

(論 文)

동계 소결마찰재에 대한 흑연함량과 형상의 영향

최병호* · 이종형** · 송경태***

(1994년 12월 16일 접수)

Influence of Graphite Content and Shape on the Cu-Based Sintered Friction Materials

Byung-Ho Choi, Jong-Hyung Lee and Kyung-Tae Song

Key Words : Cu-Based Sintered Friction Materials(동계 소결마찰재), Graphite(흑연), Coefficient of Friction(마찰계수), Wear Rate(마모율)

Abstract

Influence of frictional and mechanical properties was studied with the content (8~18 wt.%) and shapes(flake or irregular) of graphite that was used as lubricant components of copper-based sintered materials. The density, hardness and bending strength of friction materials with the shape of flake graphite were lower and decreased rapidly than that of irregular, as the content of graphite increases up to 18 wt.%. In friction test, wear rate was about $2.0\sim 2.5\times 10^{-7}$ cm³/kgf·m and coefficient of friction was 0.30~0.37, independent on graphite content and shape. As the temperature of friction materials increased, wear rate decreased rapidly because oxides such as Cu₂O and SnO₂ in the surface of friction material were formed.

1. 서 론

1930년대 이후 건식용 마찰재로서 석면계가 주로 보급되었으나 석면계 마찰재는 고장력, 고부하에서 마찰특성이 나쁘고, 환경 및 인체에 유해한 것으로 평가되어 비석면계 마찰재 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 높은 마찰열에서도 마찰특성이 양호하게 유지되는 동(Cu)계, 철(Fe)계와 같은 금속분말과 비금속분말을 사용한 금속계 소결마찰재가 최근 고부하용 자동차, 고속전철 등에 브레이크라이닝이나 클러치페이싱에 사용되어지고 있다.^(1~5)

금속계 소결 마찰재료는 기지금속성분, 윤활성분, 마찰조정성분과 같이 크게 세가지 주요성분으

로 분류되는데, 각각의 성분 모두가 마찰재의 성능에 영향을 미치지만, 특히, 윤활성분은 기계적 물리적 특성에 상당한 영향을 미친다. 건식 마찰재에서 많이 사용되는 대표적인 고상 윤활성분은 흑연, 납, MoS₂ 등이 이용되는데, 흑연이 일반적으로 가장 많이 사용되고 있으며 마찰특성은 흑연분말의 입자크기, 형상, 첨가량에 따라 달라진다. 그러나 금속 소결마찰재에서 흑연의 입자크기와 함량에 대한 연구가 일부 발표되었으나^(6~8) 흑연함량과 형상을 모두 고찰한 논문은 거의 찾아 볼 수 없는 실정이다.

본 연구에서는 동계 금속 소결마찰재 제조에 관한 내용으로 동과 주석의 비율을 9:1로 정하고, 마찰재로서는 규사물, 마찰안정재로서 철분을 일정 비율로 정한 다음 인조흑연 첨가에 따른 금속 소결 마찰재의 특성을 고찰하였다. 이때 선택한 흑연은 일정한 입자크기이며 흑연 형상을 편상(flake)과

*금오공과대학교 재료공학과

**회원, 금오공과대학 생산기계공학과

***회원, 금오공과대학교 대학원

불규칙형 (irregular)으로 구분하고, 흑연함량은 8~18 wt. %로 변화시켜 만든 마찰재의 기계적 물리적 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

마찰재 시험편은 Fig. 1과 같은 제조공정으로 제조하였다. 사용한 원료분말의 특성은 Table 1과 같고 각 원료분말의 혼합비는 Table 2와 같이 선정하였으며, 동과 주석의 비율을 9:1로 일정하게 유지하면서 흑연의 형상은 입자크기 분포가 Fig. 2와 같은 편상과 불규칙형으로 구분하여 흑연함량을 8~18 wt. %로 변화시켰다.

각각의 원료분말을 혼합비에 따라 편량한 다음 Y-cone type 혼합기에서 40 rpm으로 30분간 혼합하였다. 흑연은 혼합과정에서 동분말의 표면에 흑연막을 형성시켜 소결과정에서 기지금속의 소결을 저해하므로⁽²⁾ 혼합완료 10분전에 혼합기에 첨가하였다. 혼합이 완료된 분말을 SKD11 열간다이싱강

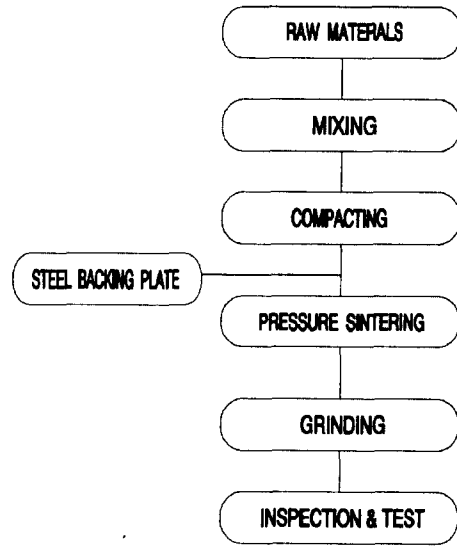


Fig. 1 Flow diagram of the manufacturing processes of friction materials

Table 1 Characteristics of raw materials

Raw materials	Copper	Tin	Graphite	Silica	Iron	
Particle size (mesh)	-200	-325	-45+100	-100	-100	
Particle shape	Dendritic	Spherical	Flake	Irregular	Sharp edge	Irregular
Apparent density (g/cm ³)	1.50	3.51	0.41	0.77	1.13	2.70
Purity (%)	99.5	99.5	99.9	98	99.8	98
Supplier	Changsung	Changsung	Lonza	Lonza	Koryeo	Kawasaki

Table 2 Compositions and weight percents of Cu-based sintered friction materials

Graphite	Copper	Tin	Silica	Iron	Theoretical density (g/cm ³)
wt. %	wt. %	wt. %	wt. %	wt. %	
8	76.5	8.5	6	1	6.315
10	74.7	8.3	6	1	6.049
12	72.9	8.1	6	1	5.804
14	71.1	7.9	6	1	5.579
16	69.3	7.7	6	1	5.370
18	67.5	7.5	6	1	5.176

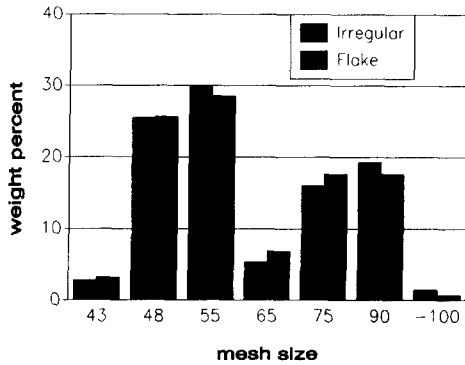


Fig. 2 Particle size distributions of graphite powder

의 die에 19.5 g을 붓고 100 ton 용량의 프레스에서 4 ton/cm²의 압축압력으로 압축성형하였다. 이때 시험편의 크기는 40 mm ϕ × 3.5 mm t이었다.

소결 제조공정은 hot press를 이용하여 가열속도 10 °C/min으로 840 °C까지 가열하여 고순도(순도 99.999%) 질소분위기에서 압력 25 kgf/cm² 상태에서 60분 가열하였다. 그후 냉각속도는 20 °C/min으로 시료를 냉각시켰다.

마찰특성은 정속식 마찰시험기를 이용하였으며,⁽⁹⁾ 크기가 25 × 25 mm이고 성분이 같은 두개의 시험편에 5 kgf/cm²의 압착력을 가하여 500 rpm으로 마찰판(회주철)을 회전시켜서 마찰계수(μ)와 마모율(V)을 식 (1)과 식 (2)에서 계산하였다. 시험편과 마찰판이 상대운동에 의한 마찰력은 load cell을 이용하여 기록하였다.

$$\mu = \frac{f}{F} \quad (1)$$

여기서,

μ : 마찰계수

f : 마찰력 (kgf)

F : 시험편에 가하는 전체 압착력 (kgf)

$$V = \frac{1}{2\pi R} \frac{A}{n} \frac{d_1 - d_2}{f_m} \\ = 1.06 \frac{A}{n} \frac{d_1 - d_2}{f_m} \times 10^{-3} \quad (2)$$

여기서,

V : 마모율 (단위일당량 마모율: 10^{-7} cm³/kgf·m)

R : 시험편 중심과 마찰판 회전축 중심의 거리 (150 mm)

n : 시험시 디스크의 회전수

A : 시험편 마찰면의 총 면적 (mm²)

d_1 : 시험전, 시험편의 평균두께 (mm)

d_2 : 시험후, 시험편의 평균두께 (mm)

f_m : 시험시 평균 마찰력 (kgf)

분말의 겉보기 밀도는 hall flowmeter로 측정하였으며⁽¹⁰⁾ 성형체와 소결체의 밀도는 기름침수법⁽¹¹⁾으로, 시험편의 경도는 록크웰 경도기 1/2" 강구 압입체를 이용하여 시험편 표면을 탄화규소 연마지 (1000 mesh)로 연마하여, 5곳을 측정하여 평균값을 취하였으며, 굽힘강도는 13 × 32 mm 크기의 시험편을 이용하여 ASTM 규격⁽¹²⁾에 의한 굽힘시험기를 제작하여 측정하였다. 또한 XRD(X-Ray Diffraction), SEM(Scanning Electron Microscope, Hitachi Model S-2400) 및 ESCA(Electron Spectroscopy for Analysis)로 마찰시험후의 마찰표면을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 흑연함량에 따른 밀도

성형 및 소결후 밀도와 기공률은 기름침수법으로 측정된 결과는 Fig. 3, Fig. 4와 같다. Fig. 3에서 편상과 불규칙형 모두 흑연의 함량이 증가할수록 성형밀도는 선형적으로 감소하였다. 반면 기공율은 함량증가에 따라 선형적으로 증가하며 편상은 15~17.7%범위이고, 불규칙형은 12.5~15%범위로 편상이 높았다. 편상과 불규칙형의 성형밀도 차이는 분말의 형상 및 크기에 따라 달라지는 분말고유의 특성인, 겉보기 밀도차이 때문인데, hall flowmeter로 측정된 편상의 겉보기 밀도는 0.41

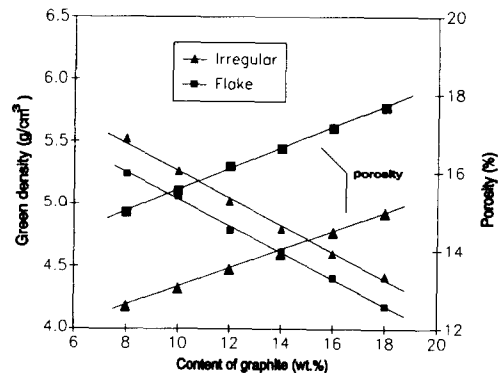


Fig. 3 Green density with the content of graphite

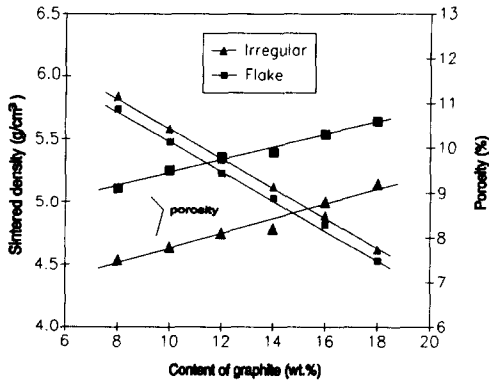


Fig. 4 Sintered density with the content of graphite



(a) 8 wt.% irregular graphite



(b) 18 wt.% irregular graphite

Fig. 5 Microstructure of Cu-based sintered friction materials

g/cm³이고 불규칙형은 0.77 g/cm³으로 편상보다 약 2배 높다. 따라서 편상의 경우 성형밀도를 높이기 위해서는 불규칙형보다 큰 성형압력이 요구된다.

소결후의 밀도는 Fig. 4와 같이 편상이 불규칙형보다 조금 낮고 함량 증가에 따라 감소하였다.

Fig. 4도 Fig. 3과 같은 경향을 나타내며 소결밀도는 편상은 4.55~5.72 g/cm³, 불규칙형은 4.62~5.80 g/cm³범위이며, 기공률은 각각 7.5~9.1%, 7.7~10.6%범위이었다. 미세조직을 광학현미경으로 관찰해 본 결과, Fig. 5와 같다. Fig. 5를 보면 입자크기가 초기평균 입자크기인 75 μm에서 약 100~120 μm정도로 입자성장이 일어났으며, 비교적 치밀화가 이루어진 조직을 관찰할 수 있었다.

3.2 흑연함량에 따른 경도와 굽힘강도

마찰재 시험편의 경도를 측정한 결과는 Fig. 6이며 흑연함량 증가에 따라 선형적으로 감소함을 알 수 있고 흑연형상에 대한 경도차이는 8 wt.%일 때는 크지 않으나 흑연함량이 점차 증가함에 따라 경도값은 감소하는 것을 볼 수 있었다. 그 이유는 Fig. 4에서 보듯이 흑연함량의 증가에 따른 기공률의 증가와 흑연분말의 강도때문인 것으로 여겨진다.

마찰재 시험편의 제조공정에서 경도에 영향을 미치는 주요변수는 성형압력과 소결압력인데, Krysin과 Lebedeva⁽¹³⁾ 등은 소결압력 25 kgf/cm²까지는 소결압력 증가에 따라 경도는 증가하였으며, 소결압력 30 kgf/cm² 일때는 더 이상의 경도증가가 없고, 30 kgf/cm²이상의 소결압력에서는 시험편이 변형되었으며, 성형압력은 2, 4, 6, 8 kgf/cm²로 했을때 성형압력 증가에 따라 경도는 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서는 소결압력이 30 kgf/cm² 일때 소결중 소결 시험편에 존재하는 주석이 유출되어 오히려 기공율은 25 kgf/cm²때 보다 증가하고 경도는 감소하는 경향이 있었다.

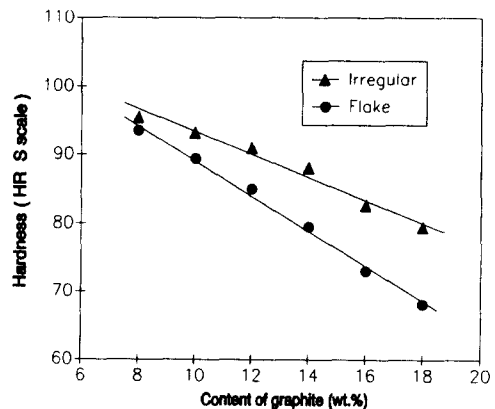


Fig. 6 Hardness with the content of graphite

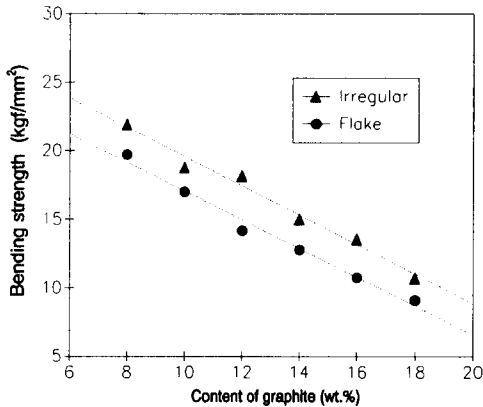


Fig. 7 Bending strength with the content of graphite

마찰재의 회전과괴시 가장 큰 영향을 주는 굽힘강도의 측정결과는 Fig. 7과 같다.

Fig. 7에 의하면 흑연함량이 8 wt. %일때 굽힘강도는 19.5~22 kgf/mm² 이었으나, 흑연함량이 증가할수록 선형적으로 감소하여 흑연함량이 18 wt. %일때 9.2~10.3 kgf/mm²까지 감소하였다. 소결과정중에 비금속 첨가물은 동과 주석의 금속분말과 반응하지 않고, 비금속분말이 많을수록 기지 금속의 소결을 방해하기 때문에 흑연이 많을수록 굽힘강도는 저하된다. 보통 금속 소결마찰재의 굽힘강도는 10~30 kgf/mm²으로 알려져 있는데,⁽¹⁴⁾ 굽힘강도 실험결과로는 본 연구에서 흑연함량은 18 wt. %까지 첨가하면 최소 굽힘강도의 요구조건을 충족할 수 없을 것으로 평가된다.

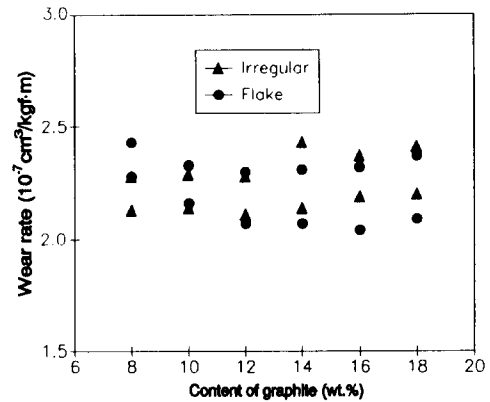
3.3 흑연함량에 따른 마찰특성

정속식 마찰시험기를 이용하여 흑연의 함량에 따라 마찰온도 100 °C에서 10분간 마찰시험한 결과 마모율과 마찰계수는 Fig. 8과 같다.

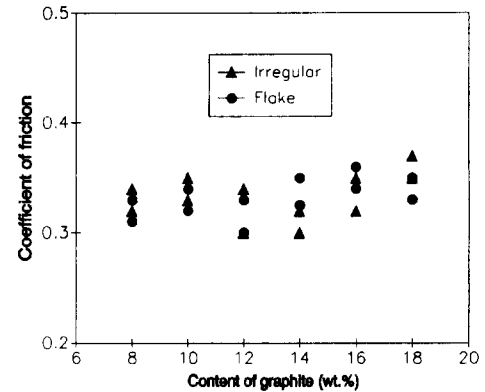
Fig. 8에서 보는 바와 같이 흑연함량이 8~18 wt. %범위에서 흑연형상에 큰 차이가 없이, 마모율은 2.0~2.7×10⁻⁷ cm³/kgf·m범위이며, 마찰계수는 0.30~0.37범위로 고부하용 마찰재로서 비교적 양호한 편이었다.

3.4 마찰온도 변화에 의한 마찰특성

동계 소결마찰재는 고부하시 마찰온도가 350 °C 이내로 유지되는 곳에 적용되며 350 °C 이상의 높은 마찰온도가 발생하는 경우는 철계 마찰재가 적용되는 것이 일반적이다. 그리고, 고부하시 마찰온도가



(a) Wear rate

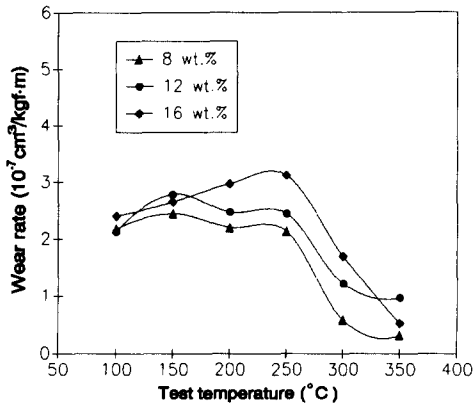


(b) Coefficient of friction

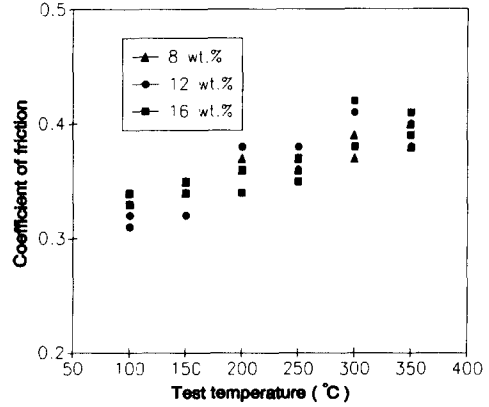
Fig. 8 Friction properties with the content of graphite

높을 경우 마모율과 마찰계수가 불안정하고 고온에서 마찰계수가 떨어지는 경향이 있기 때문에, 본 연구에서 흑연함량이 8, 12, 16 wt. %일때 마찰온도 100~350 °C 범위에서 각각 10분간 마찰시험을 행하여 마모율과 마찰계수를 측정한 결과는 Fig. 9, Fig. 10과 같다. 흑연함량에 따라 마모율을 비교해 보면 Fig. 9(a)의 불규칙 흑연을 첨가했을 경우, 흑연함량 증가에 따라 100 °C에서는 마모율이 비슷하였지만, 온도가 상승하므로 약간 증가하였으나 250 °C 이상에서는 마모율이 급격히 감소하였다. Fig. 9(b)를 보면 편상 흑연의 경우도 불규칙형과 유사한 경향을 나타내었다.

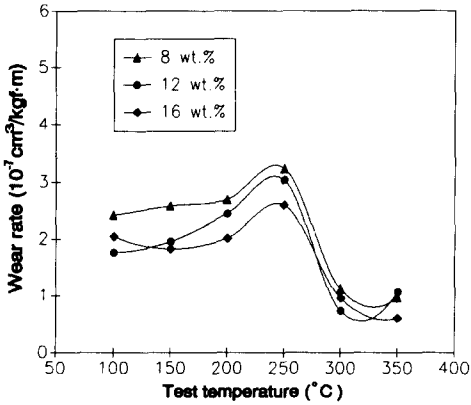
Fig. 10에서 마찰온도에 따른 마찰계수는 0.30~0.35이었으나, 온도가 상승하므로 흑연형상에 관계없이 300~350 °C부근에서 0.37~0.46으로 증가하였다.



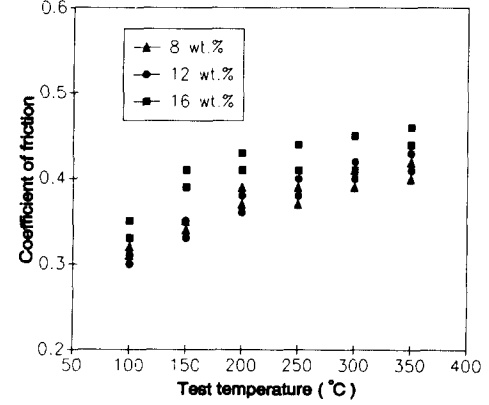
(a) Irregular graphite



(a) Irregular graphite



(b) Flake graphite



(b) Flake graphite

Fig. 9 Wear rate of specimen with 8, 12, 16 wt.% added graphite as a function of friction temperature

Fig. 10 Coefficient of friction of specimen with 8, 12, 16 wt.% added graphite as a function of friction temperature

마찰온도 증가에 따라 마모률의 감소와 마찰계수 증가요인은 고온마찰시 시험편의 마찰표면에서 기지금속인 동과 주석이 공기중의 산소와 화학반응하여 시험편의 표면을 부동화(passivation)되므로 내마모성이 향상된 것으로 생각된다. 실제로 마찰시험을 마친 다음 시험편의 표면 광택층을 제거하기 전과 후에 표면에 존재하는 화합물을 XRD로 분석한 결과, Fig. 11(a), (b)에서처럼 고온마찰시 시험편의 마찰표면에 Cu_2O , CuO 및 SnO_2 등의 산화물이 형성되었음을 알수있다. 또한 Fig. 11(a)의 표면 광택층을 ESCA로 분석한 결과, Fig. 12에서와 같이 표면에 산화물이 존재하고 있음을 다시 확인할 수 있었다.

4. 결 론

이상의 실험을 통하여 동계 소결마찰재에 대한 흑연 형상과 함량의 영향에 대한 연구결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 편상 흑연을 첨가한 시험편의 경우 불규칙형 흑연보다 더 낮은 밀도와 높은 기공률을 나타내었다.

(2) 편상 흑연을 첨가한 시험편의 경우 경도와 굽힘강도가 불규칙형 흑연보다 낮았다. 그 이유는 편상 흑연을 첨가한 시험편의 기공률이 높기 때문인 것으로 여겨진다.

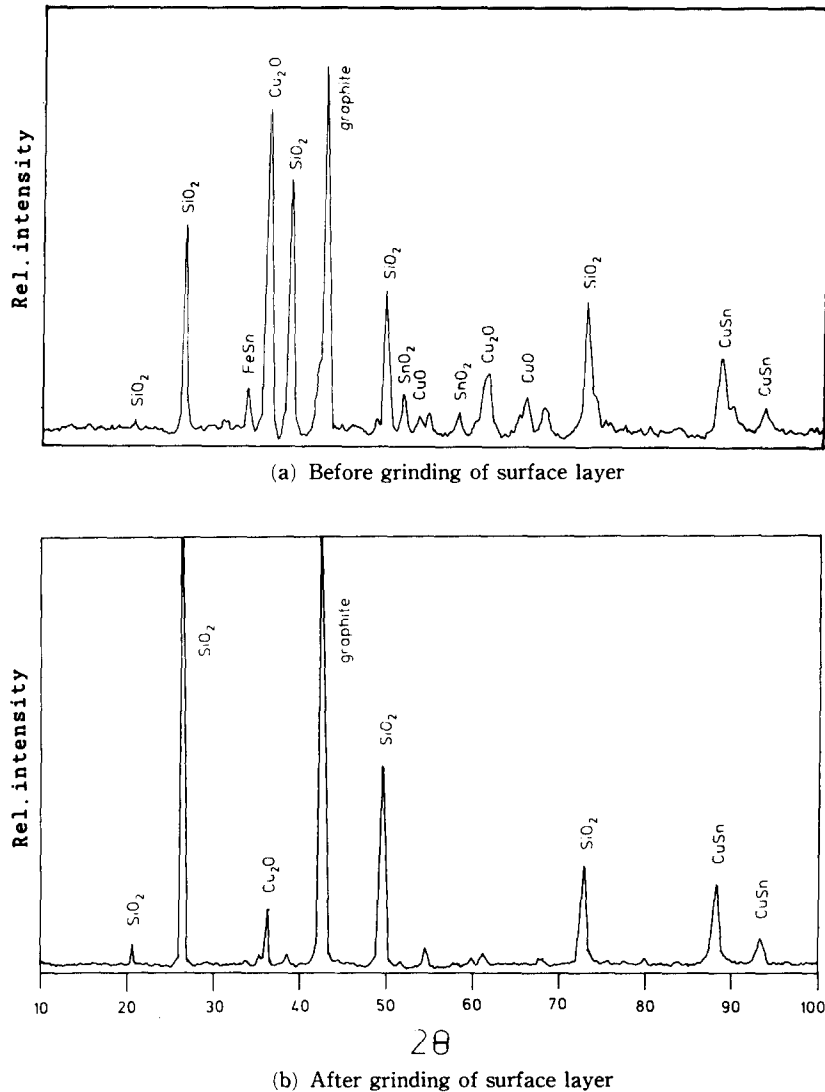


Fig. 11 XRD analysis of sliding surface

(3) 흑연함량을 8~18 wt.%까지 첨가했을때, 굽힘강도는 선형적으로, 즉 20~22에서 9~11 kgf/mm²로 감소하였다.

(4) 마모시험에서 흑연함량과 형상에 관계없이 마모률은 $2.0 \sim 2.5 \times 10^{-7}$ cm³/kgf·m, 마찰계수는 0.30~0.37이었다.

(5) 마찰온도 변화에 따른 마모률은 300℃ 이상에서 급격히 감소하였으며, 반면 마찰계수는 0.30~0.35에서 0.37~0.46으로 증가하였다. 그 이유

는 마찰온도 상승시 공기중의 산소와 반응하여 산화물을 형성하였기 때문이다. 그 결과 내마모성이 향상되었다.

(6) 이상과 같은 결론에서 흑연형상은 불규칙형이 고상 윤택성분으로 적합하며 함량은 15 wt.%가 넘지 않는것이 바람직한 것으로 평가된다.

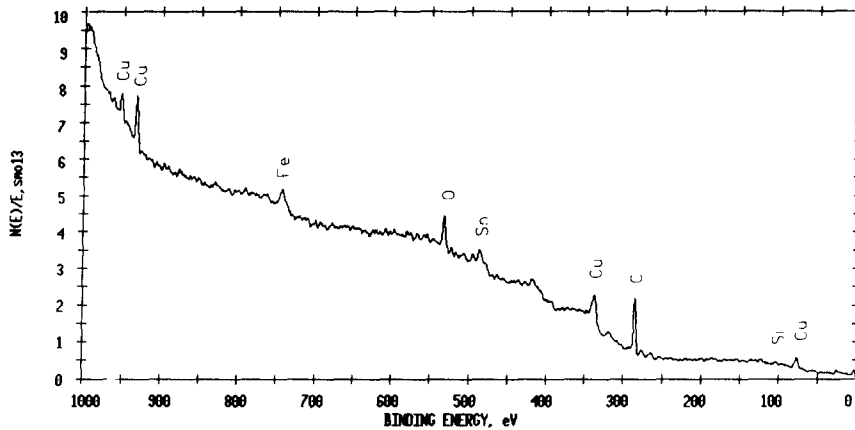


Fig. 12 ESCA analysis of sliding surface

후 기

본 연구는 통상산업부에서 시행한 공업기반 기술 개발사업(921-12-03)으로 수행된 기술개발 결과의 일부이며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Gopinath, K., 1980, "Investigation on Friction and wear Behavior of Sintered Bronze Clutch liner," *Transactions of the PMAI*, Vol. 7, pp. 78 ~83.
- (2) Sin Wei Ho, David Ho, Kum Fong Wu and Chun Sien Lin, 1991, "Friction Properties of Copper-Based and Iron-Based Friction Materials," *Advances in Powder Metallurgy*, 1991, Vol. 5 pp. 229~236.
- (3) Kim, J. W., Kang, B. S. and Kang, S. S., Kang, S. J., 1988, "Effect of Sintering Temperature and Pressure on Sintered and Friction Properties of a Cu-Based Friction Material," *Powder Metallurgy International*, Vol. 20, No. 20, pp. 32~34.
- (4) Jenkins, A., 1969, "Powder-Metal-Based Friction Material," *Powder Metallurgy*, Vol. 12, No. 24 pp. 503~518.
- (5) Fisher, R. and Vollmer, T., 1970, "The Technical Control of the Manufacture of Aircraft

- Brake Friction Linings," *Powder Metallurgy*, Vol. 13, No. 26, pp. 309~318.
- (6) Dufek, V., 1970, "The Effect of Different Graphite Qualities on the Properties of Sintered Bronze-Based Friction Materials," *Powder Metallurgy International*, Vol. 2, No. 1, pp. 10~12.
- (7) Yuko Tsuya, Asle and Kazunori Umeda, 1976, "Optimum Concentration of Solid Lubricant Compact," *Lubrication Engineering*, August, pp. 402~407.
- (8) Prochazka, V. and Miskovic, V., 1970, "A Contribution to the Investigation of Dry Friction of Sintered Steel," *Friction and Antifriction Materials, Perspective in Powder Metallurgy*, Vol. 4, pp. 23~36.
- (9) KS R 4022, 1991, *Clutch Facing for Automobile*
- (10) "Apparent Density of Metal Powder," *Metal Handbook 9th Edition, Powder Metallurgy*, Vol. 7, pp. 272~275.
- (11) ASTM B 837-65, 1985, "Standard Test Method for Density of Sintered Metal Friction Materials"
- (12) ASTM B 378-65, 1985, "Standard Test Method for Trensvers Rupture Strength of Sintered Metal Friction Materials"
- (13) Krysin, B. T., Lebedeva, L. P., Ignatov, L. N. and Kolpakov, J. V., 1970, "Some Recent Advances in Manufacture of the Friction Sintered Materials Grade FMK-11," *Friction and Anti-*

- friction Materials*, Vol. 4, pp. 111~121.
- (14) Fedorchenko I. M. and Kryachek, V. M., 1970, "New Sintered Friction Materials," *Friction and Antifriction Materials, Perspective in Powder Metallurgy*, Vol. 4, pp. 139~142.