

도로 조명 분석을 위한 도로 포장 시료의 반사 특성 측정

Development of the Road Surface's Reflection Property Measuring System for Analysis of Road Lighting

심 상만* (춘천 기능대학 전기기술과 전임강사)
김 기훈 (강원대학교 전기공학과 석사과정)
김 훈 (강원대학교 전기공학과 교수)
지 철근 (한국조명전기설비학회 회장)

ABSTRACT

도로 표면의 반사특성의 측정은 휘도 계산에 있어서 매우 중요하다. 이 연구에서는 도로 면의 반사특성을 측정할 수 있는 장치를 개발하고, 이를 이용하여 콘크리트 시료의 반사 특성을 측정하였다. 측정 결과를 이용하여 도로조명에 의한 휘도 분포를 계산한 결과, 측정값에 가까운 결과를 얻었다.

1. 서론

LAP Road를 실행한 결과 계산값과 실제 도로에서의 측정값을 비교 분석하였을 때 조도 분포와 휘도 분포 모두 비교적 일치하였으나, 휘도 분포를 계산함에 있어서는 도로 표면의 반사특성이 크게 영향을 미치므로, 정확한 휘도 값을 계산하기 위해서는 계산하고자 하는 대상인 도로의 표면 반사 특성 값을 직접 측정하는 것이 필요하였다.

도로 표면 반사특성을 나타내는 방법은 여러 가지가 있으나 본 측정에서는 감쇠 휘도 계수를 측정하기 위한 장치를 개발하고 그 값을 측정하는 것에 의해서 반사 특성 표를 작성하였다.

2. 반사 특성의 표시

2.1 이론적 배경

도로 표면 반사 특성은 매우 복잡하므로 이들의 특성을 설명할 수 있는 매개변수로 표현하는 기법과 함께, 이 값에 따라 도로 표면을 분류하는 방법을 개발하였다. 이러한 방법들은 다음과 같다.

2.1.1 de Boer/Westermann 의 방법

이 방법은 도로표면의 반사 특성을 설명하기 위하여 두 가지의 매개변수를 사용한다. 평균 휘도 계수 q_0 와 정반사인자 K_p 로서 이것들은 다음과 같이 정의된다.

$$q_0 = \frac{\int_{\Omega_e} q(\beta, \gamma) d\Omega}{\Omega}$$

$$k_p = \log \frac{q_0}{q_p}$$

이 de Boer/Westermann 방법은 지금까지 가장 폭넓게 사용되어 왔고 분류 시스템 (classification system)에 대한 기초를 형성하였으며 4개의 표준표면, R-1 에서 R-4까지에 기초가 되었다. 두 매개변수의 측정을 위한 기구가 또한 개발되어 왔으며, 이 방법은 사용하기엔 간단하지만 정확성은 그다지 만족스럽지 못하다.

2.1.2 RANGE 시스템

이 RANGE 시스템은 주어진 표면이 de Boer/Westermann 시스템에서 어떤 등급에 속하는지를 결정하기 위한 방법이다. 정반사하는 정도와 적절한 정확성으로 설명될 수 있는 3 가지의 정의된 점에서 휘도 계수 값 q 의 관측에 기초를 두고 있어서 이전에 언급된 분류화 목적으로 사용될 수 있다.

2.1.3 Roch/Smiatek 방법

이 방법은 4개의 매개변수를 사용한다 즉,

q_{min} =램프 바로 아래 휘도 계수

q_{sp} = q -diagram의 양의 부분에서 정 반사 부분의 반사

q_{sn} = q -diagram의 음의 부분에서 정 반사 부분의 반사

q_{ro} =정 반사 정도

이들 4개의 매개변수(parameter)를 계산함으로써 완전한 r -table을 만들 수 있는 수학적 함수가 개발되었다. 이러한 측정은 어떤 분류 시스템을 고려치 않고 조도 계산이 수행되는 것을 가능케 한다.

2.1.4 Massart 방법

Massart 방법에서는 iso- r diagram 곡선이 타원과 고차 다항식으로 근사 한다. 매개변수와 관련된 이 곡선들에 대한 방정식은 Roch/Smiatek method을 행하는 완전한 r -table의 재구성을 가능케 하지만 다양한 수의 매개변수를 사용하는 것이 이 시스템의 특징적인 것이 된다.

2.2 도로 표면 반사 특성의 정의

도로표면 반사특성은 휘도 계수에 의해서 설명될 수 있다. 주어진 관측방향과 빛이 입사하는 방향에 대한 휘도 계수 q 는 휘도, L

(cd/m^2)과 조도 E (lux)사이의 비로써 정의된다.

$$q = \frac{L}{E}$$

그림 1에서 각 α 는 1° 이고 빛의 입사 방향은 β 와 γ 각에 의해서 정의된다. 휘도 계산의 목적을 위해서는 $r = q \cos^3 \gamma$ 의해서 정의되는 감쇠 휘도 계수 (reduced luminance coefficient)를 사용하는 것이 더 실용적이다. 관측 방향과 도로의 길이 방향과의 각은 어느 정도 영향을 가지고 있지만 이것은 일반적으로 매우 작기 때문에 무시되어도 좋다.

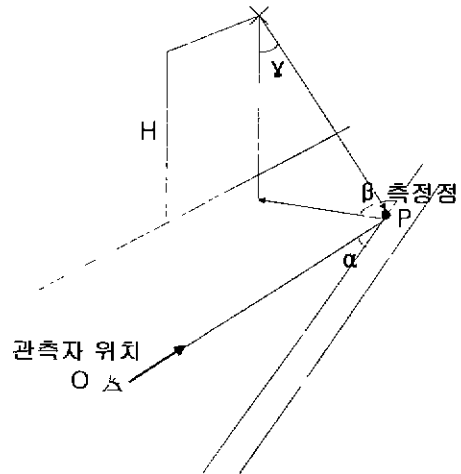


그림 1. 도로 표면 반사특성의 관측 방향과 입사하는 방향을 정의하는 3 가지의 각

3. 도로 표면 반사 특성의 측정과 결과

3.1 도로 표면 반사 특성의 측정 범위

감쇠 휘도 계수의 측정 범위를 보면 β 는 0-2-5-10-25-30-40-45-60-75-90-105-120-135-150-165-180도 순서로 측정되고, γ 는 $\tan \gamma$ 값이 0-0.25-0.5-0.75-1-1.25-1.5-1.75-2-2.5-3-3.5

-4-4.5-5-5.5-6-6.5-7-7.5-8-8.5-9-9.5-10-10.5-11-11.5-12 도의 순서로 측정된다.

표1. 측정된 r-값

3.2 측정 장치



그림 2. 개발한 측정 장치

그림에서 보는 바와 같이 램프는 양구금형 100W 할로젠 램프를 사용하였으며 휘도계의 시준 영역에서 조도값이 균일하도록 하는 램프를 선택하였다. 도로의 샘플은 콘크리트 도로를 사용하였고 측정범위는 위의 3.1에서 설명한 바와 같은 β 각과 γ 각의 범위에 맞추도록 하였으며 γ 각에 대하여 그 간격이 너무 세밀한 부분은 주변 각도에서 측정된 값들의 보정을 취하여 구하였다.

$\gamma \backslash \beta$	0	45	63.4	76	80.5	83.3	84.6	85.9
0	804	524	270	101	65	43	30	18
5	798	503	251	92	58	39	27	16
10	792	483	231	83	52	34	24	15
20	780	441	192	65	39	26	18	11
30	765	385	136	38	18	13	9	6
40	772	415	183	63	39	26	18	11
60	748	327	104	27	13	8	6	3
75	739	306	96	25	12	8	6	4
90	731	285	89	23	11	8	6	4
105	757	295	94	25	13	9	7	5
135	797	400	141	44	22	17	13	10
150	792	426	157	51	27	21	16	12
180	805	389	134	44	22	17	14	11

3.3.2 측정 결과의 분석

그림 3 과 그림4 는 S1, S2, Q0 값에 의해 도로의 표면이 어느 부류에 속하는지를 보여 주고 있다. 여기서 S1, S2 는 정반사 인자이며, Q0는 평균 휘도 계수이다. 또한 S1, S2,, Q0 의 값은 다음과 같이 정의된다.

$$Q_0 = \frac{\int_{\Omega_e} q \cdot d\Omega}{\int_{\Omega_e} \cdot d\Omega}$$

$$S1 = \frac{r(0, 2)}{r(0, 0)} \quad (\text{즉, } \beta=0, \tan \gamma=2)$$

$$S2 = \frac{Q_0}{r(0, 0)}$$

3.3 측정 결과

3.3.1 측정된 r 값

표1 은 실제로 측정된 r-table의 값들을 β 와 γ 에 대해서 표시한 값이다. 실제 측정된 β 와 γ 의 간격은 위의 3.1에서 설명한 바와 같다.

CIE의 계산법에 의하면 Q0는 가중 인자의 값과 측정된 r-table의 값을 서로 곱한 다음 $\tan(\gamma)$ 을 곱하고 그 결과의 값을 합하여 9.936×10^7 로 나눈다 가중인자 표는 심프슨의 적분을 기초로 계산되었고 2차 보간 법을

가정하고 있다. 측정 대상인 콘크리트 시료의 S1, S2, Q0 값을 위의 식과 CIE 추천에 따라 구하여 보면, $\gamma(0,0)$ 은 804 이고, $\gamma(0,2)$ 는 270 이며 Q0 값은 0.1678 이다. 이 값을 위의 식에 대입하면,

$$S1=0.34$$

$$Q0=0.1678$$

$$S2=2 \text{ 이다.}$$

이 값을 가지고 그림 3 과 4에서 보면 측정된 반사특성의 값이 어느 정도의 위치에 있는지를 알 수 있다. × 표시한 곳이 그 위치이다. 이 측정값을 가지고 LAP Road를 통해서 계산했을 때, 휘도 분포 값은 CIE에서 권장하는 어느 반사특성 보다 그 측정값과 비교하여 오차의 정도를 줄일 수 있었다.

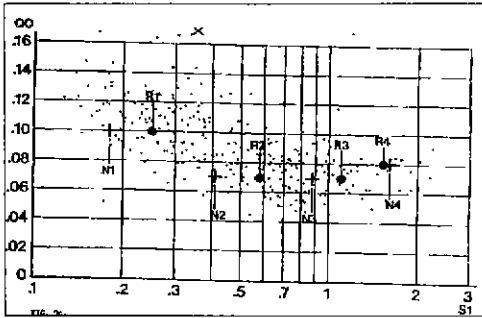


그림 3. Q0와 S1에 대한 도로 표면의 분류

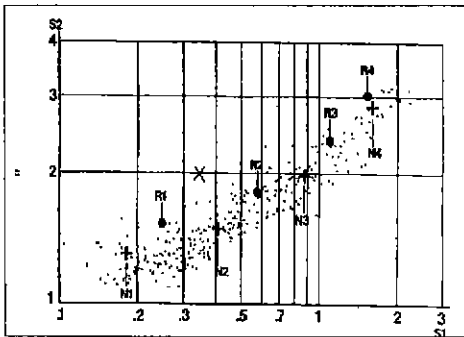


그림 4. S2 와 S1 에 대한 도로표면의 분류

4. 결론

LAPRoad상에서 실행한 결과 값과 실제 도로에서의 측정값을 비교 분석하였을 때 조도 분포는 비교적 일치하였으나, 휘도 분포를 계산함에 있어서는 도로 표면의 반사특성에 따라서 크게 영향을 미치므로, 정확한 휘도 값을 계산하기 위해서는 계산하고자 하는 대상으로 하는 도로의 표면 반사특성 값을 직접 측정하여 계산하는 것이 바람직하다. 이에 따라 측정장치를 개발하여 시료의 반사특성을 측정하였으나, 그 특성을 나타내는 S1, S2, Q0의 값은 일반 시료들이 갖는 값을 벗어났다. 휘도 계산에 적용한 결과도 측정치와의 오차는 감소하였으나 전반적으로 크게 개선되었다고 보기는 어려웠다. 이는 측정 장치에 채택한 광원의 문제, 휘도계의 측정 범위의 문제등에 의하여 오차가 발생한 것으로 생각되며, 이를 개선할 측정 방법을 연구 중이다.

[참고 문헌]

- (1) CIE, "Calculation and Measurement of luminance and Illuminance in Road Lighting", Pub.30-2,1990
- (2) IESNA, "Lighting Handbook ,8th ed", IESNA, 1993
- (3) de Boer, "Public Lighting". Philips Technical Library, 1967