

자동차 브레이크용 마찰재 내의 강철섬유, 지르콘, 캐슈가 크립 그론에 미치는 영향

이강선 · 이은주 · 장호[†] · 정근중* · 송현우*

고려대학교 신소재공학과
*한국타이어(주) 중앙연구소 신소재연구팀

Effects of Steel Fiber, Zircon, and Cashew in the Brake Friction Materials on Creep Groan Phenomena

Kang Sun Lee, Eun Ju Lee, Ho Jang[†], Geun Joong Jeong* and Hyun Woo Song*

Dept. of Material Science and Engineering, Korea University.

*Advanced Material Research Team, R&D Center, Hankook Tire Co., Ltd

Abstract – Friction characteristics of a low-steel friction material were examined to investigate creep groan phenomena. The amount of three ingredients (steel fiber, ZrSiO₄, cashew) were changed to produce test specimens using a constrained mixture design. Tribological properties of the friction material specimens were obtained by using a 1/5 scale dynamometer.

Results showed that the amount of three different ingredients strongly affected the level of friction coefficient and the difference between the static friction coefficient and the kinetic friction coefficient ($\Delta\mu$). ZrSiO₄ and steel fiber tended to increase the average friction coefficient and aggravated the stick-slip phenomena suggesting high creep groan propensity. On the other hand, cashew tended to decrease average friction coefficient and $\Delta\mu$.

Key words – creep groan, friction characteristics, steel fiber, zircon, cashew, friction materials

1. 서 론

자동차 브레이크용 마찰재는 안정된 제동력, 우수한 내마모성, 고온 안정성 및 소음특성 등을 만족시켜야 한다. 이들 중 소음은 운전자의 불안 함과 불쾌감을 유발하는 요소로, 제동시 나타나는 대표적인 소음에는 고주파수(2,000 Hz 이상) 소음인 스킵(squeal)과 저주파수(20-200 Hz) 소음인 크립 그론(creep groan)이 있다 [1-3]. 이러한 소음 들은 스틱-슬립(stick-slip) 현상에 기인한 것으로 알려져 있으며, 스틱-슬립 현상은 동마찰 계수(μ_k)와 정마찰 계수(μ_s)의 차이($\Delta\mu$)에 기인된 현상 [4-8] 으로 알려져 있다. 또, 속도에 따른 마찰계수의 기울기 가 음의 값을 나타내는 경우에 심하게 나타나

는 것으로 보고되고 있다.

제동 소음 문제를 해결하는 방법으로 기계적 환경을 개선하는 방법이 가장 많이 동원된다[9]. 그러나 기계적 환경을 개선하는 방법은 자동차 샤시 디자인을 변경하여 소음의 전달경로를 차단 하는 방법으로 소음 발생을 제거하기 위한 근본 적인 해결책이 되지 않는 못한다. 반면에 마찰재의 개선을 통하여 동마찰계수(μ_k)와 정마찰계수(μ_s)의 차이($\Delta\mu$)를 최소화함으로써 속도에 따른 마찰계수의 변화를 줄이는 방법은 소음발생의 원인을 없애는 근본적인 해결책이라 할 수 있다. 하지만, 제동에 필요한 다양한 조건들을 동시에 만족시키며 정·동마찰계수의 차이를 줄이는 것은 매우 어려운 일이다. 자동차 브레이크에서 발생하는 소음을 감소시키기 위하여 다양한 연구가 진행 되어왔으며 그 중 creep groan을 감소시키기 위한 연구[10]에서 저속속계(low

[†]주저자 · 책임저자 : hojang@korea.ac.kr

Table 1. Ingredient of the friction materials used in this study

Role	Ingredients
Reinforcing Fiber	Aramid fiber, Steel fiber, Mineral fiber, Cu chip
Binder	Phenolic resin
Solid Lubricant	Natural graphite, Artificial graphite, Cokes
Abrasive	ZrSiO ₄
Filler	Cashew, Rubber, BaSO ₄ , Vermiculate, Ca(OH) ₂

Table 2. Test procedure

Burnishing :
v=65 km/h, deceleration rate=0.35 g
Torque control mode
Low speed burnishing :
P=20 kgf/cm ² , v=20 mm/sec, time=5 min
μ-v test :
P=50 kgf/cm ² , v=3, 5, 7, 10, 15, 17 mm/sec,
Drag mode

steel) 마찰재를 대상으로 각 원료가 정·동 마찰계수의 차이에 미치는 영향을 연구한 결과, 강철섬유(steel fiber), 지르콘 (ZrSiO₄), 캐슈(cashew)가 가장 주요하게 영향을 미치는 것으로 보고되었다.

따라서, 본 연구에서는 상용화 되어 있는 14종의 원료를 포함하는 저급속계 마찰재를 대상으로 강철섬유, 지르콘, 캐슈의 상대량의 변화에 따른 다양한 마찰 특성을 평가하고 소음을 최소화 하기 위한 개선 방안을 제시하였다.

2. 실험방법

2-1. 시편제작

본 실험에서 사용되는 마찰재는 14종의 원료를 포함하는 마찰계수 0.4 수준의 마찰재로서 사용된 원료는 그 역할에 따라 분류하여 Table 1에 나타 내었다. 강철섬유, 지르콘, 캐슈의 영향을 알아보기 위하여 다른 원료의 함량은 고정하였고, 혼 합물에 의한 실험계획법을 사용하여 세 원료의 함량이 상대적으로 변화하도록 하여(Fig. 1), 10개의 마찰재를 제작하였다. G1은 기본마찰재와 같은 조성을 갖는 시편이고, G8은 강철섬유가 다량 포함된 시편이며, G9와 G10은 각각 지르콘과 캐슈가 다량 포함된 시편을 의미한다.

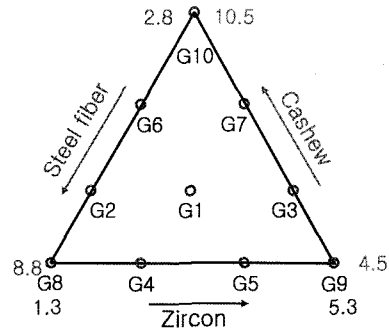


Fig. 1. The composition of the specimens designed using a contained mixture design.

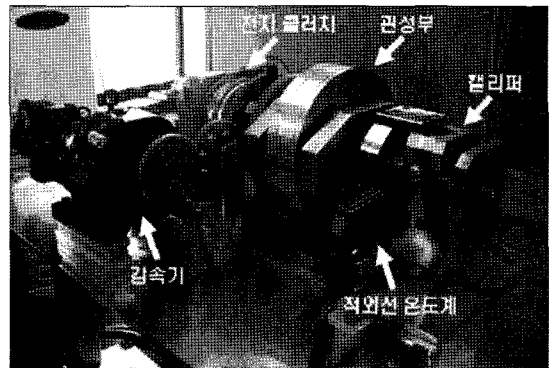


Fig. 2. A photograph of the 1/5 scale dynamometer used in this study.

마찰재 시편들은 시편은 원료의 계량, 혼합, 성형, 열처리, 후처리의 순서로 제작하였으며 구체적인 제조 방법은 이미 발표한 바 있다[10,11].

제동 시험기의 시편크기는 45×18×7 mm³이며, 디스크에 접촉하는 면적은 45×18 mm²이다. 상대 재는 회주철 디스크로서, 상용화 되어 있는 회주철 디스크와 같은 조성으로 주조하였으며, 그 크기는 외경 142 mm, 내경 50 mm, 두께 8 mm로 가공하였다.

2-2. 마찰시험

본 연구에 사용된 시험기는 실차의 제동 상황을 모사하는 축소 제동시험기를 사용하였다(Fig. 2). 시험기는 마찰재, 관성(inertia), 디스크 등의 크기를 실차의 1/5 크기로 축소시킨 것으로, 제동 시험중의 결과는 컴퓨터를 통하여 100 Hz의 속도로 저장하였으며, 온도는 비접촉식 적외선 온도계(IRtec 500)를 사용하여 디스크 측면의 온도를 측정하였다.

마찰시험은 burnish, 저속 burnish, 저속 μ-v 시험 순서로 시험하였다(Table 2). Burnish는 마찰재와 디스크

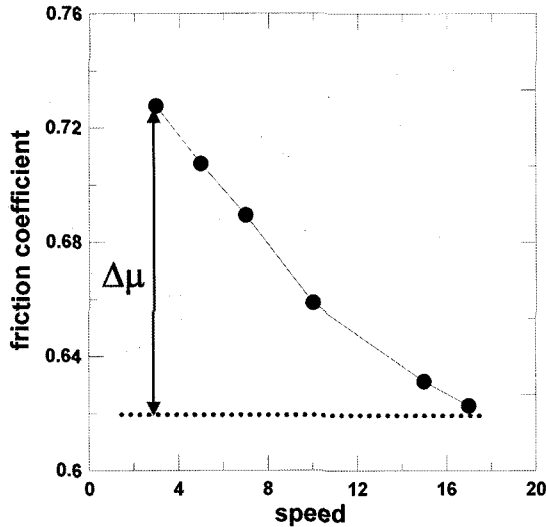


Fig. 3. Definition of D_m in the μ - v test mode.

크 표면이 균일한 접촉을 이루어 정상 상태(steady state)에 도달하기 위한 과정이며, 저속 burnish는 저속 실험 초기의 계면 상태를 균일하게 만드는 과정이다. 실질적인 시험은 저속 μ - v 시험으로, 특정 속도(3, 5, 7, 10, 15, 17 mm/sec)에서 정속으로 디스크 3회전 동안에 마찰계수를 측정 하는 것이다. 각 속도에서 측정된 3회전 동안의 마찰계수를 평균하여 나타낸 후 최소 속도에서 평균 마찰계수 값과 최대 속도에서 평균 마찰계수 값의 차이를 $\Delta\mu$ 값으로 표현하였다. Fig. 3에서 X축은 속도를 나타내고 Y축은 평균 마찰계수를 나타내며, 속도에 따른 마찰계수의 변화를 나타냈다. 이러한 시험방법은 연속적인 속도 변화에 따른 마찰계수의 변화를 관찰할 수는 없지만, DTV 또는 run-out의 영향을 배제할 수 있는 장점이 있다. 이렇게 얻어진 $\Delta\mu$ 값의 크기를 비교하여 크립 그른 발생 여부를 예측하며, $\Delta\mu$ 값이 클수록 크립 그른의 발생 정도가 심한 것을 의미 한다.

3. 실험결과 및 토의

강철섬유, 지르콘, 캐슈가 마찰특성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 각 성분의 함량이 가장 많은 G8, G9, G10 시편(Fig. 1의 꼭지점에 대한 대표적인 실험 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 세 시편 모두 속도 증가에 따른 마찰계수는 음의 기울기를 나타내었고, 강철 섬유 함량이 높은 G8시편과 지르콘 함량이 높은

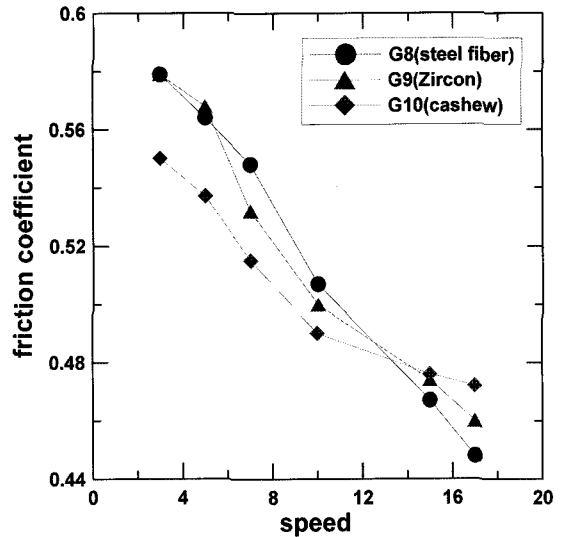


Fig. 4. $\Delta\mu$ values in the three specimens(G8, G9, G10) after μ - v tests.

G9시편의 경우 G10에 비하여 저속에서 높은 마찰계수를 나타내었으며, 속도의 증가에 따른 마찰계수의 감소폭 또한 크게 나타내었고 그에 따라 $\Delta\mu$ 값 또한 높게 나타났다. 이것은 강철 섬유가 상대재인 회주철과의 금속간 결합(metal to metal contact)을 이루어 저속에서 마찰계수의 상승이 발생하는 것[12]으로 판단된다. 반면에 캐슈가 다량 포함된 G10의 경우는 낮은 마찰계수와 낮은 $\Delta\mu$ 값을 나타내었다. 이 경우는 낮은 $\Delta\mu$ 값과 낮은 마찰계수를 나타내었으며, 이는 캐슈의 함량증가로 인한 두꺼운 전이막의 형성에 따른 결과로 판단된다. 이러한 두꺼운 전이막의 형성이 마찰계수를 낮추고 소음 특성을 향상시킨다는 결과는 이미 발표된 바 있다[13]. 지르콘을 다량 포함한 G9 시편의 경우는 강철 섬유 보다 낮은 $\Delta\mu$ 값 및 높은 마찰계수를 나타내었으며, 이것은 지르콘의 연마작용에 의해 전체적인 마찰계수를 상승시켜 속도에 따른 마찰계수의 기울기도 증가시킨 것으로 판단된다. 세 시편에서의 마찰계수 및 $\Delta\mu$ 값의 차이는 각 원료의 특성에 기인한 현상으로, 스틱슬립 현상을 감소시키기 위한 방법으로는 강철섬유의 양을 줄이고 $\Delta\mu$ 값을 가장 감소시킬 수 있는 캐슈의 함량을 높이는 것이 합당하다.

조성을 개선하는데 있어서 소음특성 감소뿐만 아니라 기본 마찰계의 마찰특성 유지라는 조건을 만족시켜야 한다. burnish과정에서 나타난 마찰계수 값을 Fig. 5에 나타내었으며, 원료의 함량에 따라 서로 다른 마

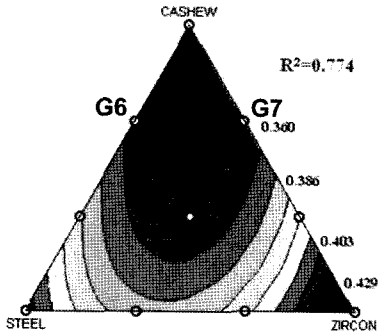


Fig. 5. The change of average friction coefficient within the constrained region in the Fig. 1.

찰계수 수준을 나타내는 것을 확인할 수 있다. Fig. 1의 모든 시험점의 μ -v 시험 결과 중에서 마찰계수 수준이 기본마찰재와 유사 하였던 G6과 G7 시편에 대한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이 두 시편은 캐슈의 함량이 기본마찰재보다 높고 강철섬유와 지르콘의 함량이 서로 다른 시편들이다. $\Delta\mu$ 값을 비교해 보면 강철섬유의 함량이 상대적으로 적은 G7 시편의 경우 상대적으로 강철섬유의 함량이 많은 G6에 비해 작은 $\Delta\mu$ 값을 나타내었다. 이러한 결과는 원료간의 상호작용에 의한 것이며 극저속 조건인 μ -v 시험에서, 같은 캐슈 함량을 갖는 시편의 경우 강철섬유의 금속간 응착현상에 의한 $\Delta\mu$ 값 상승이 지르콘의 연마현상에 의한 $\Delta\mu$ 값 상승보다 주도 적인 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 결과로부터, 강철섬유는 크립 그론의 발

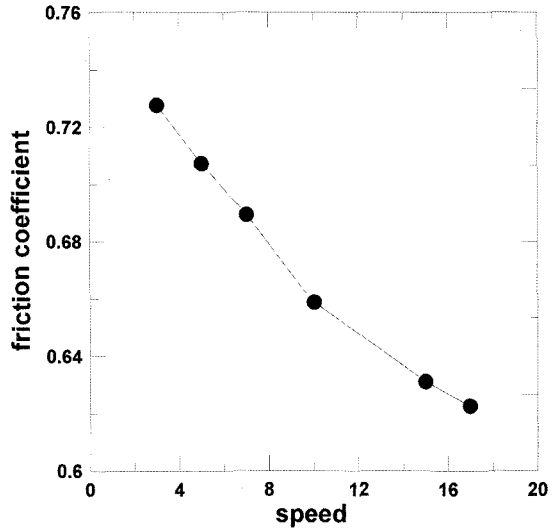
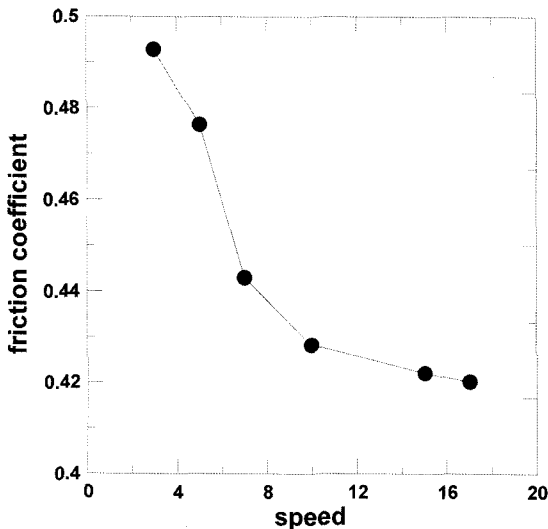


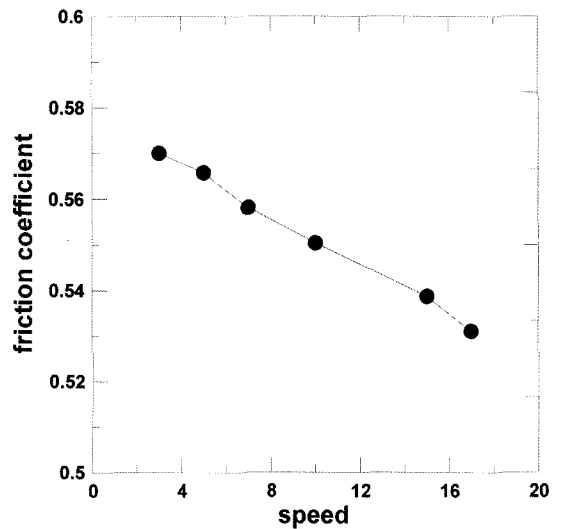
Fig. 7. $\Delta\mu$ values of the G1(basic) specimens after μ -v tests, $\Delta\mu=0.1050$.

생 을 증가시키는 원료이고, 지르콘은 크립 그론을 발생시키지만 강철섬유보다 그 영향이 적으며, 캐슈는 크립 그론을 감소시키는 원료로 판단된다. 마찰계수 수준 및 $\Delta\mu$ 값을 비교한 결과, 개선재의 조성은 G7(강철섬유:2.8, 지르콘:3.3, 캐슈:8.5) 조성의 근처에서 결정되어야 할 것으로 사료된다.

개선효과를 알아보기 위하여 기본마찰재인 G1 시편의 μ -v 시험에서 속도에 따른 $\Delta\mu$ 값을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7과 Fig. 6-(b)를 비교하여 보면 G7 시



(a) G6, $\Delta\mu=0.0726$



(b) G7, $\Delta\mu=0.0386$

Fig. 6. $\Delta\mu$ values in the two specimens(G6, G7) after μ -v tests.

편의 $\Delta\mu$ 값이 G1 시편의 $\Delta\mu$ 값에 비해 여 절반 이후로 감소한 것을 확인할 수 있다.

결 론

본 연구에서는 상용화 된 저금속계 마찰재를 대상으로 크립그론에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되는 세 가지 원료(강철섬유, 지르콘, 캐슈)의 상대량을 변화시키며 속도에 따른 마찰특성의 변화를 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 모든 시편의 속도에 따른 평균마찰계수의 변화가 음의 기울기를 나타냈으며, 강철섬유 및 지르콘의 함량이 높은 시편이 캐슈의 함량이 높은 시편 보다 더 큰 음의 기울기를 나타냈다.

2. 강철섬유는 상대재인 회주철 디스크와 금속 간 응착현상에 의하여 $\Delta\mu$ 값을 높이며 크립 그론에 악 영향을 미칠 것으로 사료된다.

3. 지르콘은 연마작용에 의하여 마찰계수를 높이는 역할을 하며, 강철섬유 보다 그 영향력이 적었다.

4. 캐슈가 다량 포함된 시편은 전이막 형성에 영향을 끼쳐 낮은 마찰계수와 $\Delta\mu$ 값을 나타내었다.

5. 혼합물에 대한 실험계획법으로 구성된 시편의 μ -v 시험결과 G7(강철섬유:2.8, 지르콘:3.3, 캐슈 8.5)의 조성으로 개선하는 것이 크립 그론 감소에 가장 합당 하리라 판단된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 국가지정 연구실 사업(과제번호: R0A-2007-000-10011-0)에 의하여 이루어졌

습니다.

참고문헌

1. J. Brecht, W. Goffrichter, A Fohle, SAE Papers 973026, 1997.
2. M. Gouya, M.Nishiuwaki, SAE Papers 90007, 1990.
3. V. Vadari, M. Jackson, SAE Papers 1999-01-3408, 1999.
4. E. Rabinowicz, Friction and Wear of Materials, 2nd Edition, Wiley, New York, 1995, pp. 96-104.
5. F.P. Bowden, D. Tabor, The Friction and Lubrication of Solids, Oxford University Press, Oxford, 1953, pp 105.
6. A.A. Polycarpou, A. Soom, Wear 181-183 (1995) 32.
7. G.R. Symmons, G.J. McNulty, Wear 113 (1986) 79.
8. C. Gao, D. Kuhlmann-Wilsdorf, ASME J. Tribol. 112 (1990) 354
9. M. Bettella, M. F. Harrison and R. S. Sharp, "Investigation of automotive creep groan noise with a distributed-source excitation technique", *J. Sound and Vibration*, Vol. 255, Issue 3, 15, pp. 531-547, 2002.
10. S.J. Kim, M.H. Cho, D.S. Lim and H. Jang., "Synergistic effects of aramid pulp and potassium titanate whiskers in the automotive friction materials," wear Vol. 251, pp. 1484-1491, (2001).
11. S.J. Kim, K.S. Kim and H. Jang., "Optimization of manufacturing parameters for a brake lining using Taguchi method," *J. Mater. Processing technology* Vol. 136, pp. 202-208, (2003).
12. H. Jang, K. Ko, S. J. Kim, R. H. Basch and J. W. Fash, "The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials," *Wear*, Vol. 256, Issues 3-4, pp. 406-414, 2004.
13. 김성진, 장호, "흑연과 지르콘의 상대적 함량에 따른 마찰재의 고온 마찰 및 마모 특성," *J. KSTLE*, 제16권 제5호 pp. 365-37, 2000.