

도로조명 설계에 있어서 휘도-조도 환산계수 적용에 관한 검토

주윤석 *^o, 이동호 *, 여인선 *, 지철근 * *
* 전남대학교 전기공학과 · * * 한국조명·전기설비학회

A study on the luminance-to-illuminance conversion factor in the roadway lighting design

Youn-Suck Joo *^o, Dong-Ho Lee *, In-Seon Yeo *, and Chol-Kon Chee**

* Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University · ** KIEE

Abstract - In this paper it is examined the validity of luminance-to-illuminance conversion factor in the roadway lighting design.

Luminance and illuminance distribution patterns were measured to yield the calculated conversion factor on the newly-constructed highway, and this value was compared to the conversion factor commonly used. We found that some discrepancy might exist between them due to difference in the values between the luminance yield factor and the coefficient of utilization. Therefore this fact must be fully understood in the roadway lighting design process.

1. 서론

도로조명은 주로 야간에 운전자의 시각환경을 개선하여 안전하고 쾌적한 도로 교통을 확보하는데 목적이 있으므로, 이를 위하여 양질의 도로조명설계와 조명시설이 설치될 필요가 있다. 양질의 도로조명을 위해서는 밝은 노면을 배경으로 하여 물체가 보이는 실루엣 효과를 이용한 휘도 개념에 기반한 기준설정이 요구된다. 실제 대부분의 유럽이나 미국에서는 휘도 기준을 기반으로 조명설계가 이루어지고 있다. 현재 우리 나라에서는 KS규격에 도로 노면의 휘도 기준이 설정되어 있으나 실제 조명계산에서는 조도 개념에 기반한 광속법을 이용하고 있는 실정이다. 이에 이 논문에서는 조도기준을 기반으

로 한 조명설계에서 사용되는 휘도-조도 환산계수의 적용을 실제 도로 노면의 휘도와 조도를 측정하여, 결과치를 비교함으로써 휘도-조도 환산계수의 적합성을 검토해 보고자 한다.

2. 본론

2.1 휘도-조도 환산계수

일반적으로 각국의 도로조명설계에 대한 규격은 주로 평균 휘도를 기준으로 하고 있다. 평균휘도에 대한 기준은 조도를 기준으로 하는 광속법에서는 사용할 수 없으므로 우리 나라에서는 이 값을 평균 조도로 환산해서 기준 조도값을 설정하고 있는 실정이다.

표 1. 노면의 평균 휘도와 평균 조도 사이의 환산계수.

노면양 종류	환산계수(K)
콘크리트	10
일반아스팔트	15
매우 매끄러운 아스팔트	13

여기서 휘도-조도 환산계수가 필요하고, 이는 특수한 도로조건에서 노면의 평균 휘도와 평균 조도와의 사이에 비교적 단순한 관계를 성립시켜 이 둘 사이의 환산계수 K 를 사용하고 있다.^[8]

즉, 평균 휘도값 L_{av} [cd/m^2]은

$$L_{av} = \frac{\eta_L \cdot q_0 \cdot \Phi \cdot MF}{S \cdot W}$$

이고^[4], 평균 조도값 E_{av} [lx]은

$$E_{av} = \frac{\eta_E \cdot \Phi \cdot MF}{S \cdot W}$$

여기에서,

- η_L : 휘도수율
- η_E : 조명률
- q_0 : 노면의 평균 반사율
- Φ : 램프광속
- MF : 광속유지율
- S : 등기구 간격
- W : 도로폭

의 식에서 평균 조도와 평균 휘도와의 비로서 휘도-조도 환산계수식을 다음과 같이 얻을 수 있다.^[4]

$$K = \frac{E_{av}}{L_{av}} = \frac{\eta_E}{\eta_L \times q_0}$$

위의 식에서 보듯이 휘도-조도 환산계수를 결정함에 있어서 q_0, η_E, η_L 의 세 가지 요소에 의해서 결정될 수 있음을 알 수 있다.

표 2. 표준 노면의 분류.

표준 노면 종류	q_0 (반사 특성)	예
R1	0.10	콘크리트 도로
R2	0.07	자갈을 최소 60% 함유한 골재를 사용한 아스팔트 도로
R3	0.07	어두운 색의 골재를 사용한 아스팔트 도로, 아스콘
R4	0.08	표면이 매끄러운 아스팔트 도로

여기에서, q_0 는 운전자의 관측방향과 관련된 도로표면의 평균 반사율로서, 표준노면의 분류에 따라 그 값이 달라진다. 즉, 노면의 상태, 노면의 물리학적 각도, 노면의 재질 등에 의해서 값이 달라질 수 있다. CIE에서는 이러한 노면에 따른 반사특성의 값들을 노면의 재질에 따라 4가지로 분류하여 나타내고 있다. 위의 표는 CIE에서 주로 표준노면의 분류에 따라 q_0 에 대한 값을 나타낸 것이다.^{[5][6][8]}

또한, η_E 는 조명률(이용률)을 의미하며 도로 표면에 도달하는 램프의 광속비로 나타낸다. 조명률은 등기구의 배광 분포와 등기구 높이, 그리고 등기구의 기울기에 따라 달라질 수 있는 요소이다. 그리고, η_L (휘도수율)은 등기구의 배광분포에 의해 결정되는 것으로, 도로표면의 반사특성과 관측자의 위치에 의해 생기는 노면의 휘도효율로 나타낸다.

일반적으로 사용되고 있는 휘도-조도 환산계수는 조명률과 휘도수율을 같다고 보고 노면의 반사특성인 q_0 값의 역수로 계산되어 사용되어지고 있다. 그러나 등기구의 배광분포에 의해 결정되는 휘도수율과 조명률의 값이 여러 여건에 따라 달라짐을 알 수 있었다.

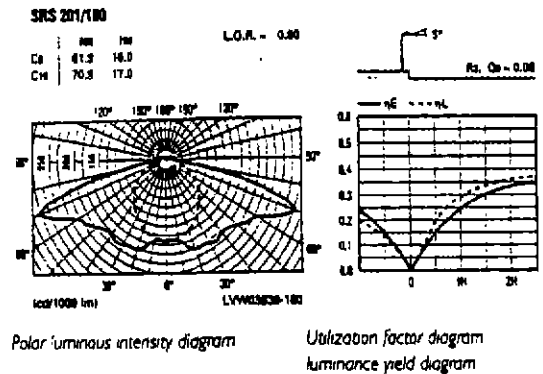


그림 1. 휘도수율이 조명률보다 높은 경우⁽⁹⁾

그림 1에서 볼 수 있듯이 조명률(η_E)과 휘도수율(η_L)이 서로 차이가 있음을 알 수 있다. 이를 토대로 계산을 했을 경우 휘도-조도 환산계수의 값은 우리가 생각하고 있는 값보다 현저히 낮아질 것이다.

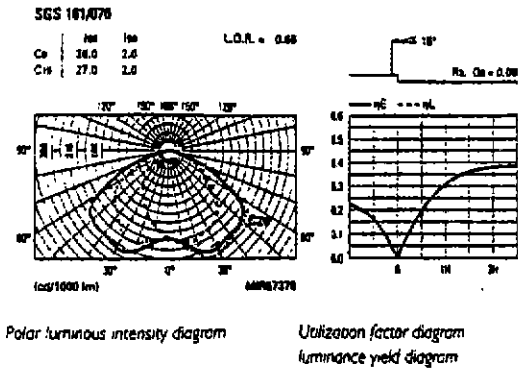


그림 2. 휘도수율과 조명률이 같은 경우^[9].

다른 예로 그림 2의 경우에 있어서 조명률 (η_E)과 휘도수율(η_L)의 값이 같게 되므로 노면의 반사특성(q_0)의 값만을 가지고 휘도-조도 환산계수를 적용할 수 있음을 알 수 있다.

따라서 각각의 등기구의 배광분포가 이러한 값들을 결정한다고 볼 수 있다.

또한, 가장 일반적으로 노면의 재질에 따라 등급이 규정되어 있고 이 등급에 따라 반사특성의 값이 적용되고 있으나, 실제적으로는 각 노면이 다른 반사특성을 가지고 있어서 표준 노면 등급에서 규정한 값이 나오지 않을 수도 있다.

이와 같은 여러 가지 이유로 해서 실제 적용되고 있는 휘도-조도 환산계수를 사용하는데 있어서 문제가 발생할 수도 있다.

2.2 도로 노면의 휘도, 조도 측정

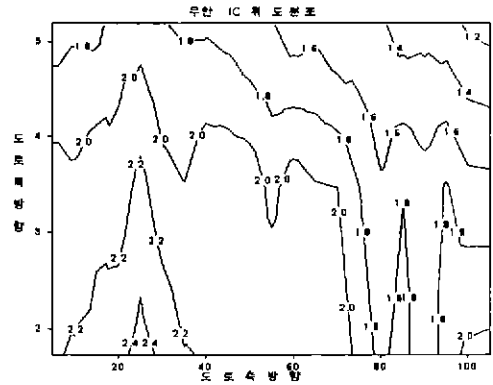
도로 조명 설계에 있어서의 휘도-조도 환산계수 적용에 대한 검증을 위하여 실제 도로 노면의 휘도와 조도를 측정하였다. 측정대상은 목포에서 무안간의 서해안 고속도로 연속조명구간으로 하였으며, 두 곳을 선정하여 측정하였다.

2.2.1 도로 노면의 휘도 측정

노면 휘도 측정은 KS에 명시된 부분 휘도의 측정방법을 이용하여 노면 휘도를 측정하였고, 각각의 값에 평균을 취하여 노면의 평균 휘도값을 구하였다. 이때 휘도계는 MINOLTA의

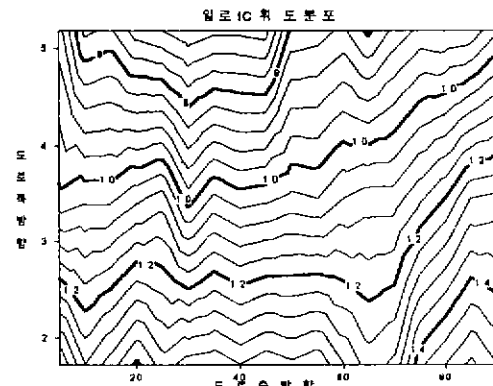
CS-100을 사용하였고, 휘도계의 높이는 1.5m, 측정거리리는 90m전방에서 측정하였다.^[3]

아래 그림 3과 그림 4는 서해안 고속도로 연속조명구간에 대한 휘도 분포를 나타낸 것이다.



평균 휘도 : 1.78 [cd/m²]

그림 3. 무안 IC의 연속조명구간의 휘도 분포.



평균 휘도 : 1.13 [cd/m²]

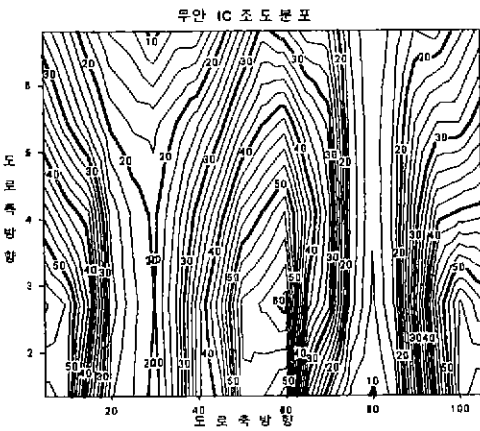
그림 4. 밀로 IC의 연속조명구간의 휘도 분포.

2.2.2 도로 노면의 조도 측정

노면 조도 측정 방법은 KS규격에 제시한 조도 측정 방법을 이용하여 도로 노면의 수평면 조도를 측정하였다. 이때 측정점의 간격은 5m로 하였으며 측정치의 평균을 취하여 평균 노면 조도를 구하였다.^[3]

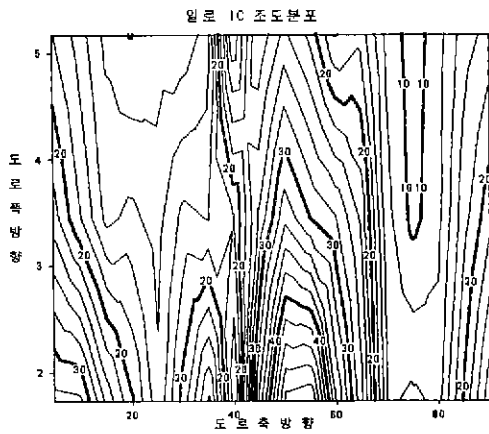
아래 그림 5와 그림 6은 서해안 고속도로 연속조명구간에 대한 조도분포를 나타낸 것이다.

의 기준과 비교하였다.
아래 표는 측정값을 나타낸 표이다.



평균 조도 : 30.74 [lx]

그림 5. 무안 IC 연속조명구간의 조도분포.



평균 조도 : 19.86 [lx]

그림 6. 일로 IC 연속조명구간의 조도분포.

2.3 측정결과의 검토

서해안 고속도로의 연속조명구간에 대한 측정된 부분 휘도와 부분 조도를 이용하여 평균 휘도와 평균 조도를 구하였다. 이 구간에 측정된 평균 휘도 값과 휘도 균제도에 대하여 각국

표 3. 서해안 고속도로의 측정 결과.

측정 대상	평균노면휘도 [cd/m ²] (Average luminance)	종합균제도 (Overall uniformity)	차선축 균제도 (Longitudinal uniformity)
무안 IC	1.78	0.63	0.71
일로 IC	1.13	0.6	0.75

현행 KS 도로 조명 기준은 CIE규격에 바탕을 두고 있고 일본의 JIS 규격과는 동일하다.^{[2][3][4]} 하지만, 미국의 기준에 비해서는 약 1.5~2.0 배정도 높다. 이것은 미국의 경우 도로의 여건 등이 훨씬 유리하고 광활한 지역을 통과하며 속도제한 등이 다르기 때문으로 판단된다. 고속도로의 조명에 KS규격을 적용할 경우 도로의 복잡성 등 도로의 구분에 관계없이 일률적으로 평균 노면 휘도로서 2.0[cd/m²]을 기준으로 한다.^[3] 그러나, 서해안 고속도로의 연속조명구간과 같이 도로 주변의 환경이 어두운 경우에는 평균 휘도의 값을 1/2로 하여도 좋으므로,^[3] 우리나라의 규격에 맞게 설계되어 있음을 알 수 있다. 또한 종합 균제도는 KS에서는 0.4로 하고 있으나, 현재 측정된 구간의 종합 균제도는 0.6으로 규격보다 좋게 나타났으며, 차선축 균제도도 규격인 0.4보다 높게 나타났다.^{[3][8]}

2.4 측정치의 휘도-조도 환산계수 적용

일반 아스팔트 도로인 서해안 고속도로의 연속조명구간에 대하여 측정된 평균 휘도값에 휘도-조도 환산계수를 적용하여 평균 조도값을 계산하면 다음과 같다.

$$\text{무안 IC} : 1.78 \times 15 = 26.7 \text{ [lx]}$$

$$\text{일로 IC} : 1.13 \times 15 = 16.9 \text{ [lx]}$$

측정한 평균 휘도에 휘도-조도 환산계수를 적용한 결과, 서해안 연속조명구간에서 측정한 평균 조도값과 약 3[lx]정도의 차이가 발생함을 알 수 있다.

또한, 서해안 고속도로의 연속조명구간에서 실제 측정한 평균 조도와 평균 휘도로 휘도-조도 환산계수 K 값을 구할 수 있는데, 무안 IC와 일로 IC 모두 약 17정도의 환산계수 값을 구할 수 있다.

3. 결론

서해안 고속도로 연속조명구간에 대한 측정 결과, 평균 휘도값이 1[cd/m²]이상의 휘도값을 나타내므로 전체적인 노면의 평균 휘도는 KS 규격에 비교하여 적당함을 알 수 있고, 전체적인 균제도도 규격인 0.4보다 높게 나와 적당하게 조명 설계가 이루어졌음을 알 수 있다.

그러나, 서해안 고속도로 연속조명구간에 대한 휘도-조도 환산계수 K 에 대한 적용에 약간의 차이가 발생함을 알 수 있는데,

$$K = \frac{E_{av}}{L_{av}} = \frac{\eta_E}{\eta_L \cdot q_0}$$

위의 식에서와 같이,^[4] 휘도-조도 환산계수 K 에 대한 차이는 등기구의 배광분포에 따라 η_L (휘도수율)과 조명이 각각 다르게 나타나므로, 단순하게 반사특성인 q_0 의 역수를 취한 값을 사용할 수 없음을 실제의 예로써 충분히 알 수 있다.

η_L 은 관측자의 위치에 따라 달라지는 도로 노면의 반사특성을 나타내는 요소로서 일반적으로

로 측정한 값에 휘도-조도 환산계수를 사용할 경우 관측자의 위치에 따른 노면의 반사특성을 고려하여야 하는데 현재 KS에서는 휘도 측정방법에서는 이러한 요소를 고려되지 않고 있다.

그러므로, 휘도-조도 환산계수를 이용하여 조도를 기반으로 하는 광속법을 사용하는 것보다 관측자의 위치에 따라 달라지는 휘도를 고려하는 도로 조명 설계의 적용이 필요하며, 등기구의 배광에 기초한 조명률과 휘도수율의 연관성에 대한 연구와 개선된 휘도-조도 환산계수를 얻고자 하는 연구가 필요하다.

참고문헌

1. CIE Technical Report, Pub. No. 115-1995, Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, 1995.
2. JIS 道路照明基準, JIS Z 9111-1988(1993 確認).
3. KS 道路照明基準, KS A 3701-1991.
4. CIE Technical Report, Pub. No.30-2-1982, 2/e, Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting, 1990.
5. CIE Technical Report, Pub. No. 34-1997, Road Lighting Lantern and Installation Data-Photometrics, Classification and Performance, 1977.
6. R.B. Gibbons and W.K. Adrian, "Influence of Observation Angle on Road Surface Reflection Characteristics", J. of IES, Summer 1997.
7. ANSI/IES RP-8-1983, American National Standard Practice for Roadway Lighting, 1983.
8. 여인선, "도로조명의 설계", 조명·전기설비학회지, VOL. 12, NO. 1, pp. 13-27, 1998.
9. Philips Co., Philips outdoor lighting to enhance your life, 1996.

한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자 부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음