

열 저항과 방열의 기본

열 설계에 필요한 지식은 폭넓은 분야에 걸쳐 있다. 먼저 최저한으로 알아두어야 하는 열 저항과 방열의 기본에 대해 설명하겠다. 열 저항이란, 열의 전달을 방해하는 성질을 수치화한 것이다. 열은 물체나 공간을 따라 전달된다. 전달이란 열의 발생원으로 부터 열이 이동하는 것을 의미한다.

자료제공/로움 코리아

열 설계에 필요한 지식은 폭넓은 분야에 걸쳐 있다. 먼저 최저한으로 알아두어야 하는 열 저항과 방열의 기본에 대해 설명하겠다.

열 저항이란

열 저항이란 열의 전달을 방해하는 성질을 수치화한 것이다. 임의의 2포인트 간 온도차를, 2포인트 간 흐르는 열류량(단위 시간 당 흐르는 열량)으로 나눈 값이다. 열 저항이 높으면 열이 전달되기 어렵고, 낮으면 열이 전달되기 쉽다는 의미이다.

그림 1



기호는 R_{th} 나 θ (세타)를 사용한다. R_{th} 는 열 저항의 영

어 표기 thermal resistance에서 유래되었다. 단위는 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (K/W)이다.

열의 옴 법칙

열 저항은 전기 저항과 거의 동일한 개념으로 생각할 수 있으며, 열 계산의 기본 식도 옴의 법칙과 동일하게 취급할 수 있다.

표 1

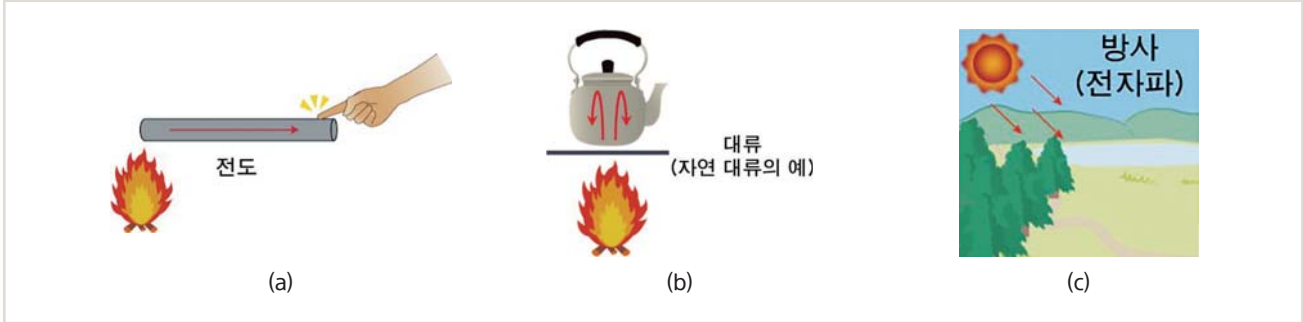
전기	전류 I(A)	전압차 ΔV (V)	전기 저항 R(Ω)
열	열류량 P(W)	온도차 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$	열 저항 $R_{th}(^{\circ}\text{C}/\text{W})$

따라서, 전위차 ΔV 를 $R \times I$ 로 구하는 것과 같이, 온도차 ΔT 를 $R_{th} \times P$ 로 구할 수 있다.

전열과 방열 경로

열은 물체나 공간을 따라 전달된다. 전달이란 열의 발생원으로 부터 열이 이동하는 것을 의미한다.

그림 2



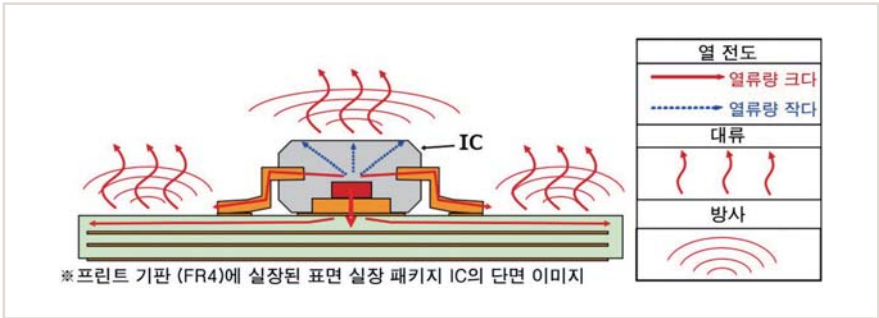
전열의 3가지 형태

열의 전달에는 전도, 대류, 방사(복사)의 3가지 형태가 있다.

- 전도: 열 에너지에 의한 분자의 운동이, 근접한 분자로 전파되는 것
- 대류: 공기나 물 등의 유체에 의한 열 이동
- 방사(복사): 전자파에 의한 열 에너지의 방출

그림 4의 오른쪽 IC 단면도 각 부분의 색은 왼쪽 회로망의 색과 일치한다(예를 들면 칩은 빨간색). 칩 온도 T_J 는 회로망의 열 저항을 통해 주위 환경 온도 T_A 에 전달된다.

그림 3

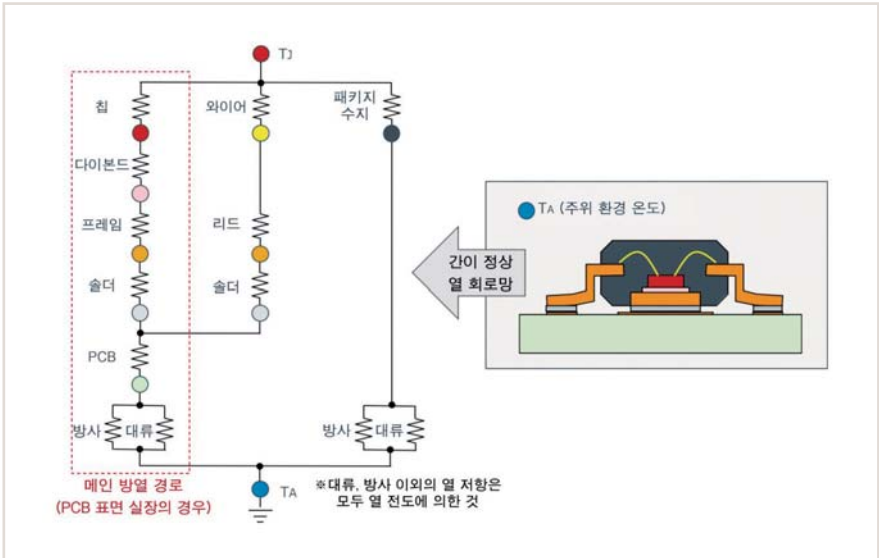


방열 경로

발생된 열은 전도, 대류, 방사에 의해 다양한 경로를 거쳐 외부로 방출된다. 여기에서는 반도체 부품의 열 설계가 주제이므로, 프린트 기판에 실장된 IC를 예로 들어 설명하겠다.

방열원은 IC 칩이다. 이 열이 패키지, 리드 프레임, 다이 부착 패드, 프린트 기판에 전도되고, 프린트 기판이나 IC 패키지 표면에서 대류, 방사에 의해 대기로 전달된다. 이것을 열 저항을 사용하여 나타내면 그림 4와 같다.

그림 4



빨간색 점선으로 표시한 경로는 프린트 기판(PCB)에 표면 실장한 경우의 메인 방열 경로이다. 구체적으로는 칩에서 다이 본드(칩과 이면 노출 프레임의 접착제)를 통해 이면 노출 프레임(패드)으로 전도되고, 프린트 기판 랜드 상의 솔더를 통해 프린트 기판으로 전도된다. 그리고 그 열은 프린트 기판에서의 대류와 방사에 의해 대기(T_A)로 전달된다.

기타 경로로는 칩에서 본딩 와이어를 통해 리드 프레임, 그리고 프린트 기판으로 전달되어 대류, 방사되는 경로와, 칩에서 패키지를 통해 대류, 방사되는 경로가 있다. 이러한 경로의 열 저항과 IC의 손실 전력을 알면, 열의 음 법칙으로 온도차, 이 경우에는 T_A 와 T_J 의 차를 계산할 수 있다.

열 설계란 이러한 각각의 열 저항을 저감시키는 것이다. 즉, 칩에서 대기까지의 방열 경로의 열 저항을 저감시키는 것이다. 이러한 열 설계를 통해 T_J 가 저하되어 신뢰성이 향상된다.

전도의 열 저항

앞에서는 전열에 전도, 대류, 방사(복사)의 3가지 형태가 있다고 설명했다. 이제, 각 전열 형태에 따른 열 저항에 대해 설명하겠다. 먼저 전도의 열 저항이다.

전도의 열 저항

열의 전도란, 물질, 분자간 열의 이동이다. 이러한 전도에서의 열 저항은 그림 5와 식으로 나타낼 수 있다.

그림 5는 단면적 A, 길이 L인 물질의 끝부분 온도 T_1 이 전도에 의해 온도 T_2 에 이르는 것을 이미지로 나타낸 것이다. 첫번째 식의 T_1 과 T_2 의 온도차는 적색 점선으로 표시한 항에 열류량 P를 곱한 값이다. 마지막 식은 적색 점선으로 표시한 항이 열 저항 R_{th} 에 해당하는 것을 나타낸다.

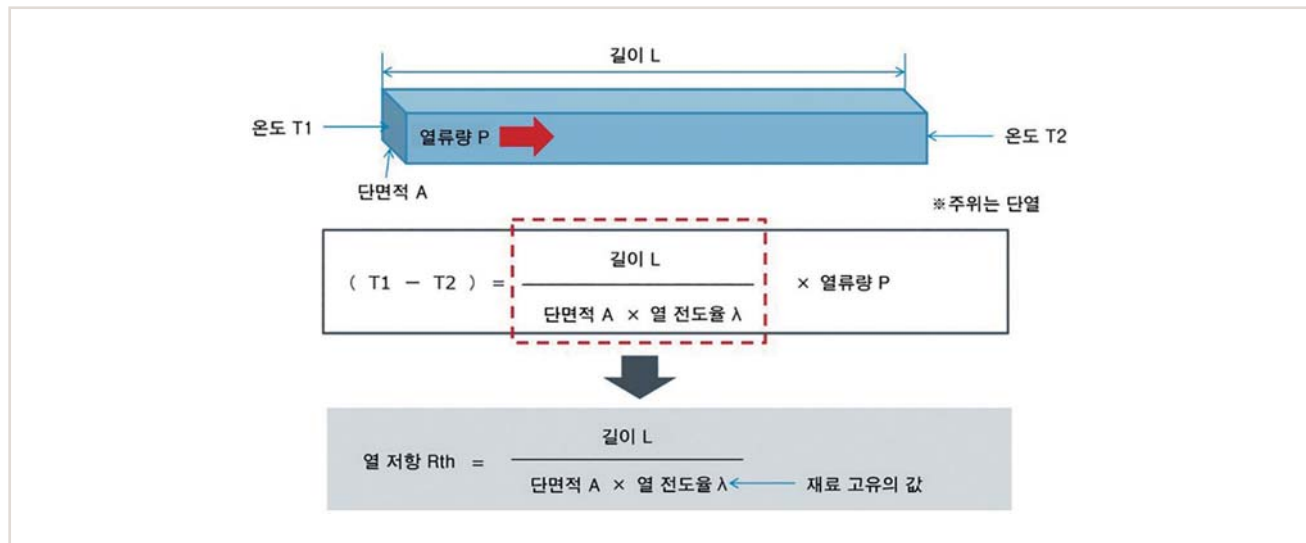
그림 5 및 식의 각 항에서 알 수 있듯이, 전도의 열 저항은 도체의 시트 저항과 기본적으로 동일한 개념이다. 시트 저항은 적색 점선 안쪽의 열 전도율을 저항률로 대체한 식으로 구할 수 있다. 저항률이 도체의 재료에 따라 고유의 값을 가지는 것과 같이, 열 전도율도 재료 고유의 값이 된다.

열 저항 식에서 물체의 단면적이 커지거나, 길이가 짧아지면 전도의 열 저항은 낮아진다. ($T_1 - T_2$)를 구하는 식은 결과적으로 열 저항 $R_{th} \times$ 열류량 P가 되며, 앞에서 설명한 열의 음 법칙에 준거한다.

대류의 열 저항

전도의 열 저항 편에 이어 이번에는 대류의 열 저항에

그림 5



대류에 대해 설명하겠다.

대류란?

대류에는 몇 가지 종류가 있다. 표 2는 용어와 정의에 대해 정리한 표이며, 그림 6은 대류의 이미지이다.

대류의 열 저항

그림 7은 대류의 열 저항을 나타낸 식이다.
 대류의 열 저항은 대류열 전달률 hm과 발열하는 물체의 표면적 A를 곱한 값의 역수이다. 물체의 표면적이 커지면, 대류의 열 저항이 낮아지는 것을 식으로부터 알 수 있

표 2

유체	기체, 액체와 같이 흐르는 것
대류	열을 받은 유체가 이동함으로써, 열을 운반하는 열 이동 현상 ※ 유체가 없는 상태(진공)에서는 대류에 의한 열 이동은 기대할 수 없다.
자연 대류	유체의 온도차로 인해 발생하는 부력으로만 구동되는 흐름
강제 대류	팬이나 펌프 등의 외부적 요인으로 인해 구동되는 흐름

다. 대류열 전달률 hm은 대류의 종류에 따라 달라진다. 자연 대류와 강제 대류(층류와 난류)의 각 hm은 그림 7를 참조한다. **SN**

그림 6

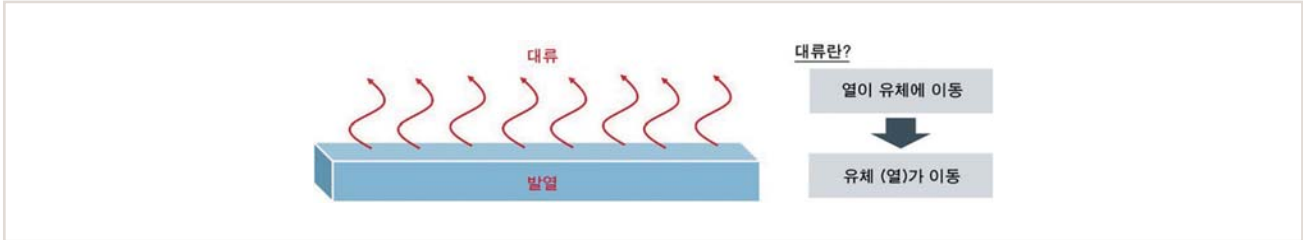


그림 7

$$(\text{표면 온도} - \text{유체 온도}) = \frac{1}{\text{대류열 전달률 } hm \times \text{물체 표면적 } A} \times \text{열류량 } W$$

$$\text{열 저항 } R_{th} = \frac{1}{\text{대류열 전달률 } hm \times \text{물체 표면적 } A}$$

POINT
 물체 표면적의 영향을 받는다.

대류열 전달률 hm

자연 대류 $hm = 2.51 \times C \times (\Delta T / L)^{0.25}$ (W / m²K)
 C : 계수 (형상과 설치 조건에 따라 달라짐) ΔT : 온도차 (°C) L : 대표 길이 (m)

강제 대류 층류 $hm = 3.86 \times (V / L)^{0.5}$
 난류 $hm = 6 \times (V / L)^{0.25}$ ^{0.8}
 V : 풍속 (m/s)

POINT
 자연 대류에서는 온도차가 클수록 대류가 촉진된다.