

제 3-1 편 본선





6. 종단선형

6.1 종단선형의 요소

종단선형의 설계에 쓰이는 선형 요소에는 직선과 곡선이 있다.

도로의 형상을 구성하는 요소인 종단선형은 같은 설계속도를 적용하는 구간이라 할지라도 지형 조건에 따라 모든 자동차에게 동일한 주행 상태를 유지시켜 줄 수 없는 요소를 포함하고 있다.

이러한 종단선형은 직선과 곡선으로 구성된다. 종단선형의 설계 요소로는 종단경사와 종단곡선이 있으며, 자동차의 종류에 따른 성능 차이로 인하여 종단경사 구간에서 허용 속도이하로 주행하는 자동차를 위하여 오르막차로의 설치를 경제적 측면과 비교·검토하여 판단해야 한다.

6.2 종단경사

6.2.1 종단경사의 기준

- (1) 차도의 종단경사는 도로의 기능별 구분, 지형 상황과 설계속도에 따라 다음 표의 비율 이하로 해야 한다. 다만, 지형 상황, 주변 지장물 및 경제성을 고려하여 필요하다고 인정되는 경우에는 다음 표의 비율에 1퍼센트를 더한 값 이하로 할 수 있다.

〈표 6.1〉 최대 종단경사

최대 종단경사(퍼센트)								
설계속도 (킬로미터/ 시간)	주간선도로 및 보조간선도로				집산도로 및 연결로		국지도로	
	고속국도		그 밖의 도로		평지		산지등	
	평지	산지등	평지	산지등				
140	2	3						
130	2	3						

최대 종단경사(퍼센트)								
설계속도 (킬로미터/ 시간)	주간선도로 및 보조간선도로				집산도로 및 연결로		국지도로	
	고속국도		그 밖의 도로					
	평지	산지등	평지	산지등	평지	산지등	평지	산지등
120	3	4						
110	3	5	3	6				
100	3	5	4	6				
90	4	6	4	7	6	9		
80	4	6	5	7	7	10		
70			5	8	7	10	7	13
60			5	8	7	10	7	14
50			6	9	7	11	7	15
40					7	12	8	16
30							8	16
20								

비고) 산지등이란 산지, 구릉지 및 평지(지하차도 및 고가도로의 설치가 필요한 경우만 해당한다)를 말한다.

- (2) 소형차도로의 종단경사는 도로의 기능별 구분, 지형 상황과 설계속도에 따라 다음 표의 비율 이하로 해야 한다. 다만, 지형 상황, 주변 지장물 및 경제성을 고려하여 필요하다고 인정되는 경우에는 다음 표의 비율에 1퍼센트를 더한 값 이하로 할 수 있다.

최대 종단경사(퍼센트)								
설계속도 (킬로미터 /시간)	주간선도로 및 보조간선도로				집산도로 및 연결로		국지도로	
	고속국도		그 밖의 도로					
	평지	산지등	평지	산지등	평지	산지등	평지	산지등
140	3	4						
130	3	4						
120	4	5						
110	4	6	4	7				
100	4	6	6	7				
90	6	7	6	8	8	10		
80	6	7	7	8	9	11		
70			7	9	9	11	9	14
60			7	9	9	11	9	15
50			8	10	9	12	9	16
40					9	13	10	17
30							10	17
20								

(1) 개요

도로를 설계하기 위하여 결정된 설계속도는 도로를 구성하는 다양한 기하구조 요소를 상호 연관시킨다. 이는 도로를 설계할 때 같은 설계속도 구간에서는 도로의 형상을 일정하게 해야 하며, 동일한 주행상태를 유지할 수 있도록 해야 하는 도로설계의 근본적 개념을 만족시키기 위한 것이다. 그러나 설계속도에 따라 일정하게 정해지는 도로의 기하구조 요소 중 종단경사는 경사 구간의 오르막 특성이 자동차에 따라 크게 다르므로 모든 자동차가 설계속도와 같은 주행속도를 확보할 수 있도록 하는 것은 경제적인 측면에서 타당하지 못하다. 그러므로 종단경사의 값은 경제적인 측면에서 허용할 수 있는 범위 내에서 될 수 있는 대로 속도 저하가 작아지도록 하여 도로용량의 감소 및 안전성 저하를 방지하도록 결정하게 되므로 이 요령에서는 도로의 기능별 구분과 지형조건에 따라 종단경사의 적용값을 구분하였으며, 평지에서도 지하차도 및 고가도로를 설계할 때에는 산지의 값을 적용할 수 있다. 주변 상황 등으로 산지의 종단경사 적용이 부득이한 경우에는 새로운 설계구간을 설정하여 적용할 수 있다.

(2) 자동차의 오르막 특성

(가) 승용차

종단경사 구간에서 승용차의 움직임은 다양하게 나타나지만 대부분의 승용차는 4 ~ 5% 종단경사에서도 평지와 거의 비슷한 속도로 주행할 수 있으며, 3% 종단경사에서는 거의 영향을 받지 않는다. 그러나 승용차도 오르막 경사가 증가함에 따라 속도가 점차적으로 감소되며, 내리막 경사에서는 평지에서보다 속도가 증가하게 된다.

(나) 트럭

평지에서는 트럭의 평균 주행속도는 승용차와 거의 동일하나 오르막 구간에서는 많은 영향을 받는다. 오르막 구간에서 트럭이 유지할 수 있는 최고 속도는 종단경사의 크기, 경사의 길이, 총 중량/엔진 성능(중량/마력)비와 그 구간에 진입할 때의 속도에 따라 크게 영향을 받으므로 오르막 구간의 설계에서는 특히 트럭의 오르막 능력 및 특성을 감안해야 한다.

(다) 표준 트럭 선정

국토교통부에서 제정한 도로용량편람에서는 100kg/kw(170lb/hp), 일본의 도로구조령에서는 135kg/kw(225lb/hp), 캐나다는 180kg/kw(300lb/hp), 호주는 100kg/kw

(170lb/hp)를 적용하였고, 미국은 120kg/kw(200lb/hp)를 표준트럭으로 사용하나 구간별 특성을 반영하도록 권장하고 있다.

이와 같은 적용 사례와 트럭의 오르막 성능의 향상 정도를 감안하여 오르막차로를 설계할 때의 표준트럭의 오르막 성능은 총중량/엔진 성능 100kg/kw(170lb/hp)를 적용하도록 한다.

〈표 6.2〉 국가별 표준트럭 및 설치 조건

국 가	표준트럭(lb/hp)	설 치 조 건
미 국	200	주행속도가 15 km/h 이상 감소
캐 나 다	300	주행속도가 15 km/h 이상 감소
호 주	170	주행속도가 40 km/h 이하
일 본	225	주행속도가 설계속도의 1/2 이하
한 국	170	주행속도가 60 km/h 이하

(3) 종단경사 기준 산정

오르막 구간에서의 속도 저하는 다른 고속 자동차의 주행을 방해하여 도로용량을 감소시키는 요인이 되며, 또한 앞지르기 등의 주행이 늘어나 교통안전상의 저하를 가져온다는 것은 이미 기술한 바 있으나, 우리나라와 같이 산지가 많은 지형에서는 경제적인 측면과 속도 저하의 측면을 동시에 고려하여 합리적으로 종단경사의 설계가 이루어지도록 해야 한다.

그러므로 종단경사의 규정은 설계속도, 지형 여건 및 오르막 구간에서 가장 영향을 많이 받는 트럭의 오르막 능력을 감안하여 결정하였으며, 도로의 구분 및 주변 여건을 고려하고 평지 구간과 산지 구간으로 구분하여 경제적 측면과 그 도로의 조건에 만족할 수 있는 경사를 적용하도록 하였다.

종단경사는 오르막 구간의 주행속도가 가능한 한 설계속도와 가까운 속도를 유지하도록 하는 것이 이상적이지만, 경제적인 측면에서 제약을 받으므로 어느 정도의 속도 저하를 허용하도록 하고, 필요하다면 오르막차로를 설치할 수 있도록 하였다.

소형차도로는 승용자동차와 소형자동차 등 일정 규모 이하의 자동차만 주행하므로 일반도로에 비하여 오르막 구간을 오르는 성능이 뛰어난 자동차가 대상이 된다.

또한, 소형차도로의 종단경사는 소형차가 일정한 주행속도에서 균일하게 오르막구간을 오를

수 있는 종단경사를 적용하도록 한다.

(4) 적용 시 주의사항

일반적으로 종단경사를 제외한 다른 선형 요소는 자동차가 설계속도 이상으로 주행할 수 있도록 기준이 결정된다. 하지만 종단경사는 공사비에 미치는 영향이 크므로 오르막 성능이 낮은 차가 설계속도보다 어느 정도 낮은 속도로 주행하는 것을 허용하고 있다.

종단선형의 설계 시에는 지형 등의 조건을 충분히 검토해서 가능하면 하나의 설계구간에서는 모든 자동차가 해당 구간의 설계속도에 근접한 속도로 주행할 수 있도록 가장 완만한 종단경사를 취해야 한다. 그러나 산지를 지나는 노선의 경우, 그 도로의 교통량, 주행속도, 차종 구성, 평면선형, 오르막차로의 설치 여부, 건설비 등을 종합적으로 고려하여 적용해야 한다. 종단경사는 될 수 있는 대로 작은 것이 바람직하지만 길이가 길고 평탄한 도로에서는 배수에 문제가 생긴다. 따라서, 배수를 위하여 종방향으로 0.3 ~ 0.5% 종단경사를 설치하는 것이 바람직하다.

적설이나 동결이 예상되는 지역에서는 될 수 있는 대로 급경사의 적용은 피해야 한다. 왜냐하면, 노면의 적설, 결빙으로 인하여 미끄러지기 쉬울 때 상향 종단경사 구간에서 발진이 아주 어렵고, 하향 종단경사 구간에서는 제동의 필요 빈도가 많아져 미끄러지기 쉽기 때문이다. 긴 터널의 경우, 자동차 배기가스의 배출과 트럭의 저속 주행, 교통안전 등을 고려하여 최대 종단경사를 제한해야 한다. 독일 RAS-L-1에서는 터널의 길이가 짧을 경우 최대 종단경사로 4.0% 적용하고, 긴 터널에서는 2.5% 적용하도록 하고 있다.

기계 환기가 필요한 터널의 경우, 자동차 매연량은 상향 종단경사 3% 부근에서 급격히 증가하는 경향이 있으므로 최대 종단경사를 가급적 3% 이하로 계획한다.

6.2.2 종단경사 구간의 제한 길이

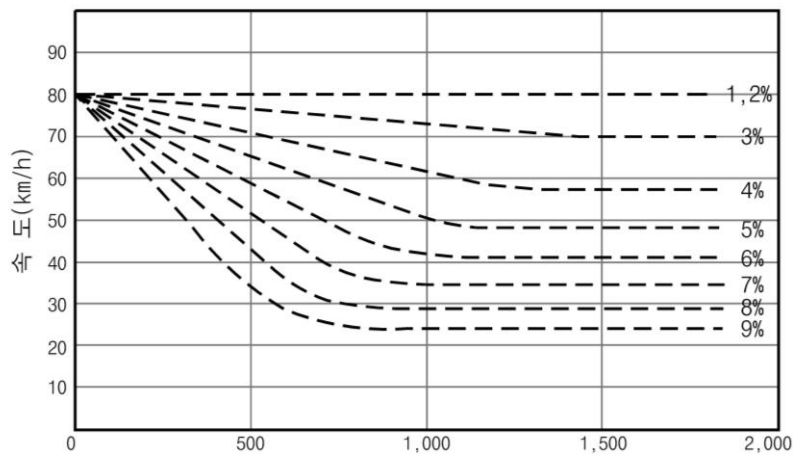
종단경사의 제한 길이는 트럭이 종단경사 구간에 진입하여 허용된 최저 속도까지 유지하며 주행할 수 있는 구간의 최대 길이이며, 설계된 오르막 구간의 길이가 제한 길이를 초과할 경우에는 표준트럭이 허용된 최저속도로 주행할 수 있도록 종단경사를 조정하거나 고속으로 주행하는 다른 자동차와 분리할 수 있도록 오르막차로의 설치를 검토해야 한다.

종단경사 구간의 제한 길이는 주어진 조건에 따라 총 중량/엔진 성능(중량/마력)비가 100

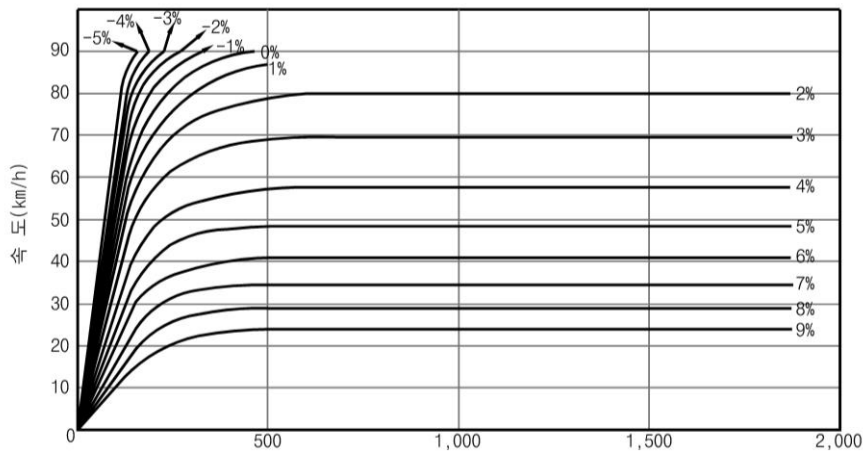
kg/kw(170 lb/hp)인 트럭을 표준으로 하여, 다음과 같은 가정 하에 그림 6.1의 경사 길이에 따른 속도 변화의 감속인 경우에 의거하여 산정한다.

- ① 오르막 구간의 진입속도는 다음 두 속도 중 작은 값을 적용한다.
 - 설계속도가 80 km/h 이상인 경우는 모두 80 km/h로 하며 설계속도가 80 km/h 미만인 경우는 설계속도와 같은 속도
 - 앞쪽 경사의 영향에 따른 오르막 구간의 진입속도
- ② 대형자동차의 허용 최저속도는 다음 값 이상의 속도를 유지하도록 한다.
 - 설계속도 100 km/h 이하 ~ 80 km/h 이상인 경우 : 60 km/h
 - 설계속도 80 km/h 미만인 경우 : 설계속도 - 20 km/h

단, 설계속도가 높은 도로의 오르막차로 시종점부는 본선 자동차와 오르막차로 이용 트럭의 속도 차이가 커서 교통사고의 위험이 크다. 따라서, 설계속도 120 km/h인 경우에는 오르막차로 시점부는 65 km/h, 종점부는 75 km/h를 허용 최저속도로 하고, 설계속도 130 km/h 이상인 경우에는 오르막차로 시점부는 75 km/h, 종점부는 85 km/h를 허용 최저속도로 한다.



〈그림 6.1〉 경사 길이에 따른 속도 변화[100kg/kw(170lb/hp) 표준트럭 : 감속인 경우]



〈그림 6.2〉 경사 길이에 따른 속도 변화[100kg/kw(170lb/hp) 표준트럭 : 가속인 경우]

6.3 종단곡선 변화 비율과 길이

- (1) 차도의 종단경사가 변경되는 부분에는 종단곡선을 설치해야 한다. 이 경우 종단곡선의 길이는 제(2)항에 따른 종단곡선의 변화 비율에 따라 산정한 길이와 제(3)항에 따른 종단곡선의 길이 중 큰 값의 길이 이상이어야 한다.
- (2) 종단곡선의 변화 비율은 해당 차로의 설계속도 및 종단곡선의 형태에 따라 표 6.3의 값 이상을 적용한다.

〈표 6.3〉 최소 종단곡선 변화 비율

(단위 : 미터/퍼센트)

설계속도 (킬로미터/시간)	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
볼록곡선	215	165	120	90	60	45	30	25	15	8	4	3	1
오목곡선	75	65	55	45	35	30	25	20	15	10	6	4	2

- (3) 종단곡선의 길이는 설계속도에 따라 표 6.4에 나타난 길이 이상으로 한다.

〈표 6.4〉 종단곡선의 최소 길이

(단위 : 미터)

설계속도(킬로미터/시간)	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
종단곡선의 최소 길이	120	110	100	90	85	75	70	60	50	40	35	25	20

(1) 개요

두 개의 다른 종단경사가 접속될 때는 접속 지점을 통과하는 자동차의 운동량 변화에 따른 충격 완화와 정지시거를 확보할 수 있도록 서로 다른 두 종단경사를 적당한 변화율로 접속시켜야 하며, 이러한 종단곡선은 그 형태에 따라 볼록형과 오목형으로 구분한다.

종단곡선은 2차 포물선으로 설치하며, 주행의 안전성과 쾌적성을 확보하고, 도로의 배수가 원활하게 될 수 있도록 설치해야 한다.

(2) 종단곡선의 크기

종단곡선의 크기를 표시하는 방법에는 종단곡선반지름으로 나타내는 방법과 종단곡선 변화비율로 나타내는 방법이 있다.

(가) 종단곡선반지름

그림 6.3에서 S_1 , S_2 를 종단경사라 하면 S_1 , S_2 는 2차 포물선인 종단곡선의 접선이 된다. 이 2차 포물선의 방정식은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$y = \frac{1}{2K_r}x^2 + s_1x \quad (K_r \text{은 상수}) \quad (6.1)$$

$$\text{경사 } s_2 = \frac{x}{K_r} + s_1 \quad (6.2)$$

임의의 곡선반지름을 R_v 라 하면.

$$R_v = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]}{\frac{d^2y}{dx^2}} = K_r(1 + s_1)^{3/2} \quad (6.3)$$

종단경사로서 S_1 은 매우 작으므로

$$R_v \approx K_r$$

$$\frac{x}{|s_2 - s_1|} = K_r \approx R_v$$

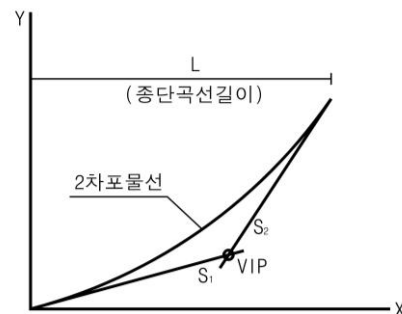
여기서, x : 임의의 지점

S_2 : x 에서의 접선의 기울기

S_1 : 원점에서의 접선의 기울기

R : 종단곡선반지름

따라서, 종단곡선상에 놓인 두 점의 접선 경사의 대



〈그림 6.3〉 종단곡선의 크기 표시

수차로 두 점간의 거리를 나눈 값은 일정하며, 곡선반지름과 같다는 것을 알 수 있다. 반대로 곡선반지름을 미리 알고 있다면 양측의 기울기의 차와 곡선반지름을 곱하면 곡선길이 구해진다.

실제 종단곡선에 있어서는 x 의 값으로 종단곡선의 곡선길이 L 을 결정하면 S_1 및 S_2 는 종단경사가 되므로 종단곡선반지름 R_v 은 다음과 같이 표시된다.

$$R_v = \frac{L}{|S_2 - S_1|} \quad (6.4)$$

(나) 종단곡선 변화 비율

종단곡선 변화 비율이란 접속되는 두 종단경사의 차이가 1% 변하는 데 확보해야 할 수평 거리로서, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

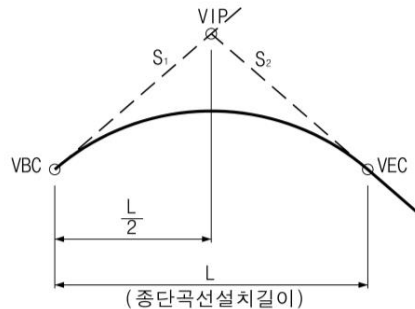
$$K = \frac{K_r (= R_v)}{100} = \frac{L}{100(S_2 - S_1)} = \frac{L}{S} = \frac{R}{100} \quad (6.5)$$

여기서, K : 종단곡선 변화 비율(m/%)

L : 종단곡선의 길이(m)

S : $|S_1 - S_2|$: 종단경사의 차이(%)

R : 종단곡선반지름(m)



〈그림 6.4〉 두 종단곡선의 접속

(3) 최소 종단곡선 변화비율

종단곡선 변화 비율은 자동차에 미치는 충격을 완화시키고, 정지시거를 확보할 수 있도록 최소값을 규정하고 있다.

(가) 충격 완화에 필요한 종단곡선 길이와 변화 비율

경사가 다른 두 구간을 주행하는 자동차는 운동량 변화를 경험하게 되며, 이로 인한 충격

을 완화하여 주행 쾌적성을 높일 필요가 있다. 일반적으로 주행 중에 불쾌감을 느끼게 하지 않는 종단곡선의 길이를 구하는 식은 식 6.6과 같다.

식 6.6과 식 6.7에서 360이라는 값은 승객이 불쾌감을 느끼지 않도록 충격 완화를 고려하여 결정한 값이다.

$$L = \frac{V^2 \cdot S}{360} \quad (6.6)$$

$$K_r = \frac{V^2}{360} \quad (6.7)$$

여기서, L : 종단곡선의 길이(m)

I : 종단경사의 차이(%)

V : 설계속도(km/h)

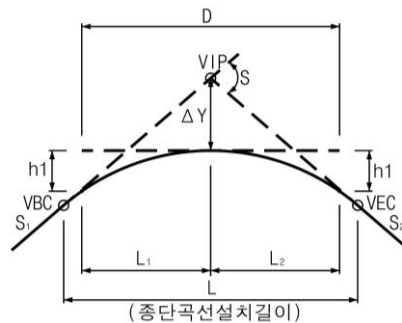
K_r : 종단곡선 변화 비율(m/%)

(나) 정지시거 확보에 필요한 종단곡선길이와 변화 비율

정지시거를 확보할 수 있는 종단곡선길이는 종단곡선의 형태상 오목형에서는 문제가 되지 않으며, 볼록형으로 그 길이가 결정된다.

① 2점이 모두 종단곡선상에 있을 때

$$D = L_1 + L_2 = \sqrt{2K_r} \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$



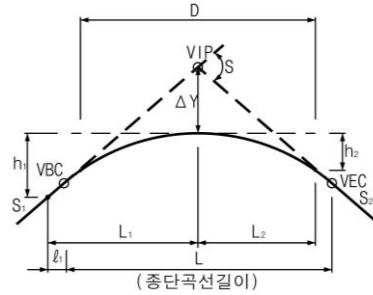
〈그림 6.5〉 종단곡선상의 투시거리(1)

② 1점이 종단곡선 상에 다른 1점은 종단곡선 밖에 있을 때

$$D = \ell + L_1 + L_2 = \sqrt{\ell^2} + \sqrt{2K_r h_1} + \sqrt{2K_r h_2}$$

이때 투시거리 D 가 최소로 되는 것은 $\ell = 0$ 일 때 이므로

$$D_{\min} = \sqrt{2K_r h_1} + \sqrt{2K_r h_2} = \sqrt{2K_r} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$



〈그림 6.6〉 종단곡선상의 투시거리(II)

③ 2점이 모두 종단곡선 밖에 있을 때

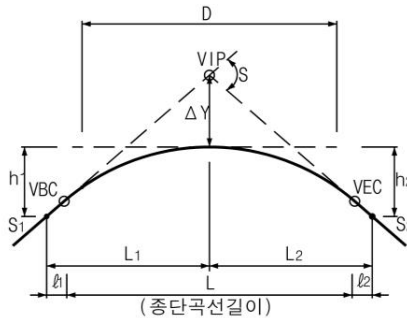
$$L_1 = \sqrt{2K_r h_1 + \ell_1^2}$$

$$L_2 = \sqrt{2K_r h_2 + \ell_2^2}$$

$$D = \ell_1 + \ell_2 + L$$

$$= \frac{L}{2} + \frac{K_r h_1}{x} + \frac{K_r h_2}{L - x}$$

$$D_{\min} = \frac{L}{2} + \frac{K_r}{L} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2$$



〈그림 6.7〉 종단곡선상의 투시거리(III)

따라서 정지시거 정의에 따라 $h_1=1.0$ m, $h_2=0.15$ m를 대입하고, 경사의 차이 $S_2 - S_1$ 을 백분율로 하여 계산하면 다음과 같다.

i) 2점이 종단곡선 상에 위치할 때

$$L = \frac{D^2 (S_2 - S_1)}{385} \quad (6.8)$$

ii) 2점이 종단곡선의 밖에 위치할 때

$$L = 2D - \frac{385}{(S_2 - S_1)} \quad (6.9)$$

위의 식 6.8과 식 6.9에 따라 산정된 값을 비교하여 보면, 항상 식 6.8의 값이 크다. 그러므로 설계속도에 따른 정지시거를 확보하기 위하여서는 두 점이 종단곡선 상에 위치할 경우를 만족해야 한다.

$$K_r = \frac{D^2}{385} \quad (6.10)$$

(다) 전조등의 야간 투시에 의한 종단곡선길이

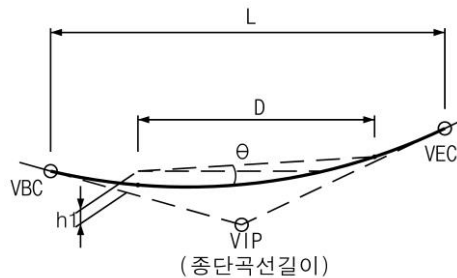
오목형 종단곡선에서는 야간 주행 시 전조등을 비출 때 정지시거의 확보가 가능하도록 종단곡선길이가 설치되면, 충격 완화 및 주간 정지시거 확보에는 문제가 없다.

이때 전조등에 의한 종단곡선 길이의 산정 기준으로는 전조등의 높이는 0.60 m, 전조등이 비쳐지는 각도는 상향각 1° 로 한다.

① 2점이 모두 종단곡선 상에 있을 때

$$h = \frac{1}{2K_r} D^2 - D \tan \theta$$

$$L = \frac{(S_1 - S_2) D^2}{120 + 3.5D} \quad (6.11)$$

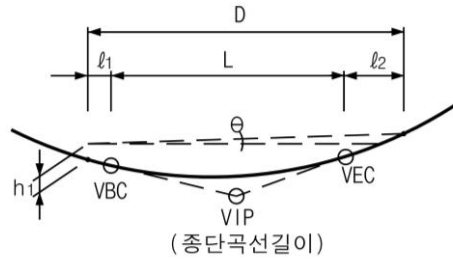


〈그림 6.8〉 종단곡선 상의 야간투시(1)

② 2점이 종단곡선 밖에 있을 때

$$h = \frac{L}{2K_r} (L + 2\ell_2) - D \tan \theta$$

$$L = 2D - \frac{120 + 3.5D}{(S_1 - S_2)} \quad (6.12)$$



〈그림 6.9〉 종단곡선 상의 야간투시(II)

이상 두 가지 경우의 식 6.11과 식 6.12의 값을 비교하여 보면, 그 값은 항상 식 6.11의 값이 크다. 그러므로 오목형 종단곡선의 길이는 식 6.11로 산정되며, 이 식을 종단곡선비율로 나타내면 다음 식과 같다.

$$K = \frac{D^2}{120 + 3.5D} \quad (6.13)$$

(4) 종단곡선 길이의 산정

종단곡선의 형태별로 필요한 종단곡선의 길이를 산정하여 보면 볼록형인 경우에는 두 종단경사의 접속으로 인한 정점부를 정지시거가 확보될 수 있도록 종단곡선길이를 설치하도록 해야 하며, 오목형인 경우에는 야간에 전조등으로 비추어 정지시거를 확보할 수 있도록 종단곡선 길이를 설치해야 한다. 종단곡선의 형태별로 필요한 길이를 산정하면 표 6.5 및 표 6.6과 같다.

〈표 6.5〉 볼록형 종단곡선의 종단곡선 변화 비율

설계속도 (km/h)	최소 정지시거 (m)	볼록형 종단곡선의 종단곡선 변화 비율(m/%)		
		충격 완화를 위한 K값	정지시거 확보를 위한 K값	적용 K값
140	285	54.4	211.0	215.0
130	250	46.9	162.3	165.0
120	215	40.0	120.1	120.0
110	185	33.6	88.9	90.0
100	155	27.8	62.4	60.0
90	130	22.5	43.9	45.0
80	110	17.8	31.4	30.0
70	95	13.6	23.4	25.0
60	75	10.0	14.6	15.0
50	55	6.9	7.9	8.0
40	40	4.4	4.2	4.0
30	30	2.5	2.3	3.0
20	20	1.1	1.0	1.0

〈표 6.6〉 오목형 종단곡선의 종단곡선 변화 비율

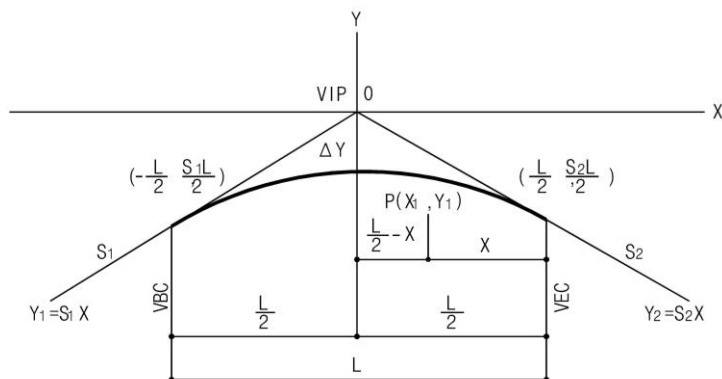
설계속도 (km/h)	최소 정지시거 (m)	오목형 종단곡선의 종단곡선 변화 비율(m/%)		
		충격 완화를 위한 K값	전조등에 의한 정지시거 확보를 위한 K값	적용 K값
140	285	54.4	72.7	75.0
130	250	46.9	62.8	65.0
120	215	40.0	53.0	55.0
110	185	33.6	44.6	45.0
100	155	27.8	36.3	35.0
90	130	22.5	29*.4	30.0
80	110	17.8	24.0	25.0
70	95	13.6	19.9	20.0
60	75	10.0	14.7	15.0
50	55	6.9	9.7	10.0
40	40	4.4	6.2	6.0
30	30	2.5	4.0	4.0
20	20	1.1	2.1	2.0

(5) 종단곡선의 중간값 계산

종단곡선길이는 수평 거리와 이론적으로 같다고 가정한다.

즉, 그림 6.10과 같이 S_1 , S_2 의 경사 변이점에서 종단곡선의 시·종점을 VBC 및 VEC라고 할 때, 종단곡선 길이는 VBC, VEC 간의 수평거리 L과 같다고 본다. 이 경우, 종단 변곡점 VIP로부터 곡선까지의 거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

그림 6.10에서 두 종단경사에 접하는 종단곡선의 포물선 식을 구하면 다음 식과 같다.



〈그림 6.10〉 종단곡선의 중간값

$$Y = \frac{s_2 - s_1}{2L} X^2 + \frac{s_1 + s_2}{2} X + \frac{L(s_2 - s_1)}{8} \quad (6.14)$$

여기서, s_1, s_2 : 종단경사

L : 종단곡선길이(m)

식 6.14에서 포물선 식의 최대 이정량을 구하여 백분율로 정리하면 다음식과 같다.

$$\Delta Y = \frac{|s_1 - s_2|}{800} L \quad (6.15)$$

또한 임의의 점 $P(X_1, Y_1)$ 에서의 이정량 y 는 식 6.16과 종단경사의 관계에서

$$y = \frac{s_1 - s_2}{2L} \left(X_1 - \frac{L}{2} \right)^2 \quad (6.16)$$

그림 6.10에서 $X_1 = \frac{L}{2} - X$ 이므로

식 6.16에 대입하여 백분율로 정리하면

$$y = \frac{|s_1 - s_2|}{200L} X^2 \quad (6.17)$$

여기서, X : VBC 혹은 VEC에서 임의의 점 P까지의 수평거리(m)

y : VBC 혹은 VEC에서 X의 거리에 있는 점의 종단곡선까지의 이정량(m)

s_1 : VBC 상의 종단경사(%)

s_2 : VEC 상의 종단경사(%)

L : 종단곡선길이(m)

6.4 오르막차로

- (1) 종단경사가 있는 구간에서 자동차의 오르막 능력 등을 검토하여 필요하다고 인정되는 경우에는 오르막차로를 설치해야 한다. 다만, 설계속도가 시속 40킬로미터 이하인 경우에는 오르막차로를 설치하지 않을 수 있다.
- (2) 오르막차로의 폭은 본선 차로폭과 같게 설치해야 한다.

6.4.1 일반사항

오르막 구간에서 속도 감소가 큰 대형자동차의 혼입률이 커서 도로용량의 감소가 크게 예상되는 경우나 대형자동차가 허용된 최저 속도 이상으로 주행할 수 있도록 하기 위해서는 도로의 노선 선정 및 구조적 형상면에서 경제성이 없거나 불합리한 경우 또는 고속 자동차의 안전하고 원활한 주행을 확보시켜 주어야만 도로의 성격상 합리적인 경우에는 부가차로로 오르막차로의 설치를 검토하여 필요한 경우 주행차로에 붙여 설치해야 한다.

오르막차로를 설치할 때 검토할 유의사항은 다음과 같다.

- ① 도로용량
 - 도로용량과 교통량의 관계
 - 고속 자동차와 저속 자동차의 구성비
- ② 경제성
 - 오르막 경사의 낮춤과 오르막차로 설치의 경제성
 - 고속 주행에 따른 편의 및 쾌적성 향상과 사업비 절감에 따른 경제성 증가
- ③ 교통 안전
 - 오르막차로 설치에 따른 교통사고 예방 효과

그러나 우리나라와 같이 산지가 많은 지역적 조건을 감안할 때 설계속도 40 km/h 이하의 도로에서는 설계속도와 주행속도의 차가 심하지 않으므로 그 필요성을 검토하여 설치하지 않을 수 있다.

또 왕복 4차로 도로에서의 오르막차로 설치 여부는 대형자동차의 속도 저하, 도로용량, 경제성 등을 검토하여 결정하도록 하고, 왕복 6차로 이상의 도로에서는 고속 자동차가 저속 자동차를 앞지를 수 있는 공간적인 여유가 4차로보다 많으므로 오르막차로를 설치하지 않을 수 있으나 도로용량을 검토하여 결정해야 한다.

6.4.2 오르막차로의 설치 구간 설정

(1) 설치 구간 설정의 전제 조건

오르막차로 설치 구간은 오르막 구간을 주행해야 하는 대형자동차에 대하여 다음과 같이 가정하여 그 구간을 결정해야 한다.

- ① 오르막 구간에서 대형자동차의 오르막 성능은 총중량/엔진 성능(중량/마력)비 100kg/kw (170lb/hp)를 표준으로 하며, 사업대상지역의 화물차 구성비를 관측한 자료가 있을 경우에는 지역별 특성을 감안하여 표준트럭을 달리 적용할 수 있다.
- ② 오르막 구간의 진입속도는 다음 두 속도 중 작은 값을 적용한다.
 - 설계속도가 80 km/h 이상인 경우는 모두 80 km/h로 하며, 설계속도가 80 km/h 미만인 경우는 설계속도와 같은 속도
 - 앞쪽 경사의 영향에 따른 오르막 구간의 진입속도
- ③ 대형자동차의 허용 최저속도는 다음 값 이상의 속도를 유지하도록 한다.
 - 설계속도 100 km/h ~ 80 km/h 인 경우 : 60 km/h
 - 설계속도 80 km/h 미만인 경우 : 설계속도 - 20 km/h

단, 설계속도가 높은 도로의 오르막차로 시종점부는 본선 이용 자동차와 오르막차로 이용 트럭의 속도 차이가 커서 교통사고의 위험이 크다. 따라서, 설계속도 120 km/h인 경우에는 오르막차로 시점부는 65 km/h, 종점부는 75 km/h를 허용 최저속도로 한다.

(2) 속도 - 경사도의 작성

종단경사 구간에서 경사 길이에 대한 대형 자동차의 속도 변화가 감소인 경우에는 그림 6.1을, 가속인 경우에는 그림 6.2를 이용하여 속도 - 경사도를 작성하고, 허용 최저속도 보다 낮은 속도의 주행구간을 오르막차로의 설치 구간으로 정한다.

속도 - 경사도의 작성할 때 종단곡선구간은 다음과 같이 직선경사구간이 연속된 것으로 가정한다.

- ① 종단곡선길이가 200 m 미만인 경우는 종단곡선길이를 반으로 나누어 앞뒤의 경사로 한다.
- ② 종단곡선길이가 200 m 이상이며 앞뒤의 경사차가 0.5% 미만인 경우에는 종단곡선길이를 반으로 나누어 앞뒤의 경사로 한다.
- ③ 종단곡선길이가 200 m 이상이며 앞뒤의 경사차이가 0.5% 이상인 경우는 종단곡선길이

를 4등분하여, 양끝의 1/4 구간은 앞뒤 경사로 하고 가운데 1/2 구간은 앞뒤 경사의 평균 값으로 한다.

6.4.3 오르막차로의 설치

속도 - 경사도를 작성하여 허용 최저 속도 이하로 주행하는 구간이 200 m 이상일 경우 오르막차로를 설치한다. 단, 계산된 길이가 200 ~ 500 m 일 경우 그 길이는 최소 500 m로 연장하여 설치한다. 오르막차로를 설치할 때는 그 도로의 교통 특성 및 지역 여건에 따라 다음의 방법을 비교하여 설치한다.

방법 ① : 오르막차로를 주행차로에 변이구간으로 접속시키는 방법

방법 ② : 오르막차로를 주행차로와 독립하여 접속시키는 방법

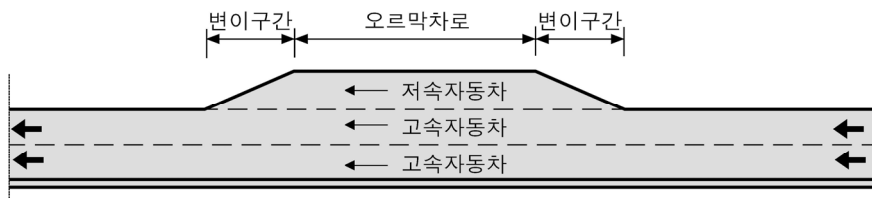
방법 ③ : 오르막차로를 주행차로와 연속하여 접속시키며 변이구간을 늘리고 종점부 합류구간의 차선을 삭제하는 방법

오르막차로는 오르막차로의 본선 길이와 그 시종점부에 변이구간의 길이로 구성되며, 오르막차로의 본선 길이는 대형자동차의 속도가 허용 최저 속도 이하로 되는 구간부터 허용 최저 속도로 복귀되는 길이까지로 한다.

오르막차로를 본선에 직접 붙여서 평면곡선부에 설치하는 경우 오르막차로 이용 자동차의 속도가 본선 구간 이용 자동차의 속도보다 낮고 본선에서의 차로 변경 및 합류 등을 고려하여 본선 구간과 오르막차로의 편경사 차는 3% 이내로 설치하도록 한다.

(1) 토공 구간의 오르막차로 설치

(가) 오르막차로를 주행차로에 변이구간으로 접속시키는 방법



〈그림 6.11〉 오르막차로 설치 방법 ①

종래 오르막차로를 설치할 때 사용되던 방법으로 저속 자동차가 차로를 바꾸도록 유도하여 저속 자동차와 고속 자동차를 분리시키는 형태로 오르막차로를 설치한다.

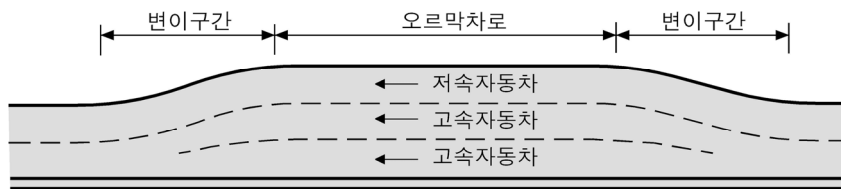
이 방법은 속도 - 경사도에서 산정된 오르막차로의 본선 길이에 접속하여 본선으로 주행하던 저속 자동차가 원활하게 차로를 바꿀 수 있도록 변이구간을 다음과 같이 설치한다.

- ① 시점부 변이구간은 설계속도에 따라 변이율을 1/15 ~ 1/25 사이로 한다.
- ② 종점부 변이구간은 설계속도에 따라 변이율을 1/20 ~ 1/30 사이로 한다.

이 방법은 저속 자동차가 연속된 주행이 아닌 차로 변경에 의하여 주행하게 되나, 속도가 낮은 자동차의 주행을 유도하는 것이므로 주행차로의 변이구간 접속부에 특별히 평면곡선을 설치하지 않아도 좋다.

또한, 이 방법은 고속자동차의 연속된 주행을 확보할 수 있어 일방향 2차로 이상인 도로에서 효과적이나 양방향 2차로의 도로에서는 운전자의 주행특성상 불리한 점이 있다.

(나) 오르막차로를 주행차로와 독립하여 접속시키는 방법



〈그림 6.12〉 오르막차로 설치 방법 ②

오르막차로를 설치할 때 사용하고 있는 방법 중 그림 6.11은 우리나라 운전자의 특성상 여러 가지 문제점이 발견되고 있다. 그 중 가장 큰 문제점으로 운전자의 심리상 저속 자동차가 오르막차로 구간에서도 본선 차로를 그대로 주행함에 따라 교통 지체가 발생하는 요인이 되고 있으며, 이로 인하여 고속 자동차가 오르막차로를 이용한 앞지르기 등으로 교통사고를 야기시키는 경우가 있다.

또한, 시·종점부 오르막차로 이용 자동차의 차로 변경을 위한 변이구간 길이 부족으로 저속 자동차와 고속 자동차 간의 주행속도차로 인해 합류가 곤란한 단점이 발견되었다.

〈표 6.7〉 2차로 승용차와 오르막차로 화물차 간의 속도 차

구 분	오르막차로 시점	오르막차로 종점
속 도 차	12.78 ~ 42.40 km/h	11.25 ~ 45.41 km/h
속도 차가 20 km/h 이상 지점 비율	70%	83%

〈표 6.8〉 1차로 승용차와 2차로 승용차 간의 속도 차

구 분	오르막차로 시점	오르막차로 종점
속 도 차	1.03 ~ 18.60 km/h	0.27 ~ 17.00 km/h
속도 차가 20 km/h 이상 지점 비율	0%	0%

그림 6.12는 속도 차이가 작은 1차로 승용차와 2차로 승용차 간의 분·합류를 수행하는 오르막차로 설치 방법으로, 표 6.8의 1차로 승용차와 2차로 승용차 간의 속도 차이가 적음을 알 수 있다.

아직은 우리나라 운전자가 첫 번째 방법으로 설치된 오르막차로의 주행 방법에 익숙해 있으므로 그림 6.12의 방법은 고속 자동차가 오르막차로의 시·종점부에서 변이구간의 통과에 따른 세심한 배려가 필요하다. 즉, 오르막차로의 변이구간 시작 전에 노면표시 등으로 고속 자동차가 미리 차로를 바꿀 수 있도록 해야 한다. 이 방법은 양방향 2차로인 도로에서 사용할 때 그 효과가 충분히 발휘될 수 있다.

(다) 오르막차로를 주행차로와 연속하여 접속시키며 변이구간을 늘리고 종점부 합류구간의 차선을 삭제하는 방법



〈그림 6.13〉 오르막차로 설치 방법 ③

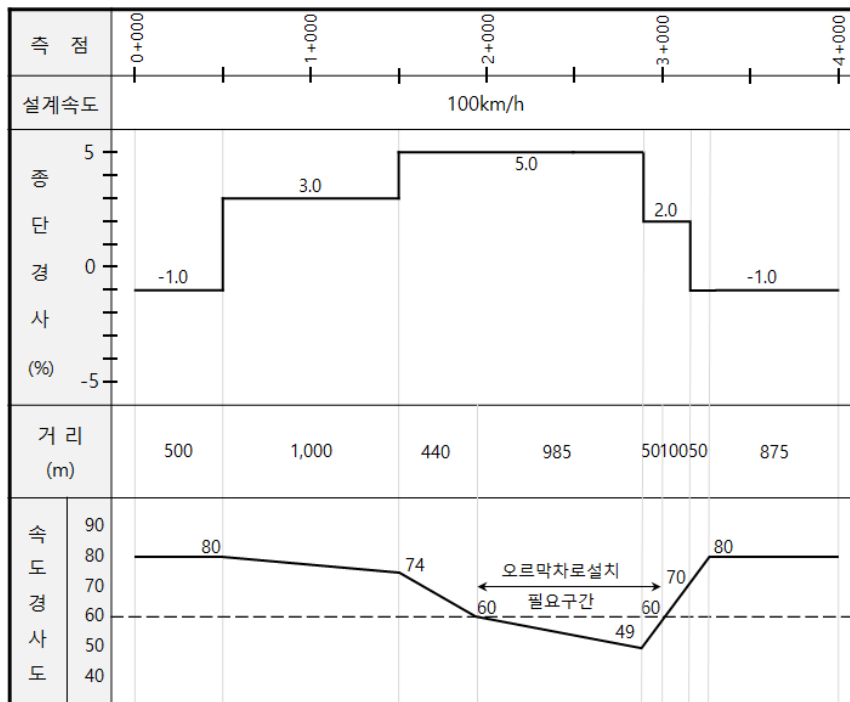
그림 6.13은 저속 자동차가 주행하던 차로를 그대로 이용하도록 하고 고속 자동차가 변이구간을 통과하여 저속 자동차를 앞지를 수 있도록 한 방법이다. 이 방법은 외측 차로를 주행차로와 연속하여 접속시키는 방안으로서, 종점부 합류구간의 차선을 삭제하고 시·종점부의 변이구간 길이 및 접속 방법을 변경한 방법으로, 영업소 차로 합류 방식과 동일하여 운전자에게 유리한 측면이 있다. 또한, 저속 자동차의 외측 차로 유도에 따른 본선 부지·정체 해소가 가능하여 도로용량 증대 및 서비스수준 개선이 기대된다. 저속 자동차와 고속 자동차 간의 상충에 따른 사고 위험을 감소시키기 위하여 시·종점부 변이구간은 다음의 방법으로 그 길이를 산정하여 도로의 교통 특성과 주변 지역 여건에 맞도록

설치한다.

- ① 시점부 변이구간의 변이율은 설계속도에 따라 표 6.9에서 제시한 변이율을 적용한다.
 - ② 종점부 변이구간의 변이율은 저속 자동차와 고속 자동차의 합류부 특성을 고려하여 교통안전 확보를 위하여 설계속도에 10 km/h 이상을 더한 변이율을 적용할 수 있다.
 - ③ 변이구간의 변이율에 따른 도로 교각 산정
 - ④ 변이구간과 주행차로, 변이구간과 오르막차로의 접속을 위한 평면곡선 설치
- 이 때 오르막차로의 접속을 위하여 평면곡선이 설치되는 구간의 기하구조 조건은 설계속도에 맞도록 해야 하며, 차로의 접속이므로 설계속도에 상관없이 완화곡선의 설치는 고려하지 않아도 좋다.

〈표 6.9〉 속도에 따른 접속 설치율 및 변이구간 길이

설계속도(km/h)		120	100	80	60	50
접속설치율	계산값	1/83.3	1/69.4	1/55.6	1/41.7	1/34.7
	적용값	1/85	1/70	1/60	1/45	1/35
변이구간 길이(m)		300	250	216	162	125



〈그림 6.14〉 속도-경사도에 따른 오르막차로 설치(예시)

(2) 터널 및 터널 전후 구간의 오르막차로 설치

터널 전후 구간은 종단선형이 완만하지 않고, 시거 제약이나 운전자 심리 위축 등 교통사고 위험이 큰 구간이므로 주의가 필요하다.

오르막차로의 터널부 안으로 연장 여부는 구체적인 경제성 분석 실시 후 결정하며, 터널 입구부에 오르막차로의 종점부를 두어서는 안 되며, 터널 내에 오르막차로가 설치되는 경우의 터널 내공단면은 3차로 터널의 표준단면을 적용한다.

오르막차로와 터널이 연속될 가능성이 있을 때는 종단선형 조정 안과 터널 길이 전체에 걸친 오르막차로 설치 방안을 비교 검토해야 한다.

(가) 오르막차로의 설치 길이

오르막차로 종점과 터널 시점 간의 최소 이격거리는 표 6.10에서 제시한 최소 정지시거 만큼 확보되어야 하고, 교통류의 상충이 있으므로 최소 이격거리 내 또는 터널 내부에 오르막차로 종점부를 둘 수 없다.

〈표 6.10〉 오르막차로 종점과 터널 시점 간의 최소 이격거리 기준

설계속도(km/h)	140	130	120	100	80	60
최소 정지시거(m)	285	250	215	155	110	75

(나) 오르막차로 종점부 선정

오르막차로 종점부 선정은 다음에 따른다.

- ① 오르막차로 종점부는 합류속도를 회복하는 지점으로 한다.
- ② 합류속도는 가속차로의 본선 유입 시 도달속도로 하며, 다음 표 6.11과 같다.

〈표 6.11〉 가속 시 본선 설계속도에 따른 도달속도

설계속도(km/h)	120	100	80	60
도달속도(km/h)	88	75	60	45

- ③ 터널 후 ‘우측차로 없어짐 표시’ 설치를 위하여 이격거리는 최소 200 m 이상으로 한다.
- ④ 오르막차로 종점 테이퍼 끝부분이 평면곡선, 종단곡선, 땅깍기부, 수목, 가드레일 등으로 인하여 시거가 제약될 때는 오르막차로를 정지시거가 확보될 때까지 연장한다.