

3차원 경면 반사판 설계 알고리즘 개발 (Development of 3 Dimensional Specular Reflector Design Algorithm)

황남극* · 김기훈 · 김훈
(Nam-Keuk Hwang · Gi-Hoon Kim · Hoon Kim)

Abstract

지금까지 국내에서 개발된 반사판 설계틀은 2차원적인 형태를 고려하여 만들어졌다. 그러나 가로등이나 투광기 같은 형태의 반사판을 설계할 때에는 2차원이 아닌 3차원적인 형태를 고려하여 설계되어야하고, 반사광이 램프에 흡수되는 것을 고려하여 설계해야 한다. 본 논문에서는 3차원 형태의 반사판을 여러 방향으로 잘라서 먼저 2차원적으로 설계하고, 이를 연결하여 3차원 형태의 반사판을 만드는 방법을 제시하고자 한다.

1. 서론

국민소득의 증가와 생활수준 향상에 따라 도로조명 및 투광조명의 적용 사례는 날로 증가하는 추세이며, 그 조명수준에 대한 요구사항도 높아지고 있다. 이에 따라서 HID 램프를 사용하는 조명기구의 대표적인 가로등기구와 투광기의 수요가 증가함은 물론, 그 성능에 대한 요구사항도 높아질 것이다.

HID 램프는 소형의 광원에서 많은 광속을 얻을 수 있어 주로 야외의 도로조명이나 투광조명 등의 주 광원으로 사용된다. 그러나 아직까지 가로등이나 투광기 같은 반사판을 제작하는 국내의 업체들은 해외의 모델을 그대로 흉내내어 반사판을 만들고 있어 기구효율이 낮고, 배광이 좋지 않아서 같은 램프를 사용하고 같은 배치를 하더라도 좋은 조명환경을 만들어내지 못하고 비효율적으로 사용되고 있다.

본 논문에서는 2차원 설계틀인 SpeRODII를 기반으로 하여 가로등 같은 3차원 형태의 반사판을 설계하는 방법을 제시하여 조명환경 요건에 맞는 등기구를 만들고자한다.

2. 본론

2.1 전제

1) 램프의 길이와 반경은 발광관의 길이와 반경으로 가정한다.

2) 램프 발광관의 표면은 완전 확산면으로 가정한다. 따라서, 휘도 L은 일정하다.

$$I_{\theta} = L \times S \quad (2.1)$$

3) 반사판의 밀면 형태는 타원형으로 가정한다.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2.2)$$

a: 등기구 폭의 1/2

b: 등기구 길이의 1/2

4) 반사판은 그 재질에 따라 결정되는 반사율을 가지며, 정반사를 한다고 가정한다.

2.2 원리

2.2.1 SpeROD II의 기본원리

그림 1에서 출력광도는 반사판 segment의 입체각이 증가함에 따라 반사판 segment가 램프의 전체 상을 가지기 전까지 증가하다가, 램프의 전체상을 가지게 되는 입체각 이상이 되면 더 이상 증가하지 않는다[2].

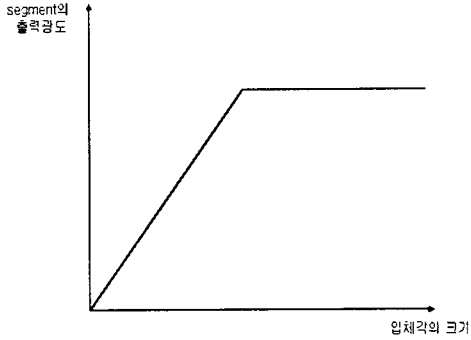


그림 1. SpeRODII의 출력광도와 반사판 세그먼트의 입체각

그림 2는 출력광도의 분포가 일정한 영역의 출력각도 내에서 어떻게 분포하는지를 나타내고 있다[3].

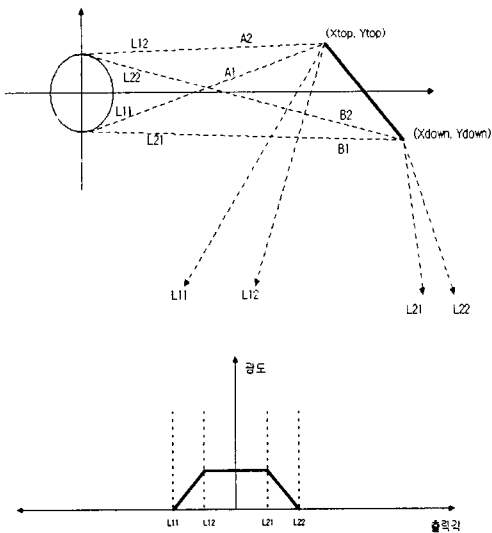


그림 2. SpeRODII의 출력각과 출력광도

2.2.2 3차원 설계의 기본원리

SpeRODII의 기본원리를 기반으로 하여 반사판의 여러 방향에 걸쳐서 배광을 결정하고, 각 방향에서의 램프배광도 고려하여 반사판을 설계한다.

3차원 설계 방법은 등기구의 배광분포로 반사판의 단면을 수직, 수평, 대각선 방향으로 잘라서 각각의 단면을 설계하고, 그 단면의 세그먼트를 연결하여 완성되어진다.

2.3 3차원 설계 방법의 세부사항

그림 3은 3차원 설계 방법의 계산과정을 나타낸 순서도이다.

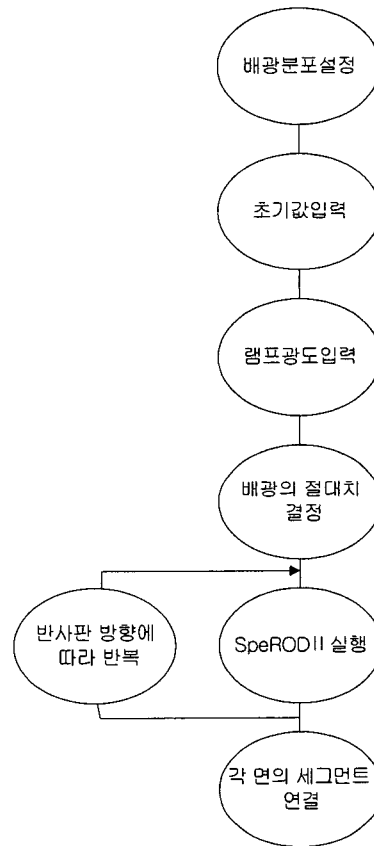


그림 3. 3차원 설계 순서도

2.3.1 등기구의 배광분포 설정

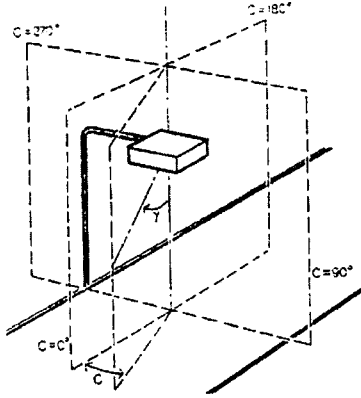


그림 4. 등기구의 배광분포를 나타내기 위한 (C, γ)좌표계

노면의 특정 점을 향해 입사하는 광원의 광도는 등기구의 배광분포에 의해 결정되며, 이 배광을 나타내기 위해 CIE에서는 그림 4에서와 같이 정의되는 좌표계(C, γ)을 사용하고 있다[5].

여기서 등기구 배광분포를 C0, C45, C90, C135으로 설정하여 목표광도를 구한다.

2.3.2 목표 광도 구하기

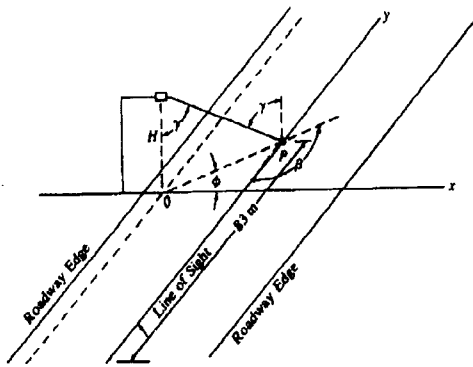


그림 5. 가로등의 배치

그림 5와 같이 가로등이 설치된 도로면에서의 목표 광도는 먼저 도로면의 목표조도를 결정하고, 식 (2.4)을 이용하여 구할 수 있다[1][4].

표 1은 목표 배광을 결정하는 방법을 나타내고 있다.

표 1. 목표배광 결정

입력 데이터:					
단위(m)					
암길이	2				
도로폭	16.2				
등기구간격	24				
등기구 높이	10				
노면상의 목표조도 결정					
도로 길이 방향(Y축 방향)					
		-12.0	-10.8	-9.6	-8.4
도로 폭 방향 (x축 방향)	0.81	18	19	20	21
	1.62	19	20	21	22
	2.43	20	21	22	23
	3.24	19	20	21	22
	4.05	18	19	20	21
	4.86	17	18	19	20
5.67	16	17	18	19	
목표 배광의 결정					
도로 길이 방향(Y축 방향)					
		-12.0	-10.8	-9.6	-8.4
도로 폭 방향 (x축 방향)	0.81	6920	6118	5387	4736
	1.62	7248	6384	5600	4907
	2.43	7631	6705	5869	5132
	3.24	7310	6445	5661	4967
	4.05	7039	6236	5503	4852
	4.86	6808	6068	5388	4779
5.67	6610	5934	5308	4743	

$$E = \frac{I_{\theta}}{R^2} \cos \gamma$$

$$= \frac{I_{\theta} \cdot h}{(x^2 + y^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.3)$$

$$I_{\theta} = \frac{E \cdot (x^2 + y^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}{h} \quad (2.4)$$

식 (2.4)를 이용하여 광도를 구한다음 각 γ, β를 구해서 C0, C45, C90, C135의 목표광도를 구하는 것이다.

$$\gamma = \cos^{-1} \frac{h}{\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}} \quad (2.5)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (2.6)$$

2.3.3 변환광도

사용자가 입력한 목표광도와 실제 광학시스템이 출력할 수 있는 배광의 차이를 없애기 위하여, 목표광도를 일정비율로 증가시키거나 감소시켜줄 필요가 있다. 만약에 목표광도만으로 기구를 설계할 경우 출력배광이 목표배광과 큰 오차가 생길 수도 있다[3].

$$\text{변환광도} = \text{변환계수} \times \text{목표광도} \quad (2.7)$$

$$\text{변환계수} = \frac{\text{목표예상광속}}{\text{목표총광속}} \quad (2.8)$$

2.3.4 등기구 설계 방법

그림 6과 같이 등기구의 밑면을 타원형으로 가정한 이유는 설계할 방향의 단면의 시작점을 구하기 위해서이다. 등기구 배광분포 C0, C45, C90, C135의 목표광도 값으로 설계할 각각의 단면은 시작점을 1, 2, 3, 4을 가지고 설계되어지고, 정점을 지나는 형태가 된다. 설계된 단면들의 세그먼트를 연결하면 반사판이 형성되어진다.

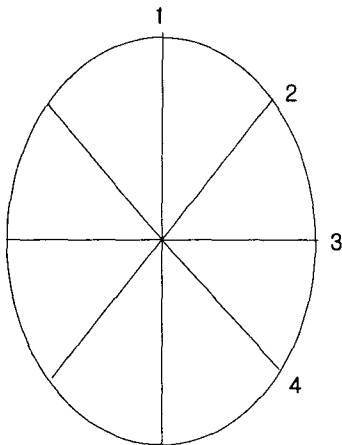


그림 6. 등기구의 밑면

4. 결론

아직까지 완성된 설계물로 반사판을 설계하지 못했지만, 3차원 경면 반사판을 설계하는 한 가지 방법을 제시하였고, 이를 바탕으로 적합한 배광을 결정하고, 반사판의 위치 변경과 각도 변경에 따라 간단히 배광을 변경시킬 수 있는 조명기구를 개발함으로써 제품의 부가 가치를 높이는 것은 물론, 조명시스템의 효율과 조명효과를 상승시킬 수 있다.

완전한 반사판 형태가 만들어지면 배광예측 프로그램을 사용하여 배광을 확인하고, 그 결과에 따라 형태를 수정해나가는 과정을 제한하여 시행착오와 개발 비용을 줄일 수 있고, 조명기구 자체의 효율이 상승함과 동시에 최적의 배광을 갖도록 함으로서 조명물이 상승하는 효과를 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] MURDOCH "Illumination Engineering From Edison's Lamp to the Laser, Macmillan Publishing Company, 1985.
- [2] William B Elmer, "The Optical Design of Reflectors", TLA Lighting Consultants, Inc., Salem, Ma., 1989.
- [3] 황재선, "경면 반사판 설계 알고리즘 및 설계 툴의 개발", 강원대학교 석사학위 논문, 2001.
- [4] IESNA, Lighting Handbook 9th edition, IESNA, 1999.
- [5] 여인선, "도로조명의 설계", 한국 조명·전기설비학회지, Vol.12, No.1, pp.21, 1998.