

강제교반법으로 제조된  
Al-Pb계 베어링합금의 마모거동

Wear properties of Al-Pb bearing alloys  
produced by impeller mixing

임 화영\*, 임 대순\*\*, 허 무영\*  
고려대학교 공과대학 금속공학과\*  
고려대학교 공과대학 재료공학과\*\*

Al계 베어링합금은 소착저항력등의 베어링특성이 우수하여 최근에 자동차의 엔진부품에 많이 사용되고 있다<sup>1-4)</sup>. Al계 베어링합금으로는 Al-Sn계, Al-Pb계<sup>5, 6)</sup>, Al-Si계<sup>7, 8)</sup> 합금이 개발되어 사용되어 왔다. Al-Si계 합금은 높은 강도, 우수한 부식성, 주조성이 향상되는 장점등을 갖고 있다. 또한 Al-Pb계 합금은 Pb가 고체윤활제로 작용<sup>2)</sup>하여 소착저항성이 높으며 가격도 저렴한 장점을 갖고 있다.

Al과 Pb는 용융상태에서 넓은 용융간극을 갖어 중력편석을 일으키기 때문에 일반적인 주조방법으로 Al계 베어링합금을 제조할 수 없다. 또한 Al에 Si이 첨가됨에 따라 높은 경도등의 기계적성질의 향상이 얻어지지만 Al 기지에 Si의 함량이 증가할 수록 편석이 심해져 조대한 Si-rich 상이 미세조직에 존재하여 합금이 취약해지는 단점을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 Al 기지에 Pb의 중력편석을 최소화하고 Al 기지에 조대한 Si-rich 상이 생성되는 것을 막기 위하여 Al과 Pb가 공존하는 온도구역에서 높은 교반속도로 용탕을 강제교반하여 액상에서 Pb와 Si을 미세하게 분산시킨 후 수냉되는 동주형에서 급속응고시켜 Pb와 Si-rich 상이 균일하게 분포된 Al계 베어링합금을 제조 하였다.

제조된 베어링합금들의 Pb와 Si의 분포상태를 광학현미경, 주사전자현미경으로 관찰 하였으며 여러가지 제조변수로 제조된 Al-Pb-Si계 베어링합금은 pin-on-disc 형태의 마모시험기에서 무윤활상태에서 마모시험하여 최적의 Al계 베어링합금의 제조조건을 구하였다.

본 연구에서는 Pb의 양을 0%에서 35%까지 변화시켰으며, Si의 양을 0%에서 20%까지 변화시켜서 베어링합금을 제조하였으며, 강제교반속도는 500rpm에서 2500rpm 까지 변화시켜 베어링합금을 제조하였다.

그림 1은 Al-25%Pb 합금을 교반속도 2500rpm으로 10분간 교반 후 수냉되는 8mm 주형에서 제조된 시료의 후방산란전자상(back scattered electron image)이다. Al과 Pb는 그 원자번호의 차이가 크므로 Al 기지에 Pb의 분산을 알아보는데는 후방산란전자상이 가장 적절한 방법이었다. 그림 1에서 Pb는 Al 보다 원자번호가 크므로 밝은 콘트라스트로 나타나고 있는데 Al 기지에 Pb는 매우 미세하게 골고루 분포되어 있다. 본 연구의 결과에 의하면 용탕의 강제교반속도가 증가할 수록 그리고 수냉 동주형의 직경이 작을 수록 Pb의 분포가 미세하고 균일하였다.

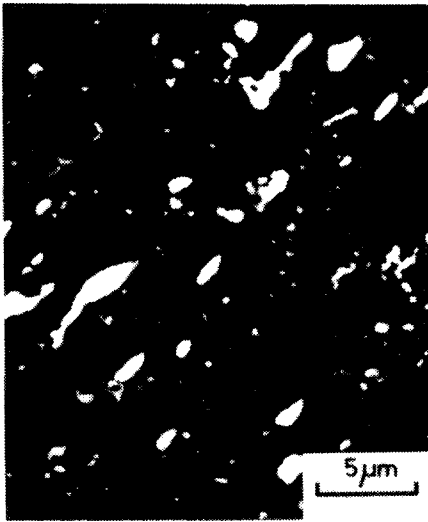


그림 1. Back Scattered electron image  
( Al-25Pb, 2500rpm, mold diameter 8mm )

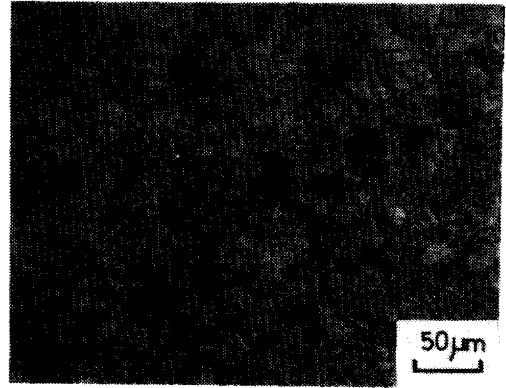


그림 2. Optical micrograph of Al-25Pb-13Si  
( 2500rpm, mold diameter 8mm )

그림 2는 Al-25%Pb-13%Si 합금을 교반속도 2500rpm으로 10분간 교반 후 수냉되는 8mm 주형에서 제조된 시료의 광학현미경 미세조직으로 검은 콘트라스트로 나타나는 Si rich상이 기지에 분산되어 있다. Si의 양이 증가할 수록 Si rich 상의 부피분율이 증가하였고 편석된 크기도 증가하였으나 2500rpm의 강제교반조건은 Si rich상을 미세조직에 균질하고 미세하게 분포시키는데 충분한 것으로 믿어진다.

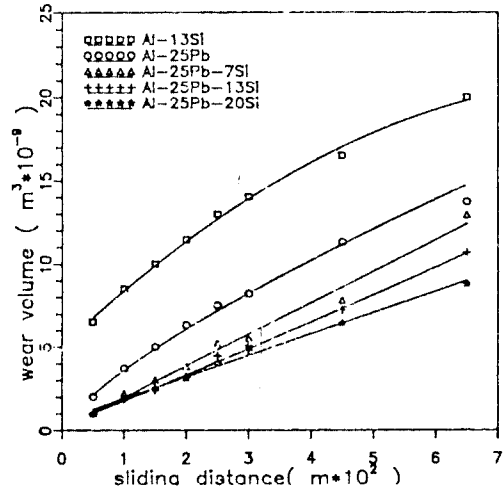
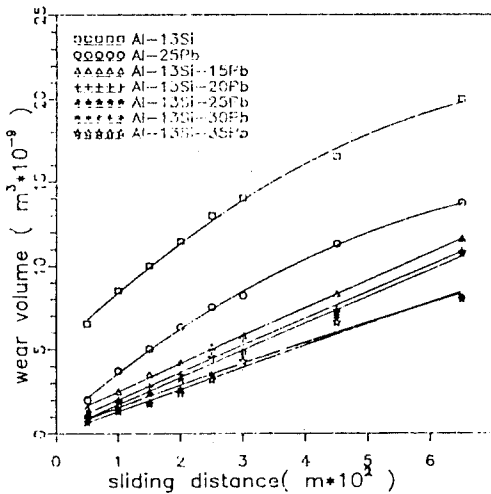


그림 3. Effect of the sliding distance on the wear volume of  
Al-Pb-Si alloys  
( sliding velocity  $104.72 \times 10^{-2} \text{ms}^{-1}$  ; load 2kgf )

그림 3은 마모시험속도  $104.72 \times 10^{-2} \text{m/sec}$ , 하중  $2 \text{kgf}$ 일때 마모거리에 따른 마모부피의 실험결과이다. Al-Pb 또는 Al-Si 2상계합금에 비하여 Al-Pb-Si 3상계합금의 마모부피가 적으며 Pb 양과 Si 양이 증가함에 따라 마모부피가 감소하였다.

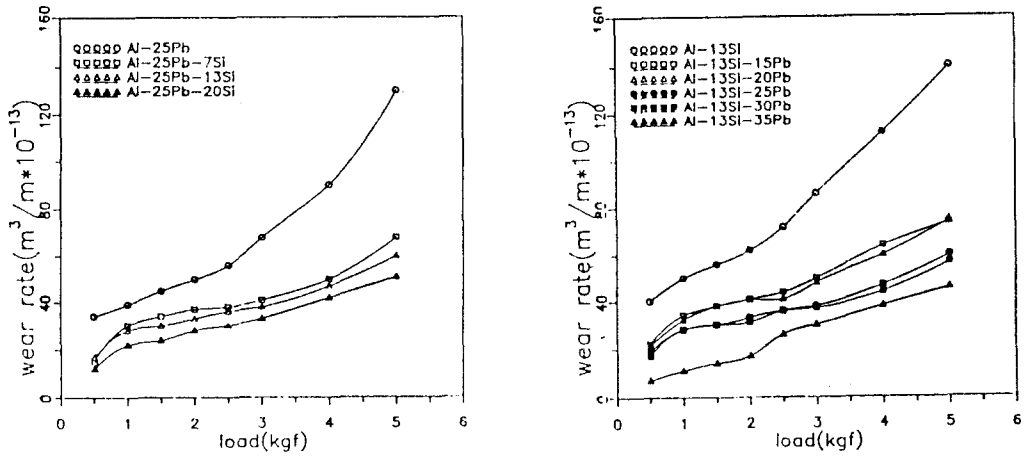


그림 4. Effect of the applied load on the wear rate of Al-Pb-Si alloys

( sliding velocity  $88.2 \times 10^{-2} \text{ms}^{-1}$  ; sliding distance  $3175.2 \text{m}$  )

그림 4는 마모시험속도  $88.2 \times 10^{-2} \text{m/sec}$ , 마모거리  $3175 \text{m}$ 에서 마모하중변화에 따른 마모속도변화의 실험결과이다. 전체적으로 2상계합금에 비하여 Al-Pb-Si 3상계합금의 마모속도가 낮음을 알 수 있다. 마모하중이 증가함에 따라 Al-25Pb 또는 Al-13Si 2상계합금에서는 마모하중  $2-3 \text{kgf}$ 에서 mild wear에서 severe wear로의 transition<sup>11)</sup>이 확실히 존재하지만 Al-Pb-Si 3상계합금의 경우에는 이와같은 transition이 미약하게 나타남을 알 수 있다.

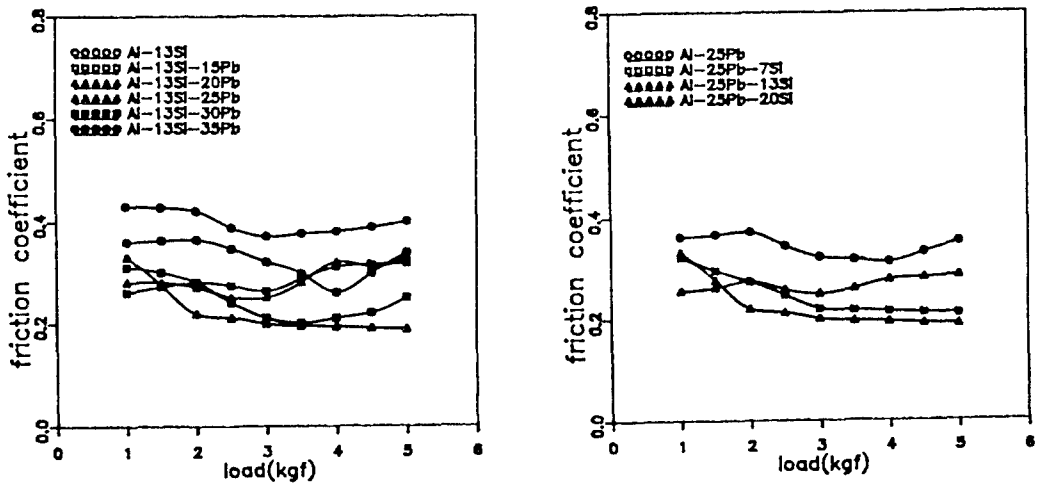


그림 5. Friction coefficients as a function of applied load on the Al-Pb-Si alloys

그림 5는 마모시험시 측정된 마모시험속도  $88.2 \times 10^{-2} \text{m/sec}$ , 마모거리 3175m에서 마모하중변화에 따른 마찰계수의 변화이다. 특히할 점은 Al-13%Si-25%Pb 3상계합금의 마찰계수가 가장 낮음을 알 수 있다.

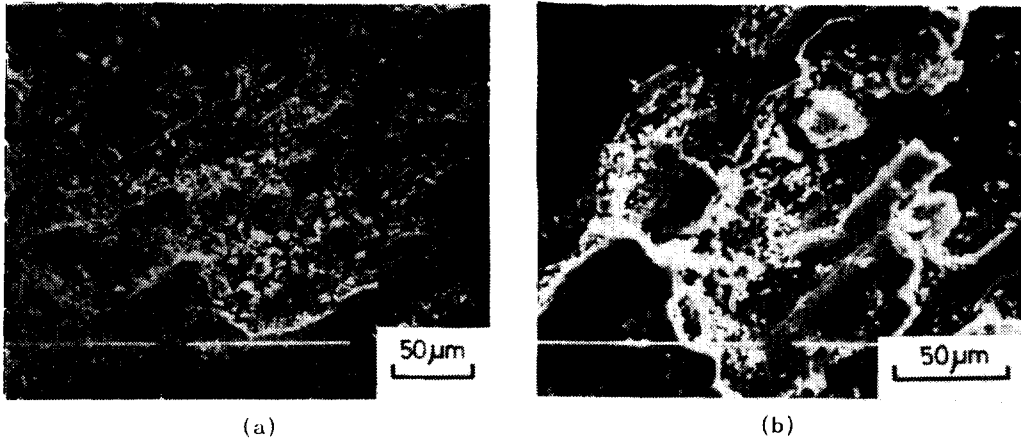


그림 6. Scanning electron micrographs of the test pin wear surface  
( Al-25Pb-13Si, 2500 rpm, mold diameter 8mm )  
applied load (a) 1kgf (b) 5kgf

그림 6은 교반속도 2500rpm, 8mm 주형으로 제조된 Al-13%Si-25%Pb 3상계합금을 마모시험속도  $88.2 \times 10^{-2} \text{m/sec}$ , 마모거리 3175m 마모시험 후 마모표면을 주사전자현미경으로 관찰한 미세조직이다. 마모하중이 1kgf인 경우(a) 소성구역이 매우 작아 mild한 응착마모<sup>(11)</sup>가 지배적임을 알 수 있었다. 마모하중이 5kgf인 경우에 소성구역이 크게 발달하였으나 시료의 모든 곳에서 이와같은 큰 소성구역이 얻어지지 않았다. 그러나 Al-25%Pb 또는 Al-13%Si 2상계합금에서는 마모하중 2-3kgf 이상에서는 마모면 전체에 커다란 소성구역을 포함하는 심한 응착마모를 나타냈다.

#### 참고문헌

1. G. C. Pratt : Int. Metall. Rev., 1973. 18, 62-88.
2. C. S. Sivarama Krishnan : NML Tech. J., 1973. 15, 69-75.
3. R. Shivanath, P. K. Sengupta, and T. S. Eyre : Br. Foundyman, 1977, 70, 349-356
4. C. J. Evans : Tin Uses, 1980, (126), 8-10.
5. J. P. Pathak, S. N. Tiwari and S. L. Malhotra, Met. Technol. (London), 6 (1979) 442.
6. J. P. Pathak, S. N. Tiwari and S. L. Malhotra, Met. Technol. (London), 10 (1983) 413.
7. J. P. Pathak, S. N. Tiwari and S. L. Malhotra, Wear, 112 (1986), 341.
8. K. Mohammed Jasim and E. S. Dwarakadasa, Wear, 119 (1987) 119.