

論 文

탄소섬유 강화 Cu 기지 금속 복합재료의 Squeeze Cast 조직 및 내마멸특성

김 남 수, 지 동 철, 조 경 목, 박 익 민

Microstructure and Wear Properties of Squeeze Cast Carbon Fiber/Copper Alloy Metal Matrix Composite

Nam-Soo Kim, Dong-Chul Chi, Kyung-Mok Cho, Ik-Min park

Abstract

A carbon fiber(CF) reinforced Cu-10%Sn alloy matrix composite was successfully fabricated by squeeze casting method employing preheated graphite mold and proper process controlling factors. The matrix solidification microstructure of the Cu-10% Sn /CF composite reveals α -dendrite and $\alpha+\delta$ eutectoid. To compare the squeeze cast Cu-10%Sn /CF composite with PM route fabricated Cu-graphite composites for electric contact material, mechanical wear and electrical arc wear tests were performed. Mechanical wear rate of the Cu-10%Sn /CF is much lower than that of the Cu-graphite composite. Weight loss with a variation of contact number in electrical arc wear tests shows a similar trend between the squeeze cast Cu-10%Sn /CF and PM Cu-graphite composites.

1. 서 론

Cu와 Ag의 높은 전기전도성, 열전도성과 탄소 섬유(carbon fiber : 이하 CF라 칭함)의 낮은 열팽창특성을 함께 가지는 CF 강화 Cu 및 Ag 기지 복합재료의 개발은 반도체 소자 및 개폐기류의 전극용 신소재로서 적용이 유망시 되고 있으며 [1-3], NASA 등에서는 전기적, 기계적 특성이 우수한 CF강화 금속기지 복합재료를 기존 전력용 금속 전도체재료와 대체하여 송전용선재로서 이용하려는 연구 등도 행해지고 있다. 이와 같이 미국, 일본 등지에서는 전자기재료 관련 금속기 복합재료의 연구가 활발하여 이미 일부 실용화가 이루어지고 있는 단계이나 국내에서는 기초연구조차도 미흡한 실정이다.

전기접점용 재료로서 현재 사용중인 graphite 입자 강화 Cu기지 금속복합재료의 제조는 분말야

금법(PM)을 이용하고 있다. 그러나 PM법에 의한 복합재료의 제조는 sintering, HIPing 등의 다단계 공정을 거치므로서 생산성이 낮고 경제성이 떨어지는 등의 불리한 점이 있다. 1980년대 이후 PM법에 비하여 간단하고 신속한 제조공정을 이용한 값싼 복합재료 개발의 필요성이 대두하게 되었고, 이에 부응할 수 있는 squeeze casting 방법 등의 주조법에 의한 복합재료의 생산기술이 최근 본격적으로 개발적용되고 있다[4-8]. Squeeze casting법에 의한 복합재료의 제조는 near net shape의 제품을 대량생산할 수 있기 때문에 생산성과 경제성을 측면에서 많은 잇점이 있다고 하겠다.

본 연구에서는 squeeze casting방법에 의한 CF 강화 Cu합금 기지금속 복합재료(Cu-10% Sn /CF)의 제조를 시도하면서 미세조직 관찰을 통한 응고거동을 조사하였다. 또한 제조된 Cu-

10%Sn /CF 복합재료는 기계적, 전기적 arc 마멸 특성을 측정하여 분말야금법으로 제조된 Cu-graphite 전기접점용 복합재료와 비교 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 복합재료의 구성성분

본 연구에서 사용한 보강섬유는 CYCOM사에서 제조된 고강도, 고전도성 Ni-coated graphite(NCG) fiber이다. 이 섬유는 직경 $7.6\mu\text{m}$ 의 탄소섬유 표면에 99% 고순도 Nickel이 전해도금된 것으로, 일반 상용 graphite fiber보다 전기전도성이 50배 정도 향상되어진 탄소섬유이다. 기지재료는 고주파 유도로에서 용해한 Cu-10% Sn 모합금을 사용하였다.

2.2 복합재료의 제조

Squeeze casting장치는 최대 100MPa의 유압식 프레스, 최고 용해가능 온도 1300°C 의 전기로, graphite mold, 하부금형, Punch, 그리고 용탕 주입관으로 구성된 것을 사용하였다[4]. 본 연구에서는 고속도강의 금형대신 높은 온도로 예열이 가능한 graphite mold를 제작하여 사용하였다. 이는 Cu기지 금속 복합재료의 제조의 경우 용점이 Al기지 금속복합재료보다 높아, 고속도강의 금형으로는 용탕과 금형의 온도차가 너무 커서 액상용탕을 주입한 후에 충분한 가압력이 작용하기 이전에 응고가 상당히 진행되어 기지금속과 강화재의 복합화가 용이하게 이루어지지 않았기 때문이다. 사용한 graphite주형은 제조된 복합재료를 쉽게 eject할 수 있도록 분리형으로 제작되었으며 하단부는 압력을 견딜 수 있게 하기 위하여 고속도강으로 지지되게 설계하였다.

Cu-10%Sn /CF 복합재료는 예비성형체의 다발을 300°C 로 예열하여 예열된 graphite주형 내에 삽입한 후 1150°C 의 용탕을 주입하고 Punch로 가압하여 제조하였다. 열방출 손실을 최소화하기 위한 graphite주형의 예열온도는 약 1000°C 를 택하였고, 하부금형 예열온도는 400°C 였다. Punch의 이동속도는 $10\text{mm}/\text{sec}$ 로 하였고 가압력 85MPa, 가압지연시간 7초, 가압유지 시간 1분의 조건으로 행하였다.

2.3 복합재료의 응고조직 관찰

미세조직 관찰은 제조된 시편을 저속 diamond wheel cutter로 절단하여 연마한 후 potassium dichromate 혼합용액(80ml H_2O , 5ml H_2SO_4 , 10g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)으로 etching한 다음 광학현미경 및 SEM으로 관찰하였다. 또한 기지금속에 함유된 Sn의 편석 거동, 기지금속과 보강섬유 계면반응 여부 및 Ni 도금층의 변화는 EDS(Energy Dispersive Spectrometer)를 이용하여 분석을 행하였다.

2.4 기계적 마멸특성 평가

Squeeze casting 방법으로 제조한 Cu-10% Sn /CF 복합재료의 기계적특성을 평가하기 위하여 PM방법으로 제조된 전기접점용재료인 2종류의 Cu-graphite 입자강화 금속복합재료(PM1, PM2)와 함께 경도측정과 내마멸 시험을 행하여

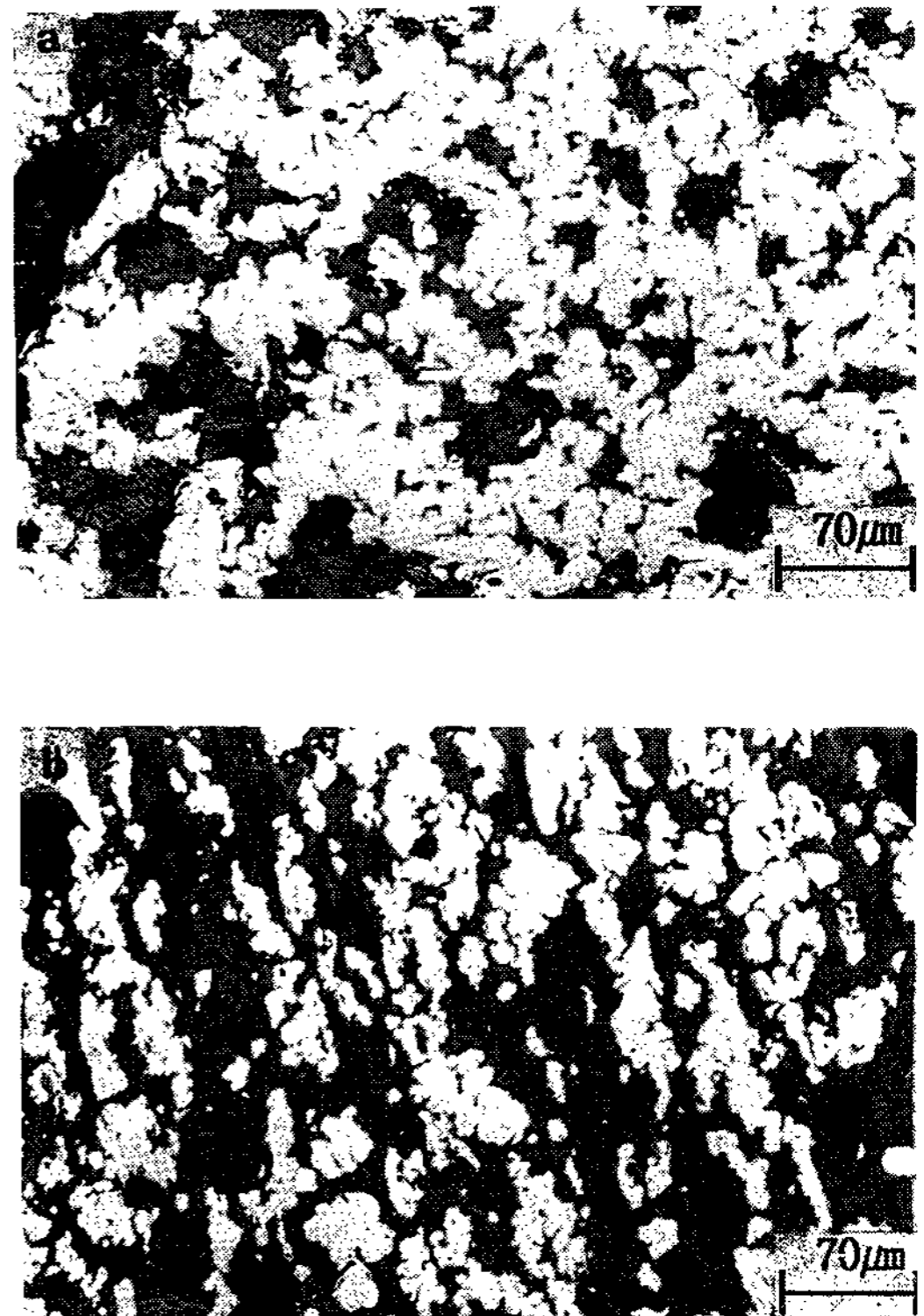


Fig. 1. Optical micrographs of PM Cu-graphite composites
(a) Cu-30% graphite(PM1),
(b) Cu-50% graphite(PM2)

이들 특성치를 비교하였다. PM1, PM2 Cu-graphite 입자 복합재료는 graphite 입자의 체적 분율이 각각 30%, 50%이며 이들의 미세조직은 Fig.1에 나타내었다. 미세 경도 측정은 Vickers 경도기를 사용하여 하중 200g, 부하시간 20sec의 조건에서 실시하였다.

내마멸시험은 TE53 Multi-Purpose Friction and Wear Tester을 이용하여 block on roller total sliding type의 건식실험을 행하였다. 마멸실험에 사용된 시편은 한 변이 12.7mm인 정육면체로 시편을 가공하여 사용하였으며 상대시편은 AISI-01고속도강을 사용하였다. 시험조건은 하중을 3kg, 마멸거리 1km로 일정하게 유지하고 sliding speed를 변화시키면서 마멸량과 마찰력(friction force)를 측정하였다. 마멸면 및 마멸 debris는 SEM 관찰 및 EDS분석으로 내마멸성을 평가하였다.

2.5 전기적 arc 마멸특성 평가

전기적 arc 마멸특성은 시험시편을 접촉시킴으로 발생하는 DC arc에 의한 마멸성을 평가하였다. 시험 전격전원은 DC 20V, 전류 8A로 일정하게 정하였고 접촉은 1회/sec를 기준으로 하여 요구 횟수만큼 반복 실시하였다. 점점으로 사용된 시편의 형태는 높이 7mm, 직경 7mm로 가공된 Cu의 상부에 직경 6mm, 두께 2mm의 Cu-10% Sn/CF 복합재료 시편을 brazing하여 준비하였다. 내 Arc 마멸시험 시 점점간의 총 접촉횟수는 50000회를 기준으로 매 10000회마다 마멸량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세 응고조직 관찰

Fig. 2에는 고주파 유도로에서 용해한 후 금형에서 응고시킨 Cu-10%Sn 기지용 모합금의 응고조직을 나타낸다. 응고조직은 전형적인 dendrite 조직으로 2차 DAS(dendrite arm spacing)은 10 μ m로 측정되었다. 응고조직의 밝은 부분이 α -dendrite이며 Sn이 편석 농축되어 응고말기에 형성된 $\alpha+\delta$ 의 공석조직이 α -dendrite 사이에 존재함을 알 수 있다. Cu-10%Sn 합금은 mushy zone이 약 170 $^{\circ}$ C로 대단히 넓어 응고중 Sn의 편석에 따른 비평형응고조직이 예상된다. Cu-10% Sn 합금의 응고과정은 응고초기에 초정 α -den-

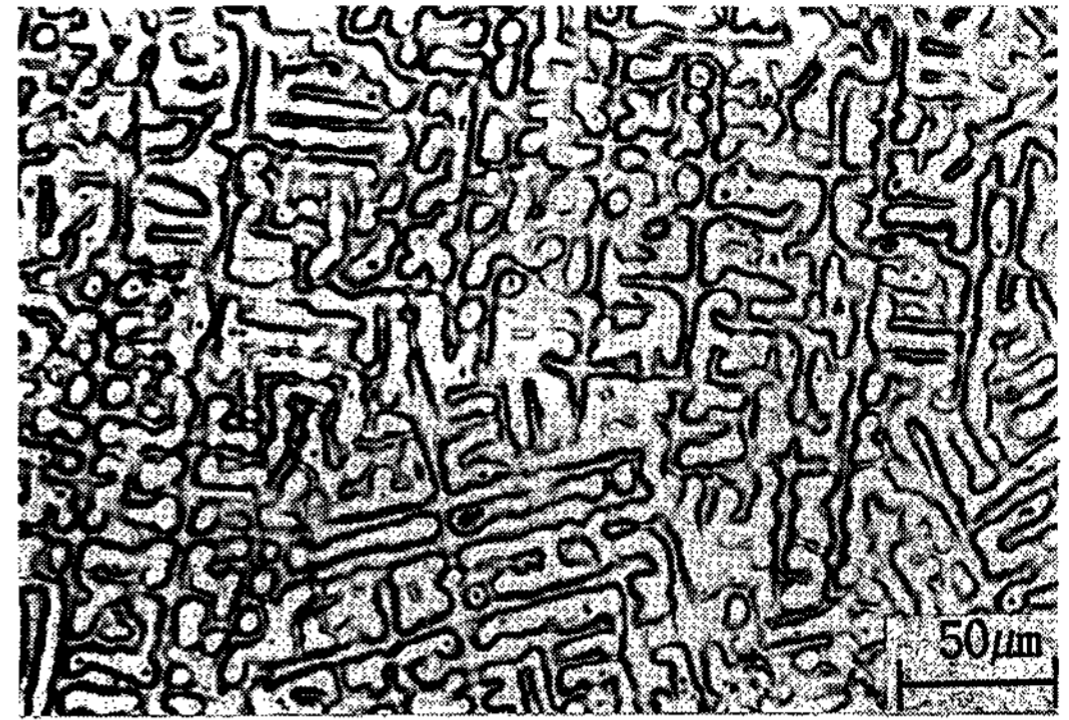


Fig. 2. Microstructure of Cu-10%Sn master alloy solidified in a steel mold showing a typical dendritic solidification morphology.



Fig. 3. Microstructure of the unreinforced region(Cu-10%Sn) after squeeze casting in the preheated graphite mold.

drite가 생성되고 Sn의 잔류액상에서의 농축에 의한 비평형응고 반응으로 인하여 10%이상의 Sn을 함유한 후기액상은 약 798 $^{\circ}$ C에서 포정반응에 의하여 β 상이 정출하게 된다. 온도하강과 함께 고상변태가 진행될 것이며 약 586 $^{\circ}$ C에서 공석반응으로 β 상이 $\alpha+\gamma$ 상으로 변태를 일으키고, 다시 520 $^{\circ}$ C 부근에서 또 다른 공석반응인 γ 상이 $\alpha+\delta$ 상으로의 변태가 일어난다. Cu-Sn 상태도상에 존재하는 최종 공석반응인 $\delta \rightarrow \alpha+\epsilon$ 변태는 변태속도가 매우 느리므로 ϵ 상은 형성되지 않은 것으로 사료된다[9].

Fig. 3에는 상기의 Cu-10%Sn 모합금과 CF 예

비성형체로서 squeeze casting 방법으로 복합재료를 제조한 후 복합화가 이루어지지 않은 기지조직부분의 조직을 나타낸다. 미세조직은 모합금의 경우와 비슷한 α -dendrite와 $\alpha+\delta$ 공석조직으로 이루어져 있으나, 보다 조대한 조직을 보이고 있다. 즉 모합금의 DAS가 약 $10\mu\text{m}$ 인데 비하여 squeeze casting한 기지의 DAS는 $15\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 일반적으로 DAS는 냉각속도의 증가와 가압효과로서 미세화된다[10]. 본 실험에서는 성공적인 squeeze infiltration을 위하여 1000°C 로 예열된 graphite 주형을 제작하여 사용하였기 때문에 squeeze casting시의 가압의 효과에 의한 응고조직의 미세화보다는 냉각속도가 금형에 비하여 훨씬 저하됨으로써 금형에서 주조한 모합금에 비하여 조대한 조직이 생성된 것으로 사료된다.

Fig. 4는 CF 강화 Cu-10%Sn 기지 복합재료의 섬유복합화 영역과 비복합화 영역의 경계부분의 응고조직을 나타낸 것이다. squeeze casting한 시편에서는 기지조직이 복합화 영역에서 비복합화 영역에 비하여 매우 미세화되었음을 알 수 있다. 그림 4 (a)와 (b)에서 각각 나타난 기지조직의 grain size는 비복합화 영역에서 약 $100\mu\text{m}$ 이며, 복합화 영역에서는 CF 간격에 상당하는 약 $7\sim 8\mu\text{m}$ 임을 관찰할 수 있다. 에칭조건을 달리하여 DAS를 측정된 결과, 비복합화 영역에서의 2차 DAS는 약 $15\mu\text{m}$ 인데 반하여, 복합화 영역에서는 DAS가 약 $7\mu\text{m}$ 로서 섬유복합화에 따라 DAS는 현저히 감소함을 알 수 있었다. 이와 같은 섬유 복합화에 따른 조직의 미세화는 용탕보다 훨씬 낮은 온도로 예열된 섬유(300°C)에서의 불균일 핵생성에 의한 조직의 미세화로 사료되며, 이는 저자등의 squeeze casting 방법으로 제조한 SiC/Al, B/Al 복합재료 등에서의 결과와도 일치한다[4].

Fig. 5에는 squeeze casting한 Cu-10%Sn/CF 복합재료의 복합화 영역에서 CF에 수직방향의 조직사진을 나타낸다. 본 연구에서 제조한

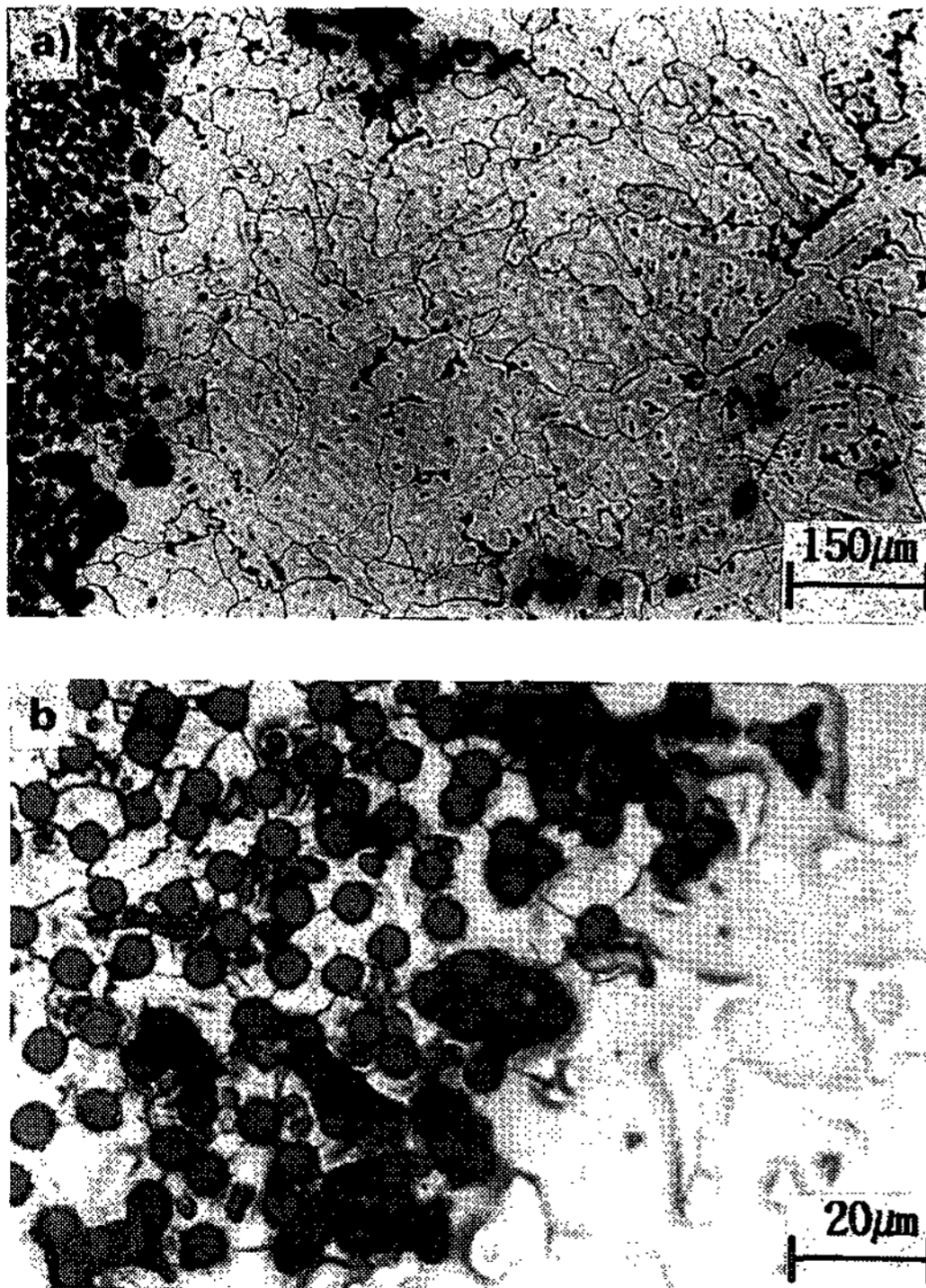
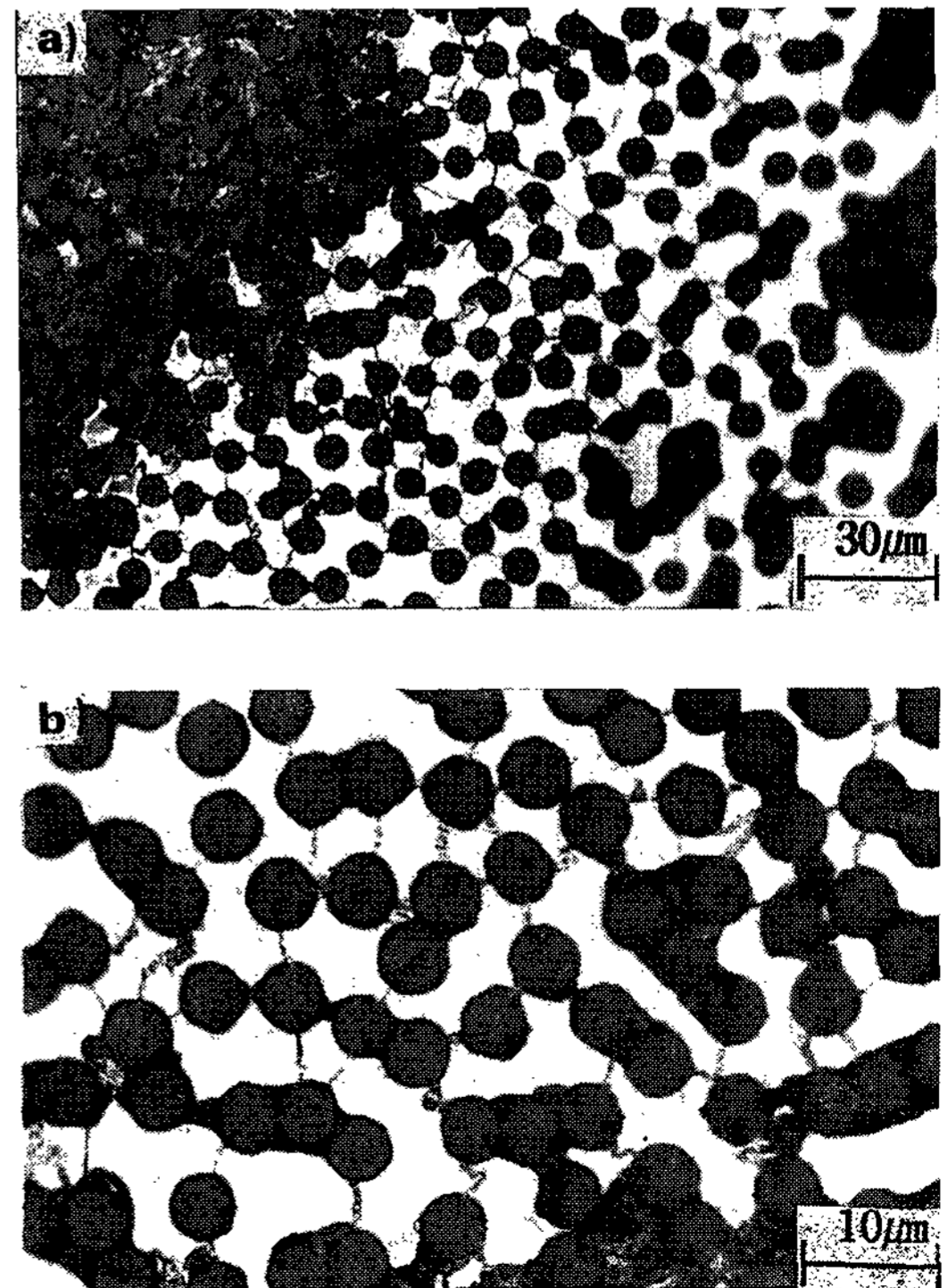


Fig. 4. Microstructure of the squeeze cast Cu-10%Sn/CF composite showing the boundary between reinforced and unreinforced regions, and grain sizes of (a) unreinforced and (b) reinforced regions.



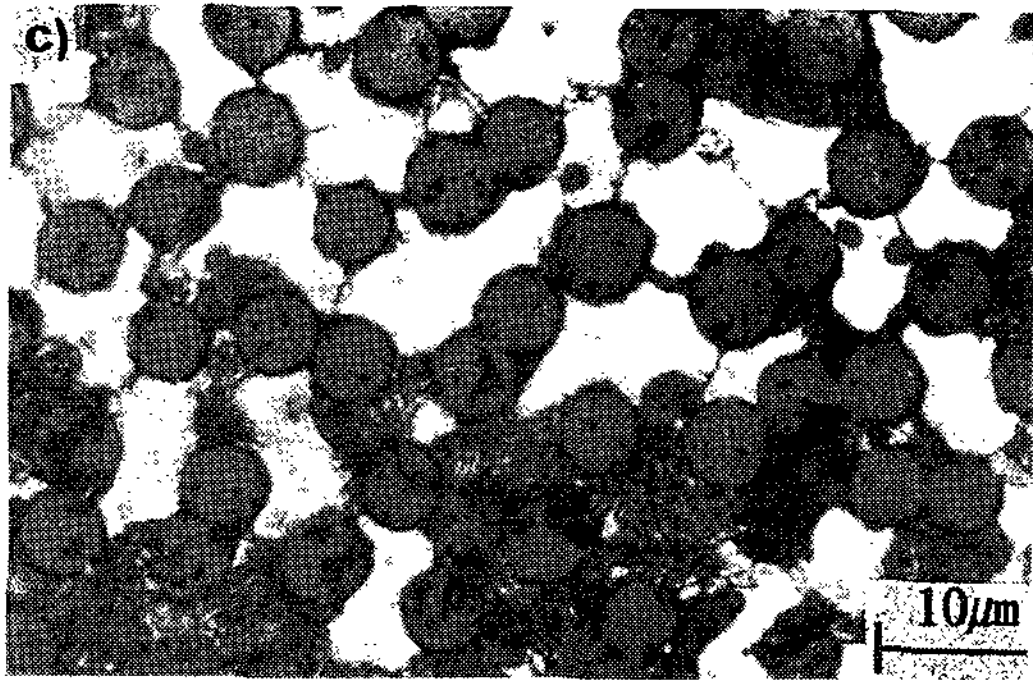
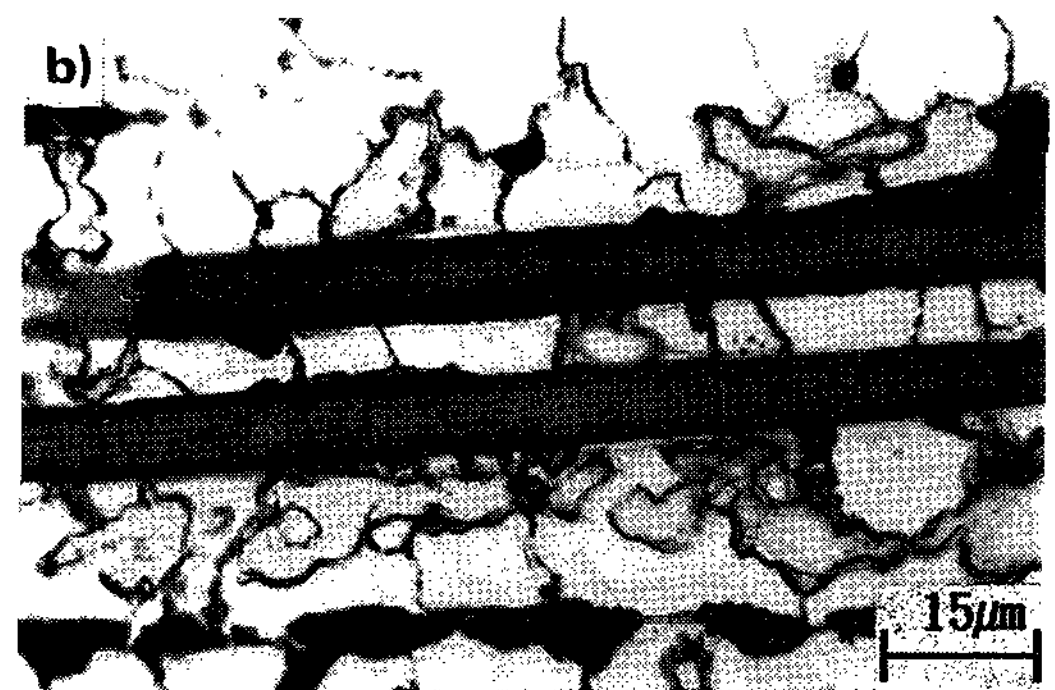


Fig. 5. Microstructure of the Cu-10%Sn/CF composite(transverse section to carbon fiber) showing (a) two characteristics of matrix : primary α (white) and $\alpha+\delta$ eutectoid(black). (b) and (c) are higher magnification of primary α and $\alpha+\delta$ eutectoid respectively.



Cu-10%Sn/CF 복합재료의 CF체적분율은 조직 분석결과 약 50vol%였다. 복합화 영역의 미세조직은 크게 초정 α 와 $\alpha+\delta$ 공석조직 두가지로 대별되었다(Fig. 5(a)). 복합화 영역 중에서도 squeeze infiltration이 먼저 일어나는 영역에서는 대부분이 초정 α 이고 약간의 Sn이 농축된 $\alpha+\delta$ 공석조직이 나타났고(Fig. 5(b)), 최종 squeeze infiltration 영역에서는 응고 후기의 농축된 Sn을 함유한 액상에서 형성된 것으로 사료되는 총상의 $\alpha+\delta$ 공석조직이 대부분을 점유하고 있는 것으로 관찰되었다(Fig. 5(c)). 이와 같은 미세조직은 그림 6의 CF의 길이방향의 조직사진에서도 유사하게 나타나고 있다. 복합화 영역의 기지조직상의 불균일은 넓은 mushy zone을 지나는 Cu-10%Sn합금의 비평형 응고거동이 squeeze infiltration되는 위치에 따라 달리 나타난 결과로 사료된다.

Fig. 6. Microstructure of the Cu-10%Sn/CF composite(longitudinal section to carbon fiber) showing (a) two characteristics of matrix : primary α (white) and $\alpha+\delta$ eutectoid(black). (b) and (c) are higher magnification of primary α and $\alpha+\delta$ eutectoid respectively.

복합화 영역의 조직은 좀더 자세히 관찰하기 위하여 SEM과 EDS를 이용하여 Cu-10%Sn/CF 복합재료의 미세조직을 분석하였다. Fig. 7(a)는 CF를 절단면 방향에서 관찰한 조직, Fig. 7(b)는 CF의 길이방향으로 관찰한 조직을 나타낸 SEM사진이다. Fig. 8에는 Fig. 7의 각 부분을 EDS로 정성분석결과를 나타낸다. Fig. 8(a)는 기지조직의 EDS 분석 결과로서, 기지조직에서도 Ni이 Cu에 고용되었음을 알 수 있다. 이러한 현

상은 squeeze casting시의 가압력에 의한 Ni도금층의 박리파손과 높은 용탕온도에 의한 Ni의 확산 고용에 따른 것으로 사료 된다.

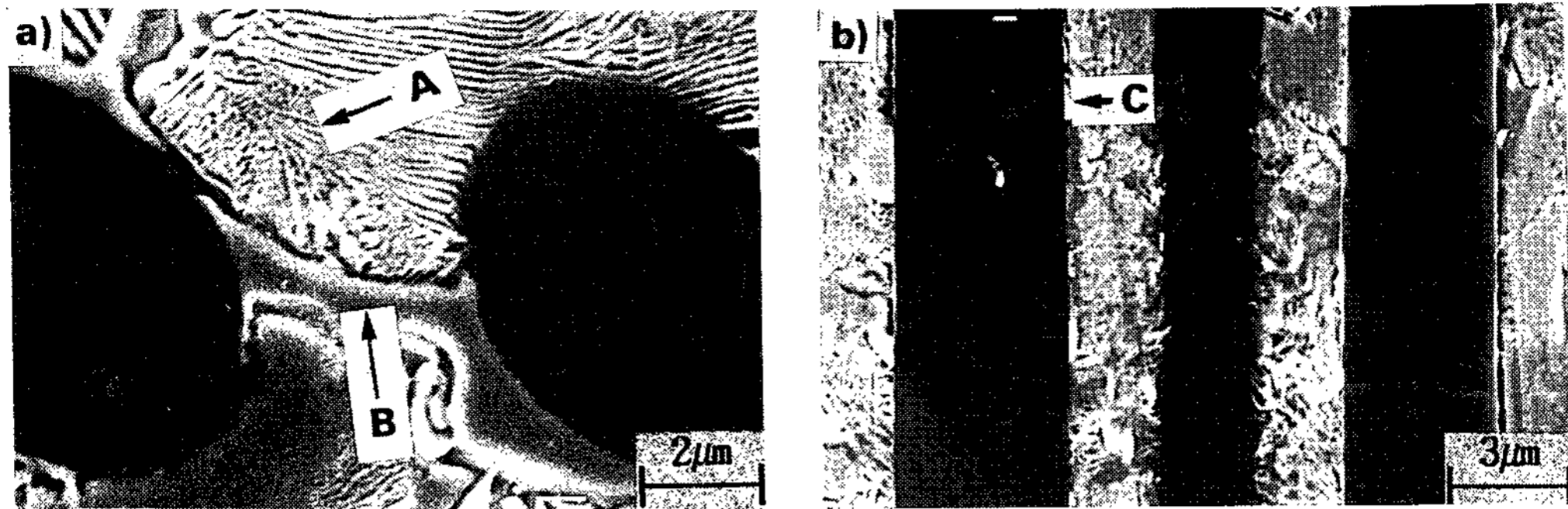


Fig. 7. Scanning electron micrographs of the squeeze cast Cu-10%Sn/CF composite
a) transverse and b) longitudinal section to carbon fiber length.

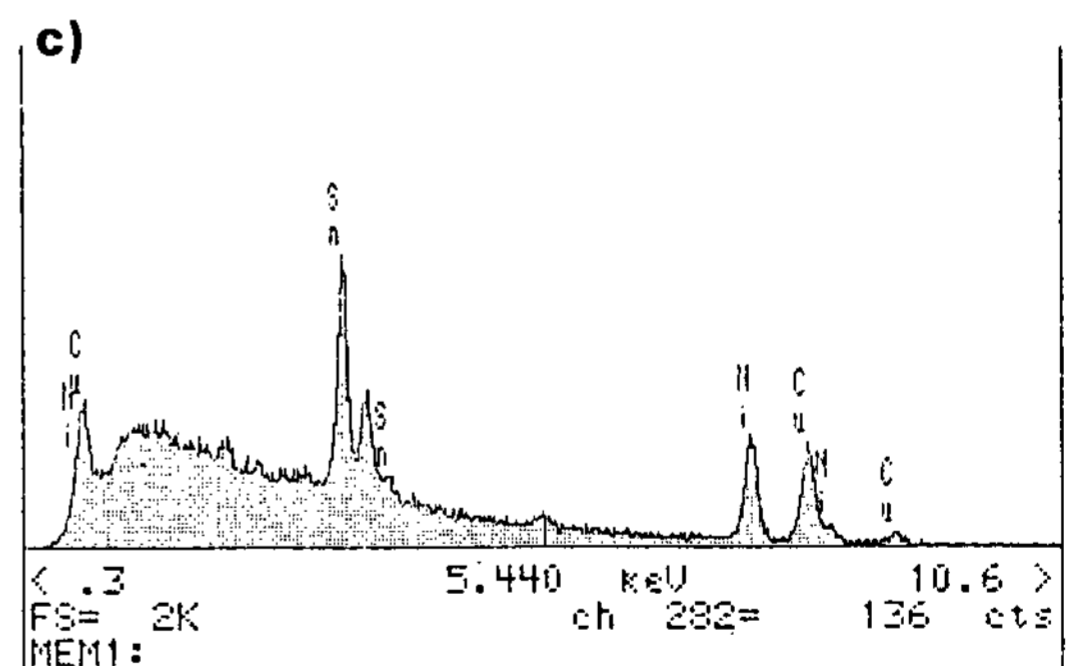
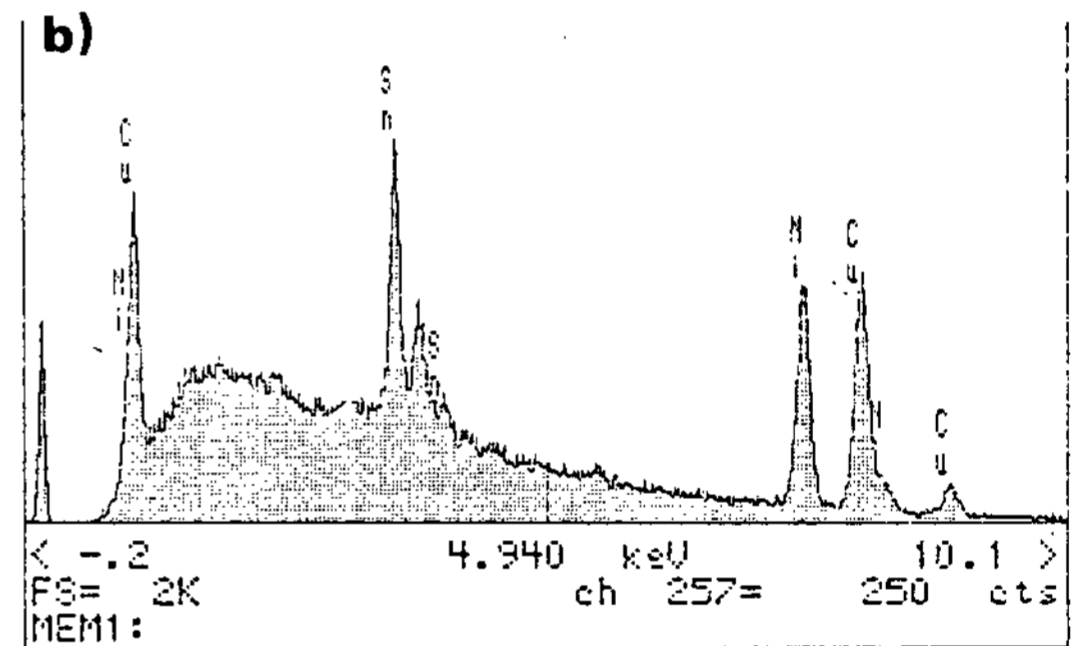
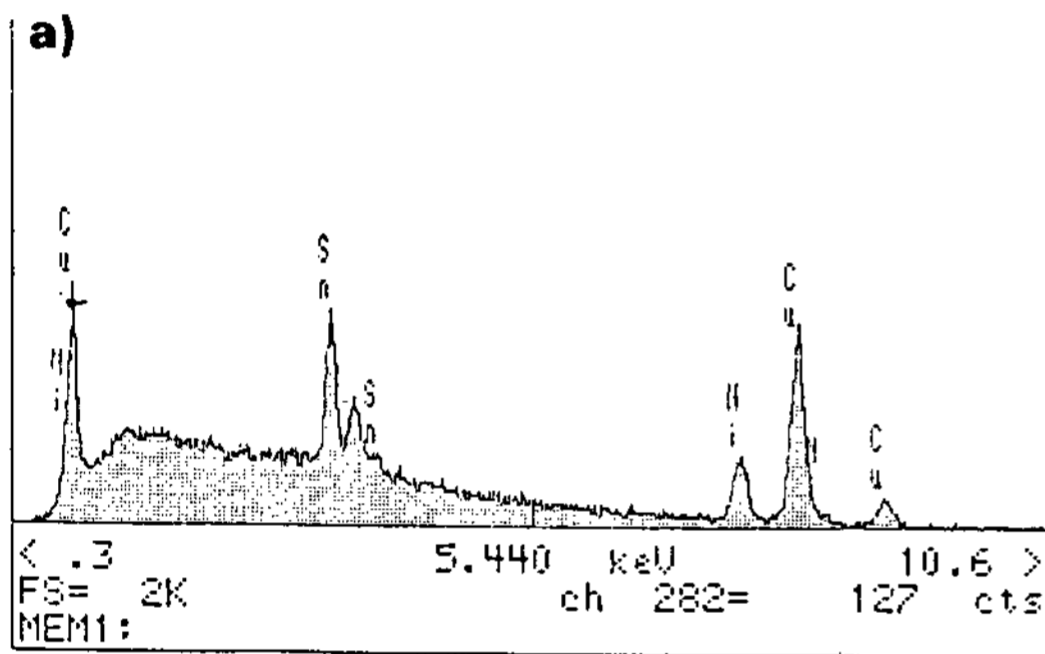


Fig 8(c)에서 Ni peak의 intensity가 상대적으로 높은 계면 부분은 CF의 손상을 방지하고 계면 젖음성을 향상시키기 위해 전해도금된 Ni피막층임을 알 수 있다.

Squeeze infiltration 초기 부분에서는 Ni피막의 손상이 거의 없는 것으로 관찰되었다. 그러나 후기 infiltration 부분에서는 Fig. 7(a)에서 CF 주위와 CF 사이를 연결하면서 생긴 조직의 EDS 분석결과인 Fig 8(b)에서 Ni peak가 나타나는 것으로 보아 Ni 도금층의 파손이 일어났음을 알 수 있고, 일부 Ni은 기지 중에 고용되었을 것으로 사료된다.

3.2 기계적 마멸시험

Squeeze casting으로 제조한 Cu-10%Sn/CF 복합재료 및 PM법으로 제조된 Cu-graphite 복합재료의 마멸시험의 결과인 마멸속도를 Fig. 9에 마찰계수를 Fig. 10에 나타내었다. 마멸시험은 마멸거리를 고정시키고 sliding speed를 변화시키면서 마멸량과 마찰계수를 측정하는 결과이다. Sli-

Fig. 8. EDX scans of the regions marked in Fig. 7:

- (A) $\alpha + \delta$ eutectoid matrix (a)
- (B) exfoliated Ni layer coated on carbon fiber (b)
- (C) carbon fiber and matrix interface (c)

ding speed의 변화에 따른 마멸량의 변화는 PM으로 제조된 PM1과 PM2에서 graphite 체적분율이 적은 PM1의 경우 약간 마멸량이 많았으나

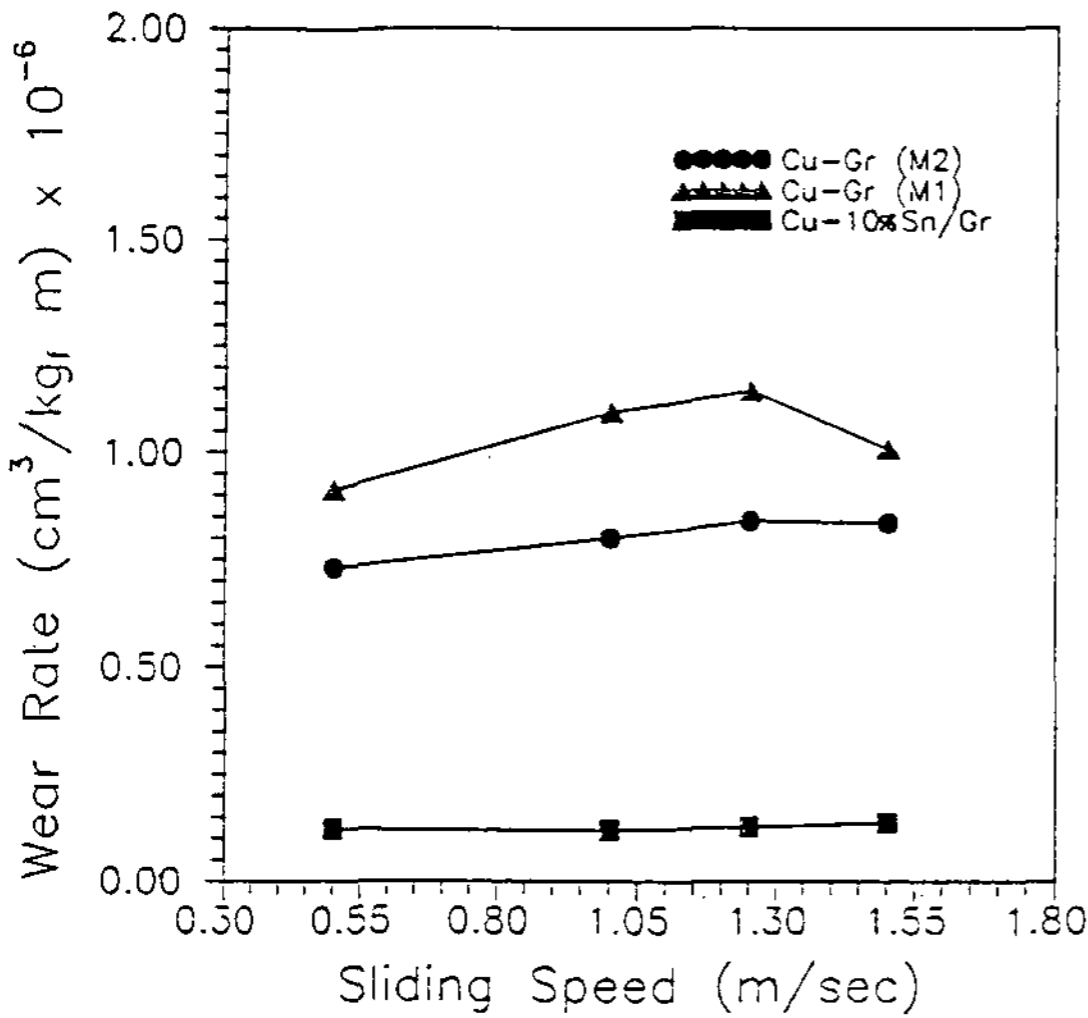


Fig. 9. Wear rate vs. sliding speed.

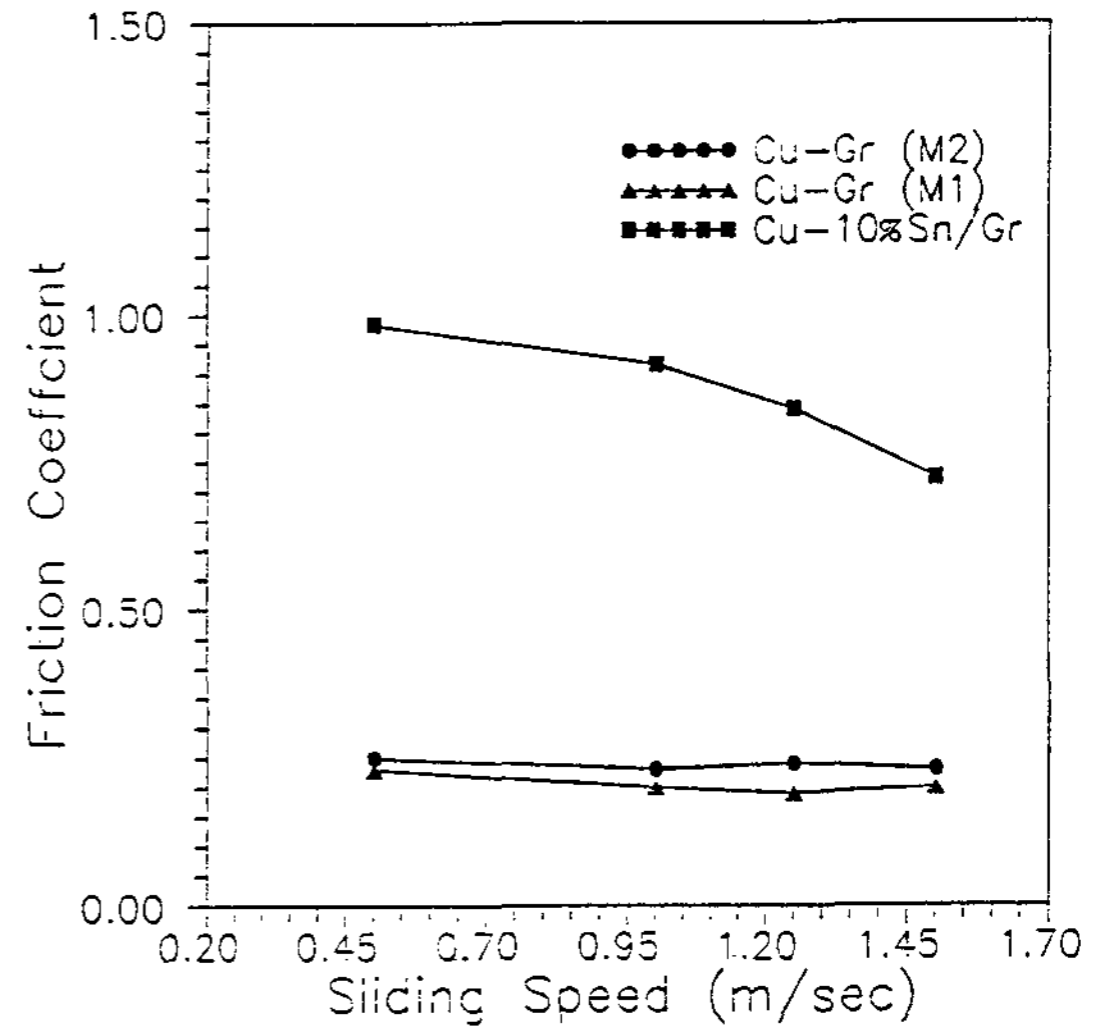


Fig. 10. Friction coefficient vs. sliding speed.

큰 차이는 보이지 않았으며 squeeze casting으로 제조한 Cu-10%Sn/CF의 경우 PM법으로 제조한 복합재료에 비하여 상당히 적은 마멸량을 나타내어 전반적으로 Cu-10%Sn/CF가 PM1, PM2에 비하여 기계적 마멸특성이 상당히 우수하게 나타났다. Sliding speed에 따른 마멸량의 변화는 거의 없음을 알 수 있다. 마찰계수의 변화는 Cu-10%Sn/CF가 sliding speed의 증가와 함께 다소 감소하는 경향이 나타났으나 PM1, PM2에 비하여 상당히 높았다. 즉 마찰계수가 큰 Cu-10%Sn/CF는 기계적 마멸에 대한 내구성이 PM법으로 제조된 전기접점재인 PM1, PM2에 비하여 상당히 우수한 것으로 나타났다.

Squeeze casting한 Cu-10%Sn/CF 복합재료와 PM제조 전기접점용 Cu-graphite 복합재료의 경도치를 비교해 본 결과 본 연구에서 제조한 Cu-10%Sn/CF 복합재료(Hv=130)가 PM1(Hv=55) 및 PM2(Hv=60)에 비해 월등히 높은 경도치를 나타내었다. 이 결과는 Cu-10%Sn/CF의 경우 기지금속이 Sn에 의해 강화된 Cu합금 조직이며 CF섬유자체도 경하여 복합재료의 경도 상승을 가져오는 반면, 순수 Cu기지에 graphite 분말을 혼합한 PM1, PM2 복합재의 경우 기지금속 자체도 Cu-10%Sn합금에 비해 경도가 낮을 뿐만 아니라 graphite 분말 또한 경도 증가에는 크게 기여하지 못하기 때문으로 사료된다[11]. 이로부터 squeeze casting한 Cu-10%Sn/CF 복합

재료는 PM법으로 제조된 graphite 입자 강화 순수 Cu복합재료보다도 고경도의 섬유와 기지조직을 가지기 때문에 기계적 내마멸성이 우수한 것으로 사료되었다[3, 12].

SEM으로 관찰한 Cu-10%Sn/CF 복합재료와 PM2 마멸면의 손상 형태는 Fig. 11에 나타내었다. PM2의 마멸면은 비교적 평활하였으나 표면 균열이 관찰되었으며 Cu-10%Sn/CF의 경우 마찰방향으로 생기는 전단응력에 의하여 보강섬유와 기지간의 분리가 심하게 일어나고 이 부분에서 요철이 심한 마멸면을 나타내고 있다. 마멸에 의한 섬유의 손상부에서는 섬유가 상당히 부서져 노출되어 있다. 이상에서 관찰된 마멸특성과 마멸면의 형상은 마멸시 떨어져 나간 wear debris의 분석결과로부터 재확인 가능하였다. Fig. 12에서는 wear debris를 SEM과 EDS로 조사분석한 결과이다. PM복합재의 경우 wear debris가 기지조직인 Cu가 주됨을 알 수 있으나(Fig. 12(a),(b)) Cu-10%Sn/CF의 경우 wear debris에서 상대재질인 Fe도 검출되고 있다(Fig. 12(c)(d)). 마멸에 의한 debris는 PM복합재료의 경우 Cu의 미세한 분말형상으로 보이며 Cu-10%Sn/CF의 경우 매우 불규칙하고 조대한 flake형상을 보인다.

3.3 전기적 Arc 마멸시험

Squeeze casting법으로 제조한 Cu-10%Sn/CF 복합재료를 전기접점재료로 적용을 검토하기

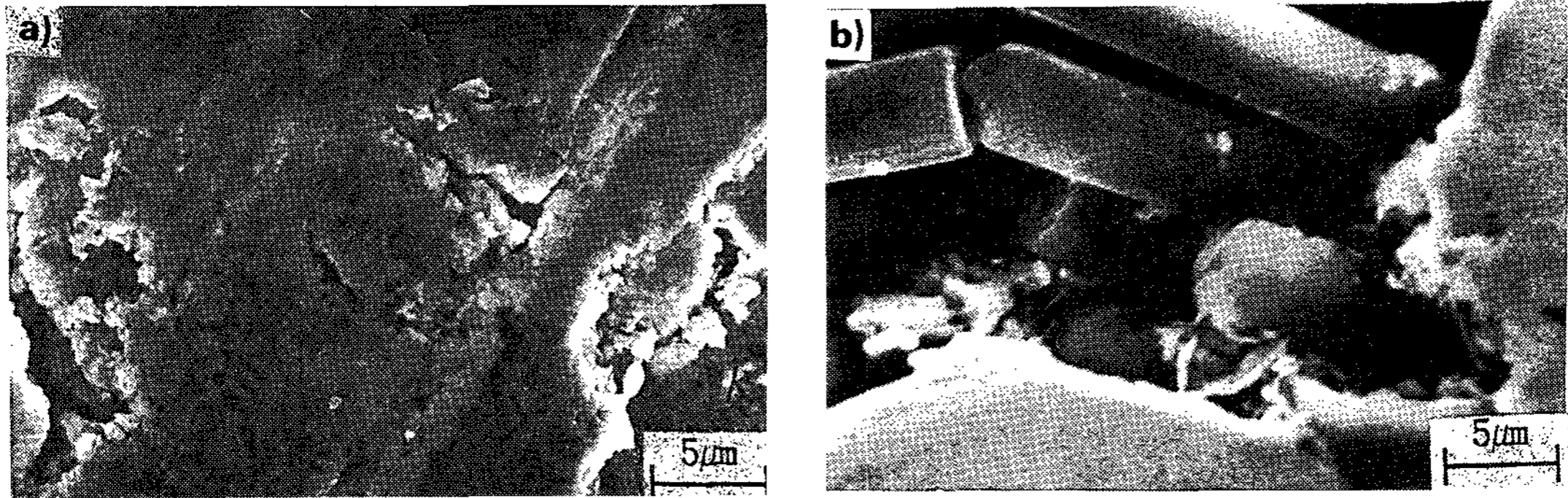


Fig. 11. Scanning electron micrographs of worn surfaces (a) PM Cu-graphite (PM1) showing surface crack and (b) squeeze cast Cu-10%Sn/CF composites showing broken fibers.

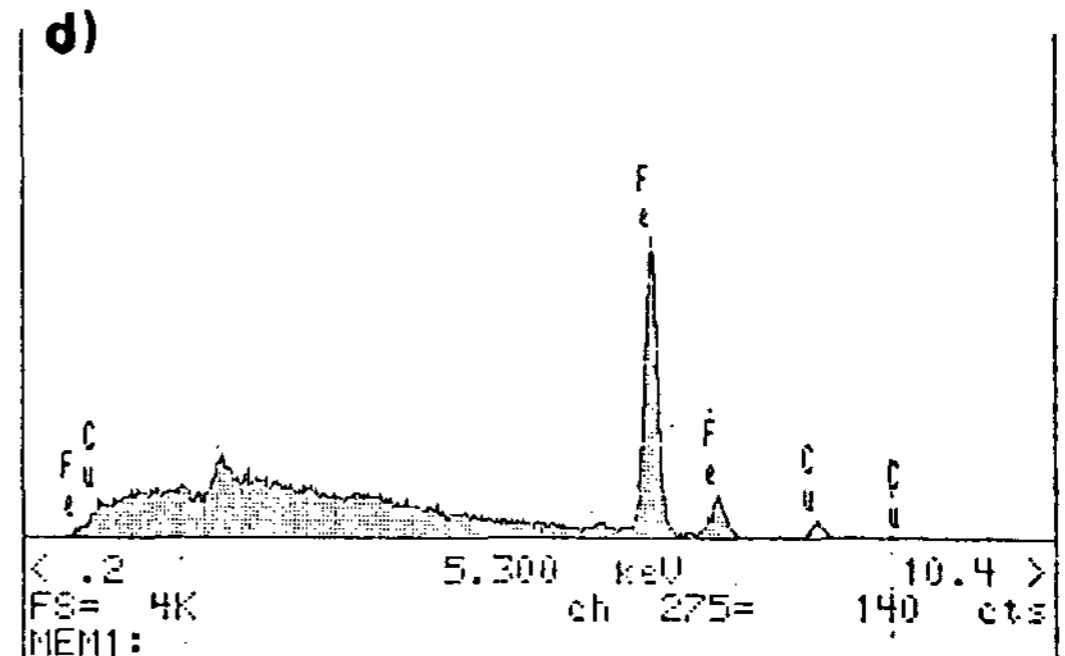
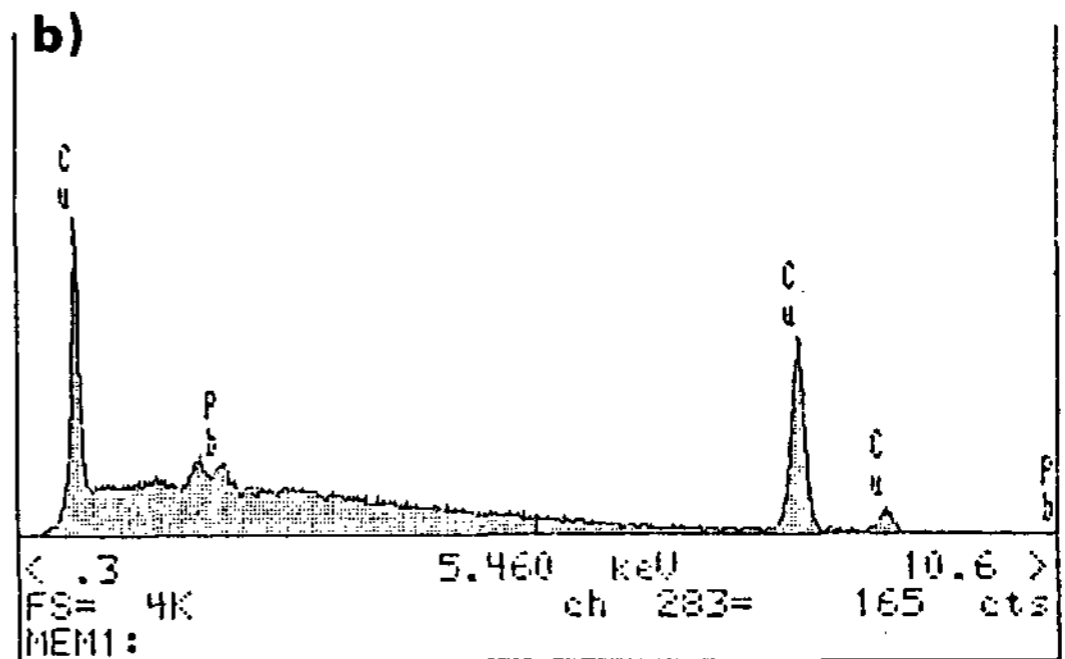
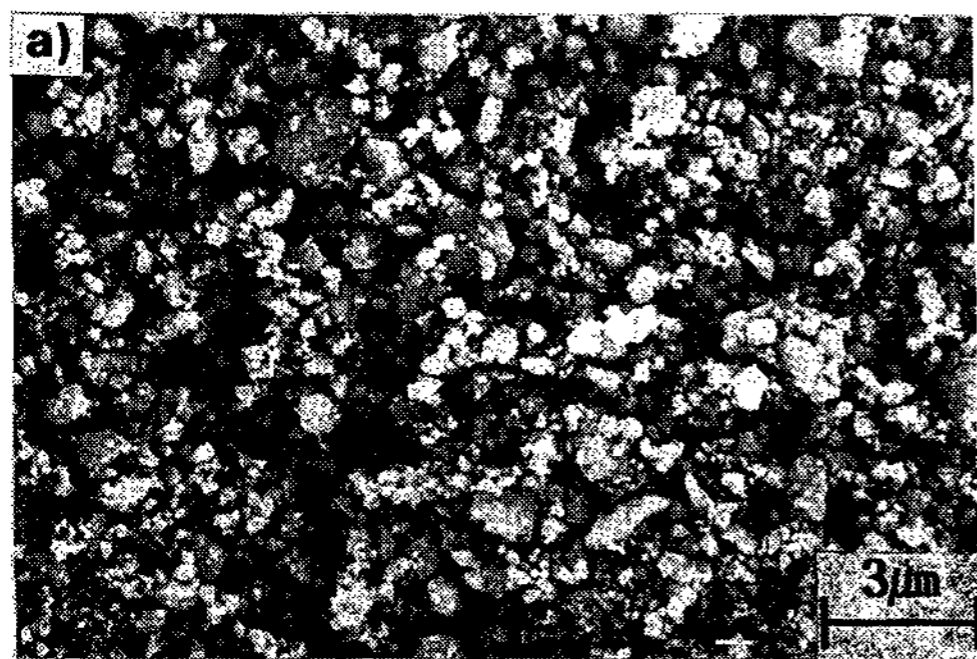


Fig. 12. Scanning electron micrographs and EDS scans of wear debris: (a), (b) PM Cu-graphite (PM1) composite (c), (d) squeeze cast Cu-10%Sn/CF composite.

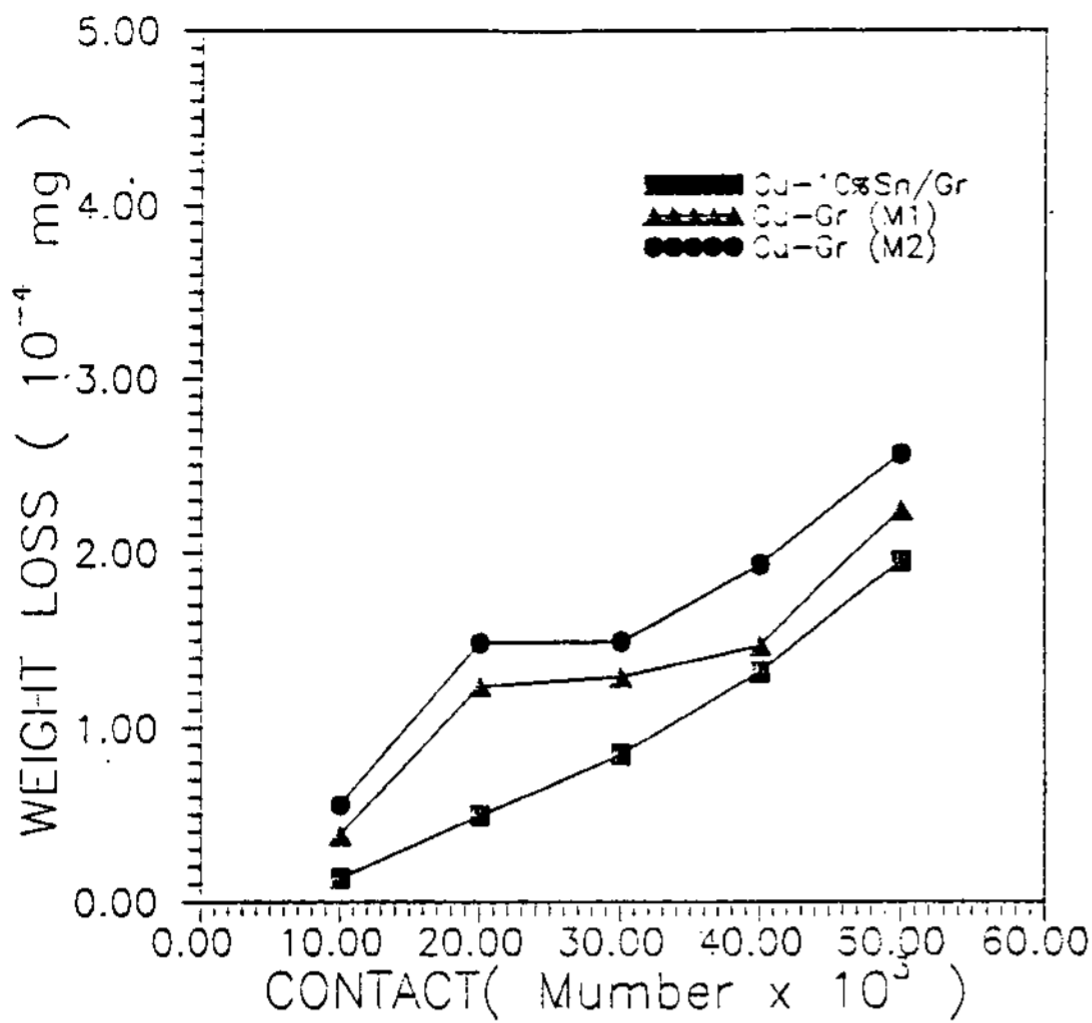


Fig. 13. Weight loss vs. contact number in electric arc wear tests.

위하여 내 arc 마멸시험을 행하였다. Fig. 13는 접점간의 접촉횟수가 매 10000회마다 무게감소량을 측정하면서 50000회까지 arc마멸시험을 실시한 결과이다. 이 결과에서 Cu-10%Sn/CF 복합재료는 접촉횟수의 증가에 따라 arc 마멸량이 직선적으로 증가함을 보였으며 PM법으로 제조된 전기접점재료인 PM1, PM2의 arc 마멸량에 비해 다소 마멸량이 적기는 하나 유사한 경향을 나타내고 있다.

Arc 마멸시험후 접촉면의 표면상태는 SEM을 이용하여 관찰하였다. 전반적인 arc 마멸상태는 접촉횟수가 증가함에 따라 점차 마멸면이 넓어지면서 거칠어지고 있음이 관찰되었다. 사진 14는 arc 마멸시험이 끝난후 SEM으로 관찰한 마멸면의 저배율 사진이다. Fig. 14(a)는 PM1 시편의 arc 마멸면으로써 분화구가 뚜렷이 보이며 Fig. 14(b)는 PM2시편의 arc 마멸면에서 생성된 균열을 나타내고 있다. Fig. 15는 Cu-10%Sn/CF

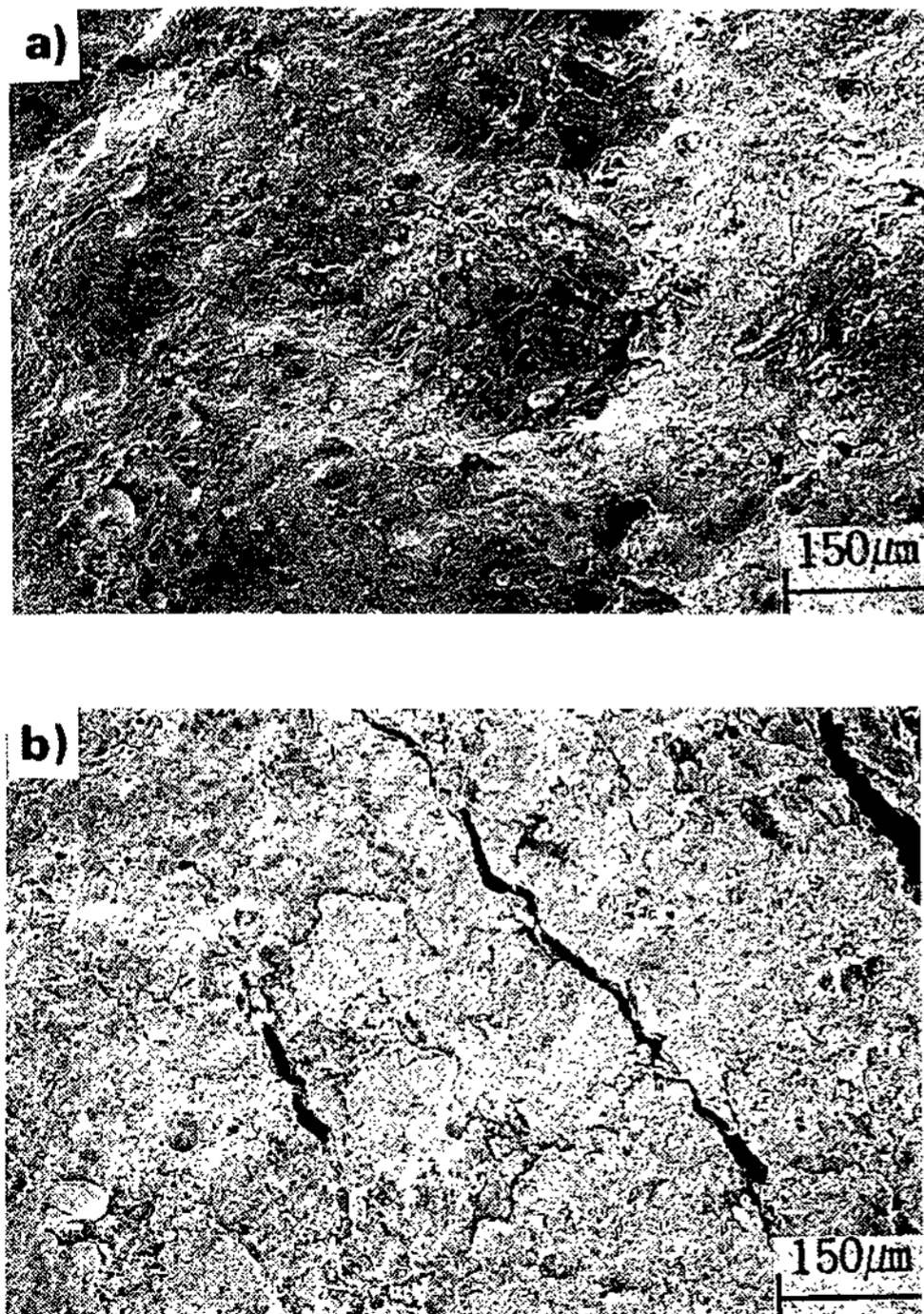


Fig. 14. Scanning electron micrographs of the electric arc worn surfaces of PM Cu-graphite composites showing (a) craters formed in PM1 and (b) cracks formed in PM2.

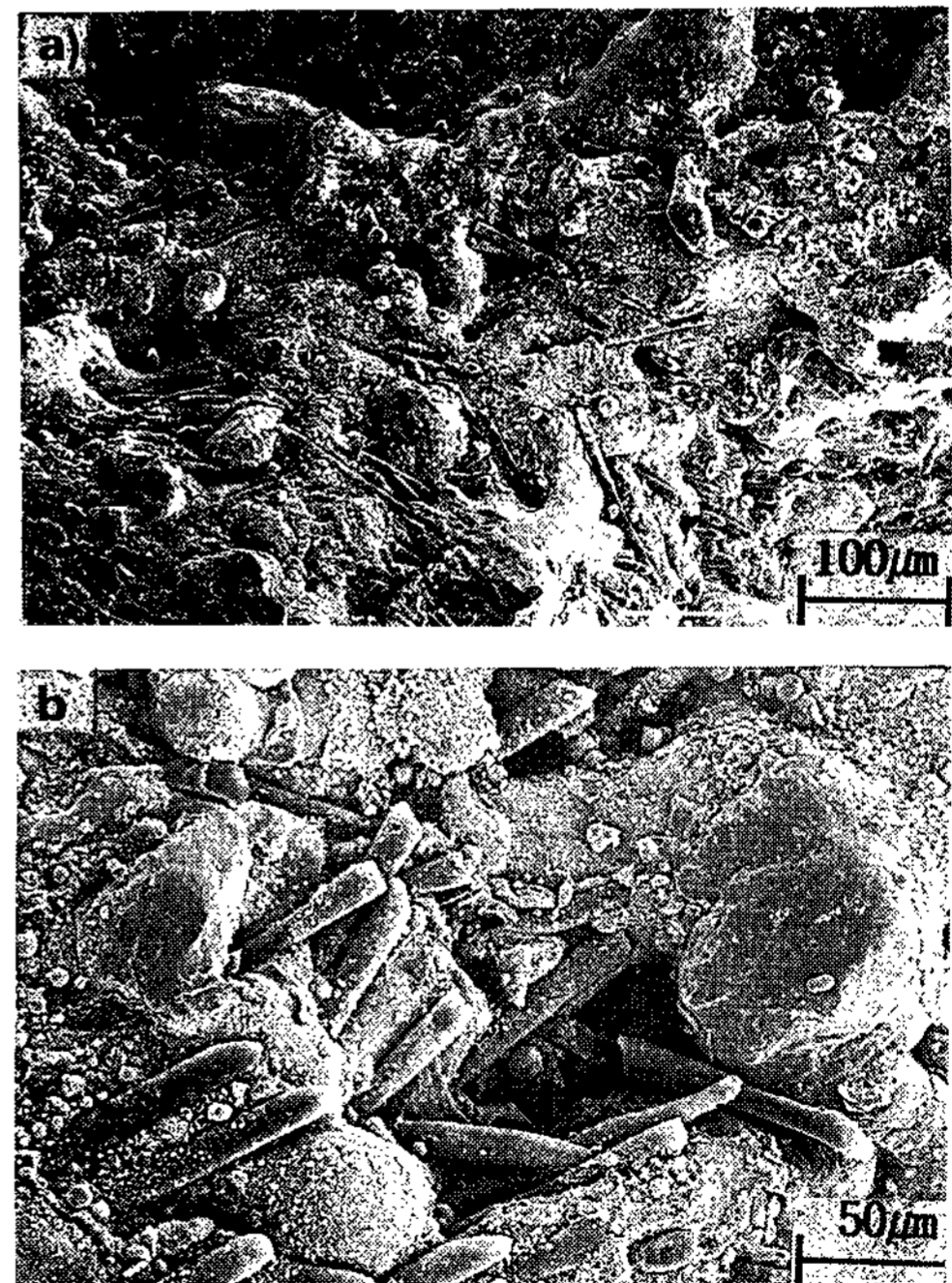


Fig. 15. Scanning electron micrographs of the electric arc worn surfaces of the squeeze cast Cu-10%Sn/CF composite showing (a) deposition of melt Cu-10%Sn matrix and (b) broken debris of carbon fibers.

복합재료의 SEM 마멸면이다. Cu-10%Sn/CF 복합재료는 arc 마멸시험 중에 기지금속의 용해가 기존의 PM1, PM2에 비하여 심하게 일어나며(Fig. 15(a)) 접촉과 arc발생에 의한 충격으로 인하여 보강섬유의 파손이 심하게 일어남(Fig. 15(b))을 알 수 있다. 이처럼 기지금속용해가 심하게 일어나는 것은 저용점의 Sn을 합금화한 결과 기지금속의 용점저하가 일어나 PM1, PM2의 기지금속인 순수 Cu에 비해 arc 마멸에 의한 손상이 더욱 심한 것으로 생각된다. 따라서 기지금속속으로서 Cu-10%Sn는 arc 마멸특성의 향상에는 바람직하지 못하나 squeeze casting의 특성상 고용점 기지재료의 복합재료 제조에 어려움이 따르므로 마멸특성을 향상시키기 위해서는 가능한 Sn의 양을 줄이는 것으로 사료된다.

4. 결 론

NCG(Ni-coated graphite fiber) 섬유강화 Cu-10%Sn합금 기지 금속복합재료(Cu-10%Sn/CF)를 squeeze casting 방법에 의해 제조를 시도하면서 미세조직 관찰을 통한 응고거동과 기계적, 전기적 마멸특성을 조사하고 분말야금법으로 제조된 Cu-graphite 복합재와 특성을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 예열된 graphite주형과 적정 제조공정 인자의 채택 등으로 Cu-10%Sn/CF 복합재를 squeeze casting 방법으로 성공적으로 제조할 수 있었다.
2. Cu-10%Sn/CF 복합재료의 응고조직은 α -dendrite와 $\alpha+\delta$ 공석조직이 infiltration 위치에 따라 불균일하게 분포하는 조직을 나타내었고, 복합화 영역의 DAS는 비복합화 영역보다 미세하게 관찰되었다.
3. Cu-10%Sn/CF 복합재료의 기계적 마멸특성은 PM법의 Cu-graphite 입자 복합재료에 비해 고경도로 인하여 우수하였으나 전식마멸면은 부분적 이탈현상이 생겨 양호하지는 못했다.
4. Cu-10%Sn/CF 복합재료의 전기적 arc 마

멸특성은 PM법의 Cu-graphite 입자강화복합재료와 유사한 경향을 보였으나 Sn첨가로 인한 용점저하가 생겨 arc 발생에 따른 열에너지로 인한 접점표면에서 용착현상이 나타났다.

후 기

본 연구는 1991년도 한국과학재단 기초연구분야 연구비의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. W. Weeton, D. M. Peters and K. L. Thomas : Engineering Guide to Composite Materials, ASM, Metals Park, OH, 1987.
2. R. Holm : Electric Contact Hand book (1985) 10.
3. K. Kuniya and H. Arakawa : Composites '86 : Recent Advances in Japan and the United States, K. Kawata, S. Umekawa and A. Kobayashi ed., Proc. Japan-U. S. CCM-III, Tokyo(1986), 465.
4. 김대업, 김진, 박익민 : 주조, 11(1991) 32.
5. 박익민 : 제1회 응고기술 심포지움, 서울(1990) 106.
6. 박익민, 신광선, 윤의박 : 주조, 8(1988) 412.
7. 정용근, 심상한, 박익민 : 주조, 10(1990) 43.
8. H. Fugunaga : Procd. of International Symp. on the Advances in Cast Reinforced Metal Composites, S. G. Fishman and A. K. Dhingra ed., ASM/TMS, Metal Park, OH, (1988) 101.
9. 주물편람, 일본주물협회편, 개정 4판(1985) 847.
10. W. Kurz, and D. J. Fisher : Fundamentals of Solidification 3rd Ed. Trans Tech Publications(1989).
11. M. F. Amateau, R. H. Flowers and Z. Eliezer : Wear, 54(1979) 175.
12. Z. Eliezer, V. D. Khanna and M. F. Amateau : Wear, 53(1979) 387.