

방열판-냉각팬 시스템 열해석 연구

양형규, 황대연, 노용수, 현병조, 최준혁[†]

한국전자기술연구원 전력제어시스템연구센터

A Study on Thermal Analysis of Heat Sink with Cooling Fan

Hyoung-Kyu Yang, Dae Yeon Hwang, Yong-Su Noh, Byong Jo Hyon, Jun-Hyuk Choi[†]

Korea Electronics Technology Institute Power System Research Center

ABSTRACT

방열판의 열해석은 고온으로 인한 전력반도체 소자의 파손을 방지하기 위해 반드시 선행되어야 한다. 단일 방열판으로만 구성된 냉각 시스템은 데이터시트에 제공된 열저항을 통해 열해석이 가능하지만, 냉각팬이 추가된 시스템에 대해서는 열해석을 수행하기에 어려움이 있다. 본 논문에서는 전력반도체 소자에서 손실 발생 시 시뮬레이션 프로그램의 사용 없이 수식적 계산을 통해 방열판-냉각팬 시스템의 온도를 예측한다.

1. 서 론

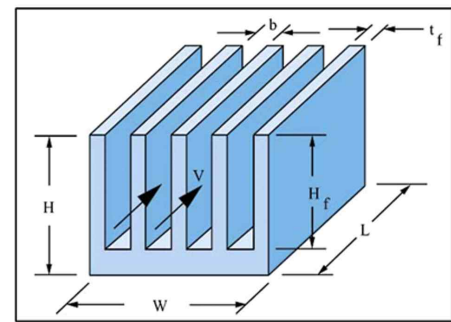
전력변환장치 설계에 있어 방열판의 열해석은 시스템의 강건성을 보장하기 위한 중요한 요소이다.^[1] 전력반도체 소자에서 발생하는 손실로 인한 온도상승을 막기 위해 소자를 방열판에 가까이 붙여 사용하며, 더 좋은 효과를 얻기 위해서는 냉각팬을 연결해 방열판에 바람을 주입한다. 일반적으로 방열판 데이터시트에는 열저항이 제공되어 대략적인 열해석이 가능하게 하나, 냉각팬이 추가된 시스템에 대해서는 열저항을 파악하기 어렵다. 방열판-냉각팬 시스템의 열해석을 위해 시뮬레이션 프로그램의 활용이 가능하지만, 이는 높은 비용과 장시간의 해석이 요구된다. 본 논문에서는 시뮬레이션 프로그램의 해석 없이 수식적 계산을 통해 방열판-냉각팬 시스템의 열저항을 산출하고 방열판의 온도를 예측한다. 그리고 계산된 온도 예측값을 시뮬레이션 결과와 비교하여 타당성을 검증한다.

2. 방열판-냉각팬 시스템 열해석

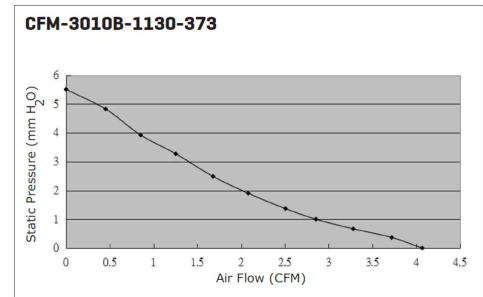
한쪽 측면에 냉각팬이 고정되어 강제대류를 일으키는 방열판의 열해석을 위해서는 먼저 그림 1과 같은 방열판의 치수 및 냉각팬의 특성곡선이 요구된다. 이를 토대로 방열판의 핀 사이에 부는 바람의 유효풍량을 산출하며, 이후 방열판-냉각팬 시스템 열저항을 계산하여 결과적으로 방열판의 온도를 예측할 수 있다.

2.1 유효풍량 산출

방열판-냉각팬 시스템의 유효풍량 산출을 위해 방열판 압력강하(ΔP)는 다음과 같이 구할 수 있다.



(a) 방열판 형상 예시



(b) 냉각팬 특성곡선 예시

그림 1 방열판-냉각팬 시스템 사양 예시

Fig. 1 Specification example of heat sink and cooling fan

$$\Delta P = \frac{\left(K_c + \frac{4f_{app}L}{D_h} + K_e \right) \rho V^2}{2} \quad (1)$$

$$V = \frac{G}{NfbH_f} \quad (2)$$

여기서 K_c 는 방열판 핀 사이로 들어가는 바람의 압력 손실 계수, K_e 는 방열판 핀 사이에서 나오는 바람의 압력 손실 계수, f_{app} 는 마찰 계수, L 은 방열판 길이, D_h 는 유로의 수력 직경, ρ 는 유로의 면적 비율, V 는 바람의 평균 속도, G 는 방열판 내 풍량, N 는 핀 개수, b 는 핀 사이 거리, H_f 는 핀 높이 이다.

그림 2는 식(1)과 식(2)를 토대로 G 에 따라 계산한 ΔP 그래프와 냉각팬 특성곡선을 한 좌표평면에 그린 것이다. 두 곡선은 한 교점에서 만나게 되는데 이 지점의 G 값을 유효풍량(G_e)로 산출할 수 있다.

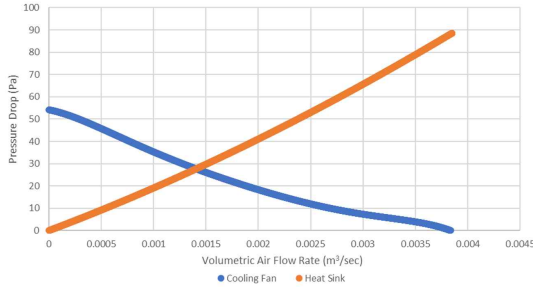


그림 2 냉각팬과 방열판의 풍량에 따른 압력강하 특성 비교
Fig. 2 Comparison of pressure drop characteristics between cooling fan and heat sink

2.2 방열판 온도 계산

전력반도체 소자의 전력 손실에 따른 방열판의 온도 계산을 위해 방열판-냉각팬 시스템의 열저항(R_{ha})을 구할 필요가 있다. R_{ha} 는 상판 열저항(R_{base})와 핀 열저항(R_{fin})으로 구성되며 다음의 수식으로 구할 수 있다.

$$R_{ha} = R_{base} + R_{fin} \quad (3)$$

$$R_{base} = \frac{H - H_f}{K_{base} WL} \quad (4)$$

$$R_{fin} = \frac{1}{h(A_{base} + N_f \eta_f A_f)} \quad (5)$$

여기서 H 는 방열판 높이, K_{base} 는 방열판 상판 열전도율, W 는 방열판 폭, h 는 열전달 계수, A_{base} 는 핀사이 노출 표면적, η_f 는 핀 효율, A_f 는 핀 표면적이다. 앞서 산출한 G_e 는 h 를 구하는데 있어 주요하게 사용된다.

산출된 R_{ha} 를 사용하여 방열판 온도 (T_h)를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_h = T_a + R_{ha} \times P_{loss} \quad (6)$$

여기서 T_a 는 대기온도, P_{loss} 는 방열판 위 전력반도체 소자의 전력 손실을 의미한다.

3. 시뮬레이션 결과 비교

방열판-냉각팬 시스템 수식적 열해석 결과의 타당성을 검증하기 위해 Ansys 열해석 시뮬레이션 결과와 비교를 수행하였다. 그림 3은 시뮬레이션에 사용된 방열판-냉각팬 시스템의 모델이다. 전력반도체 소자의 전력 손실은 방열판 위 붉은 면적에 적용되어 100 W의 손실이 상판에 균일하게 분포한다 가정하였다. 시뮬레이션은 두 가지 Type의 방열판-냉각팬 시스템에 대해 수행되었으며 상세 사양은 표 1에 나타나 있다.

표 1 방열판-냉각팬 시스템 상세 사양
Table 1 Specification of heat sink with cooling fan

Parameter	Value (Type 1)	Value (Type 2)
Total width, W	60 mm	100 mm
Total height, H	30 mm	50 mm
Total length, L	200 mm	200 mm
Number of fins, N_f	20	34
Fan model	CFM-3010B-1130-373	CFM-5015V-172-381

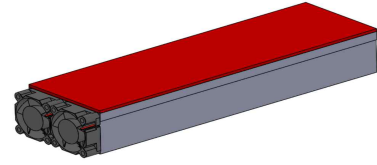
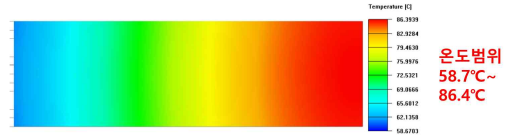


그림 3 방열판-냉각팬 시뮬레이션 모델
Fig. 3 Simulation model of heat sink with cooling fan

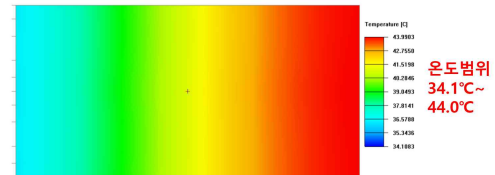
방열판-냉각팬 시스템의 수식적 열해석 결과가 표 2에 정리되어 있으며, 그림 4는 열해석 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸다. 각 Type에 대해 방열판 온도는 수식적으로 84.9 °C 및 42.4 °C로 계산되었으며, 시뮬레이션으로는 86.4 °C 및 44.0 °C로 추정되었다. 따라서 열해석을 위한 수식은 오차 약 4% 이내의 정확도를 보였다.

표 2 방열판-냉각팬 시스템 상세 사양
Table 2 Specification of heat sink with cooling fan

Parameter	Value (Type 1)	Value (Type 2)
Effective volumetric air flow rate, G_e	0.00141 m³/sec	0.00522 m³/sec
Pressure drop, ΔP	27.8 Pa	44.7 Pa
Thermal resistance of heat sink with cooling fan, R_{ha}	0.599 °C/W	0.174 °C/W
Temperature of heat sink, T_h	84.9 °C	42.4 °C



(a) Type 1 결과



(a) Type 2 결과

그림 3 방열판-냉각팬 시스템 열해석 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Thermal analysis simulation result

4. 결 론

본 논문은 수식적 분석을 통해 방열판-냉각팬 시스템의 유효풍량 및 열저항을 산출하고, 전력반도체 소자 손실에 대한 방열판 온도를 예측하였다. 수식적 분석 결과의 타당성은 시뮬레이션 결과와의 비교를 통해 검증되었다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20212020800020)

참 고 문 헌

- [1] J. R. Culham and Y. S. Muzychka, "Optimization of plate fin heat sinks using entropy generation minimization", *IEEE Trans. Compon. and Packag. Tech.*, Vol. 24, No. 2, pp. 159–165, Jun. 2001.