

# 유리섬유 강화 청동기지 복합재에서 마모특성에 미치는 유리섬유와 흑연의 영향

\*황 순 홍, 김 종 국, 허 무 영  
고려대학교 금속공학과

## Effect of Glass Fiber and Graphite on Wear Properties in Tin-Bronze Matrix Composites

Soon-Hong Hwang, Chong-Kook Kim, Moo-Young Huh  
Department of Metallurgical Engineering, Korea University, Seoul  
136-701

### Abstract

The effect of glass fiber and graphite on the wear properties in tin-bronze alloy matrix composites was studied by a pin-on-disk type wear testing machine. The results obtained from the wear test were analyzed by SEM observations of worn surfaces of pins and disks and EPMA composition measurements. The amount of wear was decreased as increasing the content of glass fiber in matrix, since the alloy matrix was reinforced by glass fibers. The wear mechanism of the matrix specimen without glass fibers was proved as the contact area delamination. Oxide layer formed on sliding surface led to the increasing wear resistance. Specimens containing graphite particles showed an lubrication effect to counter disks.

### 1. 서 론

일반적으로 자동차용 제동 마찰재료로는 유기물질 기지가 주로 사용된다. 그런데 이러한 유기물질 기지 마찰재는 마찰력과 표면온도가 상대적으로 낮은 시스템에서 사용된다. 고속전철의 제동 시스템과 같이 높은 마찰력이 작용하고 높은 표면온도가 발생하는 조건에서는 높은 마모율로 인한 제품의 내구성 보장 및 마모부스러기에 의한 시스템에서의 문제점 발생등의 여러가지 요인으로 인하여 낮은 마모율과 상대적으로 높은 열전도율, 우수한 기계적 특성을 가지는 재료가 요구된다. 최근에 소결법을 이용하여 금속기지에 보강재 또는 윤활재를 첨가하여 복합재를 제조하는 방법으로 원하는 기계적 성질과 마모표면에서의 온도제어, 그리고 우수한 마찰특성을 얻고자 하는 연구들이 진행중에 있다. 본 연구에서는 고속전철의 브레이크 시스템의 마찰재료로 사용되는 유리섬유 강화 청동기지 복합재의 보강재의 부피분율 및 고체윤활재로 첨가된 흑연의 첨가량에 따른 마모특성을 실험하였다. 얻어진 마모실험의 결과는 주사전자현미경, XRD, EPMA, 조도측정등의 특성평가를 통하여 마모기구의 변화를 고찰하였다.

## 2. 실험방법

복합재의 금속기지는로는 합금자체가 내마모성이 우수한 Cu-10wt%Sn-10wt%Fe를 사용하였고, 이 금속기지에 세라믹 보강재로 유리섬유를 부피분율로 각각 0vol%, 5vol%, 10vol%를 첨가시켜 복합재를 제조하였으며, 또한 보강재가 10vol%첨가된 재료에 고체윤활재로 흑연을 0.5vol%, 0.75vol%, 1vol%, 1.5vol%, 2vol%, 2.5vol%첨가한 복합재를 제조하였다. 사용한 분말의 크기는 모두 44 $\mu$ m이하의 미분말을 사용하였고 유리섬유의 경우 직경 10 $\mu$ m, 길이 1000 $\mu$ m제품을 사용하였다. 분말의 고른 혼합을 위하여 유리섬유의 장경비가 10이상 유지되는 범위에서 기계적 혼합을 행하였고 이 혼합체를 유압프레스를 이용 8ton/cm<sup>2</sup>의 압력으로 성형하였다. 성형된 시편은 평형상태도상의 상평형조건을 충족시키고 고상확산에 필요한 시간을 부여하기 위하여 수평로에서 2.7°C/min의 낮은 승온속도로 승온한 후 845°C에서 상압소결이 60min행하여졌다. 이 때 분위기는 수소분위기로 수소가스의 유속은 2.5 l/min로 고정하였다. 이렇게 제조된 복합재를 그림 1에 보이는 것과 같은 pin-on-disk형태의 마모시험기를 사용하여 마모실험을 수행하였다. 이 때 마모조건은 무윤활상태에서 미끄럼거리를 1000m, 미끄럼속도를 1m/sec, 마모하중을 13.85N으로 일정하게 유지한후 조성을 변화시키면서 마모시험을 수행하였다. 마모시편은 지름 6mm, 길이 10mm로 가공 후#800 연마지로까지 연마 후 아세톤으로 초음파 세척하였다. 상대재로는 경도 H<sub>R</sub>C 26의 단조강 디스크를 사용하였다. 마모량은 10<sup>-4</sup>g까지 측정가능한 전자저울을 사용하여 측정하였으며 마찰계수는 마모시험기의 Load cell과 연결된 개인용 컴퓨터를 이용하여 측정하였다. 마찰재와 상대재의 마모표면과 마모부스러기는 주사전자현미경으로 관찰하였으며, 이들의 조성분석을 위하여 EDS와 상분석을 위하여 XRD를 사용하였다. 또한 상대재 마모표면의 거칠기는 조도시험기를 사용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 Cu-10wt%Sn-10wt%Fe 기지합금과 이 기지합금에 유리섬유가 부피비로 5vol%, 10vol% 보강된 복합재를 마모시편으로 하고 H<sub>R</sub>C 26인 경도의 단조강 디스크를 상대재로 하여 pin-on-disk형태의 마모시험기에서 미끄럼속도를 1m/sec, 미끄럼거리를 1000m, 마모하중을 13.85N으로 유지하면서 마모량의 변화를 측정한 결과이다. 그림에서 유리섬유의 부피분율이 증가할 수록 마모량이 감소하는 경향을 보인다. 이는 유리섬유가 기지의 소성유동을 방해하고 접촉면 바로 밑 부표면에서 소성전단변형을 막아주며 장범위의 균열전파를 억제하는 효과와 함께 외부에서 전달되는 하중을 지탱하여 마모량을 감소시키는 효과로 믿어진다.

그림 3에서는 Cu-10wt%Sn-10wt%Fe-10vol%SiO<sub>2</sub>(f) 조성의 시편에 흑연이 부피비로 각각 0.5vol%, 1vol%, 1.5vol%, 2vol%, 2.5vol%첨가된 복합재의 동일조건에서의 마모량의 변화결과이다. 그림에서 흑연이 1vol%첨가된 조성에서 가장 낮은 마모량을 나타내었다. 흑연의 양이 0.5vol%에서 1vol%로 증가함에 따라 마모량이 감소하는 이유는 기지금속에 있던 흑연의 양이 증가함에 따라 흑연의 윤활효과가 나타난 것이라 여겨지며, 흑연량이 1vol%이상으로 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것은 본 실험에서 사용된 흑연의 크기가 50~60 $\mu$ m로 상대적으로 다른 분말과 비교하여 크고, 이에 따라 소결공정시 계면접합성이 좋지않은 흑연이 더욱 기지금속과 밀착하지 못하게 된 결과 마모시험시의 충격으로 인하여 기지금속에서 이탈 함으로써 발생하는 무게감소라고 생각된다.

그림 4는 (a) 기지합금에 유리섬유를 10vol% 첨가한 시료와, (b) 이 조성에 1vol%의

흑연을 첨가한 시료에서 마찰계수값의 변화이다. 유리섬유만을 첨가한 시편에서는 마찰계수 값의 변화량이 큰 반면 흑연을 첨가한 시료에서는 변화량이 감소하였다. 흑연이 첨가되지 않은 시편에서는 상대적으로 연한 마모시편의 일부가 연삭마모로 떨어져 나간 이후 반복하중에 의하여 소성변형되어 상대재에 응착되는 과정이 반복되어 마찰계수의 변화가 크게 나타난 것으로 믿어진다. 그런데 흑연이 첨가된 시편에서는 흑연이 윤활효과를 일으켜 마찰계수의 변화폭도 좋고 전체적인 마찰계수값도 낮아졌을 것이다.

그림 5는 Cu-10wt%Sn-10wt%Fe 기지합금의 마모실험 후의 (a) 마모시편, (b) 상대재, (c) 마모부스러기의 주사전자현미경사진이다. (a)에서 미끄럼 방향으로 기지합금이 심하게 마모된 흔적을 볼 수 있으며, (b)의 상대재 표면사진에서 기지합금이 소성변형을 받으면서 판상으로 마모시편에서 이탈되어 상대재 표면을 넓고 깊게 긁어 냈음을 알 수 있다. (c)의 마모부스러기는 판상박리마모가 주마모기구로 작용하였음을 알 수 있는데, EDS 분석결과 에의하면 마모부스러기의 성분이 기지합금과 일치하여 이를 증명할 수가 있다.

그림 6은 Cu-10wt%Sn-10wt%Fe 기지합금에 10vol%의 유리섬유가 첨가된 조성의 마모실험 후의 (a) 마모시편, (b) 상대재, (c) 마모부스러기의 주사전자현미경사진이다. (a)의 마모시편에서는 마모부스러기가 응착되어 있고 부분적으로 미끄럼방향을 따라 연삭골이 형성되어 있음을 볼 수 있다. 이는 기지합금이 경도가 큰 상대재와 마찰시 상대적으로 연한 복합재로부터 이탈된 마모부스러기가 연삭재로 작용하여 발고랑형태의 골을 남기는 연삭마모와 함께, 마찰에 의하여 연삭된 마모부스러기들이 소성변형에 의하여 응착되었음을 알 수 있다. (b)의 상대재 또한 마모시편과 유사한 양상의 마모흔적을 보였다. (c)는 유리섬유가 10vol% 보강되었을 때의 마모부스러기의 주사전자 현미경사진으로서 상대재와의 마찰로 인하여 떨어져 나가던 마모시편의 표면이 유리섬유에 의해 소성변형을 방해받게 됨에 따라 부표면으로 변형이 진행되지 못하고 그 상태에서 떨어져 나가게 되어 상당히 작은 크기를 가지게 됨을 보여주었다.

그림 7은 Cu-10wt%Sn-10wt%Fe-10wt%SiO<sub>2</sub>(f) 조성의 시편에 흑연을 1vol%첨가한 조성시편에 대한 마모실험후의 (a) 마모시편, (b) 상대재의 주사전자현미경관찰결과이다. 이 시편의 마모시편사진(a) 과 마모부스러기를 관찰해보면 그림 6의 (a) 및 (c) 와 유사한 형태의 양상을 보여주며 첨가흑연의 양이 적은 범위에서 마모기구는 보강재의 부피분율에 의존함을 알 수 있다. (b)의 상대재표면에 대한 주사전자현미경관찰결과 그림 5의 (b) 및 그림 6의 (b)와 비교해 볼 때 상대재 표면이 상당히 보호되었음을 알 수 있고 흑연첨가가 마모시편보다는 상대재에 대한 윤활효과에 기여함을 확인할 수 있었다.

그림 8에 Cu-10wt%Sn-10wt%Fe 조성과 Cu-10wt%Sn-10wt%Fe-10vol%SiO<sub>2</sub>(f) 조성 시편에 대한 마모실험후 (a) 마모시편, (b) 상대재표면에서 Cu 및 Fe량이 변화를 EDS로 측정하여 정성적으로 나타내었다. 기지합금 마모시편에서는 마모실험전의 소결시편에 대한 EDS분석결과와 거의 같은량의 Cu 및 Fe량을 나타내었으며 유리섬유를 10vol%첨가한 시편에서는 Cu량이 감소하고 Fe량이 증가하였음을 알 수 있었다. 또한 상대재표면을 분석하였을 경우에도 마모시편과 같은 경향으로 Cu 및 Fe량이 변화함을 알 수 있다. 즉, 기지합금의 경우 상대적으로 강한 상대재에 의하여 마모시편이 긁혀나갔으며 마모시편에서 상대재로 물질전달이 일어났음을 알 수 있고, 유리섬유를 첨가함에 따라 기지합금이 마모로부터 보호되어 마모량이 감소하고 물질전달이 쌍방으로 일어남을 알 수 있다.

그림 9는 각 조성의 마모시편, 상대재, 마모부스러기에서의 산소함량을 EDS로 분석한 결과이다. 그림 2와 그림 3의 마모그래프와 비교하여 보면 산소량이 크게 얻어지는 조성

에서 낮은 마모량이 얻어졌다. 이것은 마모표면에 형성된 산화막이 윤활막을 제공하여 mild한 마모기구가 작동됨을 의미한다. 또한 1%의 흑연첨가에서 마모량이 가장 적었던 이유는 흑연의 양이 많으면 산화물 형성이 방해되고, 그 양이 너무 적으면 흑연에 의한 윤활효과가 적었기 때문이라 믿어진다. XRD 분석결과 이 때 형성되는 산화물은 마모하중에 의해 소성변형이 되어 합금화 되었다고 생각되어지는  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  peak이 관찰되었고, 상대재의 산화에 의해 생겼다고 여겨지는  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  peak와 많은 수의 Sn산화물 peaks이 관찰되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 분말법을 이용하여 보강재로 유리섬유 및 고체윤활재로 흑연을 첨가한 청동기지 복합재를 제조하여 첨가물의 부피비에 따른 마모거동을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 유리섬유강화 복합재의 마모량은 기지합금에 비하여 부피비에 따라 현격히 낮았다. 이것은 유리섬유가 복합재에서 기지를 보강하여 소성변형과 마모부스러기 발생을 억제하는 효과를 나타내기 때문이다.
- (2) 비강화 기지합금의 마모기구는 판상바리마모였으며 유리섬유를 첨가함에 따라 연삭 및 응착마모가 혼합되어 나타났다.
- (3) EPMA 분석결과 기지합금에서는 상대재로 물질전달이 일어났으나 유리섬유강화 복합재는 기지금속의 물질전달을 억제하였고 상대재에 연삭골을 형성하였다. 또한 산화막은 마모량을 감소시키는 중요한 요인이었다.
- (4) 흑연을 첨가한 시료의 마모기구는 연삭 및 응착이 혼합되어 나타났으며 마모시편 자체보다는 상대재에 대한 윤활효과를 현저히 나타내었다.

#### 참고문헌

1. 이상로, 허무영 : 한국윤활학회지, Vol. 9, No. 2(1993), 49-55
2. T.S. Eyer : Powder Metallurgy, No. 2(1981), 57-63
3. 이준근 : 세라믹스의 소결, 반도출판사, (1991)
4. T. S. Eyer, R. K. Walker : Powder Metallurgy, No. 1(1976), 22-30
5. V. Dufek : Powder Metallurgy, Vol. 2, No. 1(1970), 10-12
6. N. P. Suh : Wear, 44(1977), 1-16
7. H. C. Park : Scripta Metallurgica, Vol. 27,(1992), 465-470
8. W. Wang : Wear, 171,(1994), 19-23
9. T. F. J. Quinn : Tribology, (1983), 257-270
10. P. J. Blau and C. E. Devore : Trans. of the ASME, Vol. 110(1988), 646-652

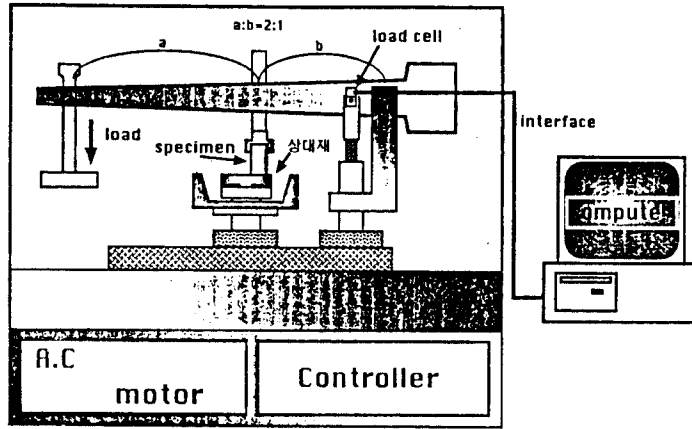


Fig. 1. Schematic diagram of wear tester

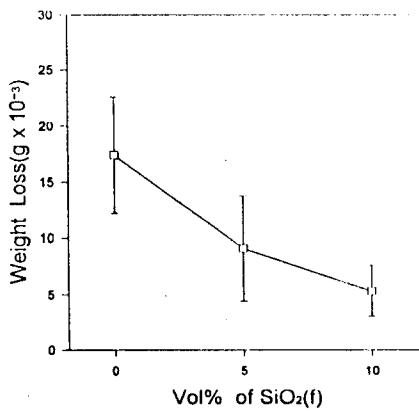


Fig. 2. Variation of weight loss with applied load in the species with glass fiber

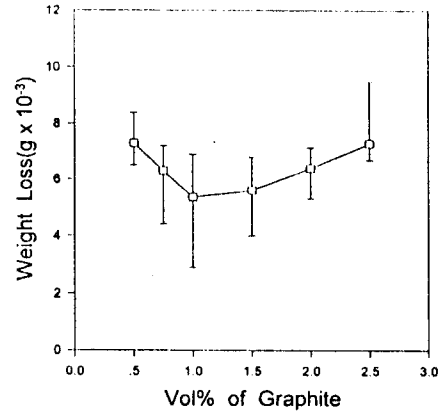


Fig. 3. Variation of weight loss with applied load in the species with graphite

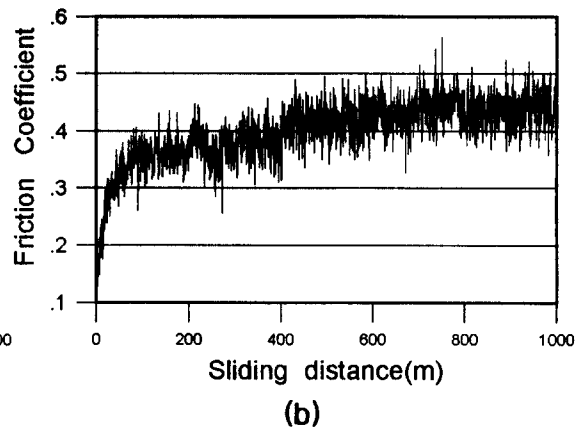
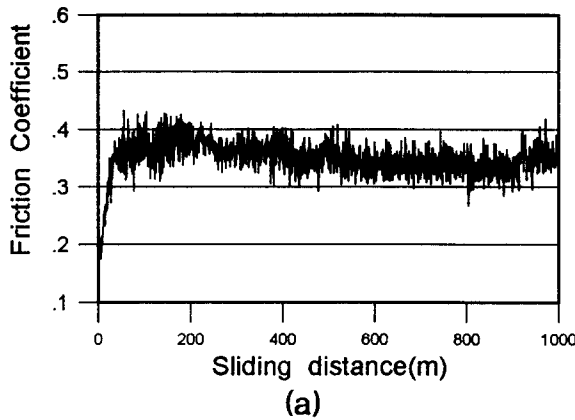


Fig. 4. Friction coefficient as a function of sliding distance

(a) Cu-10wt%Sn-10wt%Fe-10vol%SiO<sub>2</sub>(f)

(b) Cu-10wt%Sn-10wt%Fe-10vol%SiO<sub>2</sub>(f)-1vol%Graphite

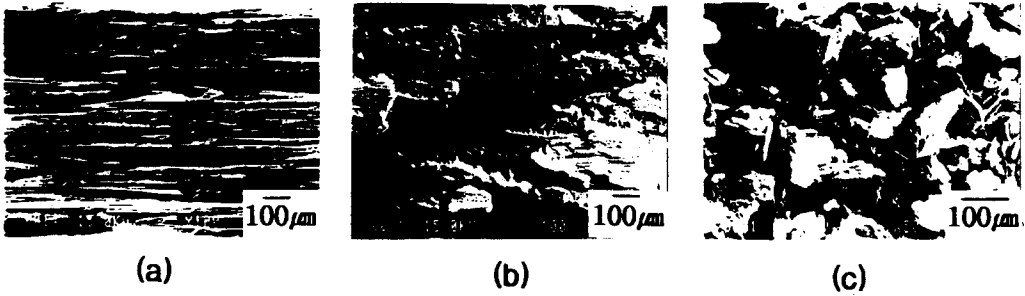


Fig. 5. Scanning electron micrographs of matrix species  
 (a) pin (b) counter disk (c) wear debris

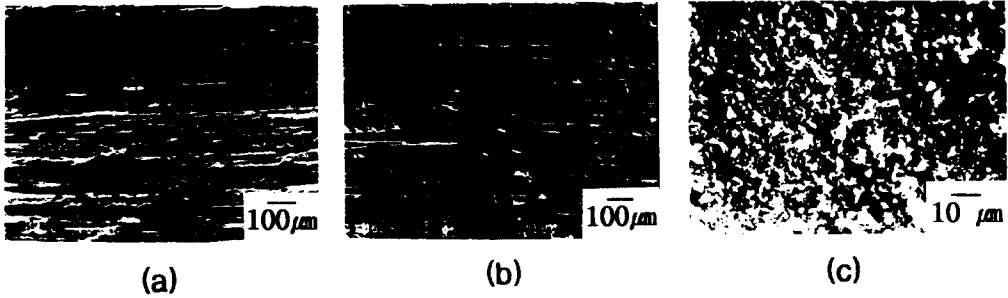


Fig. 6. Scanning electron micrographs of the composites with 10vol%SiO<sub>2</sub>(f)  
 (a) pin (b) counter disk (c) wear debris

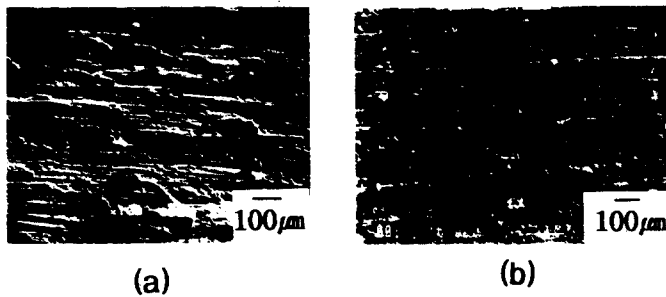


Fig.7. Scanning electron micrographs of the composites  
 with 10vol%SiO<sub>2</sub>(f) and 1vol%Graphite  
 (a) pin (b) counter disk

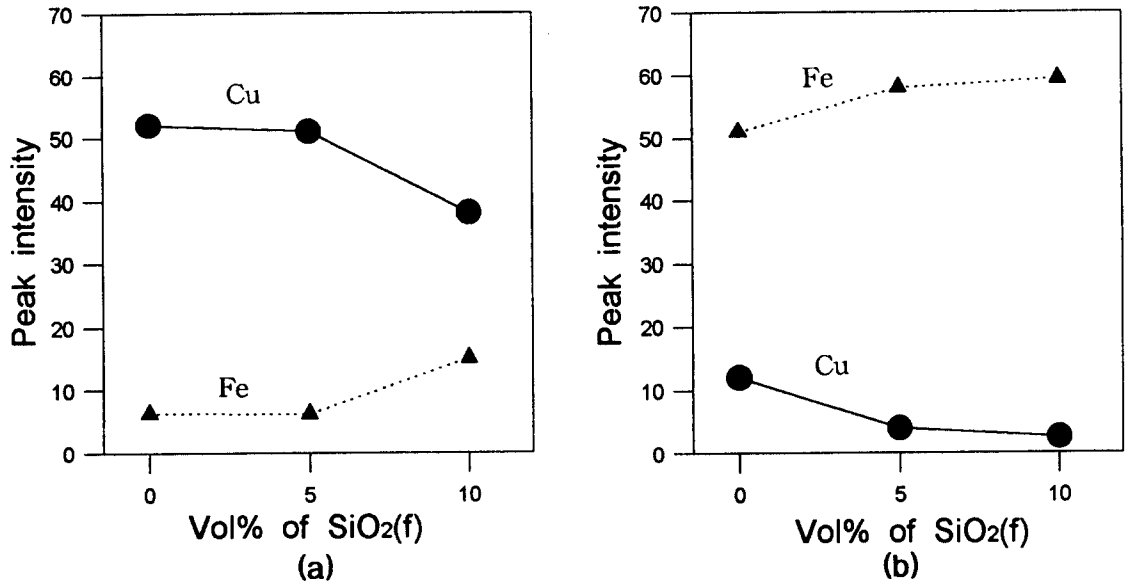


Fig. 8. Intensity of Cu and Fe as a function of SiO<sub>2</sub>(f) at worn surface  
 (a) pin (b) counter disk

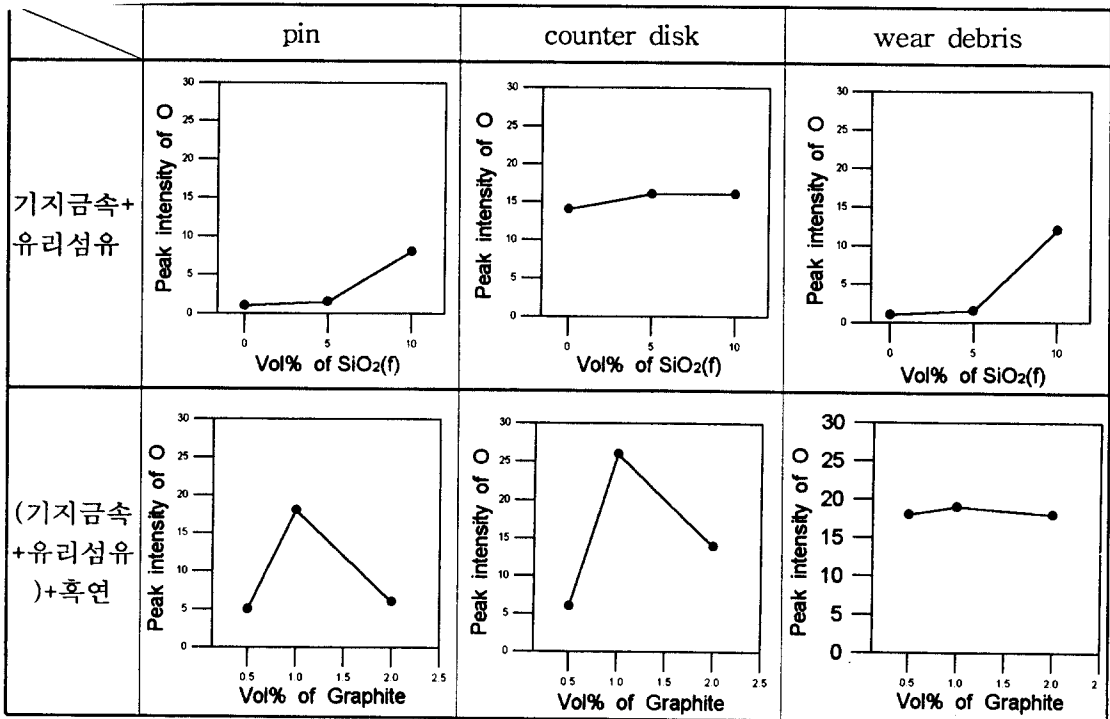


Fig. 9. Intensity of O as a function of SiO<sub>2</sub>(f) and Graphite