

무전극 광원의 평면프리즘 조명기구 배광수치모델 개발

(Development of Numerical Model for the Luminous Intensity Distribution of Planar Prismatic Luminaire with Electrodeless Lamps)

김철한* · 최안섭** · 김 훈***

(*세종대학교 건축공학과 석사과정 · **세종대학교 건축공학과 교수 · ***강원대학교 전기공학과 교수)

(Cheol-Han Kim · An-Seop Choi · Hoon Kim)

Abstract

Recently, the electrodeless lamp is introduced as a new light source of a high efficacy and long life. Although electrodeless lamp's size is large, most of them is applied to general luminaire for HID lamps. It causes to decrease electrodeless lamp's efficacy. Therefore, refractor luminaires can be an option to maintain efficacy, so that reflector luminaires are developed for such lamps. The purpose of this study is to develop an optical numerical model of planar prism luminaire that is able to obtain various luminous intensity distributions.

1. 서론

광원을 개발할 경우, 광원의 수명과 효율은 그 연구에서 중점이 되는 부분으로 광원의 발명과 함께 지금까지도 최대의 관심 과제가 되고 있다. 현재 이런 맥락의 일환으로 최근에는 장수명과 고효율에 있어서 큰 장점을 가지고 있는 무전극 광원의 개발이 부각되면서 이 광원을 이용한 조명기구가 상용화 되고 있다. 그러나 현재 상용화 되고 있는 무전극 광원을 사용한 조명기구는 광원 개발에 대한 연구만이 활발하다. 그러나 광원 만으로는 완벽한 조명시스템이 이루어지지 않는다. 거기에는 그 광원의 장점을 살릴 수 있는 조명시스템 연구 또한 뒷받침 되어야 한다.

무전극 광원은 특성상 광원의 사이즈가 크다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점에도 불구하고 대부분의 국내조명회사들은 광원의 장점만을 믿고, 기존에 사용하고 있는 방전등 조명기구를 그대로 사용하고 있다. 이것은 반사각의 사이즈가 작음으로서 반사광의 램프로 재흡수가 많아지고 효율이 많이 떨어지는 역효과를 낼 수 있다. 그러므로 무전극 광원의 이러한 특성에 맞는 조명기구가 설계되어야 하는데, 재흡수의 방지나 목표배광을 맞추다 보면 조명기구의 사이즈 또한 증가하게 된다.

광원의 모든 점에서 뛰어나도 그것을 효과적으로 발휘할 수 있도록 하는 것이 조명기구이다. 이에 장수명과 고효율이라는 장점을 더욱 효과적으로 발휘할 수 있는 무전극 광원을 이용한 조명기구에 대한 연구 또한 활발해져야 할 것이다. 이에 본 연구는 무전극 광원의

반사각 조명기구에 빛의 굴절을 다루는 평면프리즘 조명기구의 수치모델을 개발·검토하여 반사와 함께 무전극 광원의 장점을 살릴 뿐만 아니라, 좀더 목표배광에 가까이 접근하고자 하며, 글레어나 빛의 질을 향상시키고자 한다.

2. 빛의 굴절시스템

기하학적인 빛의 굴절과정을 계산하기 위해서는 먼저 광원에서 나오는 광자의 방향을 결정해야 한다. 그 방법은 확률적 이론인 몬테카를로 방법으로 임의적으로 광자의 방사방향을 결정하게 되는데, 그 방향성은 일정해야 한다. 그 다음, 임의적인 방사방향에 따라 그 광자의 흐름을 수학적으로 벡터화시켜 프리즘의 굴절과정을 수행한다. 이것은 빛의 성질 중 굴절법칙과 광선추적기법이 적용된다. 즉, 광원에서 무작위로 나오는 광자의 방사방향을 기초로 그 광자의 초기 위치를 벡터화시킨 후, 평면프리즘과 만나 굴절법칙에 의한 굴절계산과정이 적용되어 최종 굴절방향을 계산하게 되는 것이다[1].

3. 평면프리즘 조명기구 배광수치모델

3.1 직관형 무전극광원의 평면프리즘 조명기구

평면프리즘 조명기구의 설계에 있어서 먼저 고려해야 할 사항으로 위에서 언급하였듯이, 광원의 기하학적 형상을 벡터화시키는 것이 중요하다. 그것은 광원의 형태에 따라 광자의 발생 방향과 위치가 다양하기 때문에

본 연구는 무전극 광원 중 수치모델에 적용이 비교적 용이한 직관형 광원의 평면프리즘 조명기구의 배광 수치모델을 개발하고자 한다. 다음 식(1)은 몬테카를로 방법[2]을 이용한 직관형 무전극광원의 방사방향을 수직, 수평방향으로 수치화[3] 한 것이다.

$$\theta = \frac{\text{COS}^{-1}(1-2R)}{2}$$

$$\phi = 2\pi R \quad (1)$$

단, R : 난수

ϕ : 광자의 방사수평각

θ : 광자의 방사수직각

식 (1)에 의해 결정된 광자의 방향은 최종적으로 크게 3가지 종류가 있다. 그림 1과 같이 광원에서 직접 평면프리즘 조명기구로 입사하는 광자(①), 조명기구 내에서 반사된 후, 평면프리즘 조명기구로 입사하는 광자(②), 광자가 반사갯에 반사되어 다시 광원으로 입사 후 반사되는 광자(③)가 있다.

하지만, 본 연구에서는 광자의 거동에 있어서 빛의 반사를 다루게 되는 ②의 경우, 광학적 계산과정을 광선추적기법이 아닌 확률적 이론으로 대체하였다. 그림 1은 독자의 이해를 돕기 위해 임의적으로 나타낸 것이고, 실제 상용되는 조명기구의 반사갯은 그 형태가 다양하기 때문에 그 형태를 마다 수치 모델의 조건을 바꿔야만 한다. 또한 ③의 경우, 조명기구의 효율을 높이기 위해 광원로의 재흡수를 방지하는 실험과 연구[4]가 많이 이루어지기 때문에 굴절을 다루는 프리즘의 설계에 있어서 복잡한 계산과정과 실험을 요하는 광자의 재흡수·반사에 의한 계산과정을 본 알고리즘에는 적용하지 않았다.

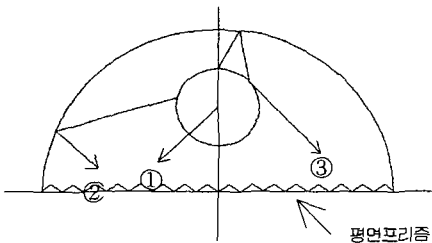
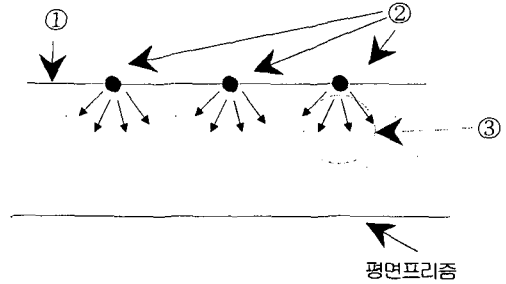


그림 1. 광자의 방사방향
Fig. 1. Radiate direction of light photon

3.2 평면프리즘 굴절 과정

본 알고리즘에서 난수 발생에 의해 생성된 광자의 방

사방향은 직접 평면프리즘으로 입사될 광자와 반사갯에 의해 반사되어 평면프리즘으로 입사될 광자로 나뉘지게 된다. 그림 2는 이와 같은 광자들이 평면프리즘에 입사 시 적용되는 확률적 과정을 나타내고 있다. 즉, 난수 발생에 의해 가상평면의 위치를 생성하며 동시에 광자의 평면프리즘 입사 방향을 생성하게 된다.



- ①: 프리즘의 크기와 동일한 가상 평면
- ②: 난수에 의해 생성된 가상 평면위의 광자의 위치
- ③: 난수에 의해 생성된 광자의 평면프리즘 입사 방향

그림 2. 광자의 평면프리즘 입사
Fig. 2. Incidence of light photon into planar prism

입사 방향이 결정되면 굴절법칙에 의한 광선추적기법이 사용되며 최종적으로 굴절되어 나온 광자들은 각 방향별로 개수화 되어 배광데이터를 출력하게 된다. 그림 3은 광자의 발생으로 시작하여 광자의 최종 굴절 방향까지의 계산 과정을 순서도로 도식화 한 것이다.

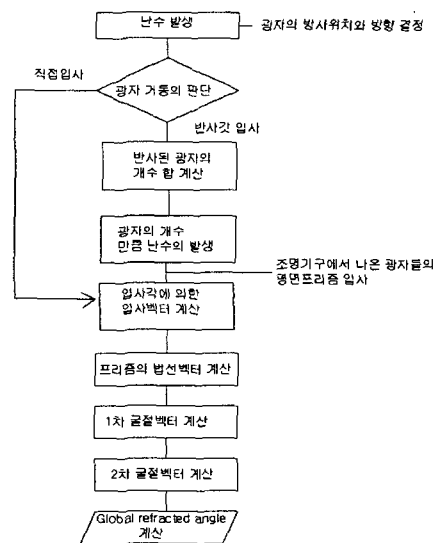
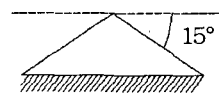
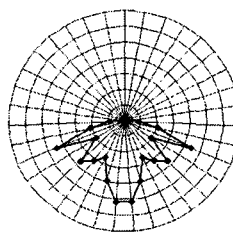
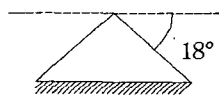
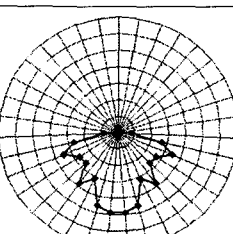

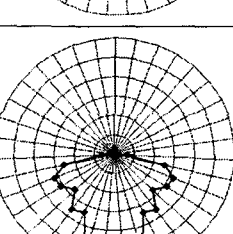
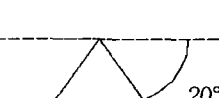
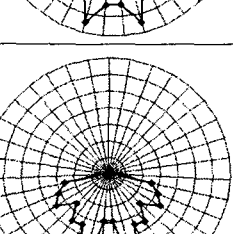


그림 3. 수치모델의 순서도
Fig. 3. Flowchart of numerical model

3.3 배광수치모델 시뮬레이션 결과

본 수치모델은 평면프리즘의 크기는 직관형 무전극광원의 크기를 고려하여, 기존 형광램프(T8) 1개를 쓰는 평면프리즘 조명기구 조건에 맞춰 입력하였고, 그 크기는 길이 500mm, 폭 210mm이다. 프리즘의 투과율은 80%, 반사각의 반사율은 실제 사용되고 있는 일반 반사각의 평균값인 85%로 입력하였다. 표 1은 본 수치모델의 프리즘각도에 따른 배광곡선을 나타내고 있다.

표 1. 각도에 따른 시뮬레이션 결과 값
Table 1. Result data of numerical model simulation

프리즘 각도	배광 곡선
	
	
	
	

위의 그림과 같이 프리즘의 형태에 따라 배광의 형태가 다양하게 나오는 것을 알 수 있다. 각도가 높아질수록 배광의 형태는 좁은배광을 형성하고 각도가 낮을 때는 넓은배광이 형성되었다. 하지만, 각도가 높아질수록 수직각 0°에서의 움푹들어가는 형상을 보이는데, 이것은 광자의 개수 비율을 맞추어주기 위해 프리즘 내에서 전반사가 일어나는 경우 임계각보다 작아질 때까지, 즉 광자가 프리즘을 전반사하지 않고 통과할 수 있는 각도가 될 때까지 1°씩 감소시켜 입사각으로서 적용하였는데 한 방향으로 물리는 현상 때문일 것이다. 결과적으로 프리즘의 각도가 19°까지는 전반사가 되는 광자의 수가 적다는 것을 의미한다. 이와 같이 평면프리즘 조명기구의 배광수치모델에 의해 원하는 배광의 프리즘각도를 얻을 수 있다.

4. 수치모델의 개선점

4.1 전구형, 환형 무전극 광원의 접목

무전극 광원의 종류에는 전구형, 환형, 직관형의 세가지 종류의 광원이 있다. 하지만, 본 연구에서 개발한 수치모델은 직관형 무전극 광원에 국한되어 있다. 광원의 기하학적 형상을 나타내기가 비교적 용이하였기 때문에 적용하였지만, 아직까지 국내에서는 직관형의 개발이 진행중에 있다. 그러므로 본 논문은 평면프리즘 수치모델에 전구형, 환형 무전극 광원의 접목 방법을 제시하고자 한다. 하지만, 환형의 경우는 특히 형태가 기존의 광원들과는 현저하게 차이를 보이기 때문에 환형에 대한 기하학적 형태에 대한 연구가 먼저 선행되어야 할 것이다. 그 방법으로는 전구형, 또는 환형을 적용한 반사각 조명기구의 배광데이터(그림 4)를 이용하는 것이다. 그 때의 배광데이터 값은 평면프리즘이 없는 경우에 해당하는 광자들의 각 방향별 개수라 할 수 있다. 그러므로 평면프리즘에 입사하는 광자들의 개수를 처음부터 각 방향별 개수만큼 난수를 발생하여 입사하게끔 입력하면, 광원에 대한 복잡한 광학적 계산과정을 생략할 수 있으며, 수많은 빛의 반사계산 과정 또한 제외될 수 있다. 즉, 반사각 조명기구 자체가 하나의 광원 형태로 여기는 것이다. 이 방법은 몬테카를로의 방법을 이용한 확률적 접근이기 때문에 난수발생[3]에 있어서

- (1) 무작위성과 균일성을 갖고 있어야 한다.
- (2) 긴 주기를 가져야 한다.
- (3) 재생이 가능해야 한다.
- (4) 계산하는데 있어서 효율성을 가져야 한다.

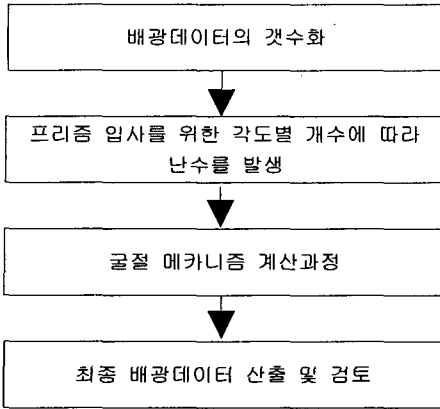


그림 4. 배광데이터 적용 순서
 Fig. 4. Process applicable luminous intensity distributions data of reflector liminaires to refractor system

4.2 평면프리즘의 프리즘각도의 다양성

일반적으로 평면프리즘의 프리즘각도는 일정한 크기로 이루어져 있다. 본 연구의 선행 연구[5]로서 돛펜던트 프리즘 조명기구의 배광수치모델의 개발에 있어서도 그림 5와 같이 단위프리즘으로 이루어진 프리즘 각도군을 형성하여 시뮬레이션한 결과 각도군의 각도에 따라 다양한 배광을 얻을 수 있었다.

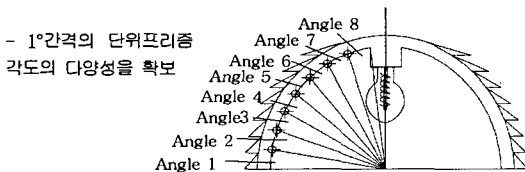


그림 5. 돛펜던트 프리즘 조명기구의 단위 각도군
 Fig. 5. Unit angle of dome pendent prism luminaire

그러므로 그림 6과 같이 본 수치모델에서 평면프리즘의 각도를 다양하게 적용할 수 있도록 각도군을 형성하여 본 수치모델에 적용시켜 보다 나은 배광을 얻을 수 있을 것이다.

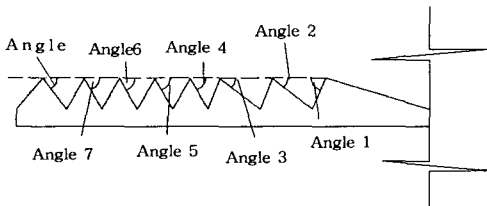


그림 6. 평면프리즘 조명기구의 단위 각도군
 Fig. 6. Unit angle of planar prism luminaire

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 고 효율성과 장수명을 가진 무전극 광원의 평면프리즘 조명기구의 배광수치모델을 개발하였다. 아직 직관형 무전극 광원에 적용되어 있는 상태이지만, 난수의 발생을 고려한 확률적 이론의 접목으로 전구형, 환형 무전극 광원의 평면프리즘 조명기구 배광수치모델을 개발하여 좀더 다양한 광원에서 고효율의 조명기구를 설계할 수 있도록 향후 연구해야 할 것이다.

또한 프리즘각도의 다양성을 확보하며, 프리즘내의 전반사에 대한 광학적 분석을 하여 정확한 배광을 얻을 수 있도록 개선해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단 2003년 에너지자원기술개발연구비(고효율 무전극 형광등 시스템 개발)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) 김철한 외2, "무전극 광원의 프리즘조명기구 설계알고리즘 개발에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, 2003. 11. 7
- (2) 김재삼, "몬테카를로 방법의 물리학적 응용", 민음사, 1997.
- (3) 이정호, "형광등의 기하학적 형상 및 광학적 거동의 수치 모델 개발" 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 1999.
- (4) 박종환 외1, "대형광원용 고효율 반사판의 광학설계법 개발", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, 2003. 11. 7
- (5) 이준형, "몬테카를로 방법을 이용한 돛펜던트 조명기구의 배광수치모델 개발", 세종대학교 대학원 석사학위논문, 2002. 12
- (6) L. Chen, M. Suzuki, T. Goda, N. Yoshimura, "Luminous intensity characteristics of luminaires: Monte Carlo simulation", Lighting Research and Technology, Vol. 30, 4, 1998.
- (7) R. H. Simons, A. R. Bean, Lighting Engineering, MPC Books, pp.264, 2001.