

.....
論 文
.....

Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18. y:0~10wt.%)계 복합재료의 열적성질에 관한 연구

박상준*, 조원용*, 강세선**, 임윤수**, 권혁무***, 윤의박****

A Study on the Thermal Properties of Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18. y:0~10wt.%) Composite Materials

Sang-Joon Park*, Won-Yong Jo*, Se-Seon Kang**, Yoon-Su Lim**, Hyuk-Mu Kwon*** and Eui-Park Yoon****

Abstract

The purpose of this study is to obtain basic information on the particle dispersion, the coefficient of thermal expansion and the thermal conductivity of compocasted Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18. y: 0~10wt.%) composite. With increasing the content of SiC particles, the thermal expansion coefficient and the thermal conductivity decrease. The coefficient of thermal expansion between 20 and 300°C is $21.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \sim 18.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ for the Al-Si alloys and $18.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \sim 16.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ for the composite with 10wt.% SiC. The thermal conductivity at 300°C is $121 \sim 169 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$ for the Al-Si alloys and $114 \sim 159 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$ for the composite with 10wt.% SiC. (Received May 18, 1993)

1. 서 론

금속기복합재료는 고강도, 내열성, 내마모성 및 고온특성 등을 갖는 강화재를 기지재료에 첨가하여 기존의 재료보다 우수한 성질을 얻을 수 있다.

최근의 제조방법으로 분말야금법, 용탕단조법, 연속복합주조법, 반응고가공 및 가압주조법, rheo-compocasting 등이 있고 이러한 방법 중에 compocasting법¹⁾은 가격이 저렴하고, 간단하며 slurry상의 용탕을 고속으로 교반하면서 주조하기 때문에 강화재를 기지금속내로 균일하게 분산시키는 장점이 있다. 입자분산강화형 복합재료에서 SiC입자를 분산시켜 고강도, 내마모성, 내열성 등의 향상을 도모하는 연구^{2~4)}가 이루어졌으며, 특히 내연기관 부품이나 피스톤 등의 Al합금은

내열성이 요구되는 재료이지만 저속, 고부하시에 과다한 열팽창으로 인하여 소착되는 결점이 있어 기존의 Al합금재료의 열적성질의 향상이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 compocasting방법에 의해 주조된 Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18. y:0~10wt.%)계 복합재료에 대하여 계면조직, 열팽창계수, 열전도도를 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시료의 주조

순도 99.8%인 Al을 고주파전기유도로(Pillar 제, 25kW, 10kHz)에서 용해한 후, 순도 99%인 금속Si를 첨가하고 1000°C로 가열하여 Si의 함유량이 33.3%인 Al-Si모합금을 만들었다. 이 모합금과 순Al, Cu, Mg을 전기저항로에서 재용해

*천안공업전문대학 열처리과(Dept. of Heat Treatment, Cheon-An National Junior Technical College)
**대전산업대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng., Taejeon National University of Technology)
***충남대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng., Chung Nam National University)
****한양대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng., Hanyang University)

하여 Si의 함유량이 6%, 12%, 18%, Cu는 2%, Mg은 1%가 되도록 만들고, 이 용탕에 습기와 산소를 제거하여 정제한 Ar가스를 3분간 통과시켜 탈가스처리하였다. 이와같이 준비된 용탕을 일정한 크기의 금형에 주입하였다. 준비된 모합금[(Al-xSi-2Cu-1Mg)(x: 6, 12, 18wt. %)]을 재용해하고 용해중에 산화를 방지하기 위하여 hydroquinon[C₆H₄(OH)₂]과 silicagel로 정제한 Ar가스를 2~3 ℓ/min 속도로 주입하여 5분간 탈가스처리하고, 드로스 및 산화물 등을 제거한 후, 고령토로 만든 임페라를 용탕속에 밀어넣어 blade의 하단부가 흑연도가니 바닥에서 10mm정도 떨어지게 설치하였다. 용탕온도 강하중에 임페라의 회전속도는 500rpm으로 하고, 고상분율이 0.45~0.6의 온도범위로 유지하였다. 이 상태에서 800°C로 10시간 가열건조시킨 SiC입자를 전보⁵⁾의 장치와 같이 분말장입용 깔대기를 통하여 분산시켰다. 각 조성[(Al-xSi-2Cu-1Mg)(x: 6, 12, 18wt. %)]별로 SiC입자(10~20 μ m)의 분산량은 0~10wt. % 범위로 변화시키고 10g/min의 장입속도로 첨가하였다. 입자분산이 완료된 후에도 이 온도에서 15~20분동안 계속하여 교반하고 충분히 wetting되면 승온시킨다. 액상선 이상의 800°C로 서서히 승온시켜 이 온도에서 약 30분간 교반한 후 Ar가스를 1~3 ℓ/min, 속도로 주입하여 탈가스처리하였다. 탈가스작업이 끝나면 임페라의 회전속도를 500rpm으로 하고 용탕표면의 드로스를 제거하며 용탕의 온도는 750°C로 유지한다. 용탕은 시편치수 $\phi 21 \times 250$ L(mm) 및 $\phi 50 \times 80$ L(mm)의 300°C로 예열된 금형에 각각 주입하였다. 주조한 시료를 490°C에서 4시간 유지한 후 0°C의 물에 급냉하여 용체화처리하고 170°C에서 10시간 인공시효처리를 행하였다.

2.2 열팽창량의 측정

$\phi 5 \times 15$ mm의 시료를 열팽창계(ULVAC TA-1500)에 장착하고 적외선가열로에서 5°C/min, 속도로 가열하며, 시험온도는 20°C~100°C, 20°C~200°C 및 20°C~300°C로 하였다. 온도증가에 의한 시편의 길이변화를 자동기록계로 측정하여 선팽창계수를 구하였다.

2.3 열전도도의 측정

전열상수의 측정은 정상법⁶⁾에 의해 산출하였다. 시편에 가한 온도는 50°C~300°C로 50°C 간격으로 하고, 측정시편의 열전도도는 Fourier⁷⁾의 식으로부터 유도하여 구하였다. 측정시편이 치수는 $\phi 40 \times 2$ mm 및 $\phi 40 \times 4$ mm이고, 표준시편은 $\phi 40 \times 30$ mm인 Cu($\lambda = 0.889$ cal/cm \cdot sec \cdot °C)를 사용하였다.

3. 실험결과

3.1 SiC입자의 분산성

Photo 1은 Al-xSi-2Cu-1Mg(x: 6, 12, 18)합금에 SiC입자의 함유량을 변화시켜 주조된 시료의 현미경조직 사진이다. SiC입자의 분산성은 아공정(6%Si), 공정(12%Si), 과공정(18%Si)조성에서 균일하게 나타났다. 분산성을 지배하는 요인은 교반시간, 교반속도, 입자크기, 첨가원소, 응고속도 등에 따라 좌우되고 분산된 SiC입자는 3가지 형태로 분류할 수 있다⁸⁾.

- 1) 고액공존구간에서 혼입, 분산된 SiC입자
- 2) 용융Al을 바인더로 하여 괴상조직을 형성하는 SiC입자
- 3) 첨가하기 전과 동일한 상태의 미혼입 SiC입자

여기서 2), 3)항이 Al합금 용탕에 미혼입된 SiC입자이고 특히, 2)항의 괴상조직은 SiC입자가 응집결합되어 Al합금에 둘러쌓여 있는 형태로 되어 분산성을 저해하는 것이다. 따라서, SiC입자의 분산성을 향상시키기 위하여 2)항의 생성원인을 제어할 필요가 있고, 본 연구에서는 이러한 요인을 감안하여 고액공존구간에서 SiC입자를 분산시킨 후 800°C로 가열하여 30분동안 유지하면서 계속하여 교반을 행하였기 때문에 이 단계에서 응집결합된 SiC의 괴상조직과 미혼입된 SiC입자가 화학적 결합을 수반하는 젖음이 진행되어 Al합금 용탕에 분산되고, 계면활성원소인 Mg의 영향으로 SiC입자와 용융Al합금의 계면반응도 분산성의 향상에 기여된 것으로 사료된다. 또한 SiC입자의 함유량이 적은 경우에도 분산성이 다소 양호하게 나타났다. 이것은 서냉시 발생하는 입자의 불균일성을 방지하기 위하여 강제교반된 용액상태에서 응고가 빨리 진행되도록 금형에 신속히 주입하였기 때문인 것으로 사료된다.

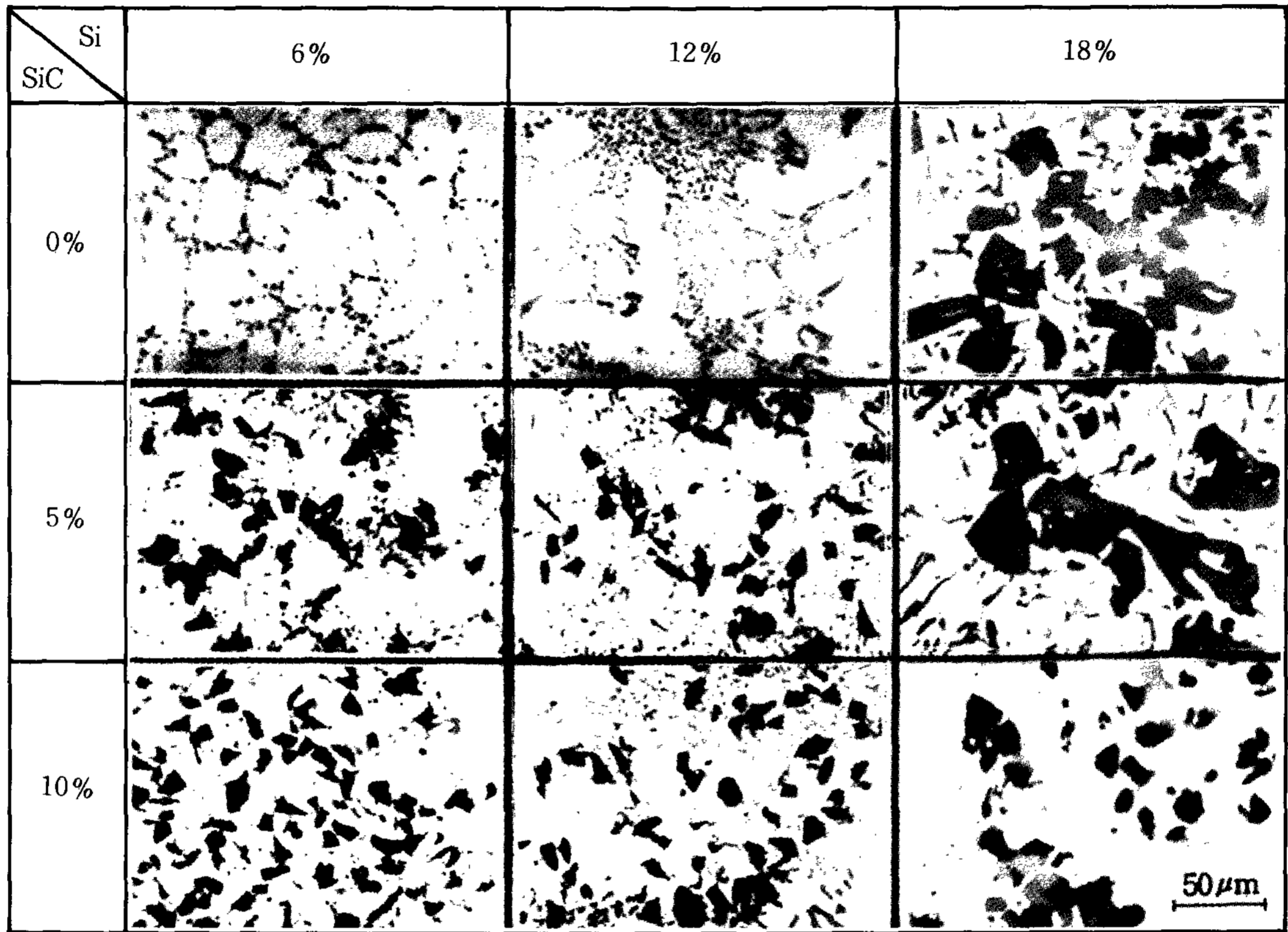


Photo 1. Microstructures of Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18, y:0, 5, 10) composites.

다. 교반을 중지한 상태에서 일정시간 유지하면 Stoke의 식에 의해 SiC입자가 부상하거나 침강하게 되고, 용탕이 응고시에 서냉하면 초정이 성장하는 동안 잔류액상중으로 SiC입자가 이동하여 입자의 분산성이 나쁘게 되는 것이다. SiC입자의 균일성을 정량적으로 평가하는 방법으로는 현미경 사진(배율 200배)을 20×20mm의 면적으로 절취하고 각 면적내에 있는 SiC입자의 수를 세어 SiC입자 개수의 표준편차 σ_x 로서 분산성을 나타낸다. 즉,

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum a^2 - N\bar{a}^2}{N}} \quad (1)$$

(1)

여기서, a : 20×20mm 내에 있는 SiC입자수
(현미경 배율 200배)

\bar{a} : 20×20mm 내에 있는 평균 SiC입자수

N : 20×20mm 크기로 절취한 현미경 사진의 수

σ_x : 표준편차

이다. 식 (1)에 의해 SiC입자분포에 대한 표준편차(σ_x)를 구하면 아공정(6%Si)조성이 1.95, 공정(12%Si)조성이 1.92, 과공정(18%Si)조성이 1.67로서 균일하게 분산되어 나타나고 小橋⁸⁾ 등의 표준편차(σ_x) 3~5에 비하면 균일분산되었다.

3.2 Al-6Si-2Cu-1Mg/5SiC계 복합재료의 계면조직

Photo 2는 SiC입자 계면에 미치는 첨가원소의 거동을 알아보기 위하여 아공정조성인 Al-6Si-2Cu-1Mg/5SiC계 복합재료에 EPMA분석을 행하였다. (a), (b) 및 (c)에서 SiC입자 주위의 Al 및 Si image를 상호 비교하면 SiC입자 계면에서 SiC가 분해반응으로 생성된 Al_4C_3 로 판단되며 X-ray 회절실험에서도 확인하였다. (c)와 (d)에서 SiC입자계면에 Si, Mg image를 비교하면 이 부분의 생성물은 Mg시리사이트⁹⁾로 사료된다. 열역학적 관점에

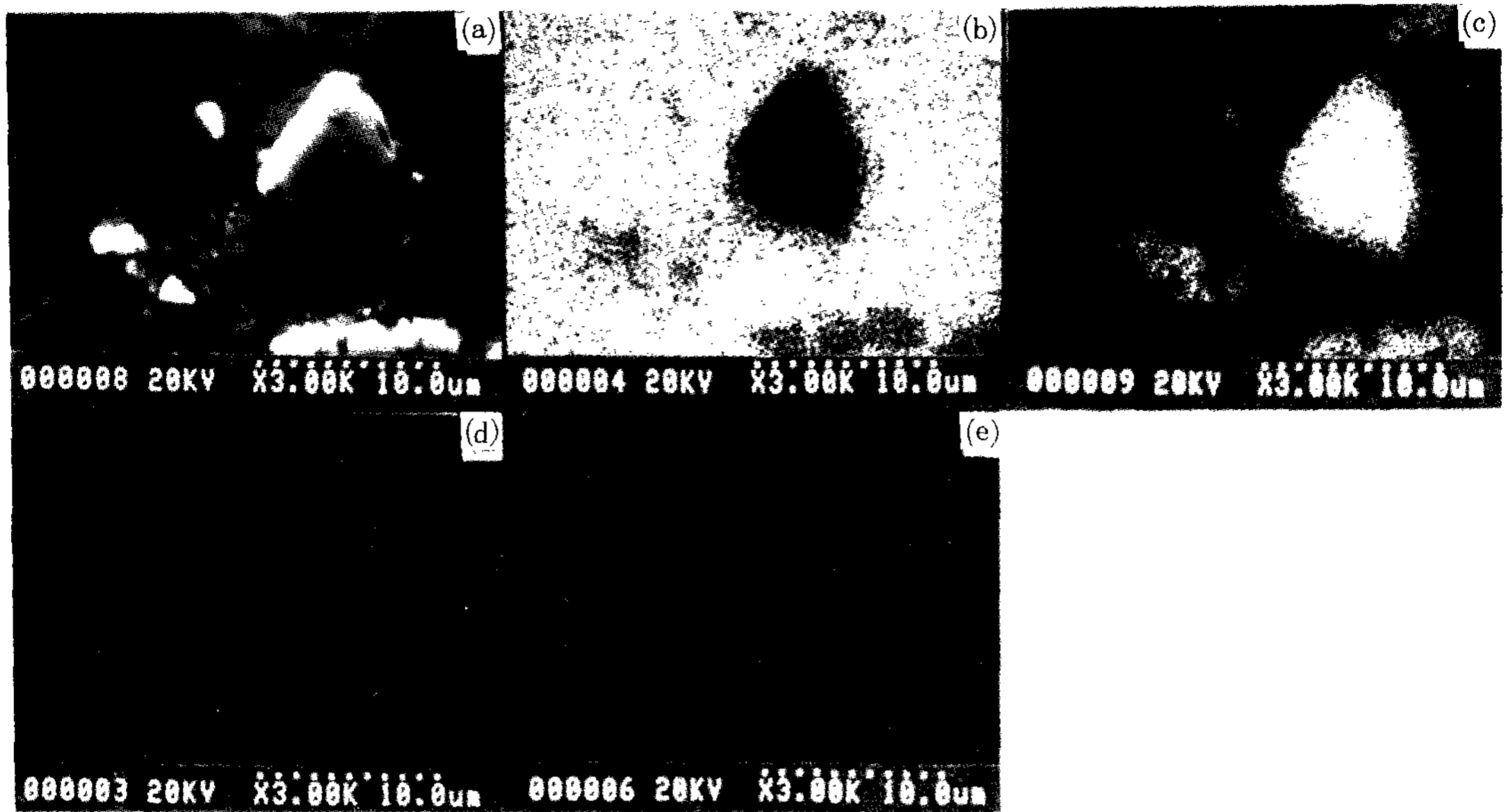


Photo 2. EPMA analysis results in of Al-6Si-2Cu-1Mg/5SiC alloy at 800°C.

(a) SEM (b) Al image (c) Si image (d) Mg image (e) Cu image

서 이들 계면에 나타난 생성물의 반응식은



이다. 본 실험온도(1073°K)에서 (2)식의 반응물의 표준생성자유에너지 ΔG° 는 -163kJ/mol이고 (3)식의 ΔG° 는 -40kJ/mol이므로 반응은 우측으로 진행된다. 따라서 SiC입자 계면에서 SiC가 분해되어 대부분 Al_4C_3 가 생성되고 일부 Si가 Mg와 반응하여 Mg_2Si 가 생성되는 것으로 사료된다. (e)에서 Cu는 SiC계면에 편석되지 않았고 SiC분해반응에 대한 기여는 전혀 나타나지 않았다¹⁰⁾.

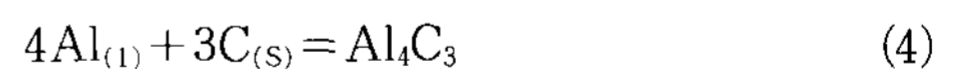
3.3 Al-18Si-2Cu-1Mg/5SiC계 복합재료의 계면조직

Photo 3은 과공정조성인 Al-18Si-2Cu-1Mg/5SiC계 복합재료에 대하여 EPMA분석을 행한 것이다. (a), (b) 및 (c)를 비교하면 SiC입자는 초정Si내에 존재하고 있다. 또한 SiC입자 주위에 Al이 나타나지 않았고 초정Si계면에 Al image가 형성된 것은 과공정 조성에서 SiC가 안정화되어 분해반응이 나타나지 않음을 알 수 있다. 과공정 조성에서는 아공정조성에서 생성된 Al_4C_3 가 생성되지 않았고, X-ray회절 실험결과와 일치된다. 또한 (d), (e)의 Cu, Mg는 SiC입자계면은 물론 초

정Si 계면에 편석되지 않았고 아공정조성과 같이 SiC입자의 분해반응에 대한 기여는 나타나지 않았다.

3.4 열역학적 고찰

아공정, 공정조성인 Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC (x:6, 12, 18. y:0~10wt.%)계에서는 계면생성물인 Al_4C_3 가 생성되고, 과공정조성에서는 SiC가 안정화 되었다. 이러한 계면반응에 대하여 열역학적 관점에서 평형론적으로 반응생성물인 Al_4C_3 및 SiC의 생성에 대하여 Janaf Hultgren¹¹⁾ 등의 열역학 데이터를 활용하면 다음과 같다.



$$\Delta G^\circ \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)} = -266.52 + 0.09623T \quad (5)$$

이며,

$$\begin{aligned} \Delta G &= \Delta G^\circ + RT \ln K \\ &= -266.52 + 0.09623T \\ &\quad + RT \ln \frac{a_{Al_4C_3}}{a_{Al}^4 \cdot a_C^3} \end{aligned} \quad (6)$$

이다. 본 연구에서 SiC입자를 분산시킨후 Al합금의 가열 유지한 온도가 800°C이고 탄소가 Al용탕중에 0.000312wt.% 용해되며, Henrian용액으로 가정하면¹²⁾ 탄소의 활동도는

$$a_C = 10 \cdot (\text{wt. \% C}) \quad (7)$$

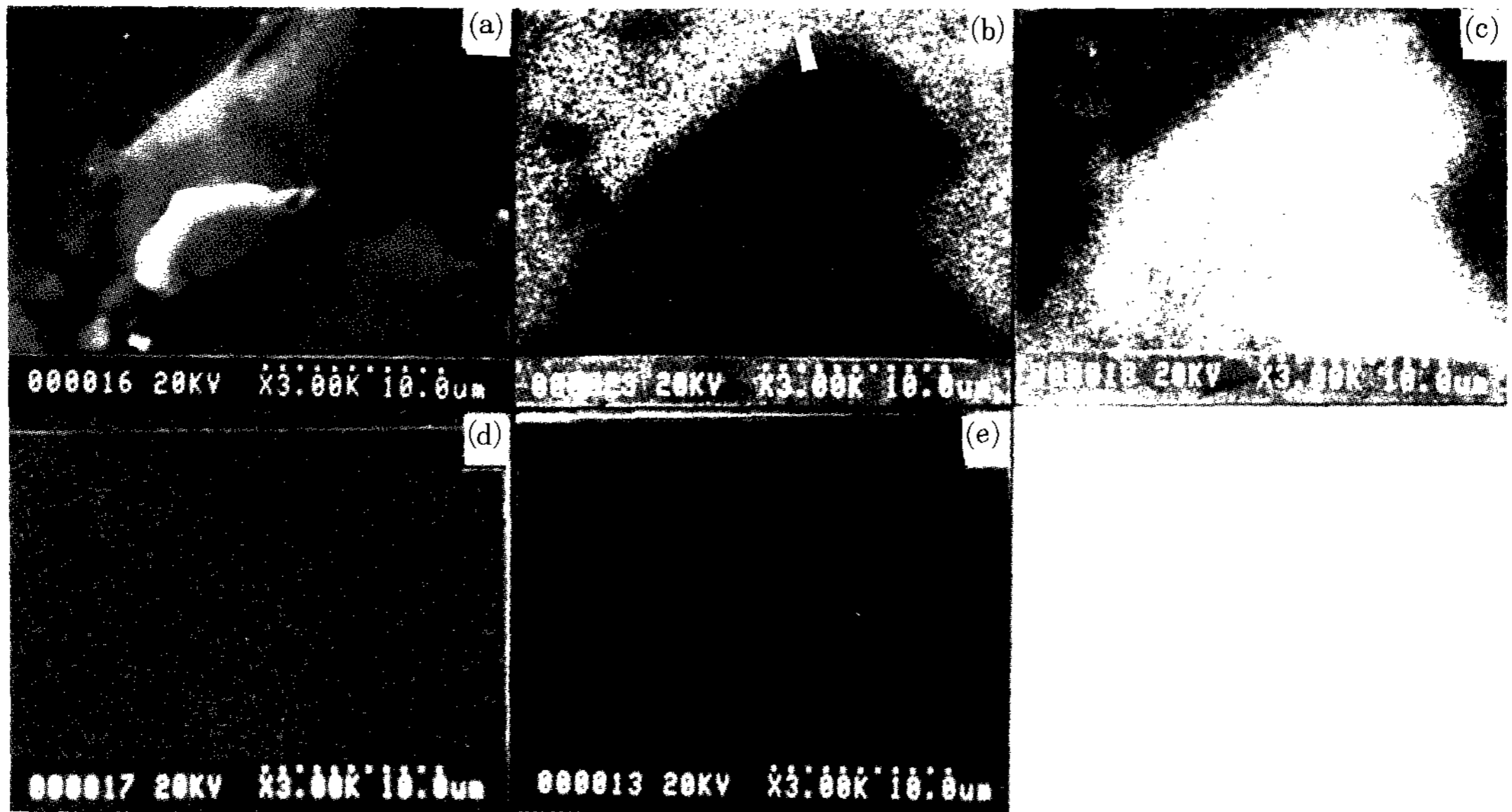


Photo 3. EPMA analysis results in of Al-18Si-2Cu-1Mg/5SiC alloy at 800°C
 (a) SEM (b) Al image (c) Si image (d) Mg image (e) Cu image

이다. 따라서 $a_c = 0.00312$, $a_{Al_4C_3} = 1$ 이고, $a_{Al} = 0.78$ 이므로 $a_{Al} > 0.78$ 이면, 식(4)의 반응은 우측으로 진행된다.

다음은 SiC의 생성조건을 구하면 다음과 같다.

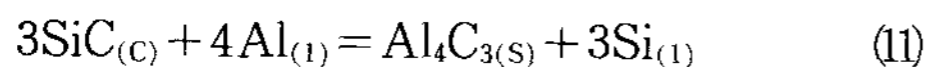


$$\Delta G^\circ \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -123.47 + 0.03757T \quad (9)$$

이며,

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_{SiC}}{a_{Si} \cdot a_c} \quad (10)$$

이다. 활동도 $a_{SiC} = 1$, $a_c = 0.00312$ 이고, $a_{Si(l)} = 0.0286$ 이므로, $a_{Si(l)} > 0.0286$ 이상이면 식(10)에서 SiC의 생성조건이 된다. 따라서 반응생성물인 Al_4C_3 및 SiC의 안정성을 검토하기 위하여 식(4)-(8)하면,



$$\Delta G^\circ \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = 103.9 - 0.01648T \quad (12)$$

이며,

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_{Al_4C_3} \cdot a_{Si}^3}{a_{SiC}^3 \cdot a_{Al}^4} \quad (13)$$

이 된다. Iseki 등은¹³⁾ 식(13)에서 $a_{Al_4C_3} = a_{SiC} = a_{Al} = 1$ 로 하여 ΔG 를 검토하였으나 $a_{SiC} = a_{Al_4C_3} = 1$ 로 하였을 때 Si농도가 증가하면 $a_{Al} \approx 1$ 이 된다. 幸塚¹⁴⁾ 등에 의해 Al-Si합금중에 Al, Si의 활량 측정치를 적용하면 Si이 15.5wt.% 이상에서는 SiC

가 안정하고 이하에서는 Al_4C_3 가 안정하다. 따라서 Si이 6,12wt.%인 경우에는 SiC입자 계면에 Al_4C_3 가 생성되고 Si이 18wt.%인 경우에는 SiC가 안정하게 된 것으로 사료된다.

3.5 열팽창계수

Fig. 1은 Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18, y:0~10wt.%)계 복합재료의 선팽창계수에 대하여 온도의존성을 조사한 것이다. 20~100°C까지 아공정 조성(6% Si), 공정 조성(12% Si), 과공정 조성(18% Si)의 Al-Si합금의 선팽창계수는 $21.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, $19.6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, $18 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 이고, 10%SiC입자를 분산시킨 아공정, 공정, 과공정 조성의 Al복합재료의 선팽창계수는 $18.4 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, $18.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, $16 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 인 값을 나타내어 아공정, 공정, 과공정 조성의 순으로 선팽창계수가 작고, 10%SiC입자를 분산시킨 복합재료는 같은 조성인 Al합금에 비하여 열팽창계수가 $1.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \sim 2.9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 정도 감소한다. 20~300°C까지의 온도범위에서는 아공정, 공정, 과공정 조성의 Al합금의 선팽창계수가 $24.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, $22.1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, $19.4 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 이고, SiC입자가 첨가된 복합재료의 선팽창계수는 $21.4 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, $20.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, $18.1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 으로 온도가 증가함에

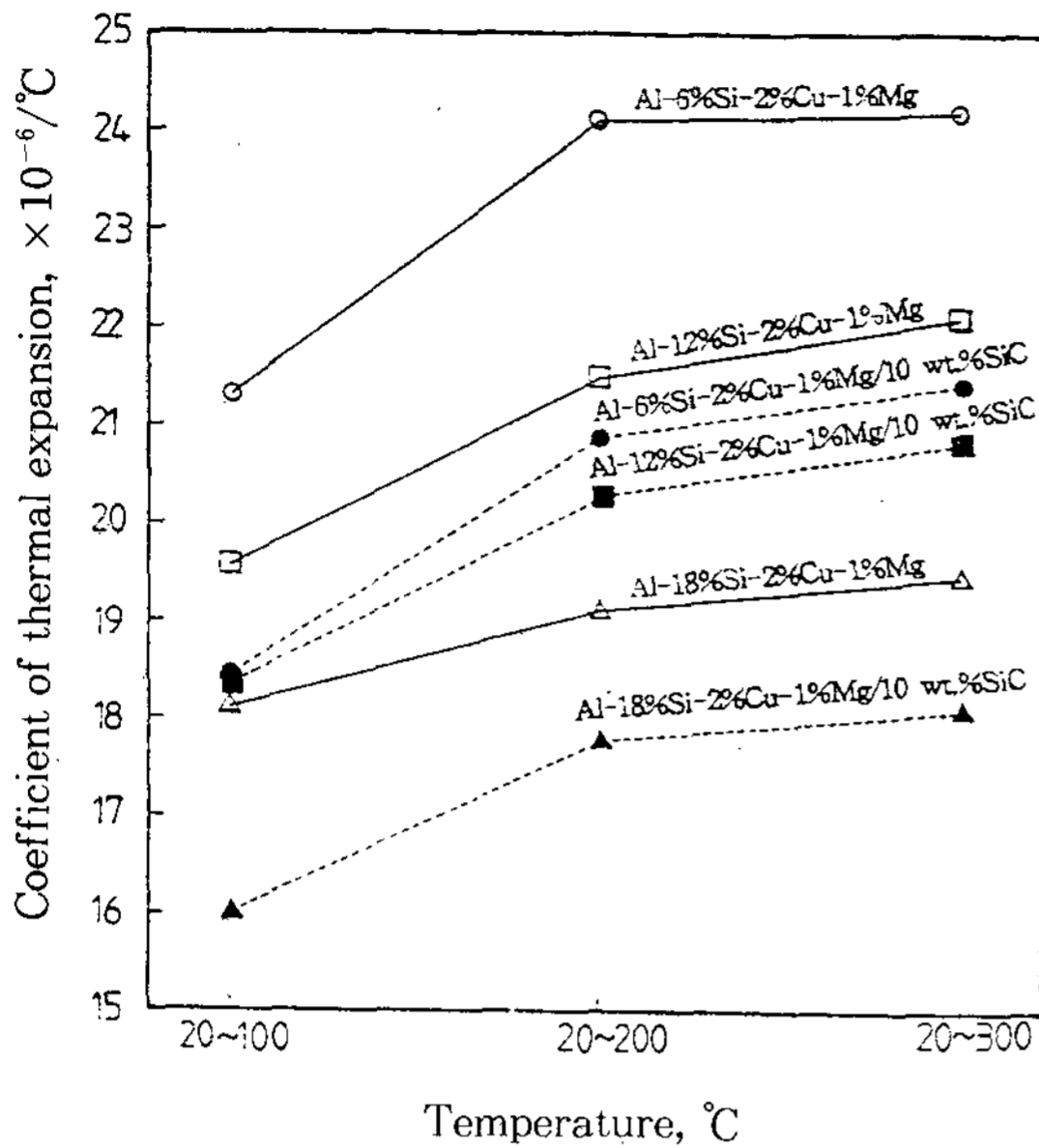


Fig. 1. Temperature dependence of the thermal expansion coefficient for the Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18, y:0.10) composites.

따라 선팽창계수가 증가하였다. Fig. 2는 Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18, y:0~10wt.%)계 복합재료에서 SiC 입자의 첨가량에 따라 20~300°C까지의 선팽창계수의 변화를 나타낸 것이다. SiC입자의 함유량을 0~10wt.%까지 첨가함에 따라 아공정, 공정, 과공정조성의 복합재료의 선팽창계수는 $24.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 에서 $21.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $22.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 에서 $20.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $19.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 에서 $18.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 까지 감소하였다. 이러한 현상은 SiC의 선팽창계수(20~300°C)가 $2.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로서 Al합금보다 적기 때문이다. 이상과 같이 SiC입자의 함유량이 증가함에 따라 입자분산형 복합재료의 열팽창계수(α_c)는 다음의 Turner¹³⁾식으로 표현된다.

$$\alpha_c = \frac{\alpha_m \cdot K_m \cdot V_m + \alpha_p \cdot K_p \cdot V_p}{K_m \cdot V_m + K_p \cdot V_p} \quad (14)$$

여기서, V_m, V_p : 기지 및 SiC입자 부피율

K_m, K_p : 기지 및 SiC입자의 탄성계수

α_m, α_p : 기지 및 SiC입자의 열팽창계수

이다. 본 실험조건에서 Al-xSi-2Cu-1Mg(x:6, 12, 18wt.%)계 합금의 열팽창계수(α_m)는 각각 $24.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $22.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $19.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

(20°C~300°C)이고, 탄성계수(K_m)는 $7.9\text{kg}/\text{mm}^2$, $7.2\text{kg}/\text{mm}^2$, $6.8\text{kg}/\text{mm}^2$ 이며, SiC입자의 열팽창계수(α_p)는 $2.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20~300°C)이고, 탄성계수(K_p)는 $4\text{kg}/\text{mm}^2$ 인 실험치를 식 (14)에 대입하여 이론적인 열팽창계수를 구하면 Fig. 2의 점선과 같다. 그 결과 SiC입자의 첨가량이 증가할수록 열팽창계수의 감소경향은 계면생성물 및 기공등의 영향으로 차이가 있는 것으로 사료된다.

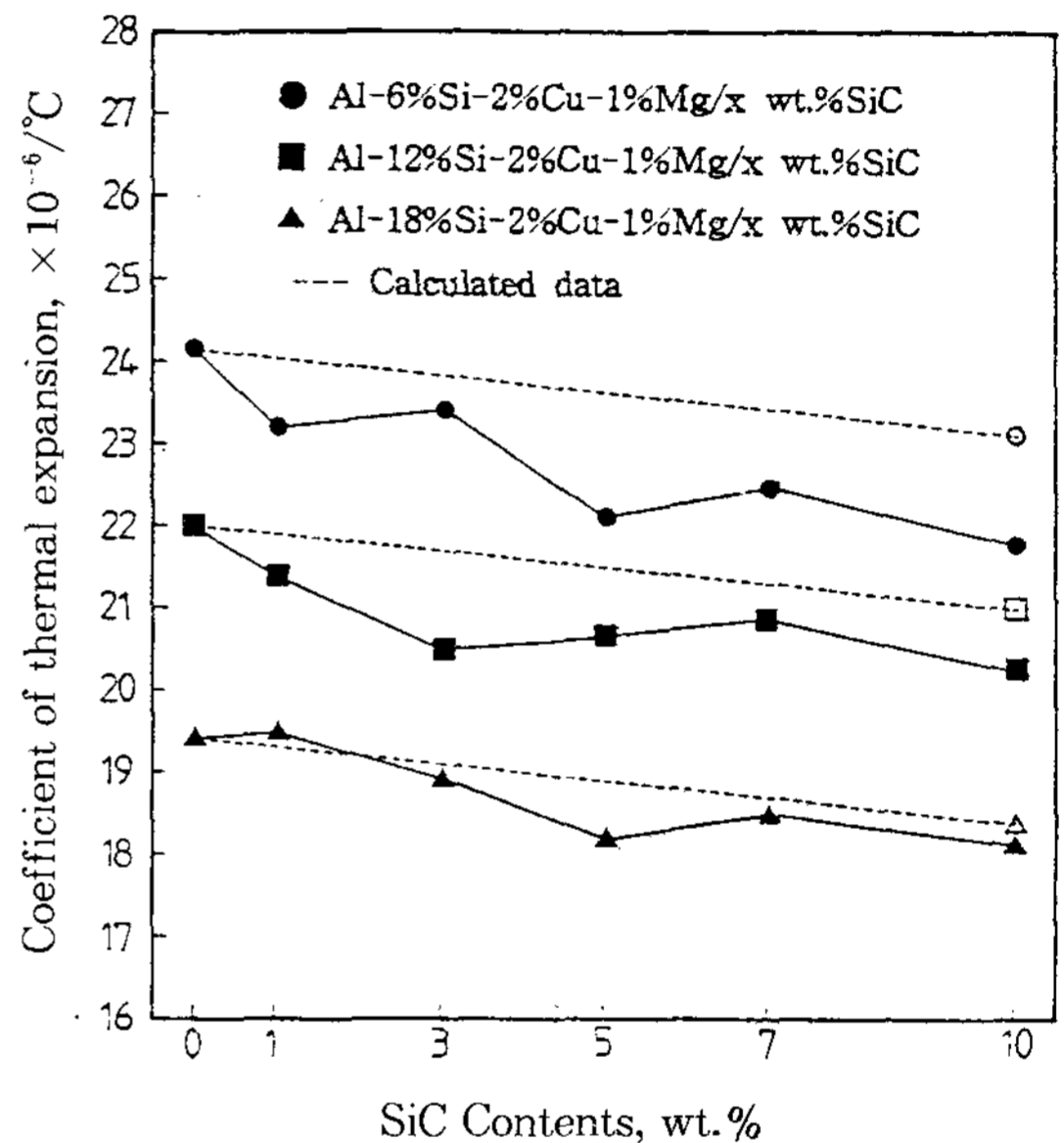


Fig. 2. Relation between SiC contents and the thermal expansion coefficient at 20~300°C for the Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18, y:0~10) composites.

3.6 열전도도

Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18, y:0~10 wt.%)계 복합재료의 열전도도를 50°C~400°C 온도구간에서 조사한 결과 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다. Fig. 3은 50°C 구간마다 측정된 것으로 온도가 증가할수록 열전도도는 증가하고 있다. 이러한 현상은 고체내에서 열의 전달은 자유전자와 격자의 진동에 따르고, Mikinison에 의하면 다음 식으로 표현하였다.

$$\lambda = \lambda_e + \lambda_g \quad (15)$$

여기서, λ : 열전도도

λ_e : 자유전자에 의한 열전도도

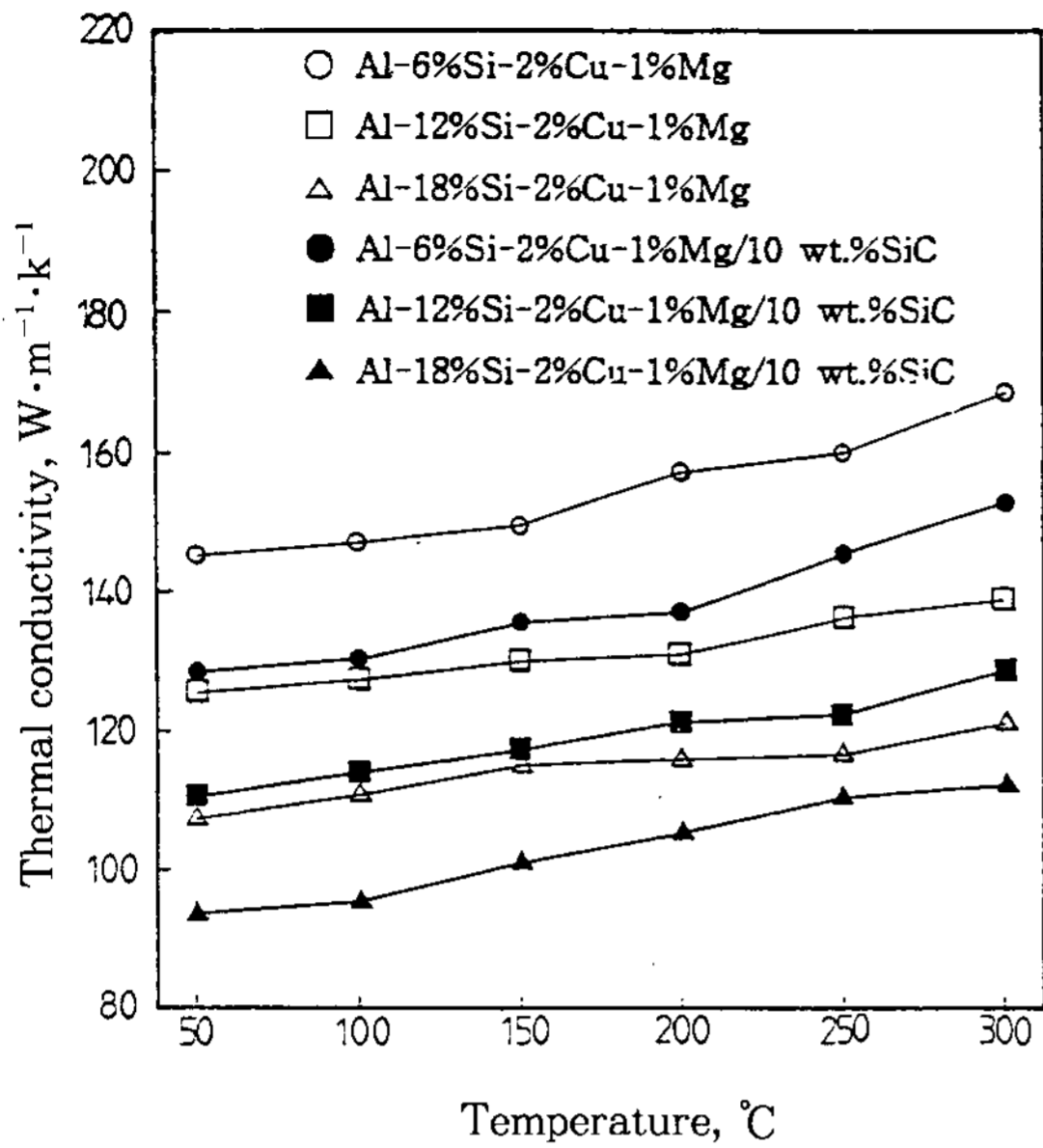


Fig. 3. The temperature dependence of the thermal conductivity at 50~300°C for the Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC (x:6, 12, 18, y:0, 10) composites.

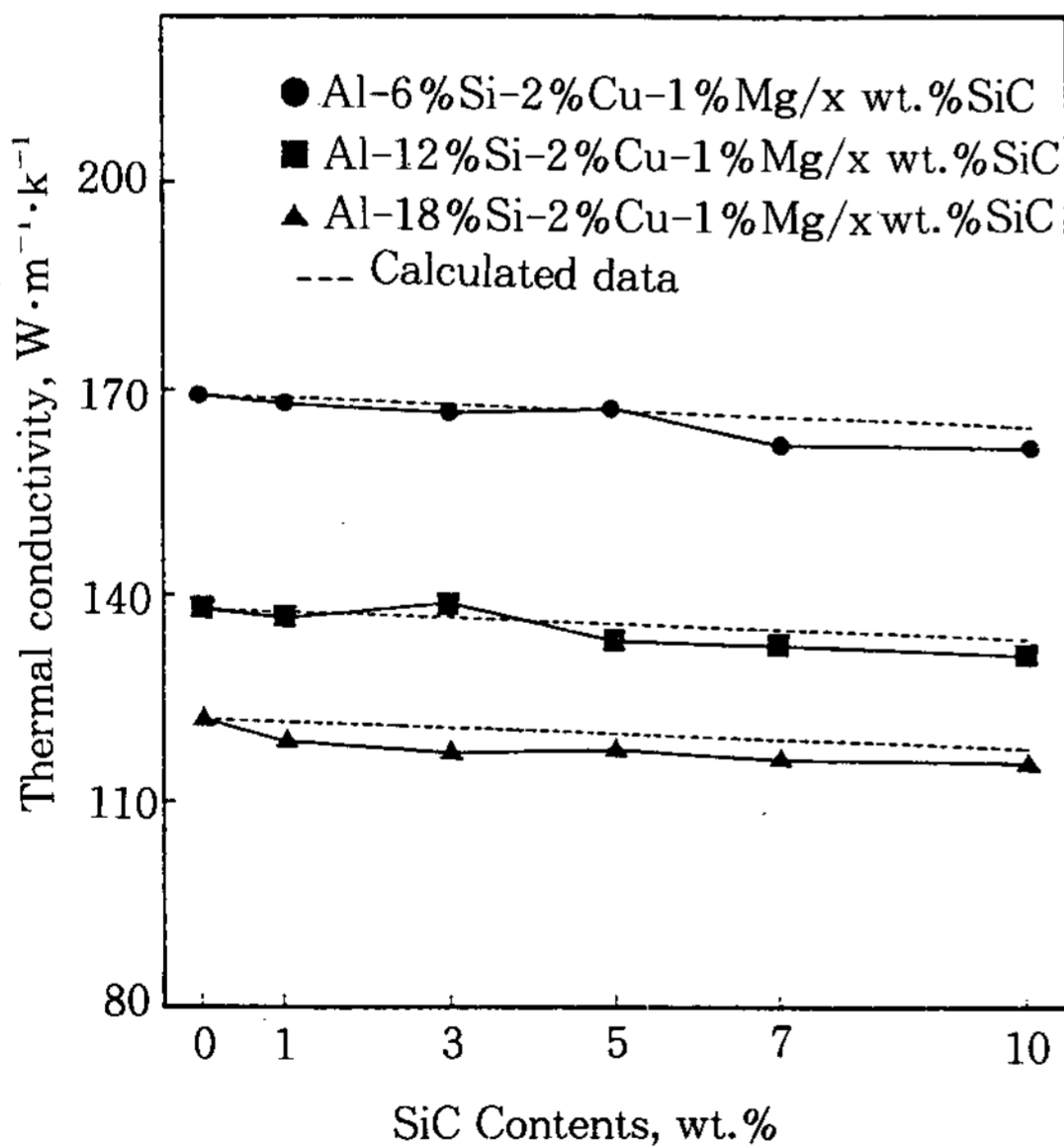


Fig. 4. Effect of SiC contents on the thermal conductivity at 300°C for the Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18, y:0~10) composites.

λ_g : 격자진동에 의한 열전도도
 이다. 금속은 전기적으로 자유전자가 움직일 때 전하를 수송할 뿐아니라 이것이 주로열을 운반하고 일부는 격자진동에 의하여 전도된다. 특히 Al은 양호한 열전도체로서 온도범위 0~400°C사이에서 열전도도는 202~249(W·m⁻¹·k⁻¹)로 증가하며, 열절연체인 순수SiC는 50°C, 200°C, 300°C, 400°C에서 각각 65.2, 59.4, 55.2, 51.4(W·m⁻¹·k⁻¹)로 온도증가에 따라 감소하지만, 기지금속이 Al합금이기 때문에 온도가 증가할수록 열전도도가 증가한 것으로 사료된다. Fig. 4에서 SiC입자를 분산시키지 않은 Al-xSi-2Cu-1Mg(x:6, 12, 18 wt.%)계 합금의 열전도도는 121~169W·m⁻¹·k⁻¹인데 비하여 SiC입자를 분산시킨 것은 114~159W·m⁻¹·k⁻¹까지 열전도도가 감소하는 이유는 SiC입자의 열전도도가 55.2W·m⁻¹·k⁻¹로 Al합금에 비하여 현저하게 적기때문에 SiC입자의 함유량이 증가할수록 열전도도는 감소하게 된다. 그리고 SiC입자의 양이 동일한 복합재료에서 Si함유량이 증가할수록 열전도도가 감소하는 것도 이유로 사료된다. 이와같이 SiC입자의 함유량이 증가함에 따라 열전도도가 감소되고, 이론식과 비교하면 다음과 같다. Maxwell¹⁶⁾식에서 구상의 SiC입자가 기지금속중에 분산되고 상호간섭이 일어나는 경우 분산재, 기지금속 및 입자분산형 복합재료의 열전도도를 각각 λ_c , λ_m , λ_p 라 하면,

$$\lambda_c = \lambda_m \frac{\lambda_p + 2\lambda_m - 2V_p(\lambda_m - \lambda_p)}{\lambda_p + 2\lambda_m + V_p(\lambda_m - \lambda_p)} \quad (16)$$

이다. 여기서 V_m 및 V_p 는 기지금속 및 분산상의 체적분율이며, 식 (16)은 V_p 가 0.1까지 적용되거나 최대 0.35까지 가능하다. Al-xSi-2Cu-1Mg(x:6, 12, 18wt.%)계 복합재료의 열전도도(λ_m)는 각각 169W·m⁻¹·k⁻¹, 138W·m⁻¹·k⁻¹, 121W·m⁻¹·k⁻¹(0~400°C)이고, SiC입자의 열전도도(λ_p)는 51.4W·m⁻¹·k⁻¹이며, 식 (16)에 의해 이론치를 구하면 Fig. 4의 점선과 같다. SiC입자의 함유량이 증가할수록 열전도도의 감소는 이론치와 실측치가 거의 일치되는 경향이며, 계면생성물 및 기공율에 따라 이론치와 다소 차이가 있는 것으로 사료된다.

4. 결 론

Compocasting법에 의해 주조한 Al-xSi-2Cu-1Mg/ySiC(x:6, 12, 18. y:0~10wt.%)계 복합재료에 대하여 계면조직 및 열적성질을 조사한 결과 다음과 같다.

1) Si이 6,12wt.%에서는 SiC계면에 Al₄C₃가 생성되고, Si가 18wt.%에서 SiC가 안정화 되었다.

2) SiC입자의 분산량이 증가할수록 열팽창계수는 감소하며 20°C~300°C에서 SiC를 분산시키지 않은 아공정, 공정, 과공정 Al-Si합금의 열팽창계수는 21.3×10⁻⁶/°C, 19.6×10⁻⁶/°C, 18.0×10⁻⁶/°C이고, 10% SiC를 분산시킨 복합재료의 열팽창계수는 18.4×10⁻⁶/°C, 18.3×10⁻⁶/°C, 16.0×10⁻⁶/°C이다.

3) SiC입자의 분산량이 증가하면 열전도도는 감소하며, 300°C에서 SiC를 분산시키지 않은 경우의 열전도도는 121W·m⁻¹·k⁻¹~169W·m⁻¹·k⁻¹이고, 10% SiC를 분산시킨 경우 114W·m⁻¹·k⁻¹~159W·m⁻¹·k⁻¹이다.

후 기

이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의해 연구되었으며, 그 일부이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. C. Milliere, M. Suery : Materials Science and Technology, 4 (1988) 411
2. 權赫戊, 朴憲範, 朴相俊, 朴昌善, 盧武根 : 大

- 韓金屬學會誌, 29, 10 (1991) 1003
3. A. Banerji, M. K. Surrpa and P. K. Rohatgi : Metall. Trans., 14B (1983) 273
4. David L. Mcdanels : Metall. Trans., 16A (1985) 1105
5. 權赫戊, 李承遠, 朴相俊 : 大韓金屬學會誌, 29, 1 (1991) 40
6. Japan Industrial Standard : JISA (1985) 1412
7. R. B. Bird et al : "Transport Phenomena", John wiley & Sons. Inc. (1960) 243
8. 小橋, 眞長, 陸郎 : 日本金屬學會誌, 55 (1991) 79
9. "籬融性化合物便覽-熱學特性", エル・エフ・ウオイドキヴ イシチ 著
10. 小橋, 眞長, 陸郎 : 日本金屬學會誌, 1 (1990) 76
11. R. Hultgren, P. D. Desai, D. T. Hawkins, M. Gleiser and K. K. Kelly, "Selected Values of the thermodynamic properties of Binary Alloys," ASM, Metals Park, OH (1973), 211
12. "Matal Handbook, Vo. 8, 8th ed," ASM, Metals Park, OH (1973)
13. T. Iseki, T. Kameda and T. Maruyama : J. Mater. Sci., 19 (1984) 1692
14. 幸塚善作, 八彬誠二郎, 中鳥恒 : 電氣化學, 34 (1966) 35
15. P. S. Turner : J. Reasearch Nat. Bur. Stds., RP 1745, 37 (1946) 239
16. Maxwell, J. C : A Treatise on Electricity and Magnetism Vol. 1, 3rd., Oxford (1904) 441