

자동차 제동시 나타나는 마찰특성에 관한 연구 (I. 고체 윤활제(Sb_2S_3)와 연마제($ZrSiO_4$)의 함량에 따른 영향)

장 호

고려대학교 공과대학 재료·금속공학부

Effect of the Amount of a Lubricant and an Abrasive in the Friction Material on Friction Characteristics

Ho Jang

Division of Materials Science & Engineering, Korea University

Abstract - Frictional behavior of three automotive friction materials (brake pads) containing different amounts of antimony trisulfide (Sb_2S_3) and zirconium silicate ($ZrSiO_4$) were investigated using a front brake system. The friction materials were tested on a brake dynamometer (dyno) with gray cast iron rotors. The dynamometer(dyno) test simulated the dragging of a vehicle maintaining 70 km/h and vehicle stops from 100 km/h using 20 different combinations of initial brake temperature (IBT) and input pressure (IP). The results showed a strong influence of the relative amount of Sb_2S_3 and $ZrSiO_4$ in friction materials on friction characteristics. Friction stability was improved with the higher concentration of Sb_2S_3 in the friction material. Torque variation during drag cycle was increased with an increase of the $ZrSiO_4$ concentration in the friction material. Average friction coefficient and the wear rate of the friction material increased by using more aggressive friction materials containing more $ZrSiO_4$ and less Sb_2S_3 . Generation of the disk thickness variation (DTV) increased when friction materials with higher concentration of $ZrSiO_4$ were used. Careful examination of DTV change showed that aggressiveness of the friction material played an important role in determining torque variation.

Key words - friction materials, lubricant, abrasives, friction characteristics, stop test, drag test.

1. 서 론

자동차 제동시에 사용되는 마찰재는 일반적으로 10여종 이상의 원료를 사용한 복합 재료로서 혼합에 사용될 원료 선정과 그들 원료의 배합 방법 그리고 그 후의 제조과정에 따라 그 제동 특성이 결정된다. 마찰재에 대한 연구는 자동차 제작 초기부터 제동성능 위주의 연구가 수행되어 왔으며 이들에 관한 과학적인 분석은 변수의 다양성과 새로운 원료의 끊임없는 개발로 인해 제품의 개발 속도에 미치지 못하고 있는 실정이다. 현재 자동차 브레이크용 마찰재에 관한 연구는 마찰재 제조업체와 자동차 제조업체를 중심으로

수행되고 있으며 마찰재에 사용되는 원료의 종류에 따른 마찰현상에 관한 근본적인 연구 보다는 조업 위주의 경험에 의존된 마찰재의 성능향상에 더 치중되어 왔다[1,2,3]. 1980년대 까지 자동차 브레이크용 마찰재로는 석면(asbestos)을 주원료로 사용한 마찰재가 사용 되었으며, 석면의 우수한 열 안정성과 높은 강도, 분산의 용이함, 그리고 저렴한 가격 때문에 석면이 마찰재의 구성요소 중 약 40-60%를 차지하고 있었다. 그러나 1980년대 후반 미국 환경보호국(EPA)의 석면 사용 금지령에 따라, 석면 대체 물질과 석면과 함께 사용되던 다른 주요 원료들에 대한 전반적인 연구가 활발히 시작되었다[4]. 그러나 마찰재의 복합 재

료적 특성 때문에 제동시의 마찰기구에 관한 연구는 어려움을 겪어 왔으며, 마찰기구가 충분히 이해되지 않은 상태에서 그 제동성능에만 의존하여 개발이 시행되어왔다. 마찰현상의 근본적인 기구에 대한 이해의 결핍은 다양한 브레이크 관련 문제점들을 근본적으로 해결하지 못하였으며, 따라서 1980년대 후반부터 브레이크 전반에 대한 여러 가지 문제점들이 높은 보증 수리비와 함께 크게 대두되었고 이때부터 제동시의 마찰현상에 대한 근본적인 이해를 위해 본격적으로 연구가 시작되었다[5,6].

자동차 브레이크용 마찰재는 일반적으로 약 8-20 종류의 다른 원료로 구성된 복합재료로서 그 구성요소는 크게 약 6가지 정도로 크게 나뉘어지며, 고착제(binder), 강화섬유(reinforcing fiber), 연마제(abrasives), 고체 윤활제(solid lubricant), 마찰조절제(friction modifier) 그리고 충전재(filler)로 크게 대별된다[7]. 이들 각각의 구성 원료는 자동차 제동시 요구되는 마찰특성을 얻기 위하여 적정량이 첨가되며 이때 사용된 구성물질의 종류 및 함량은 일반적으로 마찰재 생산업체의 비밀로서 공표하지 않는 것이 상례이다. 현재 선진국의 자동차 브레이크용 마찰재에 대한 연구는 주로 마찰재와 상대재(cast iron rotor) 사이의 계면에서 발생하는 마찰기구에 관하여 연구되고 있다[8,9]. 이는 마찰계면에서의 현상이 자동차 제동시에 매우 중요한 역할을 하기 때문이다. 따라서 마찰계면에서의 마찰특성에 관한 연구는 마찰재의 구성 물질, 상대재의 재질, 제동압력, 온도 그리고 습도에 의한 영향들을 고려하여 다양하게 연구되고 있다[10].

본 연구에서는 마찰재에 사용되는 원료 중 브레이크의 성능에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 고체 윤활제와 연마제 중 각 한 종류를 선택하여 그들의 상대적인 양을 변화시켜 마찰재를 제조하고 그에 따른 마찰특성을 연구하였다. 특히 압력과 온도의 변화에 따른 마찰계수 및 토크(torque)의 변화, 그리고 그에 따른 마모량에 관하여 비교 분석하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서 사용된 마찰재 시편은 현재 시판 중인 자동차에 사용되고 있는 마찰재를 기본으로 하고 그 구성 성분 중 고체 윤활제와 연마제의 상대적인 양을 변화시켜 총 3가지 시편을 제조하였다. 일반적으로

연마제 역할을 하는 원료가 많이 함유되어 있는 마찰재는 로터(rotor)에 대한 공격성(aggressiveness)이 심한 마찰재로 분류된다. 따라서 본 실험에서는 서로 다른 공격성을 가진 마찰재를 대상으로 시험한 경우라 하겠다. 실험에 사용한 시편의 고체 윤활제로는 현재 비석면계 유기물 마찰재에 많이 사용되고 있는 Sb_2S_3 (BBU Chemie Co.)를 사용하였고 연마제로는 $ZrSiO_4$ (Textar Co.)를 사용하였다. 마찰재 제조에 사용된 Sb_2S_3 와 $ZrSiO_4$ 의 상대량은 Table 1과 같다. Table 1에 나타난 바와 같이 3가지 마찰재 시편들 중에서 KU-9 시편의 공격성이 가장 심하다고 할 수 있다.

마찰재 제조에 사용된 그 이외의 원료는 고착제(Novolac Resin), 강화섬유(Aramid Fiber, Ceramic Fiber), 마찰조절제(Cashew Particle, Copper Powder, etc.), 그리고 충전재(Bayrite와 $CaCO_3$)로 이루어져 있다. 일반적으로 마찰재에 사용되는 연마제는 그 크기 분포와 형상이 마찰특성에 크게 영향을 미치므로 본 실험에서는 현재 마찰재 제조업체에서 많이 사용하고 있는 것을 사용하였다. 그 크기 분포와 그 형상을 Fig. 1에 나타내었다.

시편의 원재료 함량을 조절할 때 Sb_2S_3 와 $ZrSiO_4$ 의

Table 1. Amounts of Sb_2S_3 and $ZrSiO_4$ contained in the friction material specimen

	Sb_2S_3	$ZrSiO_4$	그 이외 재료
KU-1	6 wt.%	1 wt.%	93 wt.%
KU-5	4 wt.%	2 wt.%	94 wt.%
KU-9	2 wt.%	4 wt.%	94 wt.%

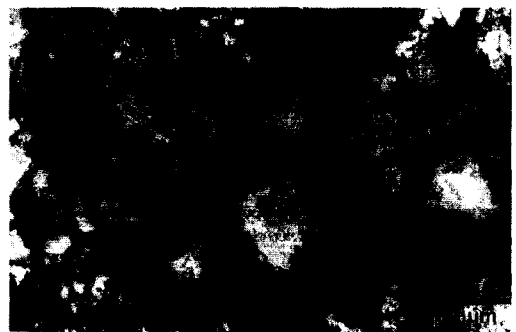


Fig. 1. SEM Micrograph of $ZrSiO_4$ particles that were used as an abrasives in the friction materials. Sieve analysis showed that approximately 97% of particles were smaller than 230 mesh (0.063 mm) and no particles were larger than 120 mesh (0.125 mm).

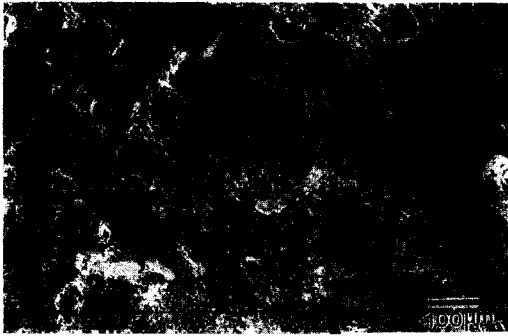


Fig. 2. Microstructure of the friction material KU-5. A-brasive ($ZrSiO_4$) and Lubricant (Sb_2S_3) were well mixed with other ingredients such as Phenolic resin, Cu particles, Bayrite, $CaCO_3$, cashew particles, etc.

상대 분량의 변화에 따른 전체 증감량은 마찰재에 사용되는 원료 중 비교적 마찰 특성에 영향을 작게 미치는 충전재(bayrite, $BaSO_4$)를 변화시켜서 조정하였다. 마찰재의 제조과정은 원재료 혼합(mixing), 1단계 성형(pre-forming), 고온 고압에서의 2단계 성형, 그리고 경화(curing)를 거쳐 이루어졌다. 본 실험에서 기본 시편으로 사용된 KU-5는 현재 시판되고 있는 자동차에 장착되어 사용되는 마찰재로서 로터와의 접촉면적은 약 52.5 cm^2 이었다. 본 실험에서 사용된 마찰재 시편(KU-5)의 주사현미경 조직 사진은 Fig. 2와 같다.

Dynamometer 시험시 사용된 로터와 캘리퍼(caliper)는 회주철로 제작된 것으로서, 현재 시판되고 있는 자동차에 장착되고 있는 것과 동일 제품을 사용하였다. 로터는 직경 276 mm 두께 26 mm의 크기를 가지고 있으며 전륜 브레이크에 사용되는 것으로서, 직선형 환기용 통기구(vane) 41개가 냉각을 위해 고안되어 제작된 것이었다. 일반적으로 로터표면(마찰재와의 접촉면)은 주로 후 기계가공을 하며, 이때 기계가공의 오차에 의해 DTV(disk thickness variation)와 LRO (lateral run out)가 발생한다. 이 중 초기의 로터 DTV는 제동 및 끌기(drag) 시험 때 발생하는 토크변화(torque variation)에 영향을 미치므로, 본 실험에서는 초기 DTV가 비슷한 3개의 로터를 대상으로 시험하였다. 시험에 사용된 로터의 초기 DTV 값은 $4.2\text{ }\mu\text{m}$, $3.9\text{ }\mu\text{m}$, $3.85\text{ }\mu\text{m}$ 이었으며 이들은 각각 KU-1, KU-5, KU-9 마찰재와 짝을 이루어 시험되었다. 사용된 브레이크 로터의 조성은 optical emission spectroscopy를 이용하여 측정하였으며, 그 결과는 전형적인 회주철의 조성을

Table 2. Composition of gray cast iron rotor used in this experiment (wt.%)

C	Si	Mn	S	Cr	Cu	Mo	Ti	Nb	V	Fe
3.35	2.35	0.66	0.11	0.28	0.22	0.025	0.048	0.003	0.01	Bal.

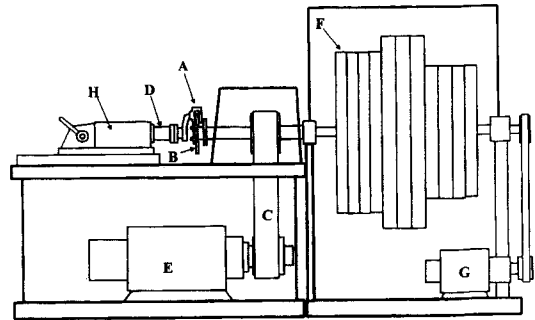


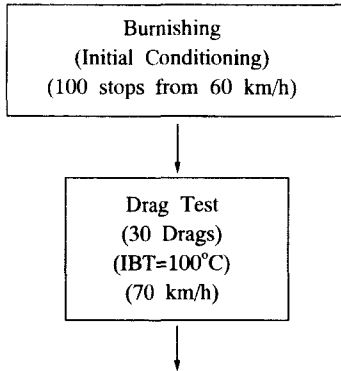
Fig. 3. Schematic diagram of the belt driven type brake dynamometer. A: Caliper Assembly, B: Brake Rotor, C: Driving Belt, D: Torque Transducer, E: Main Driving Motor, F: Inertia Weight, G: Secondary Motor for Continuous Static Torque Measurement., H: Movable tailstock.

보여주었다(Table 2).

제동시 발생하는 토크의 변화와 압력, 온도 및 그때의 마찰계수를 측정하기 위해 브레이크 시험용 dynamometer (Link Engineering Co.)를 이용하여 시험하였다. 본 실험에서 사용된 브레이크 시험용 dynamometer는 최대 관성이 15.7 kgcc^2 이며, 최대 회전속도는 2000 RPM, 유압 servo식 압력 조절기에 의한 압력 범위는 $0\text{--}200\text{ kg/cm}^2$, 최대 감속도는 2g까지 가능하였다. Fig. 3은 본 실험에서 사용한 belt 구동식 brake dynamometer의 개요이다. 시험 때의 압력, 토크(torque), 온도 등에 관한 데이터 측정 속도(data access rate)는 최대 1500 Hz까지 가능하였으나 본 실험에서는 300 Hz에서 측정 하였다.

본 연구에서의 dynamometer 시험은 크게 세 단계로 나뉘어진다. 첫 단계는 burnishing 과정으로서 새로 만들어진 마찰재가 로터 표면에 균일한 접촉이 되도록 하기 위해 60 km/h의 속도에서 100번 제동하였다. 다음 단계는 끌기(drag) 시험이며 세 번째 단계는 제동(stop)시험이다. 본 실험에서는 같은 조건에서 끌기(drag) 실험을 30번 반복한 후 동일한 마찰재와 로터를 대상으로 제동시험을 계속하여 실시하였다. 끌기 시험 단계에서는 초기 로터의 온도가 100°C 일 때 부

Table 3. Flow chart of dynamometer test



Stop Test Section (Stops from 100 km/h)

IBT Pressure	100PSI (0.69 MPa)	200PSI (1.37 MPa)	300PSI (2.07 MPa)	400PSI (2.76 MPa)	500PSI (3.45 MPa)
150 F (66°C)	Stop 1	Stop 2	Stop 3	Stop 4	Stop 5
250F (121°C)	Stop 6	Stop 7	Stop 8	Stop 9	Stop 10
350F (176°C)	Stop 11	Stop 12	Stop 13	Stop 14	Stop 15
450F (232°C)	Stop 16	Stop 17	Stop 18	Stop 19	Stop 20

터 속도를 70 km/h의 일정한 속도로 유지하면서 4분간 시간에 따른 마찰특성의 변화를 조사하였으며, 그 후 제동시험시에는 브레이크 압력(가압력)과 초기 로터의 온도를 실험변수들로 하였다. 압력과 온도의 범위는 각각 0.69 MPa(100 psi)-3.45 MPa(500 psi)과 66°C(150F)-232°C(450F)이었다. Dynamometer 시험에 따른 시험과정의 흐름도는 Table 3과 같다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 마찰현상의 이해를 위해 제동과 끌기의 두 가지 다른 방법으로 마찰시험을 했으며 그에 따른 결과를 제동시의 현상과 끌기(drag)시험시의 결과로 나누어 분석한 후, 전체 dyno시험 동안 로터의 DTV 변화 그리고 로터와 마찰재의 마모량에 대하여 고찰하였다.

3-1. 제동시 마찰계수의 변화

마찰계수는 일반적으로 마찰을 일으키는 두 물체간의 압력, 그 마찰계면에서의 온도, 마찰속도 그리고

그때의 습도 등에 따라 변한다. 그러나 자동차 제동시 우수한 성능을 나타내기 위해서는 제동시 다양한 조건하에서도 마찰계수가 변하지 않도록 마찰재를 고안하는 것이 바람직하다. 이는 운전자가 제동시 항상 같은 정도의 마찰력을 예상하기 때문이며, 이러한 안정된 마찰계수를 얻기 위해서는 매우 잘 선택된 원재료들을 사용하여야 하며 그들의 상대량을 조절하여 안정된 마찰계수를 얻어낸다. 따라서 마찰현상에 민감한 원재료, 특히 윤활제, 연마제 그리고 마찰 조절제 등의 상대량을 조절하여 약 0.3-0.4 정도의 마찰계수를 얻어내고, 그에 따른 로터 및 마찰재의 마모량, 잡음(noise) 특성 등을 감안하여 마찰재의 최종 구성량을 결정한다. 본 실험에서는 각각의 마찰특성을 가지고 있는 많은 원료들 중에서 고체 윤활제(Sb₂S₃)와 연마제(ZrSiO₄)의 상대량에 따른 마찰계수의 안정성을 조사하기 위해 제동 초기의 온도(IBT)와 가압력이 다른 20가지 마찰조건에서 마찰계수의 변화를 측정하였다. 제동시 초기 속도는 100 km/hr로 고정 하였으며 이때 제동 시간은 마찰 조건(온도와 압력)에 따라 약 5초에서 20초의 분포를 나타내었다. Fig. 4는 본 연구에서 사용된 3가지 마찰재 KU-1, KU-5, KU-9의 마찰계수를 온도와 압력의 변화에 따라 나타낸 것이다. 시편 KU-1과 KU-5를 사용하여 제동시험을 한 경우에는 제동압력 보다 제동시의 초기온도에 의해 마찰계수가 더 크게 변화 하였으며, KU-9을 사용하였을 경우에는 제동 압력과 초기온도에 모두 민감하게 마찰계수가 변화 함을 보여 주었다. 따라서, 마찰계수의 안정도는 Sb₂S₃가 가장 많이 포함되어 있는 KU-1이 가장 우수하였고, Sb₂S₃의 양이 가장 적고 ZrSiO₄의 양이 가장 많은 KU-9에서 가장 심한 마찰계수의 변화를 나타내었다. 특히, 고온 고압에서 심하게 나타난 마찰계수의 변화는 고체 윤활제의 열분해로 인하여 마찰계면에 안정된 윤활막의 형성이 저해됨으로써 나타난 현상이며 그로 인해 마찰열의 발생이 가속되어 나타난 것으로 보여진다.

3-2. 일정 압력 하에서의 끌기시험시 나타나는 마찰계수 및 토크의 변화량

끌기시험(drag test)은 마찰재와 로터의 접촉 압력을 일정하게 한 상태에서 로터를 회전시키면서 그때의 마찰계수 변화와 그에 따른 토크의 변화를 측정하는 실험이다. 이는 경사진 내리막길에서 브레이크를 적

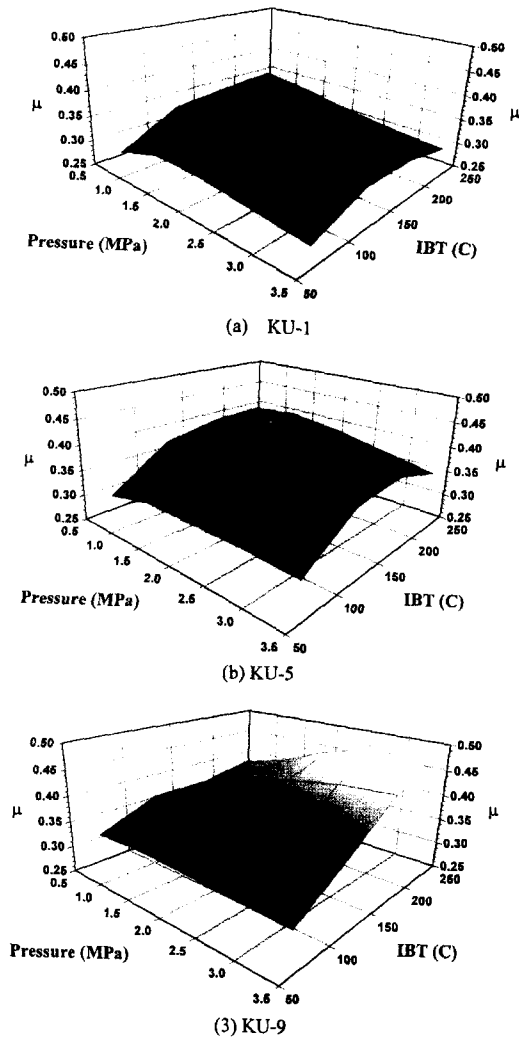


Fig. 4. Change of friction coefficient at different stop conditions (by changing the applied pressure and initial brake temperature (IBT)) for each friction material.

용하면서 내려올 때의 상황을 재현하기 위해 고안된 시험으로서, 본 실험에서는 상기한 3가지 마찰재를 대상으로 주행속도를 70 km/h로 일정하게 유지하고, 초기 로터온도 100°C에서 4분간 시행함으로써 그때의 마찰특성을 관찰하였다. Fig. 5는 마찰재 KU-1, KU-5, KU-9를 사용하여 끌기시험할 때 마찰시 나타낸 토크의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 보여진 바와 같이 마찰재 중 ZrSiO₄의 양이 증가하고 Sb₂S₃의 양이 감소함에 따라 토크의 진폭이 크게 증가 함을 알 수 있다. 그림에서 나타난 토크값의 변화량(토크의 진폭)은

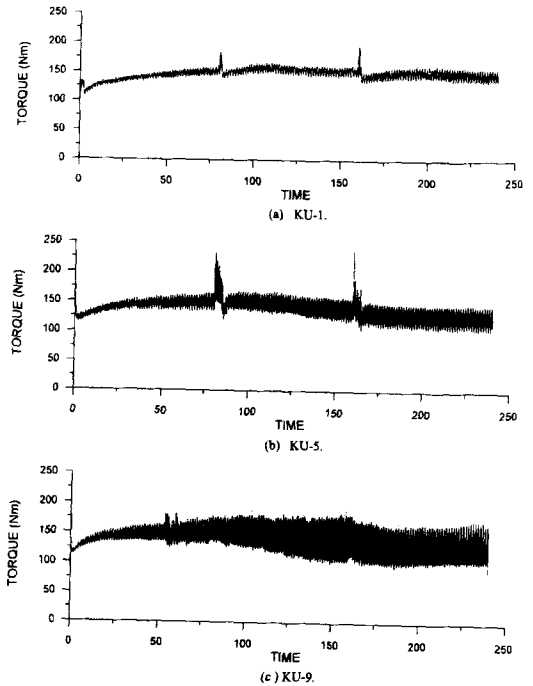


Fig. 5. Torque variation during 15th drag cycle when the dragging tests were carried out with friction materials KU-1, KU-5, KU-9 (Vehicle speed=70 km/h, IBT=100°C, dragging time=4 min). The sudden increases of the torque values during drag tests were attributed to the short (5 seconds) dis-engagement of brake pressure to prevent the memory overflow during the long period drag test. This memory related problem was solved when KU-9 friction material was tested by upgrading the data flow rate of the computer system.

실차 시험시 나타나는 브레이크 떨림현상(brake judder)과 밀접한 관계가 있으며 이를 줄이기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 이때의 떨림현상은 두 가지 원인으로 설명할 수 있다. 첫째로는 끌기시험 중 발생한 마찰열이 로터의 온도를 상승시켜서 로터의 열변형을 초래함에 따른 토크변화량의 증가이고, 두 번째로는 마찰 계면의 온도가 고체 윤활제의 분해 온도 이상으로 상승되어 생긴 토크의 변화이다. 후자의 경우는 충분한 윤활제가 마찰계면에 보충되지 않아서 안정된 윤활막이 형성되지 못하여 생기는 현상으로서 이때 연마제에 의한 연마 효과가 상대적으로 높아짐으로써 마찰 계면의 온도를 가속시키는데 그 원인이 있다. 이러한 경우 불균일한 윤활막이 로터표면에 형성될 수 있으며 그에 따라 또 다른 토크의 변화가 발생하게된

다. 마찰재 KU-9을 사용하여 시험하였을 때 시험 후 나타난 불균일 윤활막은 육안으로 관찰할 수 있었으며 Fig. 6에 로터 표면에 생성된 불균일 윤활막을 나타내었다. 이러한 해석을 뒷받침하기 위해 적외선 온도계를 로터측면에 설치하여 끌기시험 중의 로터의 온도 변화를 측정하였다. Fig. 7는 3가지 마찰재 KU-1, KU-5, KU-9를 사용할 때 끌기시험에 따른 마찰계수의 변화와 그때의 로터의 온도를 나타낸 것이다. Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 로터의 온도가 상승하면서 약 200-300°C에서 마찰력감소(fading) 현상을 보임에도 불구하고 Fig. 5 (c)와 같은 높은 토크의 변화량



Fig. 6. A photograph showing the non-uniform friction film. This type of non-uniform layer was observed when the rotor was tested with aggressive friction material (KU-9) using dynamometer. Squared area clearly exhibits patched area of the friction film.

이 끌기시험 말기에 나타내는 것은 로터의 열변형과 불균일한 윤활막에 의한 현상에 의한 것으로 생각된다.

3-3. 마찰재의 공격성(aggressiveness)과 로터의 DTV가 토크변화(torque variation)에 미치는 영향

토크의 변화량은 로터에 존재하는 DTV가 그 주 원인으로 알려져 있다. 이러한 현상은 로터 DTV의 변화에 따라 토크 값이 변하기 때문이며 따라서 DTV가 높은 로터는 브레이크 적용시 심한 토크변화량(torque variation)을 나타내어 떨림현상(judder)을 초래하는 경우가 많다. 일반적으로 시험 초기에는 로터의 각위치(angular position)에 따른 로터의 두께 변화와 그 때의 토크값이 비교적 잘 일치하는 것으로 알려져 있다 [11]. 그러나 이러한 경향은 제동시험이 진행되면서 마찰온도가 상승함에 따라 마찰계면의 성질 변화와 로터의 열변형에 의해 영향을 받게 된다. 따라서 토크 변화량(torque variation)의 크기는 제동 실험이 진행되면서 마찰재와 로터에 의해 동시에 영향받게 된다. 본 연구에서는 끌기시험과 제동시험으로 이루어진 dynamometer 시험 전과 후의 로터 DTV의 변화량을 측정함으로써 마찰재의 공격성(aggressiveness)이 토크변화

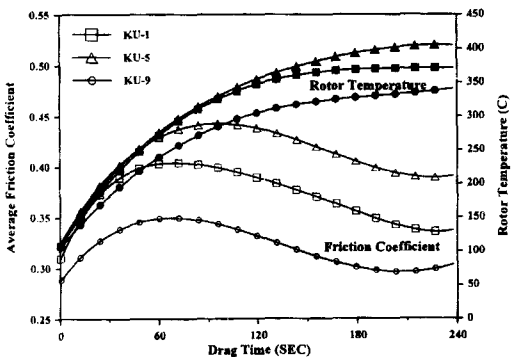


Fig. 7. Change of friction coefficient and rotor temperature as a function of time during dragging test using friction materials KU-1, KU-5 and KU-9. Open symbols represent the average friction coefficient and filled symbol represents the rotor temperature during dragging test.

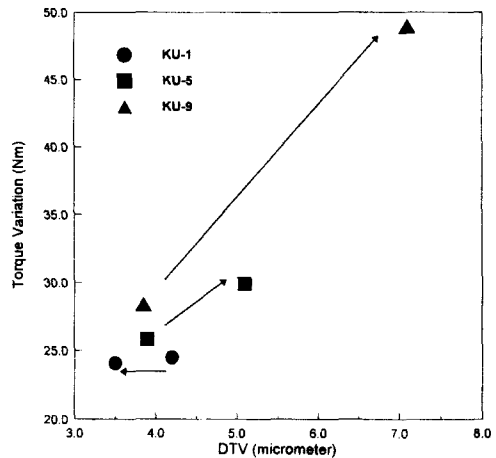


Fig. 8. Change of torque variation as a function of rotor disk thickness variation (DTV) when 3 friction materials (KU-1, KU-5, KU-9) having different degree of aggressiveness were used. The DTV values were measured before and after the dynamometer test. Direction of the arrow indicates the change of DTV and torque variation from the beginning of dynamometer test to the end of the test.

량(torque variation)에 미치는 영향을 고찰하였다. 일반적으로 자동차에 장착되는 로터들은 기계가공의 정밀도에 따라 1-8 μm 의 DTV 분포를 가지고 있다. 따라서 본 실험에서는 초기 로터 DTV가 시험 중의 토크 변화에 미치는 영향을 극소화 하기 위하여 초기의 DTV가 비슷한 3가지 로터들을 선택하여 시험하였다. Fig. 8에 dynamometer 시험 초기와 시험 말기에 나타난 로터 DTV와 그에 따른 토크변화량을 나타내었다. Fig. 8에 나타낸 바와 같이 공격성이 큰 마찰재(KU-9)는 시험 말기에 DTV와 토크변화량이 증가한 반면 비 공격적인 마찰재는 시험 말기의 토크변화량이 시험 초기에 비해 크게 변화하지 않았다. 특히 KU-1 마찰재를 사용하여 시험한 경우에는 로터의 DTV가 오히려 감소하였으며, 이는 마찰재 내의 충분한 고체 윤활제가 로터 표면에 안정된 마찰막을 형성함으로써 로터에 존재하는 DTV를 상쇄하였기 때문으로 사료된다. 이러한 안정된 마찰막의 형성은 로터를 보호한다는 측면 뿐만 아니라, 마찰계수의 안정성(friction stability)을 증진시킨다는 면에서도 바람직하다. 이는 자동차의 제동현상을 연구하는 많은 연구자들이 오랜 동안 관심을 가져온 현상으로서 공격적인 마찰재를 사용 함으로서 출고 시의 초기 로터 DTV가 주행을 반복하면서 증가하는지 혹은 감소하는지에 대해 일면을 설명해주고 있다. 비록 본 실험은 자동차의 총 주행 거리에 비해 초기 단계의 현상을 보여주는 실험이지만, 마찰재의 공격성이 증가 할수록 로터의 DTV와 토크변화가 함께 증가 함을 보여 주었다. 이러한 경향을 재확인 하기 위해서는 보다 긴 주행을 대상으로 실험할 필요가 있을 것으로 간주된다.

3-4. 마찰재의 공격성에 따른 마찰재와 rotor의 마모량

상기한 3가지 마찰재 KU-1, KU-5, KU-9를 이용하여 dynamometer 시험한 후 마찰재와 로터의 마모량을 측정하였다. 일반적으로 마찰재의 공격성이 증가할수록 로터의 마모량이 증가하는 것으로 알려져 있으며 본 실험에서도 동일한 결과를 나타내었다(Fig. 9). 본 실험은 마모에 의한 로터의 수명에 비해 비교적 적은 마모량을 나타내었지만 마찰재의 공격성에 따른 로터의 마모에 대한 경향을 잘 보여주고 있다. 마찰재의 마모량도 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 마찰재의 공격성이 증가 함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이

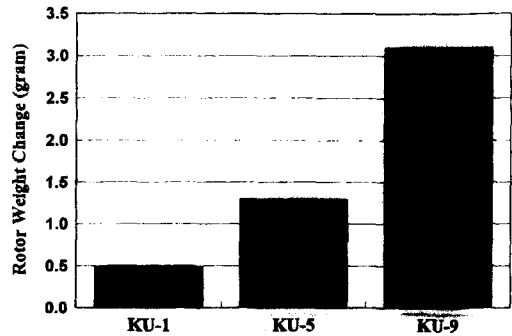


Fig. 9. Amount of rotor wear during dynamometer test.

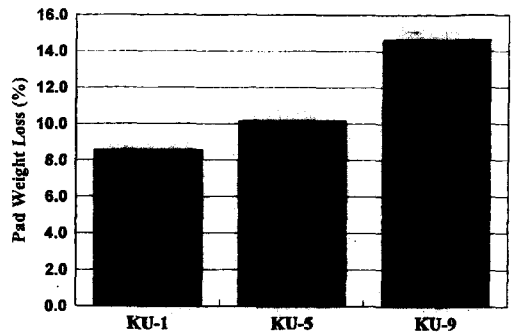


Fig. 10. Amount of friction material wear during dynamometer test.

는 고체 윤활제의 상대량이 감소함에 따라 로터 표면에 윤활막이 충분히 형성되지 못하여 이에 따른 마찰계면의 온도가 상승함으로써 마찰재에 고착제로 사용되고 있는 수지(resin)가 열분해 되어 다른 원료들과의 결합력을 상실하였기 때문으로 간주된다.

4. 결 론

자동차 브레이크용 dynamometer를 사용하여 제동 시험과 끌기(drag) 시험 시의 마찰특성과 그에 따른 토크의 변화를 공격성이 다른 3가지 마찰재를 대상으로 비교 검토 하였다. 제동 중에 나타난 토크의 변화량은 마찰재에 포함되어 있는 연마제와 윤활제의 상대적 함량, 즉 마찰재의 공격성에 의해 영향을 받고 있음을 보였다. 제동 조건에 따른 마찰계수의 안정성(friction stability)은 고체 윤활제의 상대량이 많은 마찰재에서 가장 우수하게 나타났으며 특히 연마제가 윤활제에 비해 많이 포함되어 있는 마찰재를 사용한

여 시험한 경우 끝기시험 시 토크 변화가 현저하게 증가함을 보였다. Dynamometer 시험 후 DTV의 변화는 연마재를 많이 포함한 마찰재를 사용할 때 크게 증가하였다. 로터 및 마찰재의 마모량은 마찰재에 포함되어 있는 고체 윤활제 및 연마제의 상대량에 의해 크게 좌우되며 특히 연마제가 많이 함유되어 있는 경우 마모량이 크게 증가하였다.

참 고 문 헌

1. M. G. Jacko, R. T. DuCharme, "Simulation and Characterization of used Brake Friction Materials and Rotors," Society of Automotive Engineers, SAE 730191 (1973).
2. L. S. Bark, "Polymer Change During Friction Material Performance," *Wear*, Vol.41, 309-314, 1977.
3. M. G. Jacko, "Physical and Chemical Change of Organic Disk Pads in Service," *Wear*, pp.163-175, 1978.
4. A. E. Anderson, Proceedings of "Fibers in Friction Materials Symposium," Atlantic City, N.J., pp.2-49, 1987.
5. J. W. Longley, R. Gardener, "Some Compositional Effects in the Static and Dynamic Properties of Commercial Vehicle Disk Brakes," *IMEchE C453/88* (1988).
6. P. Gopal, L. R. Dharani, F. D. Blum, "Fade and Wear Characteristics of Glass-fiber-reinforced Phenolic Friction Material," *Wear*, Vol.174, 119-127, 1994.
7. A. E. Anderson, *Metals Handbook*, 10th ed. Vol.18, pp.569-577.
8. R. Witaker, A. Wirth, "An Energy Dispersive X-ray and Imaging Study of Transfer Film Chemistry and its Influence on Friction Coefficient," *J. Appl. Phys. D*, 38-43, 1992.
9. H. Jang, J. W. Fash, W. T. Donlon, FRL Report SR-95-097.
10. P. J. Blau, H. Jang, "Frictional Behavior of Automotive Brake Materials," ORNL CRADA 94-0286 (1994). A. Wirth, R. Eggleston, "A Fundamental Tribochemical Study of the Third Body Layer Formed During Automotive Friction Braking," *Wear*, Vol.179, 75-81, 1994.
11. M. J. Haigh, H. Smales and M. Abe, "Vehicle Judder under Dynamic Braking Caused by Disk Thickness Variation," *IMEchE, C444/022* (1993).