

면광원용 실내조명기구의 프리즘 설계

(Prism Design of Indoor Luminaire for Flat- Source)

오혜영* · 조문성 · 김 훈

(Hye-young Oh · Moon-sung Jo · Hoon Kim)

(강원대학교 전기전자공학부 · (주)태양전자 · 강원대학교 전기전자공학부 교수)

요 약

친환경적이고 고효율적인 신광원의 개발이 더욱 가속화되면서 개발되고 있는 면광원에 대한 프리즘 설계법의 기초 연구로서, 면광원의 배광을 예측한 라이브러리를 생성한 후 넓은 분포를 갖는 대칭형 배광의 프리즘 조명기구를 설계하고 Lumen micro를 이용한 시뮬레이션을 통해 프리즘 조명기구에 대한 성능을 평가하였다.

1. 서 론

납, 수은 등의 중금속과 유해물질에 대해 엄격히 규제함으로써 일반 가정이나 사무실에서 사용되는 형광램프의 대체를 위한 친환경적이고 고효율적인 신광원의 개발이 더욱 활발해지고 있다. 또한 생활수준이 향상됨에 따라 조명시설에 대해 분위기 등을 요구하는 인테리어적인 측면을 충족할 수 있는 조명용 광원이 주목받고 있다.

이처럼 일반 가정이나 사무실에서 사용되는 조명용 광원을 대체할 수 있는 신광원으로서, 탄소나노튜브를 이용한 면광원인 CNT 광원이 활발히 개발되고 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 광원에 비해 발광면이 넓은 면광원용 조명기구에 대한 기초 연구로서, 면광원용 실내조명기구에 대해 대칭형 배광을 갖는 프리즘을 설계하고 그 성능을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 면광원 라이브러리 설계

현재 시판되는 면광원이 없기 때문에 면광원에 대한 발광 형태를 예측하기 위해 시판되고 있는 크기 670×670×150 (mm)인 32W급 및 크기 600×300×100(mm)인 47W급의 LED를 이용한 평판형태 광원의 배광분포를 고려하여 면광원에 대한 발광 형태를 예측하기 위하여 라이브러리를 제작하였다.

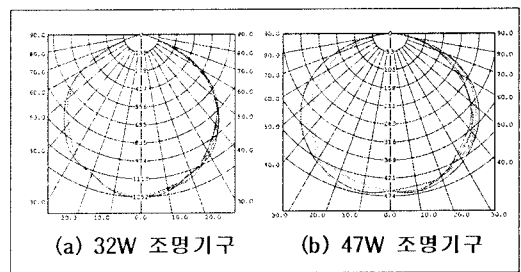


그림1. LED를 이용한 평판 조명기구 배광 분포

그림 1과 같이 평판형태의 조명기구 배광 분포는 램버시안 형태를 가지고 있으며, 다음의 램프 제원으로 면광원의 배광분포에 대한 예측라이브러리를 제작하였다. 그림2는 면광원의 예측배광분포이다.

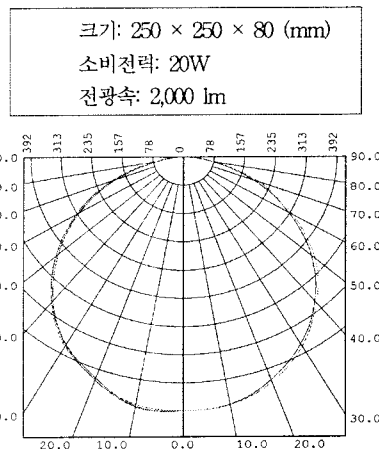


그림2. 면광원의 예측 배광 분포

2.2 목표배광설정

목표 배광은 프리즘 조명기구의 설계를 위한 일반적인 대칭형 배광(Battwing)으로 그림3과 같은 목표 배광 형태를 가진다.

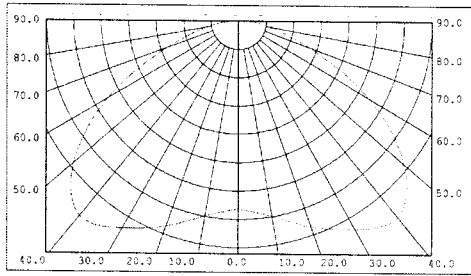


그림3. 실내 프리즘 조명기구의 목표 배광 형태

2.3 프리즘 설계과정

면광원의 경우에는 기존 광원에 비해 발광면이 넓기 때문에 프리즘의 한 point로 입사되는 빛의 각도 범위가 넓다. 따라서 프리즘 설계 시 여러 입사각의 ray들을 고려해줘야 하지만 본 설계에서는 프리즘의 단순화된 형태를 결정하기 위하여 광원으로부터 방사되는 ray의 각도를 90°로 고정시켜 프리즘의 한 point에 대하여 입사되는 여러 입사각들을 배제하였다.[1]

즉 광원으로부터 방사되는 ray가 광원의 직하방향으로 향한다고 가정한 후 프리즘 설계를 시행하였다.

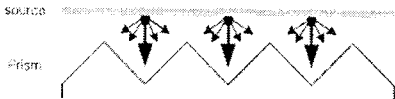


그림4. 광원으로부터 프리즘에 입사되는 Ray

빛의 굴절이나 분산을 일으키는 프리즘이나 렌즈의 설계에 있어서 가장 기본이 되는 법칙은 “스넬의 법칙(Snell's law)이다.[2]

$$\sin i' = \mu \sin r \quad (1)$$

(i = 입사각, r = 굴절각, μ = 두 매질의 굴절비)

광원으로부터 방사되는 ray가 지향각으로 향하도록 해주기 위하여 굴절 프리즘 각도를 결정해준다. 굴절 프리즘 각도는 식(1)과 ray tracing을 통해 유도한 식(2)~(6)으로부터 구한다.

$$i = -180 + A + I \quad (2)$$

$$r = 90 - i' - A \quad (3)$$

$$i' = \sin^{-1}\left(\frac{n_1}{n_2} \sin r\right) \quad (4)$$

$$r' = P \quad (5)$$

$$A = \tan^{-1}\left(\frac{n_1 \sin I + n_2 \sin i'}{n_1 \cos I + n_2 \cos i'}\right) \quad (6)$$

i = 상부프리즘에 대한 입사각
 r = 상부프리즘에 대한 굴절각
 i' = 하부프리즘에 대한 입사각
 r' = 하부프리즘에 대한 굴절각
 A = 프리즘 정점각
 P = 광원으로부터의 지향각

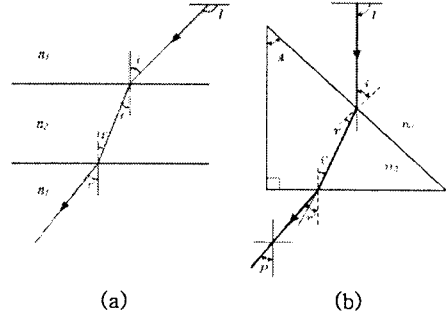


그림5. 굴절 프리즘의 ray tracing

표1. 결정된 프리즘 정점각

n_2	I	P	i	A
1.59	90.0	40.0	23.85	48.48

표1과 같이 폴리카보네이트(굴절률= 1.589)에 대하여 광원으로부터 방사되는 ray의 각 $I=90$ 가 지향각 40로 향하는 프리즘 정점각 48.48를 이루는 프리즘 설계를 하였다.

2.4 프리즘의 설계결과 및 분석

2.4.1 프리즘의 설계 결과

광원으로부터 방사되는 ray가 직하방향으로 향한다고 가정한 후 지향각 40에 대한 프리즘 정점각을 갖는 프리즘 설계의 결과로, 지향각 P에 대한 프리즘 조명기구는 광원의 중앙부에서 방사되는 Ray들이 굴절됨에 따라 광원 직하에서의 광량이 현저히 감소하는 결과를 가져왔으며 효율이 크게 저하되었다.

이에 따라 조명기구의 효율 및 광원의 직하에서의 광량을 최대한 증가시키기 위한 방법으로 광자의 진행방향으로부터 수직되는 Ray를 활용하도록 굴절각을 제거하였다. 또한 최적화된 범위를 결정하기 위하여 각 범위에 대한 반복시뮬레이션을 통하여 결정하였다.

다음의 재설계 과정을 거쳐서 설계된 프리즘 조명기구의 형상은 그림6과 같다.

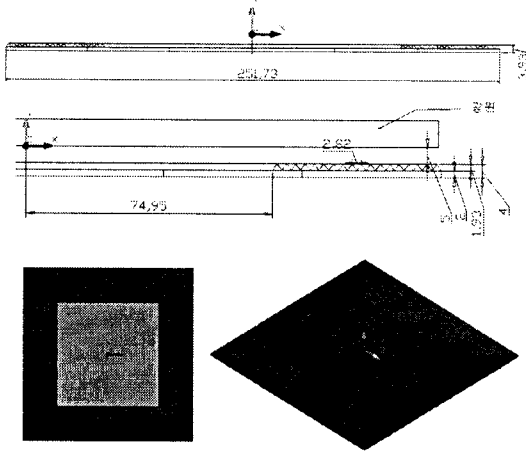


그림6. 설계된 프리즘 조명기구의 형상

또한 설계된 프리즘 조명기구는 Photopia 1.5를 이용하여 시뮬레이션 결과인 배광분포와 효율을 추정하였다. (그림7)

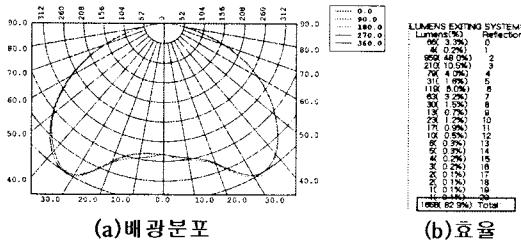


그림7. 설계된 프리즘 조명기구의 배광분포

2.4.1 프리즘 조명기구의 실내 설치 시뮬레이션 분석

설계된 면광원용 프리즘 조명기구의 실내 설치에 대한 시뮬레이션은 Lumen micro를 통하여 실시하였으며 시뮬레이션의 조건은 다음과 같다.

방의 크기는 가로 6m, 세로 6m, 천높이가 3m이며 천장, 벽, 바닥의 반사율은 0.8, 0.5, 0.2이다. 또한 사용된 조명기구는 총 16개이며 조명기구 50cm의 간격을 가지는 2 by 2인 모듈화된 조명기구 4개를 사용하였다.

시뮬레이션 분석은 동일한 조건에서의 프리즘 조명기구를 장착하지 않은 경우의 작업면 조도 분포와 설계된 프리즘 조명기구를 장착한 경우의 작업면 조도 분포를 비교하였다.

표2. 성능평가에 대한 조도값(단위: lx)

프리즘 설치유무	Avg.	Min.	Max.	Min/Avg.	Min/Max
설치안함	548.7	259.8	785.5	0.47	0.33
설치함	441.8	227.1	558.8	0.51	0.40

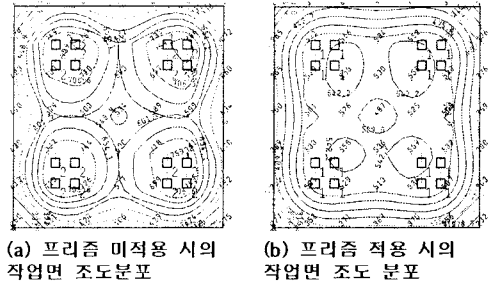


그림 8. 성능평가에 대한 작업면 조도 분포

프리즘을 장착한 경우와 장착하지 않은 경우의 작업면 조도 분포를 비교한 결과로, 프리즘을 사용하였을 경우에는 프리즘을 사용하지 않았을 때보다 다소 조도가 낮아 감소하는 것을 볼 수 있으나 공간의 균제도면에서는 보다 향상된 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 신광원의 개발이 더욱 활발해지고 있는 추세에 따라 발광면이 넓은 면광원에 대한 프리즘 조명기구를 설계하였고, 설계된 프리즘 조명기구의 성능을 시뮬레이션을 통해 평가하였다.

프리즘 조명기구에 대한 성능은 광원으로부터의 배광을 보다 넓은 배광으로 구현함으로써 공간에 대한 균제도를 향상시키는 긍정적인 결과를 보였다. 그러나 기존의 부피가 작은 광원에 비해 발광면이 넓은 면광원에 대한 적절한 설계법이 미비한 상태에서 점광원으로 가정하여 설계하는 기존의 설계법을 동일하게 적용하면 많은 문제점이 있고, 광원으로부터 입사하는 ray들의 여러 입사각에 대한 고려가 없을 경우에는 모든 ray에 대해서 원하는 방향으로 진행하도록 제어하기가 어렵다는 문제점이 있었다.

이는 면광원과 같은 발광면이 넓은 광원으로부터 방사되는 ray들을 원하는 방향으로 정확히 진행하도록 제어하기 위하여 발광위치에 따라 프리즘의 한 point에서 여러 입사각에 대한 고려, 광원과의 이격 거리등의 최적화된 면광원용 프리즘 조명기구 설계법에 대한 연구를 진행할 필요가 있으며 추후의 과제로 남겨 놓았다.

본 연구는 에너지관리공단의 에너지자원기술개발 사업의 일환인 "CNT를 이용한 신광원 전용 조명기구 개발(광학설계)"의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) "무전극 형광램프용 프리즘의 광학 설계법 개발", 석대일의 3명, 2006년도 추계학술대회 pp.97~102
- (2) R.H. Simons and A.R. Bean "Lighting Engineering applied calculations", MFC Books Ltd, Bodmin, Cornwall, pp.234~358
- (3) "조명기구의 평면프리즘 사용에 의한 3차원 배광분포수치모델 개발", 김유신의 2명, 2006년도 추계학술대회 논문집 pp.131~135