

페타이어분말과 육티탄산칼륨을 이용한 마찰재의 마찰·마모 특성

박 종 일·강 동 현*·강 석 춘**·정 찬 교***·정 경 호·홍 영 근†
수원대학교 고분자공학과, *전자재료공학과, **기계공학과
(2000년 6월 28일 접수)

Friction and Wear Characteristics of Friction Material from Scrap Tire and Potassium Hexatitanate

Jong-Il Park, Dong-Heon Kang*, Suck-Choon Kang**, Chan-Kyo Chung***,
Kyung-Ho Chung, Young-Keun Hong†

Dept. of Polym. Eng., Univ. of Suwon, Suwon 440-600, Korea

*Dept. of Electro. Mat. Eng., **Dept. of Mech. Eng. ***Dept. of Enviro. Eng.

(Received June 28, 2000)

요 약 : 마찰재로써 석면사용에 따른 환경문제를 해결하고, 페타이어의 고부가 가치화를 위하여, 페타이어분말과 육티탄산칼륨을 주원료로 하고, 여기에 충전제, 마찰안정제 등을 혼입, 가공하여 고부가 연속상인 새로운 형태의 마찰재를 제조하였다. 이 마찰재들에 대한 마찰·마모시험결과에 의하면 육티탄산칼륨, 페놀, 마찰안정제, 황산바륨을 각각 5, 20, 10, 20 phr로 첨가시킨 마찰재가 브레이크로 사용하기에 적합한 마찰특성, 즉 높고 안정된 마찰계수와 낮은 마모율을 보여 주었다.

ABSTRACT : To resolve environmental problem of waste tire and asbestos and also to capitalize the wastes, we developed a new kind of friction material using scrap tire, potassium hexatitanate, filler, and friction modifier in which rubber made a continuous phase. The material containing 5, 20, 10, 20phr of potassium hexatitanate, phenol, friction modifier, BaSO₄, respectively showed good friction properties, high and stable coefficient of friction, and low wear rate.

Keywords : scrap tire, potassium hexatitanate, friction material, friction and wear.

I. 서 론

마찰재는 기계의 운동을 제어하는 요소에 사용 되는 재료로써 마찰에 의하여 운동에너지를 열에너지로 변환시켜 마찰계면에서 금속에 흡수된 후 대기중에 방출된다.¹ 마찰재의 용도는 자동차, 기관차, 항공기 및 산업용 기계에 이르기까지 브레이크

와 클러치 등의 라이닝 및 패드로 사용되며 마찰 시스템에 따라 소결합금, 탄소/탄소 복합체, 유기매트릭스 등으로 구분된다. 소결합금이란 mullite나 알루미늄과 같은 세라믹 분말을 다량으로 함유한 동(Mohs경도 3) 또는 철(Mohs경도 4)의 분말을 고온 고압하에 소결시킨 재료를 의미하며 고하중용으로 주로 항공기나 고속철도차량용 브레이크 재료에 사용되고 있다. 소결합금으로 제조된 마찰재의 이 점은 다양한 소재의 첨가에 의해 fade 현상(마찰이

†대표저자(e-mail : ykhong@mail.suwon.ac.kr)

진행되는 동안 마찰계수가 급격히 감소하는 현상)이 매우 낮은 것이고, 단점으로는 열전도율이 매우 높아 장시간 연속적으로 사용하면 브레이크액의 온도상승을 유발하여 vapor lock을 초래하는 점과 소음을 발생한다는 점이다. 이 단점 때문에 소결합금은 자동차에는 사용하지 않고 있지만 일본의 신간선용 고속철도 차량과 F-5, F-4와 같은 전투기의 제동시스템에 사용하고 있다.

탄소/탄소 복합체는 rotor와 마찰재에 같이 쓰여서 경량화 효과가 큰 항공기(F-16, 18) 및 경주용차 등에 사용되고 있다. 그러나 200℃ 이하에서의 마찰계수가 비교적 낮고(0.5) 적절한 마찰계수를 유지하기 어려우며 값이 비싸기 때문에 자동차용으로 사용하기에는 곤란하다.² 고속운전에 쓰이는 마찰재의 적정 마찰계수는 일반적으로 200℃ 전후에서 0.5 정도이다.³

일반 자동차에 널리 쓰이고 있는 것은 유기마찰재인데 사용되는 섬유보강재에 따라 석면계와 비석면계로 구분된다. 즉, 유기매트릭스 마찰재는 섬유보강재, 충전제, 결합제 및 마찰안정제가 기본성분으로 구성되며⁴, 이 중에서 섬유보강재로 널리 사용되던 석면(asbestos)이 인체에 유해하다하여 비석면계가 대두되었다. 비석면계중 육티탄산칼륨($K_2Ti_6O_{13}$)계 휘스커상의 적용성 및 관련제조에 관한 연구가 활발하고⁵, 본 연구자들도 간단한 공정을 통한, 수율이 높은 육티탄산칼륨 원료 제조에 대해 연구중에 있다. 여기서, 섬유보강재는 매트릭스를 누비며 나아가고 자기들끼리 겹쳐서 브레이크 라이닝(또는 패드)에 인장강도 및 유연강도를 부여하며 preform을 유지시키고 고온에서도 열안정성을 제공하는 것이어야 한다. 충전제는 대부분이 금속분말이나 중정석 등의 무기질분말로써 값이 저렴하기 때문에 브레이크 라이닝의 생산원가를 낮추는데 중요하다. 결합재로는 다양한 종류의 페놀수지가 사용된다. 페놀수지의 대표적인 예에는 novolac, resole 등이 있다.

마찰재의 제조공정중에서 건식배합에서는 노블락 분말이 사용되고 이것은 포름알데히드/페놀의 몰비를 0.8로 하여 산성 촉매하에서 축합반응에 의하여 제조한 것이다. 한편, 습식배합에서는 레솔

액체가 사용되는데, 레솔은 포름알데히드/페놀의 몰비를 1.5~2.0으로 하여 탄산소오다와 같은 알칼리 촉매하에서 부가반응에 의하여 제조된 것이다.⁶ 이들 수지는 최대 내열성 및 경도를 얻으려면 대개 230℃에서 2시간 이상 충분히 경화시키는 것이 바람직하다.⁷ 변성페놀수지로는 식물유 변성페놀수지 및 고무 변성페놀수지가 대표적이다. 페놀수지의 식물유 변성은 cashew nutshell 액체 페놀, 식물유 및 포름알데히드의 혼합물을 반응시켜 수행되기도 하며 페놀수지를 식물유와 반응하여 수행되기도 한다. 식물유 변성페놀수지를 사용한 브레이크는 조용하고 부드럽게 작동한다. 페놀수지의 고무변성은 니트릴 고무가 대표적으로 쓰이며 부타디엔-아크릴로니트릴 공중합물중의 아크릴로니트릴 함량이 30~40%인 것이 주로 사용된다. 이 변성페놀수지는 마찰재가 넓은 온도나 압력범위에서 비교적 일정한 마찰계수를 갖는 데 기여한다. 마찰재중의 페놀수지는 550℃ 이상의 온도에서 5% 정도의 무게감소를 일으키며 탄화된다.

마찰안정제는 소재가 다양하여 그 선정 및 사용방법에 따라 브레이크 라이닝의 기계적 물성, 마모 특성 및 마찰계수 등에 영향을 준다. 마찰안정제에는 비연마 안정제 및 연마 안정제가 있고, 비연마 안정제에는 고무류 입자, 카본블랙, 석유 코오크스 분말, 흑연 분말 및 페놀수지 분말(cashew nutshell 액체 페놀로부터 제조) 등이 포함되며 연마 안정제에는 알루미늄, 탄화규소 및 납정석 같은 매우 경도가 높은 물질이 포함된다. 흑연과 같은 고체 윤활제는 마찰재의 물성뿐만 아니라 금형으로부터 성형물을 제거할 때에도 도움이 된다. 페놀수지 분말은 마찰재의 마모감소에 기여하고 넓은 온도범위에 걸쳐 비교적 일정한 마찰계수를 갖도록 하며 브레이크 작동을 부드럽게 하도록 기여한다. 그러나 이 수지분말의 원료인 cashew nutshell 액체가 가격이 점차 비싸지고 피부에 자극을 주며 분말화 과정에서 먼지를 일으키고 불꽃 없는 연소가 일어나는 문제점이 있다. 이러한 문제점 때문에 물에 분산시켜 제조된 니트릴고무 변성 페놀수지 분말이 사용된다. 이 분말은 레솔을 만들 때 생성되는 페놀수지가 물에 불용이 되면서 석출될 때 arabic

Table 1. Typical Composition of Brake Lining⁸

Components	Fraction(%)
Reinforcing Fiber	30~50
Filler	15~60
Binder	10~15
Friction Modifier	3~37

gum 또는 88% 가수분해된 polyvinyl alcohol의 보호 콜로이드를 가하여 물에 안정하게 분산시키고 젤화까지 반응시켜 기존의 분말화 과정없이 평균 10 μm 크기의 입자가 얻어진다.⁸ Table 1에 브레이크 라이닝의 일반적인 조성을 기술하였다.

우리 나라의 브레이크 라이닝 제조업은 1970년 대 중반부터 자동차의 증가와 함께 확장되어 왔으나 아직도 석면을 많이 사용하고 있다. 석면은 공기 중에 분진으로 되어 인체의 호흡기 계통에 유해한 것으로 알려져 있다. 석면은 무기질 섬유로서 그 분진은 끝이 바늘끝처럼 날카로워서 호흡이 되면 다시 배출되지 않고 기관지 또는 허파에 박히기 때문이다. 석면분진이 그 자체의 유해성도 문제가 되지만 흡연자에게는 더 큰 문제가 된다고 한다.⁹ 즉, 석면분진은 다른 발암성 물질의 작용에 촉진제 역할을 하는 것으로 분석되고 있다. 조사결과, 석면을 배합할 때와 완성품을 천공할 때 공기 중의 석면 농도는 0.2~20개/cc이었다. 우리 나라 노동부의 허용농도는 넘지 않으나 좀 더 엄격한 미국 OSHA의 기준인 0.1개/cc에 크게 초과하고 있다.¹⁰ 또한 자동차 브레이크 라이닝을 교체하는 작업에서 고농도의 석면이 발생하였으며, 압축공기로 브레이크 라이닝을 청소할 때에는 석면 농도가 7.0개/cc를 초과하였다.³ 우리 나라에는 수많은 자동차 정비업소가 있으나 대부분 소규모이어서 노동부의 규제대상에서 제외되므로 작업자는 석면의 유해성을 알지 못하고 있으며 보호구도 착용하지 않고 있다.

최근 급격한 자동차 증가로 인하여 국내의 페타이어 발생량은 매년 3000만개 정도에 육박하고 있는데 반해 이를 적절하게 처리 또는 재활용할 수 있는 시설이 불충분하여 발생된 페타이어가 무단 방치 및 단순소각 등으로 환경오염과 자원낭비를

가져옴으로써 사회적으로 많은 문제를 야기하고 있다. 따라서 페타이어의 고부가 가치적인 재활용은 경제적으로나 환경적으로 매우 중요한 실정이다.¹¹

본 연구는 페타이어를 재활용하여 부가가치를 높이고, 또한 환경유해물질인 석면의 대체물질로서 새롭게 떠오르고 있으며 본 연구자들에 의해 제조된 육티탄산칼륨을 사용하여 위에서 나타난 환경문제를 해결하고 나아가 환경친화적이면서 미증유의, 페타이어분말이 마찰재의 연속상을 이루는 새로운 형태의 마찰재를 제조하고 그에 관한 마찰특성과 마모성에 관하여 연구하였다.

II. 시편제작과 실험절차

1. 시편 제작용 재료

본 연구에서 사용된 페타이어분말은 한국자원재생공사에서 구입하였으며 분말의 크기는 약 20 mesh이다. 페타이어 분말을 마찰재의 매트릭스로 사용하기 위해 본 연구진에 의하여 개발된 약품으로 처리하여 전처리된 페타이어분말(이하 전처리 분말)을 준비하였다. 전처리분말에 배합될 배합제로는 황(미원 제품), DM(2, 2'-dibenzothiazole disulfide)(동양화학공업 제품), ZnO(한일화학공업 제품) 및 stearic acid(동산화학 제품)를 사용하였고 육티탄산칼륨 휘스커는 전보¹²에서 만들어진 것을 사용하였다. 또 페놀수지와 마찰안정제는 강남화성으로부터 구입하였고, BaSO₄는 순정화학 제품을 사용하였으며 모든 배합제들은 다른 처리 없이 구입한 그대로 사용하였다.

2. 시편제조

본 연구에 사용된 마찰재 시편은 Table 2~5에 나타난 조성비에 의거하여 mixer에서 혼합한 후 금형(25×25×5mm)을 이용하여 150℃에서 20분 동안 압축성형하여 제조하였다. Table 2에는 육티탄산칼륨의 첨가량에 따라 시편을 N-series(N1~N3)로 구분하였고, 페놀수지와 마찰안정제가 포함된 Table 4의 조성은 J-series (J1~J4)로 구분하였다. J3 조성에 BaSO₄가 첨가된 경우는 B-series(B1~

Table 2. Composition of the First Specimen(N-series)

Ingredients	Amounts(phr)		
	N1	N2	N3
pretreated scrap rubber	100	100	100
sulfur	20	20	20
DM	25	25	25
ZnO	40	40	40
stearic acid	10	10	10
K ₂ Ti ₆ O ₁₃	0	5	10

Table 3. Requirements of the 1st Class of Brake Lining

Properties	Test temp.(°C)		
	100°C	150°C	200°C
Friction coeff.	0.30~0.70	0.25~0.70	0.2~0.7
Wear rate (10 ⁻⁷ cm ³ /Nm)	below 1.0	below 2.0	below 3.0

Table 4. Composition of the Second Specimen(J-series)

Ingredients	Amounts(phr)				
	N2	J1	J2	J3	J4
pretreated scrap rubber	100	100	100	100	100
sulfur	20	20	20	20	20
DM	25	25	25	25	25
ZnO	40	40	40	40	40
stearic acid	10	10	10	10	10
K ₂ Ti ₆ O ₁₃	5	5	5	5	5
phenol	-	20	10	20	10
friction modifier	-	20	20	10	10

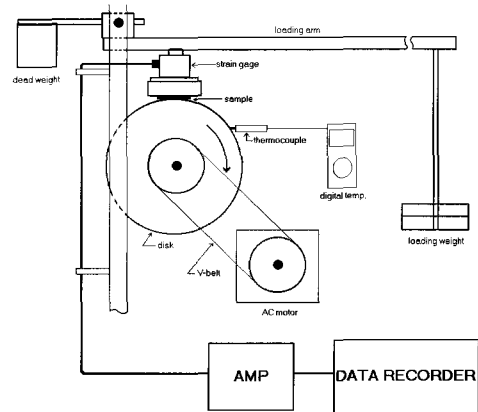
B5)로 구분하였으며 그 조성을 Table 5에 나타내었다. 기준시편은 (주)한국브레이크에서 생산하는 소나타용 브레이크 라이닝을 본 연구에서 사용된 마찰재 시편과 동일한 크기로 절단하여 마찰특성을 측정하고 시험용 시편의 시험결과와 비교하였다.

3. 마찰시험

마찰시험은 Fig. 1과 같은 마찰시험기를 제작하여 실시하였다. 시편의 마찰에 사용되는 상대 재료인 디스크는 연강으로 제작하였고 각 시편을 시험할 경우에 300 mesh인 연마포를 사용하여 시편의

Table 5. Composition of the Third Specimen(B-series)

Ingredients	Amounts(phr)					
	J3	B1	B2	B3	B4	B5
pretreated scrap rubber	100	100	100	100	100	100
sulfur	20	20	20	20	20	20
DM	25	25	25	25	25	25
ZnO	40	40	40	40	40	40
stearic acid	10	10	10	10	10	10
K ₂ Ti ₆ O ₁₃	5	5	5	5	5	5
phenol	20	20	20	20	20	20
friction modifier	10	10	10	10	10	10
BaSO ₄	-	5	15	20	25	30

**Figure 1. Schematic diagram of friction tester.**

표면을 연마한 다음 시험을 하였다. 시험용 마찰시편은 디스크의 정상상태에서 마찰특성을 파악하기 위하여 길들이기(break-in) 과정을 갖도록 하였다. 이 과정은 새로운 시편과 연마시킨 디스크에 의해 먼저 시험 하중하에서 20분 동안 마찰시켜서 마찰재 표면을 연마시킨 후 실온으로 냉각하였다. 그 다음에 같은 시험조건하에서 20분 동안 disk를 회전시키며 마찰력과 표면온도를 측정하였다(1차 시험). 1차 시험이 끝난 후 높은 온도특성을 비교하기 위하여 디스크의 표면이 85°C에 도달하면 10분 동안 디스크를 회전시키며 2차 마찰시험을 실시하였다. 같은 조성을 가진 시편 5개를 동일한 방법으로 마찰 시험한 다음 각 측정값을 평균하여 마찰

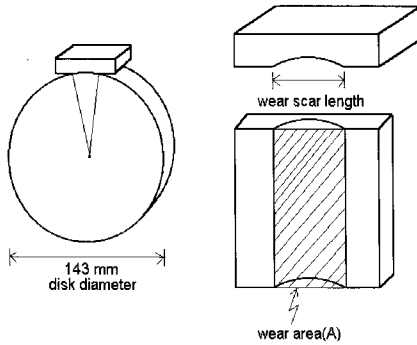


Figure 2. Measurement of wear volume.

계수, 표면온도, 마모량 등을 결정하였다. 시험에 사용된 디스크의 직경은 143 mm이고 디스크의 회전속도는 1200 rpm으로 고정하였다.

4. 마모율의 측정

모든 시편을 총 50분 동안 마찰시험을 한 후, 아래 식(1)에 의해 마모율을 계산하였다. 식 (1)의 작용응력 계산에 사용된 마모면적은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 결정되었다.

$$\text{마모율} (10^{-7} \text{ cm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}) = \frac{\text{마모된 부피}}{\text{작용응력} \times \text{마찰거리}} \quad (1)$$

- 상대 마찰 속도 = 9,075 m/sec
- 디스크의 회전속도 = 20 rps
- 시편 작용 하중(P) = 75 N
- 마모 면적 = A
- 작용 응력(σ) = $\frac{P}{A} = \frac{75N}{A}$
- 마찰 거리 = $2.7 \times 10^7 \text{ mm}$

5. 마찰표면온도의 측정

마찰시험 과정에서 디스크 마찰면의 표면온도(마찰접촉점온도) 측정은 열전대와 디지털온도계를 사용하여 매 10초 간격으로 관측하였다.

6. 시편의 마모표면 조사

마찰시편을 50분간 마찰 시험한 다음에 시편의 마모된 면을 주사전자현미경(Jeol, JSM 5200)을 사용하여 관찰하였으며, 이때 시편은 ion sputter를 이용하여 gold coating시켰고 operating voltage는 20

kV로 하였다.

III. 결과 및 고찰

제일 먼저 제조한 3종의 마찰시편들을 Nseries로 하고 그들의 조성은 Table 2와 같다.

Fig. 3은 N-series 시편들의 1차 마찰시험에서의 마찰계수와 마찰접촉점 온도를 구한 결과로써 마찰계수는 티탄산칼륨 함유가 5 phr 첨가된 경우(N2) 가장 높았지만 기준시편(소나타 브레이크 재료)의 마찰계수보다 낮았으며 또한 마찰시간에 따른 마찰계수의 변화가 매우 심함을 보여준다. 마찰계수가 기준시편보다 작음에 따라 마찰표면온도도 기준시편보다 모두 작게 나타났고, N계열 시편에서도 마찰계수가 낮을수록 표면온도가 낮음을 보여준다. 마찰시험의 시작시 표면온도가 85°C에서의 시험인 2차 시험(Fig. 4)에서는 모든 시편에서 1차 시험의 경우와 비슷하지만 덜 불안정함을 보여주었다. 그러나 아직도 N1, N3 시료에서는 fade현상이 발생하였다. 그 이유는 아마도 육티탄산칼륨의 첨가로 마찰특성은 향상되지만 5 phr 이상 첨가된 경우 분산이 어려워 다시 마찰특성이 감소하는 것

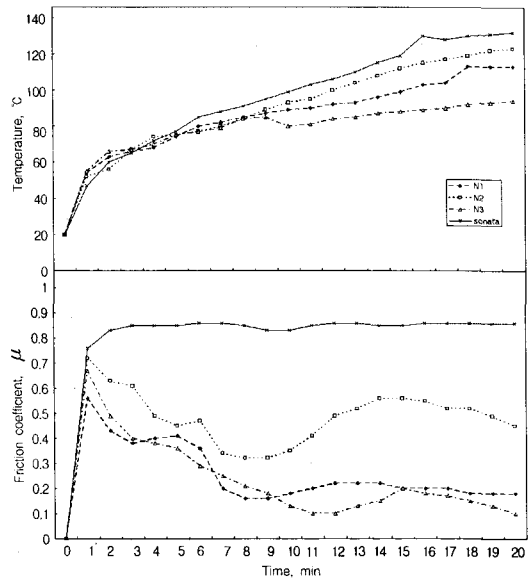


Figure 3. Contact temperature and friction coefficient of N-series specimens and reference(1st operation).

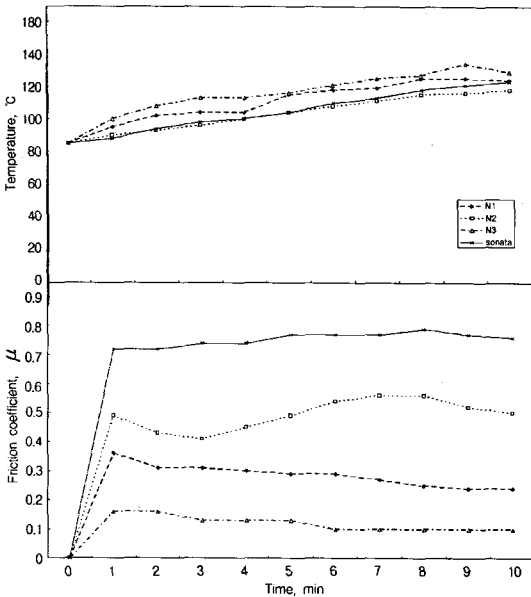


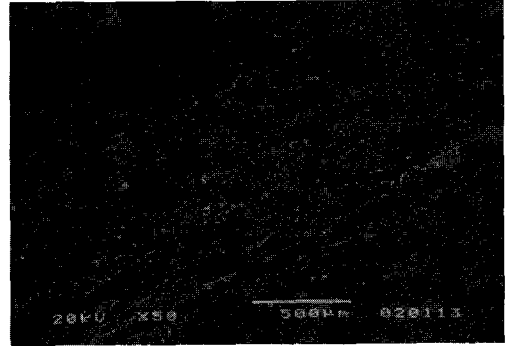
Figure 4. Contact temperature and friction coefficient of N-series specimens and reference(2nd operation).

으로 여겨진다. Fig. 5에 나타난 SEM 결과에서 보듯이 N2시편의 표면이 N1과 N3에 비해 상대적으로 매끄러운 것으로 보아 육티탄산칼륨이 5 phr 첨가되었을 때 분산도가 가장 우수함을 알 수 있었다. 이들의 마모율을 계산한 후 이를 Fig. 6에 비교하였는데 Fig. 6에 나타난 바와 같이 N2 조성이 상대적 마모율이 우수하였지만 기준시편인 소나타 시편보다는 높았다. SEM 사진 관찰에서 모든 시편(N1~N3)들은 마모가 연마식(abrasive wear) 형태로 발생함을 보여주었다.

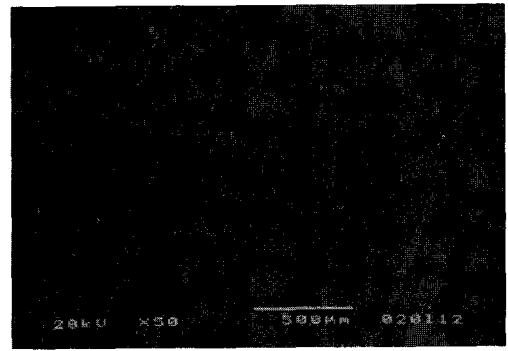
한국산업규격(KS R4024)에 따르면 자동차용 브레이크 라이닝 및 패드는 1중(주차브레이크 전용)에서 Table 3과 같은 성능을 지니고 있어 N-series 시편에서 Table 3의 규격을 따를 수 있는 것은 N2 시편이지만 아직 마찰계수의 안정성이 요구되고 있다.

따라서, 마찰계수 불안정성을 보정하고자 N2시편에 페놀수지와 마찰안정제를 첨가하여 J-series 시편을 제조하였다. 그 조성은 Table 4와 같다.

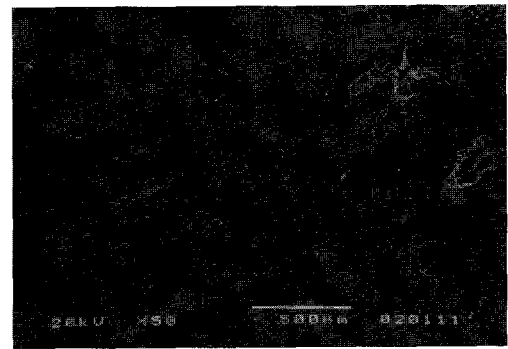
페놀수지와 마찰안정제의 함량에 따른 마찰계수와 표면(마찰접촉점)온도의 변화를 Fig. 7(1차 시



(N1)



(N2)



(N3)

Figure 5. SEM photographs of surface of N-series specimens.

험) 및 Fig. 8(2차 시험)에 나타내었다. 페놀 수지의 양이 증가할수록 마찰계수가 증가하는 경향을 보였고, 마찰안정제의 함량이 증가할수록 마찰계수는 감소하였지만 마찰안정성은 향상되었다. 특히, 2차 시험에서는 페놀수지와 마찰안정제가 첨가되

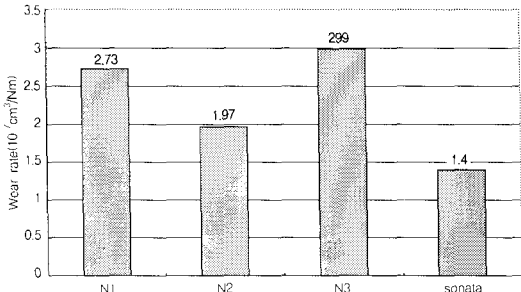


Figure 6. Wear rate of N-series specimens and reference.

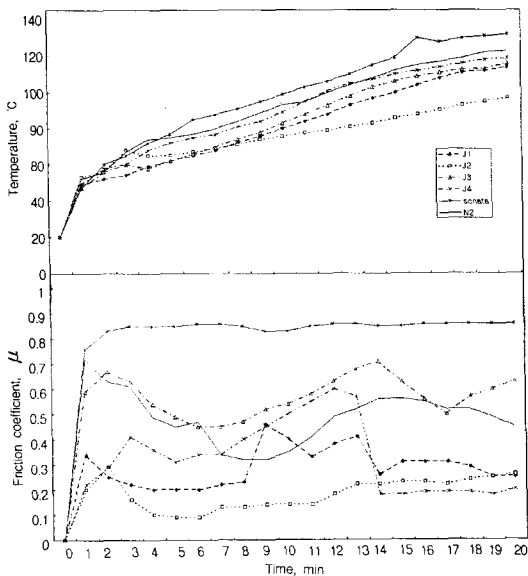


Figure 7. Contact temperature and friction coefficient of J-series specimens and reference(1st operation).

면서 마찰계수의 안정화 경향이 뚜렷이 나타났으며 J3시편의 경우 0.5 이상의 비교적 증진된 마찰계수 값을 보였다. 마모율(Fig. 9)은 페놀 수지와 마찰안정제의 양이 증가할수록 감소되는 경향을 나타내었다.

SEM 조사(Fig. 10)결과, 마찰안정제를 더 많이 첨가한 J3, J4 시료의 표면이 비교적 고르고 매끄럽게 나타났다.

J-series 시편들에서도 아직 기준시편(Sonata)에 대응할 만한, 즉, 마찰계수가 높으면서(0.5~0.8) 안정되고 또한 마모율이 우수한 마찰재를 얻지 못하

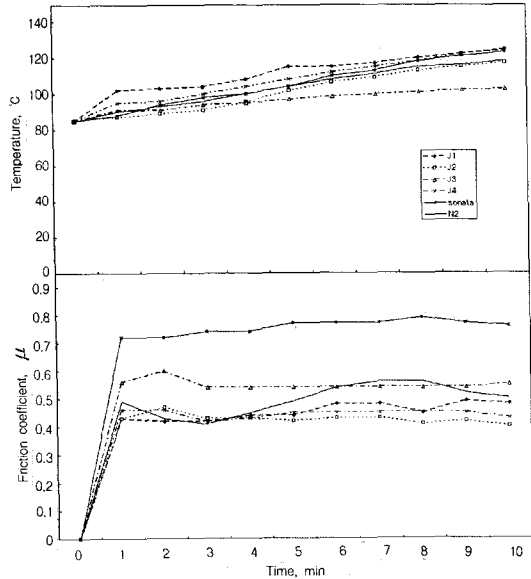


Figure 8. Contact temperature and friction coefficient of J-series specimens and reference(2nd operation).

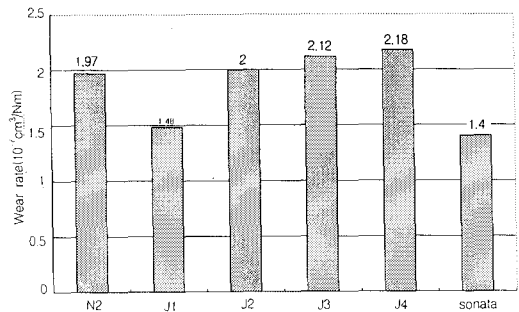
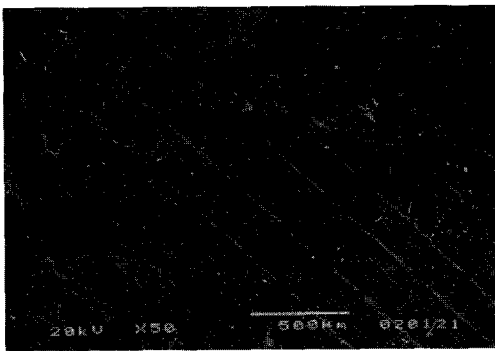


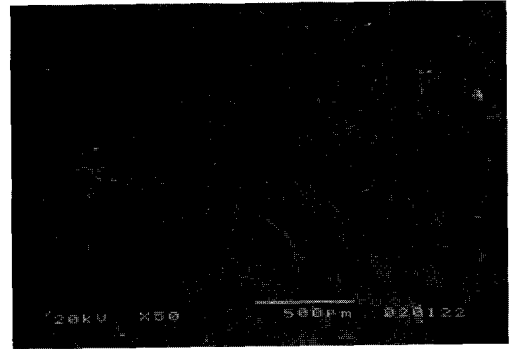
Figure 9. Wear rate of J-series specimens and reference.

였다. 따라서 J-series중 가장 우수한 물성을 나타내는 J3에, 마모율 개선과 마찰계수 안정에 도움을 주어 현재 브레이크 라이닝 및 패드 제조에 충전재로 많이 쓰이는 황산바륨(Mohs경도 3.5)을 첨가하여 세 번째 시편(B-series)를 준비하였다. 그들의 조성은 Table 5와 같다.

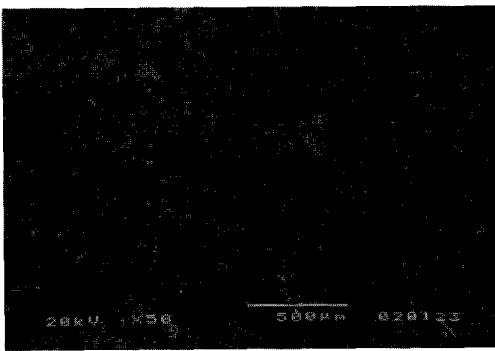
황산바륨의 함량에 따른 마찰계수와 표면온도의 변화를 Fig. 11(1차 시험) 및 Fig. 12(2차 시험)에 나타내었다. 황산바륨이 20 phr 첨가한 경우(B3) 1차 시험시 소나타 기준시편 이상 정도의 높은 마찰계수가 측정되었으나 불안정성이 나타났다. 그러나 2차 시험 결과 우수한 마찰계수 뿐만 아니



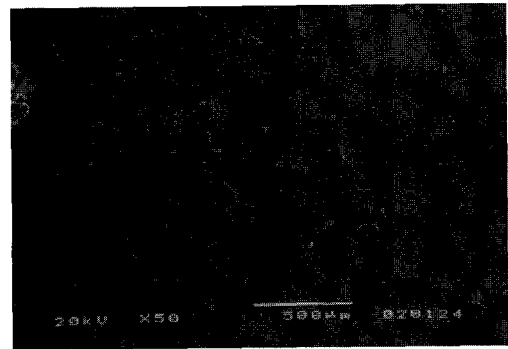
(J1)



(J2)



(J3)



(J4)

Figure 10. SEM photographs of surface of J-series specimens

라 시간에 따른 안정성을 나타냄을 확인하였다. 이 B3시편에 대한 수치는 본 시험 전 시편중 가장 우수한 값에 해당되었으며 특히 기준시편(소나타)과 거의 유사하였다($\mu=0.6\sim0.7$). 마모율(Fig. 13)에서도 역시 B3가 가장 낮은 수치(1.43)를 나타내었으며 이는 기준시편의 수치(1.4)에 근접하였다.

세 번째 시편에 대한 SEM 조사(Fig. 14)결과를 보면 황산바륨이 증가할수록 황산바륨의 하얀 분말이 시료표면에 마찰방향으로 많이 나와 있는 것을 보여준다. 이는 황산바륨이 마모되면서 표면에 확산되어 마찰계수 증가 기능과 아울러 마모억제의 기능을 하는 등 마찰특성(마찰계수)을 향상시키는 나타내는 것으로 판단된다. 그러나 황산바륨의 함유량이 많아지면 분말의 입자가 커지고 오히려 마찰특성을 감소시키는 것으로 추정된다.

IV. 결 론

페타이어분말과 육티탄산칼륨을 활용하고 황, DM, ZnO, stearic acid를 사용하여 고무복합체를 구성한 후 여기에 페놀수지, 마찰안정제 및 황산바륨을 첨가하여 마찰재를 제조하였고 이들을 마찰·마모시험 하였다.

시험결과에 따르면 시험온도 약 180°C 이하에서 육티탄산칼륨, 페놀, 마찰안정제, 황산바륨이 각각 5, 20, 10, 20 phr이 첨가된 마찰재의 경우에서 가장 우수한 마찰계수(0.66)와 마모율(1.43)을 나타내었다. 이 수치는 소나타車에 사용되는 마찰재의 시험결과(각각 0.75, 1.40)와 대등한 마찰재임을 알 수 있었고 따라서 본 연구의 마찰재는 실용화가 가능함을 보여주었다.

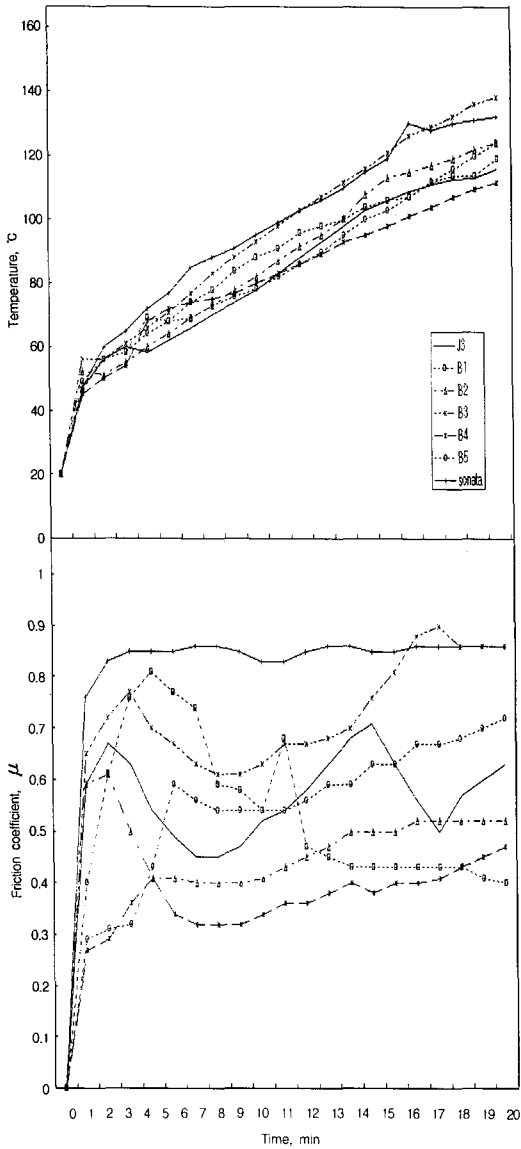


Figure 11. Contact temperature and friction coefficient of B-series specimens and reference(the 1st operation).

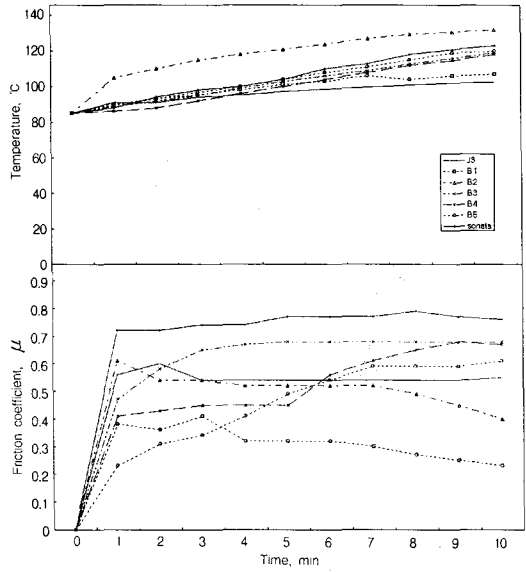


Figure 12. Contact temperature and friction coefficient of B-series specimens and reference(the 2nd operation).

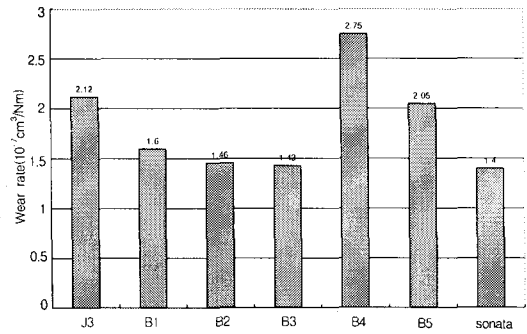
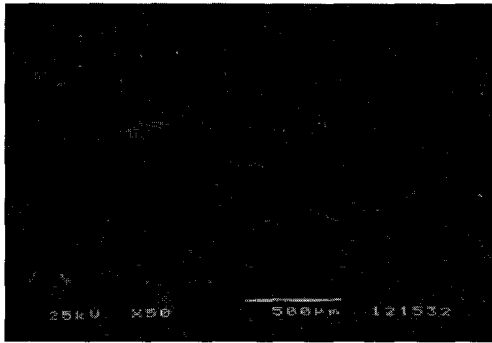
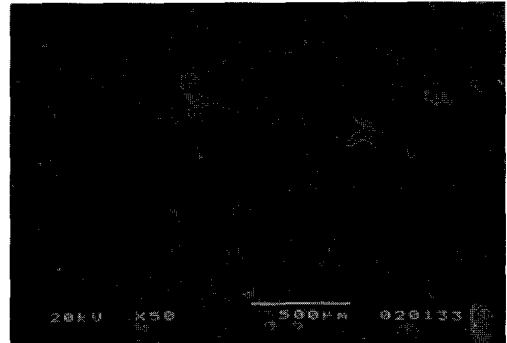


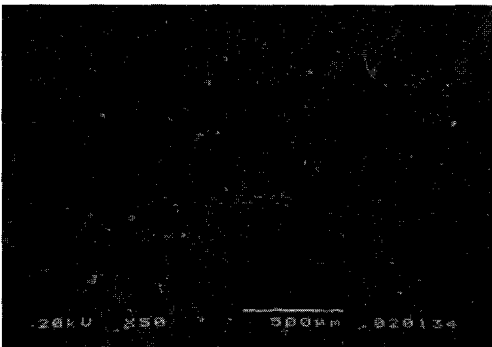
Figure 13. Wear rate of B-series specimens and reference.



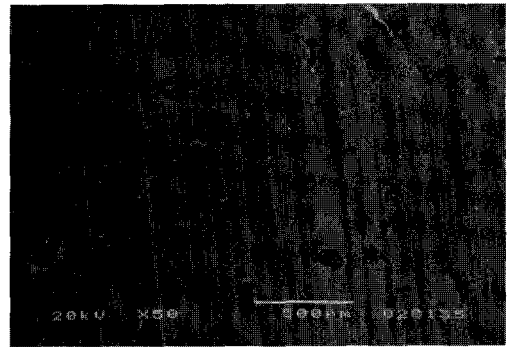
(B1)



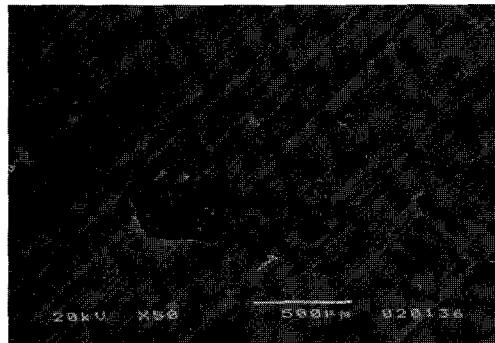
(B2)



(B3)



(B4)



(B5)

Figure 14. SEM photographs of surface of B-series specimens.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 지원(1997년)과 수원대학교 환경정정기술연구센터의 후원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. M. Jacko and S. K. Rhee, Encyclopedia of Chemical Technology, 4th Ed. Vol. 4, 523, 1992.
2. D. W. Gibson and G. J. Taccini, *SAE Trans.*, 98(5),

- 813 (1989).
3. 이영훈, 自工報, 113, 1989.
 4. T. Mibe, *SAE*, **44**(1), 68 (1990).
 5. E. K. Belyaev, N. M. Panasenکو and V. M. Tomenko, *Inorg. Mater.* **10**, 395 (1974).
 6. M. P. Stevens, *Polymer Chemistry*, Oxford, 1995.
 7. F. J. Washabaugh, *SAE Trans.*, **95**(3), 928 (1986).
 8. A. Knop and L. A. Pilato, *Phenolic Resins*, Springer-Verlage, Berlin, 1986.
 9. J. Dunnigan, *SAE Trans.*, **95**(5), 512 (1986).
 10. 신용철, 백남원, *한국환경위생학회지*, **15**, 1 (1989).
 11. 한국자원재생공사, *자원재생공사보*, **3**, 4, 1998.
 12. 박종일, 강동현, 강석춘, 정경호, 홍영근, *엘라스토머*, **35**(3), 180 (2000).