

방열판 설계에 따른 접촉열전도재의 전열특성 Characterization of a thermal interface material with thinner heat spreader

*김정균¹, Wataru Nakayama², #이선규¹

*J. K. Kim¹, Wataru Nakayama², #S. K. Lee(skyee@gist.ac.kr)¹

¹ 광주과학기술원, ² Therm Tech International

Key words : Thermal interface material (TIM), lateral heat flow, thermal resistance, thermal impedance

1. 서론

전자 장비의 소형화와 집적화에 따른 시스템의 발열 문제를 해결하기 위한 thermal management 기술은 중요한 문제이다. 이러한 thermal management 기술은 노트북 컴퓨터, 고성능 CPU 칩셋, 휴대용 전자기기, 디스플레이 장비의 핵심부품 및 우주항공 전자장비에서 핵심적인 기술로 각광받고 있다. 대표적인 thermal management 기술로는 접촉 경계부의 열 적 특성, 방열기술, 쿨링 기술 등이 있다. 접촉 경계면에 관한 연구는 주로 두 강체의 접촉면에서의 접촉 열 저항을 줄이거나 없애기 위한 연구로 진행되어 왔다. 실제 강체의 표면에는 roughness, waviness, deviation 등의 여러 불규칙한 패턴을 갖게 된다. 따라서 두 강체의 접촉면은 절대 완벽히 접촉 할 수 없다. 이러한 불규칙한 표면 접촉은 접촉 열 저항의 주요한 원인이 된다. 이 때 접촉 면적을 증가 시키기 위해서는 압력을 가하여 표면을 평평하게 하는 방법과 접촉 면 사이에 열 전도율이 높은 물질을 채워 넣어 접촉 열 저항을 줄일 수 있다. 이러한 접촉 열 저항을 줄이기 위하여 paste, pads, gels, adhesive 타입의 다양한 접촉열전도재에 관한 연구가 진행되었다. 이러한 접촉열전도재에 관한 연구에서의 큰 문제는 실제 전자장비에서의 적용시의 성능과 이상적인 환경에서의 표준화된 측정 성능간의 차이에 있다 [1, 2]. 실제 소형화, 집적화된 많은 전자장비의 경우 고성능의 전자칩은 얇은 방열판과 함께 패키지가 된 경우가 다수 있다. 이 때, 패키지 시스템이 얇아질수록 접촉열전도재를 통해 흐르는 열 유량과 방열판과의 연관성을 강해진다. 따라서 접촉열전도재의 성능 평가에 있어서 방열판과의 관계를 고려하는 것은 중요한 요소이다. 본 연구에서는 방열판에 의해 발생하는 측면 열 흐름을 고려한 접촉열전도재의 열전도율 및 접촉 열 저항을 측정하는 실험장치의 개발과 측정방법을 제시하였다.

2. 실험 장치 구성

그림 1 은 측면 열 흐름을 고려한 접촉열전도재의 열전도율 및 접촉 열 저항을 측정하는 실험장치를 보여주고 있다. 본 실험 장치는 ASTM D-5470 규격 []을 기초로 개발되었다. 열 전도율이 높은 구리를 이용하여 열 흐름이 발생하는 2 개의 heat flow meter bar 를 구성하고 각 bar 에는 발열을 위한 80W 의 열용량을 갖는 5 개의 카트리지 히터가 내장되어 있다. 주위 공기와의 열전달을 막고 1-D 열 흐름만을 발생키 위해 구리 bar 는 열전도율이 낮은 단열물질인 Teflon 으로 단열 처리되어 있다. 측정 시 접촉열전도재에 압력을 가하는 장치는 기어박스과 모터, 스프링, 나사를 이용하여 구성하였고, 로드셀을 이용하여 실시간으로 외부 가압을 측정하였다. 측면 열 흐름을 발생시키기 위해서 lateral heat flow meter spreader 역시 구리를 이용하여 제작되었고, teflon 으로 단열처리 되었다. 각 bar 에는 냉각을 위해 채널이 가공되어있고, 각 채널은 유동순환기에 연결되어 있어 냉각수의 온도를 일정하게 유지시키게 하였다. 압력 변화에 따른 접촉열전도재의 두께 변화를 실시간으로 측정하기 위한 레이저다이오드와 PSD 센서를 이용한 광학측정장치가 추가되었다. 1-D 구리 bar 의 온도는 RTD 센서를 이용하여 측정하였고, lateral 구리 plate 의 온도는 T-type 열전

대를 이용하여 측정하였다. 압력신호와 온도신호는 NI-1600 DAQ 장비를 이용하여 데이터를 수집하였다. 접촉열전도물 질로는 Bergquist 사의 Gap pad 1500 40mil 를 이용하였다. 테이블 1 은 각 측정 센서의 불확실성을 나타내고 있다.

Table 1 Uncertainties on measurement

| | |
|-------------------------|--|
| Temperature measurement | RTD sensor Temp. fluctuation: ±0.04 °C |
| | Thermocouple Temp. fluctuation: ±0.04 °C |
| Heat flow | Heat flow fluctuation: ±1.2 W(40~120W) |
| Pressure loading part | Indicator resolution: 0.02 kgf (78Pa) Applied pressure accuracy: under 390 Pa Applied pressure range: 0~98 kPa |
| Optical measurement | Disp. Resolution: 10 μm Sensitivity: 0.262 mV/μm |
| Water circulator | Temp. distribution accuracy: ±0.01 °C |

3. 측정 결과 및 고찰

실험 장치를 이용한 측정은 1-D 열 흐름만 발생하는 상황에서 접촉열전도재가 없는 상황과 있는 상황 그리고 측면 열 흐름이 발생하는 상황에서의 양 heat flow meter 바 사이의 접촉 열저항과 thermal impedance 를 측정하였다. 측정 결과는 table 1 에 정리되어있다.

먼저, 1-D 열 흐름이 발생하는 경우의 측정 방법은 정상 상태에서의 heat flow meter bar 에서 각 위치에 따른 온도를 측정하고 최소제곱 법을 이용하여 차 선을 구한 다음 선의 기울기를 이용하여 heat flow meter bar 에 흐르는 열 흐름을 구하고, 선을 이용하여 끝 단에 온도를 추정한다. 이 때 정상상태는 5 분간 0.1 도 이상의 온도가 변하는 않는 경우로 정의한다. 각 끝 단에 추정된 온도와 열 흐름을 이용하여 양 끝 단사이의 접촉 열저항 값을 측정할 수 있고, heat flow meter bar 의 면적을 곱하면 thermal impedance 값을 측정할 수 있다.

다음으로 측면 열 흐름이 발생하는 경우의 측정 방법은 다음 식과 그림 2 에서 보여주고 있다.

$$Q_B = \frac{(T_{Bar1} - T_{TIM_b})}{R_{Bar1}}$$

$$\therefore T_{TIM_b} = T_{Bar1} - Q_B \cdot R_{Bar1}$$

$$Q_B = \frac{(T_{TIM_t} - T_{lat})}{R_{Lateral1}}$$

$$\therefore T_{TIM_t} = Q_B \cdot R_{Lateral1} + T_{lat}$$

$$Q_B = \frac{(T_{TIM_b} - T_{TIM_t})}{R_{TIM}}$$

$$\therefore R_{TIM} = \frac{(T_{TIM_b} - T_{TIM_t})}{Q_B}$$

Table 1 Comparison of measured thermal resistance and thermal

impedance

| | | |
|-------------------|---------------------------|---|
| Without TIM | 1-D heat flow | R : 0.2348 K/W Θ : 5.871 Kcm ² /W |
| With TIM | 1-D heat flow | R : 0.2278 K/W Θ : 5.696 Kcm ² /W |
| Lateral Heat flow | Using insulation material | R : 0.2696 K/W Θ : 6.742 Kcm ² /W |

측정 결과 접촉열전도재가 존재하는 경우 접촉 열저항과 thermal impedance 가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 반면, 측면 열 흐름이 발생하는 경우 접촉열전도재는 1-D 열 흐름만 있는 경우보다 접촉 열저항과 thermal impedance 가 큰 값을 보여주고 있다. 따라서 측면 열 흐름이 발생하는 경우 이상적인 상황에서보다 접촉열전도재의 열전도 성능이 저하되는 것을 확인했다.

4. 결론

본 연구에서는 측면 열 흐름을 고려한 접촉열전도재의 열전도율과 접촉 열 저항을 측정하는 실험장치의 개발 및 측정 방법을 제시하였다. 실험 장치는 ASTM D-5470 규격을 기초로 개발되었고, 본 장비에는 압력 변화에 따른 접촉열전도재의 두께 변화를 실시간으로 측정하기 위한 광학 측정장비가 추가되었다. 본 연구를 통해 소형화, 집적화 된 전자장비 패키지에서 실제 방열장비와의 연관성을 고려한 최적화된 접촉열전도재를 선택 기준을 제시하였다.

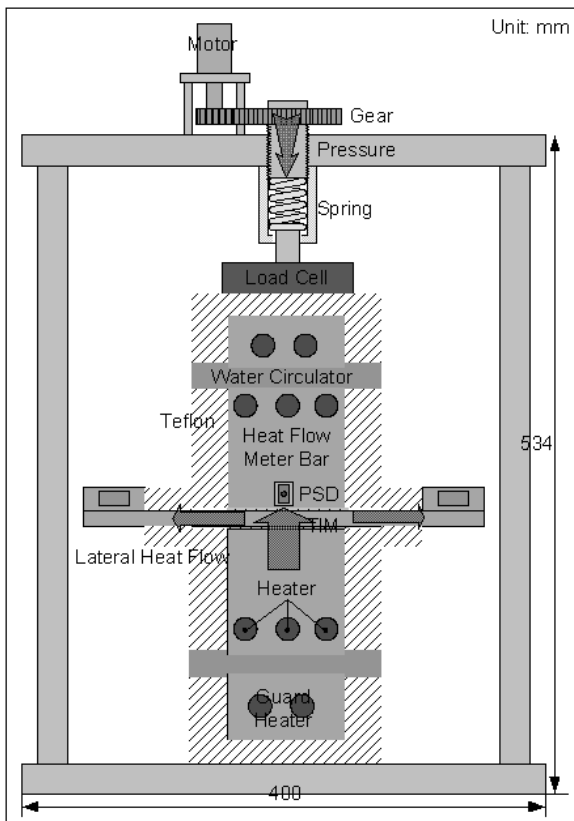


Fig. 1 Experimental setup for lateral TIM tester

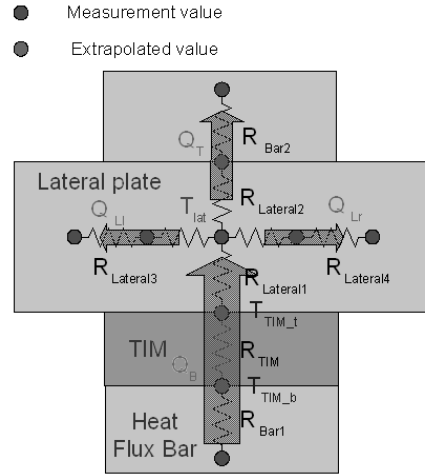


Fig. 2 Calculation thermal network model for calculating lateral thermal conductivity

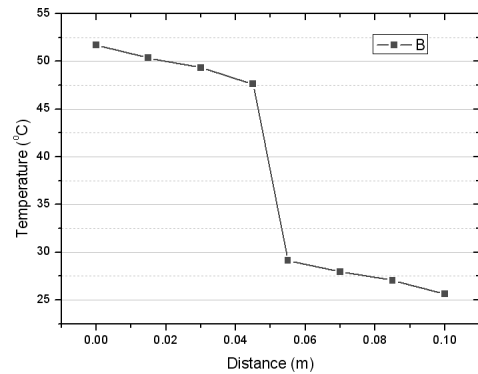


Fig. 3 Temperature on both heat flux bar with 1-D heat flow method measurement

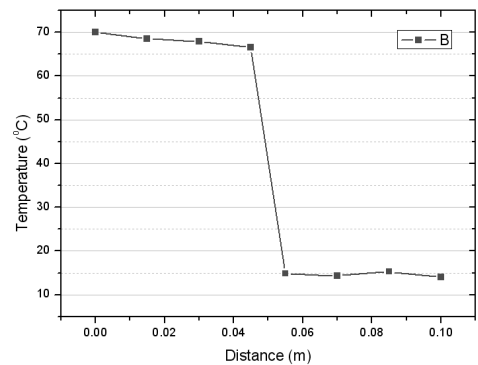


Fig. 4 Temperature on both heat flux bar with lateral heat flow measurement

후기

이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단 국가지정연구실사업의 지원을 수행된 연구임 (No. R0A-2008-000-10065-0)

참고문헌

1. Liu Bao Min, Mui YC, "TIM Characterization for High Performance Microprocessors," 2005 Electronics Packaging Technology Conference, 532-536, 2005.
2. R.N. Jarrett et al, "Comparison of Test Methods for High Performance Thermal Interface Materials," 23rd IEEE SEMI-THERM Symposium, 83-86, 2007
3. EIA/JESD 51-1, Integrated Circuits Thermal Measurement Method – Electrical Test Method (Single Semiconductor Device)