

■ 論 文 ■

볼록형 종단곡선에서 시공오차를 고려한 정지시거에 관한 연구

Sight Distance at Crest Vertical Curves Under Consideration of Construction Errors

이 명 한

(단국대학교 대학원 석사과정)

김 동 녕

(단국대학교 공학부 토목환경공학전공 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 연구범위 및 내용
- II. 문헌고찰 및 기본이론
 - 1. 문헌고찰
 - 2. 기본이론
- III. 시공오차에 의한 정지시거 변화
 - 1. 시공오차의 영향으로 감소되는 시거 산정
 - 2. 시공오차를 고려한 종단곡선의 변화비율
- IV. 결론
참고문헌

Key Words : 정지시거, 시공오차, 종단곡선 변화비율(K), 종단경사, 종단곡선길이

요 약

볼록형 종단곡선의 정점부에서 시공오차가 발생한다면 정지시거에 영향을 미칠 것이다. 규정된 시거가 확보되지 못하면 안전성에 많은 문제점을 발생시킬 우려가 있다. 본 연구에서는 시공오차가 정지시거에 미치는 영향을 설계속도별, 종단경사별로 산출하는 방법론을 도출하였고 감소된 정지시거의 정도와 그 특성을 분석하였다. 마지막으로 시공오차를 감안하면서도 시거를 확보할 수 있는 새로운 종단곡선의 변화비율(m/%)을 제시하였다.

설계속도별로 시공오차의 크기에 따라 감소되는 시거를 비교해보면, 120km/h의 경우 2.8~21.3m, 100km/h의 경우 2.0~15.1m, 80km/h의 경우 1.4~10.6m, 60km/h의 경우 1.0~7.5m, 40km/h의 경우 0.5~3.9m로 산출되었다. 기존의 종단곡선의 변화비율에서 시공오차를 고려했을 때 설계속도 120km/h~60km/h의 경우 종단곡선의 변화비율을 약 6~25% 상향조정하면 규정된 시거를 확보해 줄 수 있는 것으로 나타났다.

This study is carried out to evaluate the sight distance change due to construction errors of vertical crest curves. Various design speeds and grades as well as various size of construction errors are incorporated in this study. After showing theoretical methodology numerical results are compared and analysed for the given ranges of parameters. New vertical curve change rate(m/%) is suggested to guarantee minimum sight distance under construction errors.

As to the results, the reduction of sight distance are 2.8~21.3m at 120km/h, 2.0~15.1m at 100km/h, 1.4~10.6m at 80km/h, 1.0~7.5m at 60km/h, 0.5~3.9m at 40km/h. Vertical curve change rates need to be increased about 6~25% to provide minimum stopping sight distance according to design speed.

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

도로의 선형은 도로의 중심선이 입체적으로 그리는 연속된 형상으로서 평면적으로 본 도로 중심선의 형상을 평면선형, 종단적으로 본 도로중심선의 형상을 종단선형이라 한다. 평면선형은 직선, 원곡선, 완화 곡선으로 구성되며, 종단선형은 직선과 포물선으로 구성되는데 이를 선형 요소라 한다.

종단 선형에서 종단곡선은 두 개의 다른 종단경사가 접속될 때는 접속지점을 통과하는 자동차의 운동량 변화에 따른 충격의 완화와 정지시거를 확보할 수 있도록 서로 다른 두 종단경사를 적당한 변화율로 접속시켜야 한다. 종단곡선은 일반적으로 포물선으로 설치하며, 충분한 범위 내에서 주행의 안전성과 쾌적성을 확보하여야 한다. 설계 속도, 종단곡선의 형태에 따라 종단 곡선이 변화하는 비율은 다양한 값을 가지게 된다. 이때, 곡선의 변화 비율은 주행하는 자동차의 운동량 변화로 인한 충격을 완화하고 정지시거를 확보할 수 있어야 하며, 이런 사항은 도로의 모든 지점에서 적용되어야만 한다.

블록형 종단곡선의 정상부분은 종단부 정지시거의 제약 지점이 된다. 운전자의 시선은 이 정점부를 통하여 장애물을 인지하게 되는데, 도로의 시공이 설계도면대로 오차가 없이 정확하게 이루어진다는 가정하에서 설계되고 시공된다. 만약 시공에 오차가 발생하게 되면 시거가 변화될 수 있을 것이므로 본 논문은 시공오차가 정지시거에 미치는 영향을 설계속도별, 종단경사별로 산출하는 방법론의 도출 및 결과 자료를 비교하는데 목적을 둔다.

2. 연구범위 및 내용

본 연구에서는 종단곡선의 시거에 대해 이론적 고찰을 하고 시공오차가 발생 하였을 때 정지시거에 미치는 영향을 분석하여 새로운 종단곡선의 변화비율(m/%)을 제시하고자 한다.

연구의 범위는 설계속도를 120km/h에서 40km/h까지 20km/h씩 변화시켰고, 종단경사는 설계속도별 최대종단경사를 참고로 하여 2%에서 최고11%까지 고려

하였다. 마지막으로 시공오차는 시방서 기준과 전문가의 경험을 토대로 0.01m에서 0.07m까지 고려하였다.

본 연구에 포함된 몇 가지 전제조건 및 가정 사항은 다음과 같다.

① 종단곡선의 형태는 블록형과 오목형으로 구분되지만 시공오차와 관계가 큰 블록형 형태만을 대상으로 하였다. ② 분석의 편의상 종단경사는 크기가 같고 경사의 방향은 반대인 경우를 대상으로 하였는데 중요한 것은 종단곡선의 대수차이기 때문에 대칭이 아닌 경우에도 적용될 수 있다고 보았기 때문이다. 본 논문에서 종단경사라 함은 양쪽대칭인 경사의 절대값을 의미한다. ③ 시공오차는 항상 정점부인 중앙에서만 발생하며, 운전자 시점 측에는 오차가 없다고 가정하였다. ④ 최소정지시거의 범위는 항상 종단곡선의 범위 내에 있는 경우를 대상으로 하였다. 이 경우가 종단곡선 범위 밖에 있는 경우보다 시공오차에 따른 시거 영향이 더 클 것으로 판단했기 때문이다.

II. 문헌고찰 및 기본이론

1. 문헌고찰

본 논문과 직접 관련된 기존 연구는 찾아보기 어렵지만 시거와 특히 종단곡선에서의 시거와 관련된 기존 연구를 살펴보면 다음과 같다.

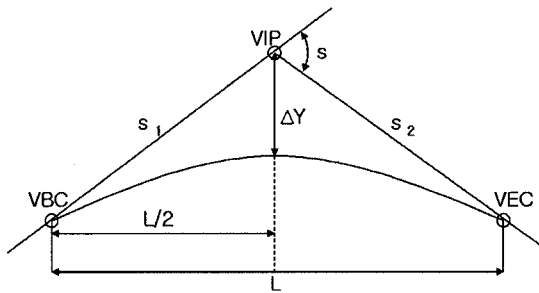
김성관(2003)¹⁾은 "원곡선 구간에서 시거를 고려한 설계기준 연구"에서 평면곡선 상에서 최소곡선반경과 시거를 확보할 수 있는 적정 수준의 곡선반경을 제시하기 위해 적정수준의 중앙중거를 제시하였고, 도출된 중앙중거를 기초로 설계시 적용할 수 있는 설계속도별 곡선반경 기준을 제시하였다.

한상민(2002)²⁾은 "종단곡선에서 유효 가시 높이를 고려한 시거산정 방법 개선에 관한 연구"에서 장애물의 시인성을 확보하기 위하여 최소한의 가시 높이가 필요하다는 관점에서 블록형 종단곡선을 대상으로 각각의 설계속도와 최소 정지 시거에 따라 운전자가 인지할 수 있는 장애물 일부의 높이 '유효 가시 높이'를 조사하였으며, 이를 운전자에게 확보해 주기 위해 종단곡선의 변화율을 산출한 연구를 수행하였다. 그러나 시공오차를 고려한 본 논문과는 연구내용에 있어 차이가 있다고 할 수 있다.

2. 기본이론

1) 종단곡선의 변화비율

종단곡선 변화비율은 접속되는 두 종단경사의 대수차가 1% 변화하는데 확보하여야 하는 수평거리로 정의한다.



〈그림 1〉 종단곡선의 시거 변화율

$$K = \frac{L}{(s_2 - s_1) \times 100} = \frac{L}{S}$$

여기서, K : 종단곡선 변화비율 (m/%)

L : 종단곡선길이 (m)

S : 종단경사의 대수차 ($s_1 - s_2$) (%)

2) 정지시거

정지시거는 운전자가 같은 차로상에 있는 고장 차 등의 장애물 또는 위험요소를 알아차리고 제동을 걸어서 안전하게 정지하거나, 혹은 장애물을 피해서 주행하기 위하여 필요한 길이를 설계속도에 따라 산정한 것이다.

정지시거는 다음의 두 가지 거리를 산정하여 각각의 거리를 합한 값이다.

- ① 운전자가 앞쪽의 장애물을 인지하고 위험하다고 판단하여 제동장치를 작동시키기까지의 주행 거리(반응시간 동안의 주행거리, d_1)
- ② 운전자가 브레이크를 밟기 시작하여 자동차가 정지할 때까지의 거리 (제동정지거리, d_2)

정지시거는 운전자에게 큰 영향을 미치므로 충분한 안전한 값을 취하지 않으면 안된다. 그러므로 종방향미끄럼마찰계수를 노면습윤상태로 고려하여 식 (1)에 의하여 산정하면 〈표 1〉과 같다.

$$D = d_1 + d_2 = \frac{V}{3.6} \cdot t + \frac{V^2}{2gf(3.6)^2}$$

$$= 0.694V + \frac{V^2}{254f} \quad (1)$$

여기서, D : 정지시거 (m)

V : 주행속도 (km/h)

t : 반응시간 (2.5초)

g : 중력 가속도 ($9.8m/sec^2$)

f : 타이어와 노면의 종방향미끄럼 마찰계수

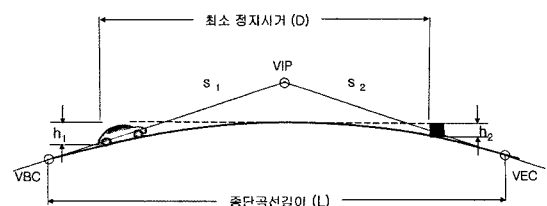
〈표 1〉 노면습윤 상태일 때 정지시거

설계속도 (km/h)	주행속도 (km/h)	마찰계수 (f)	계산치 (m)	적용치 (m)
120	102	0.28	212.0	215
110	93.5	0.28	183.6	185
100	85	0.29	153.8	155
90	76.5	0.30	127.4	130
80	68	0.30	105.9	110
70	63	0.31	92.6	95
60	54	0.32	72.3	75
50	45	0.34	54.0	55
40	36	0.37	38.4	40
30	30	0.44	28.7	30
20	20	0.44	17.4	20

III. 시공오차에 의한 정지시거의 변화

볼록형 종단곡선 도로의 시공이 설계도면대로 오차가 없이 정확히 이루어진다면 설계속도에 따른 최소정지시거를 확보할 수 있지만, 만약 종단곡선의 정점부에서 허용오차 범위 내에서 시공오차가 발생한다면 최소정지시거에 영향을 미칠 것이다. 그 영향으로 충분한 시거의 확보가 어려워지면 운전자는 주행상 안전성뿐만 아니라 시각적, 심리적인 쾌적성까지 많은 문제점을 발생시킬 우려가 있다.

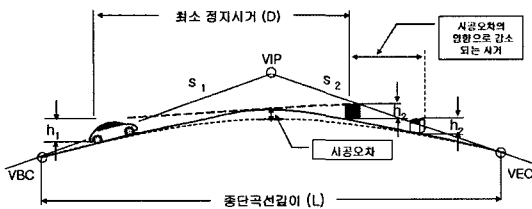
〈그림 2〉는 오차가 없이 시공된 종단곡선에서의 시거의 변수 등을 나타내고 있는데 정지시거의 정의에 따



〈그림 2〉 종단곡선에서의 시거

라서 s_1, s_2 는 종단경사를 나타내고, h_1 은 도로 표면으로부터의 운전자 눈높이 1.0m이며, h_2 는 장애물 또는 물체의 높이 0.15m를 나타낸다.

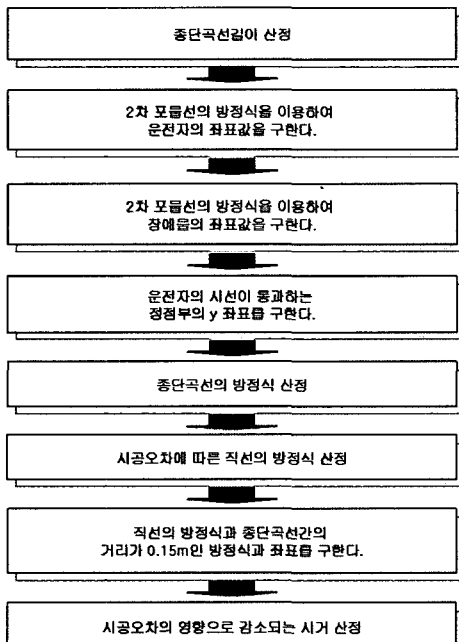
〈그림 3〉은 종단곡선의 정점부에 오차가 발생하였을 때 최소정지시거가 줄어드는 것을 과장하여 표현한 그림으로 이 논문에서는 시공의 오차를 0.01m, 0.03m, 0.05m, 0.07m 의 오차가 발생하였을 때 설계속도별, 종단경사별로 어느 정도 영향을 미치며, 오차에 따라 수정값을 제시하여 새로운 블록형 종단곡선의 변화비율(m/%)을 제시하였다.



〈그림 3〉 시공오차의 영향으로 감소되는 정지시거

1. 시공오차의 영향으로 감소되는 시거 산정

설계속도별, 종단경사별 시공오차의 영향으로 감소되는 시거 산정은 〈그림 4〉와 같이 수행되었다.



〈그림 4〉 시공오차의 영향으로 감소되는 시거 산정 과정

1) 설계속도에 따른 최소정지시거가 종단경사의 변화에 따른 종단곡선길이(L) 값

$$\text{식 } L = \frac{D^2(s_2 - s_1)}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

에서 정지시거의 정의에 따라 $h_1 = 1.0m$, $h_2 = 1.5m$ 를 대입하고 경사의 차 $s_2 - s_1$ 을 백분율로 하여 계산하면 식(2)와 같다.

$$\text{식 } L = \frac{D^2(s_2 - s_1)}{385} \tag{2}$$

여기서 D : 최소정지시거 (m)

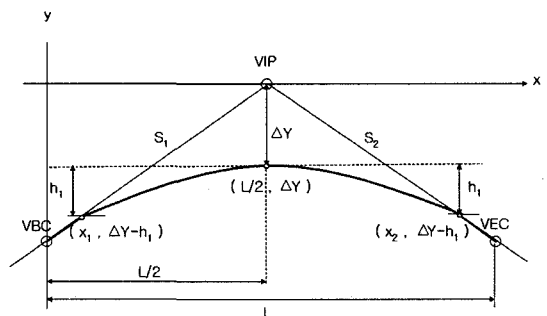
식(2)를 이용하여 종단곡선의 길이(L)를 구하면 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉 설계속도와 종단경사의 변화에 따른 종단곡선길이(L)

종단경사 (%)	설계속도 (km/h)	K	최소정지시거(D) (m)	종단곡선길이(L) (m)
2	120	120	215	480.0
	100	60	152	240.0
	80	30	107	120.0
	60	15	76	60.0
	40	4	39	16.0
5	120	120	215	1,200.0
	100	60	152	600.0
	80	30	107	300.0
	60	15	76	150.0
	40	4	39	40.0
8	80	30	107	480.0
	60	15	76	240.0
	40	4	39	64.0
11	60	15	76	330.0
	40	4	39	88.0

종단곡선의 길이(L)의 1/2 값은 시공오차가 발생하는 지점의 x 좌표가 된다.

2) 종단경사의 변화와 종단곡선의 길이에 따른 운전자의 x 좌표



〈그림 5〉 운전자의 x 좌표

$$y = \frac{(s_2 - s_1)}{2L} x^2 + s_1 x - \frac{s_1}{2} L \text{의 포물선식과}$$

$$x = \frac{L}{2} \text{일 때의 } Y \text{값}(\Delta Y),$$

$$\Delta Y = \frac{(s_2 - s_1)}{8} L \text{을 이용하여 } x \text{ 좌표를 구하면}$$

$$(\Delta Y - h_1) = \frac{(s_2 - s_1)}{2L} x^2 + s_1 x - \frac{s_1}{2} L$$

$$\frac{(s_2 - s_1)}{2L} x^2 + s_1 x - \frac{s_1}{2} L - \Delta Y + h_1 = 0$$

$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ 근의 공식을 이용하여 x 값을 구하면

$$x = \frac{-s_1 \pm \sqrt{s_1^2 - 4\left(\frac{s_2 - s_1}{2L}\right)\left(-\frac{s_1}{2}L - \Delta Y + h_1\right)}}{\frac{s_2 - s_1}{L}}$$

의 식이 되며, 이를 정리하면 식(3)과 같다.

$$\therefore x = \frac{(-s_1 \pm \sqrt{s_1 s_2 + \frac{(s_2 - s_1)^2}{4} - \frac{2(s_2 - s_1)}{L} \times h_1})}{(s_2 - s_1)} \times L \quad (3)$$

〈표 3〉 운전자의 x 좌표

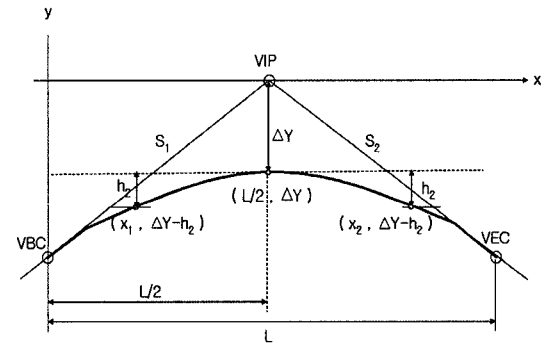
종단경사 (%)	설계속도 (km/h)	종단곡선길이(L) (m)	운전자의 x 좌표
2	120	480	85.08
	100	240	10.46
	80	120	-17.46
	60	60	-24.77
	40	16	-20.28
5	120	1,200	445.08
	100	600	190.46
	80	300	72.54
	60	150	20.23
	40	40	-8.28
8	80	480	162.54
	60	240	65.23
	40	64	3.72
11	60	330	110.23
	40	88	15.72

3) 종단경사의 변화와 종단곡선의 길이에 따른 장애물의 x 좌표

운전자의 x 좌표를 구하는 방법과 동일하게 장애물

의 x 좌표를 구하면 식(4)와 같다.

$$\therefore x = \frac{(-s_1 \pm \sqrt{s_1 s_2 + \frac{(s_2 - s_1)^2}{4} - \frac{2(s_2 - s_1)}{L} \times h_2})}{(s_2 - s_1)} \times L \quad (4)$$



〈그림 6〉 장애물의 x 좌표

〈표 4〉 장애물의 x 좌표

종단경사 (%)	설계속도 (km/h)	종단곡선길이(L) (m)	장애물의 x 좌표
2	120	480	300.00
	100	240	162.43
	80	120	90.00
	60	60	51.21
	40	16	18.95
5	120	1,200	660.00
	100	600	342.43
	80	300	180.00
	60	150	96.21
	40	40	30.95
8	80	480	270.00
	60	240	141.21
	40	64	42.95
11	60	330	186.21
	40	88	54.95

4) 설계속도와 종단경사에 대한 최대이정량 (ΔY)값

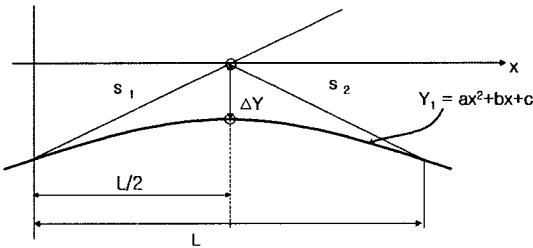
최대이정량(ΔY)값은 시공오차가 없을 경우 운전자의 시선이 통과하는 점정의 y 좌표이며 식(5)와 같이 계산한다.

$$\Delta Y = \frac{|s_1 - s_2|}{800} L \quad (5)$$

〈표 5〉 설계속도와 종단경사의 변화 따른 종단곡선길이

종단경사 (%)	설계속도 (km/h)	종단곡선길이(L) (m)	최대이정량(ΔY) (m)
2	120	480	2.40
	100	240	1.20
	80	120	0.60
	60	60	0.30
	40	16	0.08
5	120	1,200	15.00
	100	600	7.50
	80	300	3.75
	60	150	1.88
	40	40	0.50
8	80	480	9.60
	60	240	4.80
	40	64	1.28
11	60	330	9.08
	40	88	2.42

5) 설계속도와 종단경사에 따른 종단곡선 (Y₁)의 방정식



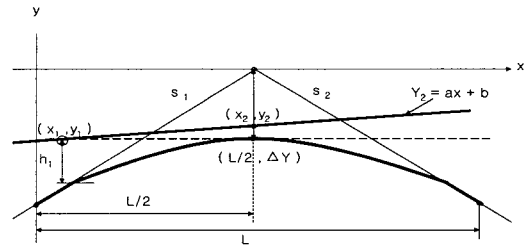
〈그림 7〉 종단곡선(Y₁)의 방정식

$$Y_1 = \frac{(s_2 - s_1)}{2L} x^2 + s_1 x - \frac{s_1}{2} L$$

〈표 6〉 종단곡선(Y₁)의 방정식

종단경사 (%)	설계속도 (km/h)	종단곡선길이(L) (m)	Y ₁ 방정식
2	120	480	-0.0000417x ² + 0.02x - 4.80
	100	240	-0.0000833x ² + 0.02x - 2.40
	80	120	-0.0001667x ² + 0.02x - 1.20
	60	60	-0.0003333x ² + 0.02x - 0.60
	40	16	-0.0012500x ² + 0.02x - 0.16
5	120	1,200	-0.0000417x ² + 0.05x - 30.00
	100	600	-0.0000833x ² + 0.05x - 15.00
	80	300	-0.0001667x ² + 0.05x - 7.50
	60	150	-0.0003333x ² + 0.05x - 3.75
	40	40	-0.0012500x ² + 0.05x - 1.00
8	80	480	-0.0001667x ² + 0.08x - 19.20
	60	240	-0.0003333x ² + 0.08x - 9.60
	40	64	-0.0012500x ² + 0.08x - 2.56
11	60	330	-0.0003333x ² + 0.11x - 18.15
	40	88	-0.0012500x ² + 0.11x - 4.84

6) 설계속도와 종단경사에 따른 시공오차가 발생하였을 경우 종단곡선 정점의 종방향 좌표(y₂)를 지나는 두 점의 좌표와 Y₂의 방정식



〈그림 8〉 시공오차에 따른 직선의 방정식(Y₂)

운전자 눈의 좌표(x₁, y₁)와 종단곡선 정점의 좌표(x₂, y₂)을 지나는 직선의 방정식은

$$(y - y_1) = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} (x - x_1)$$

두 점의 좌표를 지나는 직선의 방정식을 이용하여 시공오차가 있을 경우 운전자 시선이 통과하는 직선의 방정식(Y₂)을 구하면 〈표 8〉과 같다.

〈표 7〉 두 점의 좌표

설계속도 (km/h)	종단경사 (%)	시공오차 (m)	x ₁	y ₁	x ₂	y ₂	
120	2	0.01	85.08	-2.40	240.00	-2.39	
		0.03	85.08	-2.40	240.00	-2.37	
		0.05	85.08	-2.40	240.00	-2.35	
		0.07	85.08	-2.40	240.00	-2.33	
	5	0.01	445.08	-15.00	600.00	-14.99	
		0.03	445.08	-15.00	600.00	-14.97	
		0.05	445.08	-15.00	600.00	-14.95	
		0.07	445.08	-15.00	600.00	-14.93	
	100	2	0.01	10.46	-1.20	120.00	-1.19
			0.03	10.46	-1.20	120.00	-1.17
0.05			10.46	-1.20	120.00	-1.15	
0.07			10.46	-1.20	120.00	-1.13	
5		0.01	190.46	-7.50	300.00	-7.49	
		0.03	190.46	-7.50	300.00	-7.47	
		0.05	190.46	-7.50	300.00	-7.45	
		0.07	190.46	-7.50	300.00	-7.43	
80		2	0.01	-17.46	-0.60	60.00	-0.59
			0.03	-17.46	-0.60	60.00	-0.57
	0.05		-17.46	-0.60	60.00	-0.55	
	0.07		-17.46	-0.60	60.00	-0.53	
	5	0.01	72.54	-3.75	150.00	-3.74	
		0.03	72.54	-3.75	150.00	-3.72	
		0.05	72.54	-3.75	150.00	-3.70	
		0.07	72.54	-3.75	150.00	-3.68	

<표 7> 두 점의 좌표(계속)

설계속도 (km/h)	종단경사 (%)	시공오차 (m)	x_1	y_1	x_2	y_2
80	8	0.01	162.54	-9.60	240.00	-9.59
		0.03	162.54	-9.60	240.00	-9.57
		0.05	162.54	-9.60	240.00	-9.55
		0.07	162.54	-9.60	240.00	-9.53
60	2	0.01	-24.77	-0.30	30.00	-0.29
		0.03	-24.77	-0.30	30.00	-0.27
		0.05	-24.77	-0.30	30.00	-0.25
		0.07	-24.77	-0.30	30.00	-0.23
	5	0.01	20.23	-1.88	75.00	-1.87
		0.03	20.23	-1.88	75.00	-1.85
		0.05	20.23	-1.88	75.00	-1.83
		0.07	20.23	-1.88	75.00	-1.81
	8	0.01	65.23	-4.80	120.00	-4.79
		0.03	65.23	-4.80	120.00	-4.77
		0.05	65.23	-4.80	120.00	-4.75
		0.07	65.23	-4.80	120.00	-4.73
11	0.01	110.23	-9.08	165.00	-9.07	
	0.03	110.23	-9.08	165.00	-9.05	
	0.05	110.23	-9.08	165.00	-9.03	
	0.07	110.23	-9.08	165.00	-9.01	
40	2	0.01	-20.28	-0.08	8.00	-0.07
		0.03	-20.28	-0.08	8.00	-0.05
		0.05	-20.28	-0.08	8.00	-0.03
		0.07	-20.28	-0.08	8.00	-0.01
	5	0.01	-8.28	-0.50	20.00	-0.49
		0.03	-8.28	-0.50	20.00	-0.47
		0.05	-8.28	-0.50	20.00	-0.45
		0.07	-8.28	-0.50	20.00	-0.43
	8	0.01	3.72	-1.28	32.00	-1.27
		0.03	3.72	-1.28	32.00	-1.25
		0.05	3.72	-1.28	32.00	-1.23
		0.07	3.72	-1.28	32.00	-1.21
	11	0.01	15.72	-2.42	44.00	-2.41
		0.03	15.72	-2.42	44.00	-2.39
		0.05	15.72	-2.42	44.00	-2.37
		0.07	15.72	-2.42	44.00	-2.35

<표 8> 직선의 방정식(y_2)

설계속도 (km/h)	종단경사 (%)	시공오차 (m)	y_2 방정식
120	2	0.01	$0.0000645 x - 2.4055$
		0.03	$0.0001936 x - 2.4165$
		0.05	$0.0003227 x - 2.4275$
		0.07	$0.0004518 x - 2.4384$
	5	0.01	$0.0000645 x - 15.0287$
		0.03	$0.0001936 x - 15.0862$
		0.05	$0.0003227 x - 15.1436$
		0.07	$0.0004518 x - 15.2011$
100	2	0.01	$0.0000913 x - 1.2010$
		0.03	$0.0002739 x - 1.2029$
		0.05	$0.0004564 x - 1.2048$
		0.07	$0.0006390 x - 1.2067$
	5	0.01	$0.0000913 x - 7.5174$
		0.03	$0.0002739 x - 7.5522$
		0.05	$0.0004564 x - 7.5869$
		0.07	$0.0006390 x - 7.6217$

<표 8> 직선의 방정식(y_2)(계속)

설계속도 (km/h)	종단경사 (%)	시공오차 (m)	y_2 방정식
80	2	0.01	$0.0001291 x - 0.5977$
		0.03	$0.0003873 x - 0.5932$
		0.05	$0.0006455 x - 0.5887$
		0.07	$0.0009037 x - 0.5842$
	5	0.01	$0.0001291 x - 3.7594$
		0.03	$0.0003873 x - 3.7781$
		0.05	$0.0006455 x - 3.7968$
		0.07	$0.0009037 x - 3.8156$
	8	0.01	$0.0001291 x - 9.6210$
		0.03	$0.0003873 x - 9.6630$
		0.05	$0.0006455 x - 9.7049$
		0.07	$0.0009037 x - 9.7469$
60	2	0.01	$0.0001826 x - 0.2955$
		0.03	$0.0005477 x - 0.2864$
		0.05	$0.0009129 x - 0.2774$
		0.07	$0.0012780 x - 0.2683$
	5	0.01	$0.0001826 x - 1.8787$
		0.03	$0.0005477 x - 1.8861$
		0.05	$0.0009129 x - 1.8935$
		0.07	$0.0012780 x - 1.9009$
	8	0.01	$0.0001826 x - 4.8119$
		0.03	$0.0005477 x - 4.8357$
		0.05	$0.0009129 x - 4.8595$
		0.07	$0.0012780 x - 4.8834$
11	0.01	$0.0001826 x - 9.0951$	
	0.03	$0.0005477 x - 9.1354$	
	0.05	$0.0009129 x - 9.1756$	
	0.07	$0.0012780 x - 9.2159$	
40	2	0.01	$0.0003536 x - 0.0728$
		0.03	$0.0010607 x - 0.0585$
		0.05	$0.0017678 x - 0.0441$
		0.07	$0.0024749 x - 0.0298$
	5	0.01	$0.0003536 x - 0.4971$
		0.03	$0.0010607 x - 0.4912$
		0.05	$0.0017678 x - 0.4854$
		0.07	$0.0024749 x - 0.4795$
	8	0.01	$0.0003536 x - 1.2813$
		0.03	$0.0010607 x - 1.2839$
		0.05	$0.0017678 x - 1.2866$
		0.07	$0.0024749 x - 1.2892$
	11	0.01	$0.0003536 x - 2.4256$
		0.03	$0.0010607 x - 2.4367$
		0.05	$0.0017678 x - 2.4478$
		0.07	$0.0024749 x - 2.4589$

7) 설계속도와 종단경사별 시공오차에 따른 $y_2 - y_1$ 의 값 이 0.15인 방정식과 x 좌표

시공오차가 있을 경우에 시거를 구하기 위해서는 장애물의 높이가 0.15m인 점의 좌표를 찾아야 한다.

이를 위해서 직선의 방정식(y_2)과 포물선의 방정식(y_1)의 차이가 0.15m가 되는 좌표 x 를 구한다.

이 때 구해지는 x 점은 시공오차로 인해 감소한 시거의 좌표가 된다.

〈표 9〉 $Y_2 - Y_1$ 방정식과 x 좌표

설계속도 (km/h)	중단경사 (%)	시공오차 (m)	$Y_2 - Y_1$ 방정식	x	
120	2	0.01	$0.0000417x^2 - 0.0199355x + 2.2445$	297.20	
		0.03	$0.0000417x^2 - 0.0198064x + 2.2335$	291.39	
		0.05	$0.0000417x^2 - 0.0196773x + 2.2225$	285.27	
		0.07	$0.0000417x^2 - 0.0195482x + 2.2116$	278.73	
	5	0.01	$0.0000417x^2 - 0.0499355x + 14.8213$	657.20	
		0.03	$0.0000417x^2 - 0.0498064x + 14.7638$	651.39	
		0.05	$0.0000417x^2 - 0.0496773x + 14.7064$	645.27	
100	2	0.01	$0.0000833x^2 - 0.0199087x + 1.0490$	160.44	
		0.03	$0.0000833x^2 - 0.0197261x + 1.0471$	156.34	
		0.05	$0.0000833x^2 - 0.0195436x + 1.0452$	152.01	
		0.07	$0.0000833x^2 - 0.0193610x + 1.0433$	147.39	
	5	0.01	$0.0000833x^2 - 0.0499087x + 7.3326$	340.44	
		0.03	$0.0000833x^2 - 0.0497261x + 7.2978$	336.34	
		0.05	$0.0000833x^2 - 0.0495436x + 7.2631$	332.01	
		0.07	$0.0000833x^2 - 0.0493610x + 7.2283$	327.39	
		8	0.01	$0.0001667x^2 - 0.0198709x + 0.4523$	88.60
			0.03	$0.0001667x^2 - 0.0196127x + 0.4568$	85.70
	0.05		$0.0001667x^2 - 0.0193545x + 0.4613$	82.63	
	0.07		$0.0001667x^2 - 0.0190963x + 0.4658$	79.36	
	80	5	0.01	$0.0001667x^2 - 0.0498709x + 3.5906$	178.60
			0.03	$0.0001667x^2 - 0.0496127x + 3.5719$	175.70
0.05			$0.0001667x^2 - 0.0493545x + 3.5532$	172.63	
0.07			$0.0001667x^2 - 0.0490963x + 3.5344$	169.36	
8		0.01	$0.0001667x^2 - 0.0798709x + 9.4290$	268.60	
		0.03	$0.0001667x^2 - 0.0796127x + 9.3870$	265.70	
		0.05	$0.0001667x^2 - 0.0793545x + 9.3451$	262.63	
60	2	0.01	$0.0003333x^2 - 0.0198174x + 0.1545$	50.22	
		0.03	$0.0003333x^2 - 0.0194523x + 0.1636$	48.17	
		0.05	$0.0003333x^2 - 0.0190871x + 0.1726$	46.01	
		0.07	$0.0003333x^2 - 0.0187220x + 0.1817$	43.69	
	5	0.01	$0.0003333x^2 - 0.0498174x + 1.7213$	95.22	
		0.03	$0.0003333x^2 - 0.0494523x + 1.7139$	93.17	
		0.05	$0.0003333x^2 - 0.0490871x + 1.7065$	91.01	
		0.07	$0.0003333x^2 - 0.0487220x + 1.6991$	88.69	
		0.01	$0.0003333x^2 - 0.0798174x + 4.6381$	140.22	
	8	0.03	$0.0003333x^2 - 0.0794523x + 4.6143$	138.17	
		0.05	$0.0003333x^2 - 0.0790871x + 4.5905$	136.01	
		0.07	$0.0003333x^2 - 0.0787220x + 4.5666$	133.69	
	11	0.01	$0.0003333x^2 - 0.1098174x + 8.9049$	185.22	
		0.03	$0.0003333x^2 - 0.1094523x + 8.8646$	183.17	
		0.05	$0.0003333x^2 - 0.1090871x + 8.8244$	181.01	
		0.07	$0.0003333x^2 - 0.1087220x + 8.7841$	178.69	
	40	2	0.01	$0.0012500x^2 - 0.0196464x - 0.0628$	18.44
			0.03	$0.0012500x^2 - 0.0189393x - 0.0485$	17.38
			0.05	$0.0012500x^2 - 0.0182322x - 0.0341$	16.27
			0.07	$0.0012500x^2 - 0.0175251x - 0.0198$	15.07
		5	0.01	$0.0012500x^2 - 0.0496464x + 0.3529$	30.44
0.03			$0.0012500x^2 - 0.0489393x + 0.3588$	29.38	
0.05			$0.0012500x^2 - 0.0482322x + 0.3646$	28.27	
0.07			$0.0012500x^2 - 0.0475251x + 0.3705$	27.07	
8		0.01	$0.0012500x^2 - 0.0796464x + 1.1287$	42.44	
		0.03	$0.0012500x^2 - 0.0789393x + 1.1261$	41.38	
		0.05	$0.0012500x^2 - 0.0782322x + 1.1234$	40.27	
		0.07	$0.0012500x^2 - 0.0775251x + 1.1208$	39.07	
		0.01	$0.0012500x^2 - 0.1096464x + 2.2644$	54.44	
		0.03	$0.0012500x^2 - 0.1089393x + 2.2533$	53.38	
11	0.05	$0.0012500x^2 - 0.1082322x + 2.2422$	52.27		
	0.07	$0.0012500x^2 - 0.1075251x + 2.2311$	51.07		

8) 설계속도별 시공오차의 영향에 의한 정지시거의 변화

시공오차로 인하여 감소된 시거를 구하기 위해서는 정상 시공시의 장애물의 x 좌표와 시공오차가 발생하였을 때 장애물의 x 좌표의 차이로 계산되어지는데 이는 〈표 4〉와 〈표 9〉의 차이를 말한다.

각각의 설계속도별로 중단경사의 경우 경사가 커질수록 시공오차로 인해 감소되는 시거에는 영향을 거의 미치지 않는 것으로 계산이 되었고, 설계속도별로 비교해보면 120km의 경우 2.80~21.27m, 100km의 경우 1.98~15.04m, 80km의 경우 1.40~10.64m, 60km의 경우 0.99~7.52m, 40km의 경우 0.51~3.88m 가 줄어드는 것으로 계산이 되었다.

감소된 시거의 비율은 120km의 경우 1.30~9.86%, 100km의 경우 1.28~9.70%, 80km의 경우 1.27~9.67%, 60km의 경우 1.32~10.03%, 40km의 경우 1.28~9.71%로 거의 비슷한 것으로 나타났다.

이를 정리하면 다음과 같다.

- ① 중단경사가 커져도 시거의 감소는 변화하지 않는다.
- ② 설계속도가 클수록 시거의 감소가 크다.
- ③ 시공오차가 클수록 시거의 감소는 크다.
- ④ 각 설계속도별 시거 감소 비율은 설계속도에 관계없이 거의 균일하다.

〈표 10〉 시공오차로 인한 정지시거의 변화

설계 속도 (km/h)	최소 정지시거(D) (m)	시공오차 (m)	시공오차의 영향으로인해 감소되는 시거 (m)	감소시거 비율 (%)
120	215	0.01	2.80	1.30
		0.03	8.61	4.00
		0.05	14.73	6.85
		0.07	21.27	9.89
100	155	0.01	1.98	1.28
		0.03	6.09	3.93
		0.05	10.42	6.72
		0.07	15.04	9.70
80	110	0.01	1.40	1.27
		0.03	4.30	3.91
		0.05	7.37	6.70
		0.07	10.64	9.67
60	75	0.01	0.99	1.32
		0.03	3.04	4.06
		0.05	5.21	6.94
		0.07	7.52	10.03
40	40	0.01	0.51	1.28
		0.03	1.57	3.93
		0.05	2.69	6.72
		0.07	3.88	9.71

2. 시공오차의 영향을 고려한 종단곡선 변화비율

각각의 설계속도별로 종단곡선의 변화비율이 제시되어 있지만 이는 시공오차를 고려하지 않은 것으로 운전자들에게 충분한 시거를 제공하기 위해서 시산법을 통해 각각의 설계속도에 따른 종단곡선의 변화비율을 증가시켜 시공오차가 발생하여 시거가 감소하여도 최소정지시거에 영향을 주지 않는 값을 산출하였다.

〈표 11〉은 시공오차가 고려된 종단곡선의 변화비율과 기존의 종단곡선의 변화 비율을 비교한 표이다. 기존의 변화비율에서 시공오차의 영향을 고려했을 때 설계속도 40km/h의 경우를 제외한 다른 설계속도의 경우 종단곡선의 변화비율을 약 6~25% 상향조정하여 이를 도로의 종단곡선의 설계에 적용하여, 운전자에게 적절한 시거를 확보해 줄 수 있을 것으로 분석되었다.

〈표 11〉 시공오차가 고려된 종단곡선의 변화비율(K)

설계속도 (km/h)	최소 정지시거(D) (m)	시공오차 (m)	종단곡선 변화비율 (K) (m/%)		증가비율 (%)
			정상 사공시	시공오차가 있는 경우	
120	215	0.01	120	124	3
		0.03		131	9
		0.05		139	16
		0.07		148	23
100	155	0.01	60	65	8
		0.03		68	13
		0.05		72	20
		0.07		77	28
80	110	0.01	30	33	10
		0.03		35	17
		0.05		37	23
		0.07		39	30
60	75	0.01	15	16	7
		0.03		16	7
		0.05		17	13
		0.07		18	20
40	40	0.01	4	5	25
		0.03		5	25
		0.05		5	25
		0.07		6	50

IV. 결론

기존의 종단곡선의 시거 산정 방법을 본 연구에서

제시한 시공오차를 적용하여 정립할 수 있었고, 종단곡선에서 각각의 설계속도와 시공오차에 따라 감소되는 시거를 산출하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각각의 설계속도별로 종단경사의 경우 경사가 커질수록 시공오차로 인해 감소되는 시거에는 영향을 거의 미치지 않는 것으로 계산이 되었다.
2. 시거의 감소정도를 설계속도별로 비교해보면 120km의 경우 2.8~21.3m, 100km의 경우 2.0~15.1m, 80km의 경우 1.4~10.6m, 60km의 경우 1.0~7.5m, 40km의 경우 0.5~3.9m 가 감소되었다.
3. 감소된 시거의 비율은 120km의 경우 1.3~9.9%, 100km의 경우 1.3~9.7%, 80km의 경우 1.3~9.7%, 60km의 경우 1.3~10.0%, 40km의 경우 1.3~9.7%로 거의 비슷한 것으로 나타났다.

또한 감소되는 시거를 이용하여 설계속도·시공오차별로 종단 곡선의 적절한 변화비율을 도출 할 수 있었다.

4. 설계속도별로 K 값을 비교해보면 120km의 경우 124~148, 100km의 경우 65~77, 80km의 경우 33~39, 60km의 경우 16~18, 40km의 경우 5~6으로 증가 되었다.
5. 기존의 변화비율에서 시공오차의 영향을 고려했을 때 설계속도 40km/h의 경우를 제외한 다른 설계속도의 경우 종단곡선의 변화비율을 약 6~25% 상향조정이 필요하다.

이를 도로의 종단곡선의 설계에 적용하여, 운전자에게 충분한 시거를 확보해줌으로써 종단곡선의 주행 시 안전성과 쾌적성을 제공해 줄 수 있을 것이다.

본 논문의 연구는 이론적인 설계기준에 대해서만 이루어 졌으므로 실제 도로의 실험을 수행하지 못한 한계점이 있다. 따라서 추후 연구 과제로는 현장조사를 통한 다양한 도로 조건을 고려한 연구가 필요하다.

또한 운전자의 눈의 높이를 정지시거의 정의에 따라 1.0m로 대입하여 계산하였으나 실제 남성과 여성의 키 차이나 차량의 종류에 따라 눈의 높이가 많은 차이를 보일 수 있으므로 이러한 차이점이 시공오차의 영향보다 더 큰 영향을 줄 수 있을지에 대한 추후 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 김성관(2003), "원곡선 구간에서 시거를 고려한 설계기준 연구", 명지대학교 대학원, 석사학위논문.
 2. 한상민(2002), "중단곡선에서 유효가시 높이를 고려한 시거산정 방법 개선에 관한 연구", 명지대학교 대학원, 석사학위논문.
 3. 건설교통부(2000), 도로설계편람.
 4. 건설교통부(2000), 도로의 구조·시설에 관한 규칙 해설 및 지침.
 5. 건설교통부(2003), 도로설계기준 및 도로교 설계기준 개정.
 6. 건설교통부(2003), 도로공사표준시방서.
 7. 박창호외(2003), 교통공학개론, 영지문화사.
 8. 도철웅(1997), 교통공학원론(상), 청문각.
 9. A Policy on Geometric Design of Highway and Streets(2001), AASHTO, Washington, D.C.
- ♣ 주 작 성 자 : 이명한
- ♣ 논문투고일 : 2005. 10. 29
- ♣ 논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)
2005. 12. 15 (2차)
- ♣ 심사판정일 : 2005. 12. 15
- ♣ 반론접수기한 : 2006. 4. 30