

배광데이터를 이용한 평면프리즘 조명기구의 배광 모델링

(The Luminous Intensity Distribution Modeling of Planar Prism Using Photometric Data)

김유신* · 최인섭** · 김 훈***

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

(Yu-Sin Kim · An-Seop Choi · Hoon Kim)

Abstract

It is important to select light sources and luminaires in the process of lighting design. Therefore, development of light sources has been constantly grown for a high efficacy and long life. And, the design of luminaires has been developed for the reflection of light mechanism. But it has been not enough to study for the refraction of light mechanism. Therefore, the propose of this study is to study for the refraction of light mechanism. In addition, this study is modeling for the luminous intensity distribution of planar prism to use the results of photometric data that is able to obtain various luminous intensity distribution.

1. 서론

조명설계의 과정을 살펴보면 각기 다양한 방법으로 이루어지고 있으나 일반적으로 (1)프로젝트의 분석, (2)조명기법의 구성, (3)시공상 제약조건의 검토, (4)광원의 선택, (5)조명기구의 선택, (6)설계도서 제출의 과정으로 이루어진다[1]. 이러한 조명설계 과정 속에서 가장 중요한 것 중 하나는 광원과 조명기구의 선택이라 할 수 있으며, 광원과 조명기구의 연구는 매우 활발히 이루어지고 있다.

광원의 연구는 광원의 수명과 효율에 초점이 맞추어져 진행되고 있고, 조명기구의 연구는 광원에서 나오는 빛에 대한 광학설계의 연구들이 이루어지고 있다. 조명기구의 광학설계란 조명기구가 설치환경에 맞는 목표배광에 이르도록 조명기구의 광원이나 반사갓 혹은 프리즘 등의 형태를 디자인하는 것을 말한다[2]. 이러한 광학설계 중에 프리즘의 굴절 메카니즘을 이용하면 기존의 반사갓 조명기구에 배광의 변화를 피하여 각 공간에 필요한 배광을 얻을 수 있지만 활용은 드물다. 그 이유 중 하나는 조명기구의 광학제어와 관련된 연구의 대부분이 반사갓과 관련한 효율 및 광원의 빛이 반사갓에 의해 반사되어 나가는 과정에 대한 연구가 주류를 이루고 있는 반면, 프리즘에 의한 굴절 메카니즘에 대한 연구는 아직 미진한 실정이기 때문이다.

본 연구의 목적은 평면프리즘에 의한 굴절 메카니즘을 몬테카를로 방법, 광선추적기법(Ray-tracing Technique)을 이용하여 평면프리즘 조명기구의 배광 모델링을 가능하게 하는 것에 있다. 또한 반사갓으로 되어있는 조

명기구의 배광데이터를 이용하여 평면프리즘을 추가 할 때 프리즘의 각도에 따른 배광분포의 변화를 분석하고, 나아가서는 반사갓 조명기구의 배광분포 설계에 이용될 수 있는 도구로써 가능하게 하는 데에 있다.

2. 평면프리즘에 의한 굴절 메카니즘

광원에서 나오는 광자가 조명기구의 프리즘을 통과할 때의 기하학적인 굴절과정을 계산하기 위해서는 광자의 진행 방향을 알아야 한다. 난수(Random Number)를 이용하여 적절한 확률적 모델을 제시하는 이론인 몬테카를로 방법을 이용하여 광자의 방사방향을 결정하고, 이를 통해 프리즘을 통과하는 광자의 입사각을 결정하게 된다. 이때 입사각은 광자의 진행방향의 정반대, 즉 난수 발생 지점으로 같은 진행경로로 진행시킬 때 프리즘에 입사되는 각으로 결정된다. 난수에 의해 생성된 광자가 프리즘에 입사하여 굴절과정을 수행할 때, 굴절법칙에 의해 프리즘의 굴절률과 입사각에 따라 광자가 굴절되어 나오는 최종 굴절각이 결정 된다.

그리고 방사방향이 결정된 광자의 이동경로를 광선추적기법을 사용하여 예측하는데, 이 방법은 광자의 진행하는 방향과 크기를 벡터화하여 각 광자의 진행 경로를 계산하여 최종 위치까지 추적하는 기법이다. 이는 광자가 진행하면서 일어나는 반사나 굴절과 같은 복잡한 광학적 특성을 수학적으로 예측할 수 있고, 배광좌표의 각 단위 방향으로 나오는 광자의 개수를 이용하여 배광 데이터를 얻을 수 있다[3].

3. 평면프리즘 조명기구 배광 모델링

3.1 배광데이터를 이용한 입사 광자 발생

평면프리즘 조명기구의 설계는 광자의 방사 방향을 고려해야 한다. 광원으로부터 방사되는 광자의 방향은 최종적으로 크게 3가지 종류가 있다. 그림 1과 같이 광원에서 직접 조명기구의 평면프리즘으로 입사하는 광자(①), 조명기구 내에서 반사된 후 조명기구의 평면프리즘으로 입사하는 광자(②), 광자가 반사각에 의해 반사되어 다시 광원으로 입사 후 반사되는 광자(③)가 있다[4].

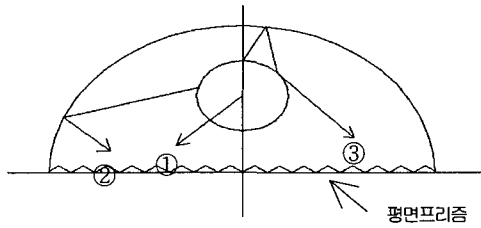


그림 1. 광자의 방사방향
Fig. 1. Radiate direction of light photon

반사각 조명기구의 배광데이터 값은 평면프리즘이 없는 경우의 각 방향별 광자개수라 할 수 있다. 그러므로 그림 2와 같이 배광데이터를 이용하여 평면프리즘에 입사하는 광자들의 개수를 각 방향별 개수만큼 난수를 발생하여 입사하도록 입력하면, 조명기구 반사각의 다양한 형태들마다 수치 모델의 조건을 바꿔야 하는 ②의 경우의 계산과 광자의 재흡수·반사에 의한 계산과정이 복잡한 ③의 계산 과정을 생략하여 평면프리즘의 굴절 과정을 계산할 수 있다.

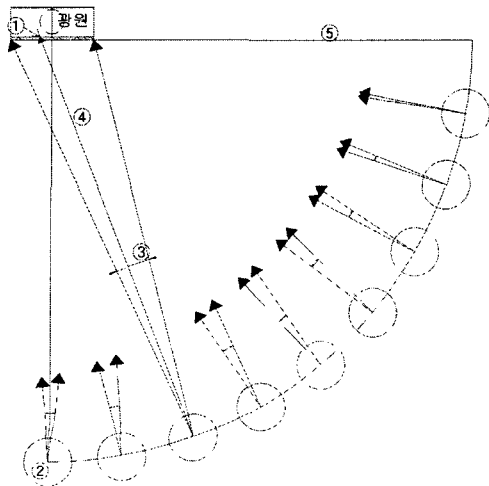


그림 2. 배광데이터를 이용한 입사 광자 난수 발생
Fig. 2. Creation of light photon incidence using photometric data

프리즘의 크기와 동일한 가상의 평면에 광자가 위치(①)하기 위해서 광원을 중심으로 각 각도별 위치(②)를 계산하여 배광데이터의 각도별 광도값을 개수화하여 난수를 이용해 광자를 발생시킨다. 이때 난수를 이용한 광자의 발생 범위(③)를 Radian 값으로 정해 주어 조명기구 안으로 가상의 광자가 진행(④)되도록 한다.

여기에서 조명기구의 배광데이터를 이용하여 광도값의 개수화를 하기 위해 조명기구의 광속전달법 중에 광도의 직접성분을 계산할 때 사용 되는 5-Times rule을 역으로 이용하여 측정된 데이터를 광원에서부터 조명기구 길이의 5배 떨어진 곳(⑤)에서 몬테카를로 방법을 적용하여 초기 광자난수를 생성하였다.

3.2 평면프리즘 굴절 과정

각 각도별 위치에서 난수로 발생된 광자가 평면프리즘의 가상 평면에 도달하여 다시 평면프리즘으로 입사되는 광자의 방향을 예상할 수 있게 된다. 그림 3은 이와 같은 광자들이 평면프리즘에 입사되어 굴절되는 과정을 나타내고 있다.

난수로 발생되어 조명기구 안으로 광자가 진행(①)하여 프리즘의 크기와 동일한 가상평면(②)에 도달한다. 도달된 광자(③)는 그림 1에서 말하는 세가지 방법에 의해 평면프리즘에 도달하는 광자를 대신하게 된다. 다시 진행방향으로 평면프리즘에 입사(④)시켜 프리즘의 굴절률과 입사각에 의해 굴절이 되어 방사(⑤)된다.

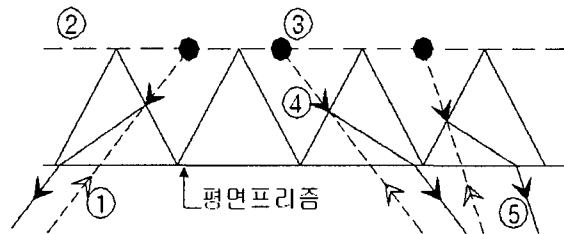


그림 3. 광자의 평면프리즘 입사
Fig. 3. Incidence of light photon into planar prism

평면프리즘으로 입사된 광자는 광선추적기법과 굴절법칙에 의해 방사되고 최종적으로 발산되어 나온 광자들은 각 방향별로 개수화 되어 배광데이터를 출력하게 된다. 그림 4는 배광데이터의 광자 개수화부터 광자의 최종 굴절 방향까지의 계산 과정의 흐름을 도식화 한 것이다.

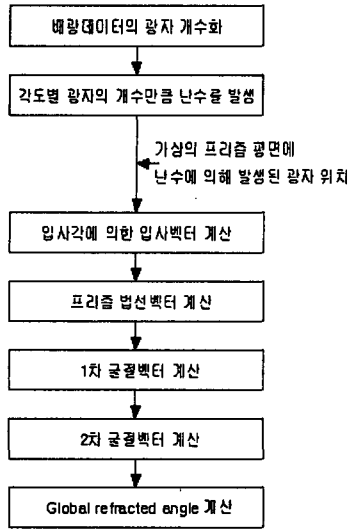


그림 4. 배광모델의 흐름
 Fig. 4. Flowchart of the luminous intensity distribution model

3.3 평면프리즘의 단위프리즘 각도군

반사갓 조명기구의 프리즘 사용은 램프가 눈에 직접 보이는 것을 막아 줌으로서 눈부심을 줄이거나 배광의 제어를 효과적으로 하기위해 사용된다. 일반적으로 프리즘의 각도는 특정한 값으로 균일하게 설계된다. 이는 프리즘의 사용이 조명기구의 효과적인 배광을 위한 설계보다는 단순히 눈부심 방지가 주된 목적이라고 볼 수 있다. 이처럼 램프의 배광 특성과 정확한 광학적 설계과정이 이루어지지 않는 상태로 프리즘을 사용하면 램프의 효율은 물론, 공간에 필요한 목표 배광에서 멀어져 빛의 질이 떨어지고 프리즘 본래의 기능을 상실하게 된다.

프리즘 조명기구에 관한 선행 연구를 살펴보면 유전 알고리즘을 이용한 프리즘 조명기구의 배광수치모델을 최적화 하면서 돔펜던트의 프리즘 각도를 그림 5와 같이 단위프리즘 각도군으로 형성하였다[5].

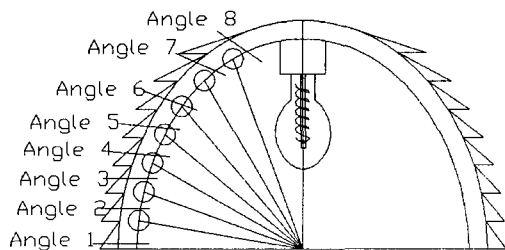


그림 5. 돔펜던트 프리즘 조명기구의 단위프리즘 각도군
 Fig. 5. Unit prism angle of dome pendent prism luminaire

그리고 배광수치모델의 최적화 시뮬레이션을 한 결과에서 단위프리즘 각도군에 각기 다른 수치를 도출하여 목표 배광을 얻을 수 있었다. 즉, 단위프리즘 각도군을 조절하여 다양하고 필요한 배광을 얻을 수 있음을 보여주었다. 본 연구에서도 선행 연구의 단위프리즘 각도군을 접목시켜 그림 6과 같은 형태로 평면프리즘 조명기구의 단위프리즘 각도군을 12개로 형성하여 시뮬레이션을 하였다[5].

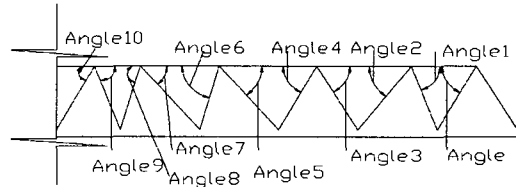


그림 6. 평면프리즘 조명기구의 단위프리즘 각도군
 Fig. 6. Unit prism angle of planar prism luminaire

4. 배광 모델링 시뮬레이션 결과

4.1 배광 모델링 시뮬레이션 검증

배광데이터를 이용하여 평면프리즘 조명기구의 배광 모델링에 앞서 시뮬레이션에 대한 검증을 실시하였다. 본 연구의 배광 모델링 시뮬레이션에는 일반적으로 사용되고 있는 형광램프(T8) 1개를 사용하고 길이 600mm, 폭 300mm 크기의 조명기구에 조건을 맞추어 입력하였다. 표 1은 프리즘의 굴절률을 공기와 같은 1.0으로 입력하고 프리즘의 각도를 0°로 넣어 프리즘이 없는 상태와 같게 시뮬레이션을 한 배광 모델링 결과이다.

표 1. 시뮬레이션 검증 결과 값
 Table 1. A result of simulation to verification

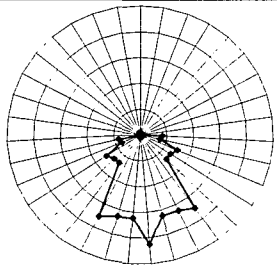
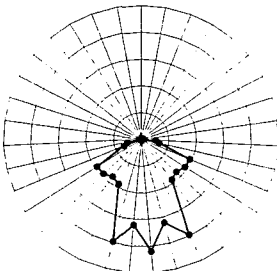
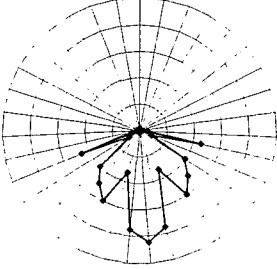
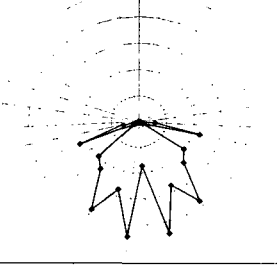
실제 배광 곡선	시뮬레이션에 의한 배광 곡선

표 1과 같이 실제 배광 곡선과 시뮬레이션에 의한 배광 곡선이 일치함으로써 배광데이터를 이용한 평면프리즘 조명기구의 배광 모델링 시뮬레이션 결과의 신뢰성이 검증되었다.

4.2 각도변화에 따른 배광 모델링

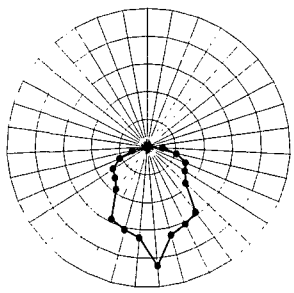
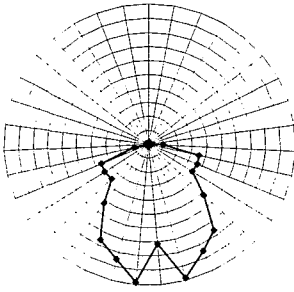
앞에서 시뮬레이션 검증에 사용한 조명기구를 이용하여 평면프리즘의 각도 변화에 따른 배광 모델링의 시뮬레이션을 하기 위해 기존 동펜던트의 프리즘 굴절률 1.5를 평면프리즘 굴절률로 입력하였다. 그리고 평면프리즘 각도를 다양하게 시뮬레이션을 한 결과 표 2와 같이 프리즘 각도에 따라 배광 곡선이 다양한 형태로 나타났다.

표 2. 각도에 따른 시뮬레이션 결과 값
Table 2. A result of simulation for changing angles

프리즘 각도	시뮬레이션 배광 곡선
13°	
15°	
18°	
20°	

일반적으로 사용되고 있는 프리즘 조명기구의 평면프리즘 각도를 표 2와 같이 균일하게 하여 배광 모델링을 할 수 있었다. 그리고 앞에서 언급한 평면프리즘에 단위프리즘 각도군을 적용시켜 시뮬레이션 한 결과 표 3과 같이 보다 다양한 형태의 배광을 얻을 수 있으며, 필요한 특정 배광으로도 모델링이 가능하다.

표 3. 각도군의 각도에 따른 시뮬레이션 결과 값
Table 3. A result of simulation to change prism-angle

프리즘 각도군 각도	시뮬레이션 배광 곡선
10°-13°- 13°-15°- 15°-18°- 18°-15°- 15°-13°- 13°-10°	
25°-20°- 20°-15°- 15°-10°- 10°-15°- 15°-20°- 20°-25°	

이와 같이 배광데이터를 이용한 평면프리즘 조명기구의 배광 모델링 알고리즘을 사용한다면 원하는 배광의 조명기구를 만들기 위한 과정의 시간을 줄일 수 있다. 그리고 프리즘 각도군의 변화를 통하여 다양하고 설치 공간에 적합한 배광의 조명기구를 설계할 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 일반 반사각 조명기구의 배광데이터를 이용한 평면프리즘 조명기구의 배광 모델링 알고리즘을 개발하였다. 현재 배광 데이터의 광자 개수화 작업을 수작업으로 입력해야 하고, 목표 배광을 위한 평면프리즘의 각도 값이 결과로 나오도록 적용되어야 하는 과제가 남아있지만 일반적으로 사용하는 조명기구의 배광데이터를 이용하여 평면프리즘의 배광 모델링이 가능함을

본 연구에서 확인 할 수 있었다.

향후에는 평면프리즘 조명기구의 목표 배광과 일치하는 배광 모델링을 위한 평면프리즘 각도군의 각도를 구하는 최적화 알고리즘의 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 프리즘 내에서 전반사되면 광자가 어느 방향으로 진행하는지에 대한 고려가 이루어지지 않은 점을 비롯하여 광자의 광학적 분석 등을 통한 보다 정확한 배광 모델링을 도출하도록 개선해야 할 것이다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- (1) 국제조명위원회 한국위원회, 조명디자이너자격인증교재, 2004.4
- (2) 지철근, 조명원론, 문운당, 1996
- (3) 이준형, "몬테카를로 방법을 이용한 동렌더링 조명기구의 배광수치모델 개발", 세종대학교 대학원 석사학위논문, 2002.12
- (4) 김철한 외 2, "무전극 광원의 평면프리즘 조명기구 배광수치모델 개발", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, 2004.5
- (5) 김철한 외 1, "유전알고리즘을 이용한 프리즘 조명기구 배광수치모델의 최적화", 세종대학교 대학원 석사학위논문, 2005.2