

# 자동차용 마찰재에 사용되는 아라미드 섬유와 티탄산칼륨 섬유의 역할

김 성 진 · 임 현 우 · 장 호

고려대학교 재료금속공학부

## The Roles of Aramid Pulp and Potassium Titanate Whisker in the Automotive Friction Materials

Seong Jin Kim · Hyun Woo Lim · Ho Jang

Division of Materials Science and Engineering, Korea University

**Abstract**—Friction and wear characteristics of novolac resin-based friction materials reinforced with aramid pulp and potassium titanate were investigated by using a pad-on-disk type friction tester. Friction properties such as friction stability, surface morphology, and wear rate varied according to the relative amount of aramid pulp and potassium titanate. The friction materials reinforced with both aramid pulp and potassium titanate showed superior friction stability and wear resistance due to the formation of durable transfer layer.

**Key words**—aramid pulp, potassium titanate, friction stability, transfer layer, wear

### 1. 서 론

자동차 브레이크용 마찰재에 사용되는 아라미드 섬유(aramid pulp)와 티탄산칼륨 섬유(potassium titanate whisker)는 강화섬유(reinforcing fiber)로서 예비성형체의 강도(preform strength)증가 및 마찰계수의 안정성(friction stability)과 내마모성을 향상시키기 위해 사용된다. 일반적으로 마찰재의 강화섬유로는 아라미드 섬유, 금속섬유(metallic fiber), 탄소섬유(carbon fiber), 세라믹섬유(ceramic fiber), 유리섬유(glass fiber) 등이 사용되고 있으며[1], 이를 원료중 2~3종의 강화섬유를 혼합하여 마찰재를 제조하고 있다.

아라미드 섬유는 액상결정용액(liquid

crystalline polymer solution)을 물레질(spinning)하여 얻으며, 방향성(orientation)을 지닌 유기질(organic) 원료이다. 특히, 아라미드 섬유내의 인접고리(adjacent chain)들은 강한 수소결합으로 연결되어 있으므로 525°C이하의 온도에서는 쉽게 열분해되지 않는 열적 특성을 지니고 있다[2]. 세라믹섬유인 티탄산칼륨 섬유는  $K_2O \cdot (TiO_2)_n$ 의 일반식을 지닌 단결정 섬유로서 n에 따라 층상구조(layer structure)와 터널구조(tunneling structure)를 나타내며 단열성, 내산성, 내알칼리성이 우수한 인조광물로 알려져 있다[3]. 그러나, 자동차용 마찰재에 첨가되는 강화섬유들의 상호역할에 대해서는 거의 알려져 있지 않으며, 결합제와의 강

화효과에 대해서도 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 pad-on-disk 형태의 마찰시험기를 이용하여 강화섬유로서 아라미드 섬유만을 사용한 마찰재와 아라미드 섬유와 티탄산칼륨 섬유를 함께 사용한 마찰재의 마찰 및 마모특성을 비교분석하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서 사용한 마찰재는 폐놀수지, 아라미드 섬유, 티탄산칼륨 섬유, 황산바륨, 흑연을 이용하여 제조하였다. 결합제(binder)로 사용된 폐놀수지는 상용폐놀수지(Bakelite<sup>TM</sup>, Bakelite Inc.)와 변성폐놀수지(Xylok<sup>TM</sup>, Mitsuitoatsu Chemical Co.)를 이용하였으며, 강화섬유로는 아라미드 섬유(Kevlar<sup>®</sup> #979, DuPont Inc.)와 티탄산칼륨 섬유( $K_2O \cdot 6(TiO_2)$  Tismo-D, Otsuka Chemical Co.)를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 시편들의 구체적인 조성과 재료적 특성은 Table 1에 나타내었으며, 마찰재의 제조공정과 마찰시험기에 대해서는 앞서 발표된 바 있으므로 생략하였다[4].

마찰재의 강화섬유에 따른 마찰특성을 고찰하기 위해 일정 초기온도(constant initial temperature)시험방법[5]을 채택하였다. 일정초기온도시험은 일반적으로 평지에서 나타나는 제동현상을 모사한 방법이며, 50°C의 초기제동온도에서 300 초 동안 800rpm의 속도와 6.3kgf/cm<sup>2</sup>의 가압력의 조건으로 5 회의 반복시험을 하였다.

마찰재의 경도(hardness)는 Rockwell 경도기(Akashi Rockwell ARK-600)를 이용하

여 HR-S 규격으로 측정하였으며, 마찰재의 기공률은 수은 기공계측기(mercury porosimetry, Autoporell 9220 V3.03)를 이용하여 50ksi의 고압으로 측정하였다. 마찰시험후 마찰재의 마모된 표면은 SEM(JEOL JSM 5310LV)전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

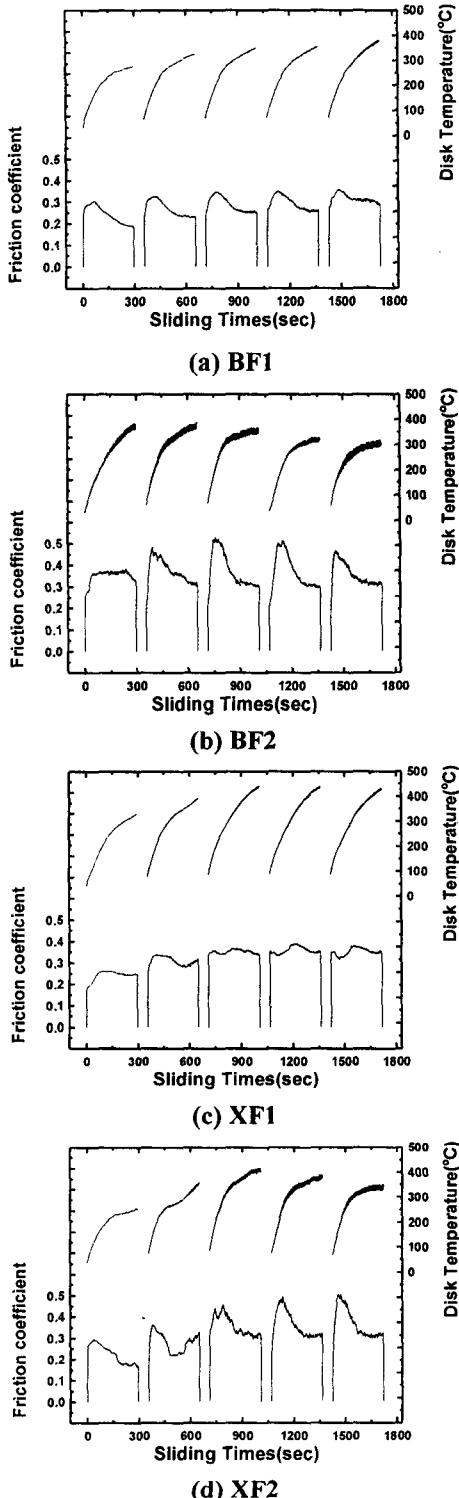
Table 1. The ingredients and physical properties of simplified friction materials used in this work[vol.%]

Raw materials	BF1	BF2	XF1	XF2
Straight novolac resin	20	20	0	0
Modified novolac resin	0	0	20	20
Aramid pulp	10	10	10	10
Potassium titanate	20	0	20	0
Barite	45	65	45	65
Graphite	5	5	5	5
Hardness, HR-S	68.6	88.7	73.1	71.9
Porosity, %	33.3	19.7	27.1	11.6

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3-1. 마찰계수의 안정성(friction stability)

아라미드 섬유와 티탄산칼륨 섬유가 마찰재의 마찰계수에 미치는 영향을 고찰하기 위해 아라미드 섬유와 티탄산칼륨 섬유를 함께 강화시킨 시편 BF1, XF1과 티탄산칼륨 섬유를 첨가하지 않고 아라미드 섬유로만 강화시킨 시편 BF2, XF2를 제조한 후, 일정 초기온도시험으로 5회에 걸쳐 분석하였다. 본 연구에서 사용한 마찰재의 마찰계수의 분포와 온도변화를 Fig. 1에 나타내었다. 시편 BF1과 XF1은 상대적으로 안정한 마찰계수의 분포를 나타내었으며, 반복시험시 진폭의 변화도 작게 나타났다.

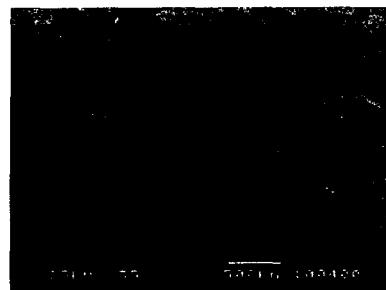


**Fig. 1. The variations of friction coefficient and disk temperature as a function of sliding time during constant initial temperature test.**

그러나, 아라미드 섬유로만 강화시킨 시편 BF2 와 XF2 는 200~300°C의 온도구간에서 급격한 마찰계수의 감소현상과 더불어 불규칙한 마찰계수의 진폭을 나타냈다. 이러한 현상은 아라미드 섬유로만 강화된 마찰재가 마찰시 상대적으로 약한 윤활막(transfer layer)을 형성하여 고온에서 쉽게 열분해됨으로써 마찰계수의 안정성을 저해시킨 것으로 평가되며, BF2 와 XF2 가 우수한 마찰계수의 안정성을 나타낸 것은 티탄산칼륨 섬유와 아라미드 섬유의 유기적인 강화효과로 설명할 수 있다.

### 3-2. 마찰표면(worn surface)의 고찰

마찰시험시 아라미드 섬유와 티탄산칼륨 섬유의 강화효과를 고찰하기 위해 각각 2회와 5회의 끌기시험을 마친후 마찰재의 표면을 SEM 을 이용하여 최저배율(x35)에서 관찰하였다. Fig. 2 에 볼 수 있듯이, (a)와 (b)는 각각 2회의 마찰시험후 시편 BF1 과 BF2 의 마찰표면이며, (c)와 (d)는 5회의 마찰시험후 마찰표면을 나타내었다. 시편 XF1 과 XF2 의 표면형상(surface morphology)도 Fig. 3 에 나타내었다. 강화섬유로 아라미드 섬유와 티탄산칼륨 섬유를 함께 강화시킨 시편 BF1 와 XF1 는 2회의 마찰시험후 균일한 표면막을 형성하였으며, 5회의 마찰시험후에도 윤활막이 유지됨을 보여주었다. 그러나, 아라미드 섬유로만 강화시킨 시편 BF2 와 XF2 는 2회의 마찰시험후에 이미 많은 표면막이 탈착되었으며



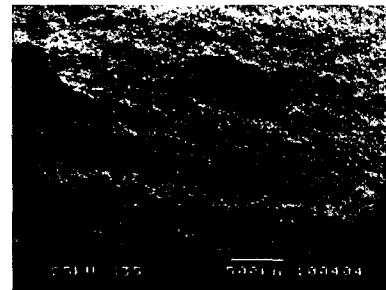
(a)



(b)

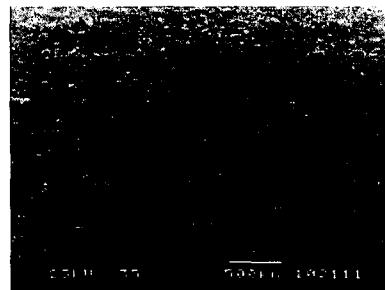


(c)

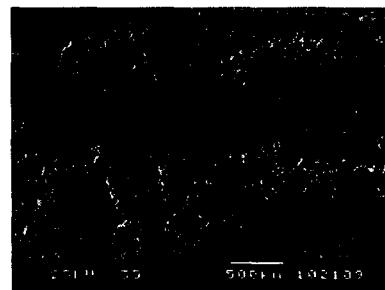


(d)

**Fig. 2. Worn surface of friction materials (a) BF1 and (b) BF2 after 2<sup>nd</sup> drag test, (c) BF1 and (d) BF2 after 5<sup>th</sup> drag test.**



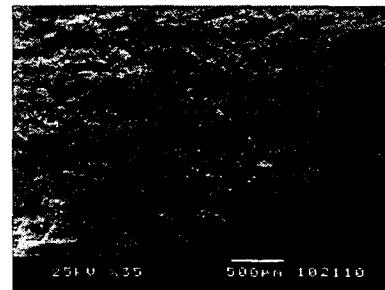
(a)



(b)



(c)



(d)

**Fig. 3. Worn surface of friction materials (a) XF1 and (b) XF2 after 2<sup>nd</sup> drag test, (c) XF1 and (d) XF2 after 5<sup>th</sup> drag test.**

5 회의 시험후에는 대부분의 마찰표면이 손상되어 있음을 나타내었다. 내열성이 우수하고 미세한 침상형태의 티탄산칼륨 섬유와 2~3mm 의 단섬유로 pulp 형태를 지닌 아라미드 섬유는 서로 균일하게 충전(filling)되어 강한 윤활막을 형성하므로 온도상승에 따라 마찰표면이 쉽게 탈착되지 않고 일정한 마찰계수를 유지하는 것으로 사료된다. 특히, 터널구조를 지닌 6 티탄산칼륨( $K_2O \cdot 6TiO_2$ ) 섬유내의  $K^+$ 이온(potassium cation)은 팔면체의  $TiO_2$ 에 의해 고정되어 있는데, 이러한  $K^+$ 이온이 결합제의 열분해를 억제하여 마찰계수의 안정성에 기여하는 것으로 보고되고 있다[6].

### 3-3. 마모율(wear rate)

티탄산칼륨 섬유와 아라미드 섬유에 따른 마찰재의 마모율을 고찰하기 위해 표면 균일화처리를 마친후 초기시편의 두께와 마찰시험후 시편의 두께를 측정하였다. 마모율은 시편두께의 변화로부터 측정한 마모된 부피(volume loss), 시험시간 동안 가해준 에너지와 그에 따른 마찰계수의 변화량을 고려하여 시간에 따른 마모량(volume loss/application times)으로 환산하였다. 5 회의 마찰시험을 통해 측정된 마찰재의 마모율을 Fig. 4에 나타내었다. 아라미드 섬유와 티탄산칼륨 섬유를 함께 강화시킨 시편 BF1과 XF1는 아라미드 섬유만 첨가시킨 시편 BF2, XF2에 비해 향상된 마모율을 나타내었다. 두 종의 강화섬유를 첨가하였을 때 나타나는 마모율의 감소현상은 마찰계면의 강한 윤활막에 기인하여 나타난 결과라고 판단된다. 특히, 마찰시 부드러운 표면을 형성시키고

다른 구성원료와의 결합력을 유지시키는 아라미드 섬유와 경도가 낮고(mohs=4) 충전성과 내열성이 우수한 티탄산칼륨 섬유의 상호보완역할로 인해 마찰계면에 균일한 윤활막을 형성하고 고온에서 쉽게 탈착되지 않는 특성을 지니는 것으로 평가된다.

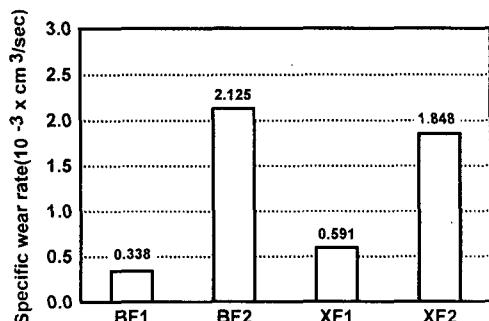


Fig. 4. The specific wear rate of friction materials during constant initial temperature test.

## 4. 결 론

Pad-on-disk 형태의 마찰시험기를 이용하여 자동차 브레이크용 마찰재에 사용되는 아라미드 섬유와 티탄산칼륨 섬유에 따른 마찰특성을 고찰하였다. 아라미드 섬유로만 강화된 마찰재에 비해 티탄산칼륨 섬유와 아라미드 섬유를 함께 강화시킨 마찰재는 온도상승에 따라 우수한 마찰계수의 안정성과 내마모성을 나타내었다. 이러한 결과는 아라미드 섬유와 티탄산칼륨 섬유의 상호 보완적인 강화효과(synergistic effect)로 인해 강한 윤활막을 형성하기 때문이라고 평가된다.

## 후기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구  
(과제번호: 98-0200-02-01-3) 지원으로 수행  
되었음.

## 참고문헌

1. 김성진, 장호, “자동차 제동시 나타나는 마찰재의 마찰특성에 관한 연구,” 한국 윤활학회지, 제 13 권, 제 3 호, pp.10-19, 1997.
2. J. C. Salamone, Polymeric Materials Encyclopedia, Vol.1, pp.381-389, CRC Press, Boca Raton, 1996.
3. H. C. Gulledge, “Fibrous Potassium Titanate,” Industrial and Engineering Chemistry, Vol.52, No.2, pp.117-118, 1960.
4. 김성진, 최낙천, 장호, “습도에 따른 자동차용 마찰재의 마찰특성에 관한 연구,” 제 28 회 추계윤활학술대회 초록집, pp.323-329, 서울대, 1998.
5. T. Kato and A. Magario, “The Wear of Aramid Fiber Reinforced Brake Pads: The Role of Aramid Fibers,” Tribology Transactions, Vol.37, pp.559-565, 1994.
6. K. Ko, H. Ohtaki, and Y. Ishikawa, “Frictional Properties of a Frictional Material Composited with Fibres of  $K_2O(TiO_2)_6$ ,” 日本機械學會論文集(C 編), 第 57 卷, 第 540 號, pp.248-253, 1991.