

칠판등용 반사판의 광학적 형상 개발

(The Design of A reflector for Blackboard Lighting)

박해진*, 김경호, 김동조, 김 훈

(Hye-Jin Park, Gyung-Ho Kim, Dong-Jo Kim, Hoon Kim)

Abstract

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. 이 논문에서는 칠판면에 일정한 조도를 제공하고 효율이 높은 칠판등용 경면 반사판 형상을 설계하는 과정을 설명하고, 반사판 설계에 있어 크기가 있는 광원에 의한 설계상의 문제점을 고찰하고자 한다.

1. 서론

교실 조명의 목적은 학생과 교사가 편안하게 바라볼 수 있고, 능률적으로 학습할 수 있는 있는 환경을 만드는 것이다. 미국의 조사에 따르면 학생의 교육적 생활 중에서 62% 이상이 시작업 시간으로, 조명환경은 발육 도상에 있는 학생의 건전한 심신형성을 위하여 매우 큰 영향을 준다고 한다. 이러한 조명의 질적인 향상을 꾀하기 위하여 제안된 것이 바로 칠판등이다.

칠판등의 요건은 칠판면 상의 고른 조도이다. 전체적으로 일정한 밝기를 유지하면서 시작업을 하는데 불편함을 주지 않도록 해야 한다. 즉, 전체적으로 얼룩짐이나 눈부심을 최소한으로 하여 학생과 교사가 시작업을 하는데 나쁜 영향을 미치지 않게 하면서 보다 능률적인 조명 환경을 조성해야한다. 본 연구에서는 반사판을 설계하기 위해 알맞은 목표 배광을 설정하고 이에 따른 반사판의 세그먼트를 설계하도록 하였다. 이렇게 설계된 칠판등용 반사판의 형상을 가지고 시뮬레이션을 통해 배광을 예측하였으며, 이러한 시뮬레이션 결과 발생한 문제점을 고찰하여 이를 개선하거나 보완하는 방향으로 계속해서 형상을 수정해 나갔다. 마지막으로 목표 배광을 내는 반사판을 설계함으로써 결론에 이르고 있다.

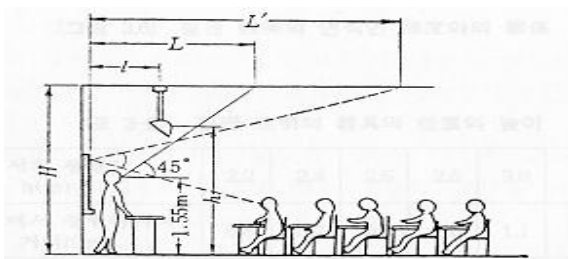


그림 1. 칠판 조명의 학생 및 교사 위치 관계

2. 등조도 배광을 만드는 반사판

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

$$E = \frac{I_{\theta} \cos \theta}{d^2} \text{ 이고,}$$

여기서, 광도를 구하면,

$$I_{\theta} = \frac{E \times d^2}{\cos \theta} \text{ 가 되어,}$$

다음과 같은 목표 배광을 얻을 수 있다. 여기서 E 는 조도 (lux), I_{θ} 는 θ 방향으로 광도, a 는 광원에서 목표 지점까지의 거리, θ 는 연직각에 대한 목표지점에 이르는 각도이다.

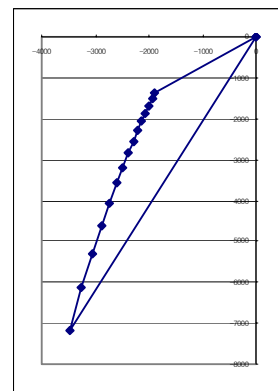


그림 2. 목표 배광

여기서 광속 $\Phi = I_{\theta} \times \text{평면각}(\text{radian})$ 가 된다. 이러한 계산을 통하여 얻어진 목표 광속을 가지고 반사판이 반사하여야할 반사광속을 찾고 반사판으로의 입사각 (α)과 반사각 (β)의 조합을 얻는다. 이렇게 설계된 반사판의 형상을 그림 3에 보였다.

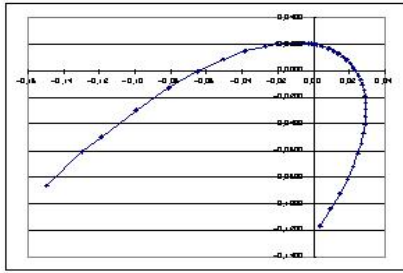


그림 3. 등조도 배광을 내도록 설계한 반사판 형상

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

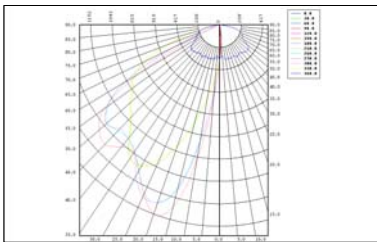


그림 4. 배광 예측

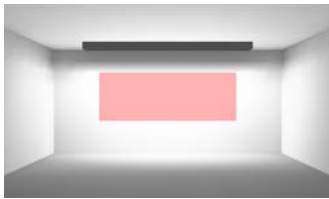


그림 5. 칠판면의 rendering

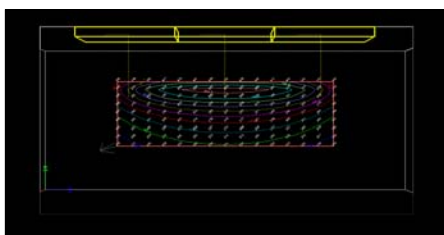


그림 6. iso-lux diagram

3. 포물선 및 포물선 개선형 반사판

형상 2를 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 반사판은 모두 평행하게 나간다. 원하는 방향으로 포물선 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. 길이와 폭을 적당하게 조절하여 형상을 설계한 결과는 그림 7과 같다.

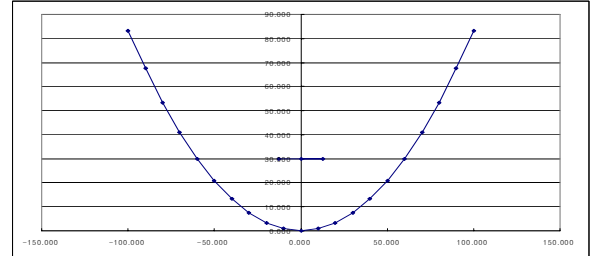


그림 7. 포물선 반사판

초점에 위치한 램프가 크기가 있는 경우 반사판의 일부가 램프로 흡수되어 효율이 떨어질 수 있다. 그러므로 램프의 접선을 연결하여 새로운 형태의 반사판을 만들어 낸다. 이러한 방법을 tangent spiral design이라고 하고 이렇게 하여 새로운 반사판 형상을 만들어 낸 것이 그림 8이다.

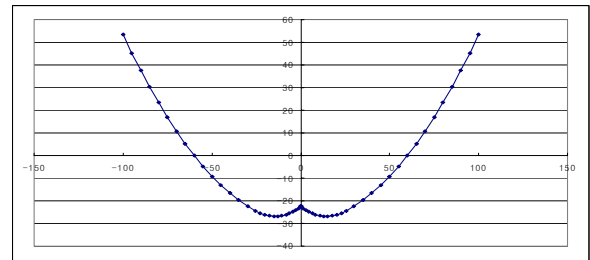


그림 8. 포물선 개선 반사판

다음 그림은 photopia와 lumen-micro 시뮬레이션 결과이다. 각각 순서대로 포물형과 포물형 개선 반사판의 배광은 그림 9와 그림 10에, lumen-micro를 이용하여 예측된 결과를 그림 12와 그림 13에 보였다. 그림 11의 ray-tracing은 개선된 포물형 반사판에서 반사되는 빛의 궤적을 나타내고 있다.

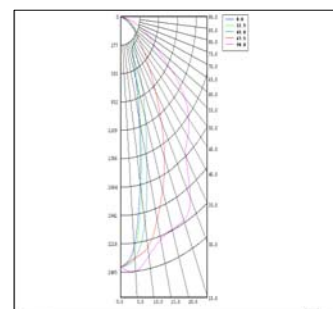


그림 9. 포물형 반사판 배광

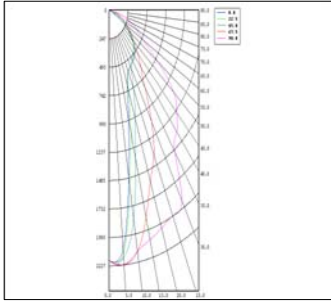


그림 10. 포물선개선형 반사판 배광

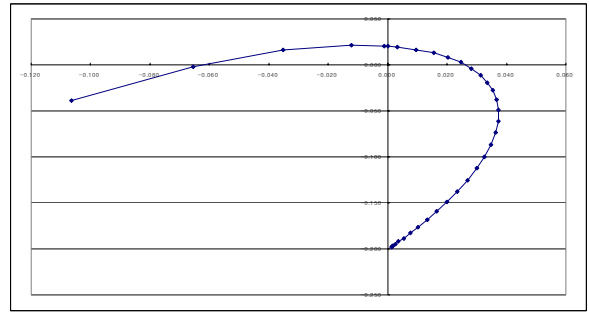


그림 14. 배광을 아래로 집중 설계한 반사판



그림 11. 포물선 개선형 반사판의 반사빔의 궤적

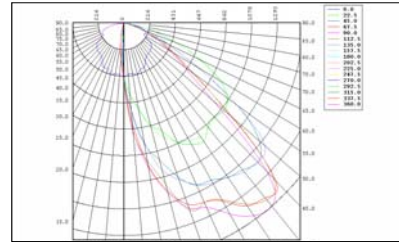


그림 15. 퍼짐을 줄인 반사판 배광

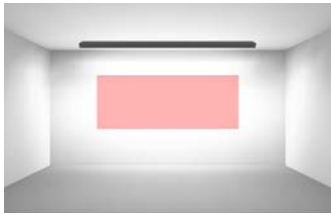


그림 12. 철판면의 rendering (포물선)

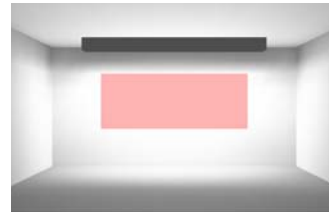


그림 16. rendering (그림 14)

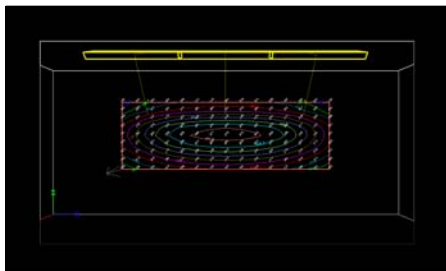


그림 13. iso-lux diagram (포물선)

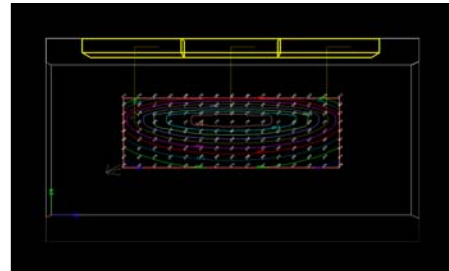


그림 17. iso-lux diagram (그림 14)

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 위하여 철판 아래 방향으로 배광을 집중시켜 높은 조도를 만들도록 설계된 것으로 바로 그림 14의 형상이다.

시뮬레이션 결과 그림 15에서 볼 수 있듯이 위쪽으로 치우치는 배광을 보이고 있다. 한편 위쪽에서의 배광이 크게 나오는 것을 줄이기 위하여 반사판의 상하를 뒤집어 원하는 배광과 비슷하게 나오도록 만든 형상이 바로 그림 18이다.

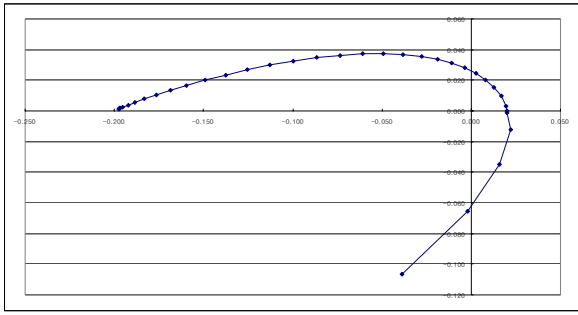


그림 18. 상하를 뒤집은 반사판

결과적으로 위쪽으로 배광이 줄었으나 원하는 방향으로의 배광이 아니라는 것을 알 수 있다.

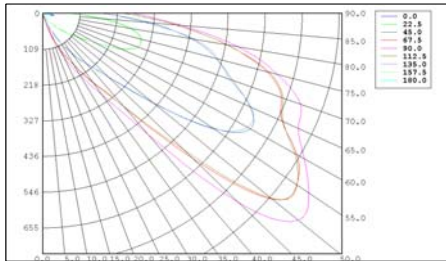


그림 19. 목표 배광에 맞춘 반사판 배광

그림 20과 그림 21은 원하는 배광 형태를 만들어서 시뮬레이션 한 결과로 기울여서 원하는 방향으로 내렸지만 30도 이하로 더 내리면 칠판의 위쪽이 갑자기 어두워지는 현상이 나타나게 되어 전체적으로 좋지 않은 배광이 나타나게 된다. 그러므로 tilt에 대한 문제가 발생하므로 여러 가지로 번거로운 작업이 필요로 하다.



그림 20. rendering (그림 15)

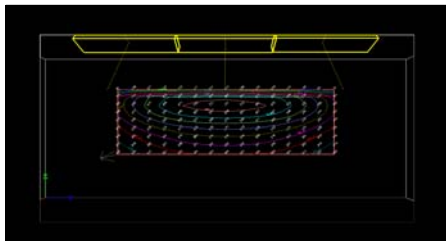


그림 21. iso-lux diagram (그림 15)

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 26은 기존 형상의 설계 시작점을 바꾸어 문제가 되는 부분의 세그먼트를 광원에서 최대한 떨어뜨려 설계한 형상이다.

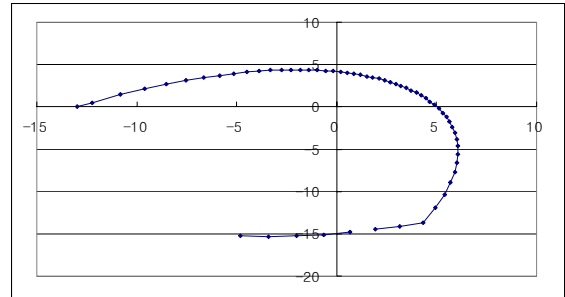


그림 26. 반사판 거리를 조절한 반사판

배광 예측 결과(그림 27) 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.

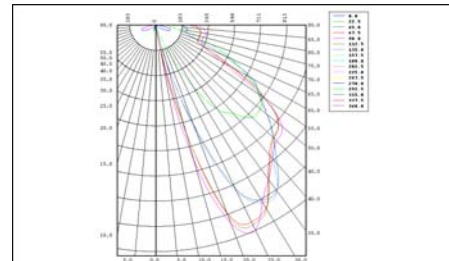


그림 27. 배광 예측 (그림 26)

그림 28의 rendering 모습에서 알 수 있듯이 칠판면 전체적으로 고르게 밝은 빛을 내고 있으며 바닥으로 향하는 빛이 줄어든 것을 알 수 있다. 그림 29 iso-lux diagram을 통해서도 아직도 칠판면의 위쪽 방향으로 높은 조도가 나타남을 알 수 있다.

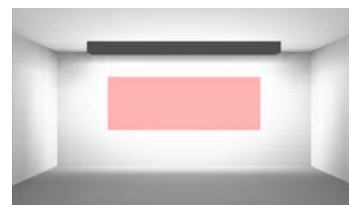


그림 28. rendering (그림 26)

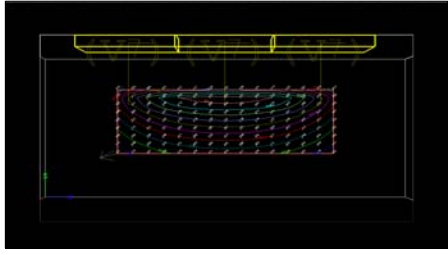


그림 29. iso-lux diagram
(그림 26)

6. 광원과 세그먼트 사이거리 영향 분석

반사판 설계 과정에서 당초 예상한 배광이 나타나지 않은 이유를 찾아내기 위하여 각 면에서의 반사광 방향을 계산하였다. 그림 30에서와 같이 크기가 있는 광원에서 1L, 2L, 3L 만큼 떨어진 반사판은 점광원과 달리 반사광 분포가 달라진다는 것을 발견하고 그 변화를 분석하여 보았다.

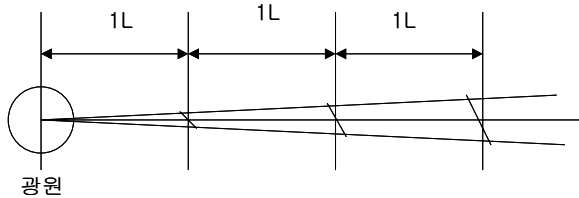


그림 30. 광원과 세그먼트 사이 거리 관계

6.1 점광원에 의한 반사광 예측

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

주어진 표 1에서는 반사판이 광원에 대해 갖는 평면각에 따른 반사각의 범위를 계산한 결과이다. 평면각의 크기와 반사각의 범위가 일대일 대응되고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 이상적인 경우의 반사광의 형태를 나타낸다.

표 1. 점광원의 경우 반사광의 범위
(평면각-반사각차)

평면각	반사광 범위
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 한가지로 결정되는 것이 아니다. 이러한 여러 가지 반사각은 반

사판을 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 31에서 부분각은 전체 반사광 범위 중에서 광원의 일부분만이 보이는 반사광 범위를 가리키며, 전체각은 이러한 부분각을 뺀 나머지 반사각들의 범위이다.

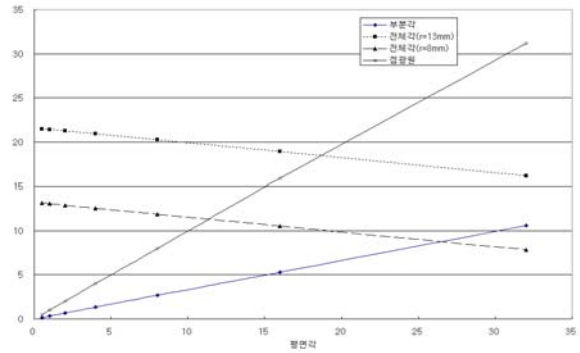


그림 31. 평면각과 반사각차 사이의 관계

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 32와 그림 33은 거리 S와 반사각 사이의 관계를 여러 평면각에 따라 나타낸 것이다. 램프의 반경이 작을수록 반사각의 차이가 적어 반사판 설계에 유리함을 한 눈에 식별할 수 있다. 여기서 주목해야 할 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.

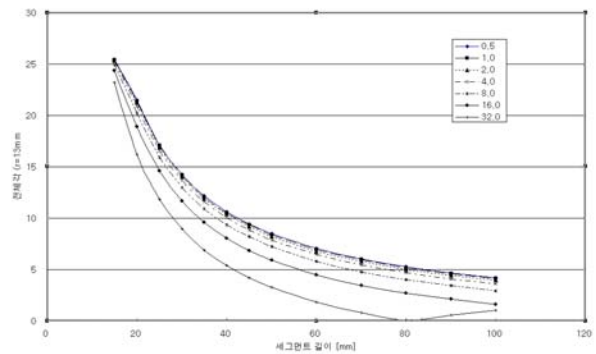


그림 32. S와 반사각범위의 관계
(광원의 반지름=13mm)

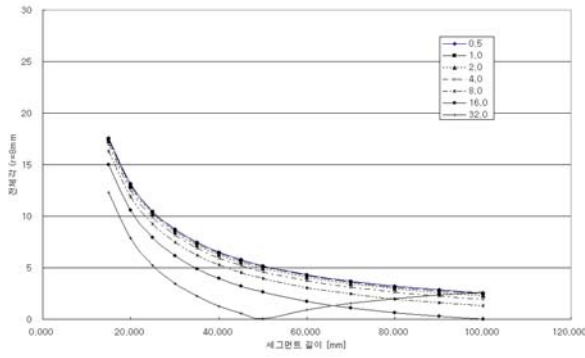


그림 33. S와 반사각범위의 관계
(광원의 반지름=8mm)

[2] William B. Elmer, "The Optical Design of Reflector", TLA Lighting Consultants, Inc, Third Edition, 1989
 [3] Joseph B. Murdoch, "Illumination Engineering - From Edison's Lamp to the Laser", MacMillan Publishing Company New York & Collier Macmillan Publishers LONDON, 1985

7. 결론

표 2. 결과 비교

형상	2	3.1	3.2	4.1	4.2	5
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 2 : 등조도를 이용한 반사판

형상 3.1 : 포물형 반사판

형상 3.2 : 포물선 개선형 반사판

형상 4.1 : 아래로 빔을 집중시키는 반사판

형상 4.2 : 상하를 뒤집은 반사판

형상 5 : 광원까지의 거리를 조절한 반사판

위의 표 3은 이제까지 설계한 반사판의 성능을 정리한 것이다. 효율 측면에서 본다면 형상 3.2가 가장 좋은 것으로 나타나고 있다. 반면에 평균 조도를 비교하였을 때는 형상 2가 가장 좋은 것을 알 수 있다. 이처럼 요건에 따라 형상을 비교 분석할 수 있다.

원하는 배광에 가장 가까운 반사판인 형상 5은 효율이 매우 나쁜 단점이 있음을 살펴볼 수 있다. 이러한 점은 앞 절에서 사용했던 tangent spiral design 등을 이용하여 앞으로 더욱 보완되어야 할 것이다.

마지막으로 광원과 세그먼트 사이의 거리를 예측에서와 같이 반사판을 설계하기에 앞서 최적의 조건을 선정하는 것도 중요하다는 것을 알게 되었다.

참 고 문 헌

[1] R. H. Simons and A. R. Bean, "Lighting Engineering Applied Calculations", Architectural Press, 2001