

전자 패키징용 금속복합재료의 온도에 따른 열팽창 특성

정성욱* · 남현욱* · 정창규* · 한경섭**

Analysis of Temperature dependent Thermal Expansion Behavior in MMCs for Electronic packaging

S.W. Jung, H.W. Nam, C.K. Jung and K.S. Han

Key Words: thermal expansion, electronic packaging, MMCs, FEM

Abstract

This study developed SiC/Al composites for electronic packaging to which reinforcements were added with the volume fractions of 49%, 56% and 63% by the squeeze casting method. 0.8 wt.% of the inorganic binder as well as the Al₂O₃ fiber and SiC particles with the volume fraction of 1:10 were added to the SiC/Al composites. For the produced SiC/Al composites, the CTEs (coefficients of thermal expansion) were measured from 30 to 300°C and compared with the FEM numerical simulation to analyze the temperature dependent properties. The experiment showed the CTEs of SiC/Al composites that were intermediate values of those of Rule of Mixture and Turner's Model. The CTEs were close to Turner's Model in the room temperature and approached the Rule of Mixture as the temperature increases. These properties analyzed from the difference of the average stress acting between the matrix and the reinforcements proposed in this study.

기호설명

α : thermal expansion coefficient
 V : volume fraction
 K : bulk modulus
 ϵ : strain
 σ : stress

1. 서론

최근 전자산업의 발전에 따라 칩에서 발생한 열을 배출시키는 패키징 소재에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 이러한 신소재 중 SiC/Al 복합재료가 유력하게 대두되고 있다. 이 재료는 패키징 재료에서 요구되는 높은 열전도도, 접합부 소재와 유사한 열팽창계수, 낮은 밀도, 열피로에 대한 기계적, 화학적 안정성 등의 조건에 크게 부합한다.

이 재료가 전자부품에 적용되기 위해서는 복합재료의 개발과 더불어 열팽창계수의 해석이 필수적이다. 이러한 해석은 이론해석과 FEM을 도입한 수치해석으로 분류할 수 있다. 이론 해석은 1960년대 초기부터 발전해 왔으나 수식 전개에 의해 탄성영역 및 제한된 형태의 보강재에 대해서만 수행되어 왔으며 잔류응력, 보강재 형태, 온도에 따른 특성 등을 분석하는 데는 한계가 있다. FEM해석의 경우 이론 해석의 한계인 소성응력, 잔류응력, 보강재의 형상 등에 대한 광범위한 분석이 가능하므로 최근 많은 연구가 발표되고 있다[1-3].

그러나 기존 연구들은 일부 실험과 이론의 비교를 실시하고 있으나 대부분 평균 열팽창계수를 적용하여 온도에 따른 순간열팽창 특성을 분석하는 경우는 찾아보기 힘들다. 순간 열팽창은 측정 온도, 잔류응력, 소성변형 등의 영향에 민감하므로 이에 대한 보다 상세한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 가압주조법을 통해 SiC/Al 금속복합재료를 제조하고 온도에 따른 순간 열팽창계수를 측정하였다. 실험 결과는 이론적 해석과 FEM 해석을 통해 비교 분석되었다.

* 포항공과대학교 기계공학과 대학원

** 포항공과대학교 기계공학과

2. 실험

MMCs제조에 사용된 보강재 및 모재의 기계적 특성은 Table 1에 나타나있다. 보강재는 SiC 입자와 Al₂O₃섬유를 10:1로 혼합하여 각각 전체 부피분율 49%, 56%, 63%의 예비성형체를 제조하였다. Al₂O₃ 섬유는 예비성형체의 부피분율을 조절하고 입자 보강재의 파손을 방지한다.

MMC는 가압주조법으로 제조되었다. 전기로에서 알루미늄 모재를 800℃에서 가열하여 용해시키고 동시에 예비성형체와 몰드를 500℃로 예열하였다. 용탕은 30MPa의 편치압력으로 예비성형체로 침투되었으며, 2분 동안 가압하면서 냉각시켜 금속속복합재료를 제조하였다. 제조된 MMC는 480℃에서 4시간 용체화 처리 후 급냉하였으며 180℃에서 9시간 시효처리를 시켰다.

열팽창계수 측정은 Transformation dilatometer가 사용되었다. 이 장치는 heat induction coil를 사용하며 시편에 부착된 열전대로 온도를 측정하게 된다. 실험은 1℃/sec속도로 시편을 상온에서 300℃까지 변화시키면서 순간 순간의 시편의 온도와 길이를 측정하였다.

3. 실험 및 해석결과

3.1 해석이론

실험과의 비교를 위해 사용된 해석이론은 열팽창계수의 이론적인 최대값과 최소값을 예측하는 혼합법칙과 Turner 모델을 사용하였으며 각각의 이론식은 다음과 같다.

$$a_c = a_m(1 - V_r) + a_r V_r \quad (1)$$

$$a_c = a_m(1 - V_r) + a_r V_r - V_m V_r (a_m - a_r) \frac{K_r - K_m}{V_m K_m + V_r K_r} \quad (2)$$

3.2 FEM 해석

FEM해석은 평면 응력조건으로 부피분율 49% MMCs에 대한 2차원 해석을 수행하였다. Fig.1는 본 해석에서 수행된 MMCs의 모델로서 복합재료 단면의 광학현미경 사진에 나타는 보강재 형상을 기초로 하였다.

FEM해석에 사용된 보강재와 모재의 물성은 온도에 따른 열팽창계수, 탄성계수, 항복응력이 다. 보강재는 탄성해석을 수행하였으며 온도에 관계없이 Table 1에 표시된 물성을 사용하였다. 모재는 탄소성 해석을 수행하였으며 열팽창계수는 본 실험을 통해 측정된 값을, 탄성계수 및 항복응력은 Reference를 [4]참조하였다. Fig.2는 FEM해석에 사용된 모재의 온도에 따른 인장특성 및 열팽창계수를 나타낸다.

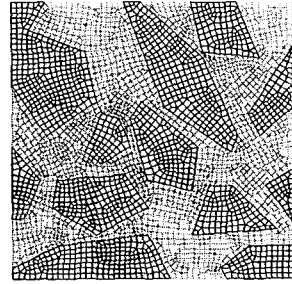


Fig.1. FEM model of SiC/Al MMCs with 49 vol.%

Table 1. Mechanical properties of reinforcement & matrix

Materials	Dia. (μm)	Length (μm)	Tensile Strength (GPa)	Young's Modulus (GPa)	CTE (ppm/°C)
SiC particle	45/10	45/9.5	-	450	4.5
Saffile fiber	3	150	2.0	300	7.6
Al 356	-	-	0.79	71	23.0

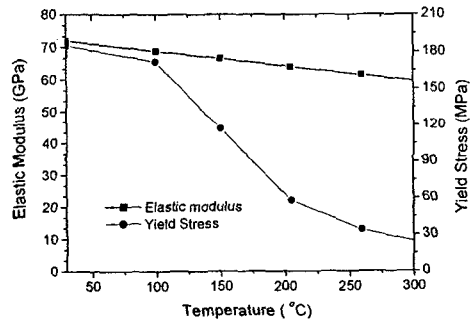


Fig. 2. Temperature dependent tensile properties of matrix

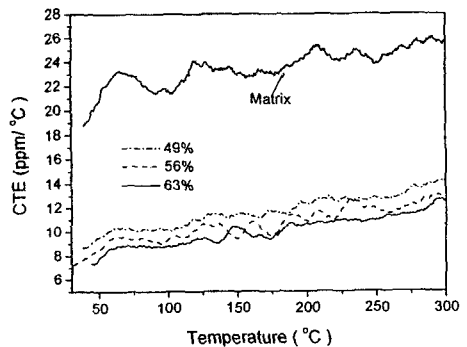


Fig. 3. Instantaneous CTEs of SiC/Al composites

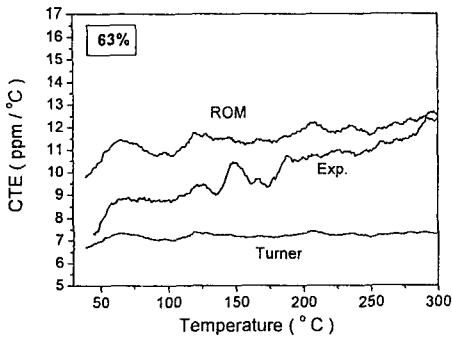
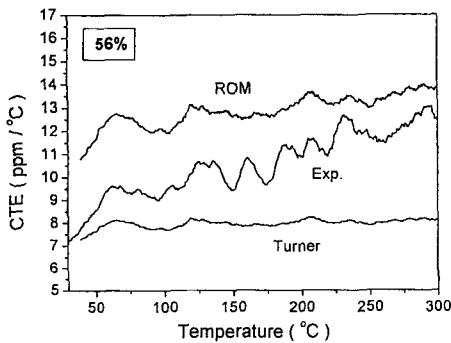
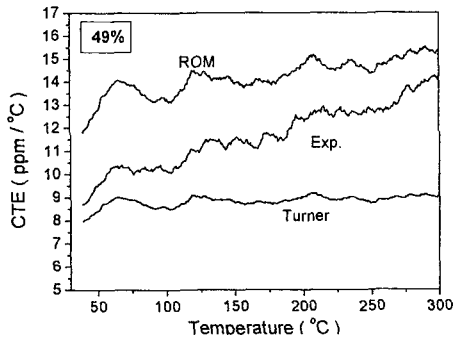


Fig. 4. Comparison of CTE between experimental data and theoretical predictions for (a)49%, (b)56%, (c)63%

Fig.3는 시험편의 순간 열팽창계수를 나타낸다. 열팽창계수는 실험에서 측정되는 변위-온도 그래프를 1차 미분한 것이다. 열팽창 계수는 보강재의 부피분율 증가에 따라 감소하며, 온도가 높아질수록 팽창계수가 증가한다. 그래프에서 열팽창계수는 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 즉 상온에서 70℃까지 급격히 증가하는 부분과, 70℃~300℃ 열팽창계수가 완만히 증가하는 구간이다. 1 이러한 구간은 기존 연구결과에서도 발견되는데

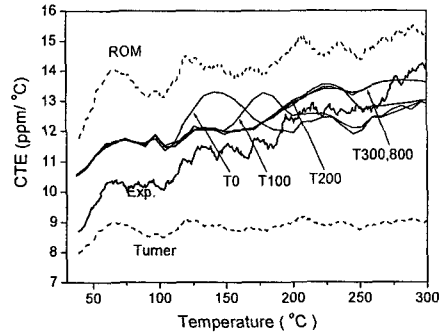


Fig. 5. CTE from FEM for various temperature history

[5,6]으로 이는 SiC/Al 복합재료의 열팽창 특성이 모재에 지배적인 영향을 받고 있기 때문이다.

Fig.4는 복합재료의 종류에 따라 측정된 순간 열팽창계수를 이론과 비교하여 보여준다. 모재의 열팽창계수는 실험으로 얻어진 값을 대입하였다. SiC/Al복합재료의 열팽창계수는 Turner모델과 혼합법칙의 중간값을 가지게 되며 온도에 따라서는 초기에 Turner모델에 의한 예측값과 유사하나 온도가 증가함에 따라 혼합법칙의 값에 가까워진다. 이러한 경향은 Elomary[7]의 연구와 일치하며 그 원인은 모재의 소성변형, 잔류응력, 표면상태 등으로 추정되고 있을 뿐 정량적인 해석은 찾아보기 힘들다. 본 연구는 FEM을 도입하여 정량적인 해석을 실시하였다.

Fig.5는 온도이력에 따른 열팽창계수의 FEM 해석결과이다. 부피분율 49%인 SiC/Al 복합재료에 대해서 초기온도 $T_0=0^\circ\text{C}$, 100°C , 200°C , 300°C , 800°C 에서 상온으로 냉각시키고 이에 따른 열팽창계수 해석을 실시하였다. Fig.15에서 $T_0=300^\circ\text{C}$ 와 $T_0=800^\circ\text{C}$ 의 차이는 나타나지 않고 있는데 이는 $T_0=300^\circ\text{C}$ 인 경우와 잔류응력이 동일하기 때문이다. 한편, 초기온도가 T_0 가 증가할수록 열팽창계수의 극대점이 나타나는 온도(T)는 증가하며, 이에 따라 기울기가 증가하여 실험결과와 유사해진다. 이러한 특징은 보강재와 모재의 하중전달 관계로부터 설명이 가능한데 Geng[8]은 복합재료의 내부응력에 주목하여 SiCw/Al 복합재료의 열팽창특성을 정성적으로 설명한 바 있다. 본 연구에서는 이러한 개념을 더욱 발전시켜 수식을 유도하였다.

Fig.6은 하중전달 관계를 설명하기 위한 개략도이다. SiC보강재와 Al모재가 접합된 복합재료가 열을 받을 때 팽창거동을 이론별로 살펴보자. 혼합법칙은 두 재료간의 하중전달을 무시하므로 모재와 보강재가 자유롭게 최대한 팽창을 하며, 반대로 Turner모델은 두 재료가 동일한 변형률

4. 결 론

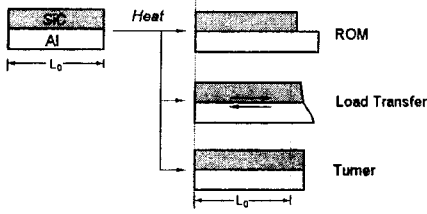


Fig. 6. Schematic diagram of thermal expansion from the theories

로 변형하므로 모재의 변형이 최소로 억제된다. 실제의 복합재료는 모재와 보강재의 하중전달에 의해 혼합법칙과 Turner모델의 중간값을 가지는데 이에 따른 열팽창계수는 본 연구에서 제안된 하중전달의 관계를 정량화한 다음의 수식을 통해 예측할 수 있다.

복합재료에서 발생하는 온도에 의한 변형률은 혼합법칙에 의한 변형률(ϵ_T)에서 하중전달에 의한 부분으로 표시된다(ϵ_L). 하중전달에 의한 부분은 수식(4)의 관계로 표시되는데, 수식(4)부분은 온도에 따른 열팽창계수의 특성을 결정하는 부분이다.

$$\epsilon_c = \epsilon_T - \epsilon_L \quad (3)$$

$$\epsilon_L = \frac{\Delta(\sigma_r - \sigma_m)}{\Delta T} \quad (4)$$

수식(4)의 응력은 FEM해석을 통해 구해지는 보강재와 모재에 대한 평균 내부응력이다. Fig.7은 수식(4)의 예측에 의한 부분을 Fig.5의 해석결과와 비교하여 나타낸 것으로 온도 이력에 따른 열팽창계수의 최대점들이 서로 일치하므로 수식(3), (4)의 관계가 유효함을 입증한다.

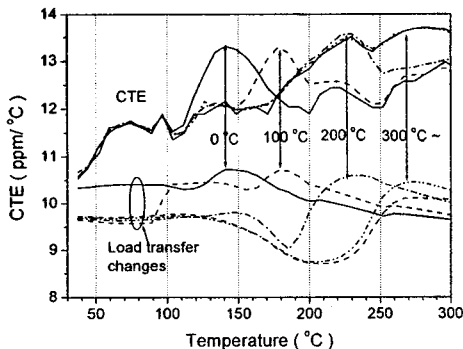


Fig. 7. Detailed comparison between Load transfer change and CTE

1. 금속복합재료의 열팽창 계수는 Turner와 혼합법칙의 중간값을 취하며, 상온에서는 Turner모델에 근접하다가 고온에서는 혼합법칙에 가까운 값을 가지게 된다. 이러한 특성은 모재의 소성 변형에 의한 것으로 본 연구에서 제안된 수식(4)에 의해 감지된다.
2. SiC/Al금속복합재료의 가공 잔류응력은 300°C에서 상온으로 냉각될 때 발생하며 300°C이상의 가공 온도에서는 300°C에서와 동일한 잔류응력이 발생한다. 300°C 이하의 가공 온도에서는 온도가 높아질수록 열팽창계수의 극대점이 상온으로 이동하는데 이는 가공 잔류응력이 모재의 소성변형을 지연시키기 때문이다.

후 기

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-041-E00055)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Shen, Y.L., Needleman, A, and Suresh, S., *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 25A, 1994, pp. 839-849
- 2) Shen, Y.L., *Materials Science and Engineering*, Vol.A252, 1998, pp. 269-275
- 3) Hsueh, C.H., Becher, P.F., Sun, E.Y., *Journal of Materials Science*, Vol. 36, No. 1, 2001, pp. 255-261
- 4) ASM Handbook Committee, *Metals Handbook* 9th ed., Vol.2, 1985, pp. 166-167
- 5) Occhionero, M., Adams, R., and Fennessy, K., *Proceeding of the 4th Annual Portable by Design Conference*, 1998, pp. 398-403
- 6) Shou-Yi Chang, Su-Jien Lin, and Merton C. Flemings, *Metallurgical and Materials Transactions*, Vol. 31A, 2000, pp.291-298
- 7) Elomari, S., Boukhili, R., San Marchi, C., Mortensen, A., Lloyd, D.J., *Journal of Materials Science*, Vol. 32, No. 8, 1997, pp. 2131-2140
- 8) Geng, L, Ochiai, S., Yao, C.K., *Journal of Materials Science Letter*, Vol. 17, 1998, pp. 1933-1935