

|||||||  
**論 文**  
|||||||

Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료에서 SiC의 편석에 미치는 응고 조건의 영향

김종찬 · 권혁무\*

Influence of Solidification Condition on the Segregation of SiC Particles  
in the Al-Si/SiC<sub>p</sub> Composites

Jong-Chan Kim and Hyuk-Moo Kwon

Abstract

The influence of solidification condition on the segregation of SiC particles in the Al-xSi/6wt%SiC<sub>p</sub>(x: 6, 10, 14, 18 wt%) composites was investigated in the study. The results are as follows: 1) During the counter-gravity unidirectional solidification of Al-Si/SiC<sub>p</sub> composites melt, most of the SiC particles are pushed to the top of the casting. 2) The SiC particles pushing in the Al-Si/SiC<sub>p</sub> composite melts are not observed, when the interface velocity of melts increases more than 1.41 μm/sec. 3) The SiC particles are entrapped in the interdendrite regions, when the sizes of SiC particles in the Al-Si/SiC<sub>p</sub> composites are large than φ 22 μm.  
(Received November 13, 1996)

1. 서 론

입자 분산 강화형 복합재료에서 강화 입자의 분포 상태는 제조된 복합재료의 기계적 특성을 다르게 할 수 있다. 따라서 입자 강화 금속기 복합재료를 제조할 때 가장 중요한 문제는 강화 입자의 균일한 분포라고 생각한다. 강화 입자의 균일한 분포를 얻기 위해 여러 가지 제조 방법이 연구되었지만 복합재료 용탕의 응고시에 입자의 편석이 주로 발생한다. 즉, 복합재료 용탕이 응고하는 동안 이동하는 고-액 계면에 의한 강화 입자의 밀림 현상이 일어나 이들 강화 입자의 분포가 달라지게 되므로 이때 발생하는 편석이 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료의 기계적 성질에 영향을 미친다[1].

이와 같은 입자 분산 복합재료에서의 입자의 밀림 현상을 이론적으로 예측할 수 있는 모델로는 운동역학적 모델인 U. C. J. 모델[2, 3], Bolling-Cisse 모델[4-6], 열전도도 향으로 정의한 Zubkov 모델[7] 및 열 확산율 향으로 정의한 Rohatgi-Surappa 모델[8] 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료에서 SiC 입자의 분포 및 편석에 미치는 응고 조건의 영향을 조사하고, 강화 입자의 밀림 현상을 예측한 U. C.

J. 모델, Bolling-Cisse 모델, Zubkov 모델 및 Rohatgi-Surappa 모델과 비교 검토하였다.

2. 실험방법

Al-xSi/6wt%SiC<sub>p</sub>(x: 6, 10, 14, 18 wt%, particle size: φ 16 μm) 복합재료에서 SiC의 편석 실험은 일방향응고 실험을 하였다. 일방향응고 실험은 compocasting법으로 제조한 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료를 Fig. 1과 같은 직경 30 mm, 높이 60 mm인 흑연도가니에 750°C에서 주입하였으며 실험 개략도는 Fig. 2와 같다. 이때 도가니는 800°C로 가열하고 수냉 Cu판 위에 장치하였다. 복합재료의 일방향응고 실험은 아래로부터 수냉하여 고-액 계면의 응고진행 방향을 중력 반대 방향으로 진행되게 하였다. 응고중 응고 시간 및 계면 속도를 측정하기 위하여 X-Y 기록계를 연결하여 열분석곡선을 얻었다.

응고가 완료된 후 단면을 절단하여 Cu판 위로부터 직상과, 15 mm, 30 mm, 45 mm 및 최상부를 절단하여 현미경으로 SiC 입자의 편석 상태를 관찰하였다.

합금의 미세조직에서 셀의 크기는 냉각 속도에 반비

연무대기계공업고등학교 금속과(Dept. of Met. Eng. of Yeunmudae Mech. Tech. High School)

\*충남대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng. of Chungnam Univ.)

레하여 미세화된다. 따라서 미세조직에서 셀의 크기를 측정하여 다음 식[9]으로 냉각속도를 산출하였다.

$$D = K/R^a \quad (1)$$

여기서 D: 셀의 크기  
R: 냉각 속도

$$a = 0.36 \sim 0.38$$

K: 상수이다.

또한 SiC 입자가 균일하게 분산된 복합재료를 얻기 위해 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료 용탕을 급냉응고하였다. 급냉응고는 용융 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료 용탕을 물에 떨어 뜨려 물속에서 응고시키는 방법으로 행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 결과

Photo 1~4는 Al-xSi/6wt%SiC<sub>p</sub>(x: 6, 10, 14, 18 wt%, particles size: φ 16 μm) 복합재료 용탕의 중력 반대 방향으로 방향성 응고를 하는 동안 시료의 상부로 성장하는 수지상에 의해 SiC 입자가 밀려 올라간 것을 보여준다. 이 사진에서 보는 것처럼 기지 합금의 조성이 아공정인 경우와 과공정인 경우 모두에서 대부분의 SiC 입자가 응고하는 동안 시료의 최상부(각 사진에서 (a))로 밀려 올라간 것을 볼 수 있다. 이와 같이 중력 반대 방향으로 입자가 밀리는 현상은 아래로부터 일 방향 응고시에 관찰된다.

그렇지만 냉각 속도가 빠르고, 국부적인 응고 시간

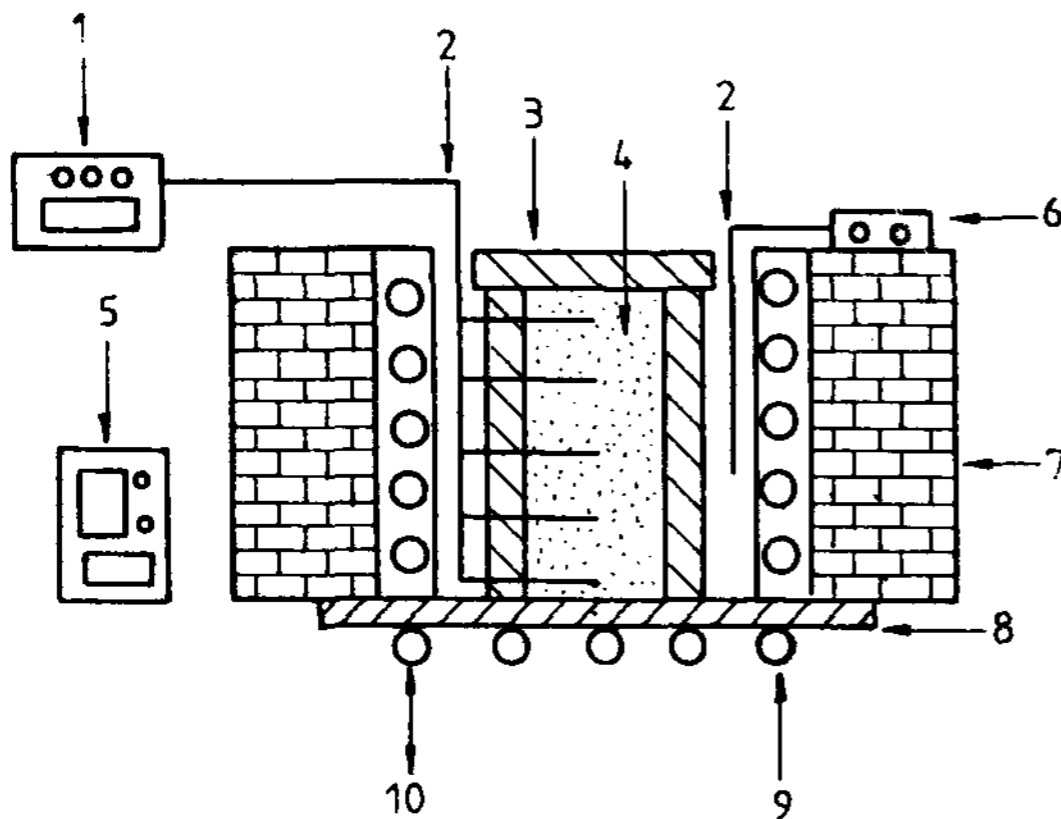


Fig. 1. Schematic diagram of unidirectional solidification apparatus.

- 1. Multipen X-Y recorder
- 2. Thermocouple
- 3. Graphite crucible
- 4. Al-Si/SiC<sub>p</sub> melt
- 5. Power supply
- 6. Thermometer
- 7. Electric crucible furnace
- 8. Cu plate
- 9. Water inlet pipe
- 10. Water outlet pipe

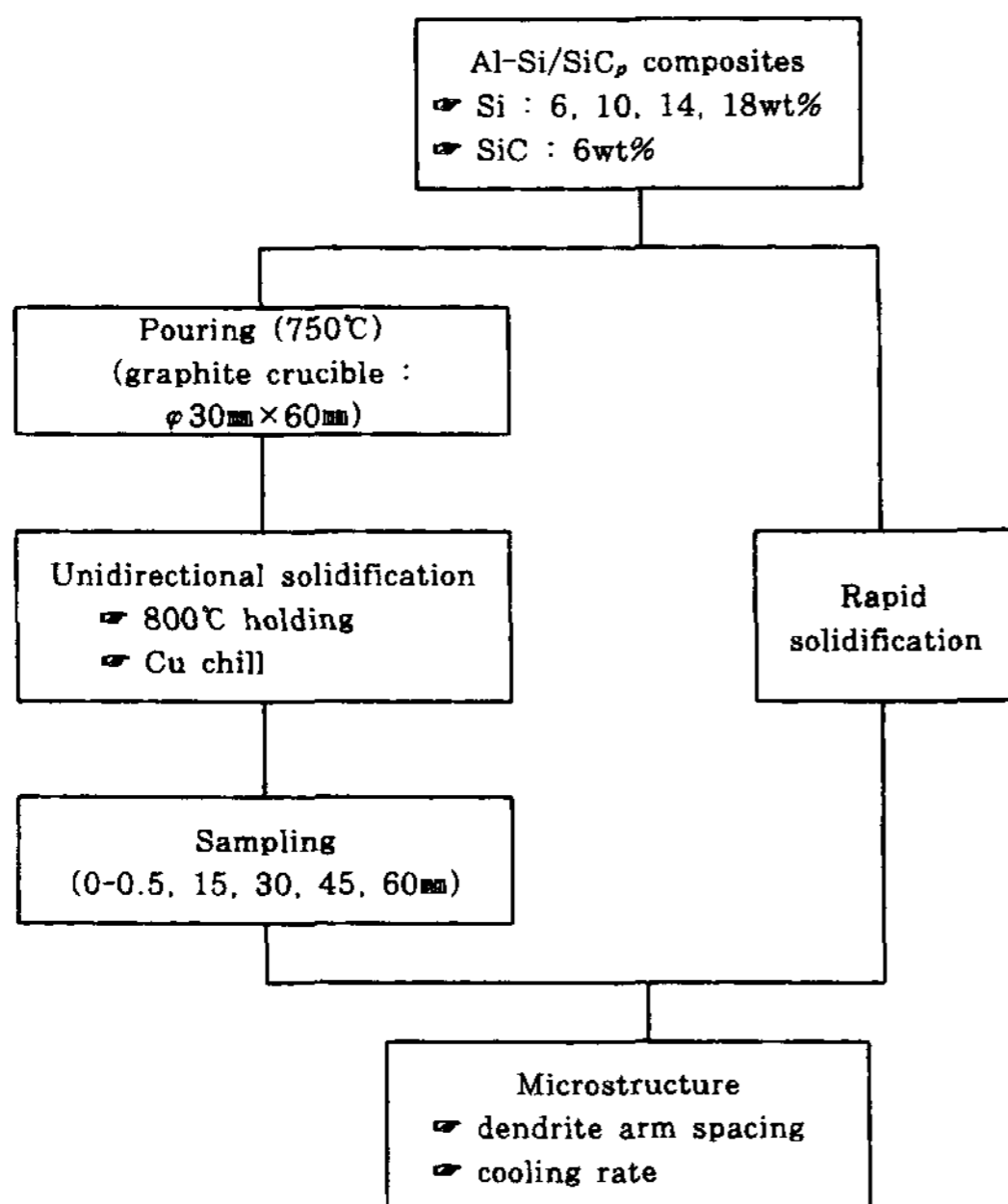


Fig. 2. Flow chart of experimental procedure.

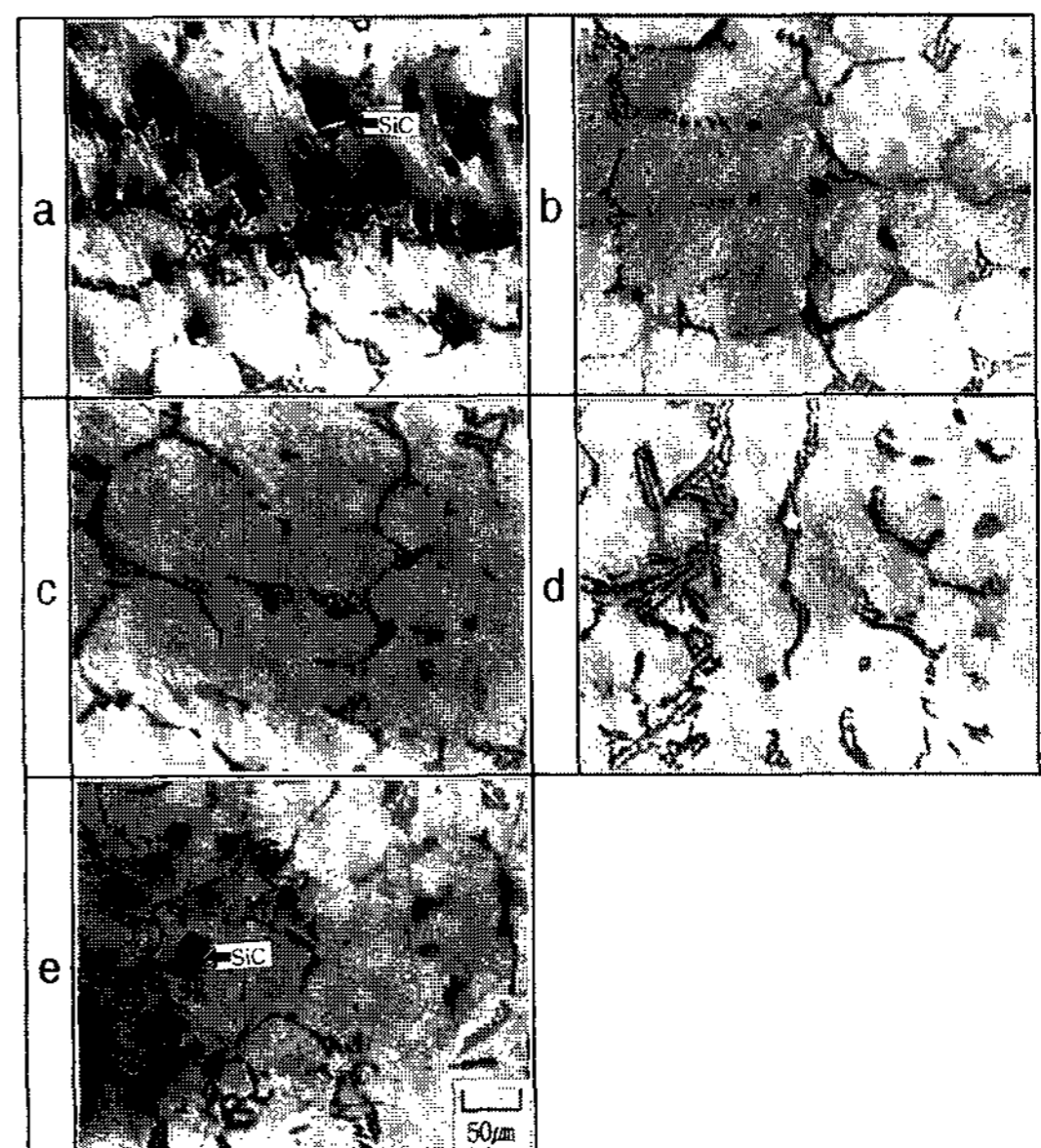


Photo 1. Microstructures of unidirectionally solidified Al-6%Si/6%SiC<sub>p</sub> composites(SiC particle size: φ 16 μm). a) 60 mm from the chill b) 45 mm from the chill c) 30 mm from the chill d) 15 mm from the chill e) 0.5 mm from the chill

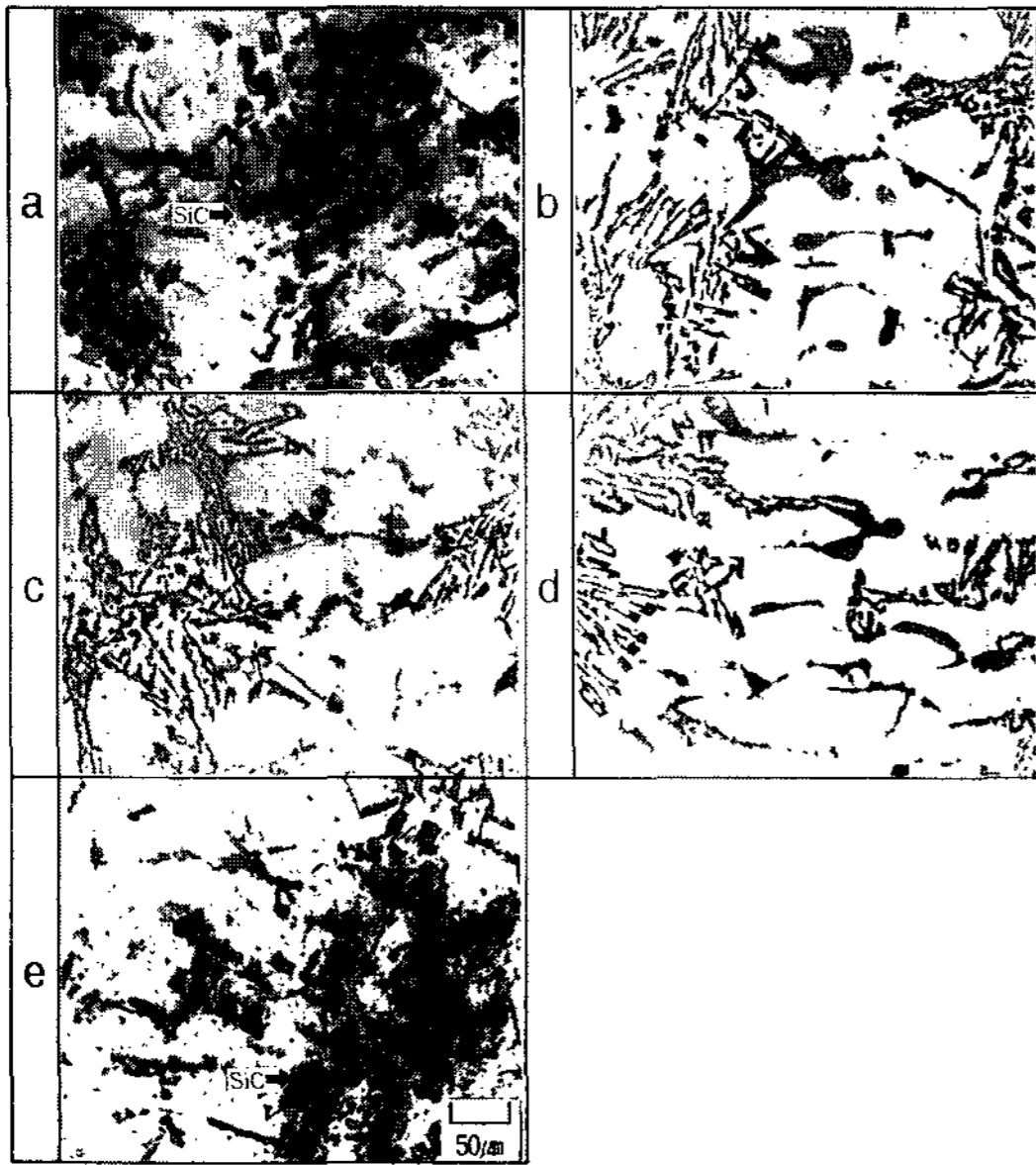


Photo 2. Microstructures of unidirectionally solidified Al-10% Si/6%SiC<sub>p</sub> composites(SiC particle size: φ 16 μm).  
 a) 60 μm from the chill    d) 15 μm from the chill  
 b) 45 μm from the chill    e) 0.5 μm from the chill  
 c) 30 μm from the chill

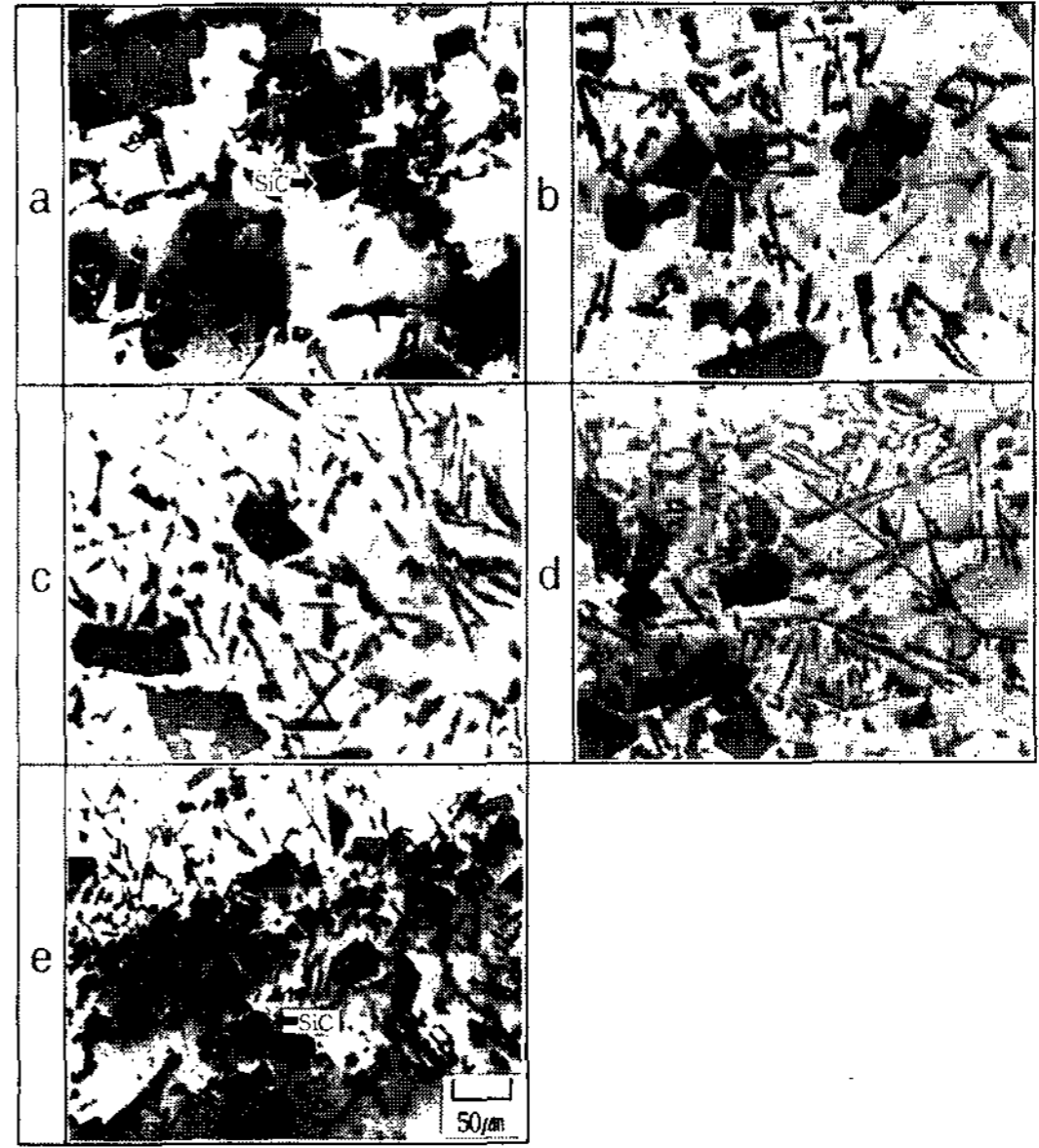


Photo 4. Microstructures of unidirectionally solidified Al-18% Si/6%SiC<sub>p</sub> composites(SiC particle size: φ 16 μm).  
 a) 60 mm from the chill    d) 15 mm from the chill  
 b) 45 mm from the chill    e) 0.5 mm from the chill  
 c) 30 mm from the chill

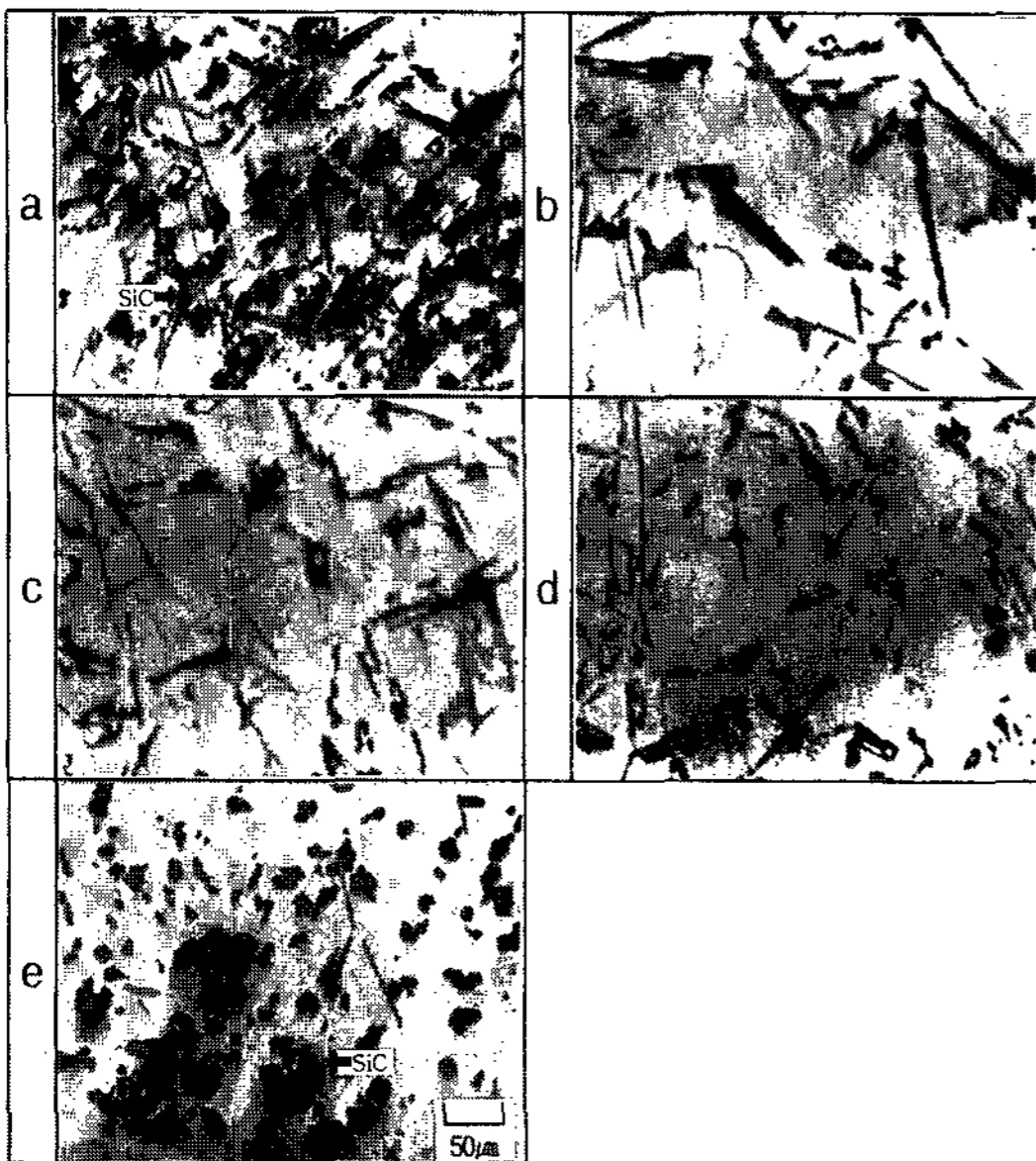


Photo 3. Microstructures of unidirectionally solidified Al-14% Si/6%SiC<sub>p</sub> composites(SiC particle size: φ 16 μm).  
 a) 60 mm from the chill    d) 15 mm from the chill  
 b) 45 mm from the chill    e) 0.5 mm from the chill  
 c) 30 mm from the chill

이 짧은 하부에서는 대체로 입자가 성장하는 수지상에 의해 밀려날지라도 몇몇의 입자가 수지상 사이의 영역으로 무질서하게 빠져들어 가는 것을 볼 수 있다.

기지 합금의 조성이 6%Si와 10%Si인 아공정 조성인 경우는 초정 α 수지상에 의한 SiC 입자 밀림현상 때문에 주물 최상부의 α 수지상 경계에 SiC 입자가 응집이 되며, 이때 초정 α 수지상이 SiC 입자 주위에서 핵생성하지 않는다. 또한 수냉 칠로부터의 거리가 멀어짐에 따라 수지상정 간극은 증가하고 있다.

기지 합금의 조성이 14%Si와 18%Si인 과공정 조성인 경우는 밀림현상에 의해 시료의 상부로 올라간 SiC 입자가 초정 Si 내에 존재하는 것을 볼 수 있는데, 이는 초정 Si가 SiC 입자 주위에서 우선적으로 핵생성하는 것으로 사료된다. 이것은 아공정 조성인 경우 초정 α 수지상이 SiC 입자 주위에서 핵생성하지 않는다는 사실과는 대조적이다. 또한 수냉 칠로부터의 거리가 멀어짐에 따라 초정 Si의 크기가 커지고 있는데, 이것은 칠로부터 시료의 상부로 올라갈수록 냉각속도가 느리기 때문인 것으로 사료된다.

Photo 5와 6은 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료 용탕에 분산된 SiC 입자의 크기가 각각 22 μm, 28 μm일 때의 방향성

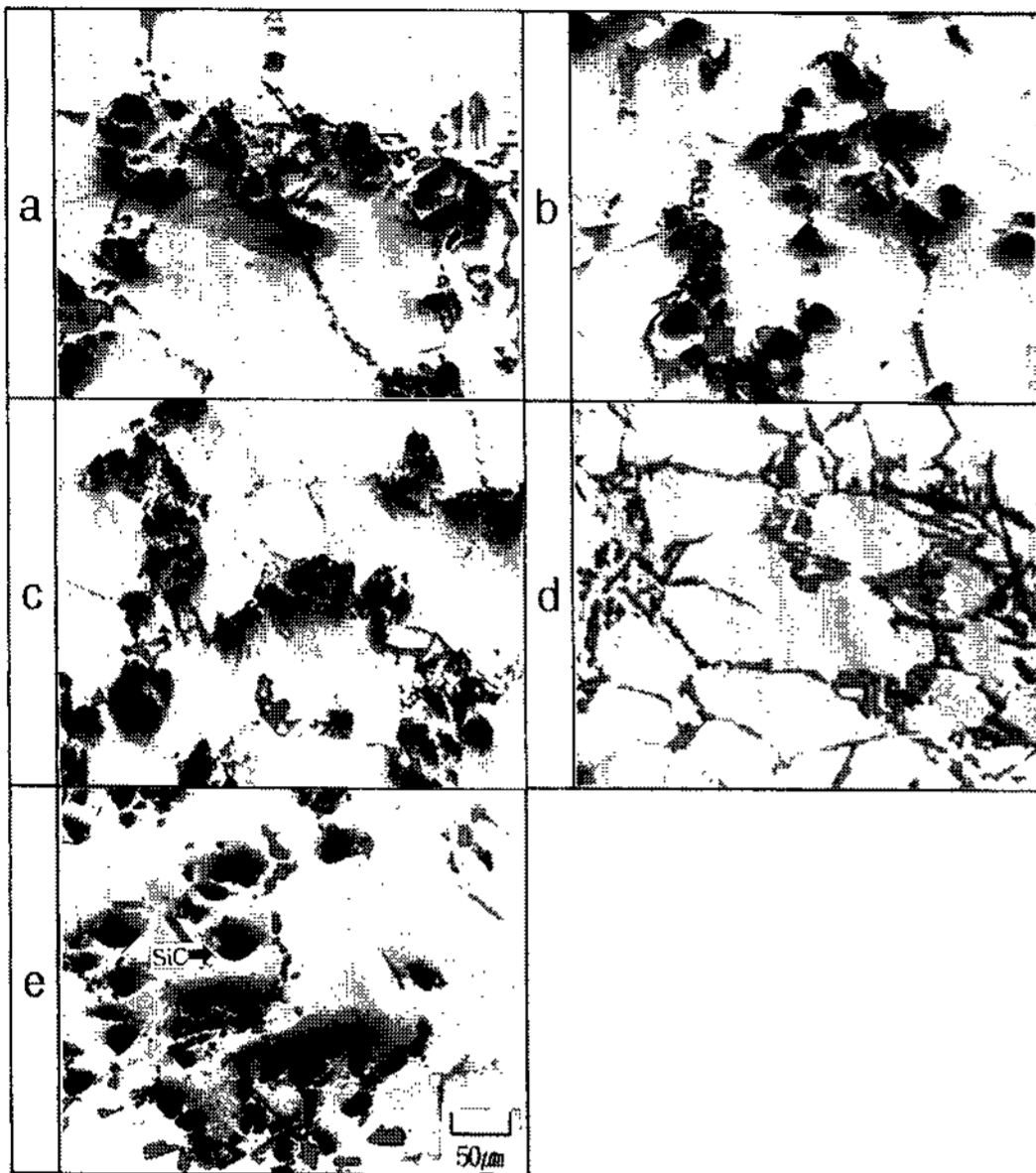


Photo 5. Microstructures of unidirectionally solidified Al-6% Si/6%SiC<sub>p</sub> composites(SiC particle size: φ 22 μm)  
 a) 60 mm from the chill d) 15 mm from the chill  
 b) 45 mm from the chill e) 0.5 mm from the chill  
 c) 30 mm from the chill

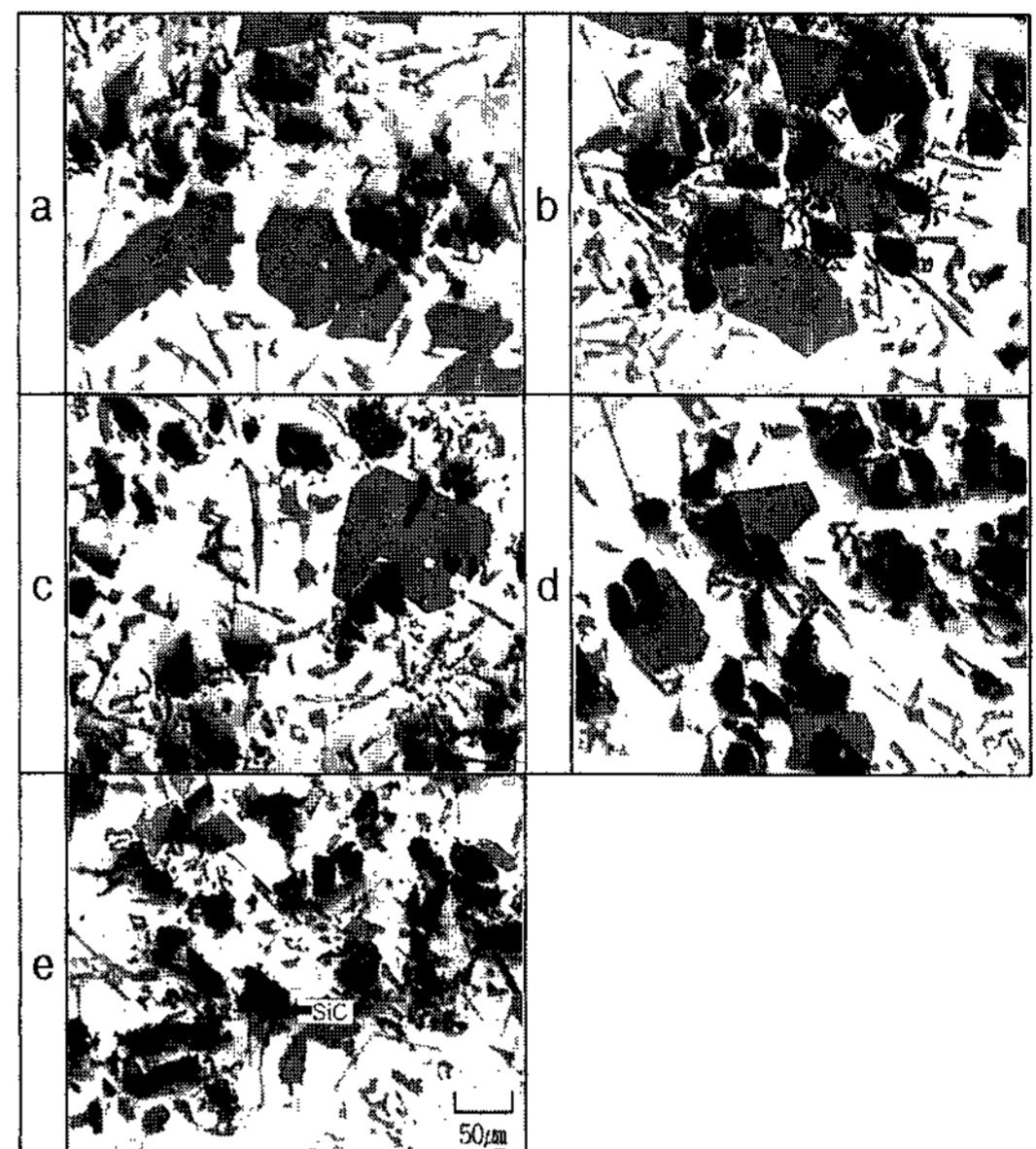


Photo 6. Microstructures of unidirectionally solidified Al-18% Si/6%SiC<sub>p</sub> composites(SiC particle size: φ 28 μm).  
 a) 60 mm from the chill d) 15 mm from the chill  
 b) 45 mm from the chill e) 0.5 mm from the chill  
 c) 30 mm from the chill

응고한 조직을 나타낸 것이다. 사진에서 보는 것처럼 입자의 크기가 22 μm 이상이 되면 입자의 밀림현상이 일어나지 않고 전체에 걸쳐 고른 분포를 보이며 오히려 상부에서는 입자의 분포가 다른 부분보다 약간 적으며, 주물의 상부로 밀려 올라간 SiC 입자의 크기는 다른 입자보다 크기가 상대적으로 작은 것을 볼 수 있다. 이것은 분산된 SiC 입자의 크기가 커지면 응고하는 동안 비중차에 의해 입자의 침강이 빠르게 일어나고[10], 또한 수지상에 의해 입자를 밀어내는 힘보다 입자의 무게가 커서 입자가 상부로 밀려 올라가지 못하고 수지상 사이의 영역으로 빠져들어 가고 있는 것으로 사료된다.

Fig. 3은 Al-6%Si/6%SiC<sub>p</sub> 복합재료의 일방향응고시 수냉 칠로부터 거리가 길어짐에 따라 수지상정 간극에 변화를 나타낸 것이다(사진 1에서 측정). 칠로부터의 거리가 0.5 mm에서 60 mm로 증가함에 따라 평균 수지상정 간극은 24.2에서 111.43으로 증가하는데 이것은 응고 시간의 증가와 하부 칠에서 상부까지의 냉각 속도 감소 때문이다. 또한 SiC 입자의 존재는 냉각 속도에 따라 수지상정 간극의 변화에 특별한 영향을

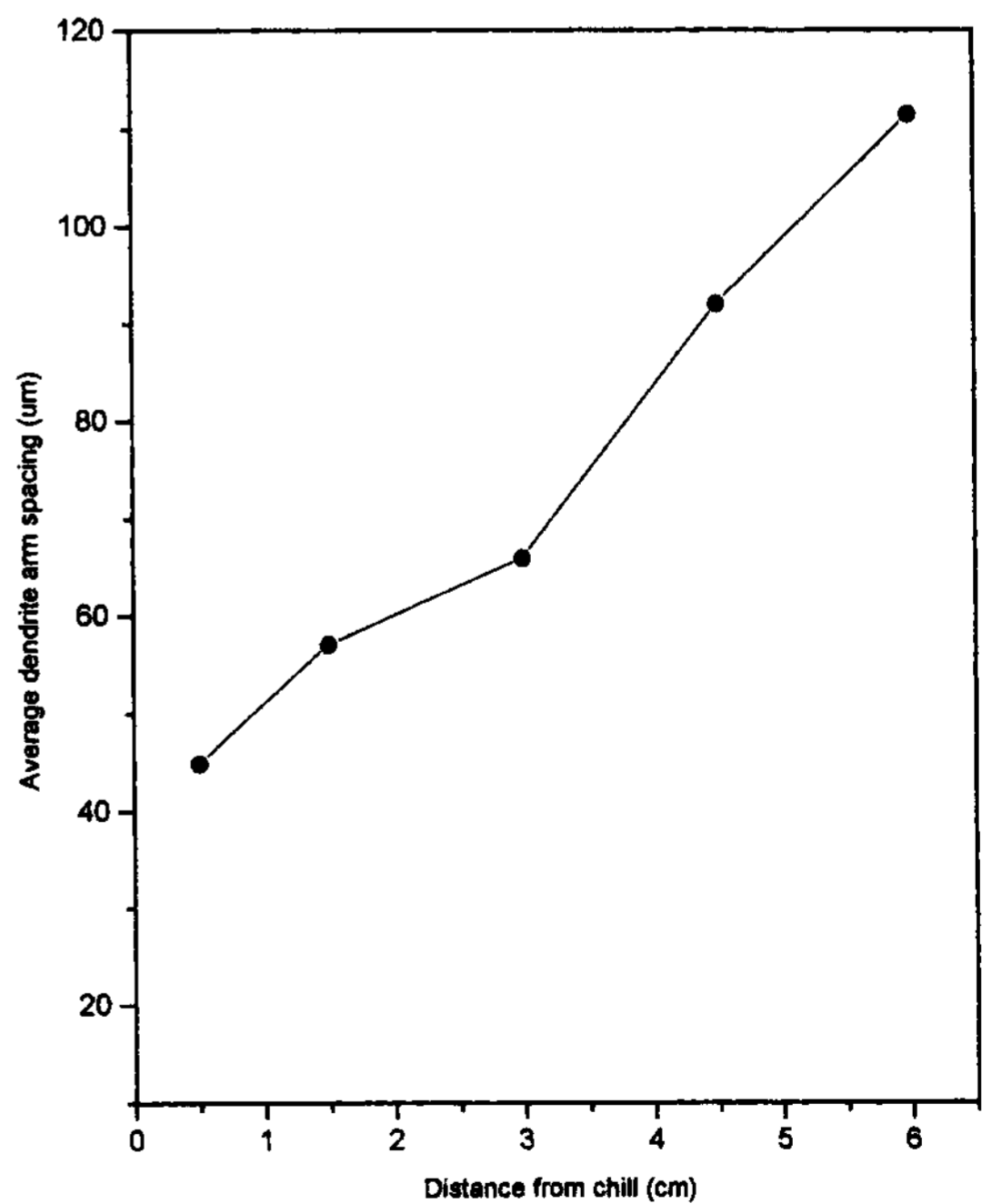


Fig. 3. Relation between distance from the chill plate and average dendrite arm spacing of the unidirectionally solidified Al-6%Si/6%SiC<sub>p</sub> composites.

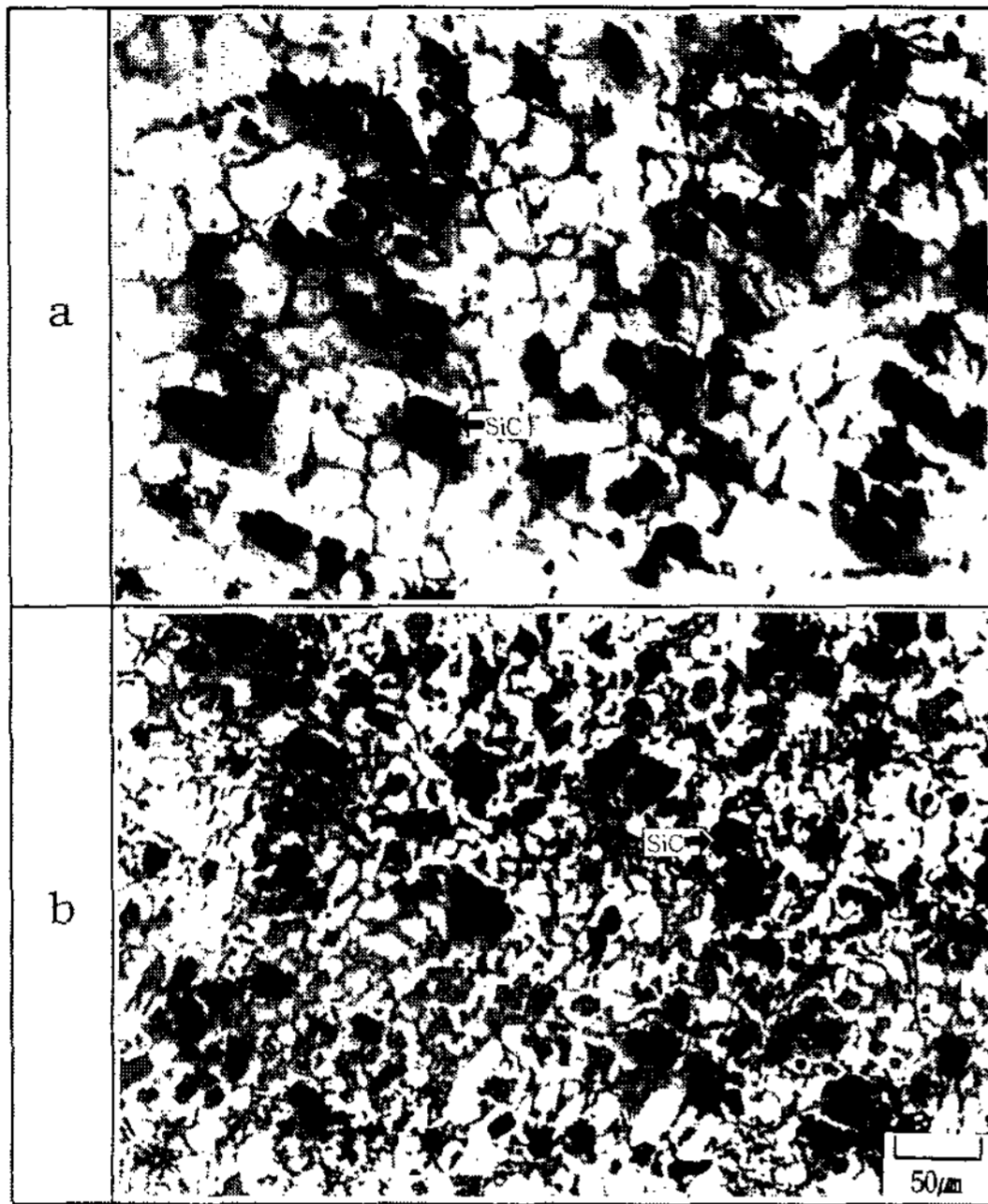


Photo 7. Microstructures of rapidly solidified Al-Si/SiC<sub>p</sub> composites(SiC particle size: φ 16 μm).  
a) Al-6%Si/6%SiC<sub>p</sub>    b) Al-18%Si/6%SiC<sub>p</sub>

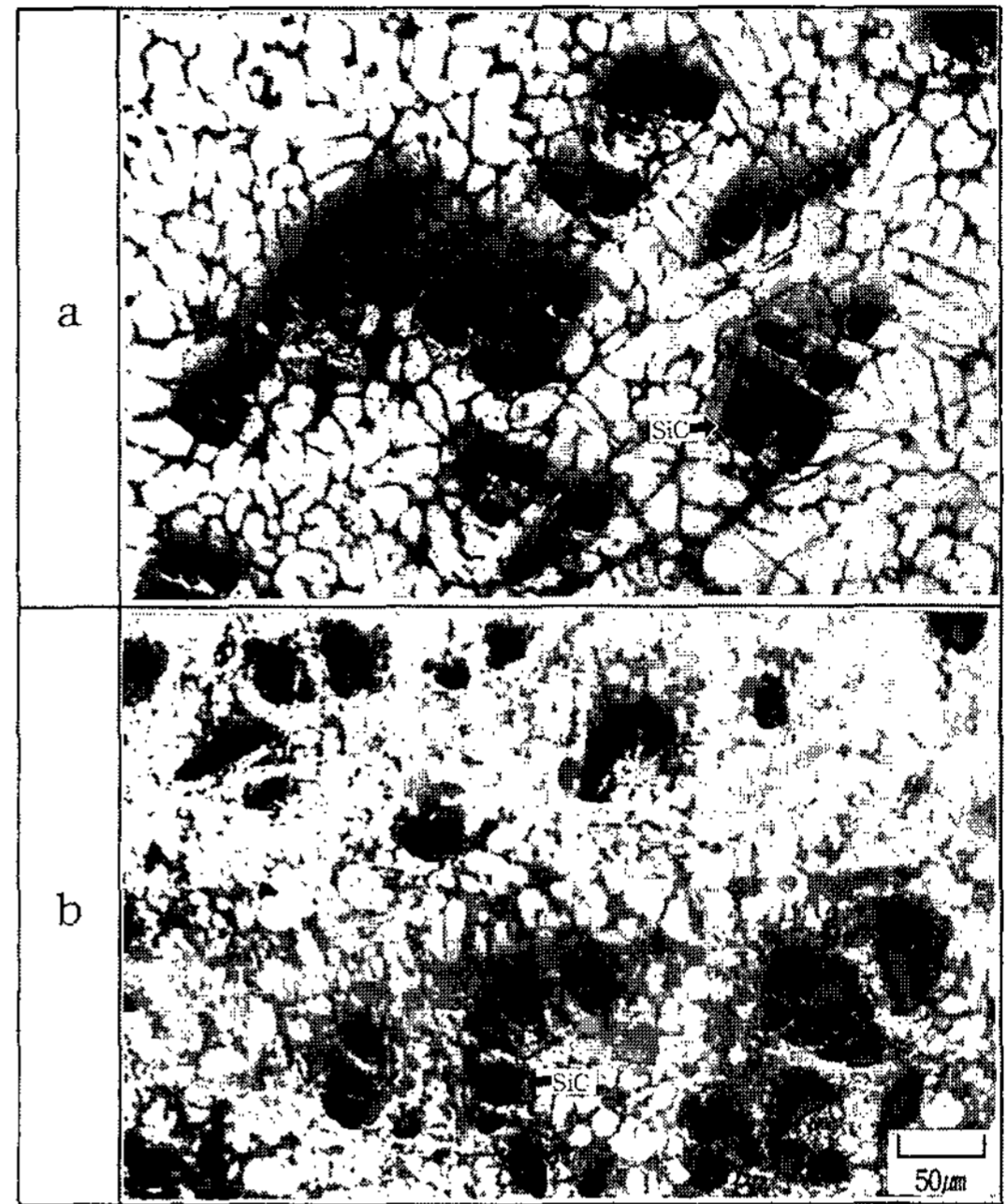


Photo 8. Microstructures of rapidly solidified Al-Si/SiC<sub>p</sub> composites(SiC particle size: φ 28 μm).  
a) Al-6%Si/6%SiC<sub>p</sub>    b) Al-18%Si/6%SiC<sub>p</sub>

주지 않는다.

Photo 7 및 8은 급냉 응고된 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료의 미세 조직을 나타낸 것이다. 이들 미세 조직 사진에서 보면 수지상정 간극은 냉각 속도(14.1°C/sec)가 빨라지기 때문에 좀더 미세해진다. 미세한 수지상정 간극(16.9 μm) 때문에 각각 수지상의 입계에 축적된 SiC 입자의 응집 현상이 나타나지 않고, 일부 입자는 수지상 내에 존재하는 것을 볼 수 있다. 한편 과공정조성의 경우 초정 Si도 미세하게 분포하고 있다. 그러므로 급냉 응고된 구조는 SiC 입자의 가장 좋은 분포를 제공한다고 사료된다.

일방향응고와 급냉응고 실험결과 칠로부터의 거리가 멀어짐에 따라 수지상정 간극, 응고시간, 냉각 속도, 계면 속도의 변화를 Table 1에 나타내었다.

### 3.2 Uhlman, Chalmers and Jackson model과 비교

이 모델은 입자의 밀림 현상에 대한 운동 역학적 표현이다. 만일 고·액 계면의 성장속도가 고·액 계면 선단에서 입자를 함유하는 액체의 유동속도보다 느린 경우에는 입자는 고-액 계면의 전면으로 밀림 현상이

Table 1. Results of unidirectional and rapid solidification experiment (Al-6%Si/6% SiC<sub>p</sub> composites, particle size: φ 16 μm)

Distance from chill (mm)	Average arm spacing (μm)	Local solidification time (sec)	Cooling time (°C/sec)	Local interface velocity (μm/sec)
0-1	24.20	8.4	3.982	1.41
5	44.86	88.5	0.733	0.30
15	57.02	135.2	0.384	0.21
30	65.86	210.7	0.260	0.15
45	92.00	352.3	0.105	0.10
60	111.43	495.5	0.063	0.08
water quenched	16.9	1.96	14.112	3.14

일어나고, 또한 고·액 계면의 성장속도가 액체의 유동속도보다 빠른 경우에는 성장하는 고체 내로 입자가 혼입된다고 가정하였다. 입자와 고체 사이의 척력은 입자-액체, 액체-고체 계면 자유 에너지의 합이 입자-고체 계면 자유 에너지보다 적을 때 발생한다. Uhlman 등은 고·액 계면의 성장속도가 임계 속도보다 느리면 입자의 밀림 현상이 일어나고 임계 속도보

다 빠른 경우에는 성장하는 고체내로 입자가 혼입되며 이와 같은 이론 임계 속도를 식 (2)와 같이 표현하였다.

$$V_c = \frac{1}{2} (n+1) La_0 V_0 D / KTR^2 \quad (2)$$

여기서  $V_c$  : 이론 임계 속도

$L$  : 단위 부피당 용융 잠열 ( $3.90 \times 10^5$  J/Kg)

$a_0$  : 원자간 거리 ( $3.10 \times 10^{-8}$  m)

$V_0$  : 원자 부피

$D$  : 액체의 확산 계수 ( $7 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/sec)

$K$  : Boltzman 상수 ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K)

$T$  : 온도

$R$  : 입자 반경

$n$  : 약 5.0 정도의 상수 [4]이다.

본 실험에 사용한 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료 (16 μm 입자 크기)의 이론 임계 속도를 식 (2)에 대입하여 계산한 결과 0.15 μm/sec이었으며, Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료에서 실제 실험적으로 측정된 칩면으로부터 각부위별 고·액 계면 성장 속도를 Table 1에 나타내었다. 칩로부터의 거리가 5 mm일 경우 계면 속도는 0.30 μm/sec이다. 즉, U. C. J. 모델에 의해 계산된 임계 속도가 실제 실험적으로 측정된 결과보다 적기 때문에, U. C. J. 모델의 예측은 성장하는 고·액 계면 전면에 의해 SiC 입자가 혼입되는 현상이 일어난다고 할 수 있다. 그러나 실험적 관찰은 SiC 입자의 이탈이 발생하는 것을 보여준다. 그러므로 U. C. J. 모델은 본 실험에서 관찰된 것처럼 성장하는 고·액 α-Al 전면에서 SiC 입자가 혼입되는 현상을 정확하게 예측하는데 적합하지 못하였다. 이와 같은 이유는 U. C. J. 모델(식 2)에는 액체와 입자의 열적성질과 대류 현상에 의한 액체의 유동향을 고려하지 않았기 때문일 것으로 사료된다.

### 3.3 Bolling and Cisse model과 비교

Bolling과 Cisse는 주로 입자 배후에 고·액 계면의 형상으로 집중되는 모델을 제시하였다. 계면에서 몸체 이상으로 끈적이는 힘에 대한 표현을 발전시켰다. 처음으로 입자는 접촉을 촉진하는 작음 힘(중력 또는 끈적이는 힘)에 의해 영향을 받으며, 성장하는 계면으로부터 분리된다고 하였다. 그래서 입자와 계면의 안정 상태 배열이 형성될 때까지 계면 운동의 방향으로 힘을 가해야만 한다. 이 모델은 다음과 같은 관계식에

의해 매끈한 입자에서 휩쓸림 현상이 일어나는 이론 임계 속도를 제안하였다.

$$V_c = \left\{ \left( \frac{4\psi}{9\pi\eta^2 R^3} \right) \cdot KT \gamma a_0 \right\}^{1/2} \quad (3)$$

여기서  $V_c$  : 성장하는 고·액 계면의 임계 속도

$\psi = \alpha(1-\alpha)^3 / (1-3\alpha)$

$\alpha$  : 계면 형상 인자로 약 0.91

$K$  : Boltzman 인자

$T$  : 온도

$\eta$  : 점성 ( $2 \times 10^{-3}$  Pa/s)

$R$  : 입자 반경

$\gamma$  : 고·액 계면 비 자유에너지 ( $0.98$  J/m<sup>2</sup>)

$a_0$  : 원자간 거리이다.

본 실험에 사용한 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료 (16 μm 입자 크기)의 이론 임계 속도를 식 (3)에 대입하여 계산한 결과 2.84 μm/sec이었으며, 이 값은 본 연구에서 실험적으로 측정된 계면 속도가 칩로부터의 거리 5 mm일 경우 0.30 μm/sec인 것보다 2.54 μm/sec만큼 크다. 성장하는 고·액 계면에서 입자가 밀림되는 현상을 해석하는데 식 (3)은 실험적인 관찰과 일치한다. 이 모델은 입자의 형태를 고려하지 않은 상태에서 입자 반경이 커지면 커질수록 입자가 혼입되는 현상의 임계 속도는 낮아진다고 결론지었다. 또한 이 모델은 액체의 점성이 적을 때 입자가 혼입되는 현상이 일어나는 임계 속도가 빨라진다는 것을 의미한다.

### 3.4 Zubkov et al. model과 비교

Zobkov 등은 응고하고 있는 용탕 중에 입자의 밀림 현상이나 혼입되는 현상에 대하여 액체와 입자의 열전도도로 해석을 시도하였다. 이 모델에서 입자의 열전도도가 액체의 열전도도보다 낮을 때 다음과 같이 계면 성장 속도는 증가된다고 제안하였다.

$$\frac{\lambda_p}{\lambda_l} < 1 \quad (4)$$

여기서  $\lambda_p$  : 입자의 열전도도 (15.57 W/mK)

$\lambda_l$  : 액체의 열전도도 (53.7 W/mK)이다.

계면과 입자에서 나타나는 돌기는 성장하는 결정 중에 의해 잡히지 않을 수 있다. 만일 입자의 열전도도가 용탕의 열전도도보다 크다면 즉  $\lambda_p/\lambda_l > 1$ 이면, 계

면 성장 속도는 감소하고, 크레타가 계면에서 발달하고, 입자가 혼입되는 현상이 일어난다.

본 실험에서 사용한 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료(16 μm 입자 크기)에서 Al의 열전도도와 SiC 입자의 열전도도의 비율을 식 (4)에 대입하여 계산한 결과 0.29이다. 이 비율은 1보다 적어서 SiC 입자의 이탈이 예상된다. 그러므로 응고하는 동안 성장하는 고체 Al에 의한 SiC 입자 이탈의 Zubkov의 식 (4)는 실험적으로 관찰한 결과를 만족시킨다.

3.5 Rohatgi and Surappa model과 비교

Rohatgi와 Surappa는 용탕이 응고하는 동안 입자가 혼입되는 현상을 예상한 Zubkov 모델과 달리 입자와 용탕의 열확산율로부터 실험적인 관계를 제안하였다. 이 모델은 식 (5)와 같이 제안되었다.

$$\left( \frac{\lambda_p C_p \rho_p}{\lambda_l C_l \rho_l} \right)^{1/2} > 1 \text{ for capture}$$

$$< 1 \text{ for rejection} \tag{5}$$

여기서 C: 열 용량(C<sub>p</sub>=0.23, C<sub>l</sub>=0.248)  
 λ: 열전도도  
 ρ: 밀도(ρ<sub>p</sub>=3.21, ρ<sub>l</sub>=2.68)  
 p와 l은 각각 입자와 액체를 지칭하는 것으로

Table 2. Results of theoretical critical and experimental data during the unidirectional solidification of Al-6%Si/6%SiC<sub>p</sub> composites. (particle size: φ 16 μm)

	U.C.J. model (μm/sec)	Bolling-Cisse model	Zubkov model	Rohatgi-Surappa model
critical value	0.15	2.84	1	1
experimental value	0.30	0.30	0.29	0.57

Table 3. Comparison of prediction of models on particle pushing with actual experimental observations during the unidirectional solidification of Al-6%Si/6%SiC<sub>p</sub> composites. (particle size: φ16 μm)

Distance from chill (mm)	Interface velocity (μm/sec)	experimental observation	U.C.J. model	Bolling Cisse model	Zubkov model	Rohatgi Surappa model
5	0.30	reject	entrap	reject	reject	reject
15	0.21	reject	entrap	reject	reject	reject
30	0.15	reject	entrap	reject	reject	reject
45	0.10	reject	reject	reject	reject	reject

나타낸다.

입자의 열확산율이 주위의 액체 금속의 열확산율보다 클 때 크레타(crater)가 고·액 계면에서 형성되고, 이것이 입자가 혼입되는 현상을 촉진한다. 액체의 열확산율이 분산 입자의 열확산율보다 클 때 계면에서 마운트(mount)가 형성되며 입자는 계면에서 빠져나와 입자의 밀림 현상을 유발한다. 이 모델은 고·액 계면의 성장 속도가 느릴 때 적합하다. 본 실험에서 사용한 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료(16 μ 입자 크기)에서 Al의 열확산율과 SiC 입자의 열확산율의 비율을 식 (5)에 대입하여 계산한 결과 0.57로 1보다 적다. 이 모델은 응고하는 동안 성장하는 고체 Al에 의해 SiC 입자의 이탈을 예측하였는데 실제 관찰과 잘 일치한다.

3.6 입자 밀림 현상과 각종 모델의 비교

본 연구에서 고·액 계면 이동 속도 0.10~0.30 μm/sec 범위에서 SiC 입자는 성장하는 α-Al에 의해 이탈되는 것으로 나타났다. 여러 가지 모델을 사용한 성장하는 계면 임계 속도 계산값과 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료에서 얻은 실험적으로 관찰한 결과를 비교하여 Table 2 및 3에 나타내었다.

그 결과 U. C. J. 모델은 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료에서 입자 밀림 현상과 혼입되는 현상을 예측하는데 실패한 것을 보여준다. 그러므로 이 모델은 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료에서 SiC 입자의 밀림 현상과 혼입되는 현상을 예측하는데 적합하지 않으며, 이와 같은 이유는 액체와 입자의 열적 성질을 전혀 고려하지 않았기 때문이라고 사료된다.

입자 밀림 현상에 대한 Bolling-Cisse의 식에 의한 계산값은 본 실험 결과와 일치한다. 이 모델은 Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료에서 입자 밀림 현상을 예측하기 위하여 유용될 수 있다. 그러나 이 모델도 액체와 입자의 열적 성질에 관한 항을 보완할 필요가 있다고 사료된다.

실험적 관계인 Zubkov의 모델과 Rohatgi-Surappa의 모델에 의한 계산값은 표 3과 같이 본 실험 결과와 잘 일치한다. 그러나 이들 모델에서는 액체의 대류현상에 관한 항이 포함되지 않았다.

#### 4. 결 론

Al-xSi/6wt%SiC<sub>p</sub>(x: 6, 10, 14, 18 wt%, particle size:  $\phi$  16  $\mu$ m) 복합재료 용탕을 일방향응고 및 급냉응고하여 SiC 입자의 편석에 미치는 응고 조건의 영향을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

① Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료 용탕을 중력과 반대 방향으로 일방향응고할 때 고·액 계면 이동 속도 0.30  $\mu$ m/sec 이하에서 대부분의 SiC 입자는 성장하는 응고 계면에 의한 입자의 밀림 현상으로 인해 주물의 상부로 밀려 올라간다.

② Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료 용탕의 계면 이동 속도가 1.41  $\mu$ m/sec 이상으로 증가하면 SiC 입자의 밀림 현상은 나타나지 않는다.

③ Al-Si/SiC<sub>p</sub> 복합재료 용탕에 분산된 입자의 크기가 22  $\mu$ m 이상이 되면 SiC 입자는 용탕의 일방향 응고시 주물의 상부로 밀려 올라가지 못하고 수지상 사이의 영역으로 혼입된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P. K. Rohatgi, F. M. Yarandi and Y. Liu: Cast Reinforced Metal Composites, ASM international, (1988) 249-255.
- [2] D. R. Uhlman, B. Chalmers and K. A. Jackson: J. Appl. Phys., 35, 10 (1964) 2986.
- [3] D. M. Stefanescu et al.: "Behavior of Ceramic Particles at the Solid-Liquid Metal Interface in Metal Matrix Composites", Casting Metals Handbook (ASM), 15, 9Th ed. (1988)
- [4] G. F. Bolling and J. Cisse: J. Cryst. Growth, 10 (1971) 56.
- [5] G. F. Bolling and J. Cisse: J. of Crystal Growth 11 (1972).
- [6] P. F. Aubourg: "Interaction of Second-Phase Particles with a Crystal Growing from the Melt", Ph.D. Thesis at the M.I.T, June (1978).
- [7] A. M. Zubkov, V. G. Labanov and V. V. Nikonova: Soviet Phys. Crystall., 18 (1973) 239.
- [8] P. K. Rohatgi and M. K. Surappa: J. of Mater. Sci. Lett., 16 (1981) 562.
- [9] D. J. Lloyd and B. Chamberlain: Cast Reinforced Metal Composites, ASM international, (1988) 263-269.
- [10] J. C. Kim: Ph.D. Thesis at the Chungnam National Univ., (1996) 33-61.