

||||||||| - 본 연구는 한국과학재단 연구비지원사업에 의하여 수행 되었으며 그 보고서의 일부임 -

論 文
|||||||||

Al-Si 합금의 磨滅特性에 미치는 組成의 影響

權赫茂* · 張忠根** · 申世均***

The effects of composition on the wear characteristics of Al-Si alloys.

Hyuk Moo Kwon,* Choong Kun Chang,** Se Kyoon Shin***

ABSTRACT

The Wear Characteristics of Al-Si alloys were investigated with various Si contents by using the not-dispersed alloys and uncoated-graphite dispersed alloys.

Uncoated-graphite dispersions were accomplished by Vortex method carrying 1 hr. heating at 400°C on uncoated-graphite.

Wear loss were increased by increasing Si contents at the elevated final load.

Hyper-eutectic alloys showed higher wear resistance values at the small final load of 2.1Kg and 3.2Kg, but at the more increased final load, hypo-eutectic alloys showed higher wear resistance values than hyper-eutectic alloys.

The property of wear resistance of uncoated-graphite dispersed Al-Si alloys showed more good values than not-dispersed alloys. This property of increased war resistance were resulted from lubricating action of dispersed graphite.

1. 서 론

Al-Si 합금은 Al 합금 중에서도 열팽창 계수가 작고 비중이 가벼워서 내연기관의 피스톤 등에 이용되고 있으며, 그동안 이 합금의 각종 기계적 성질이나 제조 방법 등에 관하여 많은 연구발표가 있었다. 한편 이 합금은 Cu, Ni 및 Mg 등의 합금원소가 첨가된 상태에서 공업적으로 각종 무기재료를 혼합한 복합재료^{1,2)}의 개발이 현재 연구되고 있는 실정이다.

Al-Si 합금의 마멸특성에 관한 연구는 많이 있다. Okabayashi와 kawamoto⁸⁻⁹⁾는 Al 합금의 내마멸성은 아공정 합금보다 과공정 합금이 더 우수하고, Si 입자의 크기에는 영향이 거의 없고 Si 함량이 지배한다고 하였다. Vandelli¹⁰⁾는 Si 함량이 14.5%, 17% 및 25%인 과공정 Al-Si 합금에 대한 실험결과 Al-17% Si 합금이 가장 내마멸성이 좋다고 하였다. 그리

고 Sakar¹¹⁾는 공정점 부근 조성의 합금이 마멸 저항이 크고, 아공정과 과공정 합금은 느린 마멸속도에서는 차이가 거의 없다고 하였다. 그러나 Hitoshi¹²⁾ 등은 고속마멸시에는 과공정 합금의 마멸량이 많고 저속마멸시에는 아공정 합금의 마멸량이 많다고 하는 등 Al-Si 합금에서 Si 함량에 따른 내마멸성의 관계에 관한 이론은 정립되지 않은 실정이다.

흑연을 분산시킨 복합재료는 1969년 F.A. Badia²⁾ 등이 분산시키려는 흑연의 표면에 Cu나 Ni 과 같은 금속을 피복시켜 복합재를 제조했고 B.C.Pai,¹⁾ A. M. Patton¹³⁾ 등도 유사한 연구를 수행한 바 있으나, 흑연분말에 금속을 피복시킨다는 어려움이 있고, 그 후 V.G. Gorbunor¹⁴⁻¹⁶⁾ 등에 의하여 계면활성 원소를 첨가하여 복합재료를 만드는 방법이 연구되어 왔으나, 이는 용량과 흑연분말간의 젖음성을 개선 할 뿐이었다. 그 후 1974년 R. Mehrabian¹⁷⁾이 반응 용된 금속을 주조하는 Rheocasting 법을 응용하여 금속합금과 흑연분말간의 결합이 가능하도록 주조하였는데, 이 방법은 흑연분말을 피복하지 않고 Al 합금

* 忠南大學校 工科大學 副教授.
** 同 理科大學 教授.
*** 同 大學院 博士課程.

내에 분산시킬 수 있으므로 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

본 연구에서는 Al-Si 합금의 Si 함량이 마멸특성에 미치는 영향을 조사하였고, 같은 조성의 합금에 금속을 피복시키지 않은 흑연을 예열처리하여 Vortex 방법으로 분산시켜 마멸특성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

2-1 시험재료의 용해

순도 99.8%인 Al를 고주파 유도로에서 용해한 후 순도 99%인 금속 Si를 첨가하고 1000 °C로 가열하여 Si의 함량이 33.25%인 Al-Si 모합금을 제작하였다.

이 합금과 순 Al를 다시 배합하여 전기저항로에서 재용해하여 Si의 함량이 각각 6%, 9%, 12%, 15% 및 18%인 시험재료를 용해하였다.

2-2 시료의 주조

용해된 용량을 각 조성별로 지름 30 mm, 높이 70 mm 및 두께 10 mm인 금형에 주조하였다.

흑연을 분산시킨 시료는 용해된 용탕에 예열처리한 흑연입자를 Vortex 방법으로 분산시켜 같은 크기의 금형에 주조하였다.

Fig.1은 흑연을 분산시키기 위한 장치로서 전기저항로에 흑연도가니를 넣어 용해시켰으며, 수분과 휘발분을 제거하기 위해 흑연을 400 °C로 1시간 가열하여 용탕에 분산시킬 수 있도록 6 mm φ 알루미늄관을 사용하여 관이 직접 용해되면서 흑연입자가 분산되게 제작하였다.

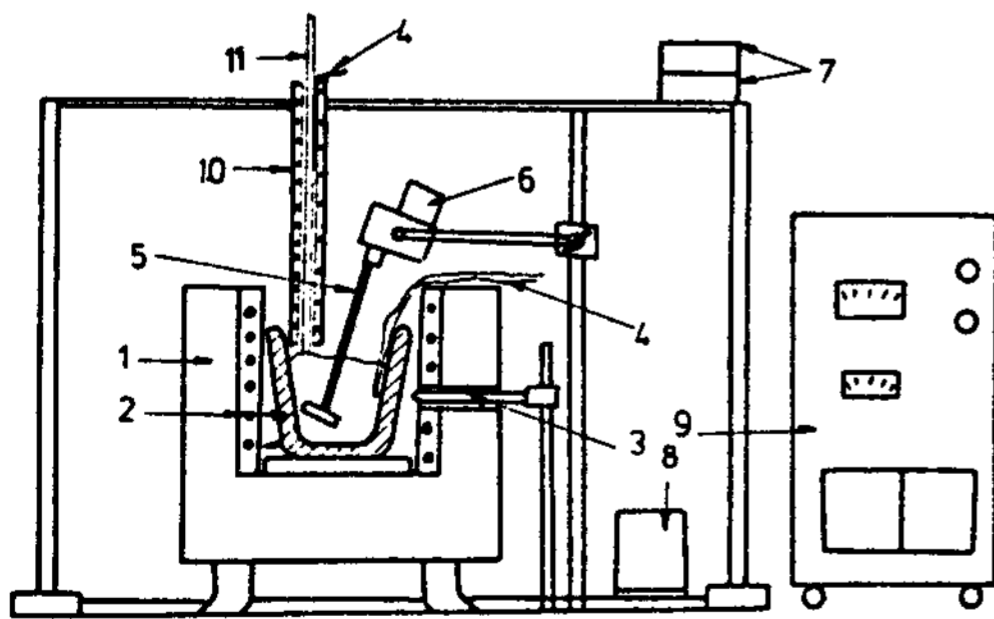


Fig.1 Schematic figure compocasting apparatus

- 1. Electric crucible furnace
- 2. Graphite crucible
- 3. Pt Rh thermocouple
- 4. CA thermocouple
- 5. impeller
- 6. Shaft stirrer(30~2400 rpm)

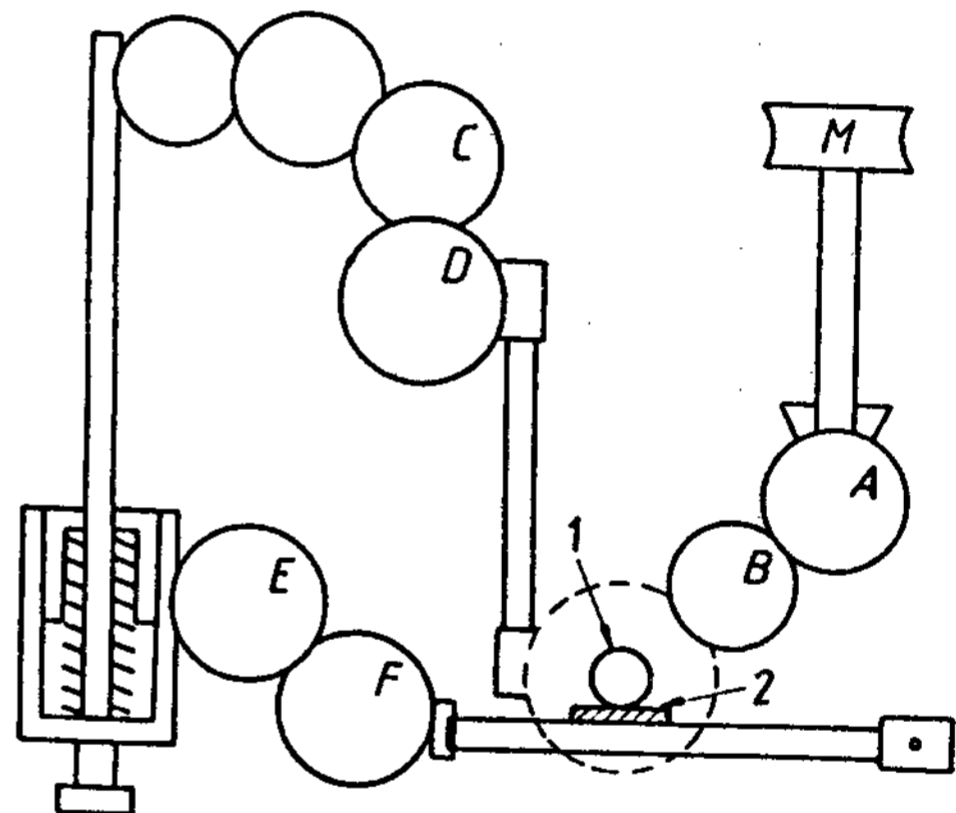
- 7. thermometer
- 8. slidax
- 9. control box
- 10. graphite heating element
- 11. aluminum tube(6mm φ)

2-3 조직 및 경도 시험

현미경 조직은 주조한 시료를 연마하여 광학현미경으로 각각 관찰하였고 경도시험은 Brinell 경도기 (AMSLER D-6700)로 측정하였으며 이때 하중은 15.625 kg으로 하였다.

2-4 마멸시험

본 실험의 마멸시험에 사용한 고속도 마멸시험기는 Fig.2와 같다. No.1은 회전디스크이고 No.2는 마멸시험편을 나타낸다. A.B는 속도변화용 기어이고, C.D는 마멸거리를 변화시킬 수 있는 기어이며 E.F는 하중변화용 기어이다.



- AB : Speed change replaceable gear
- CD : Distance change replaceable gear
- EF : Load change replaceable gear
- 1 : Revolving disc
- 2 : Test piece

Fig.2 High speed abrasion tester construction diagram

Fig.3은 마멸 시험편의 장착상태를 나타낸 것으로 빗금친 부분의 면적을 구해서 상대재의 두께 B를 곱해주면 마멸량의 체적W는:

$$W = B \left\{ \pi r^2 \sin^{-1} (b/2r) / 180 - \frac{b}{2} \sqrt{r^2 - (b^2/4)} \right\}$$

이고, b가 지름보다 작을 경우:

$$W \approx Bb^3 / 12r$$

으로 간단화 할 수 있다. 마멸시험에 사용한 상대재료는 S 45 C 탄소강을 940 °C에서 1시간 열처리 한 후 수냉하여 마르텐사이트 조직을 갖는 경도 HRc 62인 재료를 사용하였

다. 여기서 b 의 크기는 1/1000 mm 까지 측정이 가능한 미소 확대경을 이용하였다.

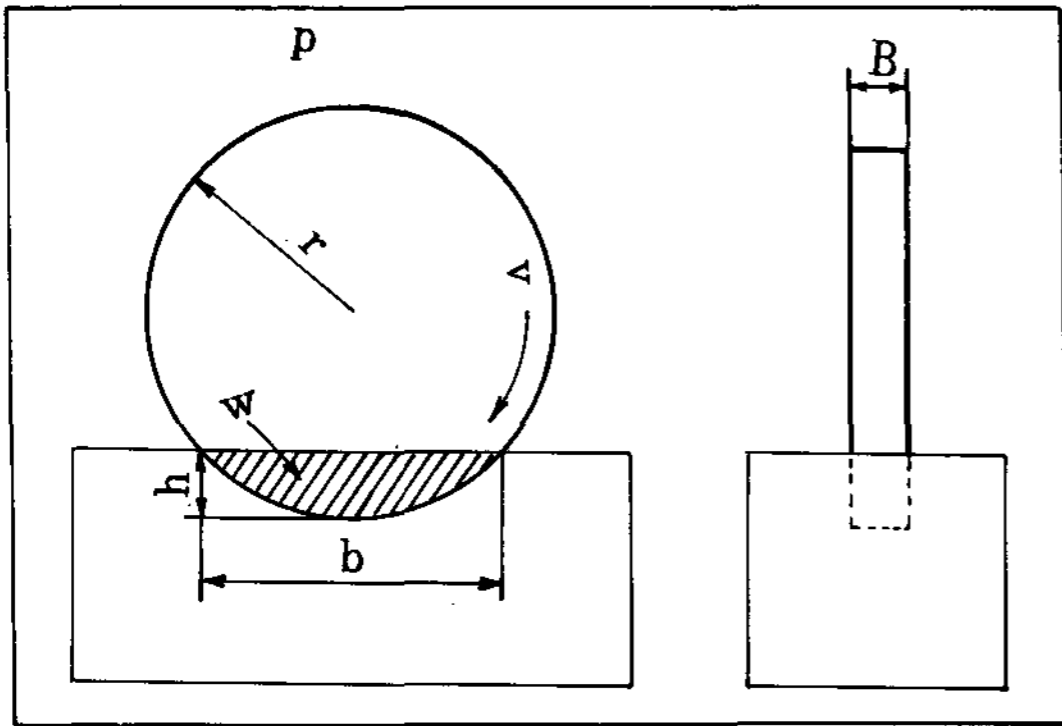


Fig.3 Apparatus for abrasion testing with revolving disc

3. 실험결과 및 고찰

3-1 조성 및 조직

본 실험에 사용된 시편의 화학조성은 Table 1. 과 같고 합금의 현미경 조직은 Fig.4 및 Fig.5에 나타났다.

Table.1

Chemical composition of material and Sample (wt%)

composition material	Si	Cu	Fe	Mg	Al
Al - ingot	0.08	0.01	0.07	-	Remainder
Metallic silicon	99.0	-	0.35	-	-
Al - Si alloy	33.25	0.01	0.17	-	Remainder
Sample No.1	5.95	0.01	0.14	-	"
2	8.94	0.01	0.13	-	"
3	12.08	0.01	0.13	-	"
4	14.96	0.01	0.13	-	"
5	18.07	0.01	0.12	-	"
6	6.03	0.01	0.16	0.08	"
7	9.01	0.01	0.17	0.89	"
8	12.05	0.01	0.15	0.87	"
9	15.07	0.01	0.18	0.85	"
10	18.01	0.01	0.16	0.91	"

Note Sample No. 6~No. 10

Quantity of graphite added: 3wt%

Graphite particle size used: +200 - 150 mesh

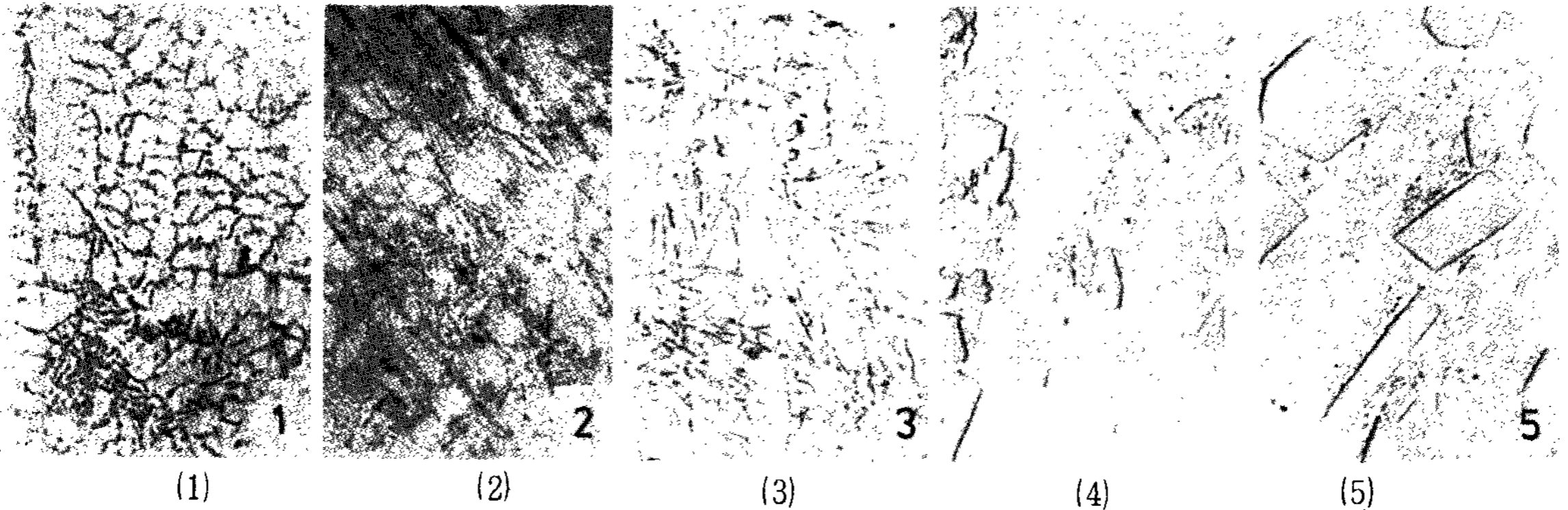


Fig.4 The microstructure of Al(16 ~ 18%) Si alloys (x200) (1)Al-6 wt.% Si (2)Al-9wt.% Si (3)Al-12 wt.% Si (4)Al-15 wt.% Si (5)Al-18 wt. % Si

Table.1 은 Si 함량을 변화시켜 흑연을 분산시키지 않은 것과 분산시킨 시편의 화학조성이다. 시료 No. 1 ~ No. 5 는 흑연을 첨가하지 않은 것이고, No. 6 ~ No. 10 은 흑연을 첨가한 시료이다. 흑연의 첨가량은 3 wt%이고 흑연입자의 크기는 -150 mesh ~ +200 mesh 크기이다.

예비실험 결과 Mg이 약 1%정도 일 때 흑연의 젖

음성 (wettability)이 좋았으므로, 시료 No. 6 ~ No. 10 번까지는 Mg을 약 0.9%정도 첨가시켜 흑연을 분산시켰다.

Fig.4는 흑연을 첨가하지 않은 조직 사진으로 Si 함량이 6~18%이다. Fig. 4에서 사진 (1)과 (2)는 α(Al)+공정의 가공 조직으로, 엷은 회색은 초정 α(Al)이고 검은색은 공정이다. 사진(4) 및 (5)는 과공

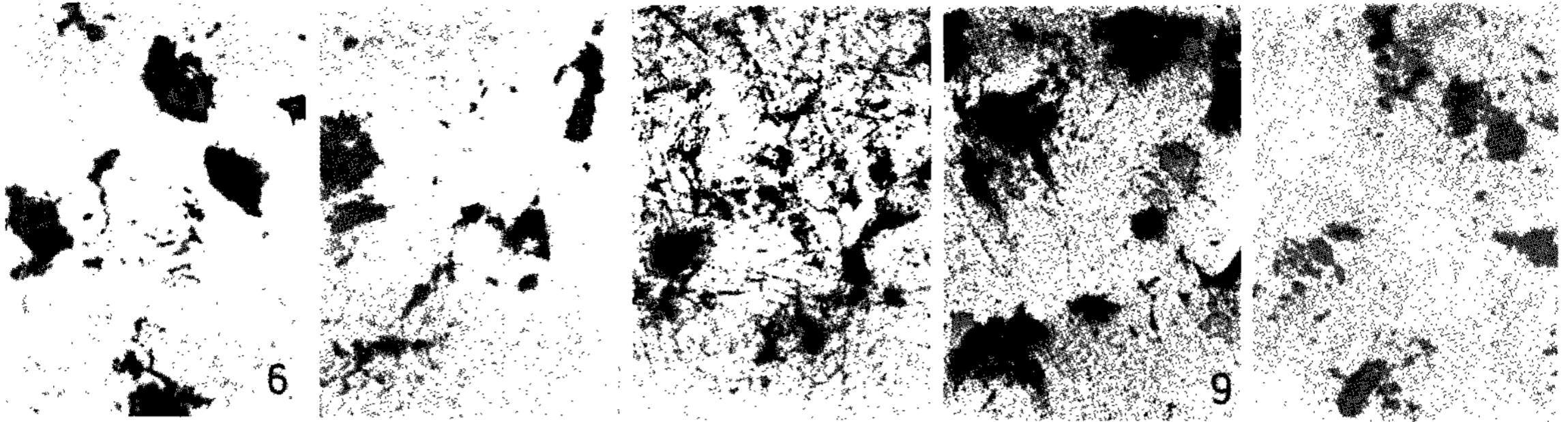


Fig.5 The microstructure of graphite dispersed Al-(6~18%) Si alloys (×200)
 (6) Al-6wt.% Si (7) Al-9wt.% Si (8) Al-12wt.% Si (9) Al-15wt.% Si
 (10) Al-18wt.% Si Note graphite added: 3wt.%

정 조직으로 공정과 다각형의 초정 Si이 나타났으며 Si 함량이 증가할 수록 초정 Si이 조대하게 정출되었음을 알 수 있다.

Fig.5는 흑연을 분산시킨 Al-Si 합금의 조직사진으로 흑연은 Si 함량에 관계없이 불규칙하게 분포되어 있다.

3-2 내마멸성에 미치는 Si 함량의 영향

Si 함량이 각각 6%, 9%, 12%, 15% 및 18% 인 Al-Si 합금에 대하여 일정한 하중하에서 마멸속도를 변화시킬 때의 마멸량을 Fig.6, Fig.7 및 Fig.8에 나타냈다. Fig.6은 하중을 2.1kg, 마멸거리를 100m로 일정하게 하고 마멸속도를 변화시키며 마멸량을 측정한 것이다. 마멸량은 2m/sec일때 최

대로 나타났고, Si 함량이 증가함에 따라 내마멸성은 커지고 아공정 조성이 과공정 조성보다 마멸량이 많다.

Fig.7은 Fig.6과 동일한 조건에서 하중을 3.2kg로 변화시킨 것으로 마멸량은 마멸속도가 증가됨에 따라 감소현상을 나타내고 있다. Fig.8은 하중을 6.3kg로 변화시킨 것으로 아공정보다 과공정이 내마멸성이 감소되었다. Fig.6의 2m/sec 부근에서 마멸된 미립자를 많이 관찰할 수 있었고 (Fig.10(a)), 이때 마멸량이 많은 것은 마멸된 미립자가 시편과 상대재 사이에서 연마제 역할을 하면서 마멸이 진행된 것으로 사료된다.

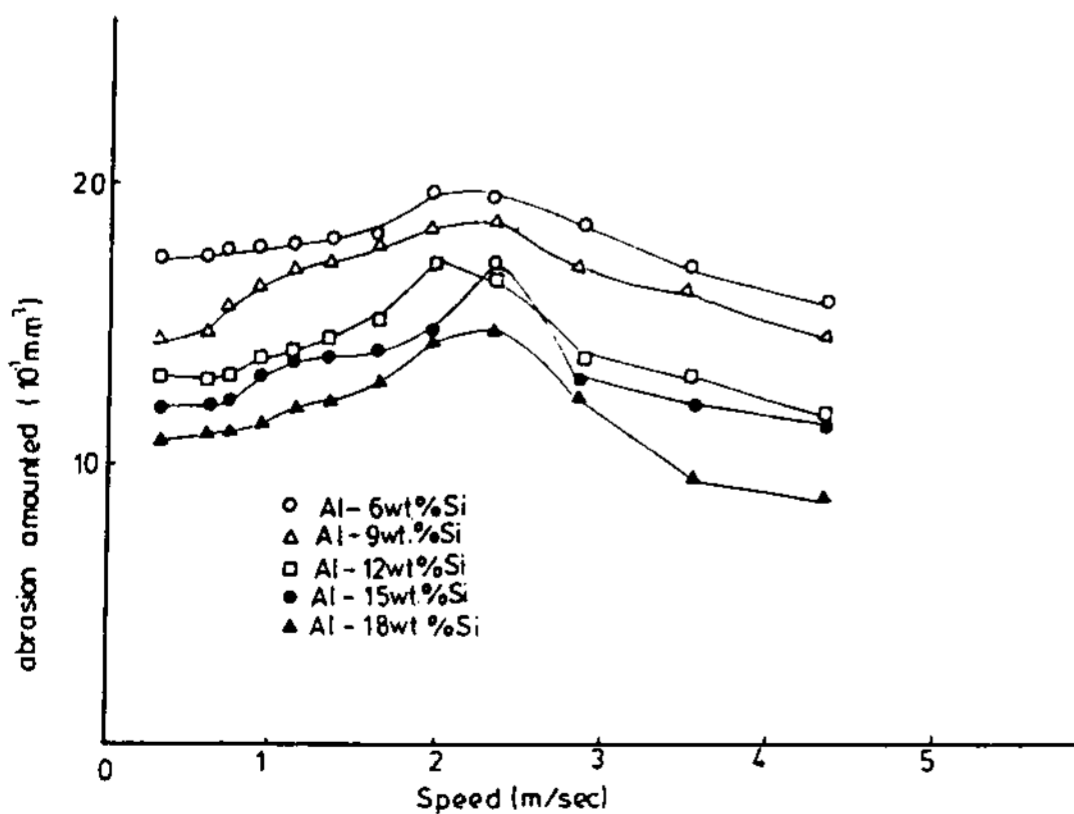


Fig.6 Relation between abrasion speed and amount abraded (abrasion distance:100m, final load:2.1kg)

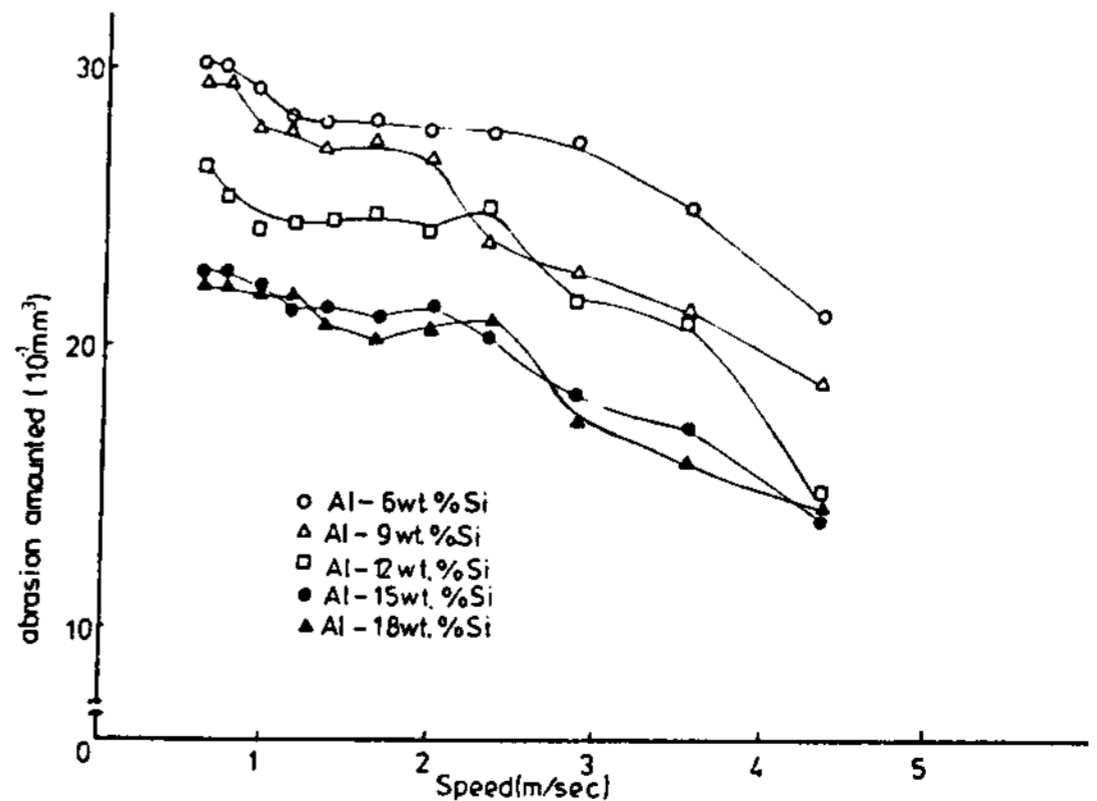


Fig.7 Relation between abrasion Speed and amount abraded (abrasion distance:100m, final load:3.2kg)

Fig.6, Fig.7 및 Fig.8에서 마멸속도에 따른 마멸량의 저하는 연삭마멸로 마멸량이 최대가 된 이후

에는 마찰속도가 증가함에 따라 마찰지점에서 국부적인 고온 현상으로 미립자들이 용융 또는 연화 되어서 상대재나 시편에 용착되어 마멸량이 감소한 것으로 사료되며 이는 Hayama²⁾의 연구결과와 같다.

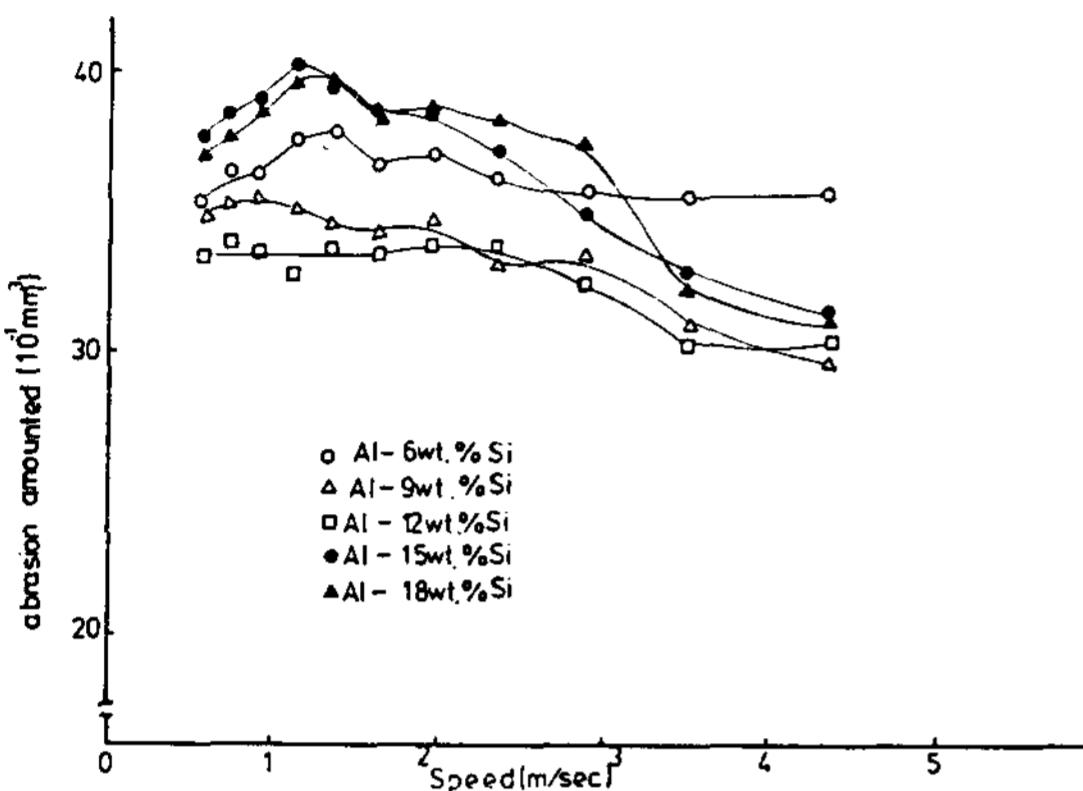


Fig. 8 Relation between abrasion speed and amount abraded (abrasion distance: 100m, final load: 6.3 kg)

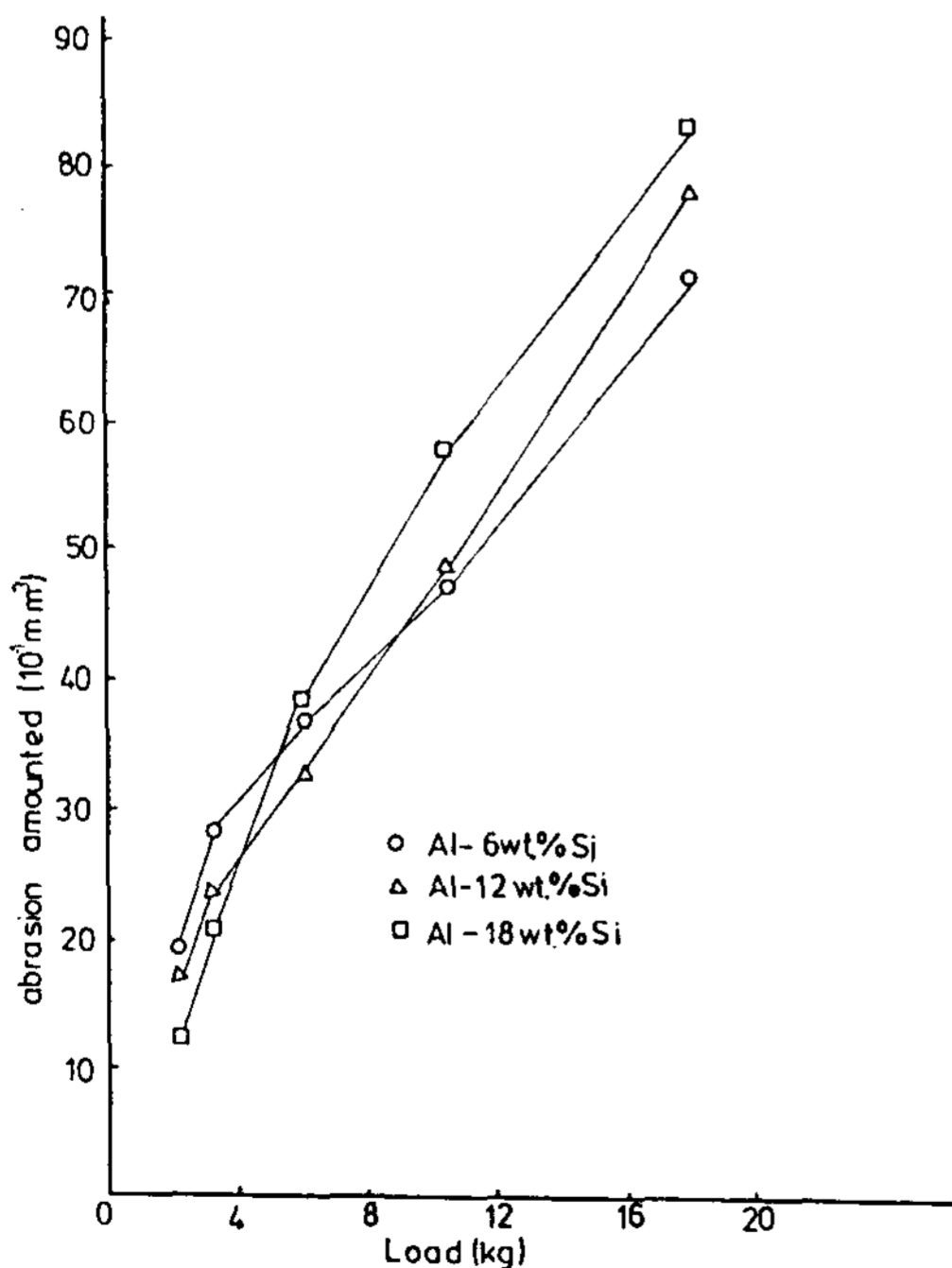


Fig. 9 Relation between final load and amount abraded (abrasion distance : 100 m, abrasion speed : 1.98 m / sec)

Fig. 9는 마찰속도를 1.98m/sec로 일정하게 하고 하중을 변화시키며 마멸량을 나타낸 것으로 하중이 2.1 kg 및 3.2 kg에서는 아공정이 마멸량이 많지만, 하중이 5 kg 이상으로 증가되면 아공정의 마멸량이 오히려 적게 나타났다. Rabinowicz⁸⁾의 마멸이론식에서 마멸량은 하중에 비례한다는 것과 같이, 본 실험에서도 하중에 따라 직선적인 경향을 나타냈다. 하중이 작을 때는 초정 Si이 내마멸성을 향상시키지만, 하중이 크면 초정 Si이 파괴되어 (Fig. 10, (d)) 이것이 마멸촉진제로 작용해서 심한 마멸이 일어난 것으로 사료된다.

Fig. 10은 전자현미경 (SEM, 25kv)으로 관찰한 마멸흔 (wear track)으로 마멸거리 100m, 마찰속도 1.98 m / sec인 경우이다. 아공정의 경우 하중이 2.1 kg에서 18.9 kg으로 증가되면 심한 마멸현상이 일어남 (Fig. 10 (b))을 알 수 있었고, 과공정에서는 아공정과 동일한 하중 증가일 때 취성이 강한 초정 Si이 파괴 (Fig. 10 (d))되어 있는 것이 관찰되었다.

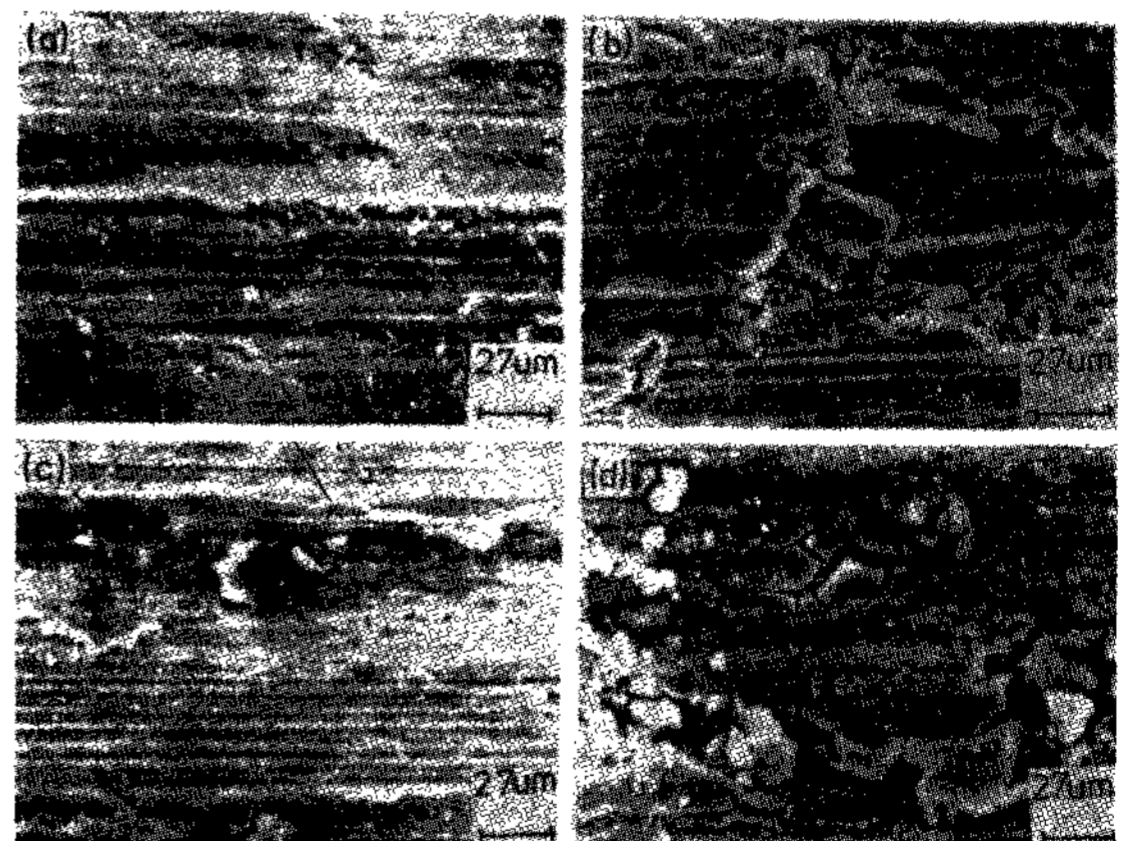


Fig. 10. Scanning electron microscopy of wear tracks of Al-Si alloys

- (a) Al- 6wt.%Si (final load: 2.1 kg)
- (b) Al- 6wt.%Si (final load: 18.9 kg)
- (c) Al- 15wt.%Si (final load: 2.1 kg)
- (d) Al- 15wt.%Si (final load: 18.9 kg)

3-3 흑연을 분산시킨 시료의 내마멸성

흑연을 분산시킨 시료의 경도와 흑연을 분산시키지 않은 시료의 경도값을 Fig. 11에 비교하였다. 흑연을 분산시킨 시료는 Si 함량에 관계없이 흑연을 분산시키지 않은 것보다 경도값이 낮게 나타났다.

흑연을 3wt% 분산시킨 Al-Si 합금의 마찰속도와

마멸량의 관계는 Fig.12 및 Fig.13과 같다. Fig.12는 하중을 2.1kg으로 일정하게 하고 마찰속도를 증가시킨 경우로, 마찰속도가 느린 부분에서는 마멸량이

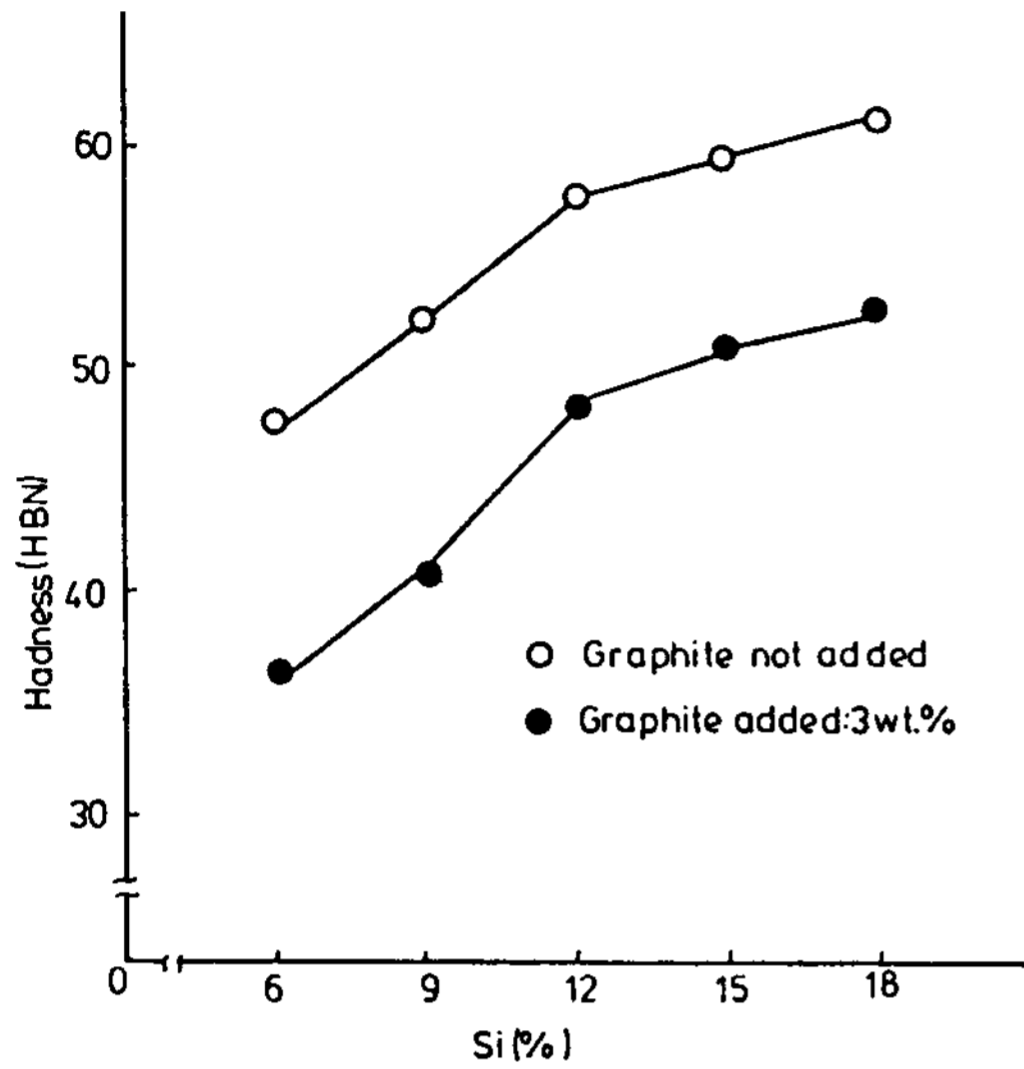


Fig.11 Relation between hardness and Si contents of Al-Si alloys

적지만 속도가 빨라짐에 따라 약 2 m/sec 부근까지는 급격한 증가를 나타낸다.

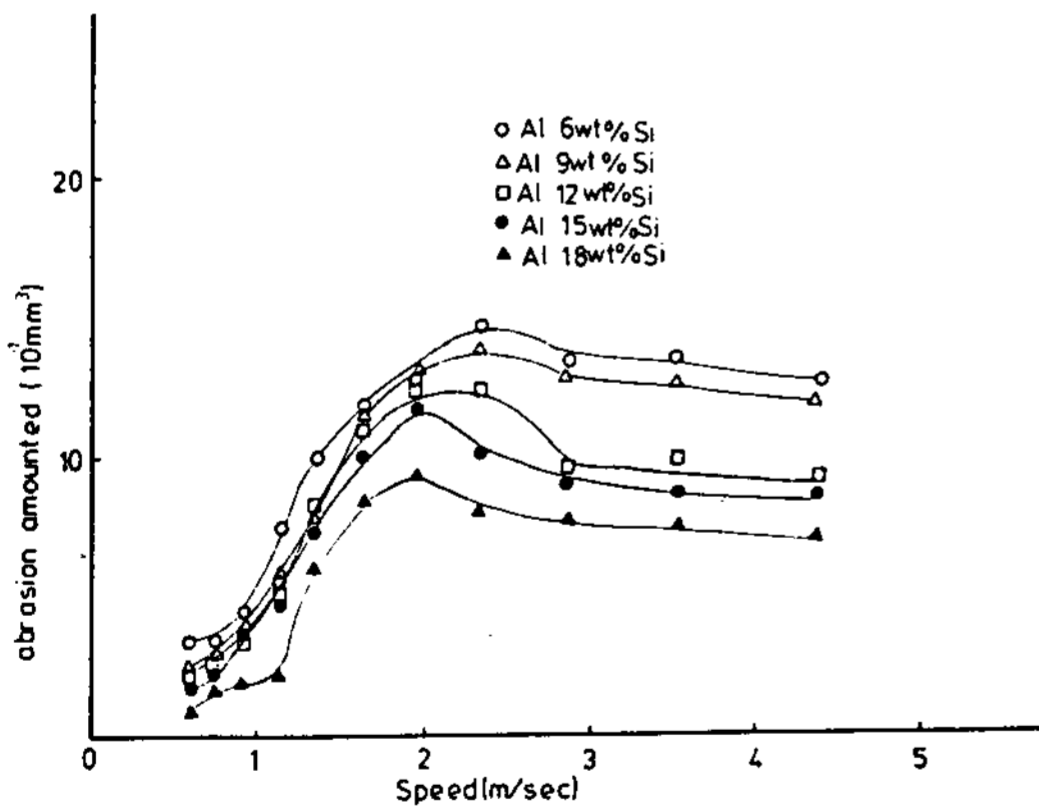


Fig.12 Relation between abrasion speed and amount abr load (abrasion distance: 100m, final:2.1kg) NOTE: graphite added:3wt.%

Fig.13은 하중을 3.2 kg으로 증가시킨 경우이며, 전체적인 마멸량은 증가하였으나 그 경향은 Fig. 12와 유사하다.

흑연을 분산시킨 시료 (Fig.12 및 13)은 흑연을 분산시키지 않은 시료 (Fig.6 및 7)에 비하여 내마

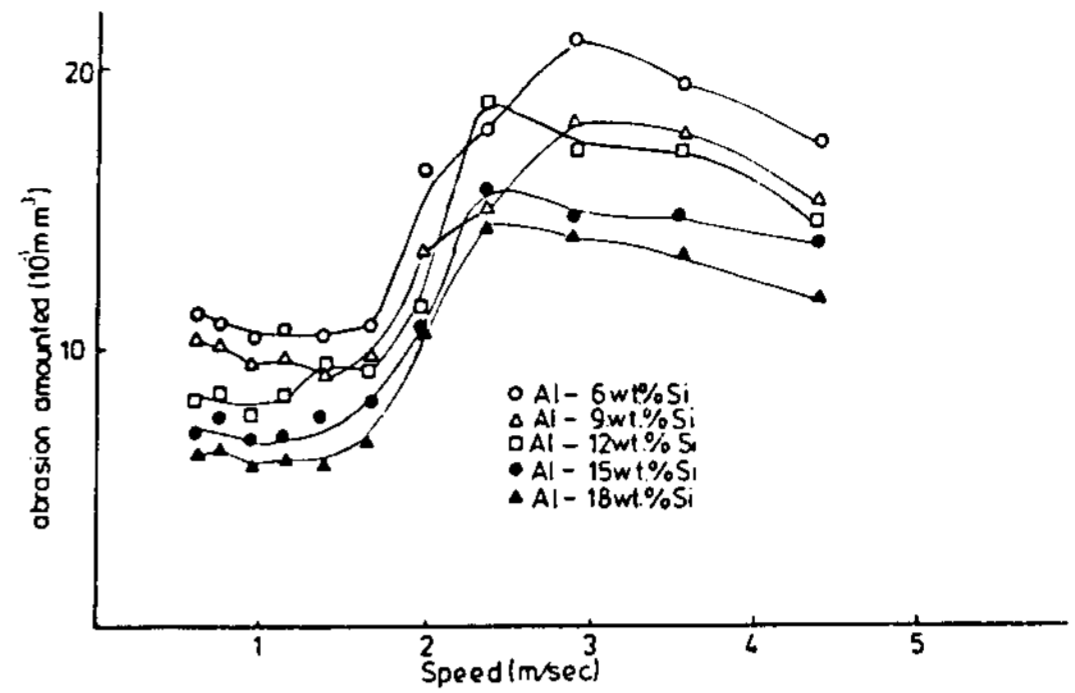


Fig.13 Relation between abrasion and amount abraded (abrasion distance:100m, final load:3.2 kg)

NOTE: graphite added:3 wt.%

멸성이 현저하게 증가되었음을 알 수 있다. 또한 마찰속도가 느린 구역 (2 m/sec 이하)에서는 흑연의 첨가효과가 크게 나타났는데, 마멸에 의해 생긴 미립자가 마멸촉진제로 작용할 때 흑연이 고체윤활제로 작용하므로 마멸량이 감소되었고, 마찰속도가 빠른 구역에서는 흑연의 첨가효과가 현저하게 나타나지 않았다.

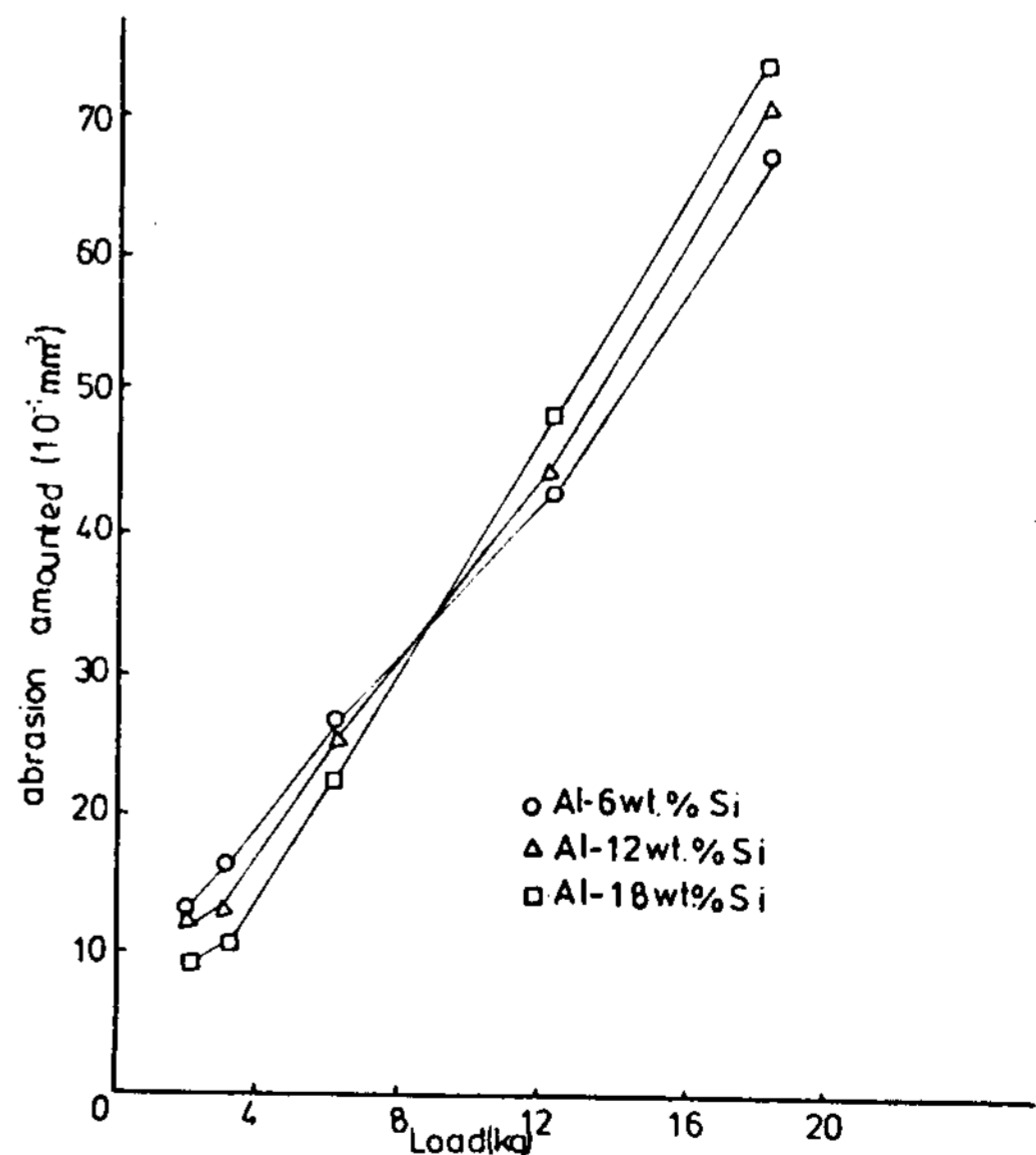


Fig.14 Relation between final load and amount abraded (abrasion distance: 100m, abrasion speed:1.98m/sec) NOTE: graphite added:3 wt.%,

Fig.14는 흑연을 분산시킨 시료를 마찰속도는1.96 m/sec로 일정하게 하고, 하중을 변화시킨 경우, 하중

과 마멸량의 관계이다. 흑연을 분산시킨 시료 (Fig. 14) 는 분산시키지 않은 것 (Fig.9) 에 비하여 마멸

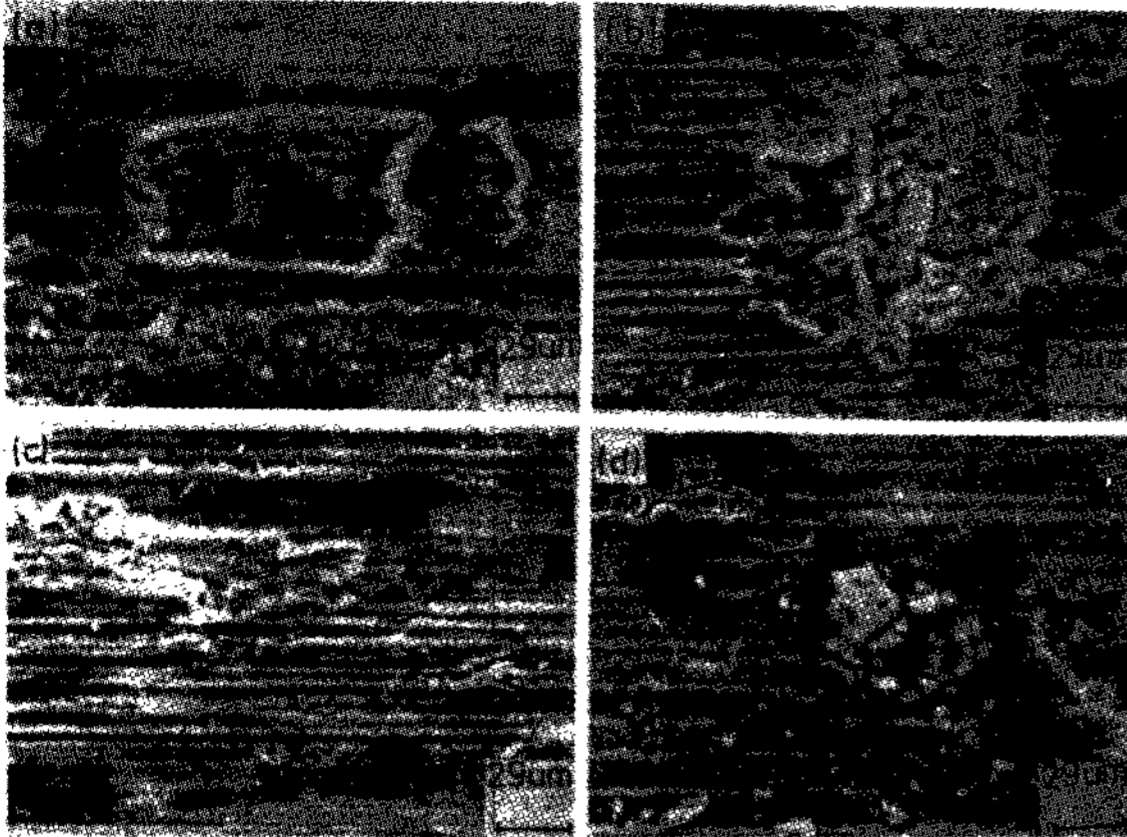


Fig.15 Scanning electron microscopy of wear tracks of Al-Si alloys

- (a) Al- 6wt.%Si (final load:2.1 kg)
- (b) Al- 6wt.%Si (final load:18.9 kg)
- (c) Al-15wt.%Si (final load:2.1 kg)
- (d) Al-15wt.%Si (final load:18.9 kg)

NOTE : graphite added:3wt.%

량이 감소하였고, 하중과 마멸량과의 관계는 하중이 6.3 kg 이하에서는 과공정이 아공정보다 내마멸성이 좋지만, 하중이 증대되면 아공정의 경우가 과공정보다 내마멸성이 좋게 나타났다.

Fig.14에서 Si 함량에 관계없이 하중의 증가에 따라 마멸량은 직선적으로 증가하였다. 하중이 작을 때 (2.1 kg, 3.2 kg) 는 흑연의 첨가로 내마멸성은 크게 증대되지만, 하중이 6.3 kg 이상에서는 그 경향이 현저하지 못했다. 이는 흑연의 윤활작용이 하중에 의해 지배받고 있으며, 흑연을 분산시킨 시료에서 내마멸성이 증대되는 것은 흑연이 고체 윤활제로 작용하는 좋은 성질을 갖고 있기 때문으로 사료된다.

Fig.15는 흑연을 분산시킨 시료에 대한 마멸흔 (wear track) 의 전자현미경 (SEM) 사진이다. 하중이 작은 부분에서는 긁힘이 심하지 않지만 하중이 증가되면 마멸흔 부분에 심한 밀림이 나타나고, 특히 과공정에서는 경질인 초정 Si 이 파괴되었음을 알 수 있으며, 파괴된 Si 의 입자가 마멸분으로 작용한 흔적을 관찰할 수 있다.

4. 결 론

Al-Si 합금과 그 합금에 금속을 피복시키지 않은

흑연을 Vortex 방법으로 첨가하여 마멸실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 합금의 조성별 마멸량과 하중의 관계는 하중이 작으면 과공정조성의 내마멸성이 크고, 하중이 크면 아공정조성의 내마멸성이 크다.
2. Si 함량에 관계없이 하중의 증가에 따라 마멸량은 직선적으로 증가한다.
3. 흑연을 분산시키면 흑연이 고체 윤활제로 작용하여 내마멸성이 향상된다.
4. 흑연을 분산시킨 시료에서 마찰속도가 2 m / sec 이하인 경우에 내마멸성의 향상이 더욱 현저하다.

REFERENCE

1. B.C. Pai, P.K. Rohatgi: J. Met. Sci. 13 (1978) 329-335.
2. F.A. Badia, P.K. Rohatgi: AFS (1967) 402-406.
3. B.C. Pai, P.K. Rohatgi: Wear 30 (1974) 117-125.
4. M.K. Surappa, P.K. Rohatgi: Met. Tech. 10 (1978) 358-361.
5. F.A. Badia: AFS (1971) 347-350.
6. Masateru Suwa, Katsuhiko Komuro: J. Jap. Inst. Met. 40 10 (1976) 1074.
7. C. Woong Kil, H. Choo Hwa: J. Korean Inst. Met. 17 6 (1979) 474.
8. K. Okabayshi, M. Kawamoto: Jpn. Inst. Light Metals 16, 1 (1966) 38-45.
9. K. Okabayshi, M. Kawamoto: Bull. Univ. Osakhefect, Ser. A, 17 (1) (1967) 19.9
10. A.J. Clegg, A.A. Das: Wear 43 (1977), 357-373.
11. A.D. Sakar: Wear 31 (1975) 331-343.
12. Shinjo Hitoshi, Hayama Fusao: J. Jpn. Inst. Light Metals 21, 3(1971) 103-110.
13. A.M. Patton, J. Inst: Met. 100 (1972) 197.
14. R. Mehrabian, N.S. Flemings: Met. Trans. 5 (1974) 1899.
15. R. Mehrabian, A. Sato, M.C. Flemings: Light Met. 2 (1975), 177.
16. A. Sato, R. Mehrabian: Met. Trans. 7B (1976) 443.
17. P.K. Rohatg, B.C. Pa I, S.C. Pan Da: J. Mater. Sci. 14 (1979) 2277.
18. E. Rabinowicz: Mat. Sci. Eng. 25 (1976) 23-28.
19. P.K. Rohatgi: Met. Sci. Eng. 26 (1976) 115-112.