

접촉열전도재 성능 측정 장치 모델링과 측정 방법 개발 Method and modeling for characterization of a thermal interface material

*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, Thermal network model, Transient response measurement,

1. 서론

전자 장비의 소형화와 집적화에 따른 시스템 발열 문제를 해결하기 위한 열관리(thermal management) 기술은 중요한 문제이다.¹ 이러한 열관리 기술은 노트북 컴퓨터, 고성능 CPU 칩셋, 휴대용 전자기기, 디스플레이 장비의 핵심부품 및 우주항공 전자장비에서 핵심적인 기술로 주목 받고 있다. 대표적인 열 관리 기술로는 접촉경계면 연구, 방열설계기술, 냉각 기술 등이 있다. 접촉경계면에 관한 연구는 주로 두 강체의 접촉면에서의 접촉 열저항을 줄이기 위한 연구로 진행되어 왔다. 실제 두 강체의 표면에는 표면 거칠기(surface roughness), 파상도(waviness) 등의 불규칙한 패턴을 가지며 이러한 불규칙한 표면 접촉은 열전도 현상을 방해하는 접촉 열 저항의 주요한 원인이 된다. 이 때 실제 접촉면적을 증가 시키기 위해서는 압력을 가하여 표면을 평평하게 하는 방법과 접촉면 사이에 고열전도재료를 채워 넣어 접촉 열저항을 줄이는 방법이 있다. 이러한 접촉 열 저항을 줄이기 위한 접촉열전도재(Thermal interface materials) 물질로 페이스트(paste), 패드(pad), 겔(gels), 접착 테이프(adhesive) 타입의 다양한 재료의 물질이 개발되어 왔다.²⁻⁵

현재 접촉열전도재의 성능 파악을 위한 측정 방법 중에 정상상태의 온도를 이용하는 방법으로는 ASTM D 5470 기준에 의해 제작된 측정 장치를 많이 이용한다. 이 측정 방법은 열전도율이 높은 물질을 이용하여 두 개의 열류막대를 구성하고 한 쪽 열류막대에는 발열을 위한 히터가 내장되어 있고, 다른 한 쪽 열류막대에는 냉각을 위한 장치가 내장되어 있다. 이 때, 접촉열전도재는 두 열류막대 사이에 위치하게 되고, 열류막대를 통해 흐르는 열류와 온도를 온도 측정 장치를 이용하여 계산, 측정된 값을 이용하여 접촉열전도재의 접촉 열 저항과 열전도율을 측정 할 수 있다. 하지만, 이 측정 방법은 측정 대상인 접촉열전도재의 열용량에 비해 매우 큰 열용량을 가지는 열류막대로 인해 가열에 의한 각 부분 온도의 정상 상태 도달 시간이 매우 길어지며, 이에 따른 접촉열전도재의 열전도율 및 접촉 열 저항의 측정에 어려움이 있다.

한편, 열저항을 규명하는 방법으로 정상 상태에서의 온도의 측정 값을 이용하는 것이 아닌, 과도 상태의 온도 차이 값을 이용한 규명 방법이 제시되었다.⁶ 인클로저로 둘러싸인 전자패키지 시스템의 경우, 인클로저 내부의 축열과 외부 온도변화 때문에 각 구성 부품의 온도는 지속적으로 변화하며 내부 공기에 쌓이게 되고 이렇게 쌓인 발열이 주위 부품에 영향을 미치게 되기 때문에 정상 상태의 온도의 정의에 어려움이 있다.

본 연구에서는 정상 상태 온도를 이용하는 접촉열전도재의 성능 측정 방법의 문제점을 해결하기 위해 과도 상태의 온도 특성에서 온도의 차이 값을 이용하는 접촉열전도재의 성능 측정 방법과 이를 위한 모델링을 제시하였다.

2. 모델링

본 연구에서 접촉열전도재의 성능 측정을 위한 모델링은 시스템 다이내믹 수법의 하나인 본드 그래프를 이용한 센서 시스템을 이용하여 모델링 하였다. 본드 그래프는 각 요소간 파워의 흐름에 따른 그래프 이론을 기반으로 한 모

델링 방법으로 열, 구조, 전기, 전자기 등이 결합된 다중물리 시스템의 해석에 유용한 기법이다. 본드 그래프 모델링에서 화살표 모양dml 모든 본드(bond)는 effort 변수와, flow 변수를 갖는다. 열 시스템의 경우 온도와 열류가 각각 effort 변수와 flow 변수를 나타내고, 전기 시스템의 경우 전압과 전류가 각각 effort 변수와 flow 변수를 나타낸다.⁶

그림 1은 전기적 입력에 의한 히터 저항에서 줄히팅(joule heating)에 의해 발생하는 발열과정과 발열이 접촉열전도재 성능 측정장치를 흐르는 열전달과정이 결합되어 있는 전기적-열적 시스템 모델링이다. 히터에서 발생한 열은 하부 열류 막대, 접촉열전도재, 상부 열류 막대, 냉각 소자를 거쳐 외부 공기까지 진행된다. 본 모델링에서는 열적 시스템을 표현하기 위해 열저항(thermal resistance)와 열용량(thermal capacitance)를 이용한 열 네트워크 모델링(thermal network modeling)으로 표현하였다. 개발된 모델링은 정상상태에서의 검증은 무차원수인 'Bi'를 이용하여, 과도상태에서는 'Fo'를 통하여 검증하고 각 요소의 계산 안정성을 확인하기 위해서는 각 노드의 시상수 값이 계산 간격보다 커야 한다.

3. 시뮬레이션 결과

개발된 모델링을 이용하여 실제 제작된 측정 장치를 이용한 측정값과 시뮬레이션 값간의 비교를 하였다. 그림 2는 측정장치에 일정한 전류를 입력한 경우, 측정장치에서 측정된 온도와 시뮬레이션 값을 보여주고 있다. 시뮬레이션 값과 측정 값이 일치하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3은 측정장치의 온도 특성과 온도 차이 특성이 각각 정상상태에 도달하는 시간을 비교하기 위해 시간에 따른 특성 값 변화를 확인하였다. 정상상태의 99% 이내에 도달하는 시간은 온도 특성의 경우 8800 초, 온도 차이 특성의 경우 8000 초를 보여주고 있다. 온도 차이 특성을 이용하는 경우, 약 800 초의 시간이 빠른 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 온도 특성을 이용한 접촉열전도재의 열저항 측정 방법과 온도 차이 특성을 이용한 접촉열전도재의 열저항 측정 방법의 경우 최종 접촉열저항과의 오차를 시간에 따라 표시하였다. 각각의 경우 정상상태 도달 시간 이전에 최종 접촉열저항에 수렴하는 행태를 보이고 있으며, 온도 차이 특성을 이용하는 경우 보다 빠르게 접촉열저항의 특성 파악이 가능한 것을 확인할 수 있다.

또한, 개발된 모델링은 측정장치의 동작 상태에 따른 과도상태의 변화시의 온도 특성 변화를 확인하였다. 그림 5는 측정장치에서 냉각장치의 동작 여부에 따른 온도의 특성 변화와 모델링을 이용한 시뮬레이션 결과 값을 보여주고 있다. 측정은 일정한 전류를 공급한 상태에서 3500 초에 냉각장치의 동작을 멈추었고, 그에 따른 각 부분의 온도 상승을 확인할 수 있다. 다시 5200 초에 냉각장치를 재 동작 하였고, 그에 따른 각 부분의 온도 하강을 확인하였다. 개발된 모델링을 이용한 시뮬레이션 값은 측정 값과 유사함을 확인할 수 있고, 과도 상태의 변화에도 모델링은 측정값을 잘 반영하는 것을 확인하였다. 개발된 모델링을 이용하여 측정장치의 동작상태, 시스템 내외부의 변화에 따른 온도 거동의 변화와 그에 따른 열저항의 파악이 가능하다.

4. 결론

본 연구에서는 정상 상태 온도를 이용하는 접촉열전도재의 성능 측정 방법의 문제점을 해결하기 위해 과도 상태의 온도 특성에서 온도의 차이 값을 이용하는 접촉열전도재의 성능 측정 방법과 이를 위한 모델링을 제시하였다. 제시된 측정 방법의 경우 정상상태 온도 특성을 이용하는 방법보다 적은 시간을 요구하며, 개발된 모델링을 이용하여 측정 도중 과도 상태의 변화와 그에 따른 열저항의 변화를 파악할 수 있다.

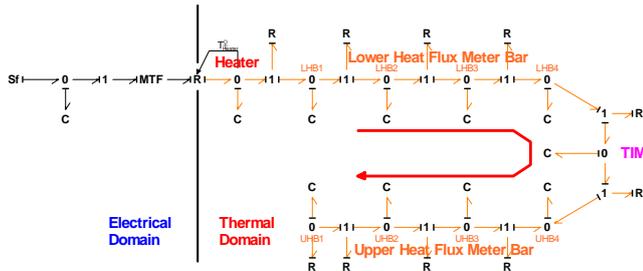


Fig. 1 Thermal network model of thermal interface material apparatus

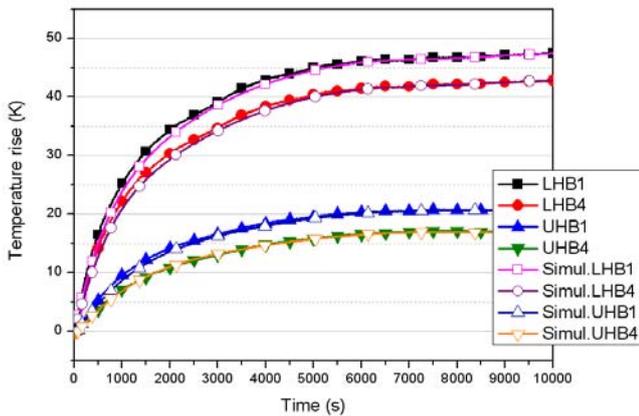


Fig. 2 Comparison of the temperature rise between the measured and the simulated

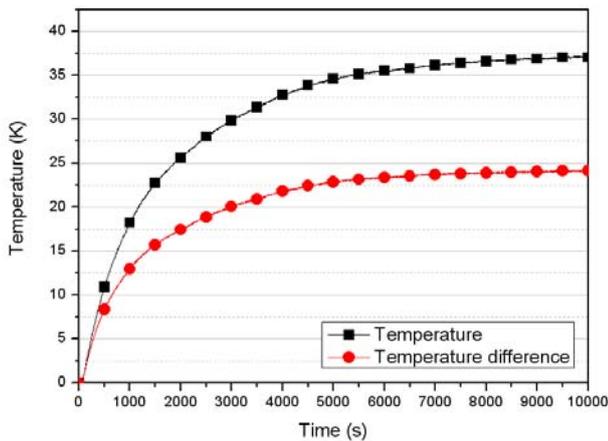


Fig. 3 Transient response of thermal resistance of a commercially available TIM sample

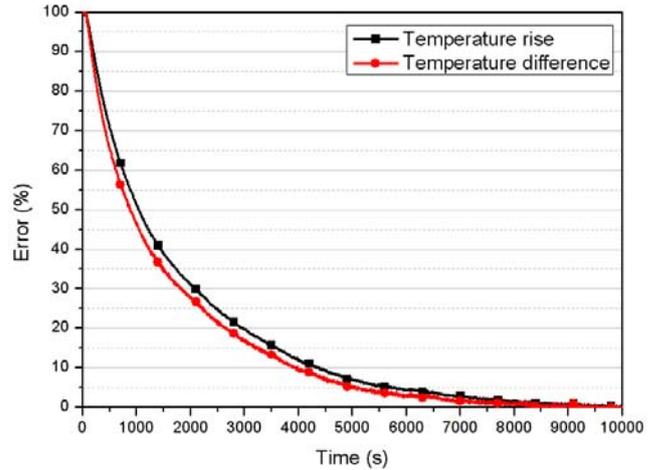


Fig. 4 Comparison of the error ratio of thermal resistance between transient measured and steady-state measured

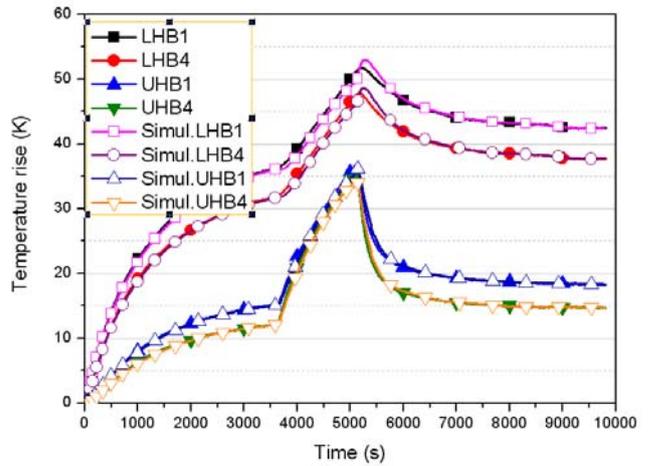


Fig. 5 Comparison of the temperature rise between the measured and the simulated

후기

이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단 국가지정연구실사업(No. R0A-2008-000-10065-0)의 지원과 광주과학기술원 생체적용나노기초기술연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. J. W. Kim et al., "Thermal Via Design for Heat Dissipation in PCB," Proc. of kspe, pp. 195-196, June 2008.
2. Liu Bao Min et al., "TIM Characterization for High Performance Microprocessors," Proc. of 2005 Electronics Packaging Technology Conference, pp. 532-536, 2005.
3. R.N. Jarrett et al., "Comparison of Test Methods for High Performance Thermal Interface Materials," Proc. of 23rd IEEE SEMI-THERM Symposium, pp. 83-86, 2007
4. Sarvar, Farhad et al., "Thermal Interface Materials – A Review of the State of Art," Proc. of Electronics System Integration Technology Conference, Dresden, Germany, pp. 1292-1302, 2006
5. Gwinn, J.P. et al., "Performance and testing of thermal interface materials." Microelectronics Journal, Vol. 34, pp. 215-222, 2003
6. J.-K. Kim et al., "Estimation of thermal parameters of the enclosed package system by dynamic thermal response," Mechatronics 19, pp. 1034-1040, 2009