

■ 論 文 ■

# 국도 4차로 곡선부에서 주행속도의 특성 및 모형

Characteristics and Modeling of Operating Speed at Horizontal Curves on Rural Four-Lane Highways

**고 증 대**

(삼성교통안전문화연구소  
선임연구원)

**장 명 순**

(한양대학교  
교통시스템공학과 교수)

**정 준 화**

(한국건설기술연구원  
선임연구원)

## 목 차

- |                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| I. 서론                   | 1. 자료 수집        |
| 1. 연구 배경 및 목적           | 2. 자료 분석        |
| 2. 연구 범위 및 방법           | IV. 모형 개발 및 검증  |
| II. 기존연구고찰              | 1. 모형 개발        |
| 1. 설계속도 및 주행속도          | 2. 모형 검증        |
| 2. 평면선형에서의 주행속도 특성 및 모형 | V. 결론 및 향후 연구과제 |
| III. 자료 수집 및 분석         | 참고문헌            |

Key Words : 설계속도, 주행속도, 곡선반경, 제한속도, 모형

## 요 약

특정 설계속도 기준에 따라 도로의 선형 조건이 주어졌을 때, 설계자가 기대했던 것만큼의 속도로 운전자가 차량을 주행하는지는 도로의 안전성을 좌우하는 기본 틀을 형성한다. 본 연구는 국도 4차로 평면 단곡선부의 1차로를 공간적 범위로 설정하고, 진입부 직선도로~곡선부도로~진출부 직선도로로 구분하여 선행차량에 의해 영향을 받지 않는 승용차의 주행속도를 NC-97장비를 이용하여 조사하였다.

다양한 곡선부 기하조건하에서 직선부 85백분위 주행속도( $V_t$ )와 곡선부 85백분위 주행속도( $V_c$ ) 특성을 분석한 결과, 곡선부에서 평균 53~65%정도의 많은 운전자들이 제한속도(80kph) 보다 평균 14~20kph 정도 높게 주행하고, 곡선부 85백분위 주행속도가 낮은 지점은 곡선반경이 작을 때는 곡선부 중앙(2L/4)이었으나 곡선반경이 커지면 곡선부 L/4지점으로 이동(단, L=곡선장)하고, 곡선반경에 따른 직선부·곡선부 85백분위 주행속도 차이는 곡선반경이 작을수록 커지고 곡선반경이 클수록 작아진다는 연구 결과가 도출되었다. 또, 현장조사결과와 개발한 모형을 통하여 곡선부 주행속도에 영향을 미치는 중요한 인자로는 곡선반경과 직선부 85백분위 주행속도라는 연구결과가 도출되었다.

## I. 서론

### 1. 연구 배경 및 목적

속도가 도로의 선형을 결정하는 가장 중요한 인자라는 점에서, 도로가 안전한지를 판단하는 주요 지표로 속도를 택하고, 도로 선형 조건에 따라 속도가 어떻게 변하는지를 파악하여 안전성을 평가하는 방안을 모색하였다. 특정 설계속도 기준에 따라 도로의 선형 조건이 주어졌을 때, 설계자가 기대했던 속도로 운전자가 차량을 운행하는지의 여부는 도로의 안전성을 좌우하는 기본 틀을 형성한다. 본 연구는 수요자가 선택한 속도 수준(주행속도, Operating Speed)과 설계자가 공급한 속도 수준(설계속도, Design Speed)의 상관성을 염두에 두고 문제에 접근하는 방식을 따르는 것이다.

현장 조사를 통하여 곡선부 기하조건과 직선부 85백분위 주행속도( $V_t$ )와 곡선부 85백분위 주행속도( $V_c$ )를 조사하여 4차로 국도 곡선부에서 선형 조건별로 곡선부 85백분위 주행속도 변화를 산정하는 모형을 제시하고자 하였다. 그리고, 개발 모형을 응용하는 측면에서는 도로 곡선부의 안전성을 평가하는 방안으로 곡선부 내 안전성 강화 방안과 곡선부 안전성 평가 기준 연구에 활용될 수 있다.

### 2. 연구 범위 및 방법

도로의 선형은 평면선형과 종단선형으로 이루어지는데, 본 연구는 평면선형에 국한하여 일반국도의 지방부 4차로 도로에서 평면 곡선부의 승용차 속도 특성을 1차로를 중심으로 조사하였으며, 평면선형의 주종을 이루는 단곡선부를 공간적 범위로 설정하여 수행하였다.

국내·외 도로 구조 및 설계 현황을 파악하기 위하여 국내·외 도로 기하구조(평면선형 중심) 설계 기준 자료를 수집 및 분석하였다. 곡선부 교통 특성을 파악하기 위하여 곡선부 교통류 특성에 대한 이론, 곡선부 차량 주행 특성, 교통류 특성 현장 조사 및 분석을 수행하였다.

곡선부 주행속도 산정 모형을 수립하기 위하여 모형 수립 과정에 필요한 현장 조사 자료에 대하여 통계 분석을 하였고 분석된 자료를 토대로 곡선부를 주

행하는 차량들의 주행 특성을 반영한 '곡선부 85백분위 주행속도 산정 모형'을 제시하였다.

## II. 기존연구고찰

### 1. 설계속도 및 주행속도

#### 1) 설계속도

건설교통부(도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000)에 따르면, 설계속도는 도로설계요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 기후가 양호하고 교통밀도가 낮으며 차량의 주행조건이 도로의 구조적인 조건만으로 지배되고 있는 경우에, 평균적인 운전기술을 가진 운전자가 도로의 어느 구간에서도 안전하고 쾌적성을 유지하며 주행할 수 있는 최고 속도이다.

AASHTO(1994)에서 설계속도는 i) 지형, 인접토지 이용 상황, 도로의 기능적 분류에 기초한 것으로, 이 속도는 ii) 운전자가 기대하는 정도의 속도를 유지할 수 있어야 한다. 선정된 설계속도는 도로상의 곡선반경, 편경사, 시거, 차로폭, 길어깨 폭의 기하 요소에 대해 최소의 값을 설정하기 위해 사용되는 속도이다.

설계속도 개념의 전제는, 설계속도는 도로의 전체 선형에 대해서 선정되어야 하며 선형은 설계속도와 반드시 같거나 또는 설계속도보다 높아지도록 요구되고 있다. 그러나, 설계속도는 설계속도의 최소값 적용 문제와 직선부와 곡선부 사이의 사각 지대 등과 같은 선형의 안전성 확보 측면의 문제점을 노출시키고 있다.

#### 2) 주행속도(Operating Speed)

AASHTO(1994)는 주행속도를 양호한 기상조건과 구간별 설계속도에 의해 결정되는 안전 한계속도를 넘지 않는 일반 교통 조건하에서 운전자가 주행할 수 있는 최고 속도로 정의하였다.

Krammes 등(1996)은 이 정의가 이해하기 어렵고 실질적인 유용성이 없음을 밝혔다. 이들은 주행속도를 운전자들이 조작하는 차에 의해 관측되는 속도로 정의하였다. 속도 표본에서 85백분위 속도를 특정 지점에서의 주행속도로 추정하는 방법은 미국에서 표준화된 방법이다.

특히, 설계속도가 사실상 곡선부 특정 지점에만 적용할 수 있는 개념인데 비해 주행속도 개념은 지정보

다는 전체 선형 조건을 대상으로 속도의 일관성과 안전성 문제를 점검하는 데에 아주 유용한 개념이다.

**2. 평면선형에서의 주행속도 특성 및 모형**

관측된 속도표본의 85백분위 속도는 선형 요소에서 주행속도를 설명하기 위해 사용되는 통계치이다. Fitzpatrick, K. 등(1997)은 운전자의 85백분위가 주행하는 속도는 미국내 기존 도로에 속도 한계를 정하는데 사용되는 가장 일반적인 것이며, 이 85백분위 속도는 국제적으로도 주행속도의 척도로써 받아들여지고 있다고 설명한다.

**1) J. R. McLean의 연구**

J. R. McLean(1979, 1981)은 호주에서 지방부 2차로 도로 평면곡선에 대하여 연구하였는데, 설계속도가 90kph보다 낮을 때 85백분위 주행속도는 기하 요소의 설계속도보다 높고, 설계속도가 100kph보다 높은 경우에는 일반적으로 설계속도보다 낮다는 결론을 얻었다. 이 결과는 주행속도가 설계속도보다 높지 않을 것이라는 기본적인 가정과는 대조적이다.

또, 상류부 도로 여건을 정량적으로 반영하였는데, 해당 지점의 기하구조 요건 외에 상류부 도로의 전반적인 기하 요건과 주변 개발 여건을 주행속도 형태로 고려한 모형이다.(결정계수=0.92)

$$V_c(85) = 53.8 + 0.464V_F - 3.26(1/R) \times 10^3 + 8.5(1/R^2) \times 10^4$$

$V_c(85)$  : 자유 교통류 조건하에서 승용차 운전자 중 85백분위 속도로 표현되는 주행속도 (km/h)

$V_F$  : 자유교통류 상황에서 선형요소에 제한받지 않는 직선구간에서 85백분위 운전자가 선택한 속도(km/h)

$R$  : 곡선반경(m)

**2) Leisch and Leisch 등의 연구**

Leisch and Leisch 등(1988)은 1970년대에 설계속도에 대한 정의를 도로의 설계와 물리적 특성의 상관성에 의해 결정되는 대표적 잠재 주행속도로 수

정하였다. 그들은 '10mph 규칙'을 반영하기 위해 설계속도 개념을 수정할 것을 제안하였다.

'10mph 규칙'은 첫째, 설계속도의 감소는 피해야 하며, 필요한 경우에는 설계속도 감소분이 10mph를 넘어서는 안된다. 둘째, 잠재적 승용차 속도는 선형 전반에 걸쳐 10mph보다 크게 변동되어서는 안된다.

**3) R. Lamm 등의 연구**

R. Lamm 등(1988)은 차량이 주행하는 85백분위 속도를 주행속도로 정의하였고, 도로 설계를 다음 3개의 카테고리 분류하였다.

- 좋은 설계(Good Design) : 곡률도의 변화가 5보다 작거나 같은 경우, 또는 주행속도의 변화가 10kph보다 작거나 같도록 하는 설계
- 적당한 설계(Fair Design) : 곡률도의 변화가 5보다 크고 10보다 작은 경우, 또는 주행속도의 변화가 10kph보다 크고 20kph보다 작도록 하는 설계
- 불량한 설계(Poor Design) : 곡률도의 변화가 10보다 큰 경우, 또는 주행속도의 변화가 20kph보다 크도록 하는 설계

또, 85백분위 주행속도에 영향을 주는 변수로서 곡률도(Degree of Curve)·차로폭·길어깨 폭·AADT를 발견하였으나 곡률도를 제외한 나머지 변수는 주행속도에 대한 설명력이 5%를 초과하지 않아 가장 중요한 변수로 곡률도를 사용하였다.(결정계수=0.787)

$$V_c(85) = 94.37 - 1.83DC$$

$DC$  : 곡률도(°/100ft)

**4) Islam, M.N 등의 연구**

Islam, M.N 등(1994)은 곡선부를 곡선부시점(BC), 곡선부중앙(MC), 곡선부종점(EC)으로 구분하여 조사하였는데 전체적으로 결정계수의 값이 높게 나왔다.(결정계수  $PC=0.99$ ,  $MC=0.98$ ,  $PT=0.9$ )

At  $PC$  :  $V_c(85) = 95.41 - 1.48DC - 0.012DC^2$   
 At  $MC$  :  $V_c(85) = 103.03 - 2.41DC - 0.029DC^2$   
 At  $PT$  :  $V_c(85) = 96.11 - 1.07DC$

DC : 곡률도(°/100ft)

$$V_c(85) = 95.809 - 4646.9(1/R)$$

5) R. A. Krammes 등의 연구

R : 곡선반경(m)

R. A. Krammes 등(1995)은 미국 5개주에서 경사 5%미만이며 곡률각이 3~12도인 138개의 표본을 조사하여 McLean(호주)의 연구에서 설계속도가 90kph보다 작거나 같을 때, 평면곡선의 주행속도는 설계속도를 넘는다는 사실을 확인하였다. 또, 곡선부에서 주행속도를 예측하기 위한 가장 중요한 독립변수로서 곡률각, 곡선길이, 교차각이 있음을 밝혀내었다.(결정계수=0.82)

$$V_c(85) = 102.45 - 1.57D + 0.0037L - 0.10I$$

DC : 곡률도(°/100ft)

L : 곡선장(m)

I : 교각(°)

6) 최재성의 연구

최재성(1998)은 2차로 도로상에서 주행속도에 영향을 미치는 요소 중 시거를 가장 핵심적인 요소로 평가하고 이 시거를 통해 주행하는 차량의 주행속도를 예측하였고, 평면곡선상의 주행속도는 최소시거를 적용하여 산출하였다.

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

$V_h$  : 평면곡선에서의 최소주행속도(m/s)

t : 인지반응시간(2.5초)

g : 중력가속도(9.8m/s<sup>2</sup>)

f : 노면마찰계수

G : 종단구배(%)

SD<sub>h</sub> : 평면곡선구간에서 확보되는 최소시거(m)

7) 정준화 등의 연구

정준화 등(2000)은 국도 4차로를 대상으로 곡선부 및 전방 직선부 주행속도를 조사하여, 주행속도에 영향을 미치는 요소 중 곡선반경을 가장 핵심적인 요소로 평가하였다.(결정계수=0.801)

III. 자료 수집 및 분석

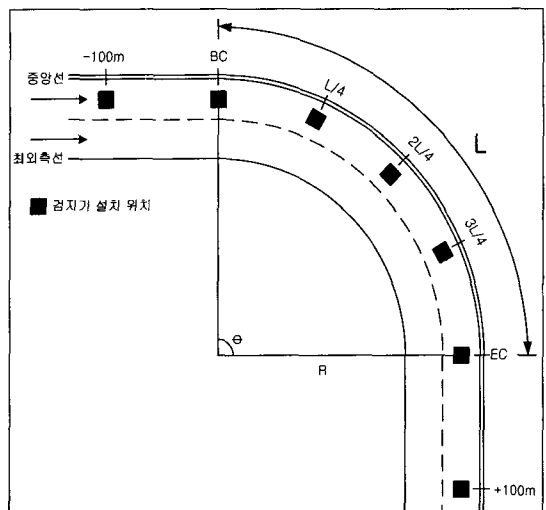
1. 자료 수집

현장 접근이 용이한 수도권에서 가까운 지방부 국도 4차로 도로의 현장 답사를 통하여 평면선형을 중심으로 다양한 곡선반경과 다양한 곡선 길이를 가지며 신호등, 과속카메라, 횡단보도, 노변 출입 교통류의 영향을 받지 않고 운전자가 시거 제약을 받지 않는 경우에 국한하여 조사 대상 구간을 선정하였다.

교통량이 적은 시간대(11시~15시)중에서 2시간을 선택하여 곡선부 전방 100m, 곡선부 시점(BC), 곡선부 L/4, 곡선부 중앙(2L/4), 곡선부 3L/4, 곡선부 종점(EC), 곡선부 후방 100m 지점(단, L=곡선장)에 NC-97 장비를 설치하여 차량의 주행속도를 수집하였다.

<표 1>은 조사된 34개 지점의 도로기하구조이며, 모든 조사 대상 구간의 제한속도는 80kph로 동일하다.

<그림 2>는 NC-97 원본자료를 가공하여 차량이 검지기 위를 지나갈 때 차량의 검지시각(시:분:초), 지점속도(km/h), 길이(m), 검지상태를 보여준다.



<그림 1> 곡선부 주행 속도 조사 장비 위치

〈표 1〉 조사 지점의 기하구조

지점	곡선 반경(m)	곡선 길이(m)	종단경사 (%)	교각 (도)
은대 3리(상·하행)	300	270	±1.4	52
SK주유소앞(하행)	360	350	-0.9	64
동두천시계(하행)	280	290	-2.3	51
연속구간(상행)	300	120	-3.5	22
검문소전방(하행)	320	180	-1.5	36
힐튼호텔앞(하행)	280	290	+3.1	59
구룡가든앞(상·하행)	280	290	±3.2	63
다원섬터앞(상·하행)	380	370	+1.85	51
수양4리(상행)	340	260	-1.65	33
전통공예가구(상행)	500	370	+2.7	44
안성문화회관 (장호원·안성행)	380	260	0	38
부림주유소 (장호원·안성행)	360	330	+0.8	50
두원공대 (장호원·안성행)	400	280	0	41
17호선분기(안성행)	400	240	+0.5	31
일죽휴게소 (장호원·안성행)	320	248	±3.6	26
도자기공원 (장호원·안성행)	450	440	±3.6	53
대중휴게소(용인행)	300	190	0	27
용인장례식장(용인행)	350	200	0	19
한미냉장앞(양지행)	300	160	-2.5	47
이천시계(양지행)	300	290	-2.6	42
택평IC부근 (양지·용인행)	280	390	0	75
남한산성(상·하행)	300	570	±1.2	54
용인IC 전방 (용인·광주행)	320	320	0	16

Date	Time	Speed	Length	Status
4-May-92	12:00:43	84	5.2	*OK*
4-May-92	12:00:48	87	3.7	*OK*
4-May-92	12:00:53	85	3	*OK*
4-May-92	12:00:54	82	4	*OK*

〈그림 2〉 NC-97 자료 형태

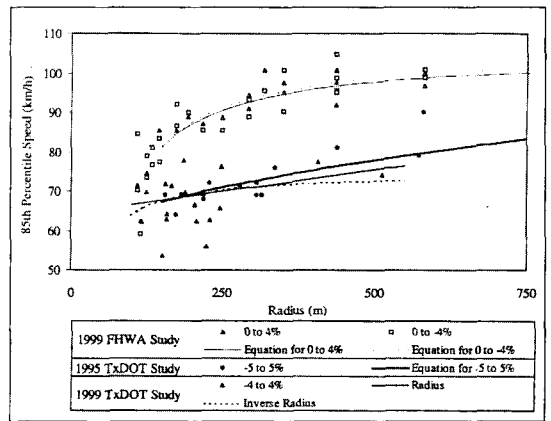
Free Flow Speed 상태의 자료를 만들기 위하여 자료의 Status에 "GONE", "STOP"으로 표시된 불량 자료와 대형차량(7m 이상)과 Headway가 3초 이하

이고 직선부와 곡선부에서  $60\text{km/h} \leq V \leq 120\text{km/h}$  속도 범위를 벗어난 자료는 제거하여 정리하였다.

## 2. 자료의 분석

### 1) 자료분석을 위한 가정

해당 조사 구간은 단곡선으로 이루어졌고, 평면과 종단 곡선이 조합된 경우 경사가  $\pm 4\%$  이내는 종단 영향이 없다고 가정하였다(FHWA, 1999).



〈그림 3〉 85백분위 주행속도에 대한 종단의 영향

### 2) 85백분위 주행속도 특성 기초 분석

#### (1) 제한속도(80kph) 초과차량의 비율(%)

〈표 2〉에서 곡선 진입부 전방과 진출부 후방에 가까울수록 제한속도를 초과하는 차량들의 비율이 많아지고, 그 비율은 평균 53~65%로서 많은 운전자들이 과속하고 있음을 보여준다.

#### (2) 제한속도(80kph) 초과량(kph)

〈표 3〉에서 곡선 진입부와 진출부에 가까울수록 제한속도를 초과하는 차량들의 비율이 많아지고 평균 14~20kph 높으며, 전체에서 속도가 가장 낮은 곳도 85kph로 과속의 심각함을 보여준다.

#### (3) 85백분위 주행속도 최저 지점

〈표 3〉에서 최저 85백분위 주행속도가 발생하는 지점은 곡선부 시점(BC)에서는 4%, 곡선부 L/4지점은 40.5%, 곡선부 중앙(2L/4)에서는 40.5%, 곡선부 3L/4 지점은 15%로 나타났다.

〈표 2〉 제한속도 초과 차량의 비율(%)

곡선부 \ 지점	-100m	BC	L/4	2L/4	3L/4	EC	+100m
0303	47	28	22	25	25	36	30
0306	45	40	43	27	27	36	38
0308	57	19	28	43	41	56	59
0310	60	48	48	50	51	52	58
0316	72	78	50	61	54	53	46
0317	42	46	42	33	24	42	47
0319	61	40	39	31	37	29	31
0320	73	46	46	44	42	46	52
0321	57	50	42	48	36	34	36
0322	41	49	53	44	54	63	80
0323	84	76	68	71	67	51	46
0324	63	53	46	44	47	38	39
0325	58	43	37	36	41	38	34
3801	45	51	37	42	47	40	44
3802	70	71	82	54	63	54	46
3803	72	64	62	68	46	51	65
3804	83	78	67	69	70	71	80
3805	97	93	85	88	93	82	93
3806	88	90	71	91	84	88	86
3808	48	53	54	65	70	70	75
3809	69	69	81	63	61	71	76
3810	57	57	48	50	49	43	44
3811	80	91	85	89	85	78	77
3812	89	90	73	83	83	82	77
4202	40	29	34	36	32	43	54
4203	37	41	40	44	44	44	54
4204	60	56	65	45	44	61	69
4206	93	70	54	43	50	60	57
4207	76	63	46	44	57	56	61
4208	60	61	45	35	49	54	82
4303	43	62	38	47	57	63	73
4304	82	62	49	50	43	45	39
4501	91	72	67	80	80	66	69
4502	73	58	60	70	43	43	49
최저	37	19	22	25	24	29	30
최고	97	93	85	91	93	88	93
평균	65	59	53	53	53	54	58

〈표 3〉 조사지점의 85백분위 주행속도(kph)

곡선부 \ 지점	-100m	BC	L/4	2L/4	3L/4	EC	+100m
0303	93	87	85	87	87	89	90
0306	97	92	92	89	92	95	97
0308	97	90	89	89	90	93	95
0310	97	93	93	93	95	95	98
0316	100	99	95	97	97	97	98
0317	98	95	95	93	89	93	95
0319	100	92	92	90	91	93	95
0320	98	92	92	92	92	93	95
0321	98	95	90	86	90	93	97
0322	98	95	93	92	95	97	103
0323	106	103	100	98	98	99	101
0324	97	95	92	92	95	96	97
0325	97	93	90	92	92	93	95
3801	100	97	90	90	92	93	94
3802	96	95	93	95	97	99	101
3803	100	98	98	98	95	96	100
3804	106	101	97	100	100	103	106
3805	109	107	103	104	105	106	109
3806	108	108	101	99	103	105	106
3808	102	98	95	98	100	100	101
3809	100	99	97	95	97	98	101
3810	97	97	93	90	93	93	95
3811	110	109	108	106	104	106	108
3812	107	106	105	103	103	105	108
4202	92	90	89	89	92	95	97
4203	97	95	94	95	95	97	97
4204	101	98	98	95	95	98	103
4206	100	98	95	93	93	97	97
4207	103	101	95	93	95	95	97
4208	93	93	90	93	95	98	101
4303	97	94	92	97	98	100	101
4304	103	98	93	95	95	97	100
4501	106	100	97	97	98	100	102
4502	101	97	95	97	97	99	102
최저	92	87	85	86	87	89	90
최고	110	109	108	106	105	106	109
평균	100	97	95	94	95	97	99

설계속도(80, 90km/h)에 따라 곡선반경을 그룹화 (280m이하, 280m초과~380m이하, 380m초과) 했을 때, 85백분위 주행속도 최저 지점은 곡선반경이

작으면 곡선부 중앙(2L/4)이었으나, 곡선반경이 커질수록 곡선부 L/4 지점으로 이동된다는 것을 알 수 있다.

〈표 4〉 85백분위 주행속도 최저 지점 비교(곡선반경 그룹화)

지점 곡선반경(R)	곡선부 L/4	곡선부중앙 (2L/4)	곡선부 3L/4
R=280	33%	56%	11%
280<R≤380	43%	40%	17%
R>380	50%	33%	17%

(4) 곡선반경에 따른 직선부·곡선부의 85백분위 주행속도 차이

곡선반경에 따른 직선부·곡선부 85백분위 주행속도 차이는 곡선반경이 작을수록 커지고, 곡선반경이 클수록 작아지는 것으로 나타났다.

〈표 5〉 곡선반경에 따른 직선부·곡선부 85백분위 주행속도 차이(kph)

지점	곡선반경(R)		
	R≤280	280<R≤380	R>380
곡선부 L/4	6.2	5.5	5.2
곡선부 중앙(2L/4)	7	5.4	5.17
곡선부 3L/4	5.3	4.6	4.2

IV. 모형 개발 및 검증

1. 모형 개발

1) 곡선부 주행속도의 영향변수

곡선부 주행속도에 영향을 미칠 수 있는 곡선부 내적 요인으로서 곡선반경(R), 곡선길이(L), 교각( $\theta$ )이 있으며, 곡선부 외적 요인으로서 해당 직선부 85백분위 주행속도( $V_t$ )가 있다. 관련 변수( $V_t$ , R, L,  $\theta$ )를

고려하여 곡선부 85백분위 주행속도( $V_c$ ) 산정 모형을 만든 후, 변수선택법(상관관계, 결정계수, p-value 고려)에 따라 가장 큰 영향을 미치는 변수를 중심으로 산정 모형을 개발하였다.

〈표 6〉은 변수간 상관관계를 나타내는데 곡선반경과  $V_t$ 만이  $V_c$ 에 대한 설명력이 높다.

상류부 도로 여건을 정량적으로 반영하는 가장 합리적인 방안은 McLean(1979)의 희망속도 개념을 받아들인 것인데, 이 경우 희망속도로서 해당 곡선부 진입 전방 100~200m 직선부 85백분위 주행속도를 사용할 수 있으며, 운영단계에서는 현장 조사치를 활용하면 된다. 그러나, 설계 단계에서 직선부 85백분위 주행속도( $V_t$ )를 결정하는 문제는 본 연구에서 일반화하기에는 다소 무리가 있어 향후 연구과제로 설정하였다.

2) 곡선부내 최소 85백분위 주행속도 추정 모형 (단, L=곡선장)

(1) 직선부 85백분위 주행속도( $V_t$ )를 미반영

직선부 85백분위 주행속도( $V_t$ )를 반영하지 않은 경우에는 추정식의 설명력(결정계수 0.26이하)이 떨어져, 기하구조 요건(곡선반경)만 고려할 경우 모형 개발은 한계가 있음을 알 수 있다.

〈표 7〉 곡선부내 최소 85백분위 주행속도 추정 모형( $V_t$  미반영)

모형 형태 (R=곡선반경)	추정 매개변수			결정계수 ( $R^2$ )
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	
$\alpha + \beta R$	80.85	0.0411	-	0.2502
$\alpha + \beta (1/R)$	109.76	-4935.9	-	0.2588
EXP( $\alpha + \beta R$ )	4.406	0.0004	-	0.2431

〈표 6〉 변수간 상관관계

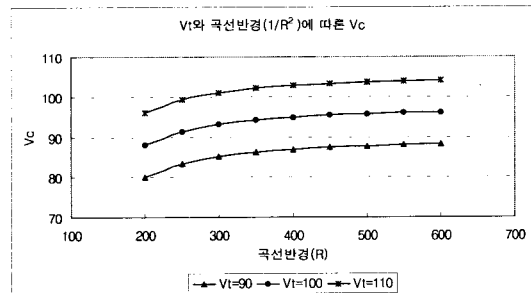
	$V_c$	$V_t$	R	L	$\theta$	$R^2$	1/R	$R^2$	LN(R)
$V_c$	1								
$V_t$	0.787	1							
R	0.500	0.401	1						
L	0.236	0.381	0.140	1					
$\theta$	-0.069	0.099	-0.169	0.599	1				
$R^2$	0.483	0.388	0.995	0.161	-0.135	1			
1/R	-0.509	-0.400	-0.982	-0.095	0.236	-0.958	1		
$R^2$	-0.502	-0.390	-0.960	-0.073	0.266	-0.929	0.996	1	
LN(R)	0.509	0.404	0.995	0.118	-0.203	0.981	-0.996	-0.983	1

(2) 직선부 85백분위 주행속도(Vt)를 반영

직선부 85백분위 주행속도(Vt)를 반영한 경우에는 추정식의 설명력(결정계수 0.6 이상)이 높으며 <그림 4-1>의 민감도 분석결과에서 보듯이 추정된 회귀식 중  $1/R^2$  변수를 포함한 회귀식이 곡선반경이 작을수록 Vc의 감소정도는 커지며, 곡선반경이 커질수록 감소정도가 작아지다가 일정하게 수렴한다. 특히, 곡선반경 300m 미만에서는 Vc의 감소 폭은 급격하게 커지는 합리적인 결과를 보이고 있다.

<표 8> 곡선부내 최소 85백분위 주행속도 추정 모형(Vt 반영)

모형 형태	추정 매개변수			결정계수 (R <sup>2</sup> )
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	
$\alpha + \beta R + \gamma Vt$	7.668	0.018	0.799	0.66
$\alpha + \beta (1/R) + \gamma Vt$	21.077	-2238.56	0.794	0.664
$\alpha + \beta (1/R^2) + \gamma Vt$	17.455	-366821	0.797	0.664
$\alpha + \beta LN(R) + \gamma Vt$	-23.68	6.524	0.795	0.662
$\alpha + \beta (R^2) + \gamma Vt$	10.17	$2.3833 \times 10^{-5}$	0.807	0.656



<그림 4> Vt와 곡선반경(1/R<sup>2</sup>)에 따른 Vc변화

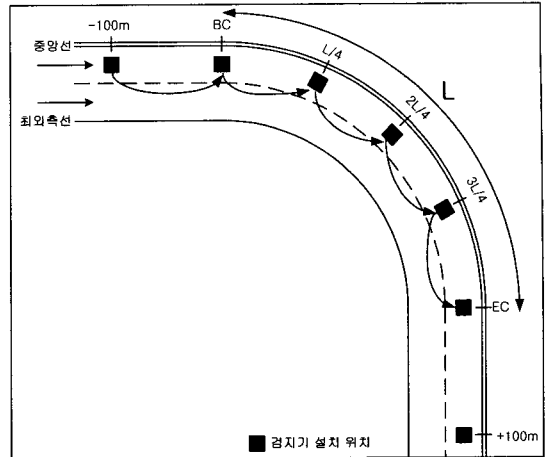
3) 곡선부시점(BC)~곡선부종점(EC)의 지점별 85백분위 주행속도(Vc) 산정 모형

곡선부 전방 100m 지점을 기준으로 곡선부 시점(BC)에서 곡선부 종점(EC)까지 5개 지점의 주행속도를 추정하였다.

(1) 모형 접근 방법 A

<그림 5>는 곡선부 개별 지점의 접근 85백분위 주행속도(Vi)와 지점 사이의 거리에 대한 기준을 직선조사 지점으로 하여 추정하는 방법이다.

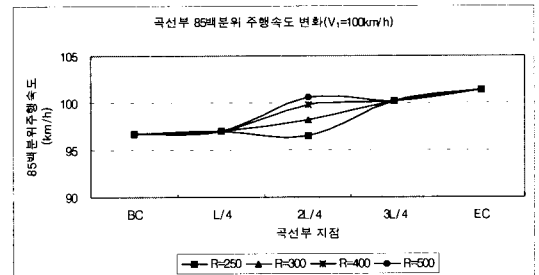
분석결과, 모든 지점에서 모형식의 설명력(결정계수 0.8 이상)이 전반적으로 양호하나, 곡선부 중앙



<그림 5> 모형 접근 방법 A

<표 9> 접근방법 A의 지점별 모형

지점	모형 형태(R=곡선반경)	결정계수(R <sup>2</sup> )
곡선부 시점(BC)	$\alpha + \beta Va$	0.8425
곡선부 L/4	$\alpha + \beta Va$	0.8564
곡선부 중앙(2L/4)	$\alpha + \beta Va + \gamma (1/R^2)$	0.8326
곡선부 3L/4	$\alpha + \beta Va$	0.8765
곡선부 종점(EC)	$\alpha + \beta Va$	0.9312



<그림 6> 접근방법 A의 곡선부 85백분위 주행 속도 변화 (V1=100km/h)

(2L/4)을 제외한 나머지 지점에서는 Vi 함수로서, 곡선반경이 변화해도 곡선부 85백분위 주행속도(Vc)가 같다는 것은 접근방법 A의 결정적인 모순이다.

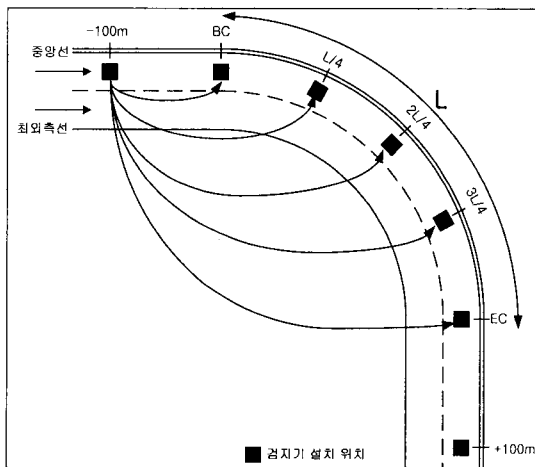
(2) 모형 접근 방법 B

<그림 7>은 곡선부 개별 지점의 접근 85백분위 주행속도(Va)와 지점 사이의 거리에 대한 기준을 곡선부 전방100m 지점으로 고정하여 추정하는 방법이다.

모든 지점에서 모형식의 설명력이 전반적으로 양호하며 곡선부 시점은 Va가 지배요소이나 L/4 지점은



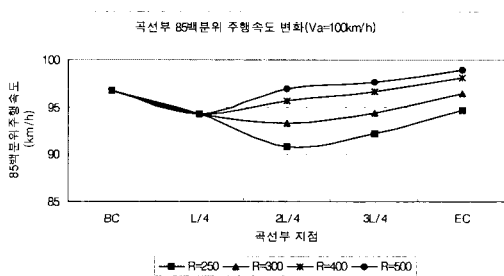
곡선부 시점에 비해 결정계수 값이 많이 떨어지는 경향으로 보아 곡선반경의 영향을 받기 시작했다고 볼 수 있다. 곡선부 중앙부터 곡선부 종점까지는  $V_a$ 와 곡선반경이 반영되어 주행속도가 좌우되며, 곡선반경이 작으면 차량이 곡선부에 진입하고서도 곡선부 중반까지 계속 감속하지만, 곡선반경이 커지면 초기에 어느 정도 속도를 줄이면서 곡선부를 진입하다가 전방의 완만한 곡선 여건을 보고 계속 속도를 줄일 필요가 없음을 느끼면서 중반부터는 오히려 가속하는 합리적인 경향을 보이고 있다.



〈그림 7〉 모형 접근 방법 B

〈표 10〉 접근방법 B의 지점별 모형

지점	모형 형태( $R$ =곡선반경)	결정계수( $R^2$ )
곡선부 시점(BC)	$\alpha + \beta V_a$	0.8425
곡선부 L/4	$\alpha + \beta V_a$	0.7438
곡선부 중앙(2L/4)	$\alpha + \beta V_a + \gamma (1/R^2)$	0.6808
곡선부 3L/4	$\alpha + \beta V_a + \gamma (1/R^2)$	0.6258
곡선부 종점(EC)	$\alpha + \beta V_a + \gamma (1/R^2)$	0.6228



〈그림 8〉 접근방법 B의 곡선부 85백분위 주행 속도 변화 ( $V_a=100\text{km/h}$ )

## 2. 모형 검증

개발된 곡선부 85백분위 주행속도 추정 모형은 19 지점의 현장 자료를 수집하여 모형을 검증하였다. 검증용으로 수집한 자료의 수집 및 정리 방법은 모형 개발 당시와 동일하였다.

모형의 적합도를 재는 척도로는 추정치와 관측치를 비교하여 최소 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 사용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum [O_i - E_i]^2}$$

$O_i$  : 관측치

$E_i$  : 추정치

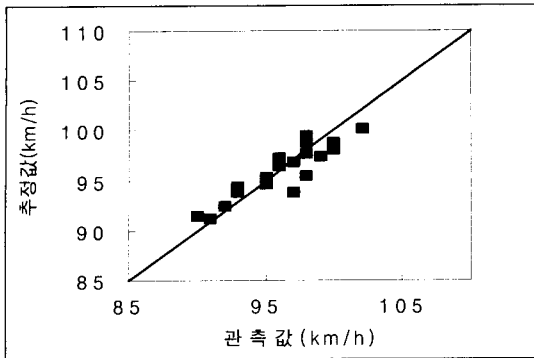
$n$  : 관측 자료수

〈표 11〉 검증용 지점의 기하구조

지점	곡선 반경(m)	곡선 길이(m)	종단경사 (%)	교각 (도)
공설운동장(하행)	380	490	0	56
SK주유소앞(상행)	360	350	+0.9	64
동두천시계(상행)	280	290	+2.3	51
부영냉장앞(하행)	300	100	+0.4	18
김문소후방(상행)	320	180	+1.5	36
17호선분기(장호원행)	400	240	-0.5	31
소모광학(하)	400	360	+1.5	41
소모광학(상)	350	360	+1.5	41
창봉리(하)	450	320	-0.3	37
도곡리1(하)	300	250	-2.6	39
도곡리2(상)	300	232	-0.6	36
초당교(하)	300	314	-3	49
울곡3교(문산행)	420	480	+3.4	62
화석정(문산행)	300	196	+2	28
임진2교(선유행)	280	480	-1	85
통일고가교(선유행)	450	400	+0.9	38
죽산입구(장호원행)	600	320	-1.1	29
청룡마을(안성행)	500	380	+0.6	37
경강역(상)	297	240	-2.2	39

### 1) 곡선부 85백분위 최소 주행속도 추정 모형 검증

최소 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)가 1.39kph로 비교적 양호한 추정력을 보이고 있다.



〈그림 9〉 곡선부 85백분위 최소 주행속도 추정 모형 검증 결과

2) 곡선부시점(BC)~곡선부종점(EC)의 지점별 85백분위 주행속도 산정 모형 검증

지점별 최소 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 〈표 12〉에서와 같이 비교적 양호한 추정력을 보이고 있다.

〈표 12〉 지점별 최소 제곱근 오차(RMSE)

지점	RMSE
곡선부 시점(BC)	2.00
곡선부 L/4	2.24
곡선부 중앙(2L/4)	1.74
곡선부 3L/4	2.20
곡선부 종점(EC)	2.45

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 국도 4차로 평면 단곡선부의 1차로를 진입부 직선도로~곡선부도로~진출부 직선도로로 구분하고, 선행차량에 의해 영향을 받지 않는 승용차의 주행속도를 조사하여, 다양한 곡선부 기하조건하에서 직선부 85백분위 주행속도( $V_t$ )와 곡선부 85백분위 주행속도( $V_c$ ) 특성을 분석하고, 곡선부 85백분위 최소 주행속도와 곡선부시점(BC)~곡선부종점(EC)의 지점별 85백분위 주행속도 변화를 산정하는 모형을 개발·검증하였다.

다음은 본 연구를 통해 얻은 몇 가지 결론을 정리해 보았다.

첫째, 제한속도(80kph)를 초과하여 주행하는 차량의 비율은 지점별로 평균 53~65%이고, 85백분위 주행속도는 제한속도(80kph)보다 평균 14~20kph 정도 높게 나타나 많은 운전자들이 과속하는 경향이 있다.

둘째, 최저 85백분위 주행속도가 발생하는 비율은 주로 곡선부 L/4 지점과 곡선부 중앙(2L/4)이다. (단, L=곡선장)

셋째, 곡선부 85백분위 주행속도가 낮은 지점은 곡선반경이 작을 때는 곡선부 중앙(2L/4)이었으나, 곡선반경이 커지면 곡선부 L/4 지점으로 이동한다.

넷째, 설계속도에 따라 최소 곡선반경을 구분하였을 때, 직선부 85백분위 주행속도와 곡선부 85백분위 주행속도의 차이는 곡선반경이 작을수록 커지고, 곡선반경이 클수록 작아진다.

다섯째, 곡선부 85백분위 주행속도에 영향을 미치는 중요한 인자로는 곡선반경(R)과 직선부 85백분위 주행속도( $V_t$ )이다.

2. 향후 연구과제

본 연구가 더욱 유용하게 사용되기 위해서는 다음과 같은 사항에 관한 향후 연구가 요구된다.

첫째, 연속 곡선부(곡선부+곡선부), 종단과 평면 선형이 조합된 복합곡선, 2차로 국도 및 고속도로에 대한 연구가 필요하다.

둘째, 곡선부 전방의 직선부를 좀더 세분화하여 주행속도를 조사 및 분석하는 연구가 필요하다.

셋째, 직선부 85백분위 주행속도( $V_t$ )를 운영단계가 아닌 설계단계에서 산정할 수 있는 연구가 필요하다.

넷째, 곡선부 85백분위 주행속도를 추정하는 방법으로 본 연구에서는 곡선장을 N등분하는 위치의 함수로 표현하였지만, 곡선부 전방 위치를 기준으로 거리에 따른 주행속도를 추정할 수 거리의 함수로 표현하는 연구 필요가 필요하다.

다섯째, 도로안전시설물(예:중앙분리대) 등의 유·무에 따른 85백분위 주행속도 변화를 조사하여 안전시설물의 설치효과를 판단하는 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침”.

2. 안상형 · 이명호(1994), "현대통계학", 학현사.
3. 정준화 · 박영진 · 최재성(2000), "속도에 따른 평면 곡선부 설치 방안 연구", 대한토목학회논문집, 제20권 제5호.
4. Fitzpatrick, K., Krammes, R. A., and Fambro, D. B.(1997), "Design Speed, Operating speed and Posted Speed Relationships", ITE Journal, Vol.67, No.2.
5. Islam, M. N., and Seneviratne, P. N.(1994), "Evaluation of Design Consistency of Two-Lane Rural Highways," ITE Journal, February.
6. Krammes, R. A. et al.(1995), "Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-Lane Highways", RD-94-034, FHWA.
7. Krammes, R. A., Blaschke, J. D., Fitzpatrick, K., and Fambro, D. B.(1996), "Understanding Design, Operating, and Posted Speed", Report No. 1465-1, Texas Department of Transportation.
8. Leisch, J. E., and Leisch, J. P.(1988), "New Concepts in Design-Speed Application", TRR 631, TRB.
9. Lamm, R. et al.(1988), "Possible Design Procedure to Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-Lane Rural Road", TRR 1195, TRB.
10. McLean, J. R.(1979), "An Alternative to the Design Speed Concept for Low Speed Alignment Design In Low Volume Roads", 2nd International Conference, TRR 702, TRB.
11. McLean, J. R.(1981), "Driver Speed Behaviour and Rural Road Alignment Design", Traffic Engineering & Control, Vol.22, No.4.
12. AASHTO(1994), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets".
13. FHWA(1999), "Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-Lane Highways", Report FHWA-RD-94-171.
14. FHWA(2000), "Design Factors That Affect Drivers Speed On Suburban Arterials", Report 1769-3, Project Number 0-1769.

♣ 주 작 성 자 : 고종대  
 ♣ 논문투고일 : 2002. 11. 1  
 논문심사일 : 2002. 11. 16 (1차)  
 2003. 1. 3 (2차)  
 심사판정일 : 2003. 1. 3  
 ♣ 반론접수기한 : 2003. 4. 30