

현광방지시설의 높이 및 차광각도에 대한 고찰

A Study on Height and Glare Angle of Median Barriers



孫 元 杓
Sohn, Won Pyo

* 교통·도로 및 공항기술사.
(주) 삼안건설기술공사 도로공항부 상무이사

1. 서론

현광방지시설이란 대형차의 전조등 불빛에 의한 눈부심을 방지하기 위하여 설치하는 시설로서 대표적인 것으로는 중앙분리대에 등간격으로 심어져 있는 식목과 현광방지망이 있다. 사람이 1점을 주시하고 있을 경우 동일 시선내에 높은 빛이 있으면 눈부심을 느끼나 그 정도는 눈부심 근원(발생원)이 시선에 가까워질수록, 빛나는 정도가 클수록 크며, 시선과 눈부심 근원과의 간격은 대략 15° 정도까지가 그 영향이 현저하다. 더욱이 눈부심은 보는 것 자체의 휘도대비가 지나치게 클 경우에도 느끼게 된다. 그러나 이러한 어지러움이 어느 정도까지 허용되어지는가 하는 점에 대해서는 아직 명확한 결론이 얻어지지 않고 있으므로 이들 시설의 효과 또한 명확하지 않은 실정이다.

이러한 현광방지시설은 초기에는 중앙분리대 지역에 나무를 심어 눈부심 방지기능을 갖도록 하였으나 도로폭원 구성상의 제약, 도로선형 조건의 제약, 유지관리 측면 등을 감안하여 점차로 인공의 공작물이 설치되고 있는 실정이다.

한편, 기존의 현광방지시설은 당초 4차로 고속도로의 중앙분리대 콘크리트 방호벽 위에 설치되어 있었으나 고속도로 통행차량의 급격한 증가와

도시화의 확산으로 점차 6차로, 8차로의 확장공사가 추진되고 있으며, 주말의 버스전용차로제 시행으로 대형차의 1차로 주행이 증가되고 있는 추세이므로 이에 따른 기존 현광방지시설의 높이, 차광각도 등에 대한 적정성 여부를 검토하고자 한다.

2. 현광방지시설의 설치위치 및 구간

현광방지시설의 설치위치 및 구간에 대한 구체적인 기준을 제시하고 있는 관련자료는 고속도로 공사 일반시방서, 고속도로 건설공사 특별시방서 등에 적용범위 및 재질에 대한 단편적인 사항만 언급되고 있으므로 일본의 경우를 참고로 하여 그 내용을 살펴보기로 한다.

2.1 설치위치

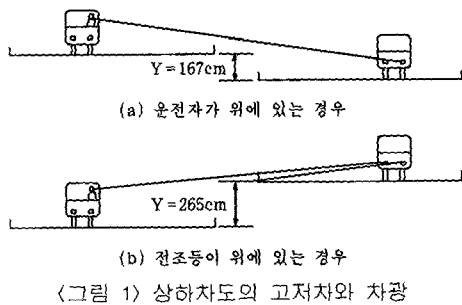
우리나라에서는 콘크리트 방호벽(Barrier) 중앙분리대의 상단에 설치되어 있으나 일본의 경우 “중앙분리대쪽의 방호책 지주에 함께 설치하며, 방호책이 중앙분리대 양쪽에 설치되어 있을 경우에는 시거확보, 차도 중심선 높이, 편구배의 영향 등을 고려하여 적정한 쪽의 방호책 지주에 설치” 하는 것으로 규정되어 있다.



2.2 설치구간

“일본 도로설계요령”에서는 다음과 같이 설치구간을 규정하고 있는바 그 내용은 다음과 같다.

- ① 제1종 제1급(설계속도 120km/hr), 제2급(설계속도 100km/hr) 도로에서는 교량, 고가구간, 식수를 하지 않은 절토, 성토구간의 중앙분리대에 설치한다.
- ② 제1종 제3급(설계속도 80km/hr) 도로에 있어서는 설계속도, 도로선형 등에 따라 필요하다고 인정되는 구간에만 설치한다.
- ③ 노견의 폭이 좁은 교량 고가구간 및 다음의 구조를 갖는 도로구간에는 설치를 생략할 수 있다.
 - 중앙분리대의 폭이 7.0m를 넘는 구간
 - 아래, 위 차도중심 높이의 차이가 2.0m를 넘는 경우
 - 도로조명을 연속적으로 설치하는 구간

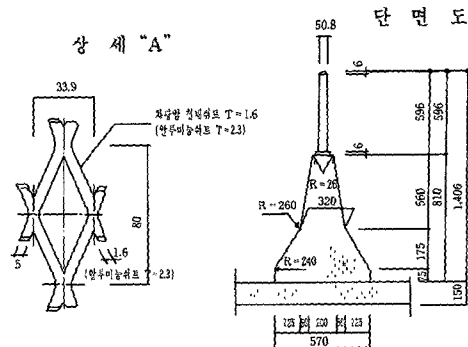
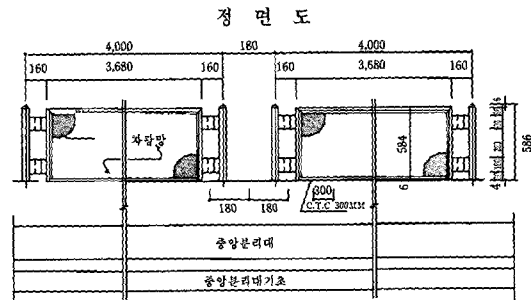


현광방지시설의 설치높이에 관한 명확한 규정이 나타나 있는 우리나라의 자료로는 “고속도로 건설공사 표준도”에 포장면에서 차광망 상단까지의 높이가 H=1.406m로 되어 있다. 한편, “일본도로공단 표준도”에는 규격에 따라 H=1.35~1.40m로, 일본도로설계요령 및 기타 참고서적에는 포장면으로부터 H=1.40m를 표준으로 하고

있으나 보다 구체적인 차광높이의 산정을 위해서는 적절한 기준을 설정하여 Case별로 높이를 구하여 일본의 경우와 비교·검토할 필요성이 있다.

3.1 현광방지시설의 사용현황

현재 4차로 이상의 고속도로 중앙분리대 상단에는 대향차의 전조등 불빛에 의한 눈부심을 방지하기 위한 차광망이 일반부와 개구부용으로 구분하여 설치되어 있는바 그 표준도는 다음 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 차광망 표준도

3.2 일본 도로설계요령의 경우

“일본도로설계요령”에서는 차광높이를 포장면으로부터 H=1.40m를 적용한 근거로써『대형차와 대형차』의 경우는 1.70m 이상이 필요하나 비교적 빈도가 높은『승용차대 승용차』,『승용차대 대형차』의 조합시에 효과를 높이는 것이 바람직하므로『대형차대 대형차』의 경우에는 불완전하여

도 좋다는 관점에서 현재 널리 설치되어 있는 현광방지시설과 같아도 무방하다는 취지로 H=1.4m를 적용하고 있다.

〈표 1〉 차광 높이의 기준 (단위 : m)

| 구 분 | 운전자 눈높이 | 전조등 높이 | 비 고 |
|-------|---------|--------|-----|
| 대 형 차 | 2.0 | 1.2 | |
| 승 용 차 | 1.2 | 0.8 | |

자료 : 일본도로설계요령 (형광방지시설 설치요령)

〈표 2〉 편구배별 필요 차광높이 (단위 : m)

| 편 구 배 (%) | 주행대형/주행승용 | 주행대형/추월대형 | 주행대형/주행대형 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0% | 150.2 | 138 | 171.6 |
| 1 | 146.0 | 133 | 172.1 |
| 2 | 142.3 | 129 | 172.6 |
| 3 | 138.1 | 124 | 173.0 |
| 4 | 133.8 | 120 | 173.5 |
| 5 | 130.2 | 115 | 173.9 |
| 6 | 125.9 | 110 | 174.4 |
| 7 | 121.8 | 106 | 174.8 |
| 8 | 117.5 | 101 | 175.3 |
| 9 | 113.8 | 97 | 175.7 |
| 10 | 109.6 | 92 | 176.2 |

자료 : 일본도로설계요령 (형광방지시설 설치요령)

3.3 차광높이의 검토

현광방지시설의 차광높이를 검토하는데 있어 적용하고자 하는 기하구조와 높이기준 등은 다음을 기준으로 하여 검토하였다.

가. 기하구조 및 일반기준

〈표 3〉 조광각도 및 높이기준

| 설계조광 각도 | 차광 주행빔 조광각도 | 주행축 좌우측각도 | 운전자 높이 | 전조등 높이 | 소형차 | 대형차 | 소형차 | 대형차 |
|---------|-------------|---------------------------|--------|--------|------|------|-----|-----|
| 8° (가정) | 0° 이하 | 30cm/1.7m 이내 (1°44' ~ 2°) | 1.0m | 2.0m | 0.6m | 1.2m | | |

〈표 4〉 차량 종류별 제원 (단위 : m)

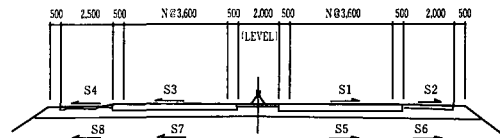
| 차 종 | 길 이 | 폭 | 높 이 | 최소전반경 | 비 고 |
|------------|------|-----|-----|-------|-----|
| 소형 자동차 | 4.7 | 1.7 | 2.0 | 6.0 | |
| 중·대형자동차 | 13.0 | 2.5 | 4.0 | 12.0 | |
| 세미트레일러 연결차 | 16.7 | 2.5 | 4.0 | 12.0 | |

자료 : 1) 자동차 안전기준 제34조 2) 도로설계요령 제1권

〈표 5〉 차종별 차선 주행방법

| 차 종 | 차로수 | 4차로 | 6차로 | 8차로 | 비 고 |
|-------|-----|-----|--------|-----------|-----|
| 대 형 차 | | 2차로 | 2, 3차로 | 2, 3, 4차로 | |
| 승 용 차 | | 2차로 | 3차로 | 4차로 | |

자료 : 내무부령 제569호(차량의 차선주행방법)

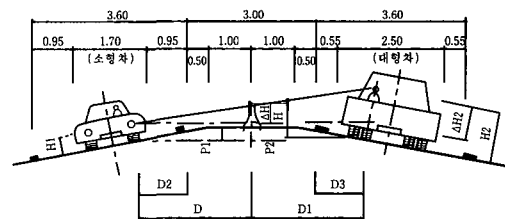


〈그림 3〉 도로폭원 구성

나. 직선부에서의 차광높이

직선부(일반구간)에서의 필요한 차광높이를 산정함에 있어 적용하는 기준과 차량의 주행조건은 다음과 같다.

- 평면선형 : 직선구간
- 종단선형 : Level 구간
- 횡단구배 : 2% (표준구배)



〈그림 4〉 차량의 주행조건과 구성요소

여기서,

D : 소형차의 주행방향 좌측 주행빔에서 차광망까지 거리

D1 : 대형차의 운전자 중심에서 차광망까지 거리

D2 : 각 차로에 대한 소형차 주행시 중앙분리대 단부까지의 거리

D3 : 각 차로에 대한 대형차 주행시 중앙분리대 단부까지의 거리

H : 중분대를 포함한 차광망 높이

H1 : 소형차 주행빔의 높이(0.6m)



H₂ : 대형차 운전자의 눈높이(2.0m)

$\Delta H : H + P_1 - H_1$

$\Delta H_2 : H_2 + (P_1 - P_2) - H_1$

P₁ : 표준횡단구배(2%)와 D₂, D₃를 곱한 값
: 구배로 인한 높이차(소형차)

P₂ : 표준횡단구배(2%)와 D₂, D₃를 곱한 값
: 구배로 인한 높이차(대형차)

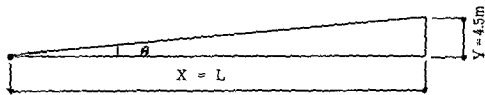
위의 그림에서 D : $\Delta H = (D + D_1) : \Delta H_2$ 이므로, 이를 정리하면

$$D : (H + P_1 - H_1) = (D + D_1) : (H_2 + P_1 - P_2 - H_1)$$

$$\text{그러므로, } H = \frac{D \cdot (H_2 + P_1 - P_2 - H_1)}{D + D_1} + H_1 - P_1$$

* 2, 3, 4차로의 경우 D, D₁, D₂, D₃에 대해서는 각각의 차로 폭만큼 더한 값 적용

소형차가 1차로로 주행할 경우 주행범의 불빛이 대향차로에 영향을 미치는 거리를 산출하면, 소형차 주행범에서 대향차 운전자까지의 거리(L=4.5m)와 차량주행범 주광축의 좌우측각도($\theta=2^\circ$) 등을 고려하였을 때 다음과 같다.



$$L = 4.5 / \tan 2^\circ \approx 129m$$

* 2, 3, 4차로의 경우 각각 232m, 335m, 438m로 산출

한편 조도를 E(lx), 광도를 I(cd), 거리를 r(m)라 할 때 $E = I/r^2$ 이며 이 경우 주행범의 최대광도를 "자동차 안전기준 제34조"에서 75,000cd로 규정하고 있으므로 눈부심을 받지 않는 최소정도의 기준인 조도 1Lux(즉, 여기서 lx의 단위는 cd/m^2 , r^2 의 단위는 거리의 제곱을 의미하므로 휘도와 동일)되는 지점까지의 거리를 산출하면 약 274m($r = \sqrt{75,000}$)가 되어 승용차가 3, 4차로에서 주행할 경우에는 대향차량에 대해 영향을 미치지 않을 것으로 판단되므로 승용차가

1, 2차로를 주행할 경우를 가정하여 차량높이를 산출하면 다음과 같다.

<표 6> P₁ 및 P₂ 산출

| 구분 | 소형차 | | | 대형차 | | |
|-----|----------------|------|----------------|----------------|------|----------------|
| | D ₂ | 편구배 | P ₁ | D ₃ | 편구배 | P ₂ |
| 1차로 | 0.95 | 0.02 | 0.019 | 0.55 | 0.02 | 0.011 |
| 2차로 | 4.55 | 0.02 | 0.091 | 4.15 | 0.02 | 0.083 |
| 3차로 | - | - | - | 7.75 | 0.02 | 0.155 |
| 4차로 | - | - | - | 11.35 | 0.02 | 0.227 |

단, $P(P_1) = D \times D_3 \times \text{편구배}$

<표 7> 직선부의 통행형태별 차량망 소요높이

| 구분 | 소형차 1차로 주행 | | | | 소형차 2차로 주행 | | | |
|----------------|------------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| | 대형차 | | | | 대형차 | | | |
| | 1차로 | 2차로 | 3차로 | 4차로 | 1차로 | 2차로 | 3차로 | 4차로 |
| D | 2.45 | 2.45 | 2.45 | 2.45 | 6.05 | 6.05 | 6.05 | 6.05 |
| D ₁ | 2.05 | 5.65 | 9.25 | 12.85 | 2.05 | 5.65 | 9.25 | 12.85 |
| H ₁ | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| H ₂ | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| P ₁ | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.091 | 0.091 | 0.091 | 0.091 |
| P ₂ | 0.011 | 0.083 | 0.155 | 0.227 | 0.011 | 0.083 | 0.155 | 0.227 |
| H | 1.347 | 0.985 | 0.846 | 0.722 | 1.614 | 1.237 | 1.037 | 0.914 |

전조등이 비추는 불빛의 조도가 1Lux 되는 지점의 거리(L=274m)에서 불빛이 산란되는 폭원을 산출하면 다음과 같다.

$$y = \tan 2^\circ \times 274 = 9.57m$$

위의 산란되는 폭원을 기준으로 하여 <그림 4>의 주행조건에서 나타난 D+D₁의 값이 이 값보다 크면 전조등의 영향을 받지 않는 것으로 보아 소형차가 1차로에서 주행하는 대향 2차로까지 전조등의 영향을 받으며 또한, 소형차가 2차로에서 주행하는 대향 1차로까지만 영향을 받는 것으로 판단된다.

그러나 y=9.57m가 되는 지점은 조도 1Lux로써 최소정도의 조도기준이므로 대향차량이 전조등 불빛을 느끼는 지점의 휘도를 20cd/m²(밝지도 어둡지도 않은 정도)로 기준하였을 때 그 지

점까지의 거리는 $E = I/r^2$ 식에서(여기서 휘도의 단위가 cd/m^2 이므로 조도와 동일) 산출하면 $L(r) \approx 61m$, 그 지점에서 산란되는 폭원은 $y=2.13m$ 이다.

$$E = I/r^2 \text{ 에서 } r = \sqrt{75,000 \div 20} \approx 61m$$

$$y = \tan 2^\circ \times 61 = 2.13m$$

위의 산출결과를 보아 소형차가 1차로 주행시 $20cd/m^2$ 정도의 눈부심을 받는 휘도를 기준하면 대향 1차로까지만 대향차의 불빛을 느낀다고 판단되며, 이 경우 차광높이는 $H=1.347m$ 로 산정되고 있다.

〈표 8〉 대상물의 휘도와 밝기 (단위 : m)

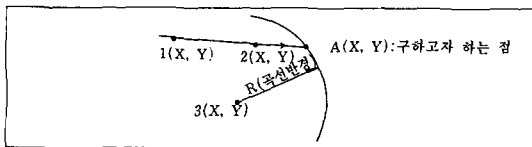
| 밝기 | 인상 | 휘도(cd/m^2) | 대표적인 예 |
|----|-------------|----------------|-------------|
| 1 | 약간 어둡다 | 1 | 가로 조명 |
| 2 | 밝지도 어둡지도 않다 | 20 | 주택의 거실 |
| 3 | 약간 밝다 | 100 | 야간의 사무실 |
| 5 | 밝다 | 1000 | 흐린날씨의 옥외 |
| 7 | 대단히 밝다 | 5000 | 맑은날씨의 옥외 |
| 10 | 약간 눈이 부시다 | 10000 | 나형광(裸螢光) 램프 |

자료 : 전기설비기술계산 핸드북

다. 곡선부에서의 차광높이

설계속도 $V=100km/hr$ 및 $120km/hr$ 에서의 최소곡선반경은 각각 $R=460m$, $710m$ 이나 대부분의 기존고속도로에서 최소곡선반경 $R=600m$ 이상을 설치하고 있으므로 이를 기준으로 하여 다음과 같이 조건을 설정하여 차광높이를 산정하였다.

- 평면선형 : 곡선반경 $R=600m$
- 종단선형 : Level 구간
- 횡단구배 : 6% (최대편구배)
- 차로 수 : 8차로(기존도로의 확장)
- 직선과 원의 교점계산 조건

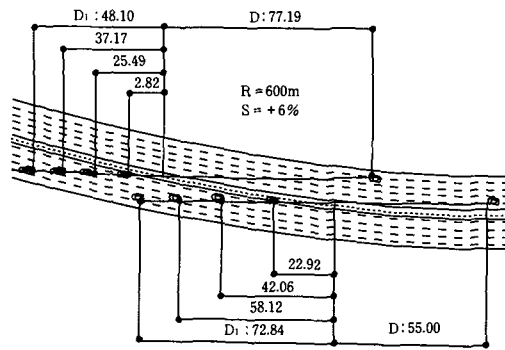


$$M = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}, \Delta y = y_1 - y_3, \Delta x = x_1 - x_3 \text{ 이면}$$

$$N = \Delta x \times M - \Delta y$$

$$A_x = \frac{M \times N + \sqrt{R^2 \times (M^2 + 1) - N^2}}{M^2 + 1} + x_3$$

$$A_y = \frac{M \times N + \sqrt{R^2 \times (M^2 + 1) - N^2}}{M^2 + 1} + M - N - y_3$$



〈그림 5〉 주행조건에 따른 거리산정

〈표 9〉 곡선부의 통행형태별 차광망 소요높이

| 구분 | 대형차 1차로 승용차 | | | | 대형차 4차로 승용차 | | | |
|----------------|-------------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|
| | 1차로 | 2차로 | 3차로 | 4차로 | 1차로 | 2차로 | 3차로 | 4차로 |
| D | 55 | 55 | 55 | 55 | 77 | 77 | 77 | 77 |
| D ₁ | 23 | 42 | 58 | 73 | 13 | 25 | 37 | 48 |
| H ₁ | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| H ₂ | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| P ₁ | 0.033 | 0.033 | 0.033 | 0.033 | 0.681 | 0.681 | 0.681 | 0.681 |
| P ₂ | -0.057 | -0.273 | -0.489 | -0.705 | -0.057 | -0.273 | -0.489 | -0.705 |
| H | 1.089 | 1.227 | 1.324 | 1.398 | 0.979 | 1.088 | 1.174 | 1.250 |

주 : 표준편구배 구간이 아닌 구간의 P2 값은 (-) 값임.

위의 산출결과에서와 같이 대향차량이 전조등 불빛을 느끼는 거리를 약 61m로 볼 때 곡선반경 $R=600m$ 에서는 약 77m가 산정되므로 대향차량에 미치는 전조등의 영향은 미비하다고 사료되며, 이 경우의 차광망 소요높이는 $H=1.398m$ 로 산출되고 있다.

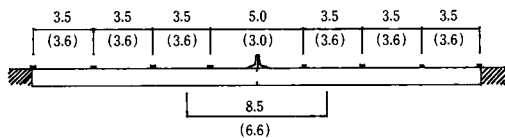
차광각도란 차광의 영향을 최대를 하는 추월



차로대 추월차로의 승용차끼리의 광선각도를 일컫는바, 현재 “고속도로공사 일반시방서”에 “차광시설의 차광각도는 10°를 기준으로 한다”로 되어 있으며, 일본의 경우에도 차광각도를 10°로 적용하고 있으므로 도로의 횡단면 구성과 기하구조를 고려한 차광각도의 적정성 여부가 검토되어야 한다.

4.1 일본의 경우 차광각도 산정

일본 주요간선도로의 중앙분리대 폭원은 5.0m, 차선의 폭원은 한 차선당 3.5m로 구성되어 있으며 우리나라 고속도로의 폭원구성과의 비교는 아래의 그림과 같다.



* ()는 한국의 경우, ()밖은 일본의 경우 폭원구성임(m)

〈그림 6〉 한국과 일본의 차도폭원 구성예

차광각도에 대해서는 현광(눈부심)의 영향이 최대인 추월차로대 추월차로의 승용차끼리의 경우를 대상으로 고려하여 대향차간 거리 50m에 대하여 차광각도를 계산하면 다음과 같다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{8.5}{50.0} \approx 9^\circ 30' \text{ (적용 : } 10^\circ \text{)}$$

한편, 추월차선대 주행차선의 승용차끼리의 경우는 이 값 이상의 차광각도를 필요로 하나 완전차광은 오히려 운전시야를 좁혀 대향차도상의 전망을 나쁘게 하므로 부분차광의 개념을 기본으로 하고 있다.

※ 현광방지시설의 구조제원

- ① 설치높이는 포장면으로부터 H=1.4m를 표준으로 한다.
- ② 지주간격은 방호책의 지간과 같다.
- ③ 차광각도는 약 10°로 한다.

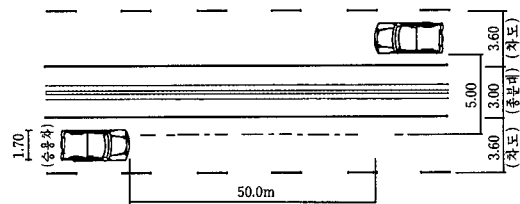
4.2 우리나라의 경우 차광각도

우리나라 고속도로의 폭원구성은 중앙분리대 3.0m, 차로의 폭원은 한 차로당 3.6m로 구성되어 있으므로 차량이 1차로의 중심선을 주행하고 있을 경우 대향차간의 폭원은 6.6m가 되므로 차광각도를 산정하면 다음과 같다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{6.6}{50.0} \approx 7^\circ 31' \approx 8^\circ$$

한편, 주행차량의 좌측광측과 대향차 운전자 사이의 최소간격을 가정하였을 때의 차광각도를 산정하면 다음과 같이 산정되고 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{5.5}{50.0} \approx 5^\circ 43' \approx 6^\circ$$



〈그림 7〉 추월차로(1차로)의 대향차간 거리

위의 차광각도 검토결과 우리나라의 고속도로 횡단면 구성기준에 따른 적정 차광각도는 약 8°인 것으로 산정되고 있으며, 주행차량 좌측 광측과 대향차 운전자 사이의 최소간격을 가정할 때의 차광각도는 약 6°인 것으로 산정되고 있다.

지금까지 고속도로 중앙분리대의 콘크리트 방호벽에 설치되어 있는 현광방지시설(차광망)의 차광높이와 차광각도에 대하여 우리나라와 일본의 경우를 비교하여 검토하였는바 차광높이의 경우 다음과 같이 요약될 수 있다.

- ① 평면선형이 직선이고 종단선형이 Level일

경우 소형차가 1차로 주행시 대향 1차로까지만 전 조등의 영향을 받는 것으로 사료되며, 이 경우 차광망의 소요높이는 $H = 1.347m$ 이다.

- ② 평면선형이 곡선부($R = 600m$, $S = 6\%$)인 구간에서 차광망의 소요높이는 $H = 1.398m$ 로 산정되고 있으므로 평면선형이 직선부와 곡선부인 구간 공히 $H = 1.4m$ 이면 현광방지조건을 만족하고 있다.
- ③ 평면선형이 직선인 경우는 종단선형과 관계없이 자동차의 주행빔 또는 변환빔의 광선각도에 따라 대향차량에 대한 영향여부가 판가름되므로 기존도로를 6~8차로로 확장함에 따른 차광망의 높이 조정은 필요치 않는 것으로 사료된다.
- ④ 전조등의 불빛조도 lx 를 기준할 때 그 지점에서 불빛이 산란되는 폭원이 $9.57m$ 로 산정되므로 대향차간의 폭원이 $9.57m$ 이상이면 대향전조등의 영향을 받지않는 것으로 보아 중앙분리대가 일정폭원 이상이면 차광망의 설치를 생략할 수 있으므로 일본의 경우 "중앙분리대 폭원이 $7m$ 를 넘는 구간"에는 생략하고 있는 점을 감안하여 우리나라에서도 이에 대한 적용여부가 검토되어야 할 것이다.

한편, 차광각도의 경우는 우리나라와 일본의 고속도로 횡단면 구성이 앞의 <그림 6>에서 표시된 바와 같이 상이하므로 현재 차광망의 차광각

도를 10° 로 규정하고 있는 기존 시방서의 규정은 차광각도 산정결과 $6^\circ \sim 8^\circ$ 범위에 있는 우리나라의 실정을 감안하여 현광방지시설에 관한 적정한 시설기준과 시방기준의 제시가 요구된다.

위와같은 검토결과에 따른 개선방안이 적용될 경우 우리나라 고속도로 횡단구성 기준에 적합한 차광각도를 갖춘 현광방지시설의 설치로 현광방지능이 제고되며, 시방기준의 정립으로 품질관리 기능이 향상되고 교통안전측면의 효과제고 기대된다.

(원고접수일 1999. 1. 7)

참고문헌

1. 건설부, "도로의 구조·시설기준에 관한 규정 해설 및 지침" 1990
2. 한국도로공사, "도로설계요령" 1992
3. 한국도로공사, "고속도로 건설공사 표준도" 1995
4. 일본교통공학연구회, "도로의 부속시설" 1986
5. 일본교통공학연구회, "도로의 계획과 설계" 1986
6. 산해당, "도로의 계산예" 1989
7. 도철웅, "교통공학원론" 1995
8. 허번·손원표, "도로설계" 1994
9. 기보당, "토목공학 핸드북"
10. 일본도로공단, "현광방지시설 설치요령"
11. 한국도로공사, "고속도로공사 일반시방서"
12. 도서출판 기다리, "전기설비기술계산 핸드북" 1994
13. 도서출판 의제, "도로터널 조명시설의 설계기준" 1996