

자동차 제동 시 나타나는 Anti-Fading현상에 관한 연구

이정주 · 장 호

고려대학교 공과대학 재료 금속공학부

Study of Anti-Fading Phenomena during Automotive Braking

Jung Ju Lee and Ho Jang

Division of Materials Science and Engineering, Korea University

Abstract—Two different friction materials (organic and low-metallic pads) for automotive brakes were studied to investigate the anti-fading phenomena during stop. The anti-fading phenomena were pronounced more in the case of using low metallic friction materials than organic friction materials. The main cause of the anti-fading phenomena was the high dependence of friction coefficient on a sliding speed. The anti-fading was prominent when the initial brake temperature was high in the case of low-metallic friction materials due to the strong stick-slip event at high temperature. On the other hand, the anti-fading was not severe in organic friction materials and the effect was reduced at high braking temperature due to the thermal decomposition of organic friction materials. The strong stick-slip phenomena of low metallic friction materials at high temperature induced high torque oscillations during drag test. During this experiment two different braking control modes (pressure controlled and torque controlled modes) were compared. The type of the control mode used for brake test significantly affected the friction characteristics.

Key words—friction materials, organic pads, low-metallic pads, anti-fading, fading, stick-slip, torque variation, friction stability.

1. 서 론

자동차 브레이크 시스템은 자동차의 안전한 운행을 위한 필수적인 요소일 뿐만 아니라 자동차 운전 시 전체 시스템에 의해 나타나는 운행 성능에 크게 영향을 미친다. 브레이크 시스템을 구성하는 요소 중 마찰력을 발생시키기 위해 사용되는 마찰재는 마찰계수에 영향을 미치는 인자인 온도, 압력, 속도, 습도 등의 변화에 대해 마찰계수가 안정적으로 유지되어야 할 뿐만 아니라, 마모에 대한 저항성이 높아야 하고 마찰 시에 소음과 진동의 발생이 적어야 한다. 이러한 필수 조건을 만족시키기 위해 일반적으로 5~20여가지의 물질을 사용하여 압축, 성형 시킨 복합재(composite) 형태로 마찰재를 제조하게 된다. 자동차용 마찰재에 사용되는 구성 물질은 크게 Binder, Fiber, Filler, A-

brasive, Lubricant, Metal Powder로 나누어 구분할 수 있으며 전형적으로 사용되는 물질과 그들의 역할을 Table 1에 나타내었다[1].

마찰재의 기계적 성질은 사용되는 강화섬유(reinforcing fiber)에 크게 의존되며, 이들 섬유(fiber)의 종류에 따라 마찰재를 구분하면 크게 세가지로 나뉘어진다. 강화섬유로 아라미드 섬유(aramide fiber)를 사용했을 때는 비석면 유기질 마찰재(NAO, non-asbestos organic pad)로 분류되며, 금속섬유(steel fiber)를 첨가했을 때는 그 함량에 따라 저금속 마찰재(low-metallic, 마찰재 중 금속의 함량이 30%이하인 경우)와 반금속성 마찰재(semi-metallic, 금속의 함량이 30%이상인 경우)로 구분이 되고 있다. 일반적으로 유기질 마찰재는 제동 시 안락감과 떨림 현상에서 우수하며, 반금속성 마찰재는 유기질 마찰재에 비하여 열에

Table 1. Materials used for friction materials for brake pads [1]

Material	Material	Function
Resin	Phenolic, Epoxy etc.	Binder
Fiber	Asbestos, Steel, Aramide etc.	Friction Material Reinforcement
Metal Powder	Cu, Cu-Zn, Fe, Al, Zn etc.	Control Friction Level, Improve Thermal Conductivity
Solid Lubricant	Graphite, MoS ₂ , Mica etc.	Prevent Micro Stick to the Rotor
Abrasive	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , MgO, Fe ₃ O ₄ etc.	Cleaning Rotor Surface
Organic Filler	Cashew Dust, Rubber etc.	Reduce Wear, Improve Damping
Inorganic Filler	BaSO ₄ , CaCO ₃ , Ca(OH) ₂ etc.	Filler, Reduce Wear

강하여 고온 특성과 수명의 측면에서 우수한 것으로 알려져 있다[2].

자동차 제동 시 나타나는 다양한 현상 중 제동 중의 마찰계수의 변화는 소음과 진동의 발생, 그리고 운전자의 제동 시의 불안감으로 이어지는 좋지 않은 현상이다. 특히, 정지 시 속도의 감소에 따른 마찰계수의 급격한 증가는 anti-fading 현상이라 불리며, 이 현상은 자동차 브레이크 잡음(brake noise) 및 진동의 주 원인 중 하나로 주목 받고 있다. 이에 본 연구에서는 국내 자동차 제조업체에서 현재 사용되는 비석면계 유기질 마찰재와 저금속 마찰재 중 동일 차종에 사용되는 마찰재를 각각 선정하여 속도, 온도, 압력 등의 조건에 따른 마찰특성을 비교 분석함으로써 anti-fading 현상에 영향을 미치는 요인에 관하여 연구 하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용한 마찰재는 현재 국내의 자동차 제조업체에서 사용 중인 저금속성 마찰재(시편A)와 비석면계 유기질 마찰재(시편B)를 대상으로 하였다. 이들 두 마찰재의 제조에 사용된 원료의 구성은 Table 2와 같다. 이들 마찰재에 관한 정확한 원료들의 구성비 및 그 종류는 마찰재 제조업체의 비밀로 취급되는 것이 통례이므로 본 논문에서 다루지 않았다.

마찰재의 상대재로 사용된 로터는 회주철로 제작되었으며, 현재 시판되고 있는 자동차에 장착되고 있는 것과 동일 제품을 사용하였다. 마찰재와 로터의 마모 정도와 로터 DTV(disc thickness variation)의 변화를 측정하기 위하여 그 무게와 두께를 실험전과 실험 후 각각 측정 하였다. 특히, 초기의 로터 DTV는 제동 및 끌기(Drag) 실험 때 발생하는 토오크 변화(torque variation)에 크게 영향을 미치므로 초기 DTV가 유사한 로터를 선택하여 실험을 행하였다. 본 실험에서 사용된 DTV 측정 방법은 마이크로미터를 이용하여 로터의 원주 방향으로 측정하였으며, 두 로터의 초기 최대 두께차이는 각각 약 2.5 μm 및 2.2 μm이었다.

자동차 마찰재의 마찰 특성을 체계적으로 분석하기 위해 실제 차량과 같은 제동 조건을 재현할 수 있는 brake dynamometer를 이용하였다. 시험에 사용한 brake dynamometer의 구체적인 측정 능력과 그 구조는 이미 발표된 논문에서 상세히 기술하였으므로 본 논문에서는 생략하였다[3]. 이번 시험에 사용한 시험방식은 비탈길을 70 km/h 속도로 유지하면서 내려온 후 평지에서 다양한 제동 조건하에서 정지(stop) 및 끌기(drag)를 행하는 시험방식을 채택하였다.

본 연구에서의 brake dynamometer 시험은 크게 네 단계로 이루어져 있다. 첫 단계는 burnishing 하는 과정으로 brake dynamometer에 새로 장착된 마찰재와

Table 2. Raw materials used for manufacturing low metallic and NAO friction materials

	Friction Material A (Low-Metallic)	Friction Material B (NAO)
Binder	Phenolic Resin (Novolac)	Phenolic Resin (Novolac)
Fiber	Steel Fiber	Aramide Fiber
Inorganic Filler	BaSO ₄ , CaCO ₃	BaSO ₄ , CaCO ₃
Organic Filler	Rubber, Cashew Dust	Cashew Dust, Rubber, Mica
Lubricant	Graphite, MoS ₂	MoS ₂ , Graphite, ZnS
Abrasive	Zircon	SiO ₂ , ZrSiO ₄
Metal Powder	Brass, Iron Powder	Cu

rotor의 표면이 균일하게 접촉할 수 있도록 초기 온도 100°C, 속도 60 km/h에서 0.35 g의 감속도로 200번 제동하였다. 두 번째 단계는 끌기(drag) 시험으로 초기 온도 100°C에서 일정한 압력(0.5 MPa)에서 제동하여 240초 동안 끌기(drag)를 지속하며 이를 10회 반복하였다. 끌기시험 후반부에는 같은 조건하에서 일정한 토크(150 Nm)를 유지하여 10회 더 반복하였다. 세 번째 단계는 정지 시험으로 압력(0.75~3.75 MPa)과 초기 온도(50~250°C)를 각각 변화 시키면서 초기 속도 100 km/h에서 시험하였다. 세 번째 단계 후반부에는 토크(200~100 Nm)와 초기온도(50~250°C)를 변화하여 정지시험을 시행하였다. 마지막 단계는 Ramp 시험으로서 마찰계수에 영향을 미치는 인자인 속도, 초기 온도, 압력을 각각 변화 시키면서 각 속도에 대해 10초간씩 끌기를 지속하여 변수에 따른 마찰특성의 변화를 관찰하였다. 두 번째와 세 번째 단계에서 두 가지 다른 제어방식(압력제어 또는 토크 제어)을 취한 이유는 pin-on-disc 형태의 시험방식인 가압력 제어방식과 실차의 제동 상황과 유사한 토크 제어방식을 사용하였을 때 그 마찰특성의 차이를 비교 분석 하는데 그 목적이 있다. 시험시 마찰계면의 온도는 로터와 마찰재의 중심부분에 각각 0.5 mm, 1 mm 길이로 K-type 열전대를 장착하여 측정하였으며 초당 20번 데이터를 받아들였다. 시험시 제어하는 기준 온도는 로터의 온도를 따랐다. 본 시험에서 사용한 마찰계수의 계산 방법은 이 전의 논문에서 발표된 바 있으므로 본 논문에서는 생략하였다[2]. 마찰시험 전

후의 마찰재 및 로터의 마모 정도와 마찰재의 로터에 대한 공격성의 여부를 조사하기위해 마찰재의 무게와 두께 변화, 로터의 무게 및 DTV 변화를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 압력 제어와 토크 제어 제동시의 마찰계수 비교

마찰계수의 측정 및 마모 시험을 위해 실험실에서 주로 사용되는 pin-on-disc 마찰시험기는 대부분 압력을 일정하게 한 상태에서 마찰계수의 변화를 측정한다. 반면에 실제 자동차에서 운전 중에 제동하는 경우는 운전자가 브레이크 페달 (brake pedal)의 압력을 조절함으로써 로터와 마찰재 사이에 걸리는 토크 (torque)의 크기를 조절한다. 따라서 본 시험에서는 dynamometer를 이용하여 두 가지 다른 형태의 제동 조건인 토크 제어 방식과 압력 제어 방식에 따른 마찰계수 변화를 측정하여 각각의 마찰특성을 비교분석하였다.

Fig. 1은 마찰재 시편 A(저금속 마찰재)를 이용하여 토크 제어 방식과 압력 제어 방식을 이용하여 마찰계수를 초기온도와 압력 또는 초기온도와 토크에 대해 나타낸 것이다. 초기온도와 압력의 변화에 따른 마찰재의 마찰계수 분포는 온도와 압력(또는 토크)의 변화에 따라 크게 변하지 않음을 보여주고 있다. 운전자는 다양한 제동 조건에서도 동일한 마찰계수를 예상하여 제동하기 때문에 마찰계수를 이처럼 안정적으로

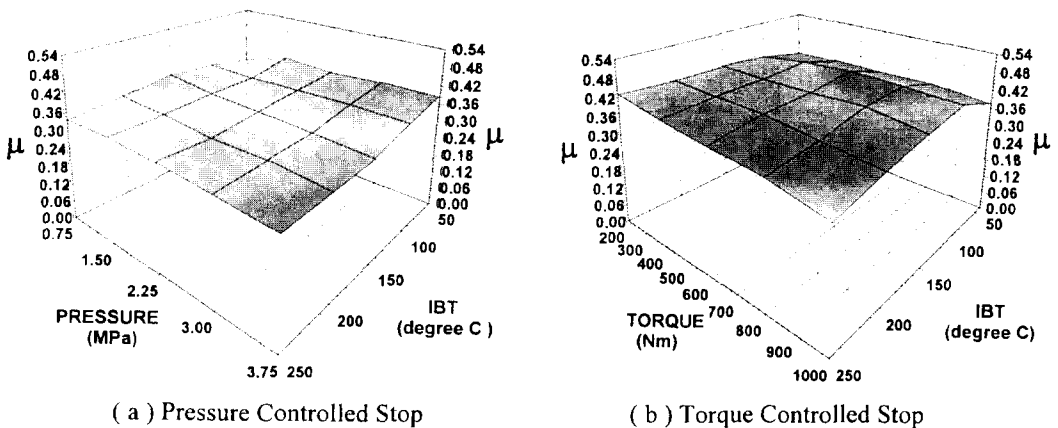
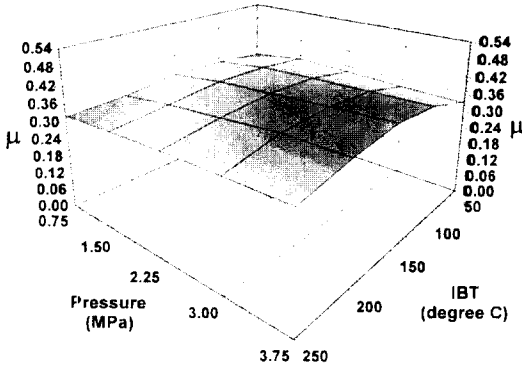
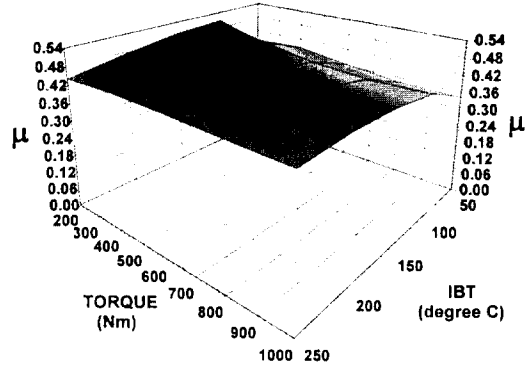


Fig. 1. Change of friction coefficient at different stop conditions as functions of initial brake temperature (IBT) and applied Pressure or Torque for specimen A (low-metallic) at initial speed of 100 km/h.



(a) Pressure Controlled Stop



(b) Torque Controlled Stop

Fig. 2. Change of friction coefficient at different stop conditions (as functions of applied Pressure or Torque with IBT) for specimen B (NAO) at initial speed of 100 km/h.

유지하는 것은 마찰재의 제동특성에 매우 중요하다. 그러나 시험에서 얻어진 평균마찰계수는 제어방식에 따라 다르게 나타났다. 마찰재 A를 사용하여 시험 하였을 경우 압력에 의한 정지시험을 하였을 때 평균마찰계수는 0.363이었으며 토오르크에 의한 정지시험을 하였을 때의 평균 마찰계수는 0.402로서 토오르크 제어를 하였을 때 평균 마찰계수가 더 높게 나타났다. 이러한 차이는 토오르크 제어방식이 마찰시간 동안 일정한 에너지를 제공하는 반면에 압력제어 방식은 압력을 일정하게 유지하기때문에 마찰 중에 마찰계수가 변화하여 마찰동안 다른 양의 에너지를 제공함으로써 나타난 현상으로 사료된다. 이는 마찰열과 밀접한 관계가 있으며 마찰 말기에 온도가 상승하여 마찰계수를 감소시키는 현상이 발생하였을 때 더 크게 나타난다. 따라서 일정한 압력하에서 얻어진 마찰계수 값은 실제 자동차가 제동할 때의 상황과 유사한 토오르크 제어방식에 의한 마찰계수 값과 다르므로 주의를 요한다. Fig. 2는 마찰재 시편 B(유기질 마찰재)를 이용하여 동일한 방법으로 시험하였을 때의 결과이다. 마찰재 시편 B도 마찰재 A와 같이 토오르크 제어시의 평균 마찰계수(0.434)가 압력 제어시(0.363)보다 더 크게 나타났다. 온도와 제동력의 변화에 따른 마찰계수의 안정도(friction stability)는 각 조건 하에서의 마찰계수의 평균편차로 나타낼 수 있으며 마찰재 A의 경우는 약 0.022 그리고 마찰재 B의 경우는 0.021을 나타내어 매우 우수한 마찰안정도를 나타내었다.

제어방식의 차이에 의한 마찰계수의 거동은 끌기시험(drag test)을 하였을 때 더욱 명확히 그 차이가 나타

난다.

Fig. 3은 두 마찰재를 대상으로 각각 0.5 MPa의 압력과 150 Nm의 토오르크를 이용하여 압력 제어 방식과 토오르크 제어 방식으로 240초 동안 끌기 시험 하였을 때의 시간에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 것이다. 압력 제어방식으로 시험하였을 경우에는 두 마찰재의 시간에 따른 마찰계수의 거동이 상이하게 나타났으며, 마찰재 B의 마찰계수가 마찰재 A보다 더 높게 나타나고 있다. 이는 일정한 압력하에서 끌기 시험의 경우에 두 마찰재의 마찰계수가 다르게 나타남으로써 결과적으로 다른 양의 제동 에너지가 끌기시험에 소요되어 나타난 현상이다. Fig. 3에 보여준 바와 같이 토오르크 제어에 의해 끌기 시험을 한 경우는 마찰열에 의한 로터 온도의 상승이 유사한데 비해 압력제어에 의한 경우는 심한 온도편차를 보여주고 있다. 따라서 이 시험은 실험실에서 일반적으로 사용하는 pin-on-disc식의 압력제어 방식에 의한 마찰계수의 변화 형태는 운전자가 페달 압력을 변화 시키면서 토오르크의 크기를 제어했을 때에 나타나는 마찰계수의 변화 형태와 일치하지 않음을 보여주고 있다.

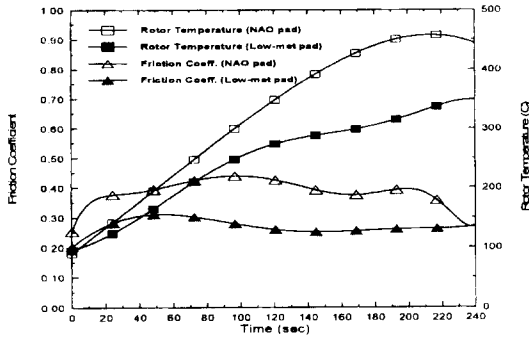
3-2. 제동 시 나타나는 속도에 따른 마찰계수의 변화

일반적으로 마찰 계수는 정지시험 시 일정하게 유지되지 않으며 속도가 감소함에 따라 변화한다. 이때 속도의 감소에 따라 마찰계수가 감소하는 현상을 fading 현상이라 하며 그 반대로 속도의 감소에 따라 마찰계수가 증가하는 현상을 anti-fading 현상이라 한다. fading 현상은 제동시 운전자의 안전과 직결되는 문제

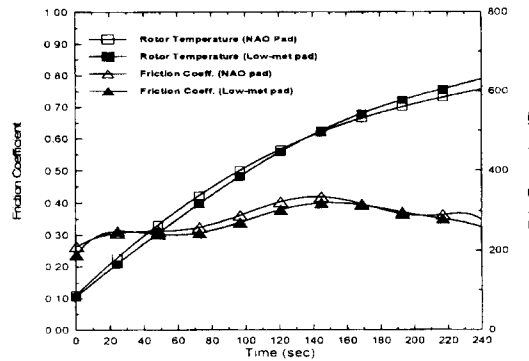
이며 이에 대한 현상과 이를 방지하기위한 다양한 연구가 수행되어 현재 정상적인 제동 조건에서는 큰 문제

제로 대두되지 않는 현상이다. 반면에 anti-fading 현상은 마찰재에 의한 stick-slip 현상과 마찰 계면에서의 온도 상승에 의해 발생하는 것으로 알려져 있으며 이는 마찰재에 사용되는 원료들의 종류에 따라 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다. 속도의 감소에 의한 마찰 계수의 증가 현상은 제동 말기에 운전자의 몸이 전방으로 쏠리게 하며 또한 brake noise 발생의 한 원인으로 지적되고 있다[2,4].

Fig. 4에 정지 시험시 속도의 감소에 따른 마찰계수 상승현상의 전형적인 예를 나타내었다. anti-fading 현상을 보다 정량적으로 분석하기 위해 정지 시험시 나타난 마찰계수의 변화량을 $\Delta\mu$ 로 표시 하였다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 $\Delta\mu$ 는 제동 초기속도의 90%일 때와 10%일 때의 마찰계수의 차이를 의미한다. 압력과 온도의 변화에 따른 $\Delta\mu$ 의 거동을 마찰재 A와 마찰재 B에 대해 Fig. 5에 나타내었다.



(a) Pressure Controlled Drag



(b) Torque Controlled Drag

Fig. 3. Change of friction coefficient at two different drag conditions; (a) pressure controlled (0.5 Mpa) and (b) torque controlled (15 Nm) for specimen A (low-metallic) and specimen B (NAO). The initial brake temperature was 100°C and drag was carried out at 70 km/h for 240 sec.

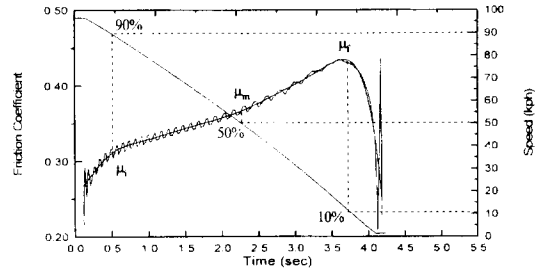
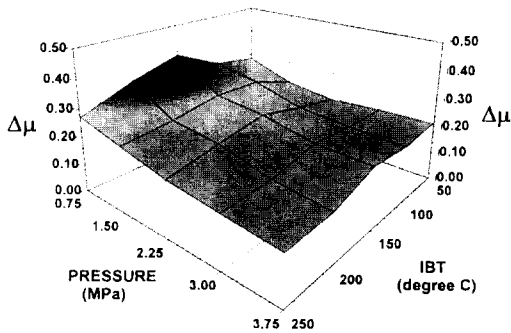
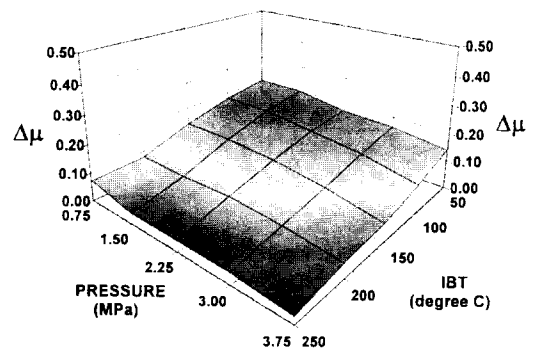


Fig. 4. Change of friction coefficient during stop test. The increment of friction coefficient during a stop test was obtained from the difference between friction coefficients at 10% and 90% of the initial speed: $\Delta\mu = \mu_f - \mu_i$.



(a) Specimen A (Low-Metallic)



(b) Specimen B (NAO)

Fig. 5. Change of friction coefficient $\Delta\mu (= \mu_f - \mu_i$ in Fig. 4) (as functions of pressure and IBT) during stop tests for specimen A (low metallic) and specimen B (NAO). The initial speed was 100 km/h.

마찰재 A의 경우에는 $\Delta\mu$ 의 값이 다양한 압력과 초기온도에서 전반적으로 크게 나타나 anti-fading 현상이 시험조건 전범위에서 두드러짐을 보이고 있다. 반면에 마찰재 B를 사용하여 시험한 경우에는 그 현상이 작게 나타났다. 반면에 마찰재 B의 경우에는 초기온도가 높을 때 속도가 감소함에 따른 마찰 계수의

증가가 더 작게 나타났다. 이는 고온에서 유기질의 열분해에 의해 마찰계수가 감소하여 일어나는 현상으로 생각된다. 이와 같은 저속 마찰재의 속도 감소에 의한 급격한 마찰계수의 변화는 마찰재에 사용된 다량의 강철섬유가 stick-slip 현상을 일으키기 때문으로 생각된다. [5]

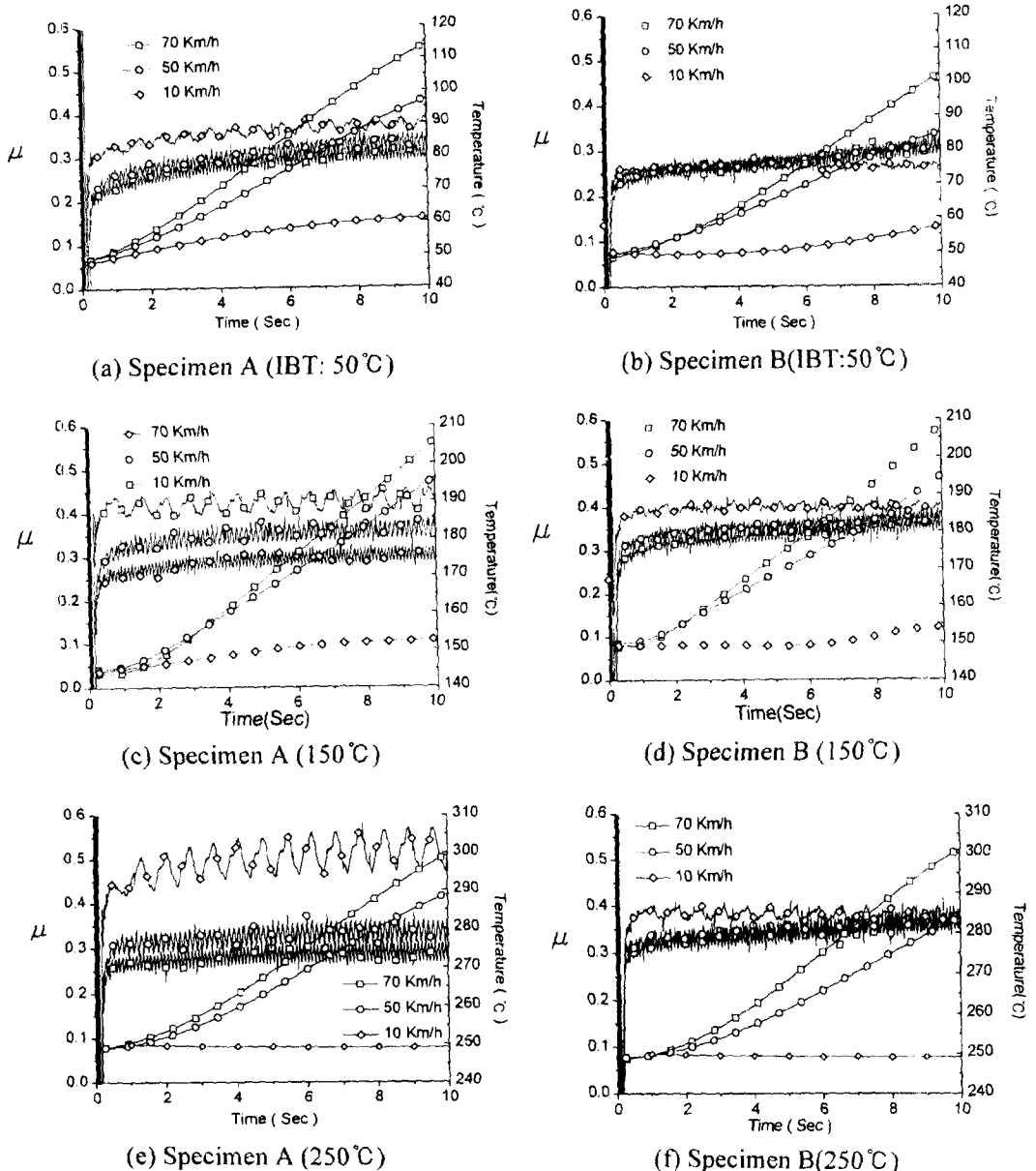


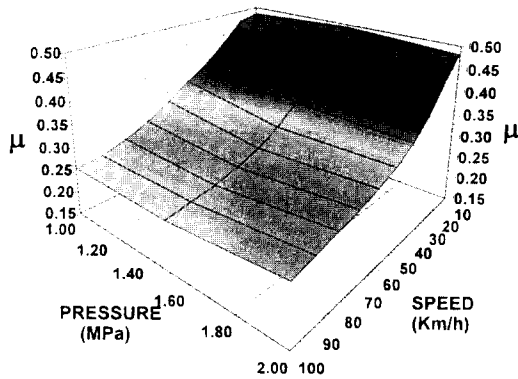
Fig. 6. Change of friction coefficient as functions of speed and initial brake temperature (IBT) for specimen A (low-metallic) and specimen B (NAO).

3-3. Ramp Test에서의 속도의 변화에 따른 마찰계수의 변화

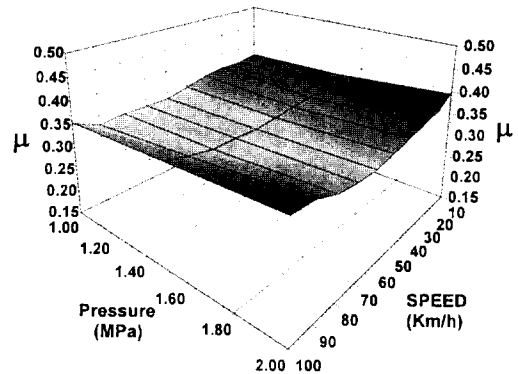
마찰속도에 따른 마찰계수의 변화를 정량적으로 측정하기 위하여 초기온도(50, 150, 250°C)와 압력(0.5, 1.0, 1.5, 2.0 MPa)을 변화시키면서 10~100 km/h의 범위에서 10 km/h 간격으로 각각 10초간 끌기 시험을 하였고 이를 Ramp Test라 한다. 마찰재 A와 B의 마찰계수와 그 진폭의 크기가 속도와 초기 온도에 의해서 어느 정도 영향을 받았는가를 알아보기 위하여 Fig. 6에 일정 압력(1.5 MPa)을 유지한 상태에서 3가지 다른 속도(10 km/h, 50 km/h, 70 km/h)로 10초간 끌기 시

험 하였을 때 나타난 마찰계수와 로터 온도의 변화를 나타내었다.

마찰재 A를 사용하여 시험하였을 때는 마찰계수가 속도의 변화에 따라 크게 변화하였으며 마찰계수의 진폭은 마찰 초기온도가 증가함에 따라 더 크게 나타남을 보여주었다. 반면에 마찰재 B의 경우에는 속도에 의한 마찰계수의 변화가 크지 않았으며 또한 초기 온도의 변화에도 마찰계수의 진폭이 크게 변화하지 않음을 보여주었다. 이는 마찰재 A가 stick-slip 현상을 크게 나타내고 있음을 의미한다. 각 온도와 속도에 따라 이 때 얻어진 결과 중 초기 온도가 250°C일때의

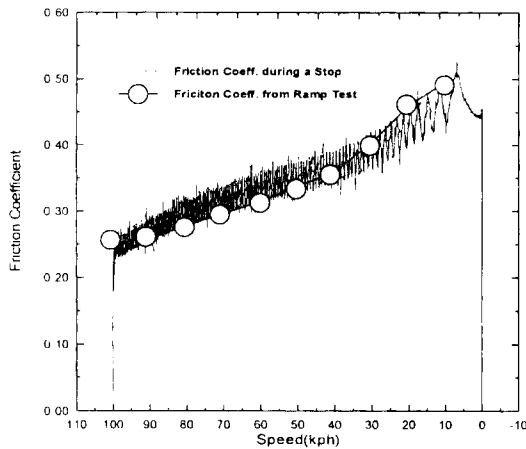


(a) Specimen A (Low-Metallic)

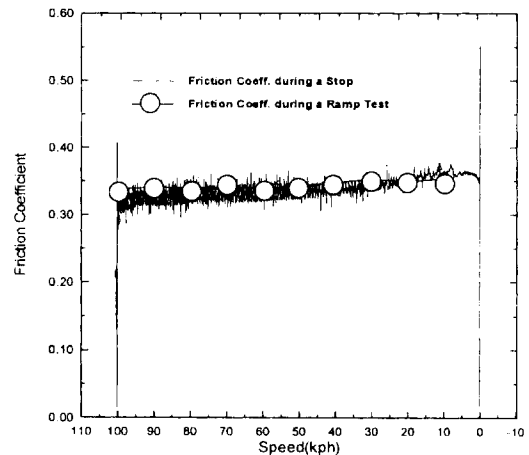


(b) Specimen B (NAO)

Fig. 7. Change of friction coefficient as functions of pressure and speed at initial brake temperature (IBT) 250°C for specimen A (low metallic) and B (NAO) during ramp test.



(a) Specimen A



(b) Specimen B

Fig. 8. Comparison between friction coefficient from stop tests and ramp tests for specimen A (low-metallic) and B (NAO). (stop condition: pressure=1.5 Mpa, initial speed=100 km/h, initial brake temperature=250°C; ramp test condition: pressure=1.5 Mpa, drag speed=10 km/h to 100 km/h, initial brake temperature=250°C)

속도와 압력의 변화에 의한 마찰계수의 변화를 Fig. 7에 나타내었다.

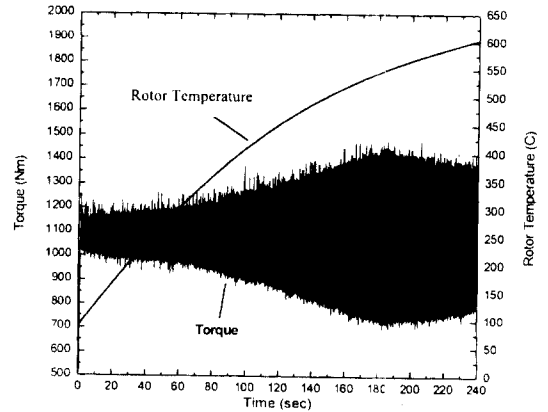
Fig. 7에 나타난 바와 같이 마찰재 A의 경우 속도변화에 따른 마찰계수의 변화가 마찰재 B에 비해 크게 나타났음을 보여주고 있다. 정지 시험시 나타난 anti-fading 현상을 속도에 따른 마찰계수의 변화와 온도에 따른 마찰 계수의 변화를 분리하여 비교하기 위해 정지 시험시 마찰계수의 변화와 ramp test에서 각 속도에서 측정된 평균 마찰계수를 비교하여 도시하였다 (Fig. 8).

Fig. 8에 나타난 바와 같이 정지 시험 중 나타난 마찰계수의 증가는 속도에 따른 마찰계수의 변화가 그 주원인임을 보여주고 있다. 이러한 현상은 마찰계수가 속도에 민감하게 나타난 마찰재 A의 경우에 더욱 명확히 보여주고 있다.

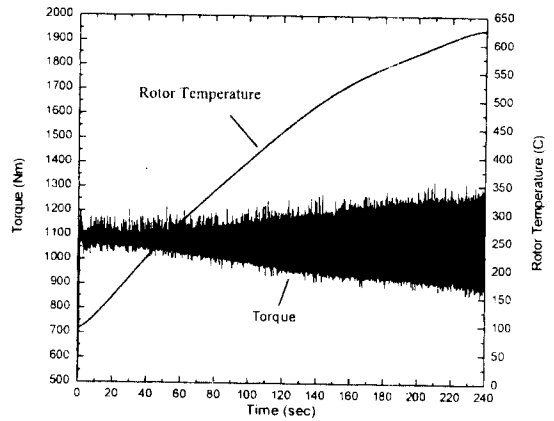
3-4. 토오크 제어 하에서의 끌기시험(Drag Test) 시에 나타나는 토오크의 거동

토오크의 크기를 150 Nm로 일정하게 유지하면서 마찰을 240초 동안 진행시키는 끌기시험은 마찰시 발생한 열에 의해 토오크 진폭의 크기를 측정하는 시험이다. 이때 나타나는 토오크의 진폭은 로터의 온도 상승에 의한 로터의 열변형(thermal distortion), DTV의 증가 그리고 마찰계면에서의 마찰특성에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있다[6]. 이러한 토오크 진폭은 그 정도가 심할 때 제동 시 차체의 떨림(judder)의 원인이 되는 좋지않은 현상이다.

Fig. 9는 마찰재 A 및 B를 사용하여 끌기시험 하였을 때 나타난 토오크의 거동과 마찰열에 의해 증가된 로터의 온도를 나타내고 있다. 토오크 제어방식으로 끌기 시험을 하였으므로 로터의 온도상승은 비슷한 양상을 보이고 있으나 토오크의 진폭은 마찰재 A를 사용하였을 때 더 크게 나타나고 있다. 이는 매우 흥미 있는 결과로서 토오크의 진폭은 로터의 온도상승에 따른 열변형 이외에도 마찰특성이 마찰 계면의 온도가 올라감에 따라 변화하여 토오크 진폭에 영향을 미치기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 마찰특성은 마찰재에 사용된 원료에 의해 크게 결정되며 본 실험에서는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 강철섬유를 사용한 마찰재 A를 사용한 경우에 고온에서의 심한 stick-slip 현상과 그에 따른 마찰계수의 큰 진폭이 끌기시험시 토오크의 진폭을 증가 시키는데 결정적인 역할



(a) Specimen A (low-metallic)



(b) Specimen B (NAO)

Fig. 9. Torque variation and change of rotor temperature during the 5th drag under the torque controlled mode for specimen A (low metallic) and specimen B (NAO). (drag condition: speed=70 km/h, torque=150 Nm, initial brake temperature=100°C)

을 한 것으로 생각된다.

4. 결 론

현재 자동차 제조업체에서 사용되고 있는 두 마찰재를 대상으로 anti-fading 현상을 연구하기 위해 brake dynamometer를 이용하여 시험하였다. 두 마찰재는 우수한 마찰계수 안정성을 나타내고 있었다. 정지 시험시 나타나는 마찰계수의 상승현상인 anti-fading 현상은 저속 마찰재에서 크게 나타났으며 유기질 마찰재에서는 크게 나타나지 않았다. 이러한 현상은 속도에 따른 마찰계수의 변화에 그 주원인이 있었

으며 이러한 현상은 저금속 마찰재의 경우 고온에서 더욱 심하게 나타났다. 이는 금속성분을 다량 함유하고 있는 저금속 마찰재가 고온에서 stick-slip 현상을 더 크게 일으키기 때문이며 이러한 현상은 끌기시험 시 나타난 토오크의 거동과도 밀접한 관계가 있었다. 또한 두 가지 다른 제어방식(토오크 제어방식 과 압력 제어 방식)에 따른 마찰특성을 비교한 결과 토오크 제어시의 마찰계수가 압력제어에 의한 마찰계수보다 높은 값을 나타내었으며 특히 이러한 마찰계수의 거동은 끌기 시험시에 더 크게 나타났다. 따라서 마찰재의 마찰계수를 얻기 위해서는 실제 자동차 제동시와 같은 방식인 토오크 제어방식으로 시험하여야 한다.

후 기

본 연구는 1997년도 한국과학재단 지원 핵심전문 연구(과제번호:1-0801-013-2)에 의한 연구결과입니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. K. Shibata, A. Goto, S. Yoshida, Y. Azuma, and K. Nakamura, "Development of Brake Friction Material," Society of Automotive Engineers, SAE 930806, 1993.
2. 김성진, 장호, "자동차 제동 시 나타나는 마찰재의 마찰 특성에 관한 연구 II," 한국 윤활학회지, 13권 3호, 1997.
3. 장호 "자동차 제동 시 나타나는 마찰 특성에 관한 연구 I," 한국윤활학회지, 13권, 1호, 1997.
4. S.K. Rhee, P.H.S. Tsang, and Y.S. Wang, "Friction-Induced Noise and Vibration of Disc Brakes," Wear, vol.133, 39-45, 1989.
5. C. Gao, and Kuklmann-Wilsdorf, "On-stick-slip and the Velocity Dependence of Friction at Low Speeds," Transactions of the ASME, vol.112, 354-360, 1990.
6. H. Unoue, "Analysis of Brake Judder Caused by Thermal Deformation of Brake Disc Rotors," 21st FISITA Congr. Belgrade, June2-6, 213-220, 1986.