



공학석사 학위논문

Spotlight용 200W급 COB LED Retrofit Engine 설계 및 최적화



부경대학교 과학기술융합전문대학원

LED융합공학전공

서 우 진

Spotlight용 200W급 COB LED Retrofit Engine 설계 및 최적화

지도교수 최 희 락

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2018 년 2 월

부경대학교 과학기술융합전문대학원

LED융합공학전공

서 우 진

서우진의 공학석사 학위논문을 인준함



목	차	

제	1장서 론1
	1.1 연구 배경 및 목적1
	1.2 선행 연구
	INTIONAL
제	2 장 관련 이론
	2.1 LED(Light-Emitting-Diode)6
	2.1.1 LED의 특징6
	2.1.2 COB LED의 특징6
	2.2 열전달 메커니즘9
	2.2.1 전도
	2.2.2 대류
	2.2.3 방사
	2.3 Heat pipe
	2.3.1 모세관 현상
	2.3.2 작동유체
	2.3.3 히트파이프의 윅(Wick) 구조
	2.3.4 히트파이프의 열전달 제한
	2.4 열관리
	2.4.1 열관리의 목적
	2.4.2 LED의 접합온도 및 열저항20

25	방옄설계	 24
$\Delta.O$	방혈쐴계	 _ <u>Z</u> 2

제 3 장 실험방법
3.1 Spotlight LED 방열 엔진의 구성 ······25
3.1.1 광원
3.1.2 히트파이프
3.1.3 냉각팬
3.2 COB LED 패키지 특성분석
3.2.1 COB LED 패키지 선정
3.2.2 COB LED 열저항 및 접합온도 측정 방법
3.2.3 광학적 특성 측정 방법
3.3 히트파이프의 설계 및 선정방법
3.4 방열 엔진의 최적화 방법34
3.5 열해석 시뮬레이션 방법
제 4 장 실험 결과 및 고찰
4.1 COB LED 특성 분석
4.1.1 COB LED 광 특성 분석
4.1.2 COB LED 열 특성 분석41
4.2 200W급 COB LED 방열 엔진 설계 분석42
4.2.1. 히트파이프 개수에 따른 설계 분석42
4.2.2. 방열 엔진의 방열 핀 설계 분석43
4.3 200W급 COB LED 방열 엔진의 열해석46
4.3.1. 시뮬레이션 분석46
4.3.2. 온도 기록계 측정 결과49

4.3.3.	냉각	패	유속에	따른	열해석		51
1.0.0.	0 1	<u> </u>	11 1 1		モ 川 川	i i i i i i i i i i i i i i i i i i i	

· 결 론 ·······57	-	제 5 장	
		삼고문헌	
	••••	Abstract	



표 차 례

표	2.1	광원의 성능비교
표	2.2	작동유체의 종류
표	2.3	광원별 에너지 변환
표	2.4	PCB별 열전도도
표	2.5	물질별 열전도도
표	3.1	COB LED의 전기 광학적 특성
표	3.2	COB LED의 연색성 ~~~~~ 29
표	3.3	히트파이프 사양
표	3.4	열 해석에 사용된 물성 값
표	4.1	COB LED 특성 분석
표	4.2	COB LED의 열저항과 접합온도
표	4.3	히트파이프 개수에 따른 표면온도 변화42
표	4.4	방열 핀 개수에 따른 표면온도 변화43
표	4.5	방열 엔진의 온도기록계측정 결과49
		a ch a

그림차례

그림	2.1	백색 LED를 만드는 방법7
그림	2.2	COB LED 방열의 개념도
그림	2.3	히트파이프의 동작 원리
그림	2.4	유리관 안에서 물과 수은의 모세관 현상
그림	2.5	히트파이프의 균질 윅 구조
그림	2.6	히트파이프의 복합 윅 구조
그림	2.7	히트파이프의 열전달 제한 사항
그림	3.1	할로겐램프 스포트라이트(ETS SOURCE FOUR 모델)26
그림	3.2	할로겐램프 스포트라이트 구성
그림	3.3	실험에 사용된 COB LED 패키지
그림	3.4	열저항 측정 시스템 (T-3ster)
그림	3.5	광 특성 측정 장치
그림	3.6	방열 엔진의 시뮬레이션 모델
그림	3.7	실험에 사용된 냉각 팬 사양
그림	3.8	실험에 사용된 냉각 팬 Duty cycle 곡선
그림	4.1	COB LED 색좌표
그림	4.2	COB LED 스펙트럼
그림	4.3	방열 엔진의 단면도
그림	4.4	방열 엔진의 설계도45
그림	4.5	방열 엔진의 측정위치별 온도46
그림	4.6	방열 엔진의 온도분포 시뮬레이션47
그림	4.7	방열 엔진의 유속 시뮬레이션48
그림	4.8	방열 엔진의 온도기록계측정 결과49

그림	4.9 방열 엔진의 온도기록계 측정 포인트	50
그림	4.10 방열 엔진의 냉각팬 사용에 따른 온도 변화	51
그림	4.11 온도와 유속 시뮬레이션	52
그림	4.12 온도와 유속 시뮬레이션	53
그림	4.13 온도와 유속 시뮬레이션	53
그림	4.14 팬 속력에 따른 표면온도	54
그림	4.15 온도와 유속 시뮬레이션	55
그림	4.16 온도와 유속 시뮬레이션	56
그림	4.17 온도와 유속 시뮬레이션	56



제1장서 론

1.1 연구 배경 및 목적

현재 지구온난화와 같은 환경오염 문제로 인해 효율적인 에너지 사용 과 친환경적인 제품의 개발이 이루어지고 있다. LED (Light Emitting Diode)는 친환경적이며 기존의 광원인 형광램프나 백열전구에 비해 장수 명이다[1]. 따라서 조명분야에서 LED를 활용한 다양한 연구가 진행되고 있다. 그러나 LED의 전력 소모량은 약 70 %가 폐열로 전환된다. 폐열이 효과적으로 방출되지 않으면 고온으로 인해 LED칩의 불량이 발생하고 수명이 단축된다[2]. LED의 폐열은 일반적으로 열전도를 통해 LED 기판 에서 히트싱크로 전달 된 다음 열대류에 의해 히트싱크 편에서 공기로 전 달된다. 열대류는 두 가지 냉각 메커니즘이 사용된다. 하나는 고온 편과 대기 사이의 온도차를 이용하여 추가적인 전력요소가 필요 없는 자연 대 류의 방법과 다른 하나는 공기 구동장치를 사용하여 능동적인 냉각을 이 끌기 위한 강제 대류의 방법이 있다. 강제 대류 방법은 고출력 LED의 냉 각 시스템에 주로 사용되며 높은 출력을 요구하는 전자제품의 수요가 늘 고 있어 그에 따른 효율적인 방열에 관한 연구가 필요하다[3].

히트파이프는 가장 효과적인 열전달 기술들 중의 하나로서 인정되고 있다. 히트파이프는 가열부에서 냉각부로 일정한 온도를 유지하면서 열전 달을 가능하게 하는 열전도도가 매우 높은 구조체이다. 따라서 각종 냉각 기술 및 열 회수기술의 고성능화가 가능하므로 첨단 전자부품 및 반도체 냉각장치에 매우 중요한 기술로 응용되고 있다. 또한 잠열에 의해 열을 수송하므로 열교환에서 발생하는 열저항의 최소화로 냉각효과를 크게 할 수 있는 장점이 있고, 구동력이 필요하지 않기 때문에 반영구적으로 사용 이 가능하여 반도체, 통신장비, 가전제품, 항공우주산업 등에 매우 광범위 하게 사용이 가능한 기술이다[4].

본 논문에서는 200W급 고출력 COB LED를 무대조명에 적용하였다. 높은 출력을 필요로 하는 무대조명의 경우 기존의 할로겐램프 조명에서 LED로 전환하는데 방열 문제로 인해 다른 조명 제품에 비해 개발이 느 린 실정이다. 또한 무대조명은 가격이 고가이므로 LED 제품으로 교체하 기가 어려운 실정이다. 이를 해결하기 위해 히트파이프와 팬을 이용하여 방열설계를 하고, 기존의 무대조명을 활용하여 LED엔진만 교체하면 사용 할 수 있도록 설계목표를 설정하였다. 방열성능은 CFD (Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션을 이용하여 설계를 수정하였고, 이를 바탕으 로 시제품을 제작하고 방열성능을 비교분석 하였다.



1.2 선행 연구

현재 기술의 발전으로 인해 효율이 우수하고 유지 보수가 편리한 LED 가 기존광원을 대체하여 많은 제품이 LED로 개발되고 있다. 하지만 LED는 에너지의 60~70%가 열로 방출되므로 방열로 인한 문제점이 속출하고 있다. 따라서 LED에서 발생하는 열을 효율적으로 방열하는 시스템의 연구가 필 요하다. LED의 방열에 관한 국내 및 국외의 연구는 아래와 같다.

강창수 [5] 등은 조명용 LED 모듈과 히트싱크 장치의 방열 특성을 확인 하기 위한 수치 시뮬레이션을 하였다. 해석 케이스는 200 W급의 가로등 또 는 보안등용 조명장치이며 용도에 따라 장치의 자세가 달라짐을 고려하여 발광면이 정상부를 향하는 경우와 정하부를 향하는 경우로 나누어서 해석 이 진행되었고, 또한 발열소자의 체적이 큰 경우와 작은 경우로 나누어 해 석하였다. 해석 결과 현재의 히트싱크 형상으로 충분히 LED의 발열량을 외 부로 배출시킬 수 있음을 확인하였고, 장치의 자세와 발열소자의 크기에 따 라 방열 성능의 차이가 나타남을 조사하였다.

정태성 [6] 등은 LED 칩의 높은 열 발생은 수명의 감소, 발광 효율의 저 하 및 색온도의 변화를 유발할 수 있으므로 LED 패키징 및 방열판의 최적 화에 대한 연구가 수행되었습니다. 본 연구에서는 자유 대류에서 LED 조명 시스템의 열 특성을 분석하기 위해 LED의 열 발생율 및 히트 싱크의 냉각 성능을 측정하는 실험을 수행했다. 그 결과, LED 조명의 냉각 장치를 설계 하기위한 지침으로 Nusselt number와 Rayleigh number를 이용하여 자연 대류에서 방열판의 냉각 성능에 대한 무 차원 상관 관계가 제안되었다.

- 3 -

황순호 [7] 등은 LED 조명기기의 경우 칩의 고밀도 발열로 인한 심각 한 수명감소 및 광효율 저하, 색온도 변이의 문제점 등이 야기되므로 이를 해결하기 위해 주로 LED 패키지나 방열케이스를 최적화하는 연구가 이루 어져 왔다. 최근들어 고출력 자동차 헤드램프나 가로등도 LED로 대체되어 가고 있는데 자연대류식 방열로는 그다지 효과적이지 않다. 따라서 본 연구 에서는 고출력 조명기기 방열 성능 최적화에 강제대류를 이용한 히트파이 프 사용의 타당성을 알아보았다. 또한, 팬의 수명이 LED 수명에 비해 일반 적으로 낮으므로 이를 보완하기 위한 최적화된 팬의 정지-작동 제어가 팬 수명 증가에 미치는 영향도 고찰하였다.

Lin. Z [8] 등은 평행 및 사각 채널로 구성된 알루미늄 판 진동 히트 파이 프 (OHP)의 열전달 특성을 조사하기 위한 실험적 연구가 수행되었다. 크기, 다른 횡단면 및 다른 회전수를 고려했습니다. 실험에서 아세톤은 작동 유체 로 사용되었습니다. 가열 모드 방향, 냉각 조건 및 내부 구조의 영향에 대한 연구는 시각화 관찰 및 열 성능 테스트를 통해 수행되었습니다. 시험 결과 는 중력이 플레이트 OHP의 열 성능에 크게 영향을 미침을 보여주었습니다. 냉각 온도를 높이면 판재 OHP의 열 저항이 감소합니다. 선회 수 및 채널 단면적을 증가 시키면 플레이트 OHP의 열 수송 능력을 향상시킬 수 있습 니다. 플레이트 OHP를 갖는 히트 싱크는 LED (Light Emitting Diode) 냉 각을 위해 개발되었으며, TDP (Thermal Design Power)는 64W였다. 그 결 과, LED의 온도는 판 OHP는 LED 방열판에 사용되었습니다.

YS Liu [9] 등은 본 연구의 목적은 FHP (Flat Heat Pipe)를 이용한 고출 력 LED (Light Emitting Diode) 패키지의 열적 특성을 개선하는데 있다. 고 전력 LED 패키지의 열 방출 특성을 분석하고 고전력 LED 용 신규 평면 히

- 4 -

트 파이프 (FHP) 냉각 장치를 개발했습니다. 플랫 히트 파이프 히트 싱크 가 있는 고출력 LED 패키지의 기동 성능, 온도 균일 성 및 열 저항을 포함 한 열 성능이 실험적으로 조사되었습니다. 얻어진 결과는 3W의 입력 전력 에 대해 LED의 접합부 온도가 약 52 ℃임을 나타내며, 따라서 LED 시스템 의 전체 열 저항은 8.8K / W이다. 히트 파이프의 열전달 성능에 대한 히트 파이프의 상이한 충전 속도 및 경사각의 영향은 히트 파이프 냉각 시스템의 이러한 구조가 고전력 LED 시스템을 냉각 시키는데 사용되기 전에 평가되 어야한다.



제 2 장 관련 이론

2.1 LED(Light-Emitting-Diode)

2.1.1 LED의 특징

LED는 p형 반도체와 n형 반도체가 접합된 소자이며, 순방향으로 전압 을 걸어 주었을 때 단과장광(monochromatic light)이 방출되는 전기발광 효과(electroluminescence)를 이용한 반도체 소자이다.

LED는 각각 음과 양의 성질을 가진 p형 반도체와 n형 반도체를 접합 시키면 접합부위에 활성층(공핍층)이 형성된다. 이 활성층에서 전자와 정 공이 만나면서 빛을 발산한다. 전류 주입 효율을 높여주기 위해 양자우물 구조를 형성하며 이는 전자의 운동을 2차원적인 우물구조에 속박하게 하 여 활성층에서 반응을 더욱 촉진시킨다. 또한 활성층의 물질에 따라 발광 파장이 다르고 파장에 따라 빛의 색상이 달라진다. 3원계 및 4원계 화합 물의 활성층 물질조성을 달리하면 발광색이 달라지며, 모든 색상을 구현 할 수 있다[10].

LED는 기존 광원인 형광등, 백열등, 나트륨등, 할로겐등 등과 비교 했 을 때 광 효율이 높아 소비전력이 적으며 수명은 50,000시간 이상으로 장 수명이다. 또한 응답 속도가 매우 빠르고 안전하며, 수은과 같은 유해한 성분이 없어 친환경적이다. 또한 가시광선, 적외선, 자외선의 모든 파장대 의 빛을 만들 수 있어 그 응용범위가 매우 넓다. 하지만 기존 조명에 비 해 가격이 높고 열에 취약하며 SMPS와 같은 장치가 필요하다[11].



그림 2.1 백색 LED를 만드는 방법

Fig. 2.1 Variety of ways to make the white LED

표 2.1 광원의 성능비교

Table 2.1 Comparison of light sources of performance

전통조명	LED조명	비고
단색	다색 / 밝기단계조절	11
느린 반응속도 (형광등1~3초)	빠른 반응속도 (~10나노초)	지능, 감성조명
소형화 어려움	소형, 슬림화	휴대폰 등 적용가능
광 효율 낮음 (백열등5%, 형광등40%)	광 효율 높음 (최고 90%잠재효율)	CO2저감
수은사용	무 수은	친환경
짧은 수명 (3~5천 시간)	긴 수명 (5~10만 시간)	유지관리 용이
내열 성능 우수	열에 취약	방열석계 필요
저가격	고가격	보급애로

2.1.2 COB(Chip on Board) LED의 특징

COB LED는 LED 패키징 단계를 제거하고 노출 된 LED 칩을 직접 PCB에 장착 한 다음 와이어 본딩을 통해 전기 연결을 달성함으로써 보다 효율적인 LED 제조공정을 제공한다. COB 칩은 일반적으로 9개 이상의 다이오드를 가지고 있다. COB칩은 다이오드의 수에 관계없이 회로가 1개 이고 접점이 2 개뿐이며 간단한 최소 설계로 인해 COB LED 라이트의 패널과 같은 모양이 생긴다. 그러나 COB LED는 2 개의 접점과 1개의 회로 만 있기 때문에 색상변경을 할 수 없다. 이 때문에 COB LED 조명 은 단일 색상 응용에서는 효율적이지만 다양한 색상을 응용하는 기술에는 효율적이지 않다. 하지만 COB LED는 에너지 사용 측면에서 기존 SMD LED에 비해 우수한 성능을 가지며 적은 에너지로 많은 양의 루멘을 생 산 할 수 있다[12].



그림 2.2 COB LED 방열의 개념도 Fig. 2.2 Conceptual diagram of COB LED heat radiation

2.2 열전달 메커니즘

2.2.1 전도(Conduction)

전도는 직접 분자 충돌을 통해 열을 전달한다. 보다 큰 운동 에너지 영역은 운동 에너지가 낮은 영역으로 열에너지를 전달한다. 고속 입자는 속도가 느린 입자와 충돌한다. 결과적으로 속도가 느린 입자는 운동 에너 지가 증가한다. 전도는 열전달의 가장 일반적인 형태이며 물리적 접촉을 통해서 발생한다. 예를 들면 손을 창문에 대고 화구에 금속을 놓는 것과 같다[13].

열전도 과정은 온도 구배, 재료의 단면적, 이동 경로의 길이 및 물리적 재료 특성에 따라 달라진다. 온도 구배는 열 이동의 방향과 속도를 나타 내는 물리량이다. 온도 흐름은 항상 가장 뜨거웠던 것에서 가장 차가운 것까지 또는 운동 에너지를 높이기 위해 발생한다. 두 온도차 사이에 열 평형이 이루어지면 열전달이 중지된다.

횡단면과 이동경로는 모두 전도에 중요한 역할을 하며, 물체의 크기와 길이가 클수록 물체를 가열하는데 더 많은 에너지가 필요하다. 그리고 노 출 된 표면적이 클수록 더 많은 열이 손실된다.

물리적 특성에 따라 어떤 재료가 다른 재료보다 열을 더 잘 전달하는지 가 결정된다. 특히, 열전도율 계수는 금속 물질이 전도와 관련하여 천보다 열 전도성이 우수함을 나타낸다. 식 (2.2.1)은 열전도율의 계산식이다[14].

 $Q = [kA(T_h - T_c)]/d$ (2.2.1)

Q는 단위 시간당 열전달, k는 배리어의 열전도율, A는 열전달 영역, Th는 높은 온도, Tc는 낮은 온도, d는 장벽의 두께를 나타낸다.

2.2.2 대류(Convection)

공기 또는 액체와 같은 유체가 가열되어 열원에서 멀어지면서 열에너 지를 전달한다. 이러한 유형의 열전달은 대류라고 한다. 고온 표면 위의 유체가 팽창하고 덜 치밀해져서 올라간다.

분자 수준에서 분자는 열에너지를 가해주면 팽창한다. 주어진 유체 질 량의 온도가 증가함에 따라, 유체의 부피는 같은 인자만큼 증가해야한다. 유체에 대한 이러한 영향은 변위를 유발한다. 즉각적인 열기가 높아지면 서 밀도가 높고 차가운 공기가 배출된다[15]. 이러한 현상은 대류가 형성 되는 방법을 나타낸다. 대류 속도 방정식은 식 (2.2.2)와 같이 계산된다.

 $Q = h_c A \left(T_s - T_f \right)$

(2.2.2)

Q는 단위 시간당 열전달, hc는 대류 열전달 계수, A는 표면의 열전달 영 역, Ts는 표면의 온도, Tf는 유체의 온도를 나타낸다.

히터는 고전적인 대류 예제이다. 히터가 바닥 근처에서 공기를 가열 하면 공기는 온도가 상승하고 팽창하여 압력이 낮은 위로 올라간다. 그러 면 차가운 공기가 다시 아래로 내려오면서 대류현상이 일어난다.

2.2.3 방사(Radiation)

열복사는 전자파 방출로 인해 발생한다. 이 파들은 발광하는 물체로부 터 에너지를 멀리 운반한다. 복사는 진공 또는 투명 매체 (고체 또는 유 체)를 통해 발생한다. 열방사는 물질에서 원자와 분자가 무작위로 움직이 는 직접적인 결과이다. 전하 된 양성자 및 전자의 이동은 전자기 방사의 방출을 초래한다[16].

모든 재료는 온도에 따라 열에너지를 방출한다. 개체가 뜨거우면 더 많이 방출되며, 태양은 태양계에 열을 전달하는 열방사의 명확한 예이다. 보통의 실내 온도에서 물체는 적외선으로 방사한다. 물체의 온도는 방사 되는 파의 파장과 주파수에 영향을 미치고, 온도가 증가함에 따라 방출 된 방사선의 스펙트럼 내의 파장이 감소하고 고주파 방사선으로보다 짧은 파장을 방출한다[17]. 열 방사선은 식 (2.2.3)인 Stefan-Boltzmann 법칙을 사용하여 계산된다.

 $P = \varepsilon \sigma A \left(T_s^4 - T_f^4 \right)$

(2.2.3)

여기서 P는 순 복사 전력, A는 방사 영역, Ts는 라디에이터의 온도, Tf 는 주위 온도, e 는 방사율, σ 는 스테판 상수를 나타낸다.

이상적인 방사체의 방사율 값은 1이고, 일반적인 방사율은 값이 낮다. 양극 처리된 알루미늄은 0.9의 방사율 값을 가지지만 구리는 0.04이다.

2.3 히트파이프(Heat pipe)

일반적인 히트파이프는 양쪽 끝이 닫힌 튜브형 금속 구조로 제작된 다. 히트파이프는 증발기, 열 수송기, 응축기의 세 가지 필수 부분으로 구 성된다. 히트파이프의 내부에는 작동유체가 들어있고, 증발부에 열이 가해 지면 작동유체가 열을 흡수하여 증발된다. 증발된 작동유체는 압력이 낮 은 단열 수송구역을 지나 응축기로 이동한다. 응축기에서 증기가 응축되 어 잠열이 방출된다. 응축된 작동유체는 윅구조에 의한 모세관압력으로 인해 다시 증발기로 이동하여 사이클이 반복된다[18].



그림 2.3 히트파이프의 동작 원리

Fig. 2.3 The operating principle of heat pipe

2.3.1 모세관 현상(Capilary phenomenon)

모세관 현상은 액체가 중력과 같은 외부 힘의 도움을 밪지 않고 좁은 공간에서 흐를 수 있는 능력이다. 페인트 브러시의 모발, 얇은 튜브, 종이 와 같은 다공성 물질, 액화 탄소 섬유와 같은 일부 비 다공성 물질 및 셀 내에서의 액체의 생성에서 그 효과를 볼 수 있다. 이것은 액체와 고체 주 변 표면 사이의 분자가 인력 때문에 발생한다. 튜브의 직경이 충분히 작 으면, 표면장력과 액체와 용기 사이의 접착력의 조합이 액체를 들어 올리 는 역할을 한다[19].

수은과 유리와 같은 몇 가지 재료의 경우, 액체 내의 분자간 힘은 고 체와 액체 사이의 분자간 힘을 초과하므로 볼록한 반월 형태로 모세관현 상이 역으로 일어난다.



그림 2.4 유리관 안에서 물과 수은의 모세관 현상 Fig. 2.4 Capillary action of water compared to mercury, in each case with respect to glass

2.3.2 작동유체(Working fluid)

작동 유체의 선택은 유체의 특성과 직접적으로 연관이 있다. 이 특성 은 열을 전달하는 능력과 케이스 및 심지 재료와의 호환성이 고려되어야 한다[20].

- 윅 및 벽 재료와의 호환성
- 우수한 열 안정성
- 심지 및 벽재의 젖음성
- 작동 온도 범위에서 지나치게 높거나 낮은 증기압
- 높은 잠열
- 높은 열전도율
- 낮은 액체 및 증기 점도
- 높은 표면 장력

표 2.2 작동유체의 종류

Table 2.2 Type of working fuid

Medium	Melting Point (°C)	Boiling Point at Atm, Pressure (℃)	Useful Range (℃)
Helium	-271	-261	-271to-269
Nitrogen	-210	-196	-203to-160
Ammonia	-78	-33	-60to100
Acetone	-95	57	0to120
Methanol	-98	64	10to130
Flutec PP2	-50	76	10to160
Ethanol	-112	78	0to130
Water	0	100	30to200
Toluene	-95	110	50to200
Mercury	-39	361	250to650
Sodium	98	892	600to1200
Lithium	179	1340	1000to1800
Silver	960	2212	1800to2300

2.3.3 히트파이프의 윅(Wick)구조

외구조는 히트파이프의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 강철, 알루미늄, 구리, 니켈과 같은 금속 재질로 만든 다공성 구조물 이다. 모세 관 압력을 이용하여 응축기에서 증발기로 작동유체를 운반하는 역할을 하 며, 윅의 두께와 모양에 따라서 열 수송 능력이 변하게 된다[21]. 윅의 구 조는 크게 두 가지로 나뉜다. 하나는 균질구조(Homogenous wick structure)이고 다른 하나는 복합구조(Composite wick structure)이다.



Sintered Metal

Groove

Wrapped Screen

그림 2.5 히트파이프의 균질 윅 구조 Fig. 2.5 Homogeneous wick structure of heat pipe



2.3.4 히트파이프의 열전달 제한

(1) 모세관 한계(Capillary Limit)

모세관 압력이 너무 낮아 응축기에서 증발기로 액체가 충분하지 않을 때 발생한다. 증발기에서 건조를 유도하면 Dryout은 열역학 사이클이 계 속되는 것을 방지하고 히트 파이프는 더 이상 제대로 작동하지 않는다.

(2) 끊는점 한계(Boiling Limit)

히트파이프로 방사형 열 유출로 인해 심지의 액체가 끊고 증발하여 건 조를 유발할 때 발생한다.

(3) 작동 한계(Entrainment Limit)

높은 증기 속도에서 심지 내의 액체 방울이 심지에서 찢겨져 증기로 보 내지면서 건조한 상태가 된다.

(4) 소닉 한계(Sonic Limit)

증발기에서 증기 속도가 음속에 도달 할 때 발생하며, 압력 차이가 증가해 도 속도가 빨라지지 않는다. 보통 히트파이프의 시동 중에 발생한다.

(5) 점성 한계(Viscous Limit)

저온에서 응축기와 증발기 사이의 증기 압력 차는 점성 힘을 극복하기 에 충분하지 않을 수 있다. 이 때 증발기에서 나오는 증기는 응축기로 이 동하지 않으며 열역학 사이클이 발생하지 않는다. 각 한계는 자신의 특정 범위가 중요하나, 실제 작동에서 모세관과 끊는 점이 가장 중요한 요소이다.



Temperature



Fig. 2.7 Limitations to heat transport in a heat pipe

2.4 열관리(Thermal Management)

2.4.1 열관리의 목적

LED는 기존 광원인 형광등, 백열전구, 할로겐, 메탈할라이드 등과 비 교했을 때 에너지의 60~70%를 열로 방출하기 때문에 보다 많은 열을 발 생시킨다. 따라서 LED는 열을 효과적으로 방출해야 수명이 단축되는 것 을 막을 수 있다. LED는 초기출력의 70%이하로 떨어지면 교체를 해야 되며, 약 50,000시간 이상의 수명을 요구하고 있다. 현제 LED의 수명은 많은 연구로 인해 접차 증가하고 있으나 LED의 열을 방열하는데 어려움 을 겪고 있다.

표 2.3 광원별 에너지 변환

Table 2.3 Power	conversion	of Light	source
-----------------	------------	----------	--------

Sources	Incandescent	Fluorescent	Metal Halide	LED
Visible Light	8%	21%	27%	15-25%
Infra red	73%	37%	17%	0%
Ultra Violet	0%	0%	19%	0%
Total Radiant Enerty	81%	58%	63%	15-25%
Heat (Conduction+Convection)	19%	42%	37%	75-85%
Total	100%	100%	100%	100%

2.4.2 LED의 접합온도 및 열저항

LED의 접합 온도의 증가는 LED의 광 출력 및 순방향 전압에 악영 향을 미친다. 상승하는 접합부 온도는 LED 패키지로부터의 광 출력의 감 소를 초래하고 또한 특정 전류에서 LED의 순방향 전압을 감소시킨다. 백 색 LED의 경우, 상승하는 접합 온도에 따라 색도 좌표가 감소한다. LED의 접합온도는 규격 JEDEC (EIA/JESD51-1)를 통해서 측정하며, 관 계식은 식 (2.4.1)과 같다.

$$T_{J} = T_{A} + R_{th} \times P_{D} = T_{A} + R_{th} \times (I_{F} \times V_{F})$$

$$T_{J} = 접 합 \mathcal{R} \Sigma$$

$$T_{A} = \tilde{\mathcal{R}} \mathcal{H} \mathcal{L} \Sigma$$

$$R_{th} = 열 \mathcal{A} \tilde{\mathcal{B}}$$

$$P_{D} = \mathcal{L} \Sigma \mathcal{A} \tilde{\mathcal{A}}$$

$$I_{F} = \tilde{\mathcal{A}} \tilde{\mathcal{A}} \tilde{\mathcal{A}}$$

$$V_{F} = \tilde{\mathcal{A}} \tilde{\mathcal{A}} \tilde{\mathcal{A}}$$

(2.4.1)

열저항은 접합온도와 밀접한 연관이 있으며, 패키지의 재료와 구조에 따라 값이 변한다. 열저항은 식 (2.4.2)와 같다.

$$R_{th} = \frac{1}{\rho} \times \frac{L}{A} \tag{2.4.2}$$

ρ = 열전도도(W/m·K) L = 길이(m) A = 단면적(m²)

열저항은 길이에 비례하고, 열전도도와 단면적에 비례한다. 따라서 고 출력 LED 패키지를 선정하기 위해서는 위의 사항들을 고려해야 한다.

LED를 사용하는 가장 일반적인 PCB 종류와 열전도도는 표 2.4와 같 다.

표 2.4 PCB별 열전도도

Table 2.4 Thermal Conductivity by PCB

PCB Type	Thermal conductivity
FR2	0.2W/mK
FR4	0.35W/mK
MCPCB	1W/mK

표 2.5 물질별 열전도도

Table 2.5 Thermal Conductivity by Material

Division	Material	Thermal conductivity
		(W/mK)
	Beryllium oxide	260
Inorganic material	Aluminium nitride	320
	Silicon carbide	270
	Alumina	24-35
	Air at 0°C	0.025
	Glass	0.8
	Water	0.6
/	Ice	1.6
Non-conducting	Fiber-reinforced, Plastic	0.23-1.06
15	Diamond	2000
19	Polyethylene HD	0.5
	Styroform	0.01
X	Thermal grease, Ag based	2-3
12	Aluminium	237
	Gold	315
	Copper	386
Matal	Lead	35
Metal	Steinless steel	16.3
	SS316	14-16
	Silver	406, 418, 429
	Steel	50.2
	Pb-Sn	50
	Sn-Ag-Cu	55
Solder	Sn-Zn-Al	66
	Sn-Bi-Ag	21
Paste	Clear paste (silicone, epoxy)	~0.2

LED의 열저항은 식 (2.4.3)으로 나타낸다.

$$R_{thJ-A} = R_{thJ-S} + R_{thS-A}$$

$$R_{thJ-S} = R_{th,DIE} + R_{th,adhesive} + R_{th,frame} + R_{th,solder}$$

$$R_{thS-A} = R_{th,solder} + R_{th,PCB}$$

$$(2.4.3)$$

 $R_{thJ-A} = \leq D$ 접합에서주위까지의열저항 $R_{thJ-S} =$ 접합에서 솔더포인트까지의열저항 $R_{thS-A} = 솔더보인트에서 외부까지의열저항$

위의 식을 이용하여 접합온도(T_J)는 실제 LED의 접합온도 측정에 활용되 는 식 (2.4.4)으로 변환 할 수 있다.

 $T_J = T_S + R_{thJ-S} \times P_D$

(2.4.4)

2.4 방열설계

LED를 사용함에 있어 방열설계는 필수적인 요소이다. 조명기구의 방 열설계는 크게 자연대류에 의한 방열과 강제대류에 의한 방열이 있다.

자연대류는 유체 운동이 외부의 힘에 영향을 받지 않고 온도 구배로 인해 발생하며, 유체의 밀도 차이에 의한 열전달 유형이다. 자연대류는 중 력에 대한 저항 또는 동등한 힘(가속, 원심력 또는 코리올리 효과)과 같은 적절한 가속의 존재가 필수적이다[22]. 예를 들어 자연 대류는 우주와 같 은 공간에서는 작동하지 않는다. 하지만 자연대류를 이용한 방열기술은 가장 일반적인 산업 응용에 많이 사용되고 있으며, 조명기기 분야에서도 일반적인 방법으로 사용되고 있다.

전자 부품에서 열을 분산시키는 여러 방법 중에서 장제 대류 냉각이 가장 효과적이다. 강제대류 냉각을 사용하기로 결정한 후에는 팬을 지정 하기 전에 몇 가지 고려사항이 있다. 강제대류 열전달은 배기 또는 가압 의 두 가지 방법으로 수행 할 수 있다. 배기는 밀폐된 공간이나 구조에서 내부의 열을 밖으로 빠지도록 순환의 역할을 하고, 가압은 직접 팬의 공 기로 열을 식히는 역할을 한다[23]. 따라서 이 두 방법을 상황에 맞게 적 절하게 사용해야 효율적으로 강제대류에 의한 방열설계가 되었다고 할 수 있다.

제 3 장 실험방법

3.1 Spotlight용 LED 방열 엔진의 구성

기존의 무대조명은 할로겐램프를 사용하며, 높은 출력으로 인해 방열문 제로 LED로 대체하는데 어려움을 겪고 있다. 또한 무대조명의 특성상 이 동이 많고 설치가 용이하도록 경량화가 필수적이다. 이러한 문제점들을 개선하기 위해 기존에 사용하는 무대조명에 LED 방열엔진만 교체하면 사용이 가능하도록 설계를 진행 하였다. 기존 할로겐램프조명인 ETS사의 SOURCE FOUR 모델은 ERS(Ellipsoidal Reflector Spotlight)조명으로 현 재 가장 많이 사용되고 있는 무대조명이다. 750W급 할로겐램프를 대체하 기 위해 200W급 COB LED를 적용하여 설계를 했다. 방열 엔진의 설계 고려사항으로 기존의 조명을 활용해야 되므로 외함의 크기가 정해져 있 다. 따라서 할로겐램프의 빈 공간을 대체하도록 방열엔진의 크기가 제한 적이며 교체가 쉽도록 설계를 해야 한다.



그림 3.1 할로겐램프 스포트라이트(ETS SOURCE FOUR 모델) Fig. 3.1 Halogen Lamp Spotlight (ETS SOURCE FOUR Mode)



그림 3.2 할로겐램프 스포트라이트 구성 Fig. 3.2 Halogen Lamp Spotlight Structure

3.1.1 광원

700W급 할로겐램프를 대체하기 위해 COB LED인 GLBTECH의 200W GME4232 Series를 사용하여 광원을 대체하였다.

3.1.2 히트파이프

방열엔진의 방열을 위해 히트파이프를 사용하여 설계를 했다. 사용된 히트파이프는 구경은 6.35mm 동관을 사용하였으며, 밀도는 8933.0 kg/m³, 열전도율은 15,000W/mk를 사용하였다.

3.1.3 냉각 팬

방열엔진의 냉각팬은 하부에는 SAN ACE 60 (60x60x10mm)의 팬을 사용하고 상부에는 SAN ACE 80 (80x80x20mm)의 팬을 사용하였다.

3.2 COB LED 패키지 특성 분석

3.2.1 COB LED 패키지 선정

700W급 할로겐램프 무대조명을 대체하기 위한 LED광원은 고출력이 며, 방열성능이 우수한 COB LED를 선정하였다. 선정한 200W급 COB LED는 GLBTECH社의 High CRI 4232 COB LED를 선정하였다. 할로겐 램프의 색온도인 3000K와 유사한 색온도를 가지는 2700K의 모델을 선정 하였으며, 성능은 표 3.1과 같다.



그림 3.3 실험에 사용된 COB LED 패키지 Fig. 3.3 Used COB LED Package in experiments

표 3.1 COB LED의 전기 광학적 특성

Table 3.	1 El	ectro-	Optical	Characteristics	of	COB	LED
rasie o.		00010	optical	onaracteristics	01	000	

ССТ	Power [W]	Forward current [A]	Forward voltage [V]	Flux [lm]	Efficiency [lm/W]	Beam
2700K	205.9W	4.4A	46.8V	10400	50.5	120°



표 3.2 COB LED의 연색성

Table 3.2 Color Rendering index of COB LED

Ra	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
98	99	99	97	95	98	98	98
R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
99	98	98	93	94	99	98	99

3.2.2 COB LED 열저항 및 접합온도 측정방법

열저항과 접합온도의 측정은 Mentor Graphics 사의 T-3ster로 쉽게 측정이 가능하다. T-3Ster는 빠르게 LED의 열 측정이 가능하고, 1 µs당 0.01℃의 온도를 측정 할 수 있는 첨단 측정 장비이다. 측정을 통해 얻은 온도와 시간의 곡선을 통해 구조함수로 변환하여 열 저항 값을 자동으로 구한다. T3Ster을 이용하여 박리와 같은 결함을 찾아서 열 흐름경로에 대한 정보를 얻거나 보다 완벽한 열 생성 부품의 모델을 제작하는데 도움을 줄 수 있다[24]. 그림 3.4는 열저항 측정 시스템을 나타낸다.





Fig. 3.4 Thermal resistance measurement system (T-3ster)

3.2.3 광학적 특성 측정 방법

COB LED의 광 특성 분석은 적분구(광정밀사, OPI-1000)를 이용하여 실내온도 25℃의 환경에서 정격전력(4.4A, 46.8V)를 인가하고, 1시간 안정 화 후 분광 스펙트럼과 광속을 측정하여 색온도, 연색성, 광 효율을 산출 하였다. 그림 3.5는 적분구의 모식도이다.



그림 3.5 광 특성 측정 장치

Fig. 3.5 Optical characteristics measurement device

3.3 히트파이프의 설계 및 선정방법

현재 히트파이프 설계에 있어 정확한 이론적인 뒷받침이 없어 히트 파이프의 크기와 형상 설계에 어려움을 겪고 있다. 히트파이프의 성능은 윅의 형태와 작동유체의 양에 의해 결정이 난다. 최적 작동유체의 투입 량은 작동유체가 내부 윅을 적시고 난 나머지 양을 내부 체적의 약 8% 정도를 주입하면 최적 주입량이 된다. 윅은 소결형 윅이 가장 열전도도가 높고 방향에 대한 온도 감소폭이 작기 때문에 많이 사용되고 있다. 전자 장비 냉각용으로 사용되는 히트파이프는 통상적으로 구경 3~12.7mm의 동 관형을 많이 사용하므로 구경 6.35mm 소결형 동관을 선정하였다.

히트파이프를 이용하여 히트싱크를 설계 시 시뮬레이션 프로그램은 히트파이프 내부의 모세관현상이나 유체의 흐름을 제대로 해석하지 못하 기 때문에 히트파이프를 열전도도가 높은 고체로 취급하여 시뮬레이션을 한다. 시뮬레이션에 적용하는 히트파이프의 유효 열전도도는 식 (3.1)로 구할 수 있다.

$$K_{effective} = QL_{effective} / (A \Delta T)$$

$$L_{effective} = (L_{evaporator} + L_{condense}) / 2 + L_{adiabatic}$$
(3.1)



표 3.3는 실험에 사용된 히트파이프의 사양을 나타낸다.



3.4 방열 엔진의 최적화 방법

히트파이프의 개수에 따른 방열 엔진의 최적화를 위해 간한단 방열 모델을 만 들고 히트파이프의 개수를 2, 4, 6, 8, 10개로 변경하여 열 해석 시뮬레이션을 진행하 였다. 그림 3.6은 열해석 시뮬레이션에 적용한 방열판 모델을 나타 내었다.



그림 3.6 방열 엔진의 시뮬레이션 모델 Fig. 3.6 Simulation of designed thermal engine

방열 핀의 최적화 설계를 위해 계산식을 이용하여 방열 핀의 개수를 산출하였다. 방열 엔진에 사용한 핀의 두께는 0.5mm, 높이 60mm, 길이 110mm인 핀을 사용하였다. 방열 핀의 개수를 구하기 위해 식 (3.2)의 강 제 대류 열전달에 관한 이론식을 사용하여 대류 열전달계수 h를 Prandtl 수 Pr과 Reynolde 수 Re로 구할 수 있다[25]. 여기서 공기의 Prandtl 수 Pr은 0.725를 적용 하였고, Reynolde 수 Re는 식 (3.3)을 이용하여 계산하 였다. 식 (3.2), (3.3)을 통해서 구한 h값을 식 (3.4) Newton의 냉각법칙에 적용하였다. 열전달율 Q는 소비 전력 200W의 약 60%가 열로 방출되므로 120W로 설정하여 계산하였다. 계산을 통해 필요 단면적 A를 구할 수 있 으며, 핀 하나의 표면적을 나눠서 필요한 핀의 개수를 구할 수 있다.

$$N_{u} = \frac{hL}{k} = \Pr^{\frac{1}{3}}(0.037Re^{0.8} - 850)$$

$$Re = \frac{VL}{v} = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{\rho V^{2}(\frac{10}{2} \sqrt[3]{4}]}{\mu V/L(\frac{3}{4} \sqrt[3]{4}]}$$

$$Q = hA(T_{s} - T_{f}) \Rightarrow A = \frac{Qh}{(T_{s} - T_{f})}$$

$$(3.2)$$

$$(3.2)$$

$$(3.2)$$

$$(3.3)$$

TIONAT

3.5 열 해석 시뮬레이션 방법

열 해석 시뮬레이션은 전산유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics) 소프트웨어인 ANSYS ICEPAK을 이용하여 실험을 했다.

발열량은 광 파워의 60%가 열로 방출되므로 120W를 발열량으로 설정 하였다. 해석의 정확도를 높이기 위해 Mesh 격자를 130만개 이상 생성하 였고, 1m³의 공간에 1기압, 25℃의 외부 온도 조건으로 변수를 설정하였 다. 히트파이프의 열전도도는 15,000W/mK의 값을 입력하여 열전도도가 높은 고체로 간주하였다. 냉각팬은 강제대류 이므로 대류 열전달계수를 40W/m²K로 적용하였고, 팬의 성능은 각 팬의 PWM Duty Cycle 곡선과 유량조건을 21.9cfm, 73.0cfm을 적용하여 시뮬레이션을 하였다.

표 3.4 열 해석에 사용된 물성 값

Table	3.4	Properties	value	used	in	thermal	analysis
					1 1		

Layer	Material	Specific heat $[J/(kg \cdot K)]$	Conductivity [W/m · K]
Fin	A16061	896	167
Heat pipe	Cu	900	15000
LED	Sapphire	761	23.1

San Ace 60 (Bottom)

60×60×10mm (Mass : 35g) 9GAtype Low Power Consumption Fan

Specifications The following nos. have pulse sensors.

Model No	Rated Voltage	Operating Voltage Range	Rated Current	Rated Input	Rated Speed	Max. A	Airflow	Max. Sta	tic Pressure	SPL	Operating Temperature	Expected Life
Woder No.	[V]	[V]	[A]	[W]	[min ¹]	[m¥min]	[CEM]	[Pa]	[inchHz0]	[dB(A)]	[17]	DhJ
9GA0612G9001		7.0 to 13.2	0.27	3.24	6,200	0.62	21.9	66	0.26	43	-20 to +60	0000000
9GA0612H9001	12	7.0 to 12.0	0.14	1.68	5,000	0.50	17.6	42.9	0.17	37	-20 to +70	40,000/60 C
9GA0612L9001		7.0 to 13.8	0.03	0.36	2,300	0.23	8.1	9.1	0.037	17	-10 to +70	(70,000)40 C)

San Ace 80 (Top)

80×80×25mm (Mass: 110g) 9GA type Low Noise Low Power Consumption Fan

Specifications The following nos. have PWM controls, pulse sensors, and ribs. For ribless, append "1" to the model no.

Model No.	Rated Voltage	Operating Voltage Range	PWM duty	Rated Current	Rated Input	Rated Speed	Max. A	Airflow	Max. Stati	ic Pressure	SPL	Operating Temperature	Expected Life ^{Nee}
WOULD IND.	[V]	[V]	cycle" [%]	[A]	[W]	[min ¹]	[mVmin]	[CEM]	[Pa]	[inchHu0]	[dB(A)]	['0]	[h]
0CA0912B4 1001	/	\Box	100	0.6	7.2	7,400	2.07	73.0	177.6	0.7	48		
5GA0012F4J001	1 .		25	0.08	0.96	2,500	0.69	24.3	20.2	0.08	21]	
9CA0912P4C001	12	10.9 to 12.2	100	0.48	5.76	6,800	1.91	67.4	150	0.6	45		
3GA0012F4G001	12	10.0 10 13.2	25	0.06	0.72	1,500	0.42	14.8	7.2	0.02	17]	
9CA0912D4H001			100	0.22	2.64	5,200	1.46	51.5	87.7	0.35	37		
3GA0012F4H001	1	31	25	0.06	0.72	1,600	0.44	15.5	8.3	0.03	17		40,000/60°C
9CA0824P4 1001	/	-	100	0.28	6.72	7,400	2.07	73.0	177.6	0.7	48	-20 10 +70	(70,000/40°C)
3GA0024F43001		6	25	0.06	1.44	2,800	0.78	27.5	25.4	0.1	23		
0CA0924B4C001	24	0104-004	100	0.21	5.04	6,800	1.91	67.4	150	0.6	45		
5GA0024F4G001	24	24 21.0 10 20.4 25 0.04	24 21.0 10 20.4	0.96	2,100	0.58	20.4	14.3	0.05	19]		
9CA0924P4H001		1	100	0.1	2.4	5,200	1.46	51.5	87.7	0.35	37		
9GA0824P4H001			25	0.02	0.48	1,500	0.42	14.8	7.2	0.02	17		

그림 3.7 실험에 사용된 냉각 팬 사양

Fig. 3.7 Specification of cooling fan used in experiment



그림 3.8 실험에 사용된 냉각 팬 Duty cycle 곡선

Fig. 3.8 The cooling fan used in the experiment Duty cycle curve

제 4 장 실험 결과 및 고찰

4.1 COB LED 특성 분석

4.1.1 COB LED 광 특성 분석

선정된 고출력 COB LED를 적분구를 이용하여 광 특성을 분석 하였다. 측정은 1 시간의 안정화를 거친 후 측정을 했다. 표 4.1은 적분구를 통해 측정한 광 특성과 제품 표준 데이터 사양을 비교하여 나타냈다.

표 4.1 COB LED 특성 분석 Table 4.1 Measurement of COB LED of properties

Item 🥏	Mesurement	Data sheet
Luminous flux [lm]	12,183	10400
Power[W]	192.6	205.9
Efficiency[lm/W]	63.25	50.5
Ra	97	98
ССТ	2,762	2700



그림 4.2 COB LED 스펙트럼 Fig. 4.2 Spectrum of COB LED

4.1.2 COB LED 열 특성 분석

COB LED의 열 특성은 열저항 측정 장비인 T3ster를 이용하여 열저 항을 측정하고, 열저항 값을 이용하여 접합온도를 산출하였다. COB LED 의 열 특성 분석을 통해 방열 엔진이 필요한 한계 온도를 설정할 수 있기 때문에 설계에 앞서 COB LED 열 특성 분석이 필수이다.

열저항 측정 장비로 측정된 COB LED의 열저항 값은 0.46℃/W이고, 이 값을 이용하여 접합온도를 산출하면 80.2℃가 된다. 따라서 광량을 효 율적으로 내기 위해서는 접합온도가 80.2℃ 이하가 되도록 방열 엔진을 설계해야 한다. 표 4.2는 열저항 값에 따른 접합온도를 나타내고, 그림 4.3 은 COB LED의 열저항 측정값을 나타내는 그래프이다.

표 4.2 COB LED의 열저항과 접합온도

Table 4.2 Thermal resistance and junction temperature of COB LED

Туре	12
Thermal resistance [K/W]	0.46
Junction temperature [°C]	80.2

4.2 200W급 COB LED 방열 엔진 설계 분석

4.2.1 히트파이프 개수에 따른 설계 분석

방열엔진에 사용될 히트파이프의 개수는 정확한 이론적 계산 방법이 없기 때문에 설계 형태에 맞게 히트파이프의 개수를 임의로 2, 4, 6, 8, 10 개로 변화하여 시뮬레이션을 진행했다. 시뮬레이션 결과 값을 이용하여 설계에 적합한 히트파이프의 개수를 정하고 방열 핀의 개수를 조절하여 방열 엔진의 성능을 조절하였다. 표 4.3은 히트파이프의 개수 변화에 따 른 표면온도의 최소온도와 최고온도 및 평균온도를 나타내었다. 히트파이 프의 개수가 증가할수록 표면온도는 감소하지만 온도 감소폭이 8개에서 10개로 될 때 떨어지는 것을 알 수 있다. 또한 설계에 있어 COB LED 기 판과 히트파이프를 연결하는 히트싱크의 크기가 8개 이상이 되면 더 커져 야 한다. 따라서 히트파이프의 개수는 8개가 최적이라 판단되었다.

표 4.3은 히트파이프의 개수에 따른 표면온도 변화를 나타낸다.

표 4.3 히트파이프 개수에 따른 표면온도 변화 Table 4.3 Surface temperature change with heat pipe number

Heat pipe	Surface temperature			
Count	Min.[℃] Max,[℃]		Avg.[°C]	
2	130	137	133.5	
4	113	118	115.5	
6	95	100	97.5	
8	74	81	77.5	
10	63	70	66.5	

4.2.2 방열 엔진의 방열 핀 설계 분석

방열 엔진에 사용될 방열 핀의 개수를 줄여 무게를 줄이고, 효율적으 로 방열 성능을 낼 수 있도록 이론적인 계산을 통해 방열 핀의 개수를 산 출하여 실험에 적용하였다. 실험에 사용된 핀의 두께는 0.5mm, 높이 60mm, 길이 110mm인 핀을 사용하였다.

장제대류 열전달에 관한 이론식과 Newton의 냉각법칙을 통해 산출한 핀의 개수는 53개이다. 이론적인 산출 값을 확인하기 위해 시뮬레이션을 통해 방열 핀의 개수를 30, 40, 50, 60, 70으로 변경하여 표면온도를 측정 하였다. 실험 결과 50개 일 때 온도가 가장 낮았으며 그 이상이 되면 핀 사이의 간격이 좁아져 온도가 다시 올라갔다. 따라서 핀의 개수가 53개 일 때 최적화가 잘 이루어짐을 알 수 있었다.

표 4.4 방열 핀 개수에 따른 표면온도 변화

Table 4.4 Surface temperature change with heat dissipation number

Heat pipe	Surface temperature					
Count	Min.[℃]	Max,[℃]	Avg.[℃]			
30	105	110	107.5			
40	85	91	88			
50	74	82	78			
60	79	88	83.5			
70	81	90	85.5			



그림 4.3 방열 엔진의 단면도

Fig. 4.3 Section view of the heat dissipating engine



그림 4.4 방열 엔진의 설계도

Fig. 4.4 Design of heat dissipating engine

4.3 200W급 COB LED 방열 엔진의 열해석

4.3.1 시뮬레이션 분석

3D 설계프로그램인 Solidworks를 이용하여 설계된 방열 엔진을 전산 유체역학 프로그램인 ANSYS ICEPAK으로 방열 성능을 열해석 하였다. 시뮬레이션을 통해 측정된 온도분포를 분석한 결과는 그림 4.5의 그 래프와 그림 4.6의 온도 분포를 통해 나타내었다. 최고 표면온도는 67℃로 나타났으며, 히트파이프의 COB LED 접촉부와 방열 핀 접촉부의 온도차 는 약 5℃이하로 히트파이프의 열전달이 잘 이루어짐을 알 수 있었다. 방 열 엔진의 최대 유속은 15.7m/s로 나타났다.



그림 4.5 방열 엔진의 측정위치별 온도 Fig. 4.5 Temperature of measurement engine



그림 4.6 방열 엔진의 온도분포 시뮬레이션

Fig. 4.6 Simulation of temperature distribution of heat dissipating engine



그림 4.7 방열 엔진의 유속 시뮬레이션

Fig. 4.7 Simulation of flow velocity of heat dissipating engine

4.3.2 방열 엔진의 온도기록계 측정 결과

그림 4.8과 표 4.5는 온도기록계 (Graphtec사 GL229)를 이용하여 표면온도를 측정 한 결과이다.



Fig. 4.8 Temperature recorder measurement result of heat dissipation engine

표 4.5 방열 엔진의 온도기록계측정 결과

Table 4.5 Temperature recorder measurement result of heat dissipation engine

Point	P1	P2	P3	P4	Р5	P6	P7
Temperature	69.6	62.0	60.0	58.9	58.0	60.7	50.1



(a) Prototype

(b) measurement point

그림 4.9 방열 엔진의 온도기록계 측정 포인트

Fig. 4.9 Temperature recorder measurement point of heat dissipation engine

4.3.3 방열 엔진의 냉각팬 유속에 따른 열해석

무대조명용 방열 엔진은 내부의 열을 밖으로 배출하기 위해 팬의 사용이 필수적이다. 팬을 사용하지 않았을 경우 가열된 공기가 외함의 안 에서 대류와 복사 에너지를 방출하여 COB LED의 접합 온도를 크게 높 여 수명을 단축시키고 효율이 떨어진다. 그림 4.10은 냉각팬 사용 유무에 따른 온도 변화를 나타낸다. 냉각팬을 사용했을 경우 최고 온도가 약 7 0℃에서 냉각 팬을 끄면 약 135℃로 급격하게 온도가 올라갔다. 따라서 냉각팬의 사용 유무에 따라 온도가 2배가량 차이가 나므로 냉각팬 사용이 필수적인 요소임을 알 수 있었다.



그림 4.10 방열 엔진의 냉각팬 사용에 따른 온도 변화 Fig. 4.10 Temperature change due to use of cooling fan of heat dissipating engine

냉각팬의 효율적인 사용을 위해 냉각팬의 속력을 조절하여 방열 성 능을 비교 분석하였다. 냉각팬의 속력은 팬의 사양에 있는 PWM duty cycle 곡선을 참조하여 설정하였다. Top 팬은 속력을 100%, 60%, 25% 로 Bottom 팬은 63%, 25%, 팬의 설치 방향을 바꿔서 시뮬레이션을 진행 하였다.

Top 팬 100%, Bottom 팬 100% 일 때 최고 표면온도는 67℃이고, 최고 유속은 15.7m/s 로 나타났다.



(top-fan 100%, bottom-fan 100%) (top-fan 100%, bottom-fan 100%)

그림 4.11 온도와 유속 시뮬레이션

Fig. 4.11 Temperature and velocity simulation



(a) Temperature(b) Velocity(top-fan 60%, bottom-fan 100%)(top-fan 60%, bottom-fan 100%)

그림 4.12 온도와 유속 시뮬레이션

Fig. 4.12 Temperature and velocity simulation



(a) Temperature (top-fan 25%, bottom-fan 100%)

(b) Velocity (top-fan 25%, bottom-fan 100%)

그림 4.13 온도와 유속 시뮬레이션

Fig. 4.13 Temperature and velocity simulation

Top 팬 60%, Bottom 팬 100% 일 때는 최고 표면온도가 80℃이고, 최고 유속은 11.4m/s로 측정되었다. Top 팬 25%, Bottom 팬 100% 일 때 는 최고 표면온도가 135℃로 급격하게 상승하며, 유속은 Bottom 팬의 유 속이 가장 높게 나왔다. 또한 유동 흐름이 밖으로 흐리지 않아 열을 배출 하지 못하고 내부에서 순환되면서 온도가 상승하여 팬의 역할을 하지 못 하였다. 그림 4.14는 Top 팬의 속력 변화에 따른 표면온도의 변화를 나타 낸다. 이 그래프를 통해 표면온도에 따라 최소로 필요한 팬의 속력을 대 략적으로 알 수 있고, 이를 통해 팬의 선정 및 효율적인 사용이 가능함을 확인하였다.



Fig. 4.14 Surface temperature by fan speed

그림 4.15는 Bottom 팬의 속력을 63% 그림 4.16은 25%로 줄여서 실 험을 했다. 실험결과 최고 표면온도가 65.8℃, 65.2℃로 팬의 속력을 100% 로 했을 때 보다 온도가 감소하였다. 그림 4.17에서는 Bottom 팬의 방향 을 반대로 했을 때는 온도가 67℃로 다시 증가하는 결과를 얻었다. 이를 통해서 Bottom 팬의 25% 이상의 속력을 가하면 방열 핀 사이에 흐르는 공기의 흐름에 압력 중첩이 가해져 방열 효과가 떨어지는 현상이 나타났 다. 따라서 Bottom 팬은 방열 핀 사이의 공기의 흐름이 잘 이루어 질 수 있도록 팬의 속력을 25%로 제한해야 함을 알 수 있었다.



Fig. 4.15 Temperature and velocity simulation



(a) Temperature (b) Velocity (top-fan 100%, bottom-fan 25%) (top-fan 100%, bottom-fan 25%) 그림 4.16 온도와 유속 시뮬레이션 Fig. 4.16 Temperature and velocity simulation



(a) Temperature(top-fan 100%, bottom-fan change direction 100%)

(b) Velocity(top-fan 100%, bottom-fan change direction 100%)

그림 4.17 온도와 유속 시뮬레이션

Fig. 4.17 Temperature and velocity simulation

제 5 장 결 론

현재 무대조명으로 사용되고 있는 할로겐램프조명인 ETS사의 SOURCE FOUR 모델은 ERS(Ellipsoidal Reflector Spotlight)조명으로 가장 많이 사용되고 있으며, 750W급 할로겐램프 조명을 LED 조명으로 바꾸기 위해 200W COB LED를 사용하 여 방열 엔진을 설계하였다. 기존의 조명을 활용하기 위해 외함의 크기에 맞춰서 방 열 엔진을 설계해야 하므로 좁은 공간에서 효율적인 방열이 필수적이다. 알루미늄 히 트싱크의 경우 200W의 열을 방열하기 위해선 부피가 크고 효율이 떨어진다. 따라서 열전도율이 높고 부피를 줄일 수 있는 히트파이프와 외함 내부의 열을 밖으로 방출해 주는 팬을 사용하여 효율적인 방열 엔진을 설계하고 그 특성을 측정 및 분석하여 다 음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. COB LED의 열저항 측정값은 0.46℃/W로 측정되었고, 접합온도 산출 결과 80. 2℃가 나왔다.

2. 이론적 계산법과 열해석 시뮬레이션을 통해 히트파이프의 개수가 8개이고, 방열 핀의 개수는 53개 일 때 가장 방열 성능이 뛰어났다.

3. 열해석 시뮬레이션 결과 최고 표면온도는 67℃, 온도기록계를 이용한 시제품의 최고 표면온도 측정 결과는 69.6℃로 설계가 잘 이루어짐을 확인 하였다.

4. 냉각팬의 의 작동 유무에 따라 온도가 2배가량 차이가 났으므로 냉각팬의 사용이 필수이다. Top 팬의 속력이 최소 60% 이상이 되어야 방열 성능을 만족했다. Bottom 팬의 경우 속력이 25% 이상이 되면 방열 핀 사이에 압력중첩의 영향으로 방열 성능 이 떨어짐을 확인하였다.

본 연구를 통해 고출력을 요하는 무대조명의 방열 엔진 설계에 있어 히트파이프와 팬의 사용이 효율적임을 알 수 있었고, 무대조명 외에도 좁은 공간에서의 고출력을 필요로 하는 조명에 적용할 수 있는 방열 시스템의 연구가 더 필요할 것으로 판단된 다.

참 고 문 헌

[1] Pimputkar, S., Speck, J. S., DenBaars, S. P., & Nakamura, S. (2009). Prospects for LED lighting. 3(4), 180–182, Nature photonics

[2] Schubert, E. F., Gessmann, T., & Kim, J. K. (2005). Light emitting diodes. John Wiley & Sons, Inc..

[3] Tuckerman, D. B., & Pease, R. F. W. (1981). High-performance heat sinking for VLSI, 2(5), 126–129, IEEE Electron device letters

[4] Faghri, A. (1995). Heat pipe science and technology. Global Digital Press.

[5] Chang Soo Kang, Ki Sung Kang. (2011). A Study on Analysis of Complex Heat Sink System for High Efficiency LED Thermal Effect. The Institute of Electronics Engineers of Korea – IE, 48(2), 12–18.

[6] Tae Sung Jung, Hwan Kook Kang. (2012). Evaluation on the Cooling Performance to Design Heat sinks for LED lightings. Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 29(7), 778–784.

[7] Soon Ho Hwang, Young Lim Lee. (2011). Study on Thermal Performance of Multiple LED Packages with Heat Pipes. Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers – B, 35(6), 569–575.

[8] Lin, Z., Wang, S., Huo, J., Hu, Y., Chen, J., Zhang, W., & Lee, E. (2011). Heat transfer characteristics and LED heat sink application of aluminum plate oscillating heat pipes. Applied Thermal Engineering, 31(14), 2221–2229.

[9] Lu, X. Y., Hua, T. C., & Wang, Y. P. (2011). Thermal analysis of high power LED package with heat pipe heat sink. Microelectronics Journal, 42(11), 1257–1262

[10] Krames, M. R., Shchekin, O. B., Mueller-Mach, R., Mueller, G. O., Zhou, L., Harbers, G., & Craford, M. G. (2007). Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting. Journal of display technology, 3(2), 160–175. [11] Reineke, S., Lindner, F., Schwartz, G., Seidler, N., Walzer, K., Lüssem,B., & Leo, K. (2009). White organic light-emitting diodes with fluorescent tube efficiency. Nature, 459(7244), 234–238.

[12] Lau, J. H. (1994). Chip on Board: Technology for Multichip Modules. Springer Science & Business Media.

[13] Hahn, D. W., & A - zisik, M. N. (2012). Heat conduction. John Wiley & Sons.

[14] Landau, H. G. (1950). Heat conduction in a melting solid. Quarterly of Applied Mathematics, 8(1), 81–94.

[15] Jiji, L. M., & Jiji, L. M. (2006). Heat convection (p. 275). New York: Springer.

[16] Petela, R. (1964). Exergy of heat radiation. ASME J. Heat Transfer, 86(2), 187–192.

[17] Planck, M. (2013). The theory of heat radiation. Courier Corporation.

[18] Akachi, H. (1990). U.S. Patent No. 4,921,041. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[19] Miller, E. E., & Miller, R. D. (1956). Physical theory for capillary flow phenomena. Journal of Applied Physics, 27(4), 324–332.

[20] Wang, E. H., Zhang, H. G., Fan, B. Y., Ouyang, M. G., Zhao, Y., & Mu, Q. H. (2011). Study of working fluid selection of organic Rankine cycle (ORC) for engine waste heat recovery. Energy, 36(5), 3406–3418.

[21] Rosenfeld, J. H., & Keller, R. F. (1991). U.S. Patent No. 5,076,352. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[22] Oztop, H. F., & Abu-Nada, E. (2008). Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids. International journal of heat and fluid flow, 29(5), 1326–1336.

[23] Bergles, A. E., & Rohsenow, W. M. (1964). The determination of forced-convection surface-boiling heat transfer. Journal of Heat Transfer, 86(3), 365–372.

[24] Kim, L., & Shin, M. W. (2007). Thermal resistance measurement of LED package with multichips. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 30(4), 632–636.

[25] Kraichnan, R. H. (1962). Turbulent thermal convection at arbitrary Prandtl number. The Physics of Fluids, 5(11), 1374–1389.



Design and Optimization of 200W COB LED Retrofit Engine for Spotlight WooJin Seo

Department of LED Convergence Engineering, Specialized Graduate School Science & Technology Convergence, Pukyong National University

Abstract

In this paper, 200W high power COB LED is applied to the stage lighting. In the case of stage lighting that requires high output, the conversion from conventional halogen lamp lighting to LED is slower than other lighting products due to heat dissipation. In addition, stage lighting is expensive and it is difficult to replace it with LED products. In order to solve this problem, we designed the heat dissipation design using heat pipe and fan, and set the design target so that the LED engine can be replaced by using the existing stage light. The heat dissipation performance was modified by using CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation. The prototype was fabricated and the heat dissipation performance was compared and analyzed.