

평면곡선부의 차량속도 및 교통사고 영향분석연구

The Effects of Horizontal Curves on Vehicle Speeds and Accidents

최재성

이점호

이동민

(서울시립대 도시공학과 교수)

(서울시립대 도시공학과 박사과정)

(서울시립대 도시공학과 석사과정)

< 목 차 >

I. 서론

1. 연구배경 및 목적
2. 연구접근방법

II. 기존연구문헌고찰

1. 속도변화의 설계기준
2. 주행속도 추정모형

III. 평면곡선에서 차량의 속도변동특성

1. 현장조사 및 분석방법
2. 분석결과

IV. 주행속도와 교통사고발생특성분석

1. 교통사고발생 현황
2. 속도변화와 교통사고의 관련성
3. 속도변화의 설계기준검토

VI. 결론

참고문헌

< 요약 >

본 연구는 평면곡선부의 차량속도변화와 교통사고에 대한 영향을 분석하기 위해 수행되었으며, 이를 위해 곡선반경별로 진입부 직선도로 - 곡선부 - 이탈부 직선도로로 구분하여 각 주행속도를 산정하였다. 본 연구에서는 선행차량에 의해 영향을 받지 않는 속도를 이용하여 평면곡선부 기하구조의 영향을 분석하였다. 이러한 곡선부의 주행속도를 분석한 결과, 곡선반경별 최저속도와 그 속도가 나타나는 위치를 분석하였고, 해당 도로구간의 교통사고자료를 분석하여 평면곡선부의 차량주행속도변화와 교통사고 발생간의 관계를 규명하였다. 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 운전자들은 곡선시작지점에 도착하기 전에 충분히 속도를 줄이고, 곡선부에서 가장 낮은 속도가 나타나는 위치는 곡선시점의 후방에서 나타나고 이는 운전자의 시거에 의한 영향이다. 둘째, 곡선부에서의 속도변화폭이 클수록 사고위험성은 크고 실제 교통사고의 발생건수도 높다. 본 연구의 결과에 의해 도로 주행의 안전성을 고려한 평가지표를 개발할 수 있으며, 이에 의한 일관성 있는 도로설계를 유도할 수 있다.

주요어 : 평면곡선, 주행속도, 교통사고,

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

우리나라에서는 그동안 운전자의 속도행태에 관해서 연구된 바가 거의 없었고 속도와 도로선형간 교통안전성에 대한 관계규명 노력도 미흡해 왔던 것이 사실이었다.

본 연구에서는 지방부도로의 평면곡선에서 도로선형의 일관성과 운전자의 주행속도간에 부조화가 어떻게 도로교통 안전에 영향을 미치는지 살펴보고, 주행속도변화와 교통사고발생건수의 관계를 규명하여 도로설계 및 개선평가에 반영하려는 데 연구목적이 있다.

2. 연구 접근방법

본 연구에서는 곡선 내에서 차량의 주행속도 변화와 사고발생율의 관계를 분석하기 위해 선행연구에서 제시된 주행속도추정모형결과와 현장조사결과 산출된 주행속도를 비교·분석하였으며 각 곡선반경별 곡선부에서 속도변화 행태를 분석 곡선내 최저속도 위치를 찾아내고, 이를 사고자료와 비교분석하여 평면곡선부의 기하구조와 차량속도 및 교통사고간에 영향을 분석하였다.

II. 기존 연구문헌 고찰

1. 속도변화의 설계기준

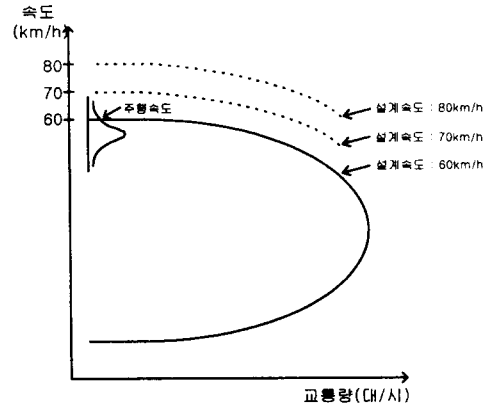
J. Leisch는 설계의 일관성을 평가하는 방법으로 설계 선형요소에 영향을 미칠 수 있는 속도변화폭이 10마일이라는 개념에서 출발한 설계일관성 평가기법을 제시하였다. 그리고 10마일 속도유지규칙을 다음과 같이 제안하고 있다.

- 설계속도의 감소는 피하도록 하며, 불가피 할 경우 10마일을 초과하지 않을 것.
- 주어진 설계속도 하에서 도로를 주행하는 자동차의 잠재적 속도는 일반적으로 10마일 이내에서 변할 것
- 트럭의 속도는 일반적으로 승용차의속도보다 10마일 이내에서 낮게 유지할 것

2. 주행속도추정모형

1) 주행속도의 개념

일반적으로 주행속도는 차량들의 85%속도를 산출함으로써 그 도로의 주행속도를 평가하고 있다. 따라서 <그림 1>은 자유속도 범주에 속하는 주행속도로서 설계속도와의 관계를 설명하고 있다.



<그림 1> 자유속도 범주에 속하는 주행속도

2) Leisch 방법

미국의 Leisch는 설계속도 방법의 한계를 극복하기 위해 설계속도의 새로운 개념과 적용방법을 제시하고 있다. 이 방법은 자유흐름 교통류하에서 직선상의 희망속도와 평면곡선상의 평균주행속도를 결정하였으며 승용차와 트럭의 가·감속도 산출은 속도변화 연속그래프를 이용하여 결정하였다. 여기에 10마일 속도규칙을 적용 도로의 설계일관성을 평가하도록 제안하고 있다.

3) Swiss 방법

Swiss모형은 평면선형과 종단선형의 기하학적 구조로부터 산출되는 'Project Speed'의 이론적인 속도를 근거로 하였으며 이는 Leisch의 방법과 비슷한 개념이다. 이 방법에서는 차량이 곡선에 접근하던지 혹은 곡선을 빠져나갈 때 가속 및 감속하는 거리인 'transition length'인 완화거리 개념을 적용하여 평면 및 종단선형상의 속도를 추정하였다. 이 모형에 의한 속도는 Leisch 방법보다 6~9km/h 정도 높게 산출되고 있으며 속도변화폭을 결정하기 위해서는 사전에 가·감속도를 측정해야 하는 문제가 있다.

4) German 방법

독일에서는 동일한 특성을 갖은 도로에서 "Curvature Change Rate(CCR)"인 곡률변화와 85%속도와의 관계를 통해 주행속도를 예측하여 편구배율, 정지시거와 같은 선형설계요소를 결정할 때 이 주행속도를 설계속도 대신 이용하고 있다. 곡률변화에 의한 방법은 운전자의

주행 특성을 잘 반영할 수 있고 다른 모형과 달리 도로폭에 의한 영향을 반영하고 있다.

5) McLean 방법

McLean은 호주의 2차선도로의 120개 곡선부에서 속도의 변화를 측정하여 분석한 결과, 차량의 주행속도는 시거나 다른 교통 및 도로 기하학적 요인들 보다 운전자의 희망속도에 지배적인 영향을 받는다는 것을 밝혀내고 회귀분석을 통하여 아래와 같은 희망속도와 곡선반경에 의한 85% 주행속도 추정모형을 개발하였다.

$$V_c(85) = 53.8 + 0.464 \cdot V_f - \frac{3.26 \cdot 10^3}{R} + \frac{8.5 \cdot 10^4}{R^2}$$

V_f : 곡선 내 차량속도 (km/h)

$V_c(85)$: 희망속도(85%의 자유속도) (km/h)

R : 곡선반경 (m)

6) 최재성 모형(K-DCEP)

최 재성 모형은 주행속도를 예측하여 도로 설계의 일관성을 평가하는 모형으로 평면곡선과 종단곡선 상에서 주행속도에 영향을 미치는 요소 중 시거를 가장 핵심적인 요소로 평가하고, 시거를 근거로 주행속도를 예측하여, 이에 따른 도로의 설계 일관성을 평가하고 있다. 이 모형을 통해 산출되는 평면곡선상의 속도는 최소시거를 적용하여 산출한 것이며 이 속도는 다른 속도추정모형에 의해 산출된 값보다는 낮은 경향을 갖는다.

$$V_h = -g(f \pm G)t + \sqrt{[g(f \pm G)t]^2 + 2g(f \pm G)SD_h}$$

SD_h : 곡선 내 최소시거

V_h : 곡선 내 최소속도

III. 평면곡선에서의 속도변화특성

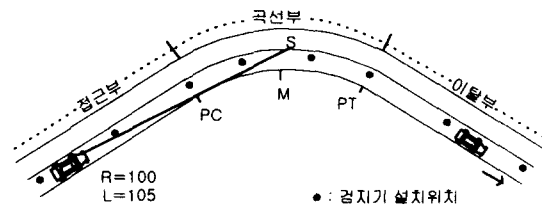
1. 현장조사 및 분석방법

1) 조사방법

전북지역을 관통하는 국도 노선 중 1번, 29번, 30번 국도를 대상으로 연구조건에 맞는 평

면곡선들을 공간적 연구범위로 정하였다. <표 1>과 같이 대상 지점들은 곡선 전·후로 200m이상의 직선구간을 갖은 단곡선으로 이루어진 도로이고, 해당 곡선은 곡선반경 0~300m까지는 50m간격으로 구분하고, 곡선반경 300~500m까지는 100m간격으로 구분하여 총 9개의 평면곡선도로를 선정·조사하였다. 또한 곡선부의 속도변화와 더불어 국도에서 운전자들의 희망속도를 측정하기 위해 800m~1500m의 직선도로가 충분히 확보된 구간에서 교통류의 간섭을 받지 않는 차량에 대해 85%속도를 측정하였다.

그리고 검지기는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 평면곡선의 진입부 2개소, 곡선부 4개소, 유출부 1~2개소로 나누어 설치하되, 곡선의 시작지점(PC)과 운전자의 시거 선이 도로의 중앙선과 만나는 지점(S)을 중심으로 설치위치를 선정하였다.



<그림 2> 곡선부의 검지기설치 위치

< 표 1> 조사지점의 도로 및 교통조건

구분	지명	교통조건		도로조건	
		평균속도 (km/h)	주행속도 (km/h)	곡선반경 (m)	곡선장 (m)
1	삼천교	54.7	65.6	50	80
2	신태인1	54.6	65.6	100	105
3	김제 3	65.5	73.6	150	144
4	용호	59.4	70.4	180	100
5	신태인2	66.5	76.8	220	110
6	김제 4	64.8	75.2	250	174
7	김제 2	66.7	80.0	300	120
8	김제 1	67.9	78.4	400	130
9	금구	73.8	86.4	500	100

※ 평균속도는 직선부의 평균속도이고 주행속도는 직선부의 85%속도를 의미함.

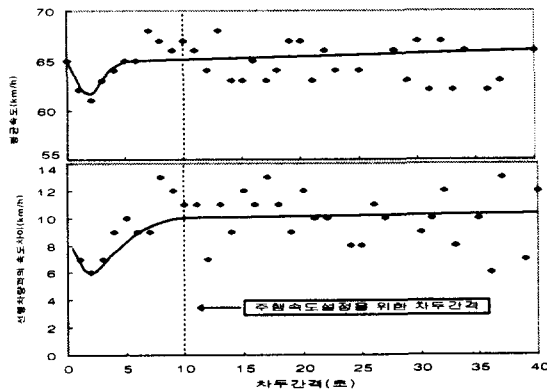
2) 분석방법

(1) 분석대상 차량분류 기준설정

O.K. Normann(1939)에 의하면 지방부 도로에서 차량간의 간섭을 설명할 수 있는 가장 중요한 지표는 연속적인 차량간의 평균속도차이

고, 이를 분석한 결과 차두간격이 9초이상 되면 주행하는 차량은 선행차량에 의해 영향을 받게 되고, 차두간격이 1.5초이하인 경우에 운전자들은 추월을 시도하게 된다고 하였다. 본 연구에서도 Normann의 분석방법을 이용하여 차두간격변화에 따른 평균속도 및 속도차이를 분석한 결과 <그림 3>에서 보는

바와 같이 차두간격이 9~10초일 때 주행하는 차량이 선행차량에 의해 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 이를 근거로 본 연구에서는 주행속도가 교통량의 영향을 받지 않고 도로기하구조에 의해 영향을 받는 차량들의 분류기준을 차두간격 10초로 삼아 분류하였다.



<그림 3> 선행차량과 차두간격및속도차이

(2) 곡선반경별 조사대상차량의 최저속도

평면곡선에서의 속도변화 행태를 평가하기 위해 교통류에 의해 간섭되지 않는 차량들을 분류한 결과 전체교통량 중 교통류 간섭을 받지 않는 교통량과 곡선내에서 최저속도는 <표 2>와 같이 나타났다. 이 최저 속도는 곡선을 주행하는 차량들이 갖게 되는 가장 낮은 속도로서 주행의 안전성을 평가할 수 있는 지표로 중요한 의미를 갖는다. 본 연구에서는 이러한 곡선내의 최저속도의 값과 최저속도를 갖게되는 위치를 분석하여 사고 자료와 비교·평가하였다.

<표 2> 곡선반경별 최저속도

곡선반경(m)	최저속도(km/h)	분류결과 차량대수(%)
50	39.5	49(19)
100	57.2	77(15)
150	60.5	65(9)
180	57.3	72(14)
220	67.9	72(21)
250	64.9	71(19)
300	66.8	101(21)
400	63.2	76(15)
500	71.1	91(14)

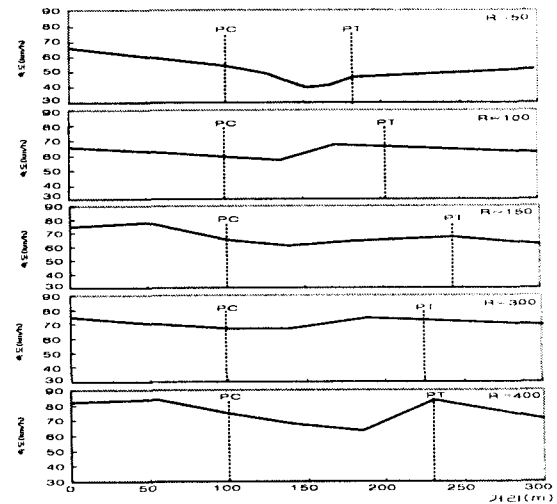
2. 분석결과

1) 평면곡선부에서 속도변화

주행속도 변화를 확인하기 위해 곡선반경별로 접근부-곡선부-유출부의 속도를 조사했으며 <표3>은 그 결과를 나타낸 것이다. 회망속도로 직선부 도로를 주행한 운전자들은 곡선부에 접근하기 전에 어느 정도 속도를 줄이게 되고, 곡선 내에서 최저 속도까지 감속하였다가, 다시 가속하여 회망속도로 회복하게 된다. 이 과정에서 최저속도가 나타나는 지점은 곡선에서 속도 변화 폭이 가장

<표 3> 곡선상의 평균주행속도변화

곡선 반경	평균 주행속도			
	접근부	PC	최저속도	유출부
50	65.9	54.2	39.5	50.8
100	65.4	59.4	57.2	65.8
150	75.1	65.2	60.5	67.2
180	69.7	66.5	57.3	71.0
220	78.9	81.8	67.9	78.5
250	78.9	67.5	64.9	71.4
300	80.2	66.8	66.8	73.0
400	81.9	74.6	63.2	83.4
500	87.3	81.6	71.1	74.4



<그림 4> 곡선반경별 평균주행속도의 변화

큰 지점으로 교통안전상 매우 중요한 의미를 지니는 지점이다. 따라서 속도와 관련한 현장조사 자료를 분석한 결과 최저속도는 곡선이 시작하는 PC지점에서 나타나는 것이 아니라 곡선 반경별로 PC지점을 지난 20~80m 정도에서 가장 낮은 평균주행속도 분포를 나타내고 있었다.

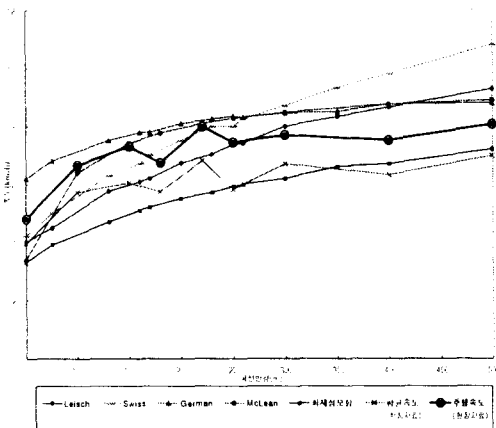
연구결과 <그림 4>에서와 같이 곡선내에서 주행하는 운전자들의 최저속도가 나타나는 지점은 이 곡선 시작 지점인 PC지점이나 곡선의

중앙지점보다는 곡선시작지점과 곡선의 중앙지점 사이에서 나타나는 것으로 분석되었다. 그리고 이 지점은 접근부의 직선구간에서 운전자가 갖게 되는 시거선이 차로 중앙선과 만나는 지점이다.

곡선의 선형과 속도 그리고 교통사고 자료를 분석한 결과 곡선부 운전자의 속도변화 행태에 따라 교통사고의 위험도가 상당히 높게 내재해 있다는 것을 확인할 수 있었다.

2) 각 주행속도추정모형과의 비교

이 주행속도는 현장속도 값의 85%속도를 산출한 것으로 <그림 5>에서 보는 바와 같이 곡선반경이 작은 경우에는 각 모형과 비슷한 값을 보이나, 곡선반경이 300m이상인 경우에는 외국모형추정속도 변화가 10~20km/h 정도 높은 값을 산출하고 있음을 알 수 있었으며 최재성모형과 German 모형은 현장조사 결과치를 잘 설명 해주는 경향을 보이나 German모형은 현장조사결과 값보다 10kph정도 높게, 최재성모형은 10kph정도 낮게 추정되는 것으로 나타났다. 따라서 우리나라의 지방부 2차로도로에 적용하기 위해서는 속도추정모형의 조정이 이루어져야 할 것으로 검토되었다.



<그림5>추정모형의 속도와 현장조사속도

IV. 주행속도와 교통사고발생특성분석

1. 교통사고발생 현황

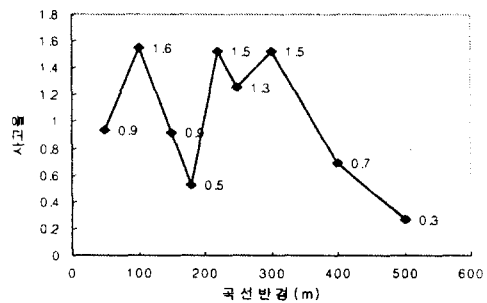
연구대상지점의 최근3년(96~98년)동안의 사고를 분석한 결과 교통사고 총 발생건수는 총 90건이 발생하였으며 곡선반경별, 그리고 사고발생위치별 사고발생건수는 <표 4>에서 보는 바와 같다. 전체사고건수 90건 중 특히 곡선부에서 발생된 사고는 전체의 77.8%인 70건이 발

생하여 곡선 내에서의 사고위험성을 확인할 수 있었다.

그러므로 본 연구에서는 곡선부 도로에 초점을 두어 주행속도변화에 따른 사고분석을 실시하였고, 특히 최저속도가 발생하는 위치, 사고변동 폭등과 사고발생의 관계를 비교하였다. <그림 6>은 각 곡선반경에 따른 사고발생율을 나타내고 있다. 각기 다른 지형조건과 연평균교통량에 의해 산출된 값이므로 특정 추세를 보이고 있지는 않지만 곡선반경 100~300m의 도로에서 주로 사고가 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.

<표 4> 평면곡선상의 위치별 교통사고

위치	계	접근부	곡선부	유출부
총계	90	13	70	7
R=50	10	1	8	1
R=100	10	·	9	1
R=150	9	2	7	·
R=180	7	1	5	1
R=220	8	2	6	·
R=250	16	2	13	1
R=300	15	1	14	·
R=400	9	1	6	2
R=500	6	3	2	1



<그림 6> 최근 3년간 곡선반경별 사고율

2. 속도 변화과 교통사고의 관련성

1) 평면곡선에서 개별차량의 속도변화

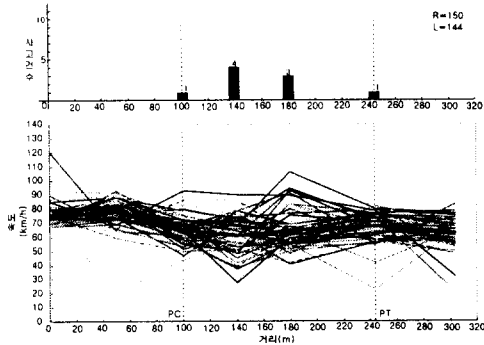
주행속도의 변화정도를 분석한 결과<표5>와 같이 실제 접근부의 평균주행속도와 곡선상의 최저속도간에 차이는 평균 10.3 ~ 20.5km/h 폭으로 속도변화를 나타내고 있었다. 한편 진입부 직선도로의 주행속도에 비해 곡선부에서 가장 낮은 속도가 관찰된 곳은 곡선시작지점(PC)의 약 30m 후방지점이었다. 이는 PC지점에서 가장 낮은 속도가 관찰되리라는 최초 예상과는 다른 결과이었다. 이 지점은 접근부의 직선구간에서 운전자 시거선을 연장시켰을 때 차로의 중앙선과 만나는 지점(그림 1에서 S지점)으로 운전자가 직선구간에서 곡선으로 접근 할 때 운전자

시거선이 최초로 사라지는 지점인 것으로 판단된다. 그리고 교통사고발생 건수도 PC지점의 약 30m 후방지점에서 37건, 약 60m 지점에서 25건이 발생하여 각각 총 사고 90건 중 41%, 28%를 차지하고 있어 사고위험성이 높은 지점임 알 수 있다.

<표 5> 속도 변화와 교통사고

측점		1~2	1~3	1~4	1~5	1~6	1~7
평균	①	10.3	13.5	20.5	19.0	15.2	17.1
	②	7(8)	7(8)	37(41)	25(28)	11(12)	3(3)
50	①	11.9	16.9	21	26.5	24.5	20.2
	②	1	.	2	3	3	1
100	①	10.9	16.1	24.1	10.6	8.6	12.3
	②	.	1	4	4	.	1
150	①	3.7	16.9	33.2	28.1	16.5	24.4
	②	.	1	4	3	1	.
180	①	7.1	3.2	6.3	12.3	2.6	-1.3
	②	.	1	1	3	1	1
220	①	12.4	1	12.3	18.6	9.3	17.3
	②	2	.	3	2	1	.
250	①	21.5	24.1	28.8	21.2	21	25.3
	②	2	3	6	3	2	.
300	①	16	22.1	20	13.9	14.7	17.1
	②	1	1	10	3	.	.
400	①	4.3	15.8	22.5	22.5	26.6	21
	②	1	.	5	1	2	.
500	①	5.6	5.6	16.2	17.6	12.9	17.5
	②	.	.	2	3	1	.

- ① 접근부와 곡선내 주행속도차이
- ② 교통사고 발생건수(%)



<그림 7> 곡선반경별 사고건수와 속도제적

2) 평면곡선에서 개별차량의 주행속도분석

본 연구에서는 McLean의 방법에 의해 85~89km/h로 희망속도가 산출되었으며, 곡선전방 100~160m지점에서 속도를 측정한 결과 직선도로에서 높은 속도로 주행하는 차량들은 곡선에 이르기 전에 곡선반경별로 65~83km/h의 속도로 감속하였다. 이는 곡선반경이 작을수록 운전자는 PC로부터 먼 지점에서 곡선에 대한 반응으로 미리 속도감소를 하기 때문으로 판단된다.

<그림 7>은 9개의 조사지점 중 곡선반경 150, 250, 300m의 곡선에서의 사고건수와 차량 속도제적간의 관계를 보여주고 있다.

3. 속도변화의 설계기준 검토

도로상의 주행속도의 변화폭에 대하여 미국에서는 도로설계 및 평가 시 10마일 속도규칙을 사용하고 있다. 본 연구결과에 따르면 곡선 진입 시 속도에서 곡선 내 최저속도로 12.3~33.2km/h의 속도변화가 있는 것으로 나타났으며, 교통사고도 이 속도변화폭과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

분석결과 속도 변화폭이 10마일(16km/h) 이내인 경우에는 대부분 교통사고 발생빈도가 낮게 나타났고, 10마일을 초과하여 속도변화가 일어난 경우에는 교통사고의 발생빈도가 높고, 특정지점에서 집중적으로 발생하는 현상을 나타내고 있어 우리나라에서도 10마일 속도규칙이 잘 설명되는 것으로 분석되었다.

V. 결론

지방부 2차로도로 평면곡선에서의 속도변화 행태를 분석하여 곡선상의 사고위험성을 교통사고자료와 비교·분석한 결과

- 곡선내에서 주행속도는 접근부 직선도로에서 운전자의 시거선이 도로중앙선과 만나는 지점에서 가장 낮게 나타났다.
- 평면곡선의 진입전 속도와 곡선내의 속도차이는 교통사고발생에 밀접한 영향을 미치고, 그 속도차이가 클수록 교통사고의 빈도는 높게 나타났다.

한편 본 연구의 향후 연구과제는 다음과 같다.

- 도로조건 및 교통조건을 반영한 주행속도산정 모형의 개발
- 주행속도 변화에 따른 도로설계의 일관성 및 안전성 평가지수개발
- 평면곡선 상에서의 차량들의 감속 및 가속율의 산출