

200W급 무전극 형광램프 전용 반사갓 설계 (Exclusive Reflector Design for 200W Electrodeless Fluorescent Lamp)

석대일* · 이창모 · 정승균 · 김 훈

(Dae-Il Seok* · Chang-Mo Lee · Seung-Gyun Jung · Hoon Kim)

(강원대학교 IT특성화대학 전기전자전공)

요 약

장수명, 고효율의 광원 개발이 중요한 만큼 조명기구의 개발 또한 중요하다. 무전극 램프에 적용할 수 있는 설계법을 기본으로 램프 취부 방식의 변경, 반사갓 구조의 변형 등을 통해 새로이 개발된 200W급 무전극 형광램프 전용의 반사갓을 설계하였다. 사이즈를 최소화하여 비교적 콤팩트한 반사갓을 설계하였고, 등근형, 전구형 램프의 적용범위에 맞는 배광을 만족시킬 수 있는 다양한 조명기구의 개발이 가능하다는 것을 다시 한 번 입증하였다.

1. 서 론

무전극 형광램프는 페라이트 코어의 코일부에 전류를 흐르게 함으로써, 자기장을 유도하고, 자계를 발생하여 발광을 하는 램프로써, 전극에 의한 손실 및 점등 실패를 막을 수 있으므로 장수명, 고효율의 신광원이다. 수명이 길어짐에 따라 램프 교체 비용이 절감되고, 적은 양의 수은을 사용하여 환경친화적이라는 장점을 가지고 있다.

기술 개발로 인해 무전극 램프는 국내외적으로 수요가 증가하고 있으며, 가로등, 보안등, 터널조명 등 접근이 쉽지 않은 지역에 특히 유용할 것으로 기대한다.[1]

상용되고 있는 램프와는 형태와 광학 특성이 다르기 때문에 기존의 조명기구를 그대로 사용하게 되면 반사광의 재흡수, 재반사, 글레어 발생, 광공해 그리고 배광 변형에 따른 적용범위의 오류 등 조명시스템 효율 저하의 원인이 될 우려가 있다.

현재 국내에서 독자적인 기술로 200W급의 무전극 램프를 개발하고 있으며, 실용화 단계에 있다. 무전극 램프가 개발됨과 동시에 램프에 적합한 조명기구를 개발하여 전기적, 기계적 성능을 충족시켜주고, 기구 효율 향상과 적절한 배광 분포 구현 등의 기본적인 광학적 요구사항을 만족시켜 주어야 한다.

본 논문에서는 새로이 개발되는 200W급 무전극 램프에 적합한 반사갓을 설계하였다. 개발된 100W, 150W 램프보다 사이즈가 더 크기 때문에 상용화를 위해서 최소한의 반사갓 사이즈를 구현하는 동시에 최적의 광학 성능을 달성하는 것이 관건이었다.

조명기구의 설계과정에서 반사판에서의 반사광 처리에 대한 광학적 고려를 행하지 않는다면 기구 효율이 저하될 수 있으며, 같은 기구 효율이라도 각종 적용범

위에 대한 적합한 배광을 갖도록 설계한다면 적은 수의 조명기구로도 더욱 좋은 조명효과를 얻을 수 있으며, 에너지 절감을 도모할 수 있다.

실내외의 다양한 장소에서 사용할 수 있도록 적용범위에 적합한 최적의 배광과 효율을 지닌 200W급 무전극 램프 전용 조명기구를 설계 개발하였다.

2. 본 론

2.1 Photopia lamp library 생성

설계된 반사갓의 배광을 확인하기 위해서 배광예측 프로그램인 Photopia v.1.5를 사용하였다. 통용되는 램프에 대한 Lamp Library가 기본적으로 제공되지만 개발되고 있는 200W급 무전극 램프에 대한 Library는 없기 때문에 전구형과 등근형의 광원 샘플에 대해서 3차원 측정기로 모델링을 하고, Library 생성에 필요한 *.LDF file과 *.LUM file, *.IES file을 구성하였다.[2]

그림 1은 모델링한 램프의 형상을 보여주고, 그림 2는 Library 생성 과정을 설명한다.

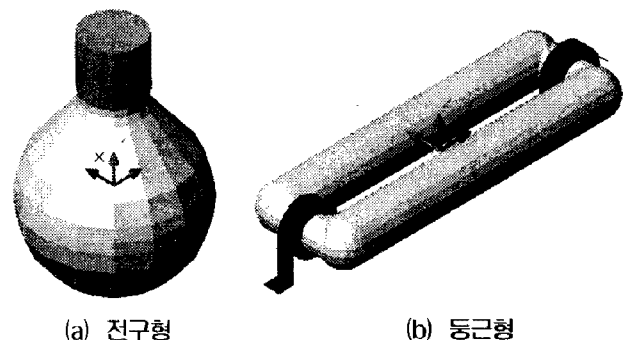


그림 1. Lamp 형상 (a) 전구형, (b) 등근형

램프 휘도 측정은 샘플 광원이 점등되지 않은 관계로 측정하지 못하고 surface에 대해서 샘플 광원의 측정 배광과 library 배광을 비교하면서 휘도값을 적용하였다.

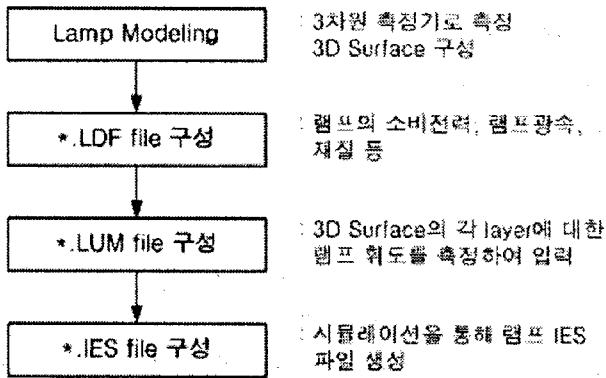


그림 2. Lamp Library 생성 과정

전구형과 등근형에 대한 샘플 광원의 실제 측정된 배광과 Lamp Library 시뮬레이션 배광을 비교한 것은 그림 3에서 보여준다.

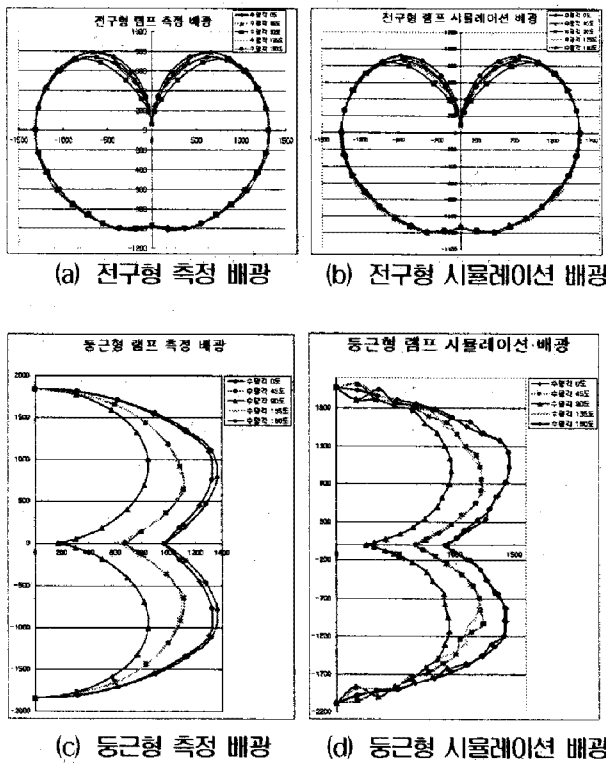


그림 3. 전구형과 등근형 Lamp 배광 비교

2.2 재반사를 이용한 반사판 설계

기존의 반사판 설계 방식을 따른다면 반사판의 사이즈가 커지게 되고, 0° 부근으로 배광이 집중되는 결과를 초래한다. 선행 연구로써 무전극 램프에 적용할 수 있는 타원을 이용한 반사판 설계법과 재반사를 이용한 반사판 설계법이 연구된 바 있다.

본 설계 과정에서는 반사판 사이즈를 줄이기 위해서

선행 연구된 바 있는 설계법을 이용하였다. 타원의 제 2 초점을 이용하여 다른 반사판 세그먼트로 재반사를 하여 반사판을 설계한다. 전구형의 경우 베이스 부분을 기준으로 입사각 0°~45° 부분에서 반사되는 반사광을 다른 반사판 세그먼트로 재반사 시킨다.[3]

전구형 램프의 반사판은 축대칭형이므로 그림 4와 같이 반사판 단면을 설계한 후 중심축을 기준으로 반사광을 형상화시킨다.

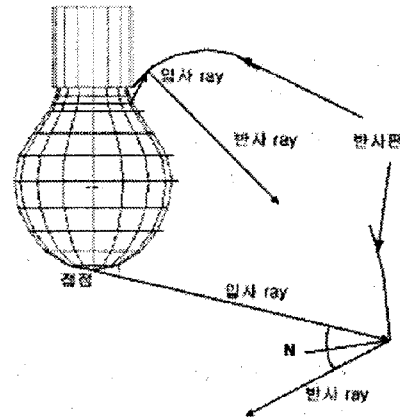


그림 4. 전구형 반사판 설계 개념

등근형 램프의 반사판은 그림 5에서 보듯이 시작점에서 보내고자 하는 각도로 반사 ray를 보내고, 광원의 기하학적인 중심에서 새로운 가상의 광중심(발광부의 접점)으로 이동시켜 주고, 입사 ray와 반사 ray에 대한 segment의 기울기를 결정해주었다. 램프로의 재흡수를 최소화하기 위해서 tangent spiral 기법을 응용하였다.

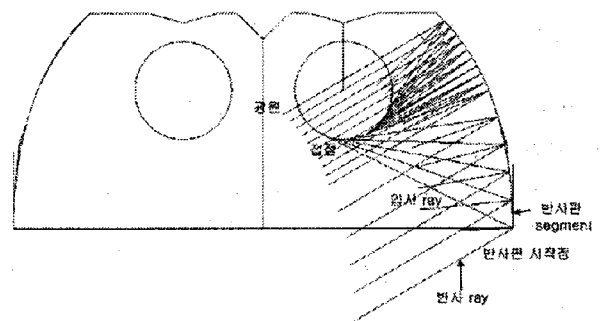


그림 5. 전구형 반사판 설계 개념

2.2 200W용 조명기구 반사갓 설계

무전극 램프는 발광하는 부분의 사이즈가 크고, 타 램프보다 부피가 크기 때문에 광학 설계에 있어서 많은 제약이 따른다. 반사광이 램프로 재흡수되는 것을 막고, 효율적인 광학기구를 설계한다면 기구 사이즈가 매우 커지게 된다. 하지만, 조명기구 사이즈가 크다는 것은 같은 용도의 조명기구와의 시장성 및 경쟁력을 저하시키는 요인이 될 수도 있다. 따라서, 램프 크기가 크다는

단점을 가지고 있지만 반사광의 재흡수를 최소화 하여 80% 수준의 효율을 갖도록 반사갓 설계를 하였다.

전구형과 등근형에 대해서 각각 2가지 type으로 적용 범위를 선정하고, 적합한 목표배광을 설정한 후 반사판을 설계하였다.

2.2.1 전구형 반사갓 설계

200W급 전구형 램프의 bulb 직경은 180mm로써 110mm 직경을 갖는 100W급 램프보다 약 70mm 증가 되었다. 종래 설계된 같은 용도의 100W급 반사갓과 비교해보면 효율은 3~4% 저하되었지만, 배광이 흡사하고 반사갓 사이즈가 직경 10mm 내외의 차이를 보임으로써 최소한의 사이즈로 설계를 할 수 있었다.

① 고천장용 Type 1

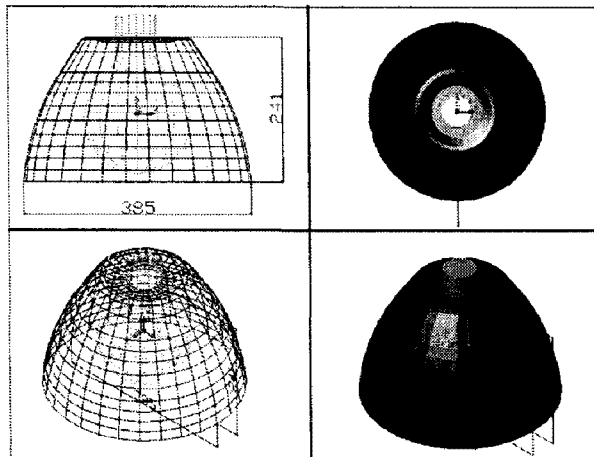


그림 6. 전구형 램프 고천장용 Type 1 반사판 형상

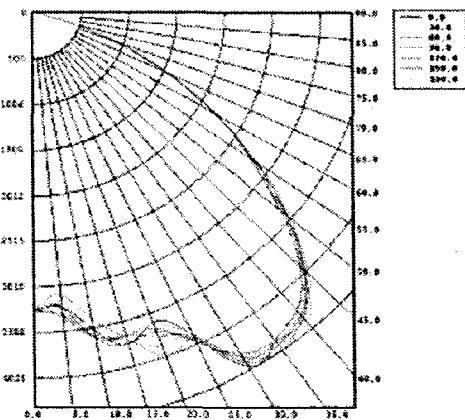


그림 7. 전구형 고천장용 Type 1 배광 시뮬레이션

90%의 specular reflector를 사용하였고, 30°~35° 부근에서 최대광도를 갖는 batwing 형태의 배광을 얻어냈다. 효율은 80.8%로 계산되었다.

고천장 공간에서 권고되는 조도 기준 200lx를 달성하는 지 확인하기 위해서 적절한 설치 높이와 설치 간격을 구해주고, 루멘마이크로를 이용해서 시뮬레이션 해

보았다. 설치 높이는 5m, 설치 간격은 6m로 해 주었다. 시뮬레이션 결과는 그림 8에서 보여주고 있다. 최소조도 36.2lx, 최대조도 314.2lx, 평균조도는 254.6lx이다.

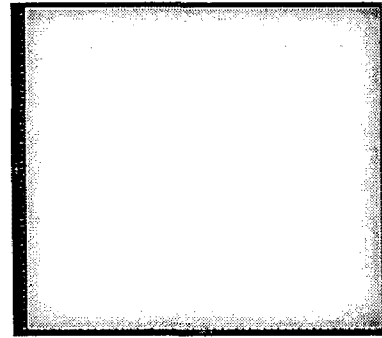


그림 8. 고천장용 Type 1 루멘 시뮬레이션

② 고천장용 Type 2

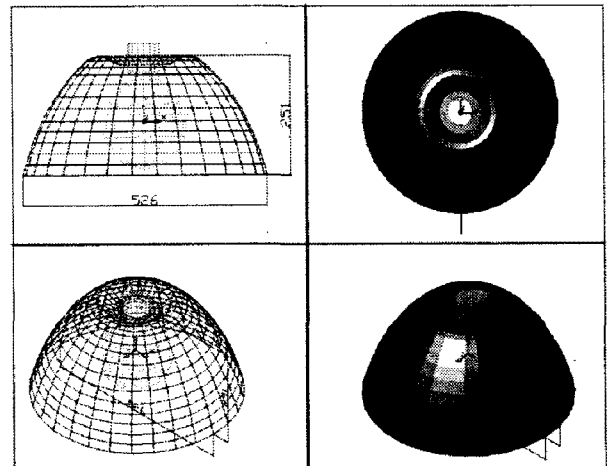


그림 9. 전구형 램프 고천장용 Type 2 반사판 형상

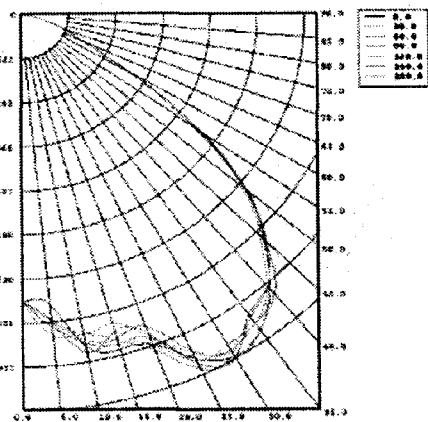


그림 10. 전구형 고천장용 Type 2 배광 시뮬레이션

조명기구에서 좀 더 넓은 반사갓 취부 공간을 확보할 수 있는 경우에는 사이즈가 커져도 무방하다. 오히려 효율을 증가시킬 수 있고, 배광 구현에 제약이 줄어들 것이다. 90%의 specular reflector를 사용하였고, 30° 부근에서 최대광도를 갖는 batwing 형태의 배광을 얻어냈다. 효율은 88.1%로 나왔다.

Type 1과 마찬가지로 루멘마이크로를 이용해서 시물레이션 해 보았다. 설치 높이는 7m, 설치 간격은 6m로 해서 시물레이션 한 결과는 그림 11에서 보여준다. 최소조도 58.2lx, 최대조도 337.1lx, 평균조도는 259lx이다.

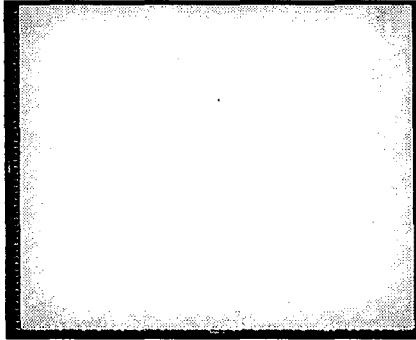


그림 11. 고천장용 Type 2 루멘 시물레이션

③ 보안등용

일반적으로 전구형 램프 반사갓은 램프를 수직, 수평 점등하는 상태에서 반사갓을 설계하여 대칭형 배광을 만들어낸다. 다음의 반사갓은 가로등 배광 형태에 유사한 보안등용 반사갓을 설계한 것이다. 램프 베이스 부분은 차도 방향을 향하고, 램프 벌브 중심부는 반사갓 내에서 한 칸으로 치우쳐 있으며, 내부 취부 공간 확보와 램프 교환의 용이함, 효율 증대를 위해서 램프를 약 45°정도 tilt 시켜 주었다. 이에 따라 compact한 반사갓을 설계할 수 있었다.

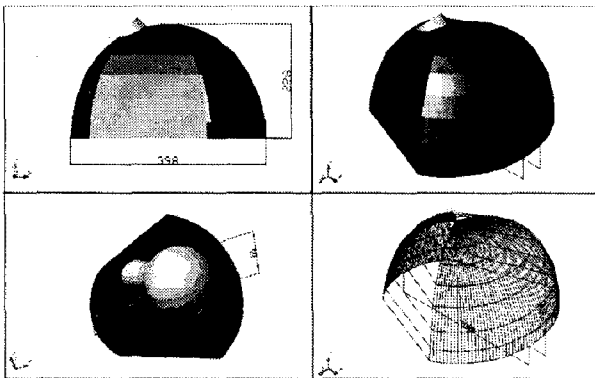


그림 12. 전구형 램프 보안등용 반사판 형상

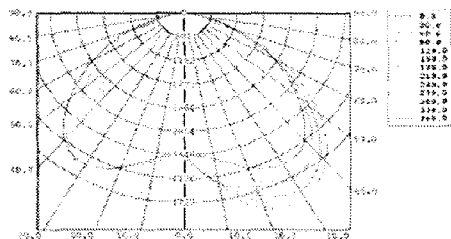


그림 13. 전구형 보안등용 배광 시물레이션 [25° peened, 90% specular reflector]

그림 13은 램프 벌브 전방의 곡면 처리된 반사판의

재질을 25° peened 처리를 해 주고, 나머지 부분은 90% specular reflector를 사용하였을 때의 배광이다. 램프 베이스 방향 즉, 차도 방향은 30° 부근에서 최대 광도를 가지며, 후사광은 줄어든 형태로 나왔다. 효율은 82.9%로 나타났다. 반사갓 전체를 specular로 선정하였을 경우에는 최대광도가 나타나는 수직각이 더 증가하였고, 후사광 역시 증가하였다.

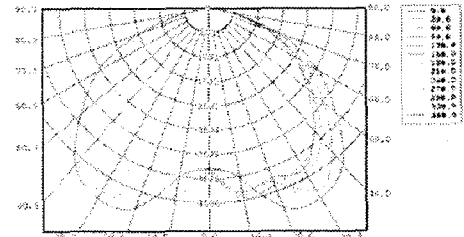


그림 14. 전구형 보안등용 배광 시물레이션 (확신제)

그림 14는 램프 벌브 전방의 곡면 처리된 반사판의 재질은 diffusion material, 나머지 부분은 90% specular reflector를 사용하였을 때의 배광이다. 램프 베이스 방향 즉, 차도 방향의 광도가 줄고, 전체적으로 대칭 형태의 배광이 되었다. 효율은 80.5%로 나타났다. 공원이나 넓은 주차장 등에 적합할 것으로 본다.

2.2.2 등근형 반사갓 설계

200W급 등근형 램프의 관길이는 약 425mm로써 100W급 램프보다 약 175mm 정도 길어지고, 관경은 약 58mm로써 6mm 정도 늘어났다. 등근형 램프 본래의 기하학적인 형상으로 인해 반사갓 설계 시 많은 어려움이 있다.

① 터널, 지하차도용

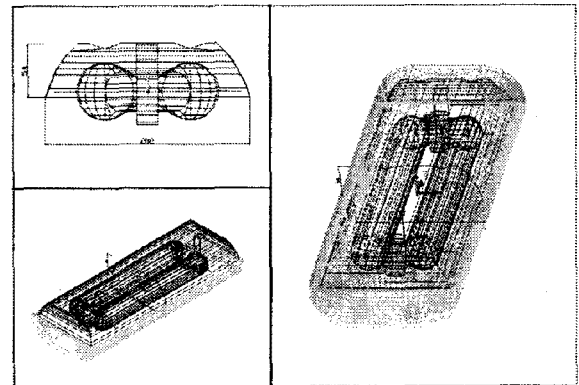
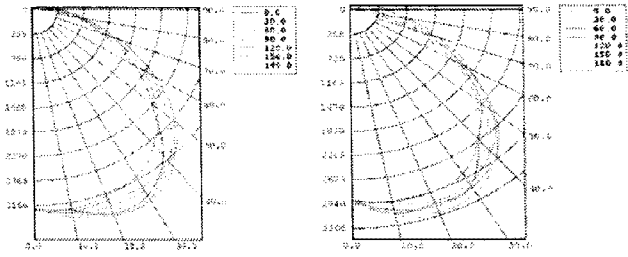


그림 15. 등근형 램프 터널, 지하차도용 반사판 형상 (반사판+clear cover)



(a) 반사판 (b) 반사판 + clear cover

그림 16. 등근형 터널, 지하차도용 배광 시뮬레이션

기구 사이즈를 최소화하기 위해서 램프 광중심의 수평축을 기준으로 상부는 반사판, 하부는 prism cover로 설계하였지만, 기구 사이즈가 줄어들었으므로 효율이 저하되고, 더욱이 프리즘 내에서의 전반사로 인해 약 69% 정도의 효율이 나왔다. 그림 16의 배광은 90% specular reflector를 적용한 반사판에 의한 배광(a)과 반사판에 polycarbonate 재질의 clear cover를 동시에 적용하였을 때의 배광(b)을 보여준다. 효율은 각각 80%와 74.3%로 나타났다.

② 고천장용

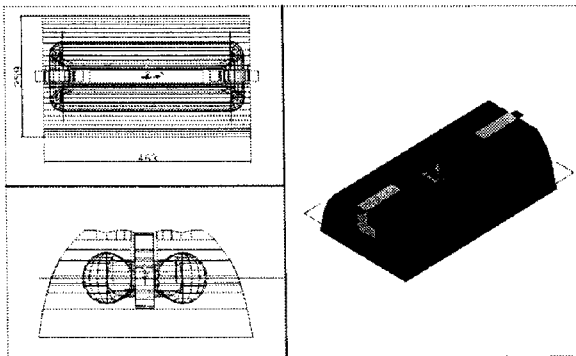


그림 17. 등근형 램프 고천장용 반사판 형상

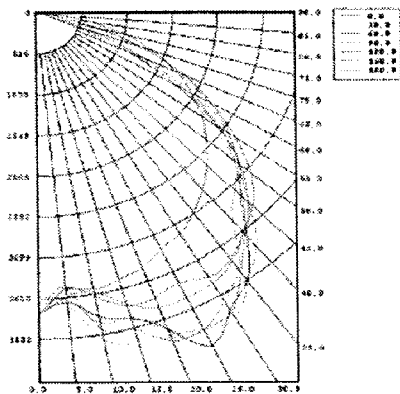


그림 18. 등근형 고천장용 배광 시뮬레이션

페라이트 코어 끝단의 strips가 차지하는 면적만큼을 개방해 주어 길이 방향을 줄여주고 엄밀한 설계를 통해서 폭도 줄여주었다.

램프 사이즈는 커졌지만 종래 설계된 같은 용도의 반사갓과 비교하여 전체적인 사이즈를 줄일 수 있었다. 90% specular reflector를 사용하였고, 25° 부근에서 최대광도를 가지며, 효율은 약 79%가 나왔다.

3. 결론

조명기구의 새로운 제작은 여러 가지 시행착오를 거듭한다. 더욱이 신평원일 경우 예측하지 못한 문제가 빈번히 발생하기 마련이다. 따라서 조명기구의 외형에만 치중하고, 광학 성능을 무시한다면 에너지 자원 측면에서 큰 낭비를 초래할 것이다.

설계된 반사갓의 배광 예측을 위해서 Photopia를 이용하였다. 실제 램프가 아닌 근사화 된 lamp library를 이용한 것이고, 제작 상의 오차로 인해 시뮬레이션 결과와 실제 제작된 기구 성능과는 차이가 있을 것이다.

본 논문에서는 등근형, 전구형 램프의 적용범위에 맞는 배광을 만족시킬 수 있었고, 다양한 조명기구의 개발이 가능하다는 것을 다시 한 번 입증하였다.

램프 취부 방식의 변경이라든지 반사갓 구조의 변형, 반사갓 내부 재질의 다양한 선택을 통해 약간의 효율 증대와 목표 배광 구현의 용이함을 확인할 수 있었다.

개발 중인 200W급의 무전극 램프는 기존의 W급이 낮은 무전극 램프에 비하여 전체적인 사이즈가 커지게 되었지만, 치밀한 설계를 통해 사이즈를 최소화시켜서 비교적 compact한 반사갓을 설계할 수 있었다.

광원의 사이즈가 크면 그에 맞는 큰 사이즈의 반사갓이 아니고서는 조명기구의 높은 효율을 기대하기 어렵지만, 설계 결과 80% 내외의 효율을 달성할 수 있었다.

본 연구는 에너지관리공단의 에너지절약기술개발 중대형 과제인 일환인 “무전극 형광등용 등기구 개발”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) “무전극 형광램프의 표준화에 관한 연구”, 06년도 추계학술대회, 조미령 외 6명
- (2) Photopia User Guide “Lamp Modeling”
- (3) 박중환, “무전극 형광램프용 고효율 반사판의 광학설계법 개발”, 석사학위 논문, 강원대학교 대학원 전기공학과