

BaSO₄와 CaCO₃가 자동차용 Brake Pad 의 마찰 특성에 미치는 영향 연구

정근중^{*} · 김향래 · 김대환 · 송현우¹⁾ · 최형기²⁾
한국타이어 중앙연구소 신소재연구팀¹⁾, Frixia²⁾

The Study on the Effect on Friction Characteristics of Brake Pads with BaSO₄ and CaCO₃

Geun Joong Jeong^{*}, Hyang Rae Kim, Dae Hwan Kim, Hyun Woo Song¹⁾,
Hyeoung Gi Choi²⁾

Advanced Material Research Team, R&D Center, Hankook Tire Co., Ltd¹⁾
Frixia Co., Ltd²⁾

Abstract – The purpose of this study is to investigate the friction characteristics of brake pads according to different ratios of BaSO₄/CaCO₃. Four brake pads with different ratios of BaSO₄/CaCO₃ were manufactured. The friction characteristics of brake pads were tested using 1/5 reduced scale tester. With increasing of the amount of BaSO₄ density and shear strength of brake pads were increased and hardness of brake pads were decreased. In effectiveness, the friction coefficient of brake pad was higher and the stability of friction coefficient was better as the ratio of BaSO₄ increased. In fade test, friction coefficient of B3 sample used only CaCO₃ was decreased rapidly. B1 sample showed a good noise performance without noise generation. The wear resistance of samples were decreased with increasing of the ratio of CaCO₃.

Key words – Brake Pad, BaSO₄, CaCO₃, Scale Tester, Effectiveness, Fade, Noise, Wear

1. 서 론

자동차용 Brake Pad 는 자동차 주행시의 운동 에너지를 Brake Pad 와 Disc 와의 마찰에 의하여 열에너지로 변환시켜 주행하는 자동차를 감속 또는 정지시키는 역할을 한다. Brake Pad 와 Disc 와의 마찰에 의해 발생한 열의 대부분은 Disc 와 Brake Pad 로 전달되어 마찰계면의 온도를 상승

시키게 된다. 이러한 온도 상승은 Disc 와 Brake Pad 의 물성(Physical Properties)에 영향을 주어 Brake Pad 마찰 성능에 직접적인 영향을 끼치게 된다.

Brake Pad 에 사용되는 원료는 크게 유기 원료, 금속 원료 및 무기 원료로 구분되며, 용도에 따라 대표적으로 분류를 하면 Table 1 과 같이 섬유, 결합제, 연마제, 윤활제, 마찰조정제 및 충전제로 나눌 수 있다.

Table 1. The Classification of Raw Materials

구 분	주요 원료	비 고
섬유	Kevlar, Acryl Steel Fiber 등	강도
결합제	페놀 수지	수지
연마제	ZrSiO ₄ , Fe ₃ O ₄ , Al ₂ O ₃ 등	금속 산화물
윤활제	C 계, Sulfide 계	
마찰조정제	Cashew Dust 등	
충진제	BaSO ₄ , CaCO ₃ Ca(OH) ₂ 등	

실제 자동차용 Brake Pad 에 사용되는 원료들은 입자 형상과 크기가 상이하며 10 ~ 20 종의 원료를 이용하여 제조된다. 사용되는 원료 종류와 특성은 Brake Pad 의 마찰 성능에 직접적인 영향을 끼쳐 제품 개발시 매우 중요한 역할을 하므로, 원료에 따른 마찰 특성에 대한 연구가 활발하게 이루어 지고 있다.

BaSO₄ 와 CaCO₃ 는 대표적인 충진제일 뿐만 아니라 가격 경쟁력도 있어 Brake Pad 의 기본 원료로 널리 사용되고 있다. 따라서, BaSO₄ 와 CaCO₃ 의 비율에 따른 Brake Pad 의 마찰 특성 변화를 살펴봄으로써 Brake Pad 의 마찰 특성을 이해하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험은 NAO(Non Asbestos Organic)계 Compound 를 이용하여 Brake Pad 를 제조

하여 마찰재 물성 및 마찰 특성을 분석을 실시하였다. 본 실험 평가에 사용된 Brake Pad 의 조성은 Table 2 와 같다.

Table 2. Brake Pad Recipe(vol%)

구 분	B0	B1	B2	B3
섬유	18.0	<-	<-	<-
수지	20.0	<-	<-	<-
기타	48.0	<-	<-	<-
BaSO ₄	24.0	16.0	8.0	0.0
CaCO ₃	0.0	8.0	16.0	24.0
합계	100	100	100	100

본 시험의 대상 원료인 BaSO₄ 와 CaCO₃ 의 특성은 SEM 에 의한 원료 Morphology 및 TGA 에 의한 내열성을 측정하였다. 마찰재의 물성은 마찰재의 중요한 기본 물성인 비중, 경도 및 접착 강도를 측정하였다.

마찰 특성 평가는 Scale Tester 로써, 완제품을 이용하는 Full Size Dynamometer 를 1/5 로 축소한 Caliper 형 Scale Tester 로 완제품이 아닌 시편을 가공하여 시험하였다. Scale Tester 의 개략적인 모형은 Fig. 1 과 같다.

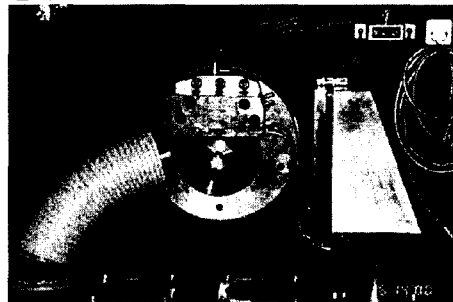


Fig. 1 The Scheme of Scale Tester

Scale Tester 에는 FFT 가 장착되어 있어 Brake Pad 의 마찰계수뿐만 아니라 제동시 발생하는 Noise 까지 측정할 수 있다.

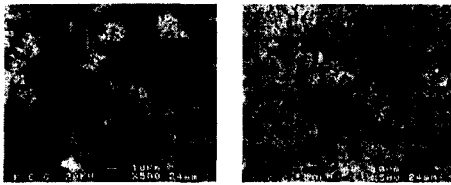
3. 실험결과 및 토의

3-1. 원료 특성

BaSO₄ 와 CaCO₃ 의 일반적인 특성은 Table 3 과 같고, Fig. 2 는 SEM 에 의하여 측정된 원료의 Morphology 를, Fig. 3 은 TGA 에 의해 측정된 원료의 내열성을 나타내고 있다.

Table3. Basic properties of BaSO₄ & CaCO₃

구분	BaSO ₄	CaCO ₃
결정 구조	사방정계	육방정계
경도	3.0 ~ 3.5	3.0
비중	4.2 ~ 4.5	2.7 ~ 2.8
pH	6.0 ~ 7.0	8.5 ~ 9.5



a) BaSO₄(X 500) b) CaCO₃(X 500)

Fig. 2 Morphology of BaSO₄ & CaCO₃

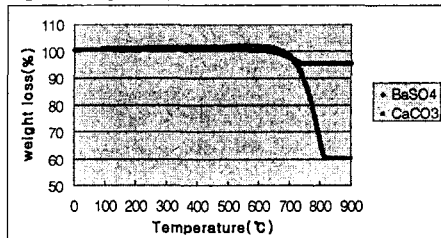
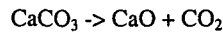


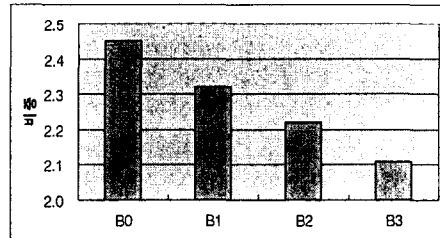
Fig.3 Weight loss of BaSO₄ & CaCO₃

Table 3 에서 보듯이 BaSO₄ 는 비중이 CaCO₃ 보다 무거운 원료이므로 제품 경량화에는 불리한 원료로 판단이 된다. 원료의 열안정성을 살펴 보면 CaCO₃ 는 700℃ 이후 급격한 중량 감소가 일어나는 것을 볼 수 있다. 이는 CaCO₃ 가 열을 받으면 다음의 화학반응식과 같이 분해되기 때문이다.

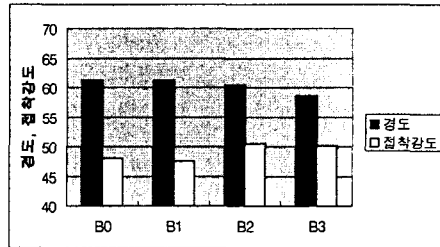


3-2. 기본 물성

마찰재의 기본 물성은 비중, 경도 및 접착 강도이며 제품 제조시 가장 중요한 검사 항목들로 기본 물성을 측정함으로써 제품이 정상적으로 제조되었는지 여부를 쉽게 확인할 수 있다. Fig. 4 에 비중, 경도 및 접착 강도를 나타냈다.



a) Density



b) Hardness & Shear Strength

Fig. 4 Physical Properties of Brake Pads

제품 비중은 BaSO₄ 비율이 감소할 수록 비중이 낮아짐을 알 수 있는 데, 이는 BaSO₄ 비중이 CaCO₃보다 높기 때문이다.

경도는 BaSO₄ 함량이 감소할수록 감소되며 접착 강도는 BaSO₄ 함량이 감소할수록 즉, CaCO₃의 함량이 증가할수록 약간 증가되는 경향을 보이고 있다.

3-3 마찰 특성

마찰 특성은 실제 운전 조건과 동일한 조건으로 평가하는 것이 Brake Pad 개발에 유리하다. 본 시험에서는 JASO C406 Mode 를 근거하여 Scale Tester 로 평가하였으며 전반적인 마찰 특성은 Fig. 5 과 같다.

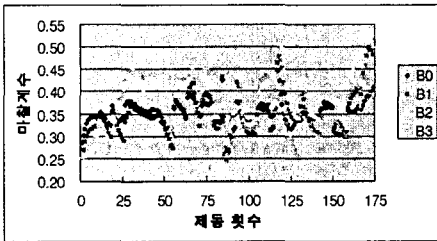


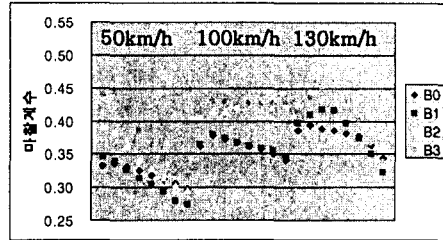
Fig. 5 Friction Coefficients of Brake Pads

Fig.5 와 같이 마찰계수가 많은 변화를 보이는 원인은 제동 속도, 감속도 및 온도 등의 제동 조건이 다양하기 때문이다. 마찰 특성중 주요한 성능으로 인정되는 효력(Effectiveness)과 Fade 마찰 특성에 대하여 구체적으로 고찰하였으며 Noise 및 내마모성도 평가하였다.

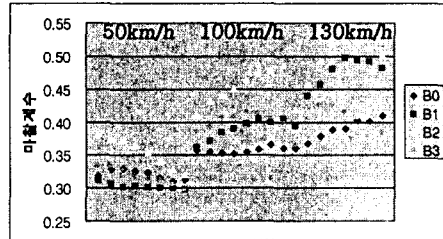
3-3-1 효력(Effectiveness) 특성

마찰재의 효력 시험은 속도(50, 100, 130km/h) 및 감속도(0.1g ~ 0.8g)의 변화에 따른 마찰 특성을 평가하는 항목으로 3

회 실시한다. 본 시험에서는 Fade 전의 마찰 특성을 평가하는 2nd 효력 그리고 Fade 를 통하여 마찰재가 열을 받은 후 마찰 특성의 변화를 평가하는 3rd 효력의 특성을 살펴 보았으며 결과는 Fig. 6 과 같다.



a) 2nd Effectiveness (Before Fade)



b) 3rd Effectiveness (After Fade)

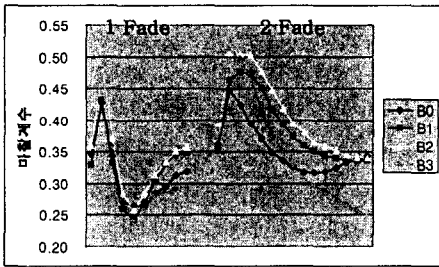
Fig. 6 Effectiveness of Brake Pads

BaSO₄를 단독 사용한 B0 는 2 효력과 3 효력에서 마찰계수는 낮지만 마찰 안정성은 우수한 경향을 보이고 있다. 그리고, CaCO₃ 단독 사용한 B3 는 저속에서는 안정된 마찰계수를 보이나 100 km/h 이상의 고속 및 고감속도에서는 마찰계수가 저하되는 경향을 보이고 있다. 특히, 130km/h에서는 마찰계수가 급격히 감소되고 있는데, 이는 누적된 제품내 열과 고속 및 고감속도 제동시 발생하는 마찰열과의 상승 효과에 의하여 CaCO₃의 분해가 촉진되어 나타나는 것으로 판단된다.

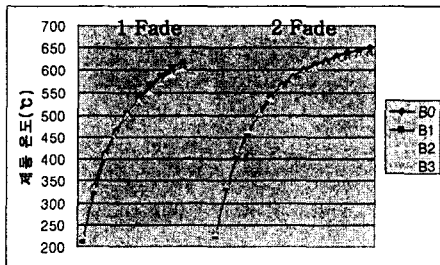
BaSO₄ 단독 또는 혼합 사용한 시편들은 3 효력의 마찰계수가 2 효력보다 안정되고 높은 경향을 보이고 있는 데, 이러한 특성은 내열성이 불리한 유기물이 Fade 를 거치면서 고온에서 탄화되어 Brake Pad 의 내열성이 향상되었기 때문이다.

3-3-2 Fade 특성

일반적으로, 마찰계는 온도가 상승할수록 마찰계수가 저하되는 데 이를 Fade 현상이라고 한다. Fade 특성 평가는 인위적으로 온도를 상승시키면서 마찰계수 변화를 살펴 보는 항목이며, Fig. 7 에 Fade 시의 마찰계수와 제동 온도를 나타내었다.



a) Friction Coefficients



b) Braking Temperatures

Fig. 7 Friction Coefficients & Braking Temperatures in 1 & 2 Fades

1 Fade 의 마찰계수가 2 Fade 보다 급격한 변화를 보이고, 불안정한 거동을 보이

고 있는 데, 제동 온도가 상승하면서 수지 등의 유기물이 분해되기 때문이다. CaCO₃ 를 단독 사용한 B3 은 1 & 2 Fade 에서 마찰계수가 낮은 경향을 보이며 특히 2 Fade 에서는 급격히 감소되는 모습을 보이고 있다. 이러한 현상은 고온에서 CaCO₃ 가 CaO 와 CO₂ 로 분해되기 때문으로 판단된다.

3-3-3 Noise 및 내마모성

Brake Noise 특성은 Noise 발생율로 나타냈으며 Fig. 8 과 같다. Noise 발생율은 5% 미만으로, 15KHz 이상의 소음이 주로 발생하였다. BaSO₄ 와 CaCO₃ 를 2:1 비율로 사용한 B1 는 소음이 발생하지 않는 우수한 소음 특성을 나타내었다.

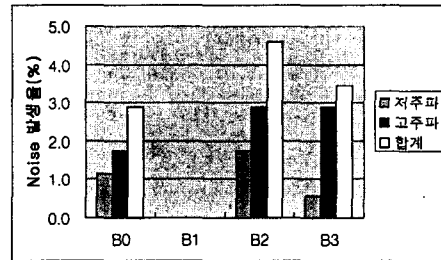


Fig. 8 Noise Propensity of Brake Pads

내마모성 평가는 저온과 고온으로 나누어 시험을 하였으며, Fig. 9 와 같다.

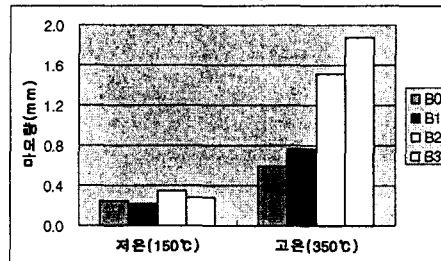


Fig. 9 Wear Resistance of Brake Pads

BaSO₄ 함량이 감소할수록 내마모성은 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 고온에서의 내마모성이 급격히 불리해지는 경향을 보이고 있다. 이는 고온 마모 시험 제동시 발생한 450℃에 가까운 마찰열이 지속되어, BaSO₄ 보다 고온에서의 내열성이 불리한 CaCO₃의 분해가 촉진되어 마모가 쉽게 일어나는 것으로 사료된다.

4. 결론

Brake Pad 에서 충전제로 널리 사용되는 BaSO₄ 와 CaCO₃ 의 사용 비율을 변화시키면서 제품 마찰 특성을 시험 하였으며, 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 원료 내열성은 600℃까지는 BaSO₄ 와 CaCO₃ 가 동일한 특성을 보이나, 600℃ 이상의 고온에서 CaCO₃ 의 내열성이 급격히 저하되었다.
2. BaSO₄ 함량이 감소할수록 비중과 경도는 감소하고, 접착 강도는 증가한다.
3. 효력 특성에서 BaSO₄ 함량이 감소할수록 마찰계수는 증가하였으나 안정성이 저하되었다. Fade 특성에서는 CaCO₃ 단독 사용시 내 Fade 성이 급격히 저하된다.
4. Noise 특성은 대부분이 5%미만의 소음이 발생하였으며, 고주파 소음이 많았다. 그리고, BaSO₄/CaCO₃ = 2:1 인 시편 B1 은 소음이 발생하지 않았다.
5. 내마모성 특성은 CaCO₃ 함량이 증가할수록 저하되었으며, 특히 고온 마모에서 매우 불리한 특성을 보이고 있다.

참고 문헌

1. Katsuhiko Shibata, Akira Goto, Satoshi Yoshida, Yuichi Azuma, and Koji Nakamura, "Development of Brake Friction Material", SAE Paper, No. 930806, 1993.
2. Yosuki Sasaki, "Development Philosophy of Friction Materials for Automobile Disc Brakes", IPC-8 Proceedings, Volume 2, 1995, Paper No 953169, p p407~412.
3. Shinchi Ozeki, "Modified Phenolic Resins for High Performance Friction Applications", Proceedings of the 19th Annual Brake Collquium & Exhibition, 2001-01-3127, Oct. 2001.
4. 조종두, "자동차 브레이크 설계 요소", 대한기계학회지, 1997.9, pp49-57.
5. 정동윤, 정기백, "비석면 케블라 마찰재의 제동특성에 관한 연구", 한국자동차공학회논문집 제 2 권 제 5 호, 1994, pp 41-47.
6. 김제균, 이충근, 김성수, "마찰재 재질 차이에 따른 Groan Noise 영향 고찰", 한국윤활학회, 제 36 회 춘계학술대회, 2003, pp27~33.
7. 김성진, 장호, "자동차 제동시 나타나는 마찰재의 마찰 특성에 관한 연구", 한국윤활학회, Vol 13(3), 1997, pp10-19.
8. 고길주, 조민형, 장호, "마찰재에 함유된 금속섬유와 마찰 특성의 연계관계", 한국윤활학회, Vol 17(4), 2001, pp267-275.