

자동차용 마찰재에 사용되는 고체윤활제의 성분비에 따른 마찰 및 마모 특성에 관한 연구

최 낙 천 · 장 호

고려대학교 공과대학 재료금속공학부

Investigation of Friction and Wear Characteristics of Automotive Friction Materials containing different relative amounts of solid lubricants(Graphite, MoS₂, and Sb₂S₃)

Nak Cheon Choi · Ho Jang

Division of Materials Science and Engineering, Korea University

Abstract- The effects of solid lubricants on wear and friction characteristics of friction materials were studied using a pad-on-disk type friction tester. Friction materials with four different formulations containing different relative amounts of solid lubricants(graphite, MoS₂, and Sb₂S₃) were investigated. Results of this work showed that each formulation with different lubricants had unique friction characteristics. Friction material containing rich MoS₂ showed excellent friction stability at different friction conditions. However friction material containing rich Sb₂S₃ revealed high wear of friction materials.

Key words- solid lubricant, friction stability, wear, friction characteristics, friction test.

1. 서 론

자동차용 브레이크에 장착되는 마찰재는 일반적으로 12~20 종의 기본원료로 구성되는 복합재료로서, 사용되는 원료의 종류와 배합방법 그리고 제조공정에 따라 마찰특성이 결정된다[1]. 자동차용 마찰재는 온도, 가압력, 속도, 등의 다양한 작동조건 하에서 마찰특성이 변하지 않아야

한다. 마찰재의 마찰특성은 제동시 안전성과 승차감에 직접적인 영향을 미치며, 주로 마찰계수의 안정성, 토크의 진폭, 그리고 마모율에 의해 표현된다[2-3].

일반적으로 마찰재의 구성성분은 그 역할에 따라 크게 결합제(binder), 충전제(filler), 고체윤활제(solid lubricant), 연마제(abrasive), 마찰조절제(friction modifier) 등으로 분류되며, 이 중 고체윤활제는 자동차용 마찰재

의 제동조건의 변화에 의한 마찰 및 마모 특성의 변화에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

일반적으로 자동차용 마찰재에 사용되는 고체윤활제는 graphite, MoS₂, Sb₂S₃, ZnS, CuS 등이 있다. 현재 자동차에 사용되고 있는 마찰재에는 graphite 를 기본으로 하고, 이에 MoS₂, Sb₂S₃ 등을 혼합하여 사용하고 있다. 이는 각각의 고체윤활제들이 온도, 속도 및 가압력에 따라 다른 마찰 특성이 나타나므로 한가지의 윤활제만으로는 다양한 제동조건 하에서 우수한 제동특성을 얻지 못하기 때문이다.

본 실험에서는 고체윤활제의 전체 성분비는 일정하게 유지한 후 3 가지 고체윤활제의 배합비율을 조절하여 4 가지 시편을 제작하였으며, 마찰특성을 관찰하기 위하여 초기온도, 가압력, 속도 조절이 가능한 pad-on-disk 형태의 마찰 시험기에서 시험하였다[11].

2. 실험 방법

실험에 사용된 시편-1, 2, 3, 4 는 전형적인 NAO(non-asbestos organic type)마찰재이며, 구성물질 중 고체윤활제(graphite, MoS₂, Sb₂S₃)의 조성만을 변화시켜 제작하였다. 본 연구에서 사용된 마찰재 시편들의 개략적 구성 물질은 Table 1 에 나타내었다.

마찰재 시편은 원료혼합, 예비성형, 본성형을 거쳐 열처리를 하여 제조되었으며,

Table 1. Raw material ingredients used in this work [vol. %]

Raw materials	1	2	3	4
Binder	16	16	16	16
Abrasive	8	8	8	8
Filler	37	37	37	37
Friction modifier	30	30	30	30
Graphite	3	5	2	2
Sb ₂ S ₃	3	2	2	5
MoS ₂	3	2	5	2

각 단계의 제조조건은 이미 발표된 바 있다[4]. 성형된 마찰재의 크기는 직경 5cm, 두께 1cm 이며, 이들 시편을 마찰 시험기에 장착할 수 있도록 1cm × 1cm × 1cm 의 크기로 절단하여 실험하였다. 마찰재의 상대재로 사용된 로터는 실제 상용화 되어 있는 회주철의 로터를 주물 가공하여 12cm 의 직경과 2.5cm 의 두께로 제작하여 사용하였다.

마찰시험은 모든 시편에 걸쳐 상대재와 마찰재가 균일한 접촉이 되도록 2 단계에 걸쳐서 burnishing 작업을 시행한 후 실험하였다. Burnishing 이 끝난 후에 가압력, 속도, 초기온도(IBT : initial brake temperature)의 변화에 따른 마찰계수의 안정성을 고찰하기 위해서 각각의 시편에 대하여 20 초간 마찰시험을 실시하였다. 마찰시험의 조건은 Table 2 에 나타내었다. 마지막으로 모든 실험이 끝난 후에 각 시편의 마모량을 마찰재의 두께 변화로써 측정하였다.

Table 2. Experimental procedure

<p>1. Burnishing Ⓞ : 5kgf/cm², 600rpm, 10min Burnishing ⊙ : 5kgf/cm², 600rpm, 10sec ×20</p>
<p>2. Friction test Ⓞ : IBT=50℃, 100℃, 150℃, 200℃ Pressure = 5kgf/cm², 8kgf/cm², 11kgf/cm², 14kgf/cm² Velocity=400rpm Friction test ⊙ : IBT=50℃, 200℃ Pressure = 5kgf/cm², 8kgf/cm², 11kgf/cm², 14kgf/cm² Velocity = 100rpm, 200rpm, 300rpm, 400rpm</p>
<p>3. Measurement of wear amount</p>

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 초기온도와 가압력에 따른 마찰계수의 안정성

고체윤활제의 조성 변화와 실험조건의 변화에 따른 마찰계수의 안정성을 알아보기 위하여 마찰재 시편-1, 2, 3, 4를 가압력과 초기온도가 다른 16가지의 실험조건에서 실험을 행한 후 각 실험조건에서 관찰된 마찰 계수의 분포를 Fig. 1에 나타내었다. 이때의 마찰계수는 마찰재와 로터가 완전히 밀착되지 않은 초기 10초를 제외한 값들의 평균값으로 산출되었다.

각 조건에서의 평균 마찰계수는 시편-1, 2, 3, 4의 경우 각각 0.534, 0.407, 0.369, 0.497이며, 표준편차는 0.0372, 0.0685, 0.0256, 0.0527이었으며, Fig. 2에 나타내었다.

시편-2의 마찰계수의 불안정성은 마찰계면의 온도 증가에 의해 graphite가 효율적으로 윤활작용을 하지 못하기 때문이다. Graphite가 원활한 윤활작용을 하기 위해

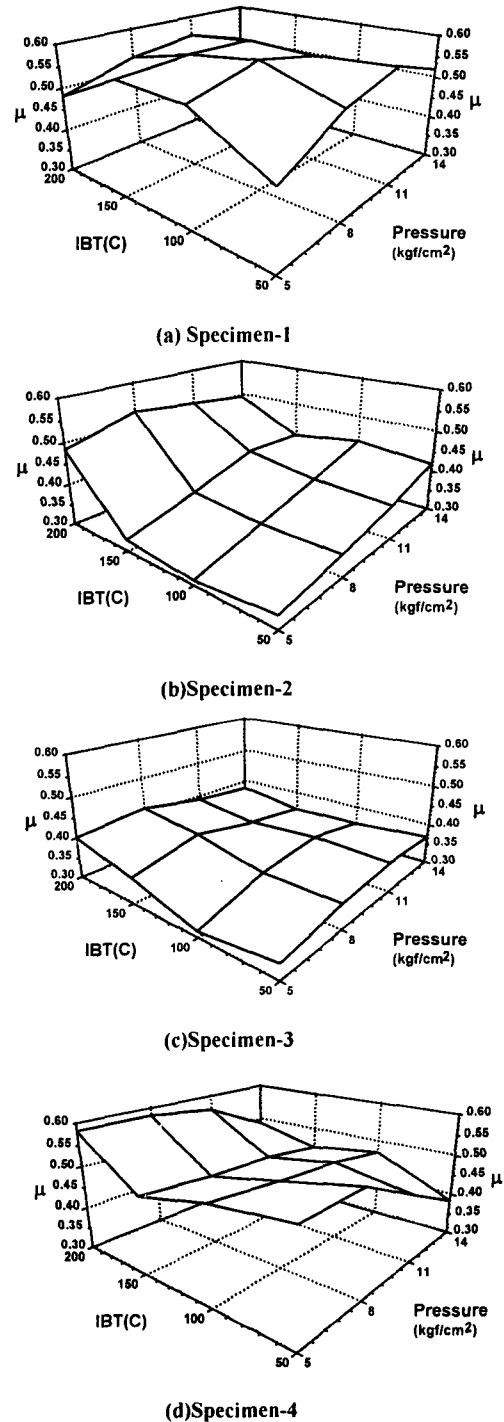
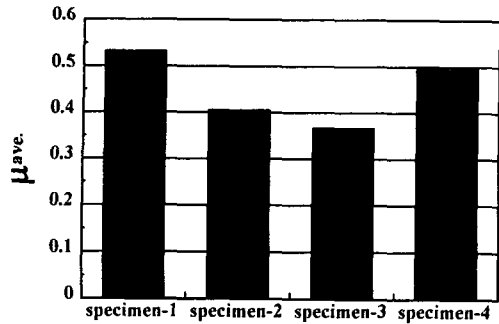
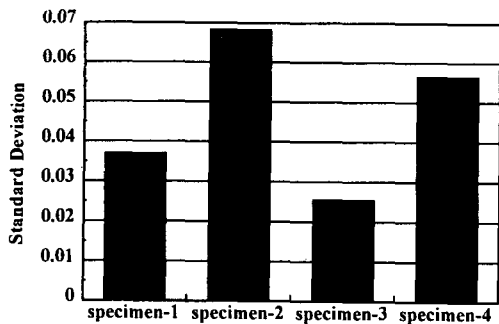


Fig. 1. Change of μ at different experiment conditions for each specimen.



(a) Average friction coefficient



(b) Standard deviation

Fig. 2. Average friction coefficient and standard deviation of friction coefficient for each specimen.

서는 계면에 수분 또는 탄화수소가 존재하여야 하는데, 마찰시 계면의 온도 상승으로 인하여 이들 물질이 증발되어 윤활작용이 감소하게 된다. 이에 반해 Sb_2S_3 의 경우에는 고온에서 마찰열에 의해 산화한 후에도 산화물이 마찰계수를 유지하는 역할을 하므로 Sb_2S_3 를 첨가하면, Sb_2S_3 가 온도의 상승에 의한 graphite의 윤활제로서의 역할 감소에 대해 보완작용을 하기 때문에 온도에 대한 마찰계수의 안정성을 향상시키는 것으로 알려져 있다

[4]. MoS_2 의 함유량이 상대적으로 많은 시편-3은 마찰계수의 안정성이 향상된 반면, Sb_2S_3 의 함유량이 많은 시편-4는 마찰계수의 변화가 심하게 나타났다. 결과적으로 MoS_2 의 함유량이 증가할수록 마찰계수의 안정성이 향상되었으며, Sb_2S_3 의 경우 다른 고체윤활제보다 함유량이 상대적으로 높게 되면 마찰계수의 불안정성이 상대적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

3-2. 속도의 변화에 따른 마찰계수의 변화

마찰속도에 따른 마찰계수의 변화를 정량적으로 측정하기 위하여 초기온도(50, 200 $^{\circ}C$)와 가압력(5, 8, 11, 14 kgf/cm^2)을 변화 시키면서 100~400 rpm 범위에서 100 rpm 간격으로 각각 20초간 끌기 시험을 하였다. Fig. 3은 각각의 실험 중에서 초기온도(50 $^{\circ}C$)와 가압력(8 kgf/cm^2)을 일정하게 할 때 시편-3의 속도에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 것이다.

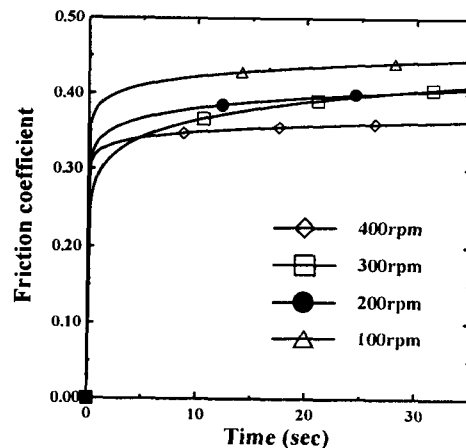
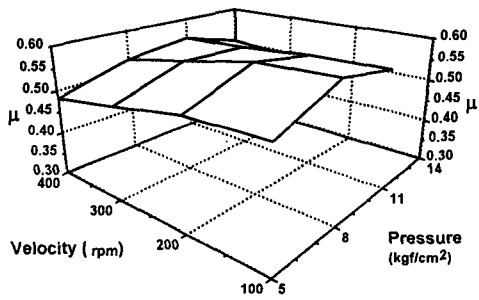
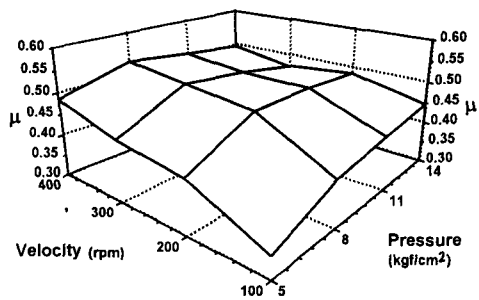


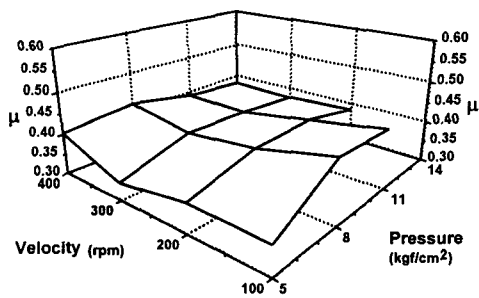
Fig. 3. Change of μ as a function of speed for specimen-3 at constant pressure.



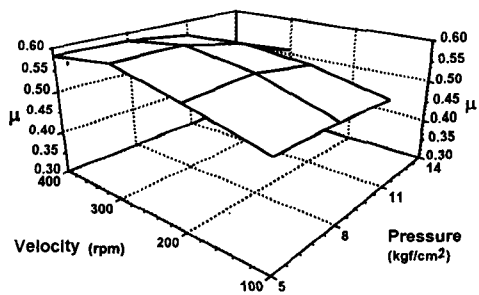
(a)Specimen-1



(b)Specimen-2



(c)Specimen-3



(d)Specimen-4

Fig. 4. Change of μ as functions of pressure and velocity at $IBT=200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fig. 4는 일정한 초기온도($IBT=200\text{ }^{\circ}\text{C}$)에서 각각의 실험조건(속도:100, 200, 300, 400rpm, 가압력:5, 8, 11, 14 kgf/cm^2)마다 Fig. 3과 같은 마찰계수의 변화를 얻은 후, 평균 마찰계수를 산출하여 나타낸 것이다.

시편-1, 3, 4는 시편-2보다 상대적으로 마찰계수의 안정성이 우수한 것으로 나타났다. Graphite의 함량이 많은 시편-2는 속도와 가압력이 증가할수록 마찰계수가 증가하는 경향을 보였으며, 고속 고압에서 안정화 된다. MoS_2 의 함유량이 많은 시편-3은 속도와 압력의 변화에 대해서도 마찰계수의 안정성이 우수한 것으로 나타났으며, Sb_2S_3 의 함량이 많은 시편-3은 초기온도와 가압력에 따른 마찰계수의 불안정성과 달리 속도와 가압력에 따른 마찰계수의 안정성이 우수하였다. 전체적으로 graphite의 함량이 적을수록, MoS_2 와 Sb_2S_3 의 양이 많을수록 속도와 가압력에 따른 마찰계수의 안정성이 향상되었다. Fig. 5에 시편-1, 2, 3, 4의 평균 마찰계수와 표준편차를 나타내었다. Fig. 4에서 생략된 실험조건은 시편과 로터의 밀착으로 마찰계수의 측정이 불가능하였다.

3-3. 마모량의 변화

각 시편에 대해 동일한 조건으로 마찰시험한 후에 마찰재의 두께변화를 측정하였으며, Fig. 6에 마모량을 나타내었다. 시편-1, 2, 3, 4의 두께변화는 각각 15.7, 7.4, 6.2,

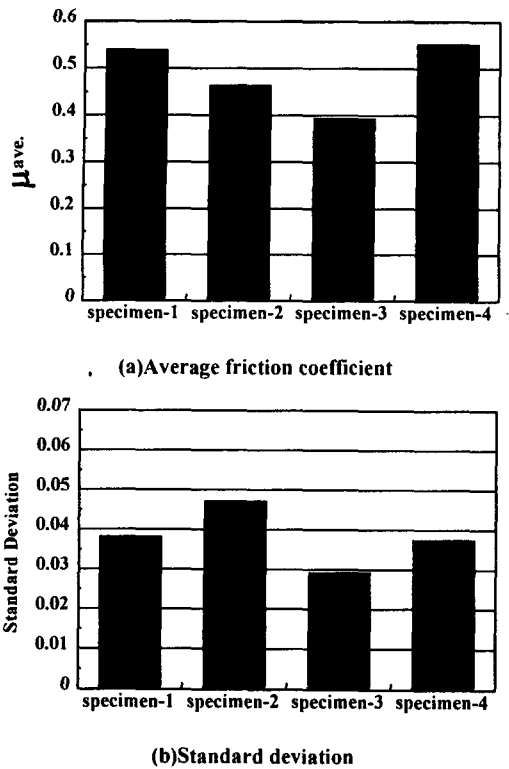


Fig. 5. Average friction coefficient and standard deviation for each specimen.

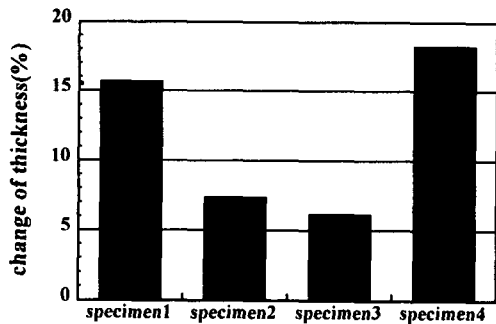


Fig. 6. Friction materials wear after friction test.

18.3%이며, Sb_2S_3 의 상대적 함량이 많은 시편-4에서 마모량이 많다. 이는 Sb_2S_3 가 고온에서 Sb_2O_5 , Sb_2O_3 , Sb_2O_4 등의 산화물

로 변화되어 연마제의 역할을 하기 때문이다[4]. 시편-1의 경우에는 시편-2, 3보다 Sb_2S_3 의 상대적 함량이 많고, graphite의 함유량도 많기 때문에 고온에서 윤활작용이 감소하여 마모량이 많은 것으로 생각된다[4]. 반면 시편-2는 graphite의 높은 함유량에도 불구하고 MoS_2 와 Sb_2S_3 가 고온에서 윤활작용을 하여 마모량이 감소한 것으로 평가된다. 시편-3은 고온에서 윤활작용을 하는 MoS_2 의 함유량이 높고, 마모량 증가에 영향을 미치는 Sb_2S_3 의 함유량이 낮기 때문에 마모량이 낮은 것으로 생각된다.

4. 결론

Pad-on-disk 형태의 마찰마모 시험기를 이용하여 고체윤활제의 성분비에 따른 마찰재의 마찰특성을 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 초기온도(IBT)와 가압력(pressure)에 대한 마찰계수의 안정성(friction stability)은 graphite와 Sb_2S_3 에 비해 MoS_2 의 함량이 높을수록 향상되었다.
2. 속도와 가압력에 따른 마찰계수의 안정성은 Sb_2S_3 나 MoS_2 의 함량이 많을수록 향상되었다.
3. 마모량은 Sb_2S_3 의 함량이 높아지면 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 Sb_2S_3 의 고온 산화물이 마찰재에 연삭마모(abrasive wear)를 유발시키기 때문인 것으로 생각된다.

4. MoS₂의 함량은 마찰재의 마모량에 적은 영향을 나타내었으며, 이는 MoS₂의 고온 산화물 보다 Sb₂S₃의 고온 산화물이 연마제(abrasive)의 역할을 강하게 하기 때문이다.

후 기

본 연구는 1998년도 한국과학재단 지원 특정기초연구(과제번호: 98-0200-02-01-3)에 의한 결과의 일부입니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고 문헌

1. 장 호, “자동차 제동시 나타나는 마찰특성에 관한 연구,” 한국윤활학회지, 제 13 권, 제 1 호, pp.34-41, 1997.
2. 김성진, 장 호, “자동차 제동시 나타나는 마찰재의 마찰특성에 관한 연구,” 한국윤활학회지, 제 13 권, 제 3 호, pp. 10-19, 1997.
3. P. Filip, L. Kovarik, and M. A Wright, “Automotive Brake Lining Characterization,” SAE 973024, pp.41-61, 1997.
4. H. Jang, J. J. Lee, S. J. Kim and K. Y. Jung, The Effect of Solid Lubricants on Friction Characteristics, SAE 982235, pp.1-8, 1998.
5. 이정주, 장 호, “자동차 브레이크용 마찰재에 사용되는 고체 윤활제에 따른 제동특성에 관한 연구”, 한국윤활학회지, 제 14 권, 제 3 호, pp.17-23, 1998.
6. R. H. Savage and D. L. Schaefer, “Vapor lubrication of graphite sliding contacts,” Journal of applied physics, Vol.27, pp.136-138, 1956.
7. F. P. Bowden and D. Tabor, “The Friction and Lubrication of Solids,” Part II, Chap.11, Oxford University Press, pp.186-199, 1964.
8. C. Gao, L. Bredell, D. Kuhlmann-Wilsdorf, and D. D. Makel, “Micromechanics of MoS₂ Lubrication,” Wear, vol.162-164, pp.480-491, 1993.
9. D. H. Buckley, “Surface effects in adhesion, friction, wear, and lubrication,” Tribology series 5, Chap.10, pp.569-577, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1981.
10. C. Langlade, S. Fayeulle and R. Olier, “New insights into Adhesion and Lubricating Properties of Graphite-based Transfer Films,” Wear, vol.172, pp.85-92, 1994.
11. 김성진, 홍영석, 장호 “자동차용 마찰재에 사용되는 페놀 수지의 종류에 따른 마찰특성의 영향에 관한 연구,” 한국윤활학회, 1999년 춘계학술대회 초록집 영남대학교