

論 文

# Squeeze Cast 한 Al기지 금속복합재료의 응고거동

김대업\*, 김진\*\*, 박익민\*

## Solidification Characteristics of Squeeze Cast Al Alloy Composites

Dae-Up Kim\*, Jin Kim\*\*, Ik - Min Park\*

### Abstract

The solidification behavior of the squeeze cast composites of aluminum alloys reinforced with boron fiber(100 $\mu$ m) and silicon carbide fibers(140 $\mu$ m and 15 $\mu$ m) were investigated. Al-4.5wt%Cu and Al-10wt%Mg were chosen for the matrix phase of the composites.

In the squeeze cast specimen with high thermal difference between fiber and melt, the average secondary dendrite arm spacing(DAS) in reinforced alloy is smaller than that in unreinforced alloy. It was also observed that primary  $\alpha$  and non-equilibrium eutectic, which seems to be penetrated and solidified at the final stage of the solidification of the matrix, are irregularly distributed around fibers. It is considered that cold fibers serve as heterogeneous nucleation site. While in the remelted and resolidified specimen without temperature difference, the DAS was not changed with reinforcement and microstructure reveals non-equilibrium eutectic with relatively uniform thickness around fibers. It might be evident the nucleation starts at interfiber region. Microsegregation decreases with the decrease in cooling rate and with reinforcement in the as-squeeze cast specimen. Al-10wt% Mg alloy shows less microsegregation than Al-4.5wt%Cu alloy.

### 1. 서론

금속기복합재료는 높은 비강도와 강성, 내열성, 내마모성, 낮은 열팽창계수, 높은 전기전도도 등의 특성을 나타내어 우주환경구조물, 전자포장재료, 항공기구조재료, 자동차엔진부품재료등에서 점차 사용범위를 확대해가고 있다.(1-4)

금속기복합재료의 제조방법은 고상법과 액상법으로 대별할 수 있는데 액상법이 고상법에 비해 경제적으로 유리하다. 액상법중 squeeze casting 방법은 급속한 열전달과 액상가압효과에 따라 조직의 미세화와 젖음성하상을 피할 수 있고, 기공, 수축공등의 주조결함을 감소시켜 우수한 기계적 성질을 얻을 수 있다. 이밖에도 near-net shape로 대량생산할 수 있는 장점이 있고, 종래의 diecasting장치를 보완 이용할 수 있어 실용

적 측면에서 가장 효율적인 방법으로 지적되고 있다.(5-8)

Squeeze casting법에 의한 금속기복합재료의 연구는 가압력, 용탕온도, preform에열온도, 가압 지연 및 지속시간등의 제조공정인자의 최적화와 계면반응특성검토로 크게 분류할 수 있으며, 응고 거동에 관한 연구는 일부 보고되고는 있으나 미흡한 실정이다. 특히 보강섬유의 불균일 핵생성장소로서의 역할여부는, Cornie(9,10)와 Levi(11)등은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al-Cu 복합재료에서 섬유계면에 최종응고조직인 비평형공정조직이 관찰되어 섬유계면이 핵생성장소로 작용하지 않음을 보고한 반면, Fukunaga(12)와 Abe(13)등은 SiC/Al-Cu와 TiC/Al 복합재에서 섬유가 핵생성장소로 작용함을 보고하고 있어 이에 대한 충분한 이해가 요구되고 있다.

\* 부산대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Engineering, Pusan National University)

\*\* 한국기계연구소 복합재료실(Korea Institute of Machinery and Metals, Composite Materials Laboratory)

본 연구에서는 보강섬유의 불균일 핵생성장소로서의 역할 여부에 대한 보다 명확한 검토를 위하여 squeeze casting방법에 의해 Boron 및 SiC장섬유강화 Al-4.5wt%Cu, Al-10wt%Mg기지 복합재료를 제조하면서 응고조직 및 용질편석거동에 미치는 섬유복합화, 재용해, 냉각속도 및 보강섬유의 변화 등의 영향을 검토 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 구성재료

보강섬유로는 AVCO사의 직경 100 μm의 Boron장섬유 및 직경 140 μm의 SiC장섬유(SCS-2)와 Nippon Carbon사의 직경 15 μm의 SiC장섬유(Nicalon)를 사용하였다. Boron과 SCS-2장섬유는 각각 Carbon monofilament core에 CVD처리한 것이며 약 1 μm의 carbon rich층을 지닌다. 기지재료로는 순도 99.9%의 Al과 Cu 및 순도 99.5%의 Mg을 사용하여 고주파유도로에서 제조한 Al-4.5wt%Cu, Al-10wt%Mg모합금을 사용하였다.

2.2 복합재료의 제조

본 연구에서 사용한 squeeze casting장치의 개략도, 제조공정 및 복합재의 구성성분을 Fig. 1과 2 및 Table 2에 나타낸다. 복합재료 제조후의 기지합금의 습식 화학성분 분석결과를 괄호 안에 표시하였다. squeeze casting장치는 유압식 press 내에 회전식 흑연도가니 전기로와 최고가열온도 500℃인 금형과 punch 및 용탕주입 유도관으로 되어있다.

Preform의 제작은 직경이 큰 Boron섬유 및 SCS-2섬유는 길이 100mm, 직경 4mm의 다발로 양끝을 묶어 용탕주입시 일정한 장력과 섬유간격이 유지되도록 했고, 직경이 작은 Nicalon섬유는 특별히 체적율에 맞게 일정구멍을 뚫은 jig를 사용하여 균일한 preform을 제작하였다. 제조된 preform은 아세톤에 침적하여 초음파 세척한 후 금형내에 고정시켰고, 주입직전의 섬유예열온도는 약 320℃로 측정되었다. 800℃에서 용해한 금속용탕을 주입하여 가압하였고, 가압 15초후부터 액체질소를 압력을 변화시키면서 금형에 분무하여 냉각속도를 20-40℃/min로 변화시켰다. 가압력은 Kelvin식을 이용한 표면장력에 의한 압력

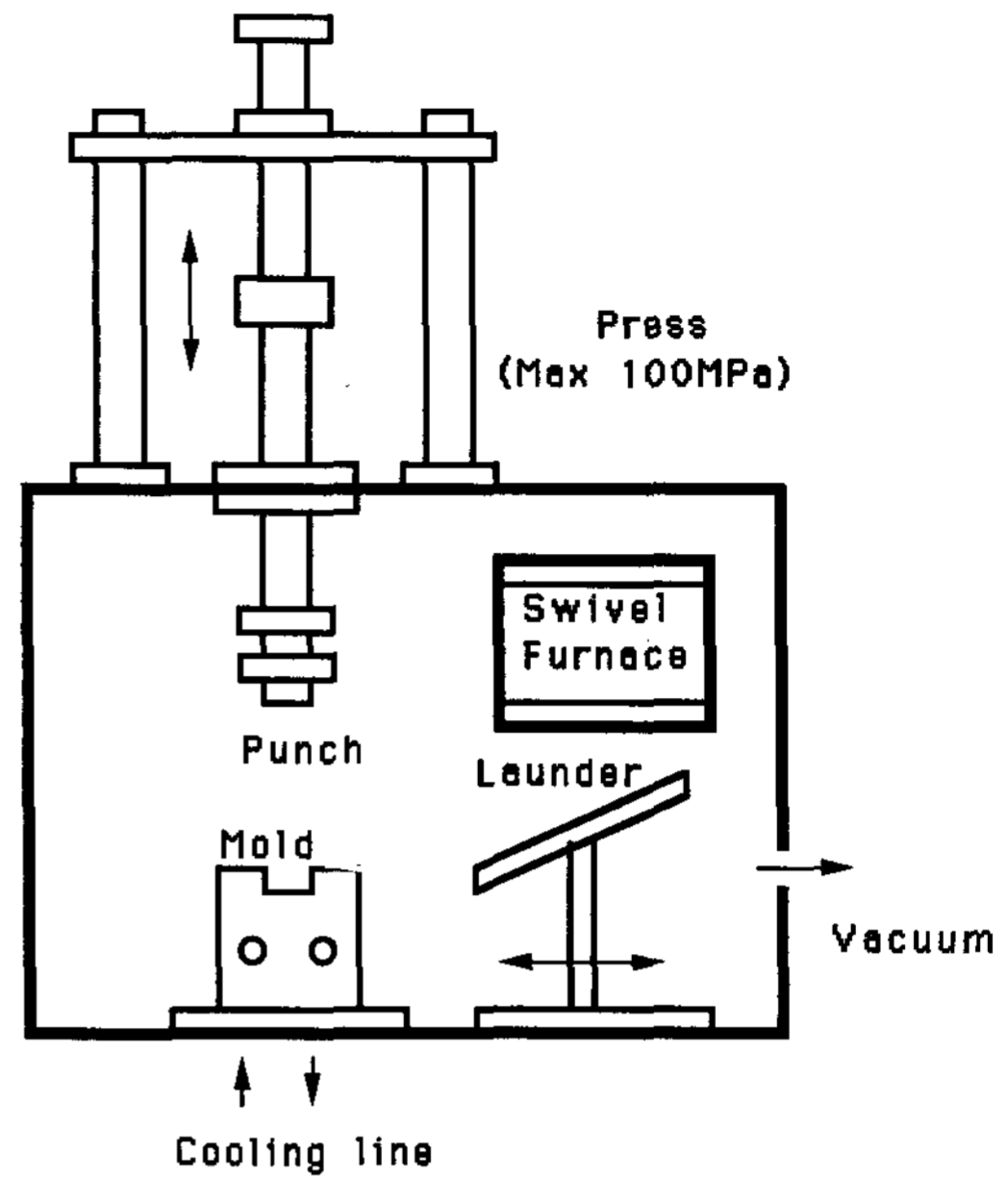


Fig. 1. Schematic drawing of a squeeze casting equipment.

Table 1. Designations and chemical compositions of MMC specimens.

	Fiber	matrix(wt%)	Cooling Rate (°C/min)
BA-1	Boron	Al-4.5Cu(4.3)	20
BA-2	Boron	Al-4.5Cu(4.4)	32
BA-3	Boron	Al-4.5Cu((4.4)	39
BB-1	Boron	Al-10Mg(8.9)	32
KA-1	SCS-2	Al-4.5Cu(4.4)	20
KA-2	SCS-2	Al-4.5Cu(4.4)	32
KA-3	SCS-2	Al-4.5Cu(4.4)	39
KB-1	SCS-2	Al-10Mg(8.8)	32
SA-1	Nicalon	Al-4.5Cu(4.5)	32
SB-1	Nicalon	Al-10Mg(8.6)	32

감소와 Blake-Kozeny식에 의한 channel효과에 의한 압력손실을 고려하여 최소요구 가압력(14)보다 10%정도 높여서 Boron과 SCS-2장섬유의 경우 40MPa로, Nicalon섬유의 경우 75MPa로 시도하여 양호한 결과를 얻을수 있었다. 가압지연 및 유지시간은 7초와 90초로 하였다.

2.3 재용해, 열처리 및 조직관찰

보강섬유와 기지와 온도차가 없는 경우의 응

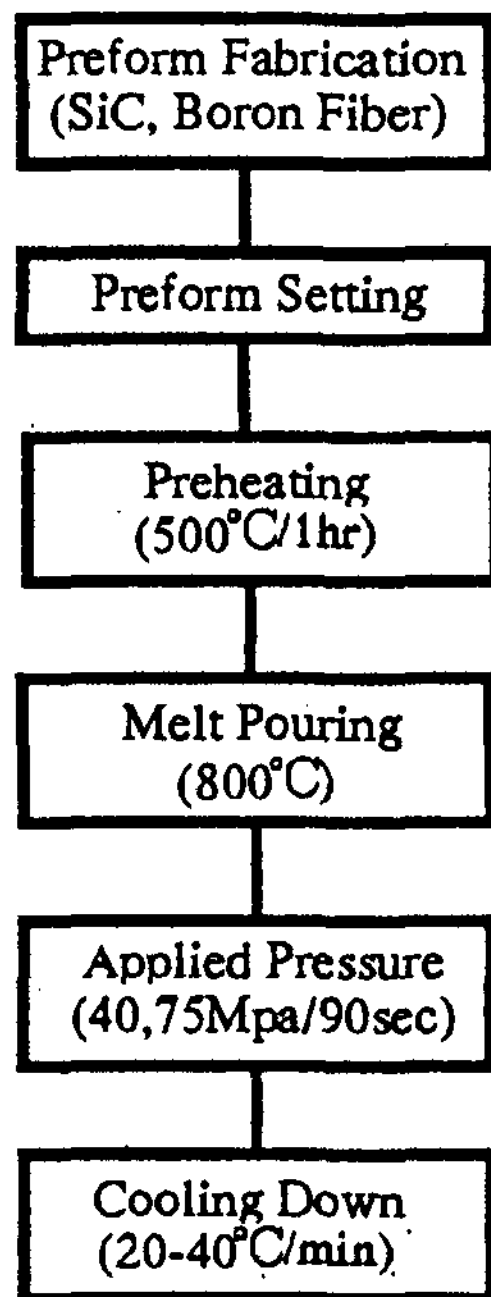


Fig. 2. Squeeze casting process step of metal matrix composites.

고거동을 조사하기 위하여 squeeze casting한 시료를 액상선 온도이상인 650°C에서 재용해하여 530°C까지 노냉하여 재응고시킨후 급냉하였다. 또한 균질화 시간에 따른 미세편석변화의 관찰을 위하여 기지가 Al-4.5wt%Cu합금의 경우는 530°C에서 Al-10wt%Mg합금의 경우는 430°C에서 균질화처리를 행하였다.

제조된 시편은 저속의 diamond wheel로 절단하여 diamond paste에서 1 μm까지 연마한후 10% NaOH수용액 또는 Keller시약으로 부식하여 광학현미경 및 주사식전자현미경으로 응고조직을 관찰하였다. 또한 용질의 미세편석거동의 조사는 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer)를 이용하여 선분석과 점분석을 행하였다. EDS의 분석 조건은 가속전압 25KV, 흡수전류 3×10<sup>-8</sup> A, working distance는 39mm로 하여 섬유간격이 약 50μm인 삼각 interstice에서 7회 이상 측정하여 평균값을 구하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 응고조직

Fig. 3은 직경 140 μm의 SiC장섬유 강화 Al

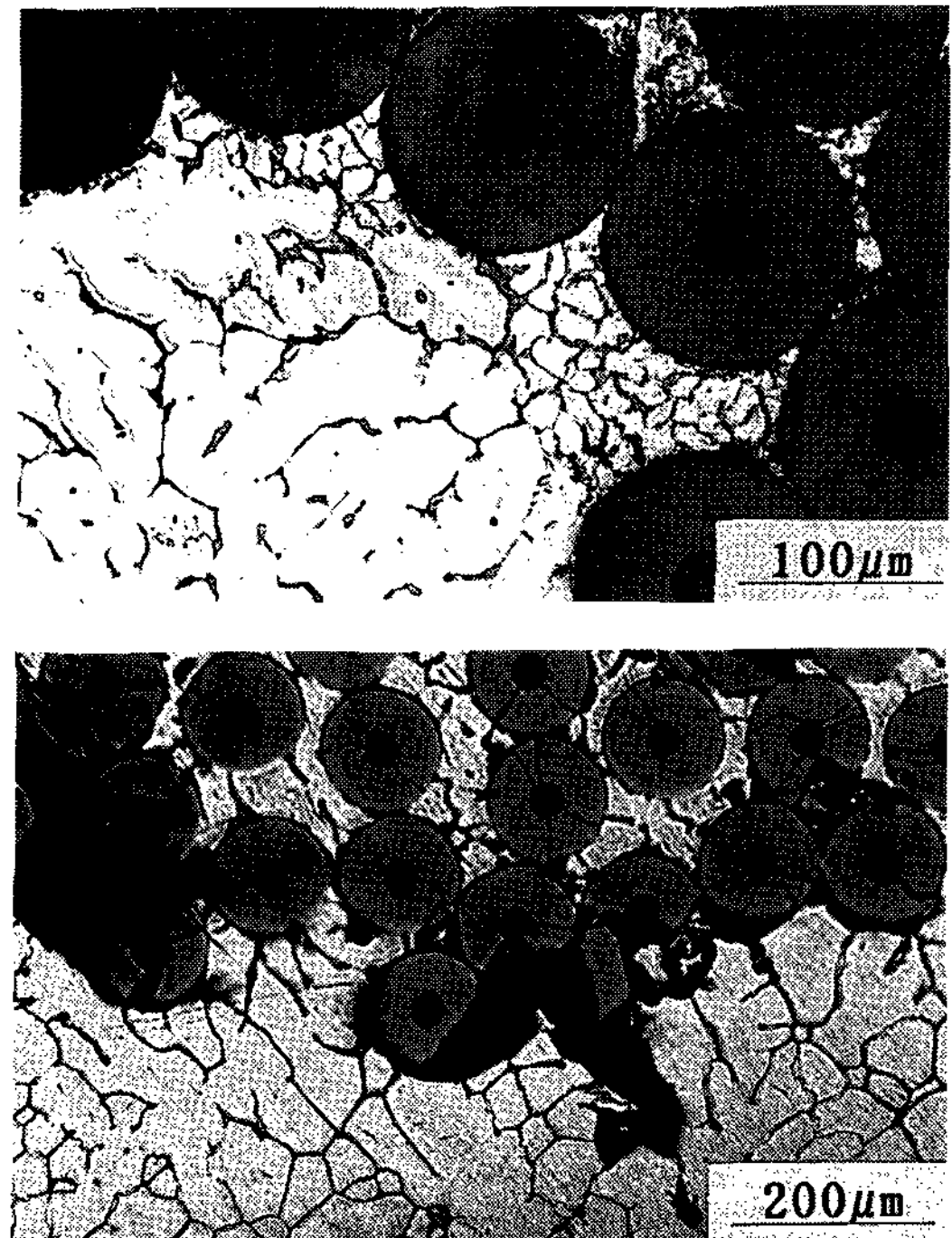


Fig. 3. (a) As-squeeze cast SCS-2 SiC / Al4.5wt%Cu MMC. (b) Remelted SCS-2 5wt%Cu MMC.

-4.5wt%Cu기재 복합재료의 섬유복합화 영역과 비복합화 영역의 경계부분의 응고조직을 나타낸 것이다. (a)는 320°C로 예열된 보강섬유에 800°C의 금속용탕을 주입한 as-squeeze cast 응고조직이고, (b)는 squeeze cast한 시편을 650°C에서 재용해하여 530°C까지 노냉한 후 quenching한 재용해 시편의 응고조직이다.

보강섬유와 금속용탕과의 온도차가 존재하는 squeeze cast한 시편에서의 평균 2차 dendrite arm spacing(이하 DAS)는 복합화영역에서는 약 10μm, 비복합화 영역에서는 약 27μm으로 섬유복합화에 따라 DAS는 현저히 감소함을 알 수 있다. 한편 재용해하여 응고시킨 시편에서는 복합화 영역과 비복합화 영역에서의 DAS는 각각 40 μm, 50 μm으로, 섬유와 용탕과의 온도구배가 없는 경우는 DAS의 차가 적었다.

Fig. 4와 Fig. 5는 Al-4.5wt%Cu, Al-10wt%Mg합금 기지에 SCS-2장섬유와 Boron장섬유를 각각 보강시켜 squeeze cast한 시편(가압 15초후의 냉각속도 32°C/min로 냉각)의 응고조직

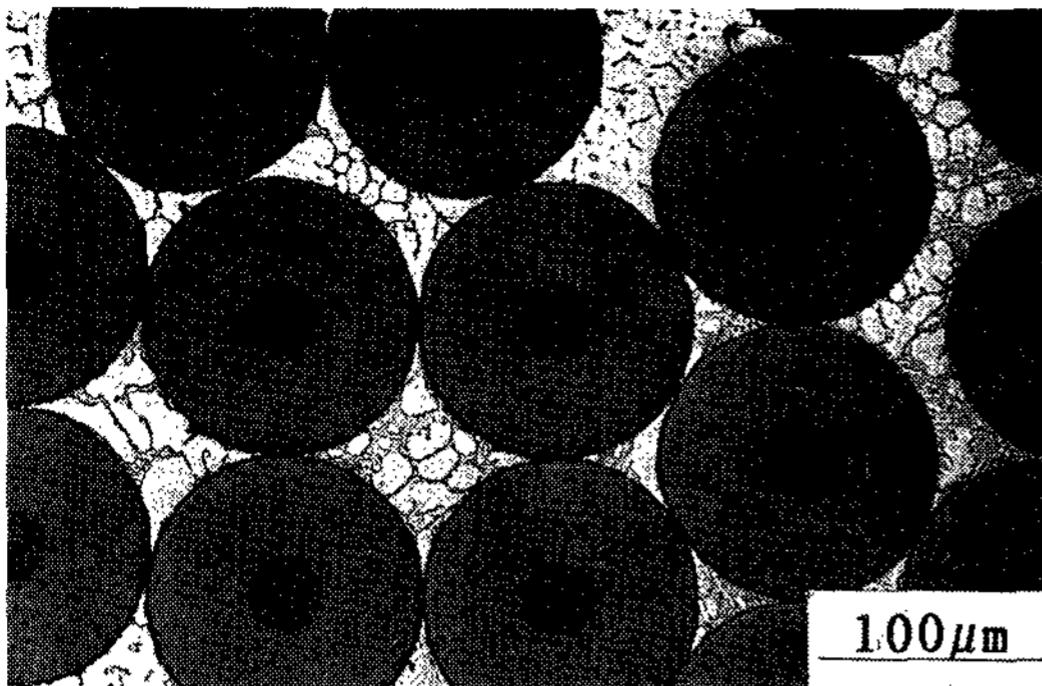


Fig. 4. As-squeeze cast SCS-2 SiC / Al-4.5wt%Cu MMC.

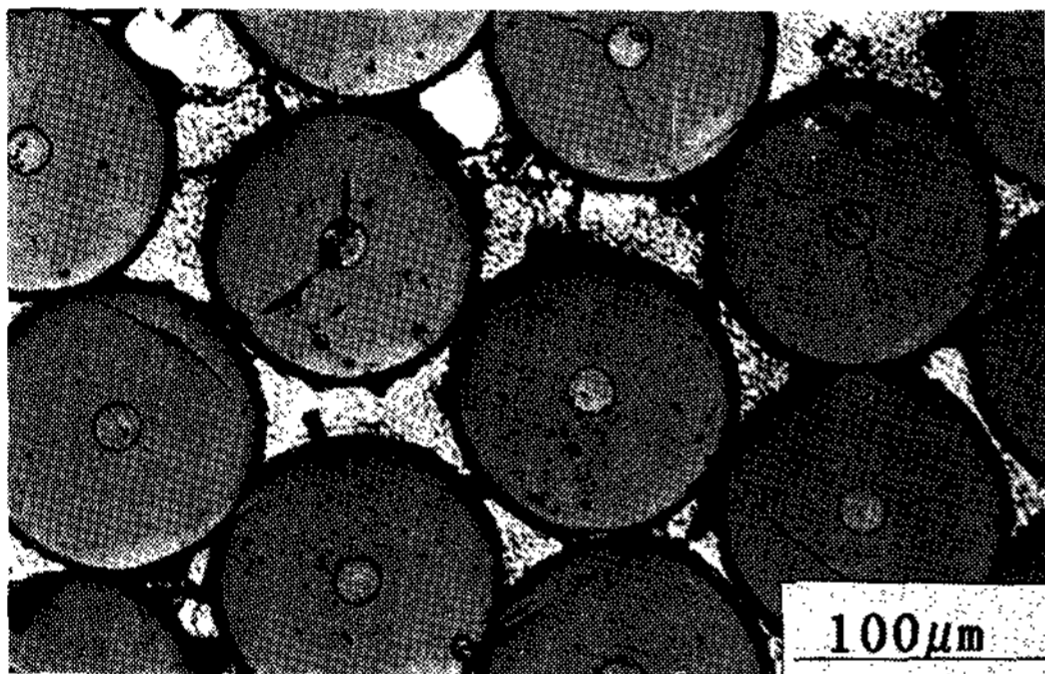


Fig. 5. As-squeeze cast B / Al-10wt%Mg MMC.

을 나타내는 광학현미경사진이고, Fig. 6은 직경이 10-15 µm인 Nicalon 섬유강화 Al-4.5wt%Cu 복합재료의 squeeze cast 조직을 나타내는 SEM 사진이다. As-squeeze cast 조직에서는 보강섬유와 기지에 관계없이 보강섬유 계면에서 최종응고부인 용질농축층이 균일하게 관찰되지 않고, 초정인 α상과 후술하는 비평형 공정조직이 불균일하게 혼합된 분포를 나타냄을 알 수 있다.

Table 2에는 각 복합재에서 DAS를 측정된 결과를 나타내는데 직경 140µm의 SCS-2 섬유강화 복합재의 DAS가 직경 100µm의 Boron 섬유강화 복합재보다 약간 작으며, Al-10wt%Mg 기지의 경우가 Al-4.5wt%Cu 기지보다 DAS가 큼을 알 수 있다. Table 2에는 나타내지 않았지만 직경이 10-15µm인 Nicalon 섬유강화 복합재료의 경우는 Fig. 6에서 알 수 있듯이 DAS는 약 4µm 정도로

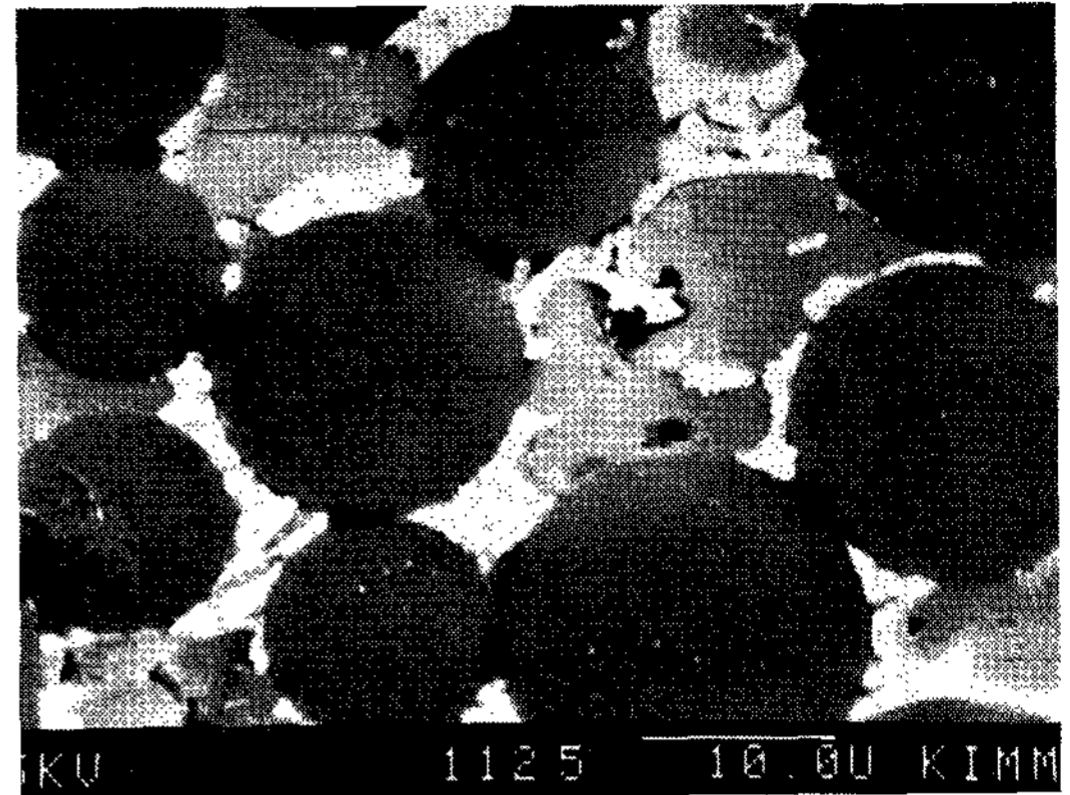


Fig. 6. Microstructure of as-squeeze cast Nicalon fiber reinforced Al-4.5wt%Cu MMC.

Table 2. Secondary dendrite arm spacing of MMC specimens.

Sample	Reinforced region(µm)	Unreinforced region(µm)	Interfiber spacing(µm)
KA-2	10	27	33
BA-2	12	27	31
KB-1	16	34	33
BB-1	17	34	31

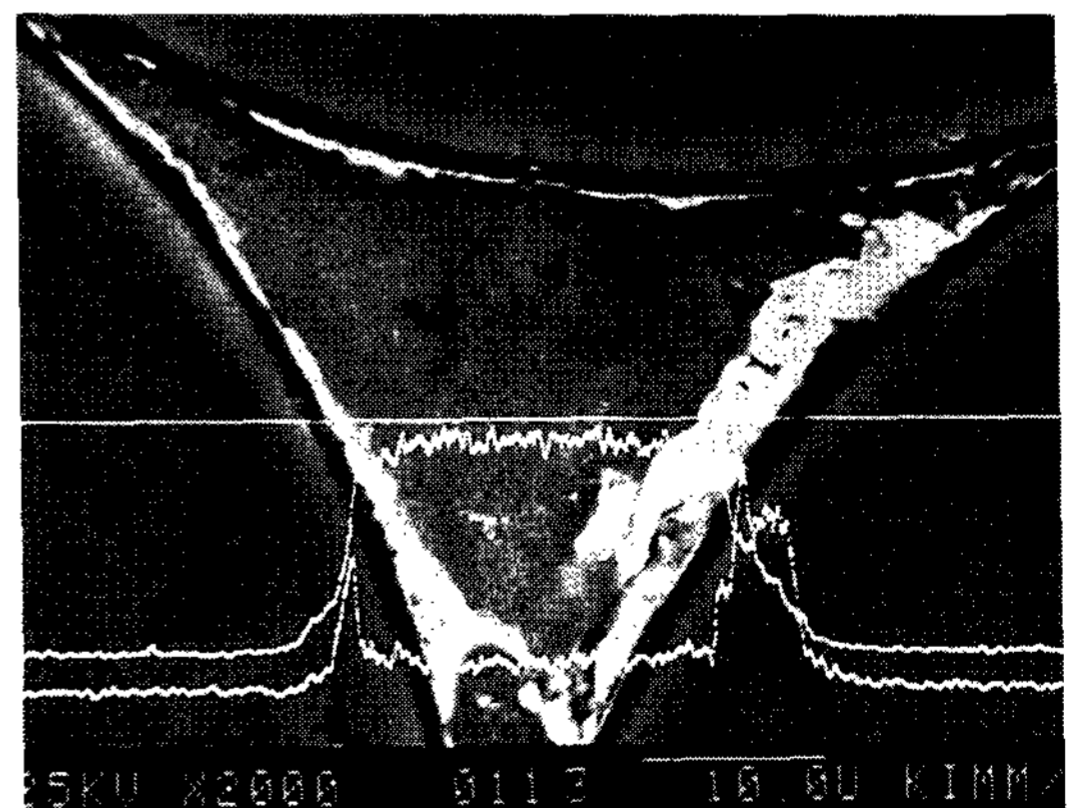


Fig. 7. Line profiling of SCS-2 SiC / Al-4.5wt%Cu MMC.

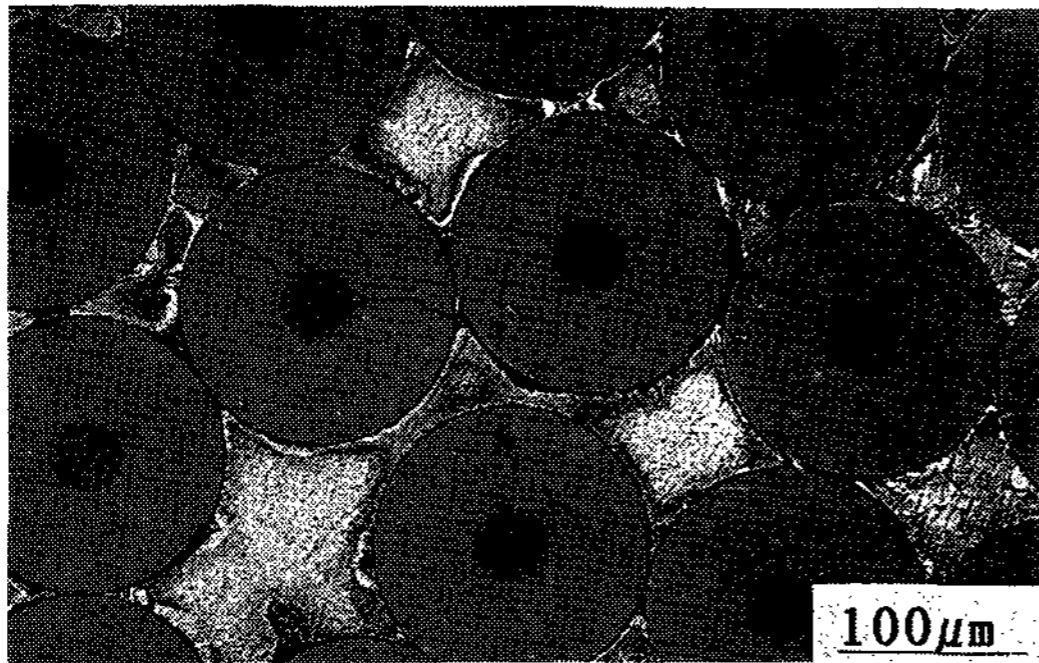
훨씬 감소하고 있다.

Fig. 7은 SCS-2 강화 Al-4.5wt%Cu 기지 복합재료의 보강섬유 계면에서 불균일하게 분포한

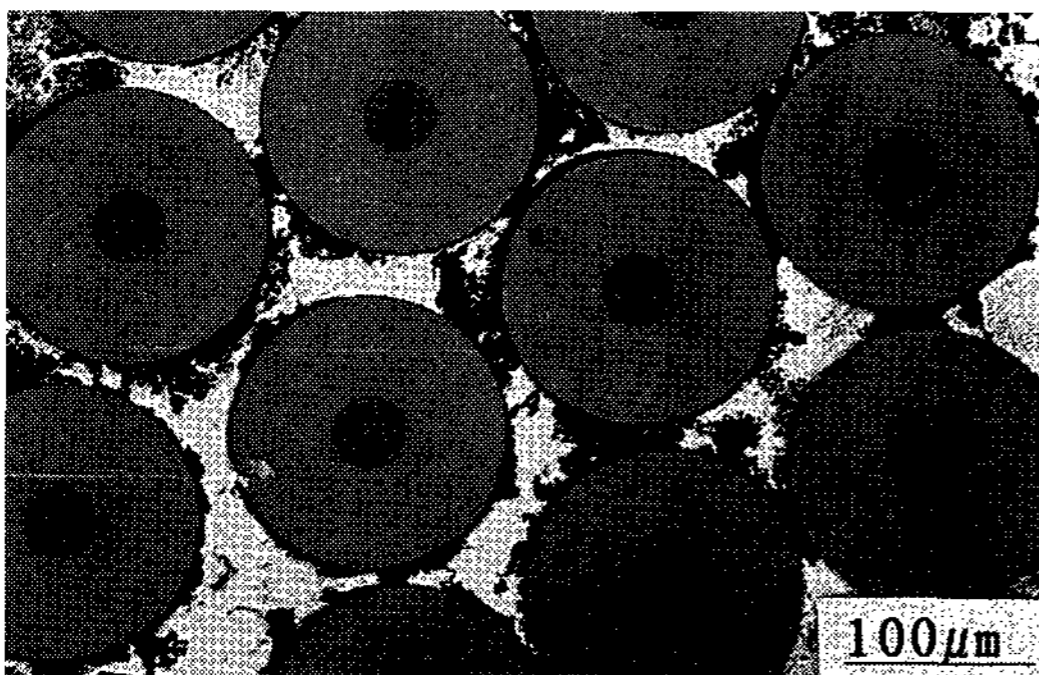


Cu농축층(흰부분)을 조사하기 위해 선분석한 결과이다. Cu농축층의 Cu농도는 약 32-34%로 대략 공정조성의 Cu농도를 함유하고 있어 Al<sub>2</sub>Cu공정조직으로 판단되었다.

Fig. 8은 squeeze cast한 시편을 700℃에서 재용해하여 Al-4.5wt%Cu는 530℃, Al-10wt%Mg는 430℃까지 노냉한 후 quenching한 응고조직을 나타낸 것이다. As-squeeze cast 응고조직과는 달리 보강섬유 계면에서 균일하게 분포하는 용질농축층이 관찰된다.



(A)



(B)

Fig. 8. Remelted and resolidified microstructures of SCS-2 SiC fiber reinforced (a) Al-4.5wt%Cu MMC (b) Al-10wt%Mg MMC.

### 3. 2 미세편석 거동

Fig. 9에는 기지변화에 따른 용질의 편석경향을 조사하기 위해 SCS-2섬유로 강화된 Al-Cu Al-Mg 복합재료의 as-squeeze cast조직을 EDS분석한 결과를 나타내었다. 계면에서의 용질

농축층은 점으로 표시하고, 최소용질부분은 실선으로 표시하여 나타내었다. 또한 Table 3에는 냉각속도 32℃/min로 squeeze cast한 각 복합재료에서의 Cu 및 Mg의 최소용질농도를 나타낸다. 용질농도의 측정은 섬유사이의 interstice가 비교적 작은 삼각형상의 부분에서 측정하였다. 최소용질농도값은 섬유직경이 10-15 μm로 작은 Nicalon의 경우가 섬유직경이 큰 Boron과 SCS-2섬유보다 약간 크게 측정되어 보강섬유 직경의 감소에 따라 편석이 약간 감소함을 알 수 있다. 또한 Al-10wt%Mg기지 보다 Al-4.5wt%Cu기지의 경우가 기지의 평균 용질농도값을 기준으로 비교하면 편석경향이 작음을 알 수 있다.

Fig. 10에는 Al-4.5wt%Cu기지 복합재료의 최소 Cu용질농도에 미치는 보강섬유, 냉각속도 및 섬유복합화의 영향을 나타낸다. 섬유복합화 영역이 비복합화 영역보다 미세편석이 훨씬 감소된 것을 알 수 있고 가압 15초후부터의 냉각속도 감소에 따라 미세편석이 약간 감소함을 알 수 있다. 또한 Boron섬유와 SCS-2섬유의 보강섬유의 변화에 따른 편석정도는 큰 차이를 나타내지 않았다.

균질화 열처리에 따른 용질의 편석경향을 비교하기 위해 SCS-2섬유 강화 Al-4.5wt%Cu기지 복합재료를 530℃에서 시간별로 균질화 열처리하여 균질화처리시간에 따른 균질화 과정을 섬유복합화 영역과 비복합화 영역에서 비교한 것을 Fig. 11에 나타내었다. 섬유복합화 영역이 비복합화 영역보다 훨씬 빨리 균질화가 진행됨을 알 수 있다.

## 4. 고 찰

### 4. 1 복합재료에서의 핵생성 장소

Al합금의 응고는 용질원소의 분배계수 k가 Cu, Mg등과 같이 1보다 작은 경우에는 용질원소가 dendrite 응고계면 전방의 액상에 농축되어 dendrite 중심부에는 최저용질 농도를, dendrite

Table 3. Microsegregation of squeeze cast MMCs.

Composites	BA-2	BB-1	KA-2	KB-1	SA-1	SB-1
Minimum Solute Conc. (wt%)	2.3	6.2	2.3	6.0	2.7	6.8

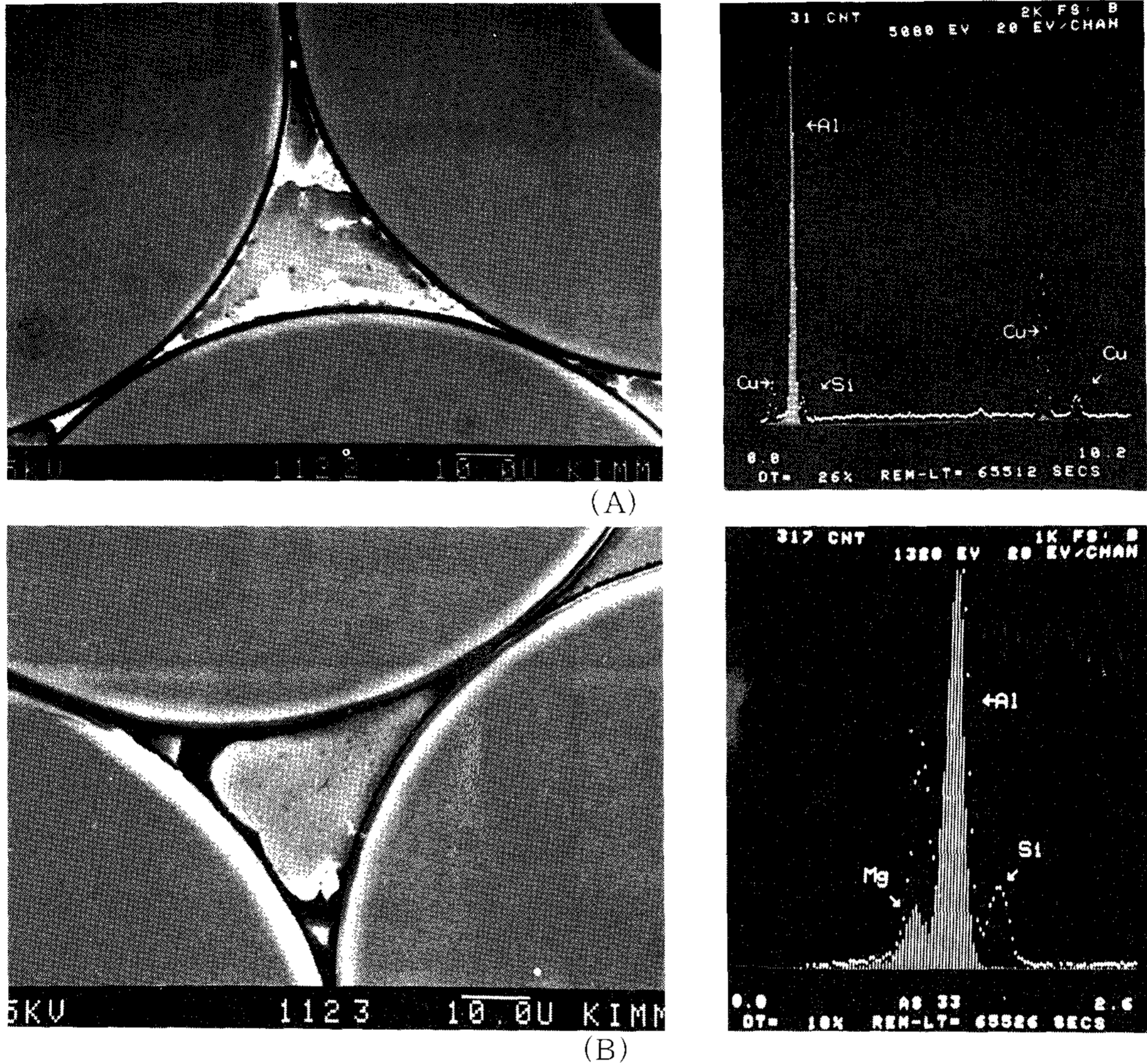


Fig. 9. Energy dispersive spectrometer analysis of SCS-2 SiC reinforced (a) Al-4.5wt%Cu MMC (b) Al-10wt% Mg MMC.

경계부에는 최고용질농도를 나타내고 최종응고부인 dendrite 외곽 또는 결정입계에는 비평형 공정상을 형성하기도 한다.

본 연구에서는 보강섬유와 금속용탕과의 온도차가 약 500℃정도 존재하는 squeeze casting의 경우에는 섬유비복합화 영역보다 섬유복합화 영역에서의 DAS가 현저히 작아 이는 찬 섬유가 불균일핵생성site를 증가시켜 결정립 미세화에 크게 작용한 결과로 사료되어 섬유계면은 우선 불균일 핵생성 장소로 작용하는 것으로 사료된다. 섬유계면에서는 최소 Cu농도를 나타내는 최종응고부와 비평형공정에 가까운 최종응고부가 혼합되어 관찰되었지만 최종응고부는 후술하겠지만 응고말기

의 액상유동에 따른 영향으로 사료되어 찬섬유계면에서 우선 핵생성하는 것으로 생각된다.

반면 채용해한 경우에는 섬유계면에서 최종응고부인 Cu용질농축층이 균일하게 분포하는 것이 관찰되었고, 섬유복합화 영역과 비복합화 영역에서의 DAS의 차가 적어 섬유계면 보다는 섬유 사이의 기지에서 핵생성이 시작되는 것으로 사료된다.

Levi 등(11)은 1270K로 예열한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>섬유와 Al-4.5wt%Cu합금용탕을 Compocasting법으로 복합화하면 액상기지와 섬유의 화학반응에 의해 섬유 계면에 균일하게 분포하는 CuAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuAl<sub>2</sub>의 Cu농축층이 5-10μm의 두께

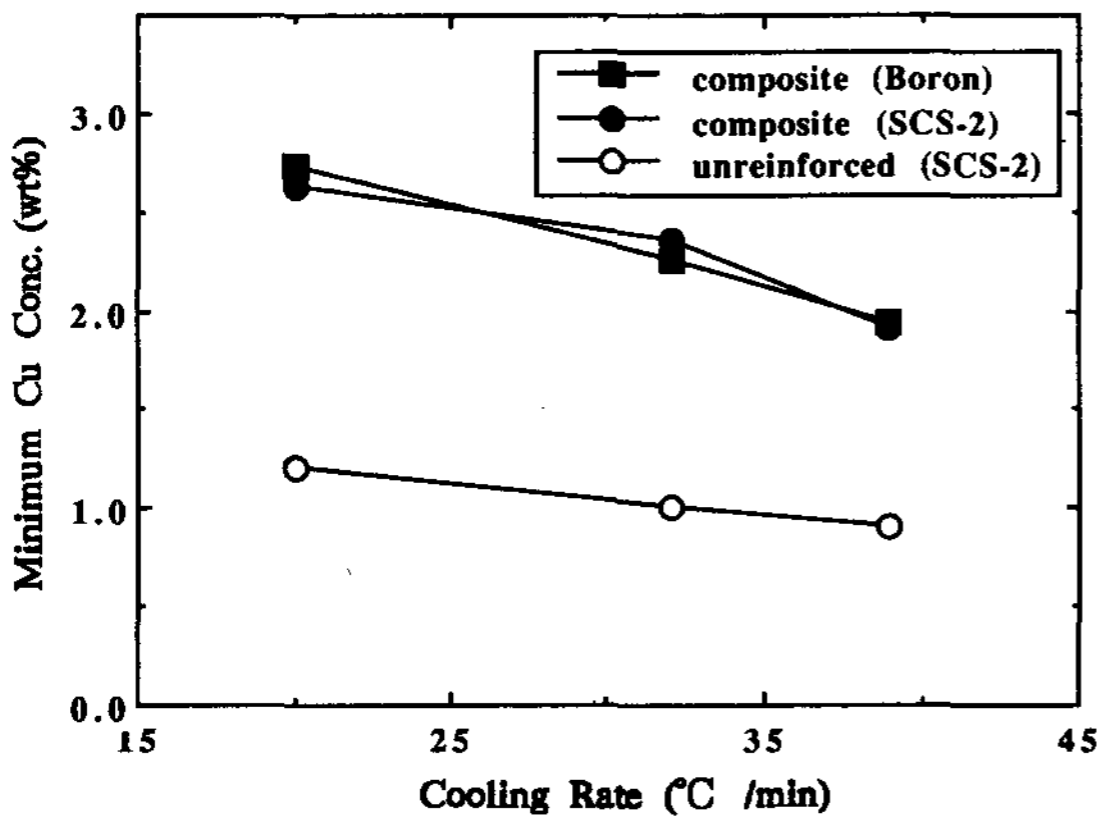


Fig. 10. The variation of the minimum Cu concentration with respect to cooling rate in the unreinforced and composite regions.

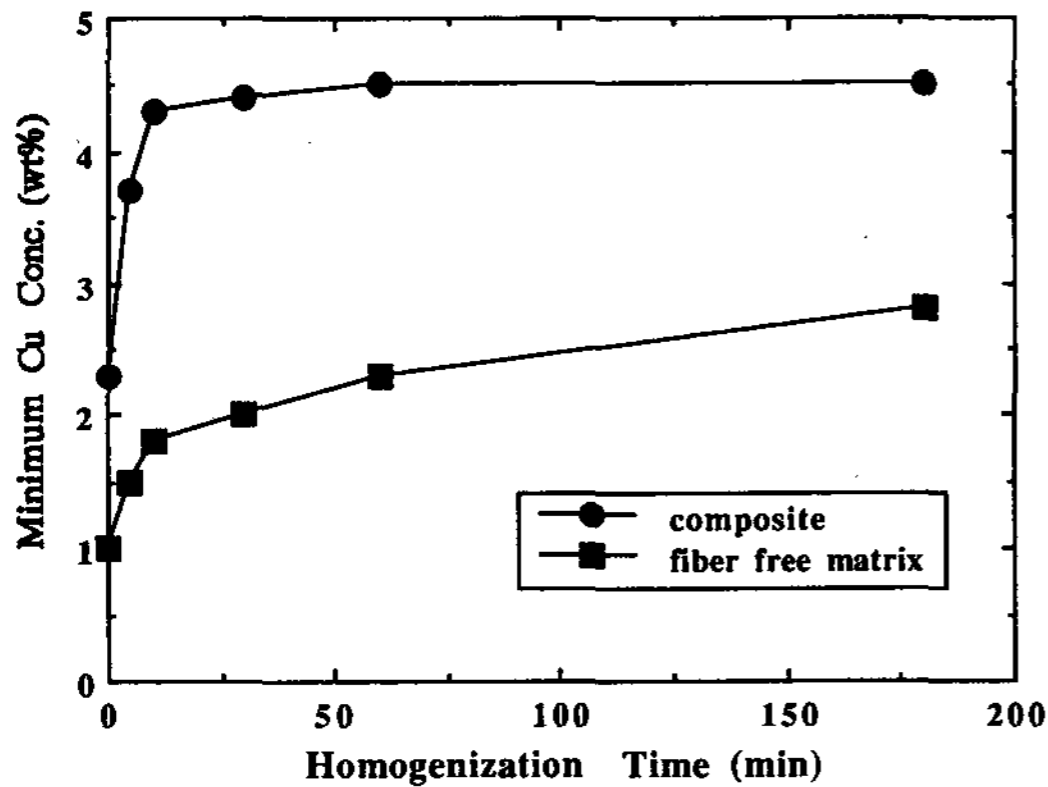


Fig. 11. Relation between microsegregation degree and homogenization time in SiC / Al-4.5wt%Cu composites.

로 생산된다고 보고하고 있고, Cornie 등(9, 10)은 pressure infiltration한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>섬유강화 Al-4.5wt%Cu합금 기지 복합재료를 액상선 온도 이상인 650°C에서 재용해하여 재응고시킨 경우 보강섬유 사이의 기지 내에서 핵생성하여 최소 Cu 용질 농도를 나타내고, 섬유계면에서 최종응고부인 비평형공정조직이 형성되고 섬유복합화영역과 비복합화 영역에서의 결정립크기는 크게 변하지 않아 보강섬유가 핵생성 site로 작용하지 않는다고 보고하고 있다. 그러나 이들 결과는 보강섬유와 기지의 온도차가 존재하지 않는 경우 혹은

보강섬유의 예열온도가 높은 경우의 결과로서 본 실험에서 재용해시의 결과와 비슷한 결과로 사료된다.

한편 Fukunaga 등(12)은 550°C로 예열한 SiC 섬유에 700°C의 Al-4.5wt%Cu금속용탕과 squeeze casting방법으로 복합화할 때 가압력에 의해 보강섬유 주변에 비평형 공정조직이 불균일하게 형성된다고 보고하고 있고, A. Abe 등(13)은 squeeze casting한 TiC섬유강화 Al-4.5wt%Cu 기지 복합재료에서는 TiC섬유에서 먼저 불균일핵 생성된다고 보고하고 있다.

본 연구에서는 섬유와 기지의 화학반응에 의한 계면반응 생성물(Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>)의 존재는 확인할 수 없었으며 이는 squeeze casting시 액상 Al과 SiC 섬유의 공존시간이 짧아 계면반응 생성물은 형성되지 않은 것으로 생각되며 squeeze casting시 섬유계면에 일부 형성되는 비평형공정조직은 섬유계면에서 핵생성한 것이라기 보다는 squeeze casting시의 온도강하와 정수압 가압에 의한 급속한 응고수축을 보충해주기 위해 섬유계면에서 핵생성한 초정 α상의 상대적 유동이 일어나면서 최종 응고부의 액상이 섬유와 α상의 사이에 침투하여 계면부근에서 형성된 것으로 사료된다. 이러한 섬유주위에서의 불균일하게 형성된 비평형공정조직은 Fukunaga 등(13)의 보고와 유사한 결과로 사료된다.

재용해한 경우에는 섬유복합화 영역과 비복합화 영역에서의 DAS는 별차이를 나타내지 않는데, 이는 보강섬유와 기지 사이의 온도차가 없기 때문에 낮은 열적 확산성과 큰 열용량을 가지는 보강섬유에서의 불균일핵생성 보다는 보강섬유와 섬유사이의 기지 내에서 먼저 핵생성하여 dendrite 성장이 보강섬유에 의해 구속되면서 확산거리의 감소에 따른 조대화, 표면장력 및 용질이동 효과에 따른 더 작은 2차 dendrite arm의 용해에 의한 조대화에 기인한 것으로 사료된다.

이상과 같이 실제 squeeze casting 제조공정에서처럼 보강섬유와 금속용탕사이의 온도차가 큰 경우에는 차거운 보강섬유가 불균일 핵생성장으로 작용하나, squeeze casting후 재용해한 경우처럼 온도차가 존재하지 않을 경우에는 보강섬유가 불균일 핵생성 장소로 작용하지 않는 것으로 사료된다.



#### 4.2 냉각속도 및 보강섬유 변화에 따른 편석거동

응고시 고상과 액상의 확산속도차에 따른 용질 원소의 최대편석정도는 고상확산을 무시하고 액상의 완전교반의 경우에 Scheil식에 의해 예측될 수 있고 최저편석은 평형응고에 가까울때 일어난다. (16) 또한 어느정도의 고상확산이 고려된다면 다음식으로 편석이 예측될 수 있다.

$$C_s = kC_0 \left[ 1 - \frac{f_s}{1 + (D_s \cdot 4t_f / d^2)} \right]^{k-1}$$

여기서 분모항의 임계변수  $\alpha = 4tf/d^2$ 을 고려하면 응고시간(tf)이 일정하다고 하면 DAS(d)가 감소할수록  $\alpha$ 은 증가하고 미세편석 정도는 감소할 것이다. 본 연구에서는 squeeze cast한 시편의 경우 응고시간이 일정한 동일 시편에서, 섬유 복합화 영역이 비복합화영역보다 용질의 미세편석이 적은 것으로 측정되었는데, 이는 복합화 영역에서의 DAS가 작고 섬유간격에 의해 결정되는 확산거리의 감소에 따른 고상확산의 증가에 의한 영향으로 추정된다. 특히 편석거동을 측정할 장소가 비교적 작은 섬유interstice에서 행하여져 고상에서의 확산이 크게 측정치에 반영되었을 것으로 생각된다.

가압 15초후에서부터의 냉각속도를 변화시킨 경우, 즉 응고말기나 응고완료후의 냉각속도를 변화시킨 경우, 냉각속도의 감소에 따라 미세편석이 감소하였는데 이는 고상에서의 용질의 역확산(back diffusion)이 일어날수 있는 고상확산 시간의 증가에 따른 영향이라 사료된다.

IFS(Interfiber spacing)가 각각  $31\mu\text{m}$ ,  $33\mu\text{m}$ 인 Boron, SCS-2섬유보다는 IFS가  $5.6\mu\text{m}$ 인 Nicalon섬유의 경우가 미세편석 정도가 감소하였다. 이는 Table. 1에서와 같이 보강섬유 사이의 열적 성질은 비슷하나 보강섬유의 직경이 감소함에 따라 IFS가 감소하므로 보강섬유의 기하학적 배열이 확산거리를 제한하기 때문에 확산거리 감소에 따른 역확산의 영향을 더 크게 받기 때문이라 사료된다.

또한 A1-10wt%Mg기지의 경우가 A1-4.5wt%Cu기지보다 용질편석경향이 적었는데 이는 A1-10wt%Mg의 분배계수(k)가 0.5로 k가 0.2인 A1-4.5wt%Cu보다 크고, A1중의 확산계수(Ds)가 Mg이 Cu보다 크기 때문으로 사료된다.

#### 5. 결 론

Boron 및 SiC장섬유강화 A1-4.5wt%Cu, A1-10wt%Mg 합금기지 금속복합재료를 squeeze casting 방법으로 제조하여, 응고조직 및 용질의 편석거동등을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 보강섬유와 금속용탕과의 온도차가 큰 squeeze casting시는 섬유복합화영역의 DAS가 섬유비복합화영역에 비해 현저하게 감소하며, 섬유계면에서 최소 Cu용질농도층이 불균일하게 분포하는 응고조직을 보여 찬 보강섬유가 불균일 핵 생성장소로 작용하는 것으로 사료된다.
2. Squeeze casting후 재용해하여 서냉응고한 경우에는 섬유복합화에 따른 DAS의 차가 적고 섬유계면에서 최종응고부인 Cu용질 농축층이 균일하게 분포하여, 이 경우에는 섬유가 불균일 핵 생성장소로 작용하지 않는 것으로 사료되었다.
3. As-squeeze cast한 시편의 경우, 섬유복합화, 냉각속도의 감소 및 보강섬유직경의 감소에 따라 미세편석은 감소하였고, A1-4.5wt%Cu기 지보다 A1-10wt%Mg기지의 경우가 편석경향이 작았다.

#### 참 고 문 헌

1. A. Kelly, Proceedings of the International Symposium on the Advances in Cast Reinforced Metal Composites, Chicago, 1988, ASM/TMS, 1
2. P. Rohati, Modern Casting, 4(1988), 47
3. T. Suganuma and A. Tanaka, Tetsu-to-Hagane, 75(1989), 1790
4. 이상관, 김진, 전의진, 대한금속학회보, 3(1990)2, 130
5. 박익민, 신광선, 윤의박, 한국주조공학회지, 8(1988), 412
6. 박익민. 제1회 응고기술 심포지움, 서울, 1990, 106
7. H. Fugunaga, Proceedings of the International Symposium on the Advances in Cast Reinforced Metal Composites, Chicago, 1988, AMS/TMS, 101.
8. A. Mizuta, T. Nakamura and K. Sakai, Tetsu-to-Hagane, 75(1989), 1783



- 9. M. N. Gungor, J. A. Cornie and M. C. Flemings, Proceedings of the Symposium on Interface in Meal Matrix Composites, TMS-AIME, New Orleans, 1986,121.
- 10. J. A. Cornie, A. Mortensen, M. N. Gungor and M. C. Flemings, Proceedings of the 5th International Conference on Composite Material, SanDiego, 1985, 809.
- 11. C. G. Levi, G. J. Abbaschian and R. Mehrabian, Met. Trans. 9A(1978)697.
- 12. H. Fukunaga and K. Goda, Bulletin of the Japanese Society of Mechanical Engineering, 1985, 1.
- 13. A. Abe, M. Nakatani, Y. Yamatsuta and S. Horikiri, Proc. of ECCM-1, Bordeaux, France(1985), 604
- 14. T. W. Clyne and J. F. Mason, Metall. Trans. 18A(1987)1519
- 15. M. N. Gungor, J. A. Cornie and M. C. Flemings, Proceedings of the Internatinal Symposium on the Advances in Cast Reinforced Metal Composites, Chicago, 1988, ASM /TMS, 39.
- 16. Kurz and Fisher, Fundamentals of Solidification, 3rd Ed., (1989) Trans. Tech. Pub.

**International Conference on Modeling of Casting  
and  
Solidification Processes 1991**

*October 18-20, 1991  
Yonsei University, Seoul, KOREA*

**TOPICS**

- \* Modeling of casting(ingot, shape casting, die casting, continuous casting)
- \* Modeling of solidification processes (strip casting, rapid solidification, crystal growth, directional solidification)
- \* Thermomechanical analysis in solidification
- \* Future directions and needs

**ORGANIZING COMMITTEE**

C. P. Hong(Conference Director),  
Yonsei University, Seoul, Korea.  
E. Niyama, Tohoku University, Sendai,  
Japan  
W. S. Hwang, National Cheng Kung  
University, Tainan, Taiwan, R O. C.

**DATE AND LOCATION**

October 18-20, 1991. Guest House,  
Conference Hall, Yonsei University

**LANGUAGE**

The official language is ENGLISH and no simultaneous interpretation will be provided.

**REGISTRATION FEE**

	FEE
Participant	\$ 300
Full time student	\$ 100
* Those registered are entitled to participate in all conference activities including conference proceeding and meals.	

**CONTACT ADDRESS**

Prof. Chun-Pyo Hong.  
Dept. of Metallurgical Engineering,  
College of Engineering, YONESEI University  
134, Shinchon-dong, Seodaemun-ku,  
Seoul, 120-749, Korea  
TEL : (02) 392-0131 ext, 2351  
FAX : (02) 312-7735