 구간일지라도 <그림 2>와 같이 오르막과 내리막이 상존하므로 운전자의 85백분위수가 선택한 주행속도는 다르다는 것과 전구간에서 주행속도가 설계속도보다 높다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 설계속도를 배제하고 조사자료에 의해



<그림 2> 곡선부에서의 85백분위 주행속도

계산된 주행속도를 사용하여 도로구조령에서의 방법론을 이용하여 편경사를 산정하였다. <표 2>에 나타나 있다.

3. 편경사 안전을 산정

도로구조령에서는 설계속도가 80km/hr 일 때 평면 곡선반경을 기준으로 하여 최대편경사를 정의하고 있다. 곡선반경이 280m~420m 일 때는 최대편경사를 6%로 하고 420m~670m 이면 최대편경사가 5%으로 해야 한다고 규정하고 있다.

이를 본 논문에서는 설계속도가 아닌 해당 도로구간을 지나는 차량의 주행속도를 사용하여 도로구조령에서의 방법론을 따라 계산한 값과는 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다. 가장 주요한 원인으로서는 차량의 운전자들이 선택한 속도가 설계속도보다 높은 것과 한 도로구간일지라도 오르막, 내리막이 상존하기 때문에 각각의 주행속도가 다르다는 것이다.

이를 감안하여 동일한 평면곡선반경 범위에서 규정된 최대 편경사를 설치시 차량의 탑승자에게 횡방향력 으로 인한 불편감을 주기 때문에 기존에 최대 편경사에 안전율을 식(1)을 이용하여 산정하였다.

<표 2> 주행속도를 고려한 최대편경사 안전율

지형	곡선반경 (m)	설계속도 (km/hr)	85th 주행속도 (km/hr)	최대 편경사 (imax)	i+f	f2	ia(%) = (i+f)-f2	안전율 (a)
좌로 굽는 도로	평지	300	88.01	6	0.2033	0.1082	9.5	0.63
		500	93.75	5	0.1384	0.0495	8.9	0.56
	오르막	420	87.72	6	0.1443	0.0650	7.9	0.76
		550	88.54	5	0.1122	0.0425	7.0	0.71
	내리막	360	98.18	6	0.2108	0.0822	12.9	0.47
		570	101.25	5	0.1416	0.0401	10.2	0.49
우로 굽는 도로	평지	300	98.86	6	0.2565	0.1082	14.8	0.41
		500	103.17	5	0.1676	0.0495	11.8	0.42
	오르막	360	90.63	6	0.1797	0.0822	9.7	0.62
		570	87.95	5	0.1069	0.0401	6.7	0.75
	내리막	420	92.18	6	0.1593	0.0650	9.4	0.64
		550	90.54	5	0.1174	0.0425	7.5	0.67

$$\text{안전율 } \alpha = \frac{i_{\max}}{i_a} \quad (1)$$

이상의 자료를 바탕으로 비슷한 기하구조를 가진 지점, 즉 좌로 굽은 도로와 우로 굽은 도로를 우선 구분하고 좌로 굽은 도로중에서 평지, 오르막, 내리막으로 구분하여 계산된 안전율을 산술평균하여 <표 3>과 같이 안전율을 제시하였다.

<표 3> 기하구조에 따른 최대편경사 안전율

지형		안전율
좌로 굽은 도로	평지	0.60
	오르막	0.74
	내리막	0.48
우로 굽은 도로	평지	0.42
	오르막	0.69
	내리막	0.66

V. 결론 및 향후 연구 과제

1. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 첫째, 기존 연구문헌 고찰을 통해 국내·외 평면곡선부에서의 차량의 주행행태와 편경사 기초이론을 살펴보고, 둘째, 전라남도 지방부 2차로 도로중 기하구조 조건에 맞는 6개 지점의 상·하행의 주행속도 자료를 수집하여 운전자의 평면곡선부 주행행태를 분석하였고, 셋째, 기초 통계 분석 결과를 바탕으로 설계속도와 주행속도의 차이 및 동일구간에서 주행속도의 차이가 있음에도 불구하고 이를 제대로 반영하지 않고 일률적인 값만을 적용했던 최대편경사를 새로운 안전율(α) 개념을 도입하여 주행속도를 고려한 편경사를 산정하였다.

- 1) 6개 지점의 평면곡선부의 운전자의 행태를 분석한 결과, 평면곡선부에서의 속도 분포는 선행 연구에서 확인할 수 있는 바와 같이 곡선부 진입에서 속도가 감소하다가 중간부분에 최저속도를 보인 후, 점점 증가하는 행태를 나타내었고, 운전자들이 내리막보

- 다는 평지에서 빨리 주행하는 것으로 나타내었다.
- 2) 이러한 운전자의 주행속도와 설계속도의 차이로 인한 안전적인 문제점의 해소를 위해서 주행속도를 기준으로 편경사를 산정하였고, 기하구조 조건에 맞는 안전율을 도출하였다.
- 3) 그 결과, 평지에서 안전율이 0.42로 가장 낮게 나타남바 이의 해소를 위한 방안으로 평면선형과 종단선형이 조합된 입체선형에서는 오르막 및 내리막 도로보다는 오히려 평지에 안전시설물(갈매기 표지판, 도로표지병 등)을 설치하여 설계속도보다 과속하는 주행차량의 안전에 대비하여야 할 것으로 사료된다.
- 4) 향후 충분한 주행속도 자료와 기하구조 자료를 보충한다면 일반화된 편경사 안전율을 도출할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. AASHTO(2001), "A Policy on Geometric Design of Highway and Streets," TRB.
2. 건설교통부(2000), "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침".
3. Fitzpatrick(1997), "Predicting Operating Speeds on Tangent Sections of Two-Lane Rural Highway, TRR 1737.
4. 최재성(1995), "4차선 도로의 설계요소에 대한 교통안정성 분석 연구", 대한토목학회, 제15권 제3호.
5. 정준하(2000), "주행속도를 이용한 도로의 평면선형 안전성 평가 모형 개발", 서울대학교.
6. 고종대·장명순·정준화(2002), "국도 4차로 곡선부에서 주행속도의 특성 및 모형", 대한교통학회지, 제20권 7호, 대한교통학회, pp.95~105.
7. R. Lamm et al(1991), "Side Friction Demand versus Side Friction Assumed for Curve Design on Two-Lane Rural Highways", Transportation Research Record, 1303, TRB.

✉ 주 작 성 자 : 박태훈

✉ 논문투고일 : 2005. 10. 29

논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)

심사판정일 : 2005. 11. 30

✉ 반론접수기한 : 2006. 4. 30