

칠판등용 반사판의 광학적 형상 개발

(The Design Of A Reflector For Blackboard Lighting)

박혜진* · 김동조 · 김 훈

(Hye - Jin Park · Dong - Jo Kim · Hoon Kim)

요 약

학교 교실 조명은 교사와 학생들에게 쾌적한 명시 환경을 주어 시력 보호와 학습 효과의 향상을 도모하는데 매우 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 교실 조명 환경의 향상을 도모하기 위한 방법으로 칠판등 개발이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 칠판면에 일정한 조도를 제공하고 효율이 높은 칠판등용 경면 반사판 형상을 설계하는 과정을 설명하였다. 이러한 과정에서 크기가 있는 광원에 의한 설계상의 문제점을 고찰하고자 한다.

Abstract

Giving teachers and students the clean visual environment, the classroom lighting is an important part that prevents the decrease of the visual acuity and improves the studying environment. In order to improve the classroom lighting, a proper blackboard luminaire is to be developed. This paper explains how to design the optical form of the high efficient reflector which offers the uniform illuminance at the vertical surface of the blackboard and, after all, the problem of a large source in reflector design process is explained.

Key Words : classroom lighting, visual acuity, blackboard luminaire, optical, uniform illuminance, reflector design

1. 서 론

학생 교육 생활은 주로 시작업으로 이루어지고 있으며 교실 조명 환경은 발육도상에 있는 학생의 건전한 심신 형성에 영향을 준다. 그러므로 교실 조명은 학생과 교사가 편안하게 바라볼 수 있고, 능률적으로 학습할 수 있는 환경을 조성해야 한다. 이러한 조명의 질적인 향상을 꾀하기 위하여 제안된 것이 바로 칠판등

이다. 이러한 칠판등의 요건은 칠판면 상의 고른 조도이다. 전체적으로 일정한 밝기를 유지하면서 시작업을 하는데 불편함을 주지 않도록 해야 한다.

본 연구에서는 칠판등용 반사판을 설계하기 위해 알맞은 목표 배광을 설정하고 이에 따른 반사판의 세그먼트를 설계하였다. 이렇게 설계된 칠판등용 반사판의 형상을 이용해 배광을 예측하였으며, 발생한 문제점을 고찰하여 이를 개선하거나 보완하는 방향으로 계속해서 형상을 수정하였다.

그림 1에서는 칠판등을 설계하는데 고려해야 하는 기본적인 요소에 대하여 소개하고 있다. l 은 칠판면에서 칠판등까지 떨어진 거리, L 은 칠판면에서 맨 앞자리 학생까지 떨어진 거리, L' 은 학생의 시선에서 칠판

* 주저자 : 강원대학교 전기공학과 석사과정
Tel : 033-250-6290, Fax : 033-241-3775
E-mail : sakurajin71@hotmail.com
접수일자 : 2003년 3월 20일
1차심사 : 2003년 3월 27일
심사완료 : 2003년 5월 29일

칠판등용 반사판의 광학적 영상 개발

판 상부로 45도를 만족하면서 떨어진 길이, H 는 교실의 실제 높이, h 는 칠판등에서 바닥까지의 거리이다.

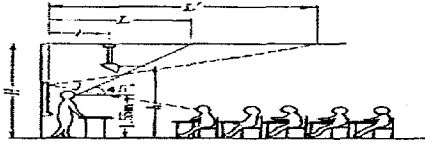


그림 1. 칠판 조명의 학생 및 교사 위치 관계
Fig. 1. The relation of blackboard's lighting position for students and teachers

2. 등조도 배광을 만드는 반사판

칠판면을 등간격으로 나누고 광원에서부터 칠판까지의 거리를 계산한다. 여기서 선광원에 의한 조도를 구하는 식은 다음과 같다.

$$E = \frac{I_{\theta} \cos \theta}{d} \text{ 이고,}$$

여기서, 광도를 구하면

$$I_{\theta} = \frac{E \times d}{\cos \theta} \text{ 가 된다.}$$

여기서 E 는 조도(lux), I_{θ} 는 θ 방향으로 광도, d 는 광원에서 목표지점까지의 거리, θ 는 연직각에 대한 목표지점에 이르는 각도이다.

조도값이 일정하고 거리 d 가 일정할 경우, 각 θ 에 따라 광도값이 결정되는데 이를 나타낸 것이 목표 배광, 그림 2이다.

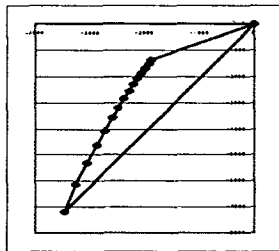


그림 2. 목표 배광
Fig. 2. Desirable distribution

여기서 광속은 $\Phi = I_{\theta} \times$ 평면각($radian$)가 되는데, 이러한 계산을 통하여 얻어진 목표 광속을 가지고 반사판이 반사하여야 할 반사 광속을 찾고 반사판으로의 입사각(α)과 반사각(β)의 조합을 얻는다. 이렇게 설계된 반사판의 형상을 그림 3에 보았다. 이를 형상1로 명명하겠다.

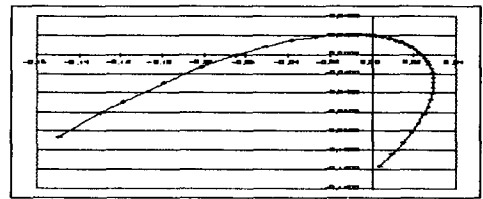


그림 3. 등조도 배광을 내도록 설계한 반사판 형상
Fig. 3. Reflector design to emit the iso-lux distribution

다음 그림 4는 photopia를 이용하여 얻은 배광분포이다. 반사판 재질은 알루미늄 경면으로 반사를 85%를 사용하였다. 그림에서 보는 것과 같이 목표 배광에 비하여 위쪽에서의 배광이 크게 나타나는 문제점이 있다.

그림 5는 루멘마이크로를 이용하여 시뮬레이션한 결과로 칠판면에 조도분포를 나타낸다.

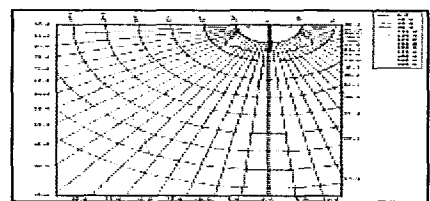


그림 4. 배광 예측
Fig. 4. The simulation of the distribution

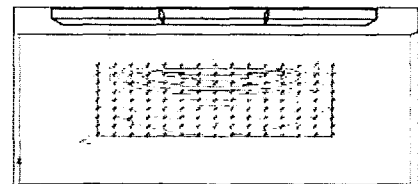


그림 5. 등조도 다이어그램(그림 3)
Fig. 5. Iso-lux diagram(Fig 3)

3. 포물형 및 포물선 개선형 반사판

형상 1를 살펴본 결과 목표 배광에 비하여 위쪽으로도 배광이 크게 나타나고 있고 lumen-micro 시뮬레이션 결과 역시 조도 값이 칠판의 위쪽에서 크게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다.

포물선 반사판의 경우 램프의 중심이 초점에 위치하면 반사광은 모두 평행하게 나간다. 원하는 방향으로 포물형 반사판을 기울인다면 위쪽으로 가는 빛의 양을 조절하여 좋은 배광을 얻어낼 수 있다고 예상했다.

여기서 포물선 식은

$$y = \frac{1}{4f}x^2 \text{ 이고,}$$

초점을 30mm로 하였다. 이를 형상화하면 다음 그림 6과 같다.

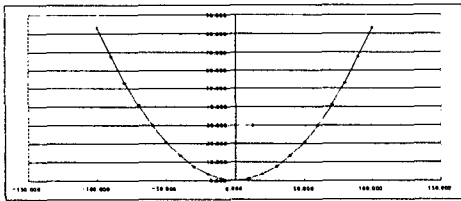


그림 6. 포물선 반사판
Fig. 6. Parabolic reflector

초점에 위치한 램프가 크기가 있는 경우 반사광의 일부가 램프로 흡수되어 효율이 떨어질 수 있다. 그러므로 램프의 접선을 연결하여 새로운 형태의 반사판 형상을 만들어 냈다. 이러한 방법을 tangent spiral design이라고 하고 이렇게 만들어 낸 형상이 그림 7이다.

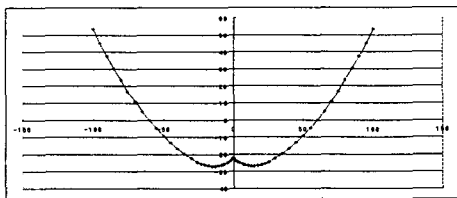


그림 7. 포물선 개선 반사판
Fig. 7. Reforming parabolic reflector

다음 그림은 photopia와 lumen-micro 시뮬레이션 결과이다. 순서대로 포물형과 포물형 개선 반사판의 배광은

조명 · 전기설비학회논문지 제17권 제4호, 2003년 7월

그림 8와 그림 9에, lumen-micro를 이용하여 예측된 결과를 그림 10과 그림 11에서 보였다. 배광에는 변화가 없으나 효율에 개선이 있는 것을 확인할 수 있었다.

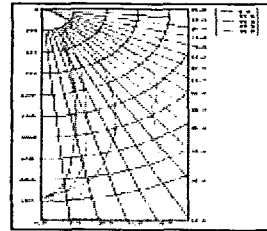


그림 8. 포물형 반사판 배광
Fig. 8. The distribution of parabolic reflector

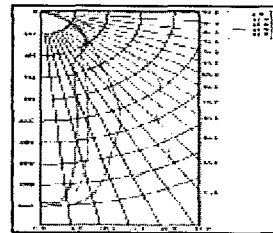


그림 9. 포물선개선형 반사판 배광
Fig. 9. The distribution of the reforming parabolic reflector

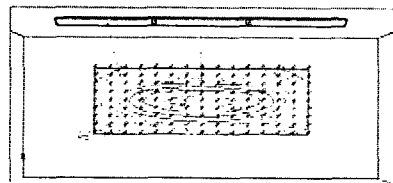


그림 10. 등조도 다이어그램(포물선)
Fig. 10. iso-lux diagram(Parabola)

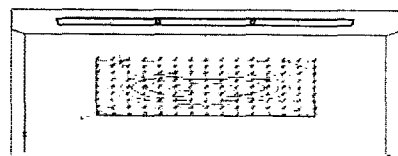


그림 11. 등조도 다이어그램(포물선 개선형)
Fig. 11. iso-lux diagram(reforming parabolic reflector)

4. 아래로 빔을 집중시키는 설계

실제로 포물형 반사판의 배광을 보면 수평각 90도 방향으로 넓게 퍼지는 배광이 나온다. 그러므로 전체적으로 균일하게 퍼지지만 조도가 낮게 나타난다. 이를 보완하기 위해 철판 아래 방향으로 배광을 집중시켜 높은 조도를 만들도록 설계된 것으로 바로 그림 12의 형상이다.

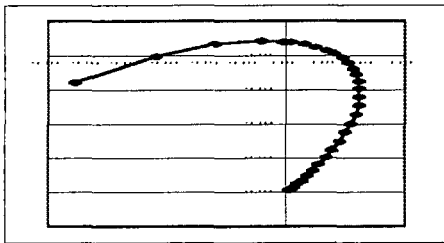


그림 12. 퍼지는 배광을 줄인 반사판
Fig. 12. Reflector to decrease the spread beam

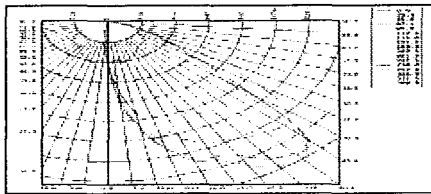


그림 13. 퍼짐을 줄인 반사판의 배광
Fig. 13. The distribution of Fig.12

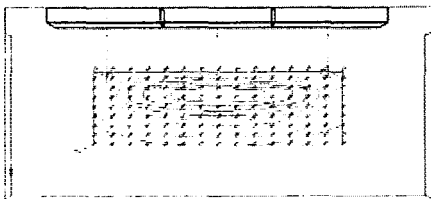


그림 14. 등조도 다이어그램(그림 12)
Fig. 14. iso-lux diagram(Fig 12)

시뮬레이션 결과, 그림 13에서 볼 수 있듯이 위쪽으로 치우치는 배광을 보이고 있다. 이에 대한 철판면 조도 분포는 그림 14에서 보이고 있다. 한편 위쪽에서의 배광이 크게 나오는 것을 줄이기 위하여 반사판의 상하를 뒤집어 원하는 배광과 비슷하게 나올

것이라 예상하여 만든 형상이 바로 그림 15이다.

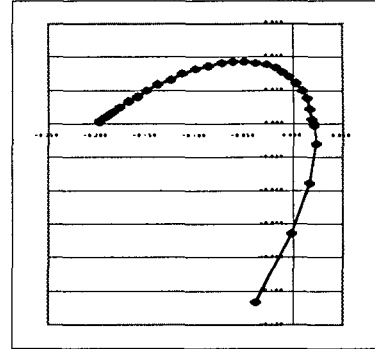


그림 15. 상하를 뒤집은 반사판
Fig. 15. The design to turn the reflector upside down

결과적으로 위쪽으로 배광이 줄었으나 원하는 방향으로의 배광이 아니다.

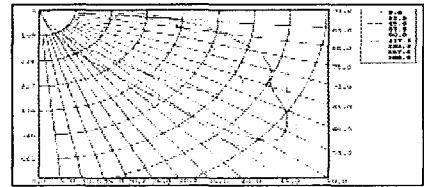


그림 16. 목표 배광에 맞춘 배광
Fig. 16. The distribution of Fig.15

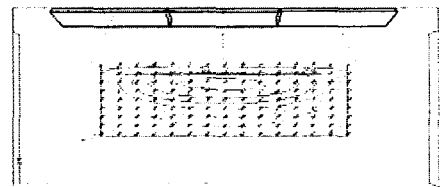


그림 17. 등조도 다이어그램(그림 15)
Fig. 17. iso-lux diagram(Fig 15)

그림 16과 그림 17은 원하는 배광 형태를 만들어서 시뮬레이션 한 결과로 기울여서 원하는 방향으로 내렸지만 30도 이하로 더 내리면 철판의 위쪽이 갑자기 어두워지는 현상이 나타나게 되어 전체적으로 좋지 않은 배광이 나타나게 된다. 그러므로 tilt에 대한 문제가 발생하므로 여러 가지로 번거로운 작업이 필요로 하다.

5. 광원까지 거리를 조절한 반사판

배광을 예측한 결과 광원에 가까운 반사판부분에서 제어할 수 없는 빔 분포를 형성하여 문제를 일으킴을 알아내었다. 이에 대한 논의는 다음 장에서 하겠다.

아래 개발한 반사판 형상, 그림 18는 기존 형상의 설계 시작점을 바꾸어 문제가 되는 부분의 세그먼트를 광원에서 최대한 떨어뜨려 설계한 형상이다.

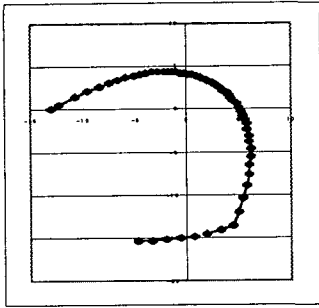


그림 18. 거리를 조절한 반사판
Fig. 18. The reflector to match the direction

배광 예측 결과(그림 19) 약간의 누설은 있지만 전체적으로 목표 배광에 맞는 결과를 얻어내었다. 그러므로 광원에서 반사판 세그먼트까지의 거리를 충분히 둔다면 빔을 제어할 수 있게 되어 원하는 배광의 반사판 형상을 만들 수 있음을 입증한다.

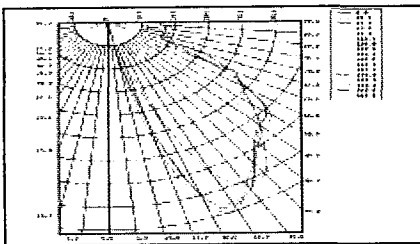


그림 19. 배광 예측(그림 18)
Fig. 19. The distribution of Fig.18

그림 20의 rendering 모습에서 알 수 있듯이 칠판면 전체적으로 고르게 밝은 빛을 내고 있으며 바닥으로 향하는 빛이 줄어든 것을 알 수 있다. 하지만 그림 21의 iso-lux diagram을 통해서도 아직도 칠판면의 위쪽 방향으로 높은 조도가 나타남을 알 수 있다.

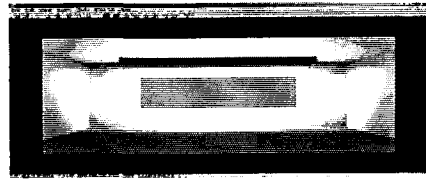


그림 20. 렌더링(그림 18)
Fig. 20. renderin Fig.18

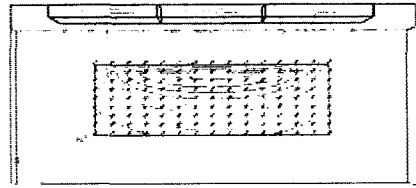


그림 21. 등조도 다이어그램(그림 18)
Fig. 21. iso-lux diagram(Fig. 18)

6. 광원과 세그먼트 사이거리 영향 분석

마지막 형상에 힌트를 얻어 광원의 크기와 반사판 세크먼트 사이의 관계에 대한 문제를 제기하게 되었다. 이처럼 반사판 설계 과정에서 당초 예상한 배광이 나타나지 않은 이유를 분석하기 위하여 우선 각 세그먼트에서의 반사광 방향을 계산하였다. 그림 22에서와 같이 크기가 있는 광원에서 1L, 2L, 3L 만큼 떨어진 반사판은 점광원과는 달리 반사광 분포가 달라진다는 것을 발견하고 그 변화를 분석하여 보았다.

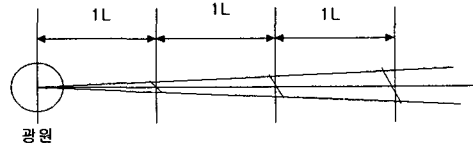


그림 22. 광원과 세그먼트 사이의 거리 관계
Fig. 22. The relation of a direction between source and segment

6.1 점광원에 의한 반사광 예측

점광원의 경우 반사판 세그먼트까지의 거리에 상관없이 항상 일정한 반사각 범위를 갖는다. 그러므로 어느 각에서든 빔을 제어할 수 있다.

실판등용 반사판의 광학적 영상 개발

주어진 표 1에서는 반사판이 광원에 대해 갖는 평면각에 따른 반사각의 범위를 계산한 결과이다. 여기서 평면각이라 함은 선광원의 경우 입체각을 말하고 반사각은 세그먼트를 통하여 반사될 경우 세그먼트와 빔이 이루는 각을 말한다. 평면각의 크기와 반사각의 범위가 일대일 대응되고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 이상적인 경우 반사광 형태를 나타낸다.

표 1. 점광원의 경우 반사광의 범위(평면각-반사각차)
Table 1. The the range of reflecting beam in point source

평면각(도)	반사광 범위(도)
1.000	1.000
2.000	2.000
4.000	3.998
8.000	7.987
16.000	15.897
32.000	31.205

6.2 튜브 광원에 의한 반사광 예측

튜브광원과 같이 크기가 있는 광원의 경우 반사되는 빛의 각도 범위는 점광원에서와 같이 반드시 한 가지로 결정되는 것이 아니다. 이러한 여러 가지 반사각은 반사판을 설계하는데 많은 문제를 일으킨다. 앞서 설계되었던 모든 형상들의 문제점을 분석한 결과, 광원으로부터의 반사판 세그먼트 사이의 거리가 근접할수록 반사판에서 제어할 수 없는 넓은 반사각 영역을 만들었다.

본 연구에서는 이들 사이의 관계를 계산하여 분석하였다. 여기서 고려된 변수는 반지름 (8, 13mm), 평면각 (0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32도), 광원과 세그먼트 사이의 거리 S (15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100 mm)이다. 그림 23에서 부분각은 전체 반사광 범위 중에서 광원의 일부분만이 보이는 반사광 범위를 가리키며, 전체각은 이러한 부분각을 뺀 나머지 반사각들의 범위이다. 본자료는 많은 양의 자료를 처리하기 쉬운 Excel을 이용한 것이다.

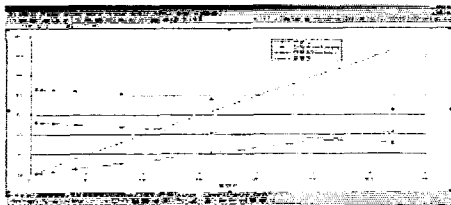


그림 23. 평면각과 반사각차 사이의 관계
Fig. 23. The relation between flat angle and different reflecting angle

전체적인 그래프의 추이를 살펴보면 전체각은 선형적인 감소, 증가를 하고, 반지름에 상관없이 일정하게 증가하며 전체각은 크기에만 차이가 있을 뿐 변화 양상은 동일한 것으로 나타났다.

아래 그림 24와 그림 25는 거리 S와 반사각 사이의 관계를 여러 평면각에 따라 나타낸 것이다. 램프의 변경이 작을수록 반사각의 차이가 적어 반사판 설계에 유리함을 한 눈에 식별할 수 있다. 여기서 주목해야할 점은 거리 S가 크다고 무조건 좋은 것을 아니라는 점이다. 예를 들어 평면각이 32도인 경우 S가 커지면 오히려 반사각의 범위가 커지게 되는 경향을 볼 수 있다.

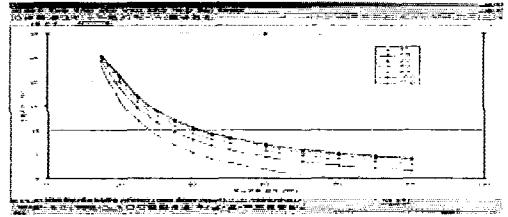


그림 24. S와 반사각범위의 관계(광원의 반지름=13mm)
Fig. 24. The relation between segment and reflecting angle range (source's diameter=13mm)

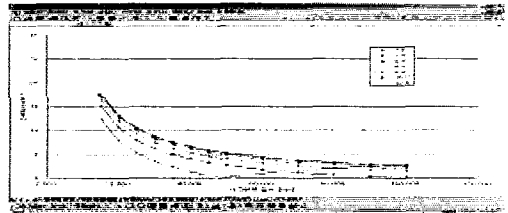


그림 25. S와 반사각범위의 관계(광원의 반지름=8mm)
Fig. 25. The relation between segment and reflecting angle range (source's diameter=8mm)

7. 결 론

표 2. 결과 비교
Table 2. Result

형상	1	2	3	4	5	6
효율%	80	84.5	88.9	76.1	76.5	63.5
조도 평균치	470.8	427.1	421.1	446.2	404.7	373.6
최대	902.5	677.6	623.8	783.1	714.3	638.7
최소	171.7	181.4	204.0	178.5	72.6	153.8
최대/최소	5.3	3.7	3.1	4.4	9.8	4.2
평균/최소	2.7	2.4	2.1	2.5	5.6	2.4

- 형상 1 : 등조도를 이용한 반사판
- 형상 2 : 포물형 반사판
- 형상 3 : 포물선 개선형 반사판
- 형상 4 : 아래로 빔을 집중시키는 반사판
- 형상 5 : 상하를 뒤집은 반사판
- 형상 6 : 광원까지의 거리를 조절한 반사판

위의 표 3은 이제까지 설계한 반사판의 성능을 정리한 것이다. 효율 측면에서 본다면 형상 3이 가장 좋은 것으로 나타나고 있다. 반면에 평균 조도를 비교하였을 때는 형상 1이 가장 좋은 것을 알 수 있다.

원하는 배광에 가장 가까운 반사판인 형상 6은 효율이 매우 나쁜 단점이 있음을 살펴볼 수 있다. 이러한 점은 앞 절에서 사용했던 tangent spiral design 등을 이용하여 앞으로 더욱 보완되어야 할 것이다.

배광을 개선하는 방향으로 반사판을 설계하는 과정에서 처음의 의도와는 다르게 효율이나 광원까지의 세그먼트의 거리 등등의 많은 문제점이 제기되었다. 이런 문제를 분석하기 위하여 마지막으로 광원과 세그먼트 사이의 거리를 예측하였고, 반사판을 설계하기에 앞서 최적의 조건을 선정하는 것도 중요하다는 점을 도출하였다.

결과적으로, 칠판등용 반사판은 고른 배광을 내는 것이 목적인데 그러기 위해서는 반사판과 세그먼트 사이에 관계를 미리 예측하여야 하고 등기구로서의 여러 가지 요소, 예를 들면 효율면에 있어 개선이 필요하다.

References

- (1) R. H. Simons and A. R. Bean, "Lighting Engineering Applied Calculations", Optical design p. 201, Architectural Press, 2001.
- (2) William B. Elmer, "The Optical Design of Reflector", reflector design p. 161, TLA Lighting Consultants, Inc, Third Edition, 1989.
- (3) Joseph B. Murdoch, "Illumination Engineering - From Edison's Lamp to the Laser", Optical and control of light p. 396, MacMillan Publishing Company New York & Collier Macmillan Publishers LONDON, 1985.
- (4) Lumenmicro, LightingTechnology.
- (5) Phoptopia, LightingTechnology.

◇ 저자소개 ◇

박혜진 (朴慧眞)

1979년 4월 24일생. 강원대 전기공학과(학사). 강원대 전기공학과 조명연구실 석사과정.

김동조 (金東朝)

1955년 10월 10일생. 경일대 전기공학과(학사). 고려대 산업정보대학원 전기공학과(석사). 현재 강원대학교 일반대학원 박사과정(조명 및 전기설비전공). 갑을개발(주)전기부장. 삼안건설이사. 1996년 건축전기설비기술사. 2000년 전기용용기술사. 현재 기술사사무소 고려기술단 대표. 현. 안양과학대학 전자통신정보공학부 겸임교수. 본 학회 강원지회 총무이사.

김 훈 (金 勳)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1988년 서울대 공대 전기공학과 졸업(박사). 1993년 호주 국립대학 방문교수. 현재 강원대 공대 전기전자정보통신공학부 교수. 본 학회 총무이사.