

# CAD를 이용한 HID LAMP용 반사기구의 설계

## CAD of the Shape of the Reflector of HID Lamp

池 哲 根\* · 金 昌 燮\*\*

(Chee, Chol Kon · Kim, Chang Sub)

### 요 약

이 연구는 주어진 소요배광을 만족시킬 수 있는 조명기구의 광학계의 설계를 다루고 있다. 지금까지는 개인적인 경험과 직관에 의지하여 설계가 수행되었고 또한 기존의 CAD algorithm의 경우에도 반사면에서의 확산특성을 무시하였고 CPU time도 상당히 긴 편이었다.

이러한 한계점들을 극복하기 위하여 새로운 CAD algorithm을 제시하였다. 이 새로운 algorithm은 높은 효율과 적절한 조도분포를 제공하는 설계를 간편하고 바르게 수행할 수 있다.

### Abstract

This paper deals with the Design of lamp reflector which can satisfy the required candlepower distribution.

Until now the process of design is made by the help of the personal expenences and inspiration and also in case of the ready-made CAD algorithm the effects of the diffusive reflection in reflective s-surface are neglected and the CPU time is too long.

To overcome these limits a new CAD algorithm is made. This new algorithm can provide an easy and swift design by which high efficiency and proper candlipower distribution are possible.

### 1. 서 론

광원에서 나오는 빛은 그대로는 조명의 목적에 적합하지 않은 경우가 많다. 조명기구는 광원에서 나오는 빛을 제어하여 효과적인 배광과 눈부심의 감소 등과 같은 조명의 목적을 실현하기 위한 장치이다.

조명기구는 광학적 기능부분, 전기적 기능부분 그리고 광원의 보호·유지 및 장식성을 위한 기계적 기능부분으로 이루어진다.

이 중 조명기구의 광학계의 설계는 다음의 과정

에 의한다.<sup>1)</sup>

우선 조명기구에 요구되는 소요배광이 결정되고 광원의 종류와 광학기구에 사용될 재료가 결정된 후 이들의 특성을 고려하여 광학계를 설계한다.

마지막으로, 설계된 광학기구를 시험 제작하여 예측배광과 실측배광의 비교평가를 행한다.<sup>2)</sup>

종래의 광학설계에는 광의 반사, 굴절 및 투과법칙 등을 이용한 광선 추적법이 사용되었다. 광선추적법은 설계상의 전제로서 점광원과 완전경면(perfect specular) 특성의 반사면을 가정해야하는 문제점이 있었고, 최근에 제시되고 있는 CAD에 의한 방법에서도 완전경면의 특성을 가진 반사면의 경우에 한하여 연구가 진행되어 왔다.<sup>2),3),4),5),6),7)</sup>

그러나 일반적인 반사면에서 완전경면인 경우가

\*서울대학교 전기공학과 교수

\*\*서울대학교 전기공학과 박사과정

거의 없고 상당한 정도의 확산(diffusive) 특성을 가지고 있다.<sup>6)</sup>

그러므로 본 연구에서는 반사표면에서의 반사특성을 고려하면서도 빠르고 정확한 설계를 위한 개선된 CAD 방법을 제시하였다. 설계대상은 투명외구 고압방전등이며, 광학기구는 회전체형상의 것으로 전제하였다.

### 2. CAD Algorithm의 개요

#### 가. 입력 데이터

반사기구의 설계를 위한 program의 실행에는 몇 가지 기본적인 데이터들이 필요하다. 발광관의 휘도 분포, 반사 기구에 사용되는 재료의 반사면의 반사 특성 그리고 반사 기구에 요구되어지는 소오 배광 등이다.

고압 나트륨등 발광관은 radial 방향으로 휘도 분포를 가지는 면광원이다. 실제 계산에서는 발광관 표면의 각 점을 위의 휘도 분포에 근거하여 하나 하나의 점광원으로 취급해야 한다. 그러나 휘도가 중심으로부터 갈수록 급격히 커지고 전체 반사 기구의 크기에 비하여 발광관의 직경이 대단히 작으므로 Fig. 1 과 같이 발광관을 여러개로 분할하여 각 요소를 자기 하나의 점광원으로 가정한다.

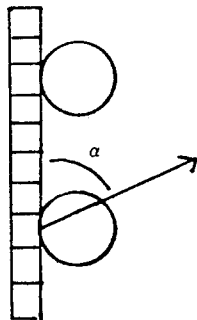


그림 1. 가상 점광원 모델  
Fig.1. Imagary point source model

두 번째로 반사면의 반사특성이 주어지야 한다. 반사특성은 반사표면의 재질과 빛의 입사각도에 의하여 결정된다.

반사계수 : M(a, b)  
a : 입사각, b : 반사각

이러한 경우 반사면에서 반사되어 나온 빛의 세기는 주어진 반사계수와 입사광의 세기에 의하여 다음과 같이 결정된다

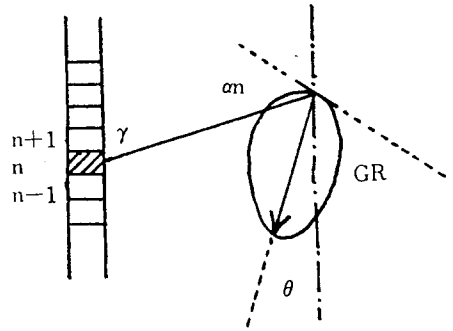


그림 2. 반사배광의 분포  
Fig.2. Distribution of refctcted light.

$$IR(\theta) = \sum_{n=1}^N M(an, \theta + GR) * In(\gamma)$$

GR : 반사면의 연직선과의 각도

N : 광원에서의 가상점광원의 갯수

In(γ) : n-th 점광원에서 γ각도로의 광량

마지막으로, 광원에 요구되어지는 소오 배광곡선을 각 각도별로 소오광량의 상대치를 입력한다.

#### 나. 설계원리

앞에서 논의된 바의 입력 사항에 의하여 소오 배광을 만족시킬 수 있는 설계를 행하게 된다. 실제 설계시 반사 기구는 3 차원적 형태를 가지고 있으므로 설계의 수행은 복잡하게 된다. 그러나, 반사기구의 회전체 형상으로 인하여 2 차원적인 설계를 시도할 수 있다. 그리고 산출된 반사 기구는 연속된 segment의 형태로 표시된다.

이 설계에 이용되는 기본적인 원리는 다음과 같다.

초기치에 주어진 I point에서 N point까지 설계되었다면 각 각도 별로 그 설계된 상태에서 얻어지는 배광의 값과 소오 배광의 비의 값을 계산하고 이때의 비의 값을 CR(θ)라고 하면

$$CR(\theta) = IS(\theta) / IW(\theta)$$

(IW(θ) : 소오 배광)

CR(θ)의 크기가 의미하는 바는 소오 배광의 모양과 예측 배광의 모양간의 닮음의 정도이고 각 θ에 대하여 CR(θ)의 값이 균일할수록 소오 배광의 모양과 예측 배광의 형태가 닮은꼴에 가까움을 알 수 있고, 동시에 이는 반사 기구가 만족스러운 결과를 산출할 수 있음을 예측하게 한다.

CR(θ)의 값은, 각 θ의 값에 대한 편차의 크기

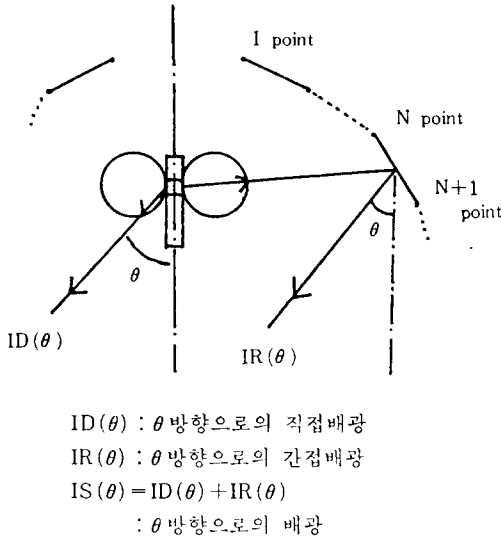


그림 3. 배광 계산  
 Fig.3. Calculation of light distribution

를 관찰하고 그 편차의 크기가 크면 그 크기를 줄일 수 있도록 즉 더 많은 빛을  $CR(\theta)$ 가 적은  $\theta$  방향으로(배광 각도) 배분할 수 있도록 (N+1) point의 위치를 정하고 다시 (N+1) point 까지 설계된 상태에서의  $IR(\theta)$ ,  $IW(\theta)$ ,  $CR(\theta)$ 의 값들을 구한다. N번째 segment에 의한 배광, 배광 각도 그리고  $CR(\theta)$ 의 값들이 계산 되었다면 다음 번 N+1 segment의 설계를 시작하기 전에 다음의 두가지 기준을 만족시키는가를 확인한다.

- i)  $CR(\theta)$ 의 최대값과 최소값의 비가 미리 주어진 기준치 이하로 되는가.
  - ii) 구하여진 final point, N point가 설계상의 허용 영역을 벗어나고 있는가. n
- 위의 기준을 모두 만족하지 않는다면 다시 N+1 segment를 결정하고 다시 N+1 segment까지 구한 등의 형태에 의한 배광과 각도 그리고  $CR(\theta)$ 의 편차의 크기를 구하고 위의 두 기준을 만족하는가를 확인하는 과정을 반복한다.

그러나 위의 두 기준 중 어느 하나라도 만족하는 경우에는 지금까지의 결과를 출력한다. 여기서 출력되는 결과는 N segment까지 설계된 상태에서의 반사 기구의 형태, 예측 배광 그리고 예측 배광과 소요 배광의 비인  $CR(\theta)$  등이다.

출력된 결과에서  $CR(\theta)$ 의 편차의 크기를 확인하여 예측 배광이 소요 배광을 만족시키고 있는지를 살피고 이를 만족시키지 못하거나 반사 기구의 효율이 만족스럽지 못하면 초기치로 주어지는 여러개의 parameter의 값들을 바꾸어 program에 입력하여 첫 번째 segment에서부터 다시 등의 형태를 설계하기 시작한다.

이러한 과정을 만족스러운 결과를 얻을 때 까지 반복한다.

한편 구체적으로 다음 단계의 segment의 위치결정은 다음과 같다.

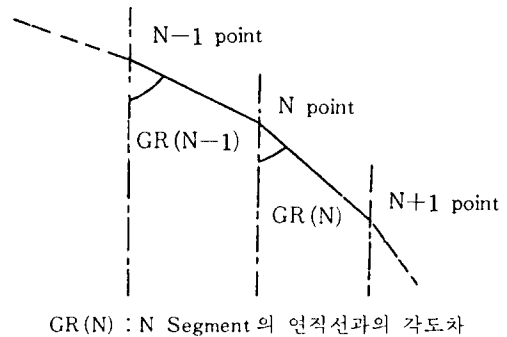


그림 4. 반사면의 segment  
 Fig.4. reflect segment

N point까지 결정되어 있는 상태에서 다음 N+1 point를 결정하기 위하여는 다음의 3가지 기준이 필요하다.

- i)  $CR(\theta)$ 에서 가장 작은 값을 갖게되는  $\theta$ 의 방향으로 많은 빛을 배분하여  $CR(\theta)$ 의 편차를 줄여야 한다.
- ii) 발광관에서 나온 빛이 관의 내부나 발광관으로 반사되지 않도록 하여 효율을 높여야 한다.
- iii)  $GR(N)$ 와  $GR(N-1)$ 과의 각도차가 정해진 값보다 작도록하여 반사기구의 모양이 단순화되도록 하는 제작에 용이하도록 해야 한다.

위의 3 가지 기준을 적절하게 만족시키도록 N+1 point의 위치를 결정해야. 위의 방법에 의하여 새로운 segment의 위치가 결정되었을 때  $IR(\theta)$ ,  $ID(\theta)$  그리고  $CR(\theta)$  등을 구하는 과정은 아래와 같다. 한다

- i) 간접 배광  $IR(\theta)$ 의 결정

Fig. 5에 나타난 바와 같이 N point와 N+1 point에 의하여 결정된 반사면에 의한 배광을 계산해야 한다.  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 사이의 정수값을 가지는  $\theta$ 와 그에

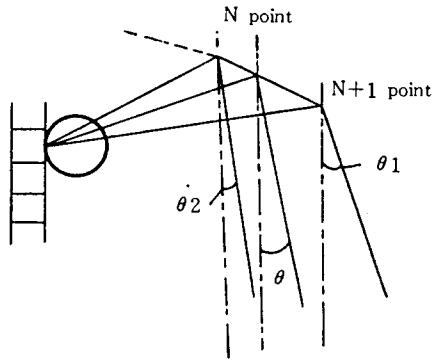


그림 5. 배광 각도 결정  
Fig.5. Deformation of distribution angle

대응하는 각  $\gamma$ 를 구한다. 광원에서 가상의 점광원의 조도분포는 각  $\gamma$ 에 따라 배광이 변하며 본 연구에서의 광원의 휘도분포에 관한 데이터로는 일본 광원관련장치연구회 자료 L8-78-18의 데이터가 이용하였다.”

이 빛은 반사되면서 확산을 수반하므로 반사면의 반사특성을 고려하여 간접배광에 의한 배광 분포를 계산한다. 배광 계산에서는 Fig. 6에 나타난 것과 같이 2차 반사에 의한 배광 분포의 변화를 함께 고려한다.

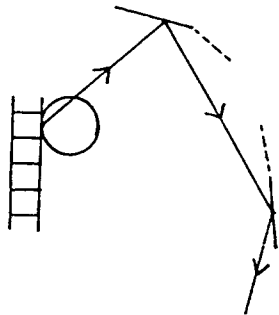


그림 6. 2차 반사에 의한 배광  
Fig.6. 2nd reflection component of light distribution

ii) 직접 배광 ID( $\theta$ )의 결정

N+1 point가 정해지면 발광관에서 반사면에 반사되어 나가지 않고 직접 밖으로 나가는 광은 Fig. 7에 나오는 빗금친 부분에 해당한다. 반

iii)  $CR(\theta) = (ID(\theta) + IR(\theta)) / IW(\theta)$

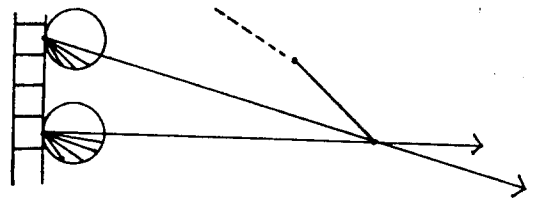


그림 7. 직접배광  
Fig.7. direct component of light distribution

다. 초기입력 변수

반사기구의 설계는 지금까지 소개되어온 원리에 의거하여 수행된다. 그러나 실제적인 program의 수행에는 위의 과정에 영향을 주고 또한 실행작업을 변화시키는 여러가지의 매개 변수들이 있다.

- i) initial point ; 첫 번째 segment가 시작되는 점을 의미하고 이는 전체적인 반사 기구의 크기에 관계 있다.
- ii) segment의 길이 ; 반사기구의 전체 형태의 단순화 정도에 영향을 주고 있다.
- iii) segment간의 최대 허용 각도차 ; segment간의 지나친 각도차의 발생을 방지하여 반사기구의 형태를 단순화하도록하여 segment의 길이와 함께 제작상의 용이함을 제공할 수 있도록 알맞게 선택한다.
- iv) Weighting factor ; segment의 위치를 결정할 때 배광순서와 효율을 동시에 만족시키기 어려

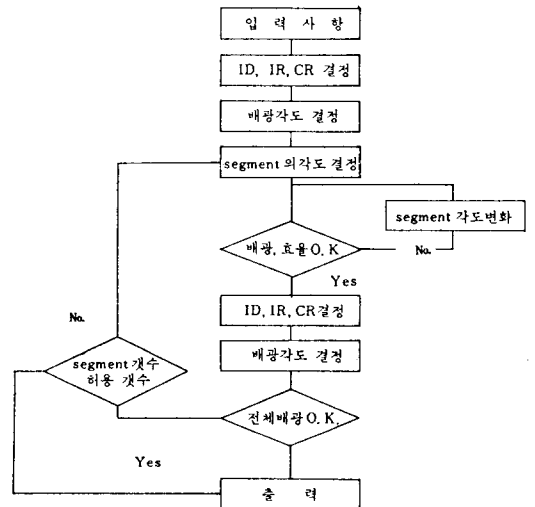


Fig.8. flow chart

때 그들 간의 우선 순위를 결정한다.

- v) Segment의 갯수; 이는 주로 직접배광에 의한 광의 분배에 영향을 준다.
- vi) 전체의 허용 영역; 설계되는 반사기구의 최대 허용 크기를 규정한다.

### 3. 설계 및 실험

#### 가. 입력 사항:

##### i) 반사 특성

$M(a, a) = 0.9$  (입사각과 반사각이 같은 정반사 성분)

$M(a, b) = 0.08/90$  ( $0 < b < 90$ )

##### ii) 발광관 휘도분포 (L8-78-18 Data)

n-th 가상점광원의 휘도분포는 다음과 같이 주어지고 그 때의 Kn의 값은 표 1과 같다.<sup>3)</sup>

$$\ln(\gamma) = Kn \sin^{1.3}(\gamma)$$

표 1. NH360, LX/DL 투명 외구 고압 나트륨 Lamp의 휘도 분포

n	1	2	3	4	5	6	7	8
Kn	1	5	23	511	1635	2150	2290	2350
n	9	10	11	12	13	14	15	16
Kn	2330	2380	2270	1373	302	15	5	2

#### 나. 예측결과

위의 입력에 대하여 Fig. 10과 같은 반사기구의 형태를 구할 수 있었고 Fig. 11과 같은 예측배광곡선을 구할 수 있었다. 이러한 결과를 얻기 위하여 다른 조건의 초기 입력 변수를 대입하여 2번 program 실행을 하였고 매번 실행 CPU time은 61msec 가 소요되었다. 실행결과 예측효율은 98.78%로 이는 반사면의 반사특성 중 확산 성분과 흡수율을 상

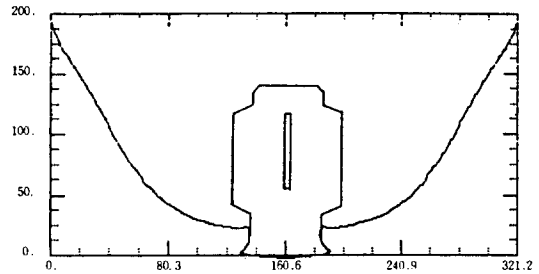


그림 10. 예측 결과 : 반사기구  
Fig.10. Predicted shape of lamp

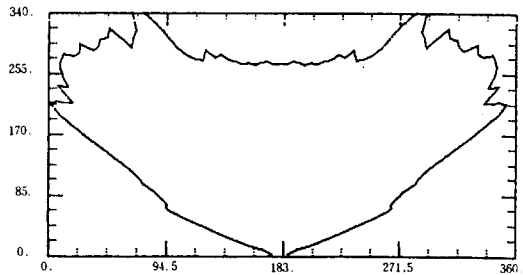


그림 11. 예측결과 : 예측 배광 곡선  
Fig.11. Predicted candlepower distribution

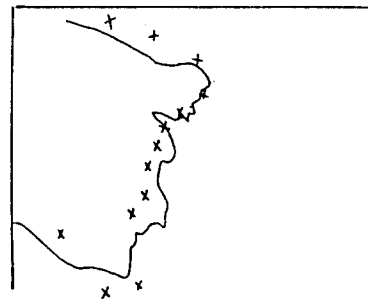


그림 12. — 예측 배광  
××× 실측 배광

Fig.12. Predicted and measured results of candlepower distribution

당히 낮게 책정하였기 때문에 이와 같은 높은 값이 나왔다. 소요배광과 예측배광의 표준편차는 3.1%로 상당히 좋은 결과라 할 수 있다.

#### 검 토

CAD에 의한 반사기구의 설계에 있어서 본 연구의 대상인 투명외구의 고압등의 경우 반사기구의 회전체 형상과 반사기구의 덮개(유리면 혹은 프라

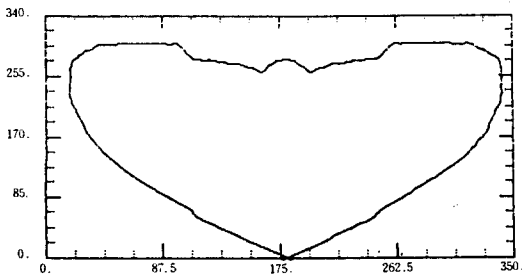


그림 9. 소요 배광  
Fig.9. Required candlepower distribution.

스틱)의 무시를 가정하면 상당히 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 반사면의 반사특성을 고려했음에도 설계에 소요된 CPU time은 약 120msec 정도로 明道成에 의한 설계에서 소요된 CPU time 10sec 보다 훨씬 빠르게 설계를 할 수 있다.\*

그러나 아직까지는 짓빛 외구의 고압 등의 경우와 복잡한 형상의 반사기구 그리고 반사기구의 투과도개의 대상에 대하여는 완전히 다른 접근방식이 필요하다.

또한 이 program을 이용하여 투명외구 고압등의 기존의 반사기구의 배광곡선도 구할 수 있다.

program의 타당성을 검증하기 위하여 기존의 제품에 대하여 program에 의한 예측배광과 제품의 실제 배광을 비교한 결과는 Fig. 12에 나와 있다. 측정상의 오차를 감안할 때 만족스러운 결과임을 볼 수 있다.

### 5. 결 론

에너지 절약이라는 측면에서 투명 외구 고압 방전등의 사용 증대가 예상되고 있고 또한 고압 방전등의 실내 사용을 목적으로 연구가 진행되고 있다는 면에서 CAD에 의한 반사 기구의 설계를 통한 빛의 효율적 사용을 목적하였다. 본 연구 결과 이 program에 의한 설계에 의하여 기존의 방법에 비하여 반사기구의 효율 개선과 정확한 배광을 제공할 수 있다고 본다. 또한 기존의 투명 외구 · 고압 방전등을 사용하는 회전체 형상의 반사기구의 배광예측도 가능하므로 본 연구 결과로 얻은 program은 반사기구의 설계와 배광 예측에 모두 사용된다.

### 참 고 문 헌

- 1) 지 철근, "조명 공학, 문운당, pp. 111~125, 1982
- 2) 明道成 et al, "실내용 조명기구의 설계", (日) 전기 연구회 자료 LA-81-8, 1981
- 3) 松下 信夫 et al, "HID Lamp용 반사등의 CAD", 광원 · 관련장치 연구회 자료 LS-78-16, 1978
- 4) H. W. Bodmann and B. Weis, "Flux Distribution with Perfect Specular Reflectors", Light Research and Tech., 1973
- 5) Ian Lewin, "Computer Design of Luminaires", Light Design and Appl. 1977
- 6) Minoru Isomura et al, "An Approximation of Interreflections in room with mixed Diffuse-Specular Surfaces", J. Illum. Eng. Jpn. Vol. 67., 1983
- 7) 阪口敏彦 et al, "HID 투광기의 CAD에 있어서의 Lamp의 휘도분포 문제", 광원 관련장치 연구회 자료, LS-78-18, 1978
- 8) 明道成 et al, "HID Lamp용 조명기구 경면 반사판의 CAD", J. Illum. Eng. Jpn. Vol. 67, 1983
- 9) 明道成 et al, "A new method for Computer Design of Luminaire Refcectors", J. of IES., 1982.