

〈논 문〉

동계 소결마찰재 개발에 관한 연구

이종형* · 최병호** · 김 정**

(1996년 3월 4일 접수)

A Study on the Development of Cu-Based Sintered Friction Materials

Jong-Hyung Lee, Byung-Ho Choi and Jeong Kim

Key Words : Cu-Based Sintered Friction Materials(동계 소결마찰재), Asbestos-Baesd Friction Materials(석면계 마찰재), Nonasbestos-Baesd Friction Materials(비석면계 마찰재), Compacting Pressure(성형압력)

Abstract

In a study on the development of Cu-based sintered friction materials, the specimens pressed with various compacting pressures (3~6 ton/cm²) have been evaluated to find the optimum condition of compacting pressure. As compacting pressure increased up to 5 ton/cm², mechanical properties such as density, hardness, bending strength, wear and coefficient of friction, etc. improved remarkably, but up to 6 ton/cm², decreased slightly beause of traps of gases and water vapors in specimen. Disk assembly composed of 12 pieces of Cu-based friction materials has been compared with one of asbestos- and nonasbestos-baesd friction materials. In dynamic and driving tests to find burst spin strength, corrosion area rate and friction properties, etc., Cu-based sintered friction materials showed better properties than the others, especially in severe conditions because oxides such as Cu₂O and SnO₂ in the friction surface of friction materials were formed

1. 서 론

마찰재는 자동차, 철도차량, 항공기 등과 같은 운송기구의 브레이크 라이닝이나 클러치 페이싱에서 운송기구의 운동에너지를 열에너지로 변환시켜 흡수, 저장, 방출시키는 역할을 한다. 초기에 마찰재는 석면계 마찰재가 주로 사용되었으나, 고속 고중량의 사용조건하에서 마찰특성이 현저히 나쁘고, 폐암이나 석면폐증 등의 공해문제가 심각한 것으로 평가되어 비석면계 마찰재로 대체되었다. 그래서, 고속 고중량의 높은 운동에너지하에서도 마찰특성이 우수한 동(Cu)계, 철(Fe)계와 같은 금속분말과

비금속분말을 사용한 금속 소결마찰재에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있고,^(1~6) 현재 일부에서는 이미 상품화되어 사용되고 있다. 금속 소결마찰재의 제조공정은 크게 분말선정, 혼합, 성형, 소결 등으로 나누어지며, 그중 성형공정은 성형압력을 가하여 분말들의 상호결합력을 증진시켜 적절한 성형강도를 갖는 성형체를 만드는 동시에 실제 완제품의 크기와 형상을 결정하는 공정으로써, 공정변수(성형방법, 성형압력, 성형체 두께 등)를 적절하게 설정하여야 한다. 특히, 성형압력은 성형공정에서 가장 중요한 변수로써 마찰재의 기계적 물리적 특성에 큰 영향을 미치지만, 현재 국내는 물론 국외에도 금속 소결마찰재에 대한 성형압력에 관한 연구는 별로 밝혀지지 않고 있다.

본 연구는 고장력, 고부하용도에서 마찰특성이

*회원, 금오공과대학교 생산기계공학과

**금오공과대학교 재료공학과

우수한 동계 소결마찰재 개발에 관한 연구로서, 성형공정에서 성형압력 3, 4, 5 및 6 ton/cm²으로 제조된 마찰재들을 통하여 성형압력의 최적화를 이룩한 후 상용 마찰재를 제조하였다. 이 상용 마찰재를 승용차 클러치 장착규격에 맞는 형태와 두께로 제작하여 동적시험 및 실차시험을 행하여 마찰재의 기계적 화학적 특성을 관찰하고, 기존에 널리 보급되어 사용되고 있는 석면계 마찰재 및 비석면계 마찰재와 비교 분석하였다.

2. 실험방법

마찰재 시험편은 Fig. 1과 같은 제조공정으로 제조하였다. 밀도, 유동성, 성형성 등은 혼합, 성형, 소결공정에 영향을 미치는 중요한 인자이므로 분말의 사용여부를 결정하는 중요한 기준으로써, 사용

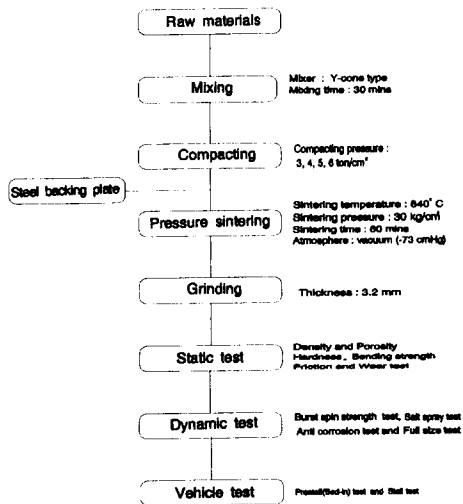


Fig. 1 Flow digram of manufacturing process of Cu-based sintered friction materials

한 원료분말의 특성과 혼합비는 Table 1과 같다.

각각의 원료분말을 혼합비에 따라 편량한 다음 Y-cone type 혼합기에서 40 rpm으로 30분간 혼합하였다. 이때, 흑연은 혼합과정에서 동분말의 표면에 흑연막을 형성시켜 소결과정에서 기지금속의 소결을 저해하므로(1-2) 혼합완료 10분전에 혼합기에 첨가하였다. 혼합이 완료된 분말을 SKD11 열간다이스강의 다이에 13.5 g과 19.5 g을 각각 붓고 100 ton용량의 유압프레스에서 성형압력 3~6 ton/cm²으로 변화하여 압축성형을 하였다. 소결제조공정은 hot press를 이용하여 가열속도 10 °C/min으로 840°C까지 가열하여 고순도(순도 99.9%) 질소 분위기에서 압력 30 kgf/cm² 상태로 60분간 유지하였다. 그후 냉각속도는 20 °C/min으로 시료를 냉각시킨 후, 소결된 마찰재를 승용차 클러치 장착규격에 적합한 두께 3.2(마찰재 2 mm, backing plate 1.2mm) mm로 연삭숫돌 WA 46 K를 사용하여 연마하였다. 정적시험에서 성형체와 소결체의 밀도는 기름침수법⁽⁷⁾으로, 경도는 로크웰 경도기 1/2" 강구 압입체를 사용하여 시험편 표면의 5곳(시험편표면 가장자리로부터 중심쪽으로 0.5 mm간격)을 측정하여 평균값을 취하였으며, 굽힘강도는 13×32 mm 크기의 시험편을 사용하여 ASTM 규격⁽⁸⁾에 의한 굽힘시험기를 제작하여 측정하였다. 마찰특성은 정속식 마찰시험기를 이용하여⁽⁹⁾ 크기가 25×25 mm이고, 성분이 같은 두개의 시험편에 5 kg/cm²의 압축력을 가하고, 500 rpm으로 마찰온도 100~350°C에서 각각 10분간 마찰판을 회전시킨후 마찰계수, 마멸률을 측정하였고, XRD(X-Ray Diffraction), SEM(Scanning Electron Microscope, Hitachi model S-2400) 및 ESCA(Electron Spectroscopy for Analysis)로 마찰시험후의 마찰표면을 분석하였다. 동적시험에서 시험편을 클러치 디스크의 커버와 플라이 휠 측에 각각 6개를 장착

Table 1 Characteristics and weight percents of raw materials of Cu-based sintered friction materials

Raw materials	Copper	Tin	Graphite	Silica	Iron
Weight percent(wt%)	69.3	7.7	14	8	1
Particle size(mesh)	-200	-325	-45+100	-70+100	-100
Particle shape	Dendritic	Spherical	Flake	Sharp edge	Irregular
Apparent density(g/cm ³)	1.50	3.51	0.77	1.18	2.70
Purity(%)	99.5	99.5	99.9	99.8	98

Table 2 Full size test conditions

Energy level	Beding	*LEL	*MEL	*HEL
Inertia (kgf·m·s ²)	0.18	0.18	0.29	0.28
R P M	1800	1800	2000	2500
Energy (kJ)	31	31	62	93
Cycle	500	1000	750	500
Temperature (°C)	85±5°C (friction temperature : 200°C)			
Cycle time (sec)	18	18	33	60

* Low, Medium, High energy level

시켜 온도 200°C, 12000 rpm으로 1분간 유지하여 회전파괴강도를 관찰하였고, 염수분무시험은 염용액(염농도 5%, PH 6.5~7.3)을 0.5~3.0 ml/hr로 48시간동안 분무하여 내식성을 관찰하였으며, 발청 부착시험은 항온 항습조(온도 50°C, 습도 90%)에서 72시간을 방치한 후 커버와 디스크 분리 토크를 구하였다. 풀사이즈시험은 Table 2의 조건으로 마멸물 및 마찰계수를 구하였다.

실차시험은 승용차를 실제 10 km 포장도로로 주행시킨 후, 4단 기어상태에서 4000 rpm으로 엔진을 가속시키고, 10초간 유지 후 클러치를 engage 하였을때 엔진을 세울수 있는 슬립시간과 온도를 매 회 측정하였으며, prestall 시험은 30 cycle, stall 시험은 100 cycle을 행하여 실차상태에서의 마찰특성을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 성형압력에 따른 점적시험

3.1.1 밀도 및 기공률

성형 및 소결밀도를 측정한 결과는 Fig. 2와 Fig. 3과 같다. 성형밀도는 Fig. 2와 같이 성형압력이 증가할수록 급격히 증가하여 치밀화를 이룩하였으나, 6 ton/cm²일때는 성형밀도의 증가가 크게 둔화되었다. 성형압력 3~5 ton/cm²에서는 분말들이 비교적 자유로운 이동을 하기 때문에 성형압력을 증가시키면 성형밀도는 증가하지만, 6 ton/cm²에서는 분말들의 이동에 어려움이 있어 성형체의 응력분포가 균일하지 않기 때문인 것으로 여겨진다. 이러한 경향은 Fig. 3의 소결밀도에서 뚜렷히 관찰

되었다. 특히, 성형압력이 5 ton/cm²으로 증가할수록 소결밀도는 4.96 g/cm³(기공률 8.5%)로 증

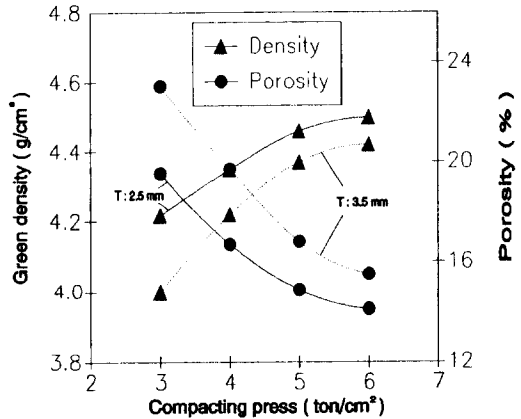


Fig. 2 Green densities and porosities with compacting pressures

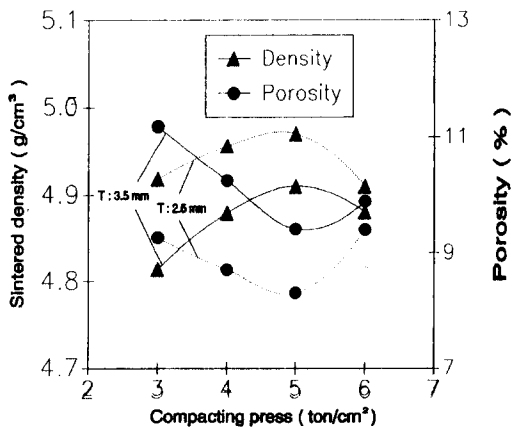


Fig. 3 Sintered densities and porosities with compacting pressures

가하였으나, 6 ton/cm²에서는 4.90 g/cm³(기공률 9.4%)로 오히려 감소하였다.

이러한 현상을 규명하기 위하여 광학현미경을 이용하여 성형압력 3, 5, 6 ton/cm²으로 제조된 시험편들의 표면을 관찰한 결과는 Fig. 4와 같다. Fig. 4(a)와 같이 성형압력 3 ton/cm²으로 제조된 시험편은 분말들간의 상호결합력이 미약하여 마찰재 내부에 기공이 많이 분포되었지만, 성형압력 5 ton/cm²에서는 Fig. 4(b)와 같이 성형압력의 증가로 내부의 기공이 거의 제거되었다. 반면, 성형압력 6

ton/cm²에서는 Fig. 4(c)와 같이 표면에 과도한 치밀화의 발생에 의하여 소결중 조직의 재배열이 방해되어, 마찰재 내부 산화물의 반응에 의해 발생하는 gas와 수증기들을 외부로 방출하지 못하고 내부에 존재하게 되어 기공으로 잔존하므로, 소결밀도가 감소하게 되었다는 것을 확인할 수 있었다.

3.1.2 경도와 굽힘강도

경도와 굽힘강도는 Fig. 5와 같이 성형압력의 증가에 따라 분말의 결합력 강화와 기공의 감소에 의하여 증가하였으나, 성형압력 6 ton/cm²에서는 과도한 압력에 의해 분말들 사이의 마찰 에너지가 급증하여 성형체내에 균열과 변형이 발생하여 감소함을 보였다. 성형압력 5 ton/cm²에서 경도 82(HR S scale), 굽힘강도 13.9 kg/mm²의 최대값을 보였다.

3.1.3 마찰특성

정속식 마찰시험기에서 승용차 주사용 온도범위인 마찰온도 100~200 °C에서 두께 3.5 mm의 시험편들을 10분간 마찰시험을 행한 결과, 마멸률과 마찰계수는 Fig. 6과 같다. 마멸률은 성형압력 5 ton/cm²으로 제조된 시험편이 다른 조건의 시험편들보다 0.5~2.5×10⁻⁷ cm³/kg m의 마멸차이로 낮음을 보였고, 마찰계수는 성형압력 5 ton/cm²에서 다소 마찰계수가 높은 경향이 있지만, 포편적으로 0.4~0.5사이로 유사하였다.

3.1.4 마찰표면 온도 의존성

정속식 마찰시험기를 사용하여 마찰표면 온도

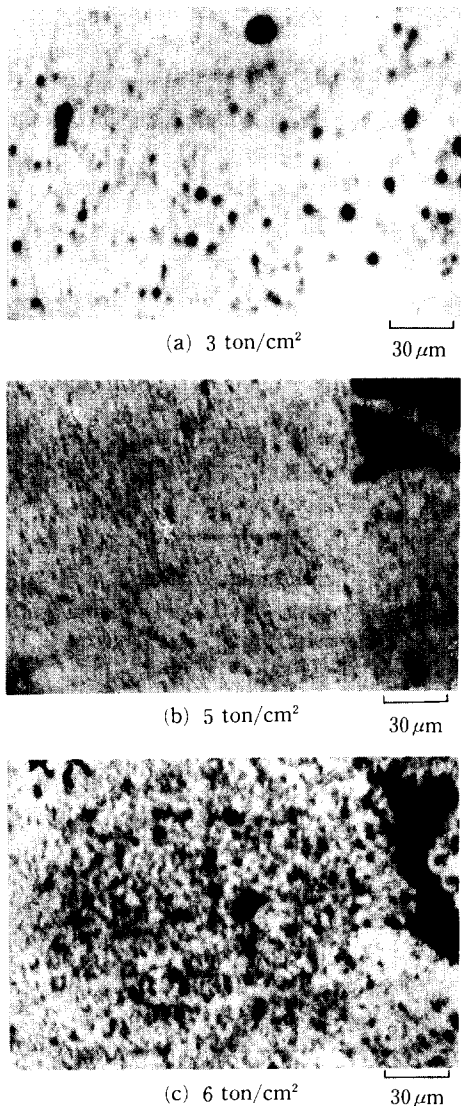


Fig. 4 Microstructure of surface of specimens pressed

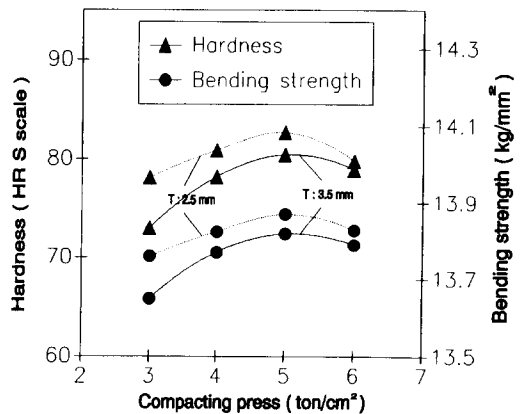


Fig. 5 Hardnesses and bending strength with compacting pressures

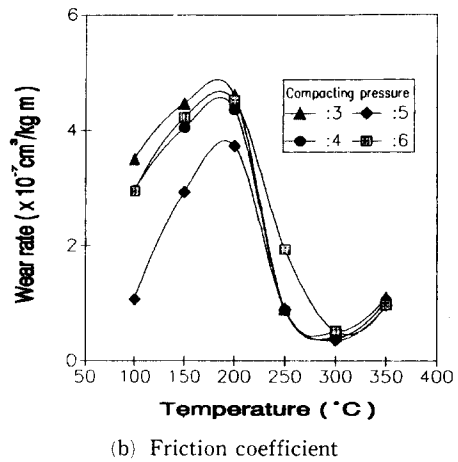
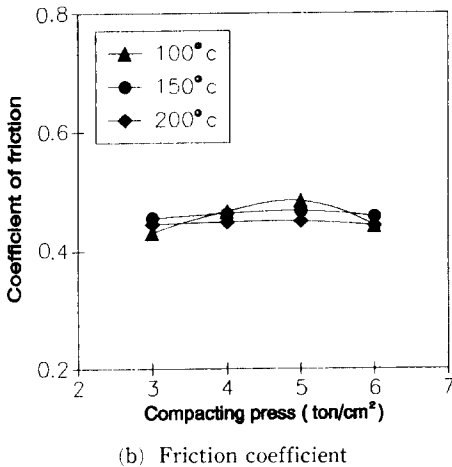
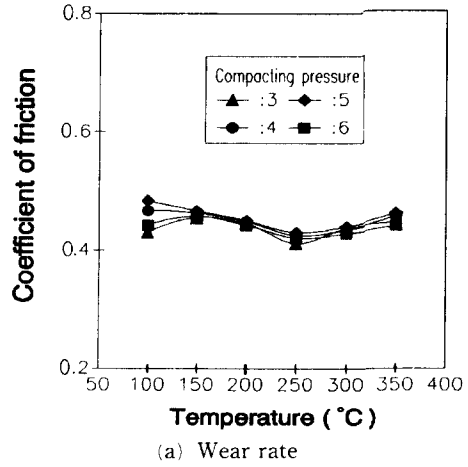
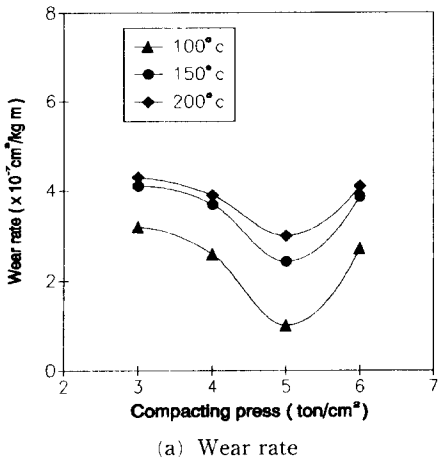


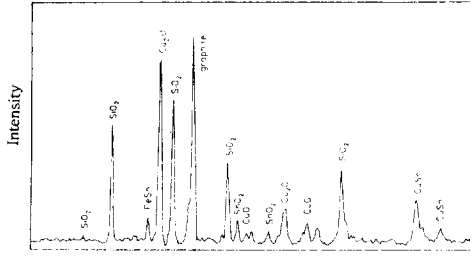
Fig. 6 Friction properties with compacting pressures at 100~200°C of friction temperature (T : 3.5 mm)

Fig. 7 Friction properties with compacting pressures as a function of temperatures (T : 3.5 mm)

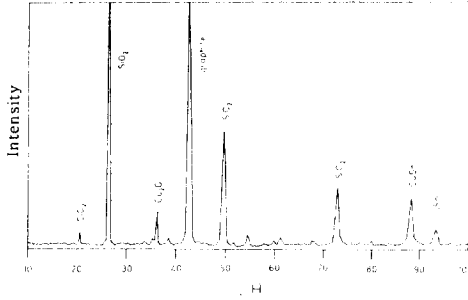
100~350°C, 10분간 마찰시험을 행한 결과 마멸률과 마찰계수는 Fig. 7과 같다. Fig. 7(a)에서 보듯이 마멸률은 성형압력 5 ton/cm^2 에서 제조된 시험편이 $0.4\sim 3.8 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{kg m}$ 의 마멸범위로 가장 낮음을 보였고, 마찰계수는 Fig. 7(b)과 같이 성형압력에 관계없이 0.4~0.5로 유사함을 보이고 있다.

마찰온도에 따른 마멸거동을 보면 마찰온도 증가에 따라 마멸률이 점차 증가하지만, 마찰온도 250~350°C에서는 현저히 감소하였다. 마찰온도 증가에 따라 마멸률의 증가는 마찰열에 의한 열적 에너지가 시험편에 작용하여 마멸률이 증가하는 것으

로 여겨지고, 마찰온도 증가에 따라 마모율의 감소는 고온마찰시 시험편의 마찰표면에서 기지금속인 동과 주석이 공기중의 산소와 화학반응하여 시험편의 표면을 부동화(passivation) 되므로 내마모성이 향상된 것으로 여겨진다. 마찰시험을 마친 다음 시험편의 표면 광택층을 제거하기 전과 후에 표면에 존재하는 화합물을 XRD로 분석한 결과, Fig. 8에서 처럼 고온마찰시 시험편의 마찰표면에 Cu_2O , CuO 및 SnO_2 등의 산화물이 형성되었음을 알 수 있었다. 또한 Fig. 8(a)의 표면 광택층을 ESCA로 분석한 결과, Fig. 9에서와 같이 표면에 산화물이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다.



(a) Before grinding surface layer



(b) After grinding surface layer

Fig. 8 XRD analysis of sliding surface

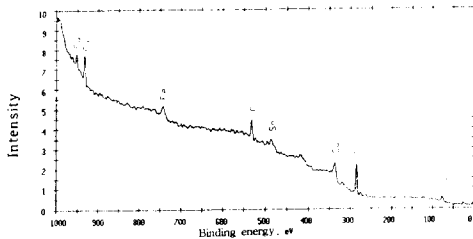


Fig. 9 ESCA analysis of sliding surface

3.2 마찰재 종류에 따른 동적시험

3.2.1 회전파괴시험

마찰재는 엔진과 트랜스미션의 샤프트에 장착되어, 고속회전을 하면서 작동되는 부품으로, 이 회전 원심력에 의한 파괴가 우려되고, 특히 대형 차량일 경우 마찰재 무게의 증가로 낮은 회전운동으로도 회전파괴가 쉽게 발생할 수 있다. 본 연구에서 제조된 동계 소결마찰재와 기존 사용되는 석면계 마찰재 및 비석면계 마찰재의 회전파괴강도를 고찰한 결과는 Fig. 10과 같다. 석면계 마찰재는 9400 rpm에서 45초간 유지후에, 비석면계는 11500

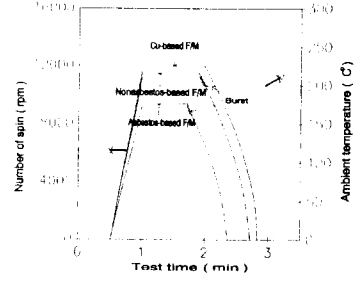
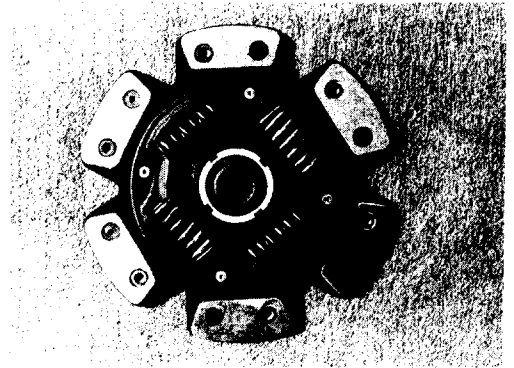
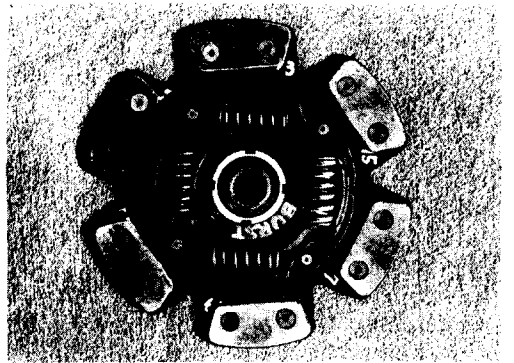


Fig. 10 Burst spin strength with kinds of friction materials as a function of test time



(a) Before burst spin strength test



(b) After burst spin strength test

Fig. 11 Cu-based sintered friction materials

rpm에서 52초간 유지 후 파괴가 발생되었으나, 동계 소결마찰재는 12000 rpm에서 1분간 유지 후에도 파괴가 발생하지 않을 뿐만 아니라 Fig. 11과 같이 마찰재의 표면에 파손 및 균열이 거의 발생하지 않았다. 일반적으로 압힘강도는 마찰재의 회전파괴강도에 큰 영향을 주므로 동계 소결마찰재의 압힘강도가 13.5~14.5 kgf/mm²으로 석면계 마찰

재 6.5~7.5 kgf/mm²와 비석면계 마찰재 9~10 kgf/mm²보다 높기때문에⁽¹⁰⁾ 회전과피로강도가 우수하였을 것이라 여겨진다.

3.2.2 염수분무시험

마찰재의 사용조건이 눈이 많이 내리는 지역이나 해안지역일 경우, 마찰재의 표면에 녹이 발생하여 마찰성능을 저하시킬 수 있으므로, 마찰재 종류에 따라 염수분무시험한 결과는 Fig. 12와 같다. 부식면적율은 Fig. 12과 같이 동계 소결마찰재는 0.2~0.4% 수준으로 석면계 및 비석면계 마찰재 0.4~0.6% 수준보다 오히려 우수함을 보였다. 일반적으로 금속 소결마찰재는 금속성분이 함유되어 쉽게 부식이 발생하지만, 자체 개발 동계 소결마찰재는 흑연과 규사와 같은 비금속 성분이 50 vol. %를 차지하고, 소결중 기지금속인 동과 주석의 적절한 반응으로 치밀화가 발생하여 내식성이 우수하였을 것이라 여겨진다.

3.2.3 발청부착시험

마찰재와 상대재품과의 녹 발생시에 마찰재의 분리능력을 평가하기 위하여 발청부착시험을 행한 결과는 Fig. 13과 같다. 마찰재의 분리능력은 Fig. 13과 같이 염수분무시험에서 우수한 내식성을 보인 동계 소결마찰재가 분리토크 0.58 kg·m로, 비석면계 마찰재 0.62 kg·m와 석면계 마찰재 0.68 kg·m보다 우수함을 보였다. Fig. 14에서 (a)는 발청부착시험전, (b)는 발청부착시험후의 플라이휠과 마찰재로서 플라이휠은 시제품과 접촉부분은 거의 부식층이 발생하지 않고 접촉이 없는 부위에 부식층이 많이 생성된 것으로 보아 플라이휠의 자체 부식층이 분리토크에 영향을 주므로 실제 시제

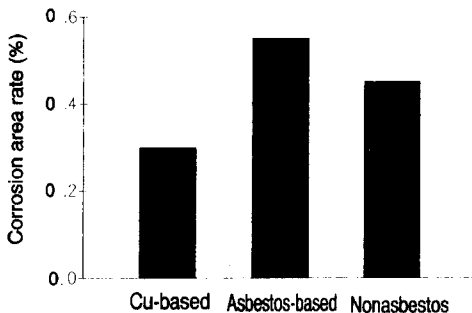


Fig. 12 Corrosion area rates with kinds of friction materials

품의 분리토크는 0.58 kg·m이하로 여겨진다. 한편, 3종류 마찰재의 분리토크는 시험평가 기준 1.0 kg·m에 모두 만족하였다.

3.2.4 풀사이즈시험

실제 기계 시험에 대응한 평가를 하기 위하여 차량사용조건(차량중량 및 탑승 인원수, 화물의 탑제

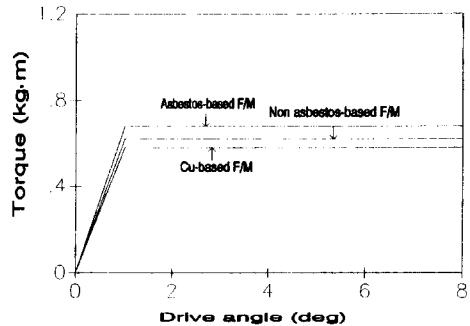
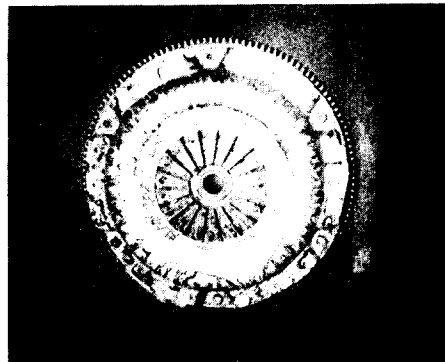
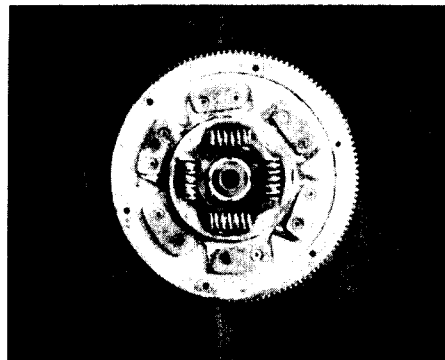


Fig. 13 Torque with kinds of friction materials as a function of drive angles



(a) After cover test



(b) After disk test

Fig. 14 Disk assemblies after anticorrosion test

어부, 평지주행 혹은 산악 및 언덕길 주행 등)에 따라 차량주행에 따른 폴사이즈시험을 행한 결과 Fig. 15와 같다. 마모량은 Fig. 15(a)와 같이 동계 소결마찰재가 비석면계보다 0.13 mm, 석면계 마찰재보다 0.98 mm의 마모차이로 낮음을 보였다. 마찰계수는 Fig. 15(b)와 같이 동계소결마찰재가 전체적으로 0.43~0.48 수준으로 기존의 마찰재에 비하여 우수하였고, 특히 high energy level에서 동계 소결마찰재는 미소하게 마찰계수가 증가하였지만, 석면계 및 비석면계 마찰재는 마찰계수가 급격히 떨어졌다. 일반적으로 정적 마찰특성은 동적 마찰특성에 큰 영향을 미치는데, 동계 소결마찰재는 정적 마찰계수가 전체적으로 0.45~0.5 수준으로 우수하고, 특히 마찰온도 350°C에서는 기존의 마찰재보다 1.8~3.7 정도로 현저하게 높다.⁽¹⁰⁾ 반면, 동적 마찰계수는 정적 마찰계수보다 0.05~0.2 정도 낮게 나타났다. 그 이유는 동적시험에서 고속

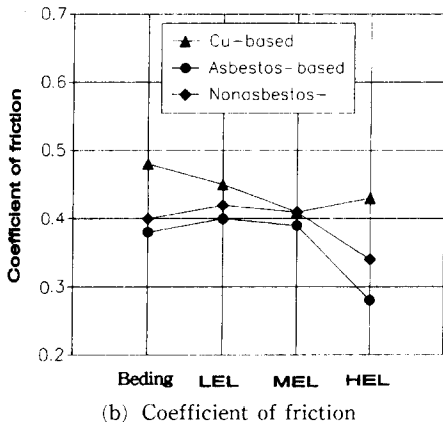
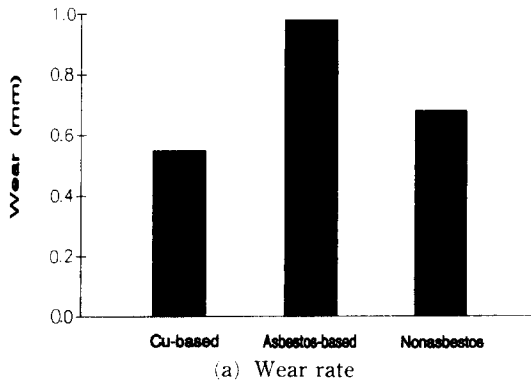


Fig. 15 Friction properties with kinds of friction materials as a function of energy levels

회전에 의한 진동발생, 마모에 의한 커버의 특성변화, 시험기 외부영향 등에 의한 것으로 여겨진다.

3.3 마찰재 종류에 따른 실차시험

실제 차량조건에서 마찰재의 stall 능력, 마멸, 상대 공격성 등을 평가하기 위하여 승용차에 장착하고 pre-stall시험과 stall시험을 행한 결과는 Fig. 16과 Fig. 17과 같다. Prestall시험에서 엔진을 정

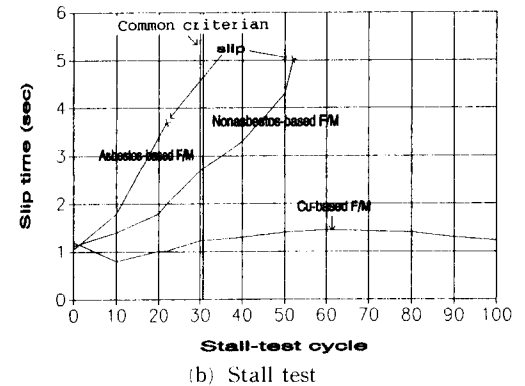
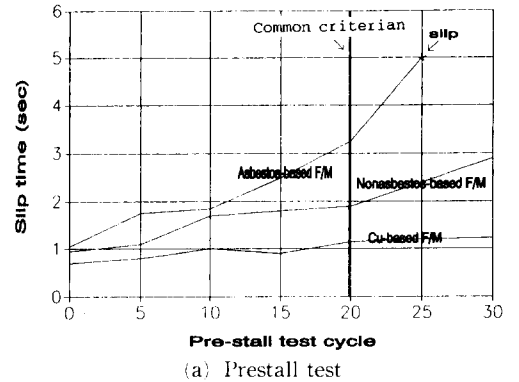


Fig. 16 Slip time with kinds of friction materials as a function of test cycles

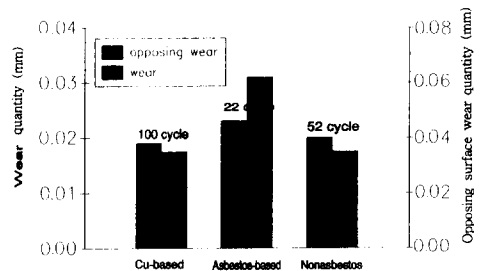


Fig. 17 Wear and opposing surface wear with kinds of friction materials as a function of test cycles

지시키는 stall능력은 Fig. 16(a)와 같이 슬립시간이 시제품은 0.8~1.2초로, 비석면계 마찰재 0.9~2.8초 보다 우수함을 보였다. 반면, 석면계 마찰재는 25 cycle에서 슬립시간이 5초를 초과하며 슬립이 발생하였다. Stall시험에서 stall능력은 Fig. 16(b)와 같이 슬립시간이 동계 소결마찰재는 0.8~1.35초로 cycle증가에 따라 영향을 받지 않으며 우수한 stall능력을 나타낸 반면, 석면계 마찰재는 22 cycle에서 마찰재 파손과 함께 슬립이 발생하였고, 비석면계 마찰재는 52 cycle에서 마찰재가 타는 냄새와 함께 슬립이 발생하였다. 한편, 시험평가 허용규격인 prestall시험과 stall시험은 각각 20, 30 cycle내에서는 동계 소결마찰재와 비석면계 마찰재는 슬립이 발생하지 않았지만, 석면계 마찰재는 슬립이 발생하였다. 결과적으로 동계 소결마찰재는 정적시험과 동적시험에서 온도와 에너지의 변화에 영향을 받지 않고 일정하게 마찰특성이 우수하였기 때문에 실차시험에서 가혹한 조건(100 cycle)에도 마찰특성이 우수하였다. 실차시험에서 마찰재 마멸량과 상대 마멸량은 Fig. 17와 같이 동계 소결마찰재가 100 cycle인데도 불구하고 0.019 mm와 0.035 mm로, 비석면계 마찰재 0.02 mm와 0.035 mm, 석면계 마찰재 0.035 mm와 0.062 mm보다 우수함을 보였다. 특히, 금속 소결마찰재는 일반적으로 마찰재 마멸량은 적고 상대 마멸량은 높지만,⁽¹¹⁾ 자체 개발 동계 소결마찰재는 흑연이 14 wt. %첨가로 윤활특성이 충분히 발휘되었기 때문에 여겨진다.

4. 결 론

동계 소결마찰재의 개발에 관한 연구를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 성형밀도, 경도, 굽힘강도는 성형압력 5 ton/cm²로 제조된 마찰재가 가장 높았지만, 성형압력 6 ton/cm²로 제조된 마찰재는 소결중에 조직의 재배열이 억제되어 가스 및 수증기 등이 외부로 발산되지 못하여 감소하였다.

(2) 마멸시험 결과 성형압력 5 ton/cm²일때 마멸률이 비교적 낮으나, 마찰계수는 0.4~0.5로 성형압력 3~5 ton/cm²이 유사함을 보였다.

(3) 마찰온도 250~350 °C에서 마멸률이 급격히 감소하였다. 그 이유는 고온 마찰중에 공기 중의 산소와 기지금속인 동과 주석이 반응하여 산화물이

형성하여 부동화처리되었기 때문이었다.

(4) 동계 소결마찰재는 석면계 및 비석면계 마찰재보다 회전파괴강도가 월등히 우수하고, 또한 염수분무시험과 발청부착시험에서 우수한 내식성과 분리능력을 보였다.

(5) 풀사이즈시험에서 동계 소결마찰재가 다른 마찰재보다 마멸량은 0.13~0.98의 차이로 낮음을 보였고, 마찰계수 0.1~0.12수준의 차이로 높았다.

(6) 실차시험에서 동계 소결마찰재는 마멸량과 상대 마멸량이 적고, 슬립시간은 0.8~1.35 초로 매우 우수한 stall능력을 유지하였다. 반면, 석면계 마찰재는 22 cycle에서, 비석면계 마찰재는 52 cycle에서 슬립이 발생하였다.

(7) (1), (2)의 결과로써, 동계 소결마찰재의 제조에 있어 성형압력은 5 ton/cm² 범위가 최적임을 알고, (3)~(6)의 결과로써, 자체 개발 동계 소결마찰재는 기존의 석면계 및 비 석면계 마찰재보다 우수하고, 특히 고속 고중량의 운송기구에 아주 적합하다는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 통상산업부 공업기반기술 개발사업(921-12-03)으로 수행된 내용의 일부이며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Jenkins, A., 1969, "Powder-Metal-Based Friction Material," *Powder Metallurgy*, Vol. 12, No. 24, pp 503~518.
- (2) Sin Wei Ho, David Ho, Kum Fong Wu and Chun Sien Lin, 1991, "Friction Properties of Copper-Based and Iron-Based Friction Materials," *Advances in Powder Metallurgy*, Vol. 5 pp 229~236.
- (3) Gopinath, K., 1980, "Investigation on Friction and Wear Behavior of Sintered Bronze Clutch Liner," *Transactions of the PMAI*, Vol. 7, pp 78~83.
- (4) Fisher, R. and Vollmer, T., 1970, "The Technical Control of the Manufacture of Aircraft Brake Friction Linings," *Powder Metallurgy*, Vol. 13, No. 26, pp 309~318.

- (5) Kazunori Umeda and Keiko Saito, 1992, "Influence of Material Metal Powder in Copper System Self-Lubricating Composites on Friction and Wear (Part 2)," *Jpn. Mech. Eng. Lab*, Vol. 46, No. 6, pp 445~454.
- (6) Dixon, R. H. T. and Clayton, A., 1971. "Sintered Metal Friction Materials," Powder Metallurgy for Engineers.
- (7) ASTM B 837-65, 1985, "Standard Test Method for Density of Sintered Metal Friction Materials."
- (8) ASTM B 378-65, 1985, "Standard Test Method for Trensvers Rupture Strength of Sintered Metal Friction Materials."
- (9) KS R 4022, 1991, "Clutch Facing for Automobile."
- (10) 김 정, 최병호, 이종형, 1996, "고기능성 금속소결 마찰재의 제조에 관한 연구(III)," 대한기계학회 춘계학술대회논문집, pp. 198~202.
- (11) Louis B. Newman, 1978, *Iron and Copper Powder Compositions*, Friction Materials, pp. 85~113.
- (12) Pierre W. Taubenblat, 1980, *Copper Base Powder Metallurgy*, New Perspectives in Powder Metallurgy, AMAX Copper Inc., Vol 7.
- (13) Dutta, D., Mohan, G., Chatterji, B. and Krishnadas, C. G., Nair, 1989, "Indigenous Development and Manufacture of Aircraft Brake Friction Materials by Powder Metallurgy", *Transactions of the PMAI*, Vol. 16, pp. 14~24.