

# 히트싱크 크기에 따른 MOSFET의 열전달 특성변화 분석

김기현, 서길수, 김형우, 김상철, 방 옥, 강인호  
한국전기연구원

## Analyzing the characteristics of Thermal Transient on MOSFET depending on Heat Sink surface area

Ki-Hyun Kim, Kil-Soo Seo, Hyoung-Woo Kim, Wook Bahng, Sang-Choel Kim, In-Ho Kang  
KERI

**Abstract :** Generally when Power MOSFET is operated, a heat sink is attached to it to emit heat caused by the operation. As the surface area of a heat sink is smaller, the thermal impedance is larger, which causes a negative influence on the characteristics of the chips and the devices and shortens the lifespan of them. In this experiment, we've compared and analysed different effects of heat sinks with 5 different surface areas on the characteristics of Thermal Transient when they are applied respectively.

**Key Words :** Thermal Transient, MOSFET, Heat Sink, Surface area

### 1. 서론

일반적으로 반도체 소자는 특성이 열화하지 않고 반영구적으로 사용할 수 있는 것으로 생각하여, 대용량 사이리스터를 장기적으로 사용함으로써 발생하는 열화에 대해 검토된 예나 데이터는 국내·외적으로 거의 없는 실정이다. 그러나 실제로 지하철이나 철도, 발전소와 같은 곳에서 전력반도체 소자들의 경우 장시간 높은 전압과 전류에 노출됨으로써 소자의 특성이 열화 되는 현상을 보이고 있으며, 이러한 열화 현상에 의해 소자가 파괴되는 경우도 있음이 보고되고 있다. [1]

전기적인 패키지에서 전자적인 오류의 주요 원인은 온도, 습도, 먼지, 진동 등을 들 수 있는데, 이 중 열에 의한 발생률은 약 70%에 이른다. [2]

본 논문에서는 히트싱크의 크기가 다른 여러 종류의 히트싱크를 이용하여 MOSFET의 열전달 특성에 히트싱크의 크기가 미치는 영향을 측정을 통하여 비교분석하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 실험장치

본 논문의 측정 실험에 사용된 MOSFET는 IRF540으로 n-type MOSFET를 이용하였다. 측정에 사용된 히트싱크는 모두 5종류의 알루미늄 소재로 된 히트싱크(Heat Sink)를 이용하였으며, MOSFET에 부착시에는 열전달 물질(Thermal Interface Material)인 히트싱크 컴파운드(Heat sink compound)에 의해 열 전도성 및 확산특성을 크게 하여 히트싱크와 MOSFET사이 접합면의 열저항 발생을 최소화 하였다. 그림 5는 측정에 사용된 히트싱크의 종류이며, 표 1은 각 히트싱크에 대한 표면적 및 부피를 나타낸다.

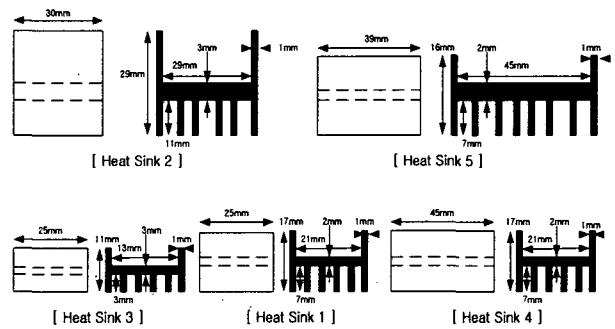


그림 1. 측정에 사용된 Heat Sink

표 1. 히트싱크 종류별 표면적 및 부피

| 종류<br>분류 | Heat Sink 1         | Heat Sink 2         | Heat Sink 3         | Heat Sink 4         | Heat Sink 5         |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 표면적      | 3666mm <sup>2</sup> | 8178mm <sup>2</sup> | 2446mm <sup>2</sup> | 6426mm <sup>2</sup> | 9610mm <sup>2</sup> |
| 부피       | 2700mm <sup>3</sup> | 5670mm <sup>3</sup> | 1825mm <sup>3</sup> | 4860mm <sup>3</sup> | 6396mm <sup>3</sup> |

#### 2.2 실험

히트싱크의 크기에 따른 MOSFET의 열전달 특성의 측정에 앞서 측정 소자의 온도(°C)의 변화량에 따른 V<sub>TM</sub>(forward voltage drop)의 변화량을 나타내는 K-Factor를 다음과 같은 조건으로 측정하였다. 측정 온도 범위는 25°C~40°C에서 5°C간격으로 측정하여 K-Factor값을 얻을 수 있었다. 측정된 K-Factor는  $\frac{dV}{dT} = 4.076 [mV/°C]$ 이다. K-Factor는 열전달 특성 측정시에 sensitivity 값으로 사용되어진다.

히트싱크 1번이 부착된 MOSFET의 과도 열 임피던스

(transient thermal impedance)는 가열(heating up) 모드에서 측정하였으며,  $I_S=130mA$ ,  $U_{DG}=10V$ , Power step=1.3W,  $T_{max}=2000$ 초 이내, Sample/OCT=400개를 조건으로 측정하였다.

MOSFET의 가열은 측정을 시작하기 전 입력한  $U_{DG}$  값을 주기적인 펄스값으로 MOSFET에 흐르게 하여한(본 실험에서는 1초간격으로 300 $\mu s$  시간만큼 전압값을 인가) 후 일정 전류를 소자에 흐르게 하였을때의  $U_{GS}$  값을 측정하여 열의 변화량으로 계산하게 된다.

히트싱크 2번, 3번, 4번, 5번의 MOSFET의 경우는 각각  $I_S=-220mA$ ,  $-150mA$ ,  $-230mA$ ,  $-300mA$   $U_{DG}=10V$ ,  $10V$ ,  $10V$ ,  $10V$ , Power step=2.2W, 1.5W, 2.3W, 3W,  $T_{max}=2500$ 초, 5000초, 2000초, 2000초 이내, Sample/OCT=400개, 400개, 400개, 400개를 조건으로 과도 열 임피던스 값을 측정하였다.

### 3. 결과 및 검토

그림 2는 가열모드에서 히트싱크 크기별 과도 (transient) 곡선으로 x축은 시간을 나타내고, y축은 온도 상승값을 나타낸다. 이 그래프를 보면 히트싱크가 클수록 포화영역으로 가는 온도 상승값이 높아지는 것을 확인할 수 있다. 현재 최소와 최대의 차이는 32.5 $^{\circ}C$  정도 차이가 난다.

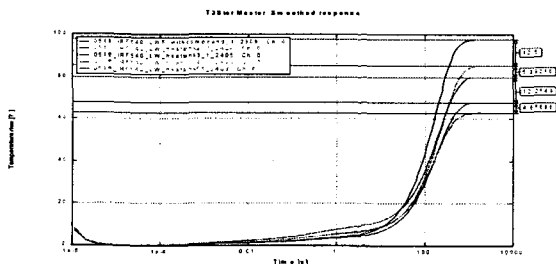


그림 2. 히트싱크 크기에 따른 MOSFET의 과도곡선

그림 3은 히트싱크 크기에 따른 MOSFET의 누적구조함수를 나타낸다. 누적구조함수의 x축은 열 저항을 나타내고, y축은 열 용량(system capacitance)을 나타낸 그래프이다. 측정된 히트싱크별 열 용량은 표 2의 열 저항 비교표에 잘 나타나 있다.

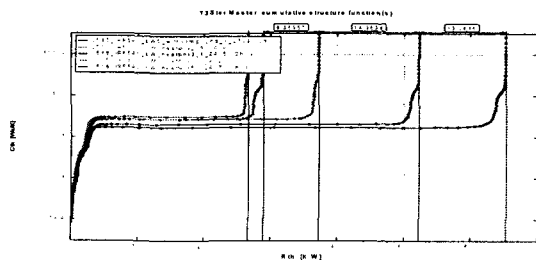


그림 3. 히트싱크 크기에 따른 MOSFET의 누적구조함수

그림 4는 히트싱크별 MOSFET의 미분구조함수를 나타낸다. 이 함수는 누적구조 함수를 미분하여 얻을 수 있다. 이 함수를 통하여 chip에서 패키지 표면까지의 열 저항값을 확인할 수 있다.

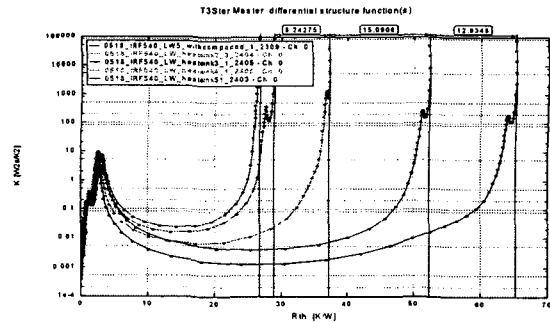


그림 4. 히트싱크 크기에 따른 MOSFET의 미분구조함수

### 4. 결론

본 논문에서는 히트싱크의 크기가 MOSFET의 열전달 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 표면적이 다른 5개의 히트싱크를 이용하여 열전달 특성을 측정하여 분석해 보았다. 표 2는 각각의 히트싱크에 의해 측정된 MOSFET의 접합부에서부터 주위(ambient)까지의 열 저항값을 나타낸다. 이 표를 보면 표면적이 커짐에 따라 패키지 주위까지의 열 저항값이 줄어들긴 하지만 표면적이 커짐에 따라 비례하여 줄어들지 않고, 히트싱크 3번을 기준으로 3배정도 커졌을 때 열 저항값이 약 55%로 감소하고, 그 이후로는 감소량이 둔화되는 것을 확인할 수 있었다. IC Chip이나 패키징된 시스템의 경우 적절한 히트싱크의 크기를 측정함으로써 얻을 수 있을 것이다.

표 2. 열 저항 비교표

| 종류<br>분류   | Heat Sink 1 | Heat Sink 2 | Heat Sink 3 | Heat Sink 4 | Heat Sink 5 |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 표면적<br>비율  | 1.5         | 3.3         | 1           | 2.6         | 3.9         |
| $R_{thja}$ | 52.3KW      | 28.9KW      | 65.2KW      | 37.3KW      | 26.5KW      |
| 감소비율       | 20%         | 56%         | 0           | 43%         | 59%         |

### 참고 문헌

- [1] 김형우, 서길수, 김상철, 김남균, 김은동, "전력용 반도체 소자의 열화에 의한 소자파괴 메커니즘 분석", 대한전기학회, 2003.11.
- [2] MicRED Ltd, "Properties of the structure function and its use for structure identification and for compact model generation", 2000.
- [3] E.N.Protonotarios, O.Wing: "Theory of nonuniform RC lines", IEEE Trans. on Circuit Theory, V.14, No.1, pp. 2-12 (1967)
- [4] John W. Sofia, Analysis Tech, Wakefield : "Analysis of Thermal Transient Data with Synthesized Dynamic Models for Semiconductor Devices", IEEE, 1999