

도로 조명에 의한 조도 및 휘도 분포 계산 프로그램 개발

Development the Program Calculating Illuminance and Luminance for Road Lighting

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

ABSTRACT

본 연구에서는 도로 조명 설비에 있어서의 도로 면의 휘도 분포 및 조도 분포뿐만 아니라, 평균 휘도 및 평균 조도, 전방 균제도와 길이상의 균제도, 임계 증분, 광막휘도, 글레어 등의 계산을 수행하는 프로그램(Lighting Analysing Program for Road, LAPRoad)을 개발하였다. 도로 및 조명기구의 기하학적 배치와 함께 노면의 반사 특성과 조명기구의 배광 특성이 사용자의 선택에 의해 입력된다. 계산의 정확도와 LAPRoad의 유용성을 검증하기 위해 실제 조도와 휘도를 측정하고 이를 계산 결과와 비교하여 좋은 결과를 얻었다.

1. 서론

도로조명의 목적은 야간 교통 사고를 감소시키고 각종 범죄를 예방함과 동시에 보행자 및 운전자에게 편안한 시각환경을 제공하는 데에 있다. 도로조명은 본래 모든 구간의 도로에 설치하는 것이 바람직 하지만, 야간의 교통량이 많거나 야간의 교통사고 우려가 높은 곳, 그리고 조명을 설치함에 따라 주위의 쾌적성 등에 의해 이익을 받는 사람들이 많을수록 우선적으로 조명을 설치하게 된다.^[2] 가로등을 포함한 도로조명의 설치가 야간 교

통사고의 감소에 어느 정도 효과가 있는지에 대해서는 이미 오래 전에 세계각국에서 조사를 한 바 있으며, 이를 CIE (국제 조명위원회)가 종합한 결과에 따르면, 도로조명을 설치한 결과 야간 교통사고에 의한 사망자의 수가 48~65 [%], 중상자는 24~30 [%], 교통사고 발생 건수는 14~53 [%] 감소한 것으로 되어있다. 또한 CIE의 최근 발표에 의하면 고속도로를 포함한 각종 도로에 대해서 15 개국에서 이루어진 62 건의 교통사고와 관련한 도로조명 연구 결과 85 [%] 정도가 도로조명에 의해 효과가 있었음을 밝히고 있다.^[2] 이것으로 볼 때 도로에 있어서 가로등의 설치는 교통 안전시설로서 충분한 타당성이 있다고 하겠다. 가로등에 있어서 우리가 도로 조명 설비의 질적인 평가 기준으로서 휘도 및 조도 분포를 사용하고자 한다면, 먼저 도로 조명 설비를 설계 할 때 휘도 및 조도계산을 필요로 하며, 그 다음 설비가 완성된 직후에는 도로 표면의 휘도 및 조도를 측정하는 것이 당연하다. 휘도 및 조도의 계산은 어느 정도 그래픽(graphical)적인 방법이나 광속법 등에 의해서 이루어질 수도 있겠지만, 매우 광범위한 장소의 조도나 휘도 분포를 계산하기 위해서는 적절한 소프트웨어가 필요하다. 이러한 소프트웨어는 해외에서는 이미 개발되어 있으나, 국내에서 사용하기 적합하고 국내 실정에 알맞는 형태가 되도록 개발하는 것을 목표로 하였다.

2. LAPRoad의 개발

2.1 LAPRoad의 구성

LAPRoad 는 크게 5가지 부분으로 나눌 수 있다.

첫째는 사용자가 여러 입력 데이터를 선택하여 입력하는 부분으로 입력 데이터는 도로 조명 설비의 기하학적 데이터, 그리고 도로 표면의 반사 특성 데이터, 마지막으로 램프의 배광 특성 데이터가 있다.

둘째는 입력파일이 정확하게 입력되었는지를 확인하고 잘못 입력되었거나 오류가 있으면 에러를 출력하고 그 에러에 대한 원인을 설명하여 사용자가 쉽게 에러의 원인을 분석하고 수정할 수 있도록 하였다.

셋째는 휘도 및 조도 분포를 비롯한 여러 인자들을 계산하고 출력한다. 여기서는 휘도 및 조도 분포가 여러 계산 인자들 중에서 가장 중요하다고 생각되기 때문에 사용자가 쉽게 확인 할 수 있도록 바로 화면에 출력하고, 여러 계산인자는 출력 파일에 따로 모아 출력하도록 하였다.

넷째는 계산된 휘도 분포와 조도 분포를 사용자가 쉽게 비교 분석할 수 있도록 그래픽 처리하여 출력하며 사용자는 휘도 분포와 조도 분포 각각에 대하여 도로 폭 방향과 길이 방향에 대해 확인 하고자 하는 휘도 분포 및 조도분포의 범위를 입력하여야 한다.

다섯째는 사용자가 입출력 파일 전체를 확인하고 점검할 수 있도록 하였다. 왜냐하면 LAPRoad 실행 중 에러가 발생하여 입력과

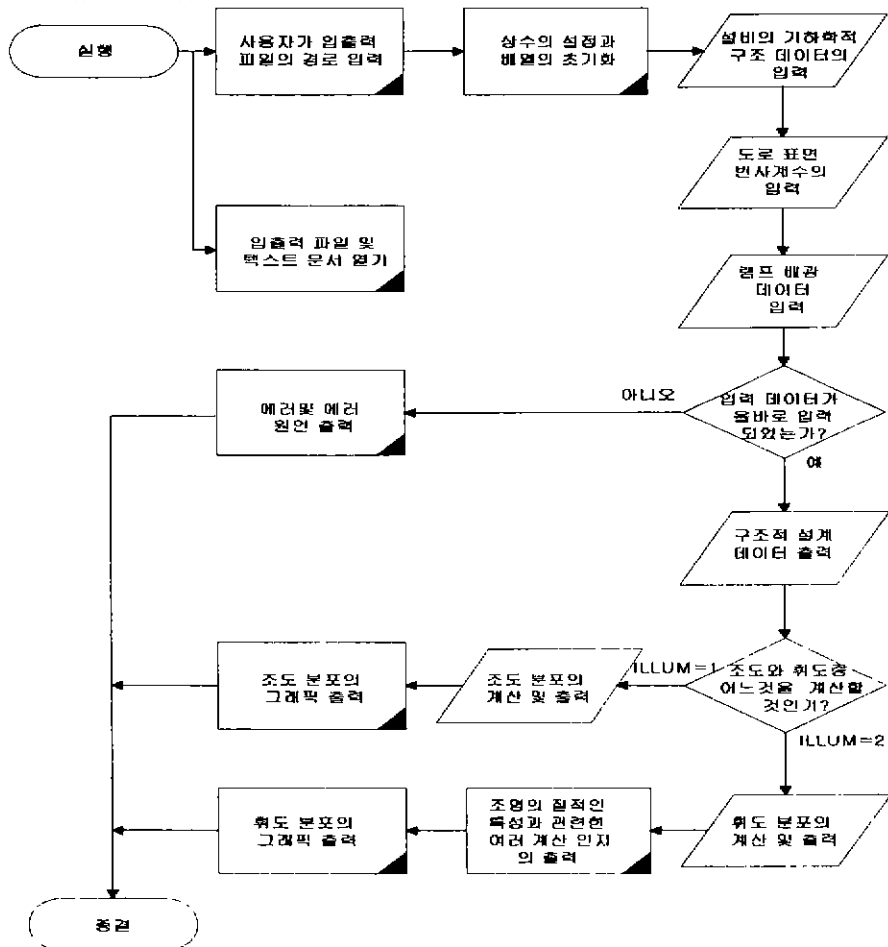


그림 1. LAP Road의 순서도

일을 확인하여야 하거나 휘도 및 조도분포이 외에 다른 계산인자들을 확인하기 위해 출력 파일을 열어야 할 경우를 위해서이다.

2.2 입력 데이터의 구성

입력 데이터는 도로 조명 설비의 기하학적 구조 데이터와 도로 표면의 반사 특성 데이터, 그리고 조명기구의 배광 특성 데이터로서 크게 3 부분으로 구성되어 있다.

2.2.1 도로조명 설비의 기하학적

구조데이터

① 도로 구조

이 부분은 계산하고자 하는 도로가 직선인가 또는 곡선인가를 선택하여 입력한다. 곡률 반경이 음수이면 도로는 왼쪽으로 꺾어지는 모양의 도로이고 양수이면 도로는 오른쪽으로 꺾어지는 모양의 도로이다. 또한 곡률 반경이 0 이면 그 도로는 직선이다.

② 관측자 위치

평균 휘도와 글레어 계산을 위한 관측점은 도로 오른쪽 편으로부터 도로 폭의 1/4에 위치하여야 하고 길이상의 균제도 계산을 위한 관측점은 각 차선의 중앙에 위치한다. 또한 그 위치는 도로 길이 방향과 폭 방향에 대하여 그 좌표 값을 정확하게 입력하여야 한다.

③ 조명 설비의 구조

랜턴 참조 번호는 1 과 10사이의 정수이어야 한다. 랜턴 참조 번호란 서로 다른 종류의 램프를 2 가지 이상 사용할 때 램프들을 구분하기 위한 번호를 말한다. 즉 별도로 다른 종류의 등기구가 있다면 현재의 랜턴 참조 번호를 다르게 하여 동일한 방법으로 데이터를 입력해야 한다. 또한 랜턴높이, 랜턴의 위치, 랜턴 간격 등이 입력된다.

④ 조명기구에 대한 데이터

이 부분에서는 램프의 총광속, 수평회전각, 수직 기울기, 수평 기울기 등이 입력되며 총

광속의 단위는 kilolumen 이다. 또한 별도의 독립된 등기구가 있으면 위의 ③의 조명 설비 구조 데이터에서 사용했던 참조 번호와 같은 번호를 사용하여 동일한 방법으로 입력하여야 한다.

⑤ 계산 범위

계산점위 첫 번째 위치와 마지막 위치가 입력되며 계산점의 간격 등이 입력된다.

⑥ 글레어 관련 데이터

램프의 색 상수, 랜턴의 겹보기 면적 등이 입력된다.

2.2.2 도로 표면의 반사 특성 데이터

이들 데이터는 사용된 도로 표면의 반사특성을 상술하며, 첫 번째 데이터는 위의 도로 구조 데이터에서 두 번째 데이터와 일치해야만 하는 도로표면 반사특성 표의 번호를 명시한다. 두 번째 이후의 데이터들은 각각의 랜턴의 수평각에 대한 입사각의 수를 나타내며 또한 그 각들에 대한 값을 나타낸다.

2.2.3 램프에 대한 배광 데이터

이들 데이터는 사용된 랜턴의 배광 분포를 상술하며, 주어진 광도 값은 $cd/1000$ 램프 광속으로 주어진다. 첫 번째 데이터는 위의 랜턴에 대한 데이터 중 마지막 데이터와 일치하는 배광 분포표의 번호를 나타내며, 그 다음 데이터는 배광이 반 평면에 관하여 대칭이면 1의 값을, 비대칭이면 0의 값을 나타낸다. 또한 그 다음의 데이터는 배광 분포표의 형식이 LAP Road에서 요구하는 형식과 일치하면 0을, 일치하지 않으면 1을 입력한다.

2.3 출력 내용

출력은 도로 조명 설비의 기하학적 구조 데이터와 휘도 및 조도 분포 그리고 사용자가 쉽게 확인 할 수 있도록 하기 위한 휘도 및 조도 분포의 그래프, 그리고 평균 휘도 및

평균조도, 전반 균제도 (Overall Uniformity), 길이상의 균제도(Longitudinal Uniformity), 임계증분(Threshold Increment, TI), 광막 휘도(Veiling Luminance ,VL), 글레어 (Glare, G)등을 계산하도록 하였다.

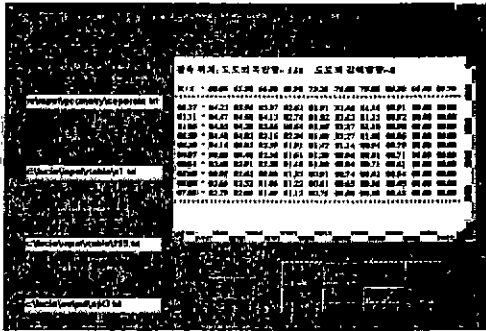


그림2. 휘도 분포를 계산했을 때의 활성창

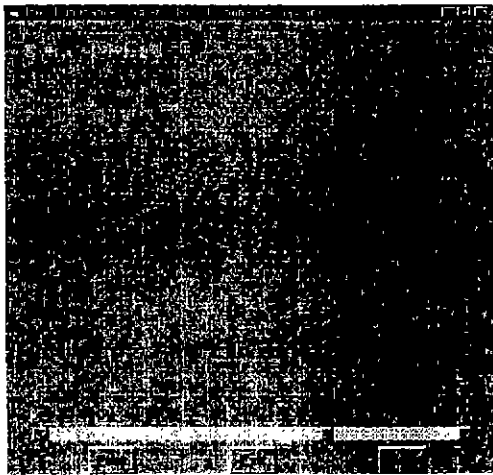


그림 3. 휘도 분포를 그래픽 출력했을 때의 활성창

3. 실제 도로에서의 측정값과 계산값의 비교 분석

3.1 측정도로의 기하학적 구조

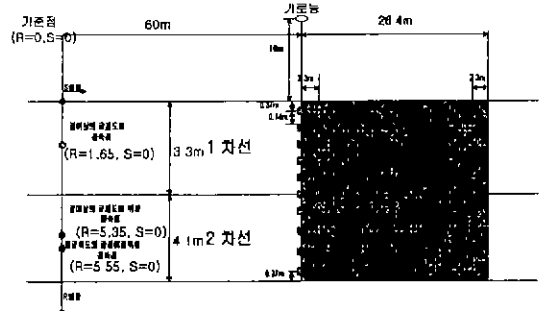


그림 4. 측정도로의 기하학적 구조

그림 4 에서 보는 바와 같이 한 개의 가로등만을 설치하였고 램프는 메탈 할라이드 400W를 사용하였으며, 가로등의 높이는 10 m 이다. 측정 범위는 도로 길이 방향으로는 26.4 m로서 3.3 m 간격으로 8곳을 측정하였고 도로 폭 방향으로는 7.4로서 0.74 m 간격으로 10 곳을 측정하였다. 관측자는 가로등을 기준으로 60m 전방에 위치하며, 도로 폭 방향으로는 길이상의 균제도를 위한 관측 위치는 각 차선의 중앙선상에 위치하도록 1.65 m와 5.35 m 두 곳에, 평균 휘도와 글레어를 계산하기 위한 위치는 전체 도로 폭의 ¼에 해당하는 5.55 m에 위치시켰으며, 그 높이는 도로 면으로부터 1.5 m 위에 위치시켰다.

3.2 조도분포의 측정값과

계산값의 비교 분석

표 1. 조도 분포의 계산값

길이 폭	60	63.3	66.6	69.9	73.2	76.5	79.8	83.1
0.37	54.7	50.5	38.1	24.3	16	11.0	7.9	5.7
1.11	58.1	55.4	43.9	25.6	16.1	10.8	7.8	5.8
1.85	59.0	54.6	39.9	24.8	15.6	10.5	7.6	5.7
2.59	56.7	50.3	34.7	22	14.2	9.7	7.1	5.3
3.33	53.4	44.5	28.1	18	12	8.7	6.5	5
4.07	48.6	39.4	25.1	15.1	10.2	7.3	5.6	4.5
4.81	43.4	34.1	23.1	13.6	8.7	6.4	4.9	3.8
5.55	38.4	30.7	21.2	12.5	7.6	5.6	4.3	3.4
6.29	33.6	27	19.3	11.4	6.8	5	3.9	3
7.03	29	23.7	17.5	10.4	6.3	4.4	3.5	2.7

표 2. 조도 분포의 측정값

길이 폭	60	63.3	66.6	69.9	73.2	76.5	79.8	83.1
0.37	70	62	47	32	22	15	12	8
1.11	76	70	51	35	22	15	11	8
1.85	74	67	50	33	22	17	11	7
2.59	69	60	45	28	20	14	10	6
3.33	65	54	40	22	15	11	8	5
4.07	57	47	31	19	13	9	7	4
4.81	50	40	26	17	11	8	5	3
5.55	42	34	23	14	9	7	4	3
6.29	34	27	20	13	8	6	4	3
7.03	28	22	18	12	7	5	4	3

표 3. 측정값 / 계산값

길이 폭	60	63.3	66.6	69.9	73.2	76.5	79.8	83.1
0.37	1.3	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.4
1.11	1.3	1.3	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
1.85	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	1.6	1.5	1.2
2.59	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.1
3.33	1.2	1.2	1.4	1.2	1.3	1.3	1.2	1.0
4.07	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3	0.9
4.81	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3	1.0	0.8
5.55	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	0.9	0.9
6.29	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.0	1.0
7.03	1.0	0.9	1.0	1.2	1.1	1.1	1.2	1.1

위의 표를 보면 측정값이 다소 높게는 나왔지만 측정 도로에 있어서의 외부에서 들어오는 빛을 감안한다면 그리 큰 오차가 아님을 알 수 있다. 측정값/ 계산값을 보면 높게는 1.5 까지 나오지만 1.0에서 1.3 정도가 대부분임을 알 수 있다. 갑자기 높아지는 몇 개의 값들은 측정에 있어서의 오차라고 할 수 있겠다. 그러므로 LAP Road 상에서의 계산값과 현장에서 측정된 값이 대체적으로 일치함을 보여주고 있다.

3.3 휘도 분포의 측정값과

계산값의 비교 분석

표 4. 도로 표면이 콘크리트

일 때의 휘도값 분석

반사표면 등급	(휘도분포/계산값) 의 평균	편차
N1	1.37	0.2
N2	2.56	0.12
N3	3.78	0.13
N4	4.9	0.14
R1	1.68	0.15
R2	3.03	0.15
R3	4.54	0.14
R4	4.97	0.17

표 4 에 대한 설명은 다음과 같다. 휘도 분포의 측정값과 계산값 사이의 비교는 조도 분포에서 비교한 방법과 동일한 방법으로 비교하였지만, 도로 표면 반사 특성에 대한 고려가 있어야 한다. 즉 휘도는 도로 표면의 반사 특성에 따라 크게 변하기 때문에 도포 표면 반사 특성을 달리 하면서 분석을 행하였다. 도로 표면 반사 특성은 CIE에서 N 시리즈로 된 도로 표면 반사 특성과 R 시리즈로 된 도로 표면 반사 특성 2 가지를 추천하고 있으나, 같은 부류로서 생각될 수 있고 그에 대한 차이점은 알려져 있지 않다. 표에서 알 수 있듯이 오차의 평균은 N1이 작고 다음으로 R1이 작지만 편차는 R1이 작고 다음으로 N1이 작은 것으로 나타났다. N1 과 R1 의 도로 표면 반사특성은 같은 부류의 표면으로서 간주 할 수 있기 때문에, 이 차이는 그리 중요하지 않으며 R1 과 N1의 반사 특성을 갖는 도로는 다음과 같다.

- ① 적어도 15%의 인공 첨가제를 갖는 아스팔트 도로표면이거나
- ② 도로표면의 80%이상이 부스러기로 입혀진 표면이며 그 부스러기는 많은 인공첨가제나 100 %의 매우 밝은 아노사이트로 존재하는 표면.
- ③ 콘크리트 도로표면

여기서 실험 샘플의 종류는 콘크리트 도로 표면에 해당하므로 N1 과 R1 의 도로 표면

반사 특성에 포함된다고 할 수 있다. 하지만 좀더 정확한 휘도값의 계산을 위해서라면 좀더 정확한 도로 표면 반사 특성 값이 필요하며 계산하고자 하는 대상의 도로에서 직접 도로 표면 반사 특성을 측정하여 LAP Road에 입력하는 것이 바람직 할 것이다.

4. 결론

LAP Road 를 실행한 결과 계산값과 실제 도로에서의 측정값을 비교 분석하였을 때 조도 분포와 휘도 분포 모두 비교적 일치하였으나, 휘도 분포를 계산함에 있어서는 도로 표면의 반사특성에 따라서 크게 영향을 미치므로, 정확한 휘도 값을 계산하기 위해서는 계산하고자 하는 대상인 도로의 도로 표면 반사 특성 값을 직접 측정하여 계산하는 것이 바람직 할 것이다. 앞으로 계산한 결과를 보다 쉽게 파악할 수 있는 등조도, 등휘도 곡선 그리기 기능을 첨가하고, 원하는 조도 및 휘도값을 달성할 수 있도록 기하학적인 변수를 자동적으로 설정해주는 기능을 갖도록, LAP Road를 수정해 나갈 예정이다.

[참고 문헌]

- [1] 전 관섭,정 종철 “도로 조명의 요건과 기준”, 조명·전기설비학회지,12 권, 1호, 1998, p3~p12
- [2] 여 인선, “ 도로 조명의 설계 ”, 조명·전기설비 학회지, 12권, 1호,1998, p13~27
- [3] CIE, “ Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting ”, Pub 30-2, 1990
- [4] IESNA, “Lighting Handbook ,8th ed”, IESNA, 1993
- [5] de Boer, “Public Lighting”, Philips Technical Library, 1967