

중광도 LED항공장애등 등구의 최적설계프로세서 확립에 관한 연구

A Study on the Construction of the Optimum Design Process of Medium Intensity LED Aviation Obstacle Light

김성철^{1,a}, 장정원²
(Seong-Cheol Kim^{1,a} and Jeong-Won Jang²)

Abstract

Aviation obstacle lights including controller for the safe night aviation service have applied to high voltage transmission line of which height is from 60~180 m. Fresnel lens made by Augustine Fresnel have been applied to light houses. These Fresnel lens were applied to aviation obstacle lights and have been universally used. It was reported that Fresnel lens for aviation obstacle light was used in the first place in Korea in 1987. LEDs have recently been applied to aviation obstacle lights. So, the optimum physical design is essential to the design of aviation obstacle light. In this study, optical and three dimensional modeling of LED module and globe lens were performed. And thermal analysis due to LED thermal source and service thermal condition in high voltage transmission line was performed and was analyzed comparing with experiments. The optimum design process of medium intensity LED aviation obstacle lights was constructed with three dimensional modeling, thermal analysis, and thermal experimental technique.

Key Words : LED, LED module, Aviation obstacle light, Thermal analysis, Fresnel lens

1. 서 론

현재 국내에서 가공 송전선 지지물(60~180 m)에는 야간에 항공기의 안전한 운항을 위한 목적으로 태양전지식 LED(Light Emitting Diode) 항공장애등(Aviation Obstacle Light) 및 그 조절장치가 적용되고 있다. 그림 1은 항공장애등이 설치된 국내의 가공 송전선 지지물인 765 kV 송전철탑이다.

최근들어 항공장애등의 중요성이 커짐에 따라서, 항공장애등 및 그 조절장치의 신뢰성 있는 최적화된 제품개발의 필요성이 부각되고 있다.

1822년 프랑스의 물리학자인 Augustine Fresnel에 의해 최초로 광학적인 이론이 토대가 되어 발

명된 Fresnel Lens가 발명자의 이름이 고유명칭으로 명명되어져 유럽과 북미지역 해안의 등대용(Lighthouse) 렌즈로 적용된 이래로 현재는 항공등화시설인 항공장애등의 렌즈에도 적용이 널리 보편화되어 있는 실정이다.

국내의 경우에는 산업재산권 등록현황을 살펴보면, 1983년 1월에 실용신안권으로 출원된 '자동절환장치가 부설된 항공장애물 표시등'이 항공장애등과 관련되어 최초로 출원되었고, 1987년 3월에는 '항공장애등'에서 Fresnel Lens가 처음 적용된 것으로 기록되어 있다.

그러나 국내의 항공장애등이 그 사용목적에 비해서 핵심구성요소인 등구(Globe)의 최적화된 광학적 및 내구성 설계 없이 적용되고 있는 것이 현실이다.

본 연구에서는 최근에 주목되고 있는 LED 소자를 적용한 중광도 항공장애등의 등구를 3차원 모델링, 열전달 해석, 열축정 실험을 통해 등구의 최적설계

1. 일진전기(주) 조명사업부
(경기도 화성시 안녕동 112-26)
2. 일진전기(주) 충전기 기술연구소
a. Corresponding Author : ywcm@paran.com
접수일자 : 2007. 10. 26
1차 심사 : 2007. 11. 22
심사완료 : 2007. 12. 21

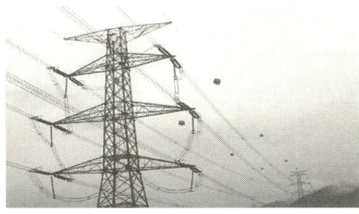


그림 1. 765 kV 송전철탑.
Fig. 1. 765 kV transmission line.

프로세서를 확립하였다. 본 연구에서는 LED 모듈에서 발생하는 열원을 기준으로 정(static) 및 과도(transient) 해석, 온도변화 시험을 수행하고 해석 및 실험 결과를 비교 분석하였다.

2. 모델링 및 열전달 해석

2.1 LED 모듈 모델링 및 제작

한전등록구대규격에는 중광도 항공장애등의 등구는 1분당 20-60회 점멸하는 적색등으로 실효광도가 1,600cd 이상이고, 램프는 LED array type으로 5단 이상으로 병렬로 적층하여 하나의 LED 단선시, 다른 LED에 미치는 영향을 최소화하는 구조로 정의하고 있다. 그림 2와 같이 Autodesk Inventor를 사용하여 중광도 LED 모듈의 3차원 모델링을 수행하였다. 한전등록구대규격에 근거하여 광원은 중광도용이고, orange-yellow 색상의 고휘도 LED를 5단(array)으로 구성하였다. 실효광도 1,600cd를 확보하기 위해 고휘도 LED 전면에 증폭 렌즈를 모델링하였다. 광학설계 프로그램 CODE V를 사용하여 렌즈의 증폭도를 해석하고 그림 3과 같이 증폭 렌즈 및 베이스 모델링을 수행하였다. 이 3차원 모델링을 기반으로 그림 4와 같이 LED 모듈을 제작하였다.

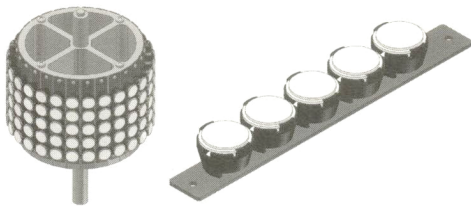


그림 2. 3차원 LED 모듈 모델링.
(고휘도 LED 5단)
Fig. 2. 3-dimensional LED module modeling.
(5-layer power LED)

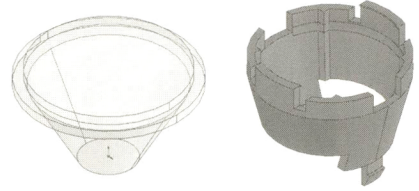


그림 3. 증폭 렌즈 및 베이스 모델링.
Fig. 3. Lens and base modeling.

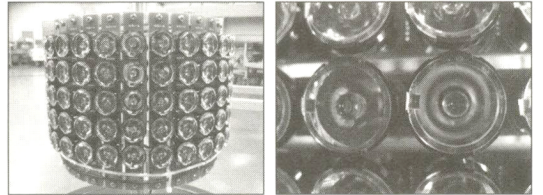


그림 4. LED 모듈 제작.
Fig. 4. LED module.

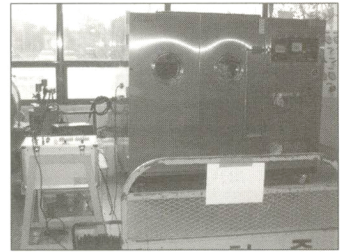


그림 5. 온도변화시험.
Fig. 5. Temperature rising test.

그림 5와 같이 중광도 LED 모듈에 대해 온도기록계(Yokogawa, $\mu R1000$)를 활용하여 광원에 의한 자체발열에 따른 온도변화를 열전대를 부착하여 측정된 결과 주위온도가 0 °C 일 때 중광도 LED 모듈의 포화온도는 36.2 °C로 측정되었다.

2.2 등구 모델링 및 열전달 해석

등구의 핵심 부품인 Globe 렌즈는 Fresnel 렌즈로, Fresnel 렌즈 형상의 적용은 근축광학에 기반을 둔 굴절능 방정식으로부터 정립할 수 있다.

본 연구에서 적용한 Fresnel 렌즈의 형상은 그림 6과 같이 시준계를 적용한 정초점방식이다. 구성은 중심 렌즈부와 복수 개의 프리즘(prism)부로 형상이 조합된 복합형 렌즈인 것이 특징이며, 중심

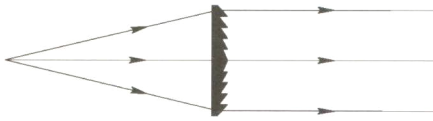


그림 6. 시준계(collimator)를 적용한 정초점 Fresnel 렌즈.

Fig. 6. Fresnel lens with collimator.

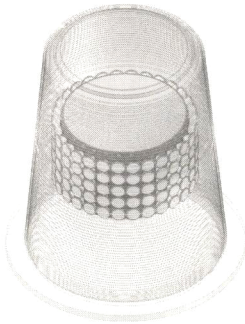


그림 7. 렌즈 모델링.

Fig. 7. Lens modeling.

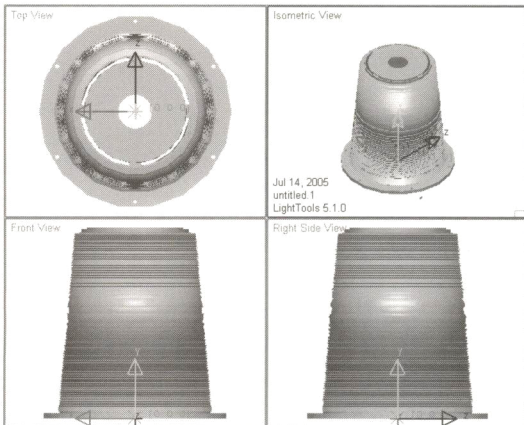
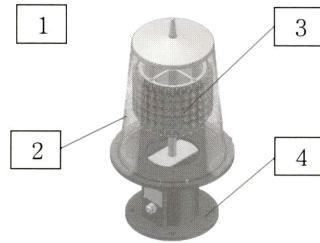


그림 8. 렌즈 형상 설계.

Fig. 8. Lens shape design.

렌즈부는 대구경 구면으로 구성되어 입사각과 굴절각이 작다. 그리고 중심 렌즈부를 기준하여 상하에 구성된 복수 개의 prism부는 광축을 중심으로 해서 대칭적으로 동심원상에 요철(凹凸)형상으로 복수개의 고리띠가 구성된 비구면 단일렌즈들이 복수 개의 프리즘들로서 연속적으로 구성된 조각



1. Bird Spike, 2. Globe 렌즈, 3. LED 모듈, 4. 알루미늄 베이스

그림 9. LED 중광도 등구.

Fig. 9. Medium intensity lamp

들로 구성되며 이들 조각들은 상이한 굴절능을 갖는 것으로 고려할 수 있다.

그림 7과 같이 Autodesk Inventor를 사용하여 기초 모델링후 광학설계 프로그램 CODE V를 사용하여 그림 8과 같이 렌즈 형상설계를 수행하였다. Autodesk Inventor와 CODE V를 통해 한전구 매규격에 적합한 렌즈를 최적 모델링하였다.

LED 모듈 및 Globe 렌즈 모델링을 기초로 하여 한전구매규격 사양에 부합하는 중광도 등구를 그림 9와 같이 모델링하였다. 등구 베이스는 열전도 특성 및 송전탑 설치 환경의 사용 강도를 고려하여 알루미늄 재질로 모델링하였다.

본 연구에서의 등구 모델은 전도 및 대류가 동시에 발생하는 열전달 복합 모델로 식(1)과 같이 지배방정식을 정의할 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} + h(T - T_{\infty}) \quad (1)$$

k : 열전도율, h : 대류열전달계수, ρ : 밀도

열전달 해석은 지배방정식 (1)에 기초하여 ANSYS 해석 프로그램을 사용하여 열전달 해석을 수행하였다.

해석용 모델은 축대칭(Axial Symmetric) 구조로 그림 10과 같이 2차원으로 단순화하여 요소를 분할하였다. 요소분할시 ANSYS 2D Thermal Solid Plane55 요소를 사용하였다. 열전도율은 표 1과 같다.

표 1. 열전도율 [W/(m°C)].

Table 1. Thermal conductivity.

물 질	K
공 기	0.024
알루미늄 베이스 (알루미늄)	202
Bird Spike (스테이렌스 스틸)	16.3
Globe 렌즈 (P.E.).	0.19

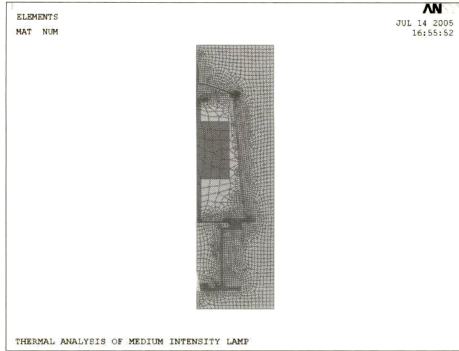


그림 10. 등구 열 해석을 위한 유한요소 분할도.
Fig. 10. Finite element for lamp thermal analysis.

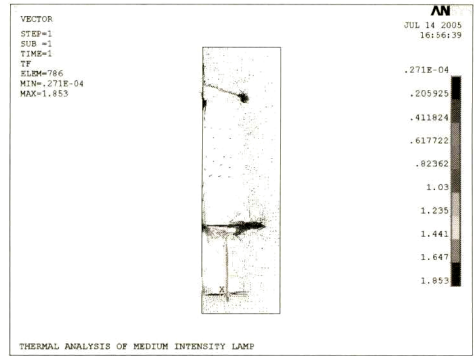


그림 13. 등구의 열속벡터도.
Fig. 13. Thermal flux vector result.

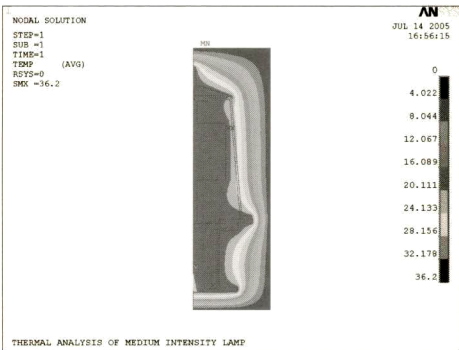
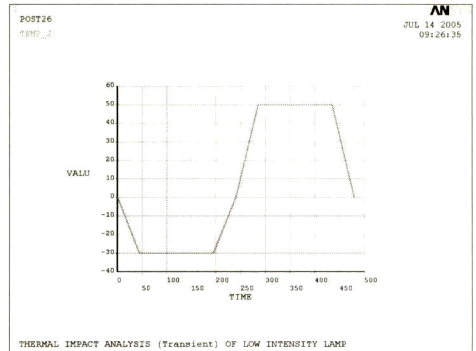


그림 11. 등구의 온도분포도.
Fig. 11. Temperature result.



- ① 0 °C에서 -30 °C까지 온도하강 (45분)
- ② -30 °C에서 온도유지 (2시간 30분)
- ③ -30 °C에서 0 °C까지 온도상승 (45분)
- ④ 0 °C에서 50 °C까지 온도 (45분)
- ⑤ 50 °C에서 온도유지 (2시간 30분)
- ⑥ 0 °C까지 온도하강 (45분)

그림 14. 열충격 해석을 위한 온도주기곡선.
Fig. 14. Temperature curve of thermal impact.

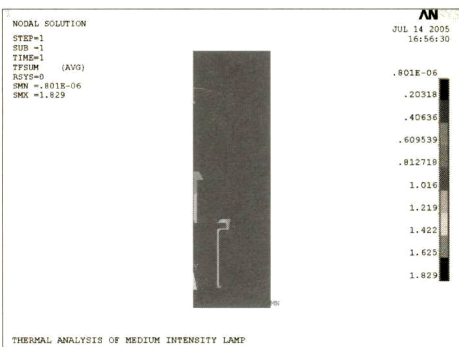


그림 12. 등구의 열속분포도.
Fig. 12. Thermal flux result.

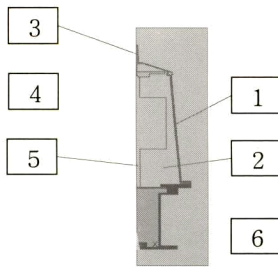
해석조건은 주위온도 0 °C, 광원인 중광도 LED 모듈에 대하여 36.2 °C 온도부하를 인가하였다. 요소

분할 및 해석조건 인가후 정(Static) 열전달 해석을 수행한 결과는 다음과 같다.

그림 11은 등구의 온도분포도, 그림 12는 등구의 열속분포도, 그림 13은 등구의 열속벡터도이다.

중광도 LED 등구에 대한 열전달 해석결과, 주된 열전달 경로는 상, 하부측에 구성된 금속부위임을 알 수 있다.

송전선로는 설치조건상 일교차 및 계절변화에 따른 온도변화가 등구의 내구성에 큰 영향을 미친다. 등구 외부에서 그림 14와 같이 한국전력공사 구매시방서에 명기된 온도에 따른 열충격을 인가



1. Globe 렌즈, 2. Air, 3. Bird Spike, 4. LED 모듈 상부, 5. LED 모듈 하부, 6. 알미늄 베이스

그림 15. 열충격해석 측정부위.

Fig. 15. Points of thermal impact analysis.

하여, 등구의 각 구성요소들의 반응온도에 대한 해석을 수행하였다. 열충격은 시간에 따른 온도변화로 과도(Transient) 열전달 해석을 수행하였다.

광원인 중광도 LED 모듈을 온도기준으로 설정하여 36.2 °C를 인가한 상태에서 해석을 실시한 결과는

다음과 같다. 해석을 위한 측정부위는 총 6개소 Globe 렌즈, Air, Bird Spike, LED 모듈 상부측, ⑤는 LED 모듈 하부측, ⑥은 Base이다.

그림 16-22는 그림 14와 같이 시간에 대한 변화에 따른 해석결과들이다.

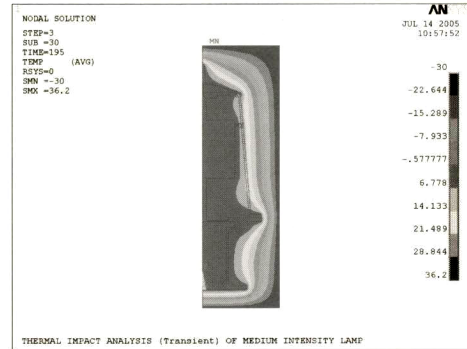


그림 18. 온도분포도(시간 = 195분).

Fig. 18. Temperature result(time = 195 min).

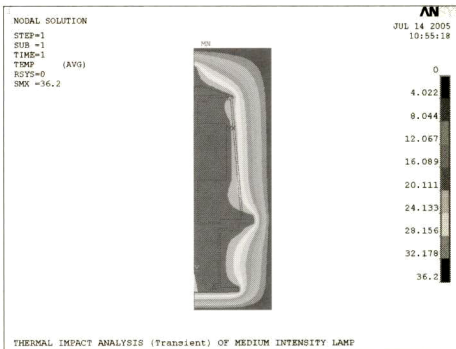


그림 16. 온도분포도(시간 = 0분).

Fig. 16. Temperature result(time = 0 min).

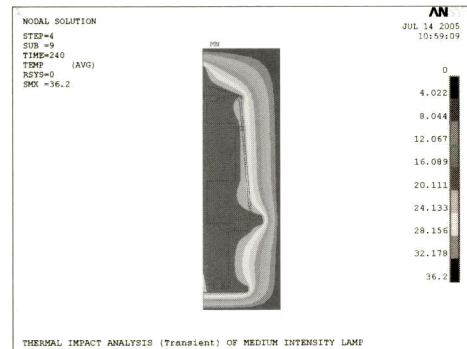


그림 19. 온도분포도(시간 = 240분).

Fig. 19. Temperature result(time = 240 min).

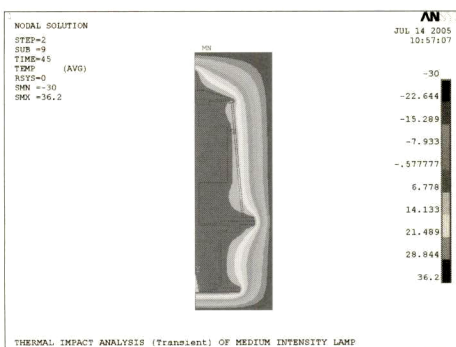


그림 17. 온도분포도(시간 = 45분).

Fig. 17. Temperature result(time = 45 min).

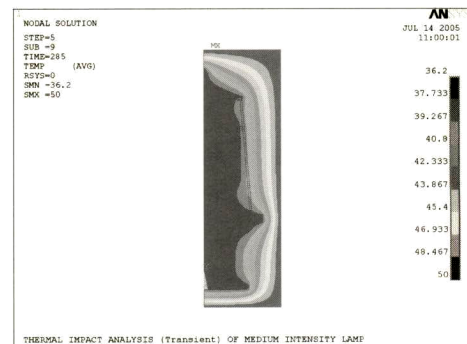


그림 20. 온도분포도(시간 = 285분).

Fig. 20. Temperature result(time = 285 min).

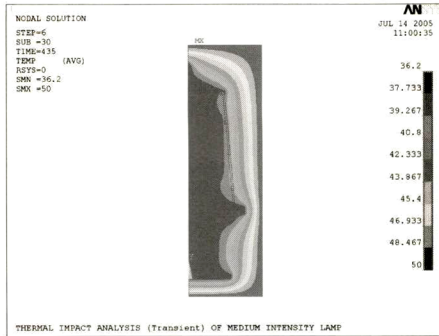


그림 21. 온도분포도(시간 = 435분).
Fig. 21. Temperature result(time = 435 min).

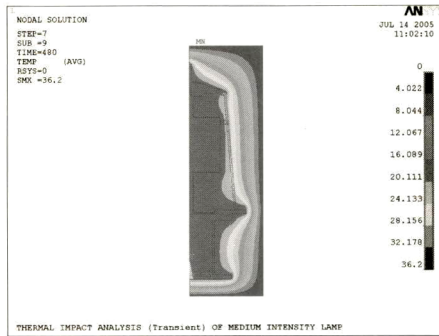


그림 22. 온도분포도(시간 = 485분)
Fig. 22. Temperature result(time = 485 min).

그림 23-29는 시간별 중광도 LED 모듈에 대한 요소별 온도 특성 그래프이다. 중광도 LED 등구의 과도해석 결과 온도반응특성 그래프를 분석결과, 외부 열충격에 대해 Globe 렌즈가 Air, Bird Spike, LED 모듈 상부, LED 모듈 하부, 알미늄 베이스에 비해 약 33 % 온도반응정도가 높았다.

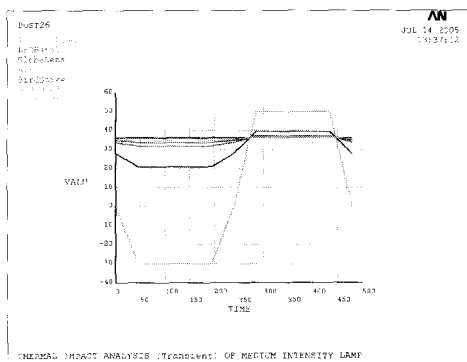


그림 23. 과도(Transient) 온도반응특성.
Fig. 23. Transient temperature response.

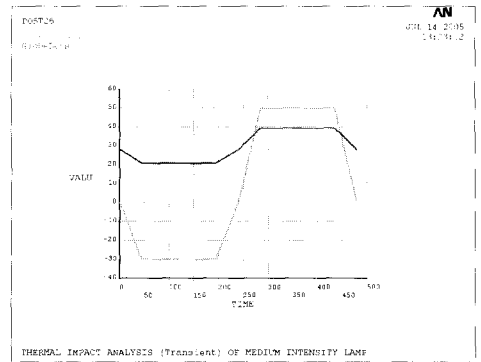


그림 24. 온도반응특성(Thermal load vs globe).
Fig. 24. Temperature response(Thermal load vs globe).

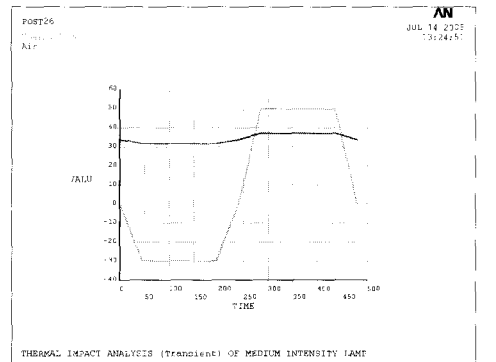


그림 25. 온도반응특성(Thermal Load vs Air).
Fig. 25. Temperature response(Thermal Load vs Air).

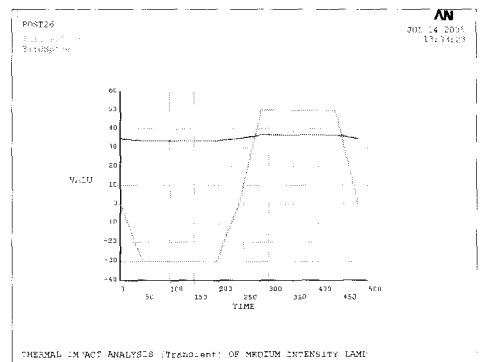


그림 26. 온도반응특성.
(Thermal load vs Bird spike)
Fig. 26. Temperature response.
(Thermal load vs Bird spike)

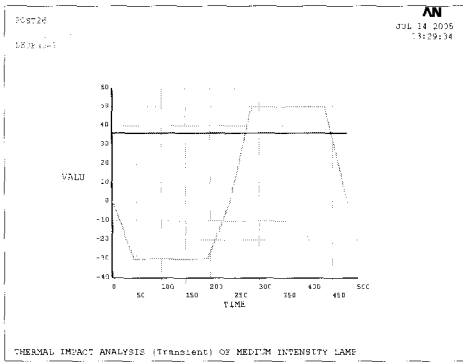


그림 27. 온도반응특성.
(Thermal Load vs LED 모듈 상부측)
Fig. 27. Temperature response.
(Thermal Load vs upper LED module)

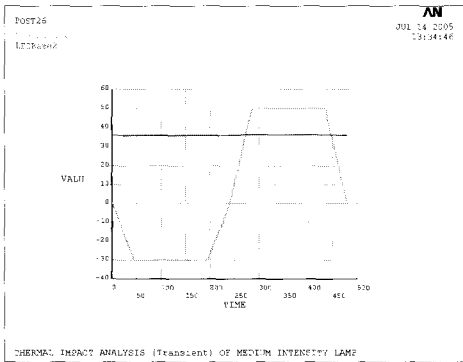


그림 28. 온도반응특성.
(Thermal Load vs LED 모듈 하부측)
Fig. 28. Temperature response.
(Thermal Load vs lower LED module)

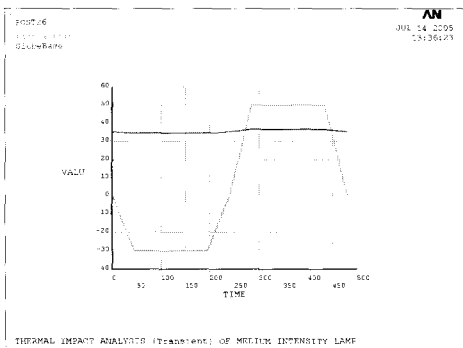
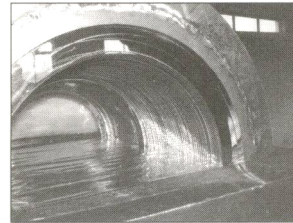
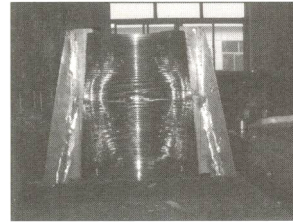


그림 29. 온도반응특성.
(Thermal Load vs Globe Base)
Fig. 29. Temperature response.
(Thermal Load vs Globe Base)



(a) 몸체부(Body Part, ①)



(b) 몸체부(Body Part, ②)



(c) 슬라이드 코어(Slide Core)



(d) Globe

그림 30. 금형 및 Globe 렌즈.
Fig. 30. Mold and globe lens.

2.3 등구 제작

등구의 핵심 부품인 Globe 렌즈를 사출하기 위한 금형을 그림 30과 같이 제작하여 렌즈를 사출하였다.

기제작된 중광도 LED 모듈과 Globe 렌즈를 사용하여 그림 31과 같이 중광도 LED 등구를 제작하였다.

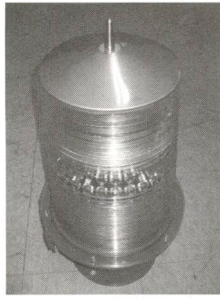


그림 31. 중광도 LED 등구.
Fig. 31. Medium intensity LED lamp.

3. 실험 및 비교 분석

3.1 실험

그림 31과 같이 항온조내 중광도 LED 등구 및 제어함을 설치하고 주위온도를 0 °C로 설정하고 온도기록계를 사용하여 각 부 온도를 측정하였다. 열전대를 사용하여 온도기록계로 각 측정부위를 측정한 oscillogram은 그림 33과 같다. 측정 보조 수단으로 그림 34와 같이 열화상 카메라를 사용하여 등구 주위의 열을 측정하였다.

상기 정(Static) 및 과도(Transient) 열전달 해석을 기준으로 하여 실험을 실시하였다.

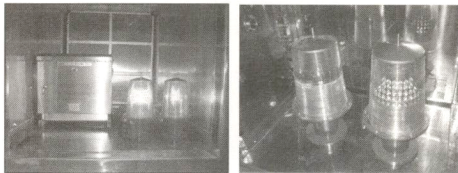


그림 32. 항온조내 등구 및 제어함.
Fig. 32. Lamp and control box in constant temperature chamber.

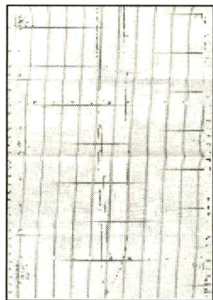


그림 33. 온도측정결과 oscillogram.
Fig. 33. Temperature rising test result oscillogram.

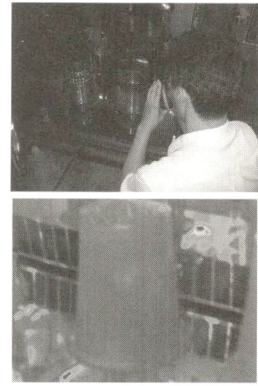
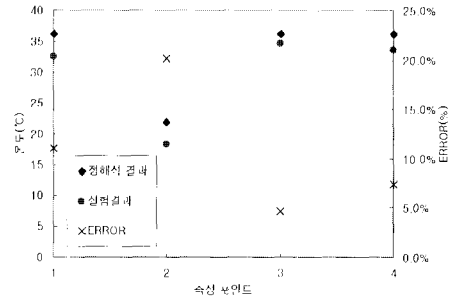


그림 34. 열화상 카메라 측정
Fig. 34. Thermal camera measurement.



1. Bird Spike, 2. Globe 렌즈,
3. 중광도 LED 모듈, 4. 알루미늄 베이스

그림 35. 정열전달 해석 v.s. 실험 비교.
Fig. 35. Static thermal analysis v.s. experiments.

3.2 비교분석 - Static thermal analysis

정(Static) 열전달 해석 및 실험 결과를 그림 34와 같이 비교하였다.

그림 32와 같이 열전도율이 상대적으로 높은 상하부 금속부품(알루미늄, 스테인레스 스틸)보다 열전도율이 상대적으로 낮은 렌즈(P.E.)에서 해석 및 실험 오차가 크게 나타났다. 이것은 금속(알루미늄, 스테인레스 스틸)과 P.E.의 열전도율 불평등으로 인한 오차에 기인한 것이다.

3.3 비교분석 - Transient thermal analysis

온도 변화에 따른 열충격 실험의 경우 실험 장비 제약으로 온도변화시험후인 최종 480분 후에 포화온도를 측정해야 한다. 따라서, 해석은 과도해석이 가능하나 실험장비의 제약으로 온도변화 과정에서 포화온도측정에 어려움이 있어 최종 480분 후에 포화온도를 측정하였다.

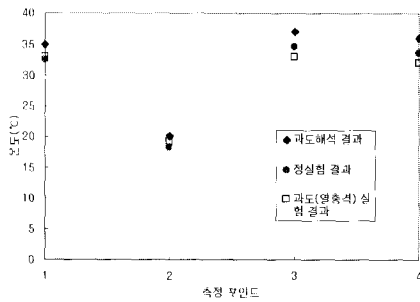


그림 36. 과도 열전달 해석 v.s. 실험(정/과도) 비교.
 Fig. 36. Transient thermal analysis v.s. experiments.

해석결과 각부 온도반응특성은 그림 23-29와 같고, 그림 33과 같이 열충격 실험 측정 포화온도는 정(Static) 열전달 해석 및 실험결과 비교 분석과 유사한 결과를 얻었다. 이것은 열충격에 의한 열변형이 없음을 의미하고, 최적모델링에 의한 내구성 검증임을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 광학 및 구조 모델링 프로그램을 사용하여 LED 모듈과 Globe 렌즈 모델링을 최적화하였다. 또한 열전달 해석을 통해 열전달 경로를 규명하였다. 광학설계, 구조 모델링 및 열전달 해석을 통해 최적화된 모델링을 근거로 렌즈급형을 제작하고 열전달해석과 동일한 조건으로 온도변화 시험을 통해 항공장애등 등구 최적화를 뒷받침했다.

본 연구를 통해 송전철탑 항공장애등의 핵심구성요소인 등구의 광학설계, 구조 모델링 및 열전달

해석을 통한 최적설계 프로세서를 확립하였다. 본 연구에서 확립한 송전철탑 항공장애등 등구 설계 프로세서를 기반으로 향후 수요자가 요구하는 다양한 모델의 제품을 생산할 수 있는 독자적인 설계기법을 구축할 수 있게 되었다.

본 연구 이전에는 국외의 모델을 모방하는 수준을 이제는 탈피하여 명실상부한 독자적인 모델과 다양한 설계 및 제작이 가능한 기반기술의 구축과 그 기틀을 마련한 뜻 깊은 전환기를 조정하였다고 판단된다.

참고 문헌

- [1] 한전등록구매규격, “태양전지식 LED 항공장애등”, 구매시방서 등록번호 274-2, 2005. 6 개정.
- [2] ÖZİŞİK, HEAT TRANSFER, Mc Graw Hill, 1985.
- [3] ANSYS, ANSYS Release 11.0 Documentation, Element reference.
- [4] ANSYS Release 11.0 Documentation, Thermal Analysis Guide.
- [5] 이성출, “플라스틱 사출 성형 조건 CONTROL 법”, 기전연구서, 2001.
- [6] 홍명용, “플라스틱 편람”, 기전연구사, 1989.
- [7] Ishaque S. Mehya, Patrick J. George, and Mark O'Neill, “High voltage solar concentrator experiment with implications for future space missions”, Solar Power from Space and 5th Wireless Power Transmission Conference -6/30-7/2/04-Granada, Spain.
- [8] M. J. O'Neill et al., “Development of the ultra-light stretched lens array”, 29th IEEE PVSC, New Orleans, 2002.