



ZrSiO₄가 첨가된 마찰재의 마찰 안정성

Friction Stability of Materials with ZrSiO₄ Addition

이 동 규* · 박 상 찬**

Dong-Kyu Lee · Sang-Chan Park

(1999년 4월 28일 접수, 1999년 7월 24일 채택)

ABSTRACT

This study was conducted to invent brake of non-steel material without using asbestos and disc pad added ZrSiO₄ was made. The physical properties and friction characteristics were investigated by varying methods. The physical properties were inspected of shear strength, hardness, heat expansion, specific gravity, % of gashole, thickness variation, weight variation and pH variation. The friction stability was measured by friction coefficient on variations of speed, temperature and deceleration condition. It was found that the physical properties were in general excellent. According to the friction characteristics tests, ZrSiO₄ had an abrasive property. As a results, the friction materials containing ZrSiO₄ 3~5vol% showed better resistance to fading and improved friction stability than the materials without ZrSiO₄.

1. 서 론

산업의 발달은 새로운 소재의 개발을 요구한다. 산업 발전이 빠르면 빠를수록 그와 같은 속도로 재료의 개발이 뒤따라야 산업이 보다 가속화 될 수 있다. 우리가 매일같이 이용하는 차량에 있어서도 마찬가지로 차량을 구성하는 수만여종의 부품은 하나 하나가 중요한 소재로 이루어졌다.

차량의 기본 성능중 하나는 브레이크 성능의 안전에 달려있다. 차량을 구성하는 대부분의 부품은 차량이 움직일 수 있도록 고안되었는데, 브레이크는 안전하게 정지시키는 장치이다. 따라서 브레이크는 차량과 인간의 안전을 위한 가장 중요한 부품으로 이에 사용되는 마찰재의 마찰계수 안정성이 안전과 직결되므로 안정적이고 우수한 성능의 제품의 개발이 필요하다. 마찰

* 충북대학교 화학공학부

** 충주대학교 환경공학과

식 브레이크는 구동체의 운동에너지를 마찰시 열에너지와 진동에너지로 교환되며, 마찰저항에 따라 감속, 가속되고 동력의 제동 및 전달이 이루어지며 대기중에 열과 소리를 발생시켜 정지시키는 장치로서¹⁻³⁾ 성능이 우수한 브레이크를 확보하는 것이 특히 중요하다. 브레이크의 성능은 안전을 위하여 매우 중요하며 그 열쇠는 마찰재료의 조성에 달려있다.

최근까지도 석면섬유를 이용한 석면계 마찰재가 이용되고 있으나 사용시 발생하는 석면분진 등이 환경오염의 요인으로 대두되고 자동차의 고급화, 고속화에 따른 성능 미달로 사용이 규제 또는 지양되고 있는 실정이다⁴⁾. 이에 따라 석면재질이 갖는 보강성, 유연성, 내열성, 불연성, 단열성 등이 우수한 대체 재질인 비석면계 마찰재가 발전되고 있다. 비석면계 재질은 semi-metal계, low-steel계 및 non-steel계로 나누어져 각각의 특징과 장단점을 지니고 있으며 수명이나 마모율에 있어서는 석면계 마찰재보다 우수하나 가격이 다소 비싼 단점을 지니고 있다. 비석면계 재질의 마찰재라도 지역간 차종별 선택의 폭이 다양하나 승용차의 경우를 고려해 볼 때 재질의 경량화, 고속 성능, 강도특성이 우수하여야 하고 설계의 용이성, 최적의 마찰계수, 대면공격성, 열안정성, 고속 고온의 제동능력 및 내마모성이 우수하여야 하며 소음발생이 없어야 한다⁵⁾. 일반적으로 마찰재의 분류는 형상에 따라 무기질, 유기질, 금속 및 섬유질 원료 등으로 구분되어 지며 이들을 역학적으로 분류하면 충전재, 윤활재, 연마재, 마찰조정재, 섬유질계, 결합제로 나누어 볼 수 있다⁶⁻⁸⁾. 이들로부터 조합된 브레이크 마찰재는 조성에 따라 그 성능이 변화되고 차종에 따라 마찰재의 조성 변화가 필연적으로 수반되어야 한다. 이때 연마특성을 갖는 무기 연마재는 차종 또는 브레이크디스크의 특성에 따라 선택되어질 수 있으며 연마재의 종류와 품위에 따라 그 성능이 변화될 수 있다. 연마특성을 갖는 물질은 금속 또는 금속산화물 등으로 매우 다양하나 선택은 여러가지를 고려하여야 된다.

본 연구에서는 세계적인 추세⁹⁾에 있는 비석면계 non-steel재질의 마찰재 개발에서 연마특

성을 갖는 ZrSiO₄를 선정하여 설계재료 중에 연마재 첨가량에 따른 마찰재의 특성과 마찰계수 안정성을 검토하고자 한다. 측정하고자하는 물리적 특성으로는 경도, 기공율, 비중, 열팽창, 전단강도 등과 차속, 온도 또는 감속도 변화에 따른 마찰계수 변화를 측정하여 마찰재로서 기능 및 특성을 확인하고자 한다.

2. 실험

2.1 시편의 제조

일반적으로 non-steel계의 마찰재의 기본조성은 무기, 유기, 금속과 섬유원료로 나누어진다¹⁰⁾. 이때 섬유원료는 8~15%, 금속원료 15~30%, 무기질계 30~50%, 유기질계 5~10%, 결합재 5~8%의 범위에서 혼합되어 원하는 성능의 제품을 생산해 낼 수 있으며, 섬유원료는 원료들의 결합을 좋게 하기 위하여 사용되어지고 마찰재의 구조 및 강도유지를 위하여 금속원료는 마찰재의 마찰계수를 높여주거나 조정하여 주는 역할을 한다. 한편, 무기원료는 마찰재의 충전재 및 고온에서 마찰계수 안정화용으로, 유기원료는 마찰재의 결합제 및 마찰조정제로 마찰계수 조절 및 내마모성 향상과 pH조절 또는 마찰재 구조강도 향상의 역할을 한다.

본 실험에서는 ZrSiO₄ 물질을 제외한 모든 원료는 기존의 조성에 의하여 조합하며 ZrSiO₄ 물질만을 vol%로 0, 3, 5, 7로 변화시키면서 이것이 마찰재의 물성 및 마찰계수에 미치는 연마재로서의 기능을 검토하였다. 연마재로서 기능을 갖는다는 것을 움직이는 차량이 정속하고 안전하게 정지할 수 있는 것을 요구한다. 실험에 사용된 ZrSiO₄의 특성은 입자크기 45 μ m 이하와 성분조성은 ZrO₂: 66.28%, SiO₂: 32.56%와 미량의 Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂가 0.7% 이하 포함되었다.

ZrSiO₄는 고융점을 갖고 있으며 열전도성이 낮고 내마모성이 우수한 물질로 알려져 있으며 시험시편인 마찰재는 원료준비, 혼합, 예비성형, 성형, 열처리, 연마, 제품화 과정을 거치며 별도로 금속판(B/P)은 세정, 접착제도포, 건조과정을 거쳐 원료 성형체에 부착한다.

시편인 브레이크 디스크 패드(D/P)는 금속판

과 복합재료의 패드로 구성되어진다. 앞에서 언급한 바와 같이 D/P의 제조공정은 크게 분류하여 혼합, 소압(curing), 성형, 열처리로 이어지며 제조방법 및 조건은 다음과 같다.

혼합은 lodige mixer(용량 50l)를 이용하여 2가지 형태의 혼합방식으로 이루어진다. 한 형태는 7분간 shovel rpm 180, chopper rpm 2600으로 진행되며 또 한 형태는 shovel rpm 180과 chopper rpm 2600으로 5분간 진행된다. 혼합공정으로부터 얻은 시료 120g을 계량하여 압력 400kg/cm²으로 3초간 가압하여 예비성형을 하는 소압과정을 거친다. 성형은 D/P 원료성형체를 B/P에 부착하며 성형온도는 160±2℃의 범위에서 300kg/cm²로 가압하고, 마찰재의 안정화를 위하여 150℃에서 3시간 열처리한다. 열처리를 마치고 난 후는 세정, 도장, 건조, 각인, 연마 등의 공정을 거쳐서 제품화된다.

2.2 시편의 특성분석법

자동차 D/P의 물리적 성질의 시험방법은 한국공업규격(R-0080)의 브레이크 라이닝 패드의 시험방법을 이용하였다. 측정물성으로는 전단강도, 경도, 열팽창, 비중, 기공율, 두께, 무게, pH 등을 시험하여 각각의 시편의 물성치를 측정 비교하였다.

시편인 D/P 완제품의 전단강도를 측정하기 위하여 크로스헤드 이동속도 일정형의 인장시험기를 사용하여 전단지그를 이용하여 시험편에 미치는 전단하중을 중심선상에 가해지도록 하였으며, 시험기에 가해지는 가압속도는 5mm/min로 하였다.

시편의 경도는 Rocwell 경도기를 이용하여 측정하였으며, 시험기는 KS 5526에 적합한 것을 이용하였고 측정스케일은 S스케일로 하였다. 경도 측정위치는 D/P의 수평 중심선상에서 세 점을 선택하여 각 점에 대하여 10회 이상의 실험결과를 평균하여 사용하였다.

브레이크 제동시 발생하는 고온의 열에 대한 안정성을 평가하기 위해 열풍순환식 전기로를 이용하여 300℃에서 열팽창 실험을 수행하였다. 열팽창 실험은 가열시와 냉각시 측정을 3회 반복 수행하고 측정위치는 5점을 선택하여 드릴

φ6으로 표시하여 측정시 동일한 위치를 측정할 수 있도록 하였다.

비중은 동일한 온도에서 동일 체적의 물에 대한 일정체적의 물질에 대한 질량비로 Cho balance에서 공기중의 무게와 수중의 무게를 측정하여 계산하였다.

기공율 측정은 시편크기 2.5×2.5×0.5cm로 체적 약 3.12cm³, 질량은 8.6±1g으로 제작하여 시험유 KSM 2127의 기어오일에서 8시간 100℃ 오일에 침전 후 오일 저층의 열판을 정지시키고 12시간 식힌 다음 질량을 측정하였으며 계산식은 다음과 같다.

$$\text{기공율} = [(W_2 - W_1) / (\rho \cdot V)] \times 100$$

여기서, W₁: 시험편의 질량

W₂: 액체를 함유한 시험편의 질량

ρ: 시험에 사용된 오일의 밀도

V: 시편의 부피

시편의 두께변화 측정은 성형 후와 완제품의 무게를 마이크로메타를 사용하여 측정하였으며, 측정위치는 중앙수평선상에 세 점을 선정하여 10회의 반복 측정값을 이용하였다.

시편의 무게는 금속판과 브레이크 패드의 무게로 이루어지며 금속판의 무게가 일정하므로 패드의 무게변화를 본 성형 후와 반제품상태를 Cho balance로 측정하여 비교하였다.

시편의 pH측정은 pH-측정기를 사용하였으며 이때 시료는 시편을 분말로 만들어 증류수가 든 비이커에 넣고 1시간 끓인 후 상온까지 방치한 후 측정하였다.

2.3 마찰성능 시험법

자동차의 속도를 조절하는 자동차 브레이크는 구조에 따라 드럼 브레이크와 디스크 브레이크로 나눌 수 있다¹¹⁾. 본 시험에 사용된 브레이크 구조는 디스크 브레이크를 사용하여 시험을 행하였다. 마찰재 이용의 궁극적 목적은 차량과 인간의 안전을 위하여 차량에 부착되는데 이의 기본성능은 마찰계수와 직접적인 영향이 있다. 마찰재의 성능시험은 동력시험을 통하여 연마재가 마찰재에 미치는 영향을 파악할 수 있으며, 속도변화에 따른 마찰재의 효력변화와 온도변화에 따른 마찰계수의 안정화로 확인할 수 있다.

마찰계수의 평가를 위하여 브레이크 동력 시험기(SNT Dynamometer No. 90225, JAPAN)를 사용하였으며, Table 1과 같이 마찰재 성능시험 방법에 의하여 시험하였다. 시험항목은 pre-burnish, fade & recovery, burnish, effectiveness의 순서로 구성하며, pre-burnish 및 burnish는 마찰재와 디스크의 완전한 접촉을 이루기 위해 수행하는 과정이고 fade & recovery는 일정시간 간격으로 연속제동하여 마찰재의 마찰계수가 계속적인 온도상승에 의한 영향을 판단하기 위하여 실시하였다. Effectiveness는 제동 초속도 및 제동 감속도 변화에 따른 마찰재의 마찰계수 변화 및 그 안정성을 판단하기 위해 제동 초속도를 50km/h, 100km/h, 130km/h로 변화시키며 제동 감속도를 0.1~0.8g로 변화시켰으며 이때 g는 중력가속도의 값에 해당된다.

Table 1 Procedure for Dynamometer Test Mode

Items	Initial speed (km hr)	Procedure			Remarks
		Temp. or Time	Decele- ration	Step	
Initial					Thickness check
Pre-burnish	50	60sec	0.3g	10	
Fade & Recovery	Base line check 50	80℃	0.6g	3	
	Fade test 100	60℃	0.45g	11	
	Recovery test 50	45sec 120sec	0.6g	10	
Burnish	65	80℃	0.35g	35	
Effecti- veness	50 100 130	80℃	0.1~0.8 g	1	
Final					Thickness check

3. 실험결과 및 고찰

3.1 물성실험 결과

Table 2의 1항은 전단강도 시험결과의 평균치를 나타낸 것으로, ZrSiO₄가 첨가되지 않은 기본소재의 경우 완제품 형태에서 3005kg_f/unit의 값을 나타내며 ZrSiO₄가 첨가된 경우도 이와

유사하게 보여주고 있어 첨가된 ZrSiO₄에 의한 전단강도 변화가 없음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 기본소재에 함유된 결합재와 ZrSiO₄의 관계에서 원활한 결합을 갖고 있는 것으로 예측되고, ZrSiO₄가 첨가되었을 경우 열성형 후와 완제품의 전단강도 크기는 큰 차이가 없으므로 결합시 열에 의한 큰 영향은 받지 않고 소재의 조성에 따라 강도특성이 변할 것으로 예측된다.

Table 2의 2항은 연마재를 선택하여 그 양을 변화시켜 첨가하였을 때의 경도변화를 나타낸 것이다. 이 결과 예비성형 후와 완제품의 경도 비교에서는 완제품인 경우 큰 값을 나타냈고 그 차이는 비슷하게 나타났다. 열처리후 시편의 경도가 상승된 원인은 열성형시 반응이 완결되지 않고 남아있던 수지의 경화에 기인하는 것으로 완제품의 경도가 15%이상 증가하였다.

Table 2의 3항은 300℃조건에서 냉각 또는 가열시 시료의 열에 의한 변화를 나타낸 것이다. 무기질인 연마재의 첨가량이 증가할수록 변화량은 적게 나타나는데, 이는 D/P의 재질이 대부분 열에 안정한 물질로 구성되어 있음을 입증하는 것이다. 가열시 ZrSiO₄ 양이 5% 증가까지는 열팽창 현상이 감소하고 그 이상에서는 연마재 양이 상대적으로 증가되어 열팽창 변화가 안정됨을 보여주고 있으며, 냉각시 열팽창 특성도 0.01~0.02mm로 변화되어 매우 안정한 특성을 보여준다.

Table 2의 4항은 시료의 비중 측정결과로 ZrSiO₄의 첨가량이 증가할수록 비중변화는 미세하게 나타나는데, 이와 같은 현상은 ZrSiO₄의 고유 비중이 비슷하기 때문이다. 본 실험에서 이용된 D/P의 비중은 진밀도 기준으로 2.4이므로 ZrSiO₄의 비중도 이와 비슷한 값을 갖는 것으로 예측할 수 있다.

Table 2의 5항은 ZrSiO₄가 첨가된 D/P의 완제품의 기공율을 나타낸 것으로 기본소재보다 낮게 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이와 같이 기공율이 감소하는 것은 ZrSiO₄의 미세입자가 소재중에서 입자간 공극을 채워주기에 충분하여 조밀하게 되었음을 추측할 수 있다.

시편의 두께변화 측정위치는 중앙 수평선상에 세 점을 선정하여 10회의 반복 측정값을 이

용하였다. Table 2의 6항은 성형 후와 완제품의 두께 변화를 나타낸 것으로 완제품의 두께가 크게 얇아진 것을 알 수 있는데, 이는 측정중에 연마공정이 있으므로 연마에 의한 손실에 기인한다. 완제품의 두께는 연마재 조성과 관계없이 균일하였고 두께 측정시는 세 점의 위치에서 두께가 동일하였다.

본 실험에서는 금속판 무게가 208g이고 브레이크 패드 시료는 최초 120g을 사용하였는데 연마와 열처리 공정을 거치는 동안 감소되어짐을 알 수 있고, 브레이크 패드 시료의 손실량이 매우 크게 나타남을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 Table 2의 7항에 나타난 바와 같이, D/P만의 무게는 105g 전후의 값을 지니므로 실제 한 개의 D/P제조시 소재의 손실량은 크게 나타나므로 앞으로 이같은 손실량을 감소시킬 수 있는 개선대책을 강구해야 할 것이다.

Table 2 Physical properties of samples

Item	Properties	Sample	Contents of ZrSiO ₄ (vol %)			
			0	3	5	7
1	Shear strength (kg./unit)	after cure	2760	2865	2575	2930
		product	3005	2985	3000	3065
2	Hardness (HRS)	after cure	69.87	68.38	65.26	69.32
		product	81.70	79.50	77.70	80.30
3	Thermal expansion (mm)	heating	0.09	0.08	0.07	0.07
		cooling	0.01	0.01	0.02	0.01
4	Specific gravity	after cure	2.70	2.72	2.68	2.72
		product	2.73	2.70	2.66	2.66
5	Porosity (%)	product	17.13	17.87	15.27	14.43
6	Thickness (mm)	after cure	16.13	16.55	16.54	16.59
		product	15.58	15.67	15.62	15.72
7	Weight (g)	after cure	327.56	328.11	327.18	327.43
		product	318.30	317.00	314.00	314.67
8	pH	product	12.41	11.82	12.01	12.47

D/P재질의 pH는 금속재질 부품의 부식조건과 직접적인 관련이 있으므로 재질의 pH가 약알칼리를 유지하는 것은 매우 큰 의미가 있다. 재질이 산도의 성격을 갖는 경우 디스크 재질의 손상이 가속화될 수 있으므로 재질이 중성 또는

약알칼리 영역에 유지되는 것이 바람직하다. Table 2의 8항에 pH 변화 측정은 기본소재와 비슷하며 ZrSiO₄가 첨가될수록 다소 증가하였으며, 알칼리 영역을 유지하고 있어 안정영역에 있음을 알 수 있다.

3.2 마찰성능시험

3.2.1 감속도 변화에 따른 마찰성능

시편에 ZrSiO₄ 첨가량에 따른 마찰계수 분포를 감속도로 0.1~0.8g(0.1g 간격)까지 변화시키며 시험한 결과는 Fig. 1~3과 같다. Fig. 1은 50 km/h의 속도에서 감속도 변화에 따른 ZrSiO₄ 조성별 마찰계수(이하 μ) 분포를 나타내었다. 시험결과 ZrSiO₄ vol%가 0%, 3%, 5%, 7%로 변화시켰을 때 ZrSiO₄가 첨가되지 않은 기본소재에서는 마찰계수 분포가 0.4보다 낮은 상태를 유지하고 있으나, 3vol% 이상이 첨가된 경우는 이보다 높은 0.4정도의 μ 값을 보여주고 있어 ZrSiO₄의 첨가는 저속에서 μ 를 높여주는 연마재로서의 역할을 하며, 차량의 안전제동에 기여할 것이다. 특히 3~5%의 ZrSiO₄ 첨가한 시료에서 감속도 변화에 따른 마찰계수가 안정적인 분포를 나타내고 있다. Fig. 1에서 나타나는 저감속도 영역에서 μ 값이 높게 나타나는 것은 캘리퍼와 디스크 패드가 낮은 액압 구간에서의 거동에 따른 접촉상태에 기인한 현상으로 판단되며, ZrSiO₄를 첨가한 시료는 전 감속도 범위에서 μ 값의 변화가 일정하고 안정된 마찰특성을 보여 주어 저속에서 이 물질이 연마재로서의 특성을 지니고 있다고 할 수 있다. 연마재로서 특성을 갖는 것은 차량을 정지시키고자 할 때 보다 안전하게 멈출 수 있음을 나타내고 있다.

Fig. 2는 100km/h의 차속에서 ZrSiO₄첨가가 μ 값에 어떠한 영향을 미치는가를 알아본 것으로, 차속이 증가할 때 ZrSiO₄가 첨가되지 않은 시료의 μ 값은 감속도가 높아짐에 따라 Fig. 1과는 다르게 마찰계수가 높아지고 감속도별 μ 편차 폭도 크게 증가되었고, ZrSiO₄ 3% 첨가시에는 마찰계수 변화가 크지 않고 안정화됨을 볼 수 있으며, ZrSiO₄ 첨가량이 5%인 경우도 마찬가지로 전체 감속도 영역에서 μ 값의 편차는 작게 나타났고, μ 값이 0.4보다 약간 높게 나타났다.

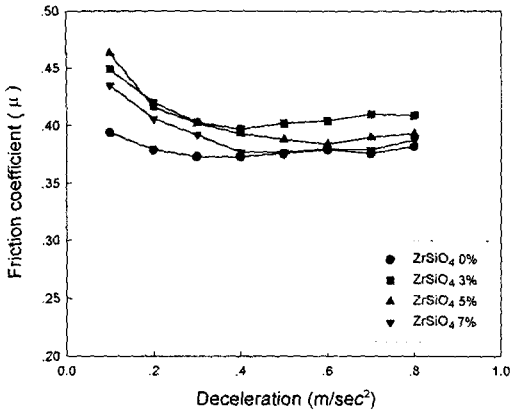


Fig. 1 Effect of deceleration on variation of ZrSiO₄ content at 50km/h

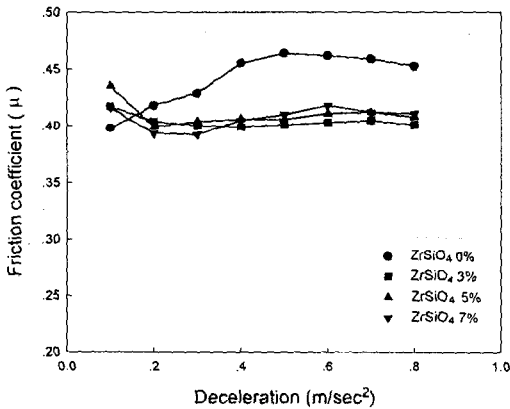


Fig. 2 Effect of deceleration on variation of ZrSiO₄ content at 100km/h

첨가량이 7%인 경우는 약간의 마찰계수가 상승되는 경향을 보인다. 이 결과로부터 100km/h 영역에서는 ZrSiO₄ 3~5% 첨가가 가장 안정된 마찰계수 분포를 보여주고 있다.

Fig. 3은 차속이 130km/h에서 나타난 결과로 μ 값이 전반적으로 0.4보다 높게 나타나고 있으며, ZrSiO₄가 첨가되지 않은 시료의 μ 값은 저감속도 영역인 0.3g 이하에서는 0.4 이상을 유지하다가 0.4g 이상에서는 마찰계수가 떨어지는 불안정한 분포를 보여주고 있으나, 3~5% 첨가 시료는 감속도 변화에 따른 μ 값이 안정적으로 나타나고 있다. ZrSiO₄ 7% 첨가된 경우는 전반

적으로 안정된 마찰계수 분포를 가지나, 0.2g, 0.3g, 0.4g에서 μ 값이 증가 또는 감소하는 형태로 약간 불안정한 경향을 보여 주고 있다. 이 결과로부터 고속인 130km/h에서 ZrSiO₄가 첨가된 마찰재의 이용은 3~5% 첨가에 의해 안정된 성능을 기대할 수 있다.

Fig. 1~3에서의 결과로 보면 ZrSiO₄ 첨가 마찰재는 저속보다는 100km/h 이상의 고속에서 유용하게 이용될 수 있으며, 첨가량은 3~5%의 양이 적당하고 이 때 마찰 및 연마 특성이 가장 안정적이고 좋은 것으로 판단된다. 감속도의 크기에 따른 마찰계수의 편차를 줄이기 위해서는 연마 보존재의 첨가도 고려되어야 할 것이다.

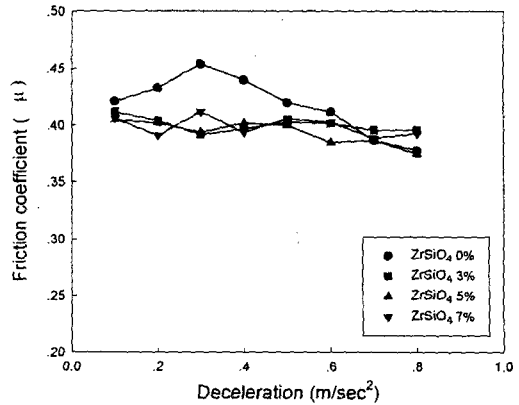


Fig. 3 Effect of deceleration of ZrSiO₄ content at 130 km/h

3.2.2 온도변화에 따른 마찰성능

마찰재는 운전자가 브레이크 페달을 조작함에 따라 디스크와 마찰재가 기계적으로 접촉하면서 이때 발생하는 마찰저항으로 차량의 운동 에너지를 열에너지로 바꾸어 주면서 본래의 기능을 수행하므로 온도 변화에 따른 μ 값의 안정화는 자동차의 안전성 측면에서 볼 때 매우 중요한 특성이다.

Fig. 4는 페이드(fade) 시험으로 온도변화에 따른 μ 값의 변화를 측정된 것으로 차속이 100km/h에서 마찰면의 온도상승에 따른 마찰재의 μ 값의 안정성을 시험한 결과이다. 페이드란 자동차가 가혹한 조건으로 운전되므로 이때 마찰재의 온도가 높아지면서, 마찰재료 중 유기 성분이

분해되면서 가스가 발생되는데, 이 가스가 마찰재 면과 디스크 사이에서 미끄럼 작용을 하면서 마찰계수를 저하시키는 현상을 말한다¹²⁾. 시험의 온도범위는 100℃부터 320℃까지에서 마찰계수의 변화를 측정하였는데, 이 결과로 볼 때 ZrSiO₄가 첨가되지 않은 시료는 200℃ 구간까지 마찰계수가 낮아지지만 그 이상의 온도에서는 급격한 마찰계수 상승이 마찰계수 안정성에 매우 나쁜 경향을 보여주고 있다.

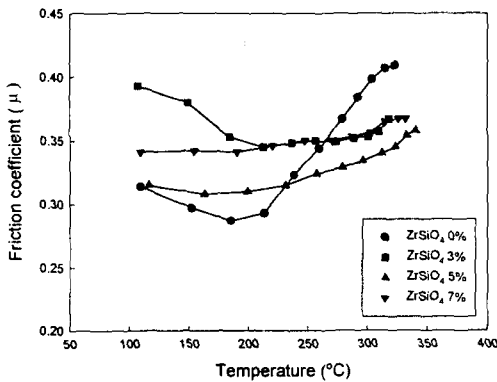


Fig. 4 Effect of temperature on variation of ZrSiO₄ content at fade(100km/h)

3% 첨가 시료는 200℃ 구간까지 패이드 현상이 발생되어 마찰계수가 떨어지나, 그 이후에 안정화되는 결과를 보인다. 5% 첨가는 온도가 증가함에 따라 마찰계수가 조금씩 높아지는 경향을 보이지만 비교적 안정적인 결과를 나타내고 있으나, 전체적으로 마찰계수 성능시험의 결과와 비교할 때 마찰계수가 0.31~0.35 수준으로 유지되므로 온도가 증가되어도 마찰계수 편차가 거의 없어 시험온도 구간에서 안정성을 보유하고 있다.

그러나 일반적으로 온도가 높아지면 마찰계수가 안정적으로 유지되는 것이 좋지만, 시험 결과로 볼 때 5%와 7%에서는 마찰계수가 안정적이지만 고속에서 연속 제동시 초기 마찰계수가 일반 주행시의 마찰계수치인 0.4 수준보다 낮아서 운전자에게 차량이 밀린다는 느낌을 주어 불안한 마음을 갖게 만들 수 있지만, 3% 첨가 시료의 경우는 초기 마찰계수가 효력 시험시

의 마찰계수 분포와 비슷하여 상용 마찰재로서 좋은 경향성을 나타내고 있다. 가혹 열이력 시험에 의한 마찰계수 안정성 시험 결과, ZrSiO₄ 첨가량은 3%가 가장 적당한 마찰계수 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

3.2.3 완제동과 급제동에서 마찰특성

마찰재가 갖추어야 할 요구 특성은 여러 가지가 있으나, 차량과 사람의 안전을 위하여 조작 조건 변화에 관계없이 μ값은 일정하고 안정적으로 유지되는 것이 좋은 마찰재이다. 특히, 완제동인 0.3g과 급제동인 0.6g의 범위에서 안정성은 매우 중요한 의미를 갖는다. ZrSiO₄첨가량에 따른 마찰계수 변화를 차속 변화에 따라 알아 보았다.

Fig. 5는 완제동에서의 결과이고 Fig. 6은 급제동에서 나타낸 것으로 ZrSiO₄ 첨가량이 0%일 때는 μ값의 분포가 완제동시와 급제동시 모두 편차가 매우 크고, 3~5%에서는 분포가 줄어들고 안정적인 μ값을 보이며, 7%일 때 다시 조금 넓은 μ값 분포를 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 ZrSiO₄를 연마재로 첨가하는 척도가 될 것이다. 조성에 따른 μ값의 안정성은 50km/h인 저속에서보다 고속에서 유지되었고, 급제동시 보다는 완제동시 좋은 결과를 보여준다. 연마재의 종류에 따라 특성이 다르게 나타나지만, 본 실험 결과로서 최적 조성은 3%의 ZrSiO₄가 첨가되

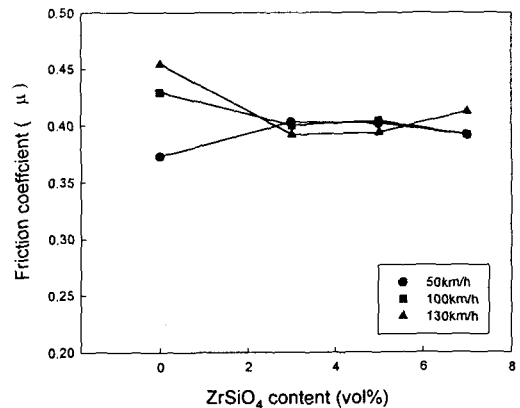


Fig. 5 Effect of ZrSiO₄ content on variation of speed at 0.3g

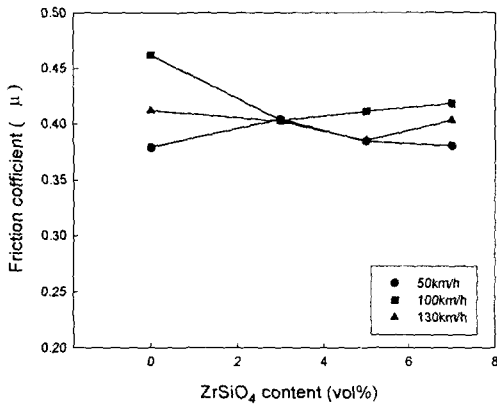


Fig. 6 Effect of ZrSiO₄ content on variation of speed at 0.6g

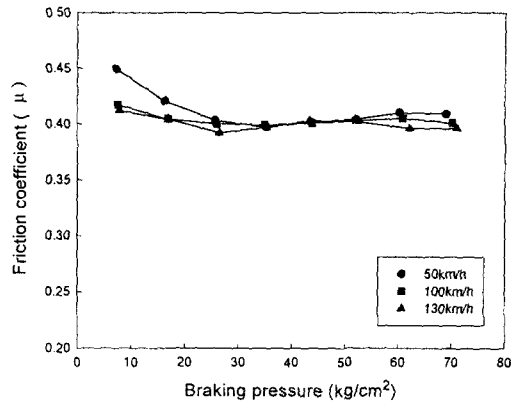


Fig. 8 Effect of braking pressure on variation of speed at 3% ZrSiO₄ added sample

있을 때 가장 안정함을 유지할 수 있다고 생각된다.

3.2.4 제동압력에 의한 마찰특성

Fig. 7~10은 차속이 변화하면서 제동압력에 따른 마찰계수 변화를 나타낸 것이다. Fig. 7은 ZrSiO₄가 첨가되지 않은 시료이고, Fig. 8~10은 ZrSiO₄가 각각 3%, 5%, 7%의 첨가에서 나타낸 결과이다.

Fig. 7은 각각의 차속에서 제동압력이 변화함에 따라서 μ 값이 변화되어 마찰재로서 안정성이 결여된 것으로 나타났으며, Fig. 8은 각 차속에서 제동압력에 따라서 μ 값이 0.4 정도로 매우 안정하게 나타나 제동압력에 따른 안정성이 매

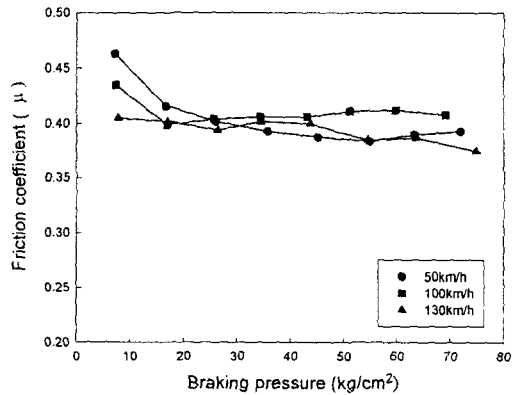


Fig. 9 Effect of braking pressure of variation of speed at 5% ZrSiO₄ added sample

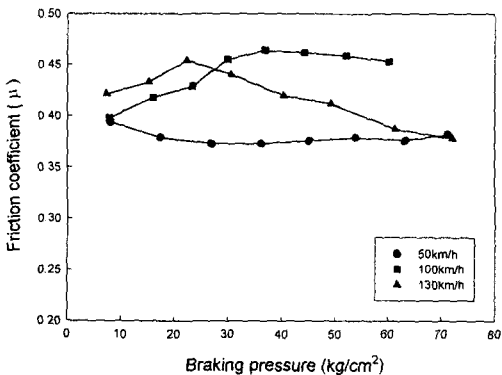


Fig. 7 Effect of braking pressure on variation of speed at base formulation

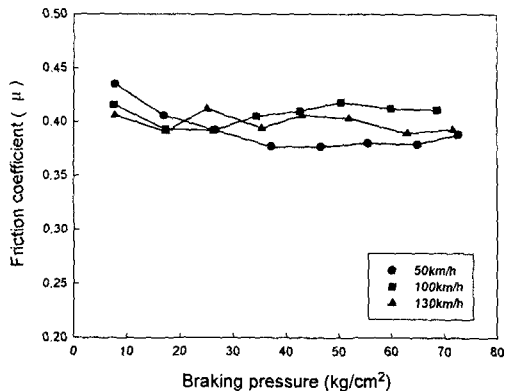


Fig. 10 Effect of braking pressure on variation of speed at 7% ZrSiO₄ added sample

우 좋게 나타났으며, Fig. 9에서도 μ 값이 비교적 안정한 분포를 보이고 있다. 그러나 Fig. 10에서는 μ 값이 다소 편차가 있음을 알 수 있다. 각각의 결과에서 보여지듯이, 50km/h의 차속에서는 μ 값의 편차가 크지만 100km/h와 130 km/h에서는 편차가 적어서 고속에서 안정한 특성을 보여준다.

본 실험의 결과에 따르면 ZrSiO₄는 연마재로서 우수한 특성을 충분히 갖고 있음을 알 수 있으며, 첨가량은 3~5% 정도가 적절하다고 판단된다.

연마재의 선정은 마찰재의 조성과 용도에 따라서 설계되어야 할 것이며 최적의 설계를 위해 조성 성분의 적절한 선택이 뒤따라야 할 것이고, 용도에 맞는 마찰재의 설계는 적용 시스템의 설계와 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있다.

4. 결 론

본 실험은 자동차 브레이크의 마찰재 개발을 위하여 기본소재에 연마특성을 갖는 ZrSiO₄를 첨가한 시료로부터 제조한 D/P의 물성 및 마찰특성과 안정성을 알아보았고, ZrSiO₄의 첨가는 0, 3, 5, 7 vol%의 변화로 시편을 제조하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 시편의 물성측정 결과는 대부분 우수한 특성을 나타내었으며 기공율이 평균 17% 수준으로 나타남을 결과를 통해 알 수 있었고, 전단강도는 결합재와 연마재와의 관계에서 나타나는 현상으로 ZrSiO₄의 첨가에 따른 마찰재로서의 물성과 마찰특성은 매우 우수함을 보였다.
- 2) ZrSiO₄가 첨가된 D/P의 마찰계수 측정 시험 결과는 ZrSiO₄ 첨가량이 증가할수록 매우 안정하며, 감속도 변화에 따라서는도 안정함을 유지하였다.
- 3) 온도의 상승에 따른 마찰계수 안정성을 시험한 결과로부터, ZrSiO₄가 첨가되지 않은 시료는 측정온도 범위 내에서 마찰계수 편차가 매우 크게 나타났으며, 5%와 7% 첨가는 안정적이지만 마찰계수가 효력 시험과 비교할 때 낮은 경향을 나타내고, 3% 첨가는 초기

200℃까지는 마찰계수 감소현상이 발생하지만 그 편차가 크지 않아 일반적인 마찰재의 마찰특성보다 양호한 특성을 보이고 있다.

- 4) 속도변화에 따른 마찰계수 변화는 ZrSiO₄첨가가 안정된 결과를 보이고 있으며, ZrSiO₄ 3~5%의 첨가에 의해 차속 및 감속도에서 안정하여 우수한 마찰재를 제조할 수 있었다. 또한 ZrSiO₄는 저속보다는 고속에서 우수한 특성을 나타내고 있었다.
- 5) 압력 변화에 따른 마찰계수 변화를 비교해 본 결과 ZrSiO₄ 3% 첨가될 때가 가장 안정적이며 5% > 7% > 0% 순으로 안정성이 저하되는 경향을 보였다.

참 고 문 헌

- 1) A.K. Baker, "Vehicle Braking", SAE, pp.1~28, 1987.
- 2) M.G. Jacko, "Physical and Chemical Changes of Organic Disk Pads in Service", Wear, Vol. 46, pp. 163~175, 1978.
- 3) M.G. Jacko. and S.K. Rhee, in M. Graysoned., "Encyclopedia of Composite Materials and Components", Wiley, pp. 144~154, 1983.
- 4) 高田隆, "自動車 部品に 脱石綿化の波", NIKKEL NEW MATERIALS, No. 85, 9-10月号, 1990.
- 5) 高木貞治, "摩擦材における 代替品の 現状と今後の 展望", 日清紡, 1991.
- 6) 三部隆宏, "自動車産業から 求める アスベストフリー-材料の 条件", 月刊トライブロジ-, April, 1988.
- 7) 高橋泰, "非石綿摩擦材", 自動車技術, Vol. 38, No. 10, 1984.
- 8) 福岡圭三郎, "ブレーキ材料について", 自動車技術, Vol. 30, No. 11, 1976.
- 9) 機械技術研究所, "自動車用ブレーキ摩擦材の非アスベスト化に関する研究", 機械技術研究所 報告書 164號, 1994.
- 10) Katsuhiko Shibata, Akira Goto, Satoshi Yoshida, Yuichi Azuma, and Koji Naka-

- mura, "Development of Brake Friction Material", SAE paper 930806, 1993.
- 11) James D., Halderman, "Automotive Braking Systems", Prentice Hall, 1996.
- 12) J.W. Longley, and R. Gardner, "Some compositional effects in the static and dynamic properties of commercial vehicle disk brakes", Imech C 453/88, 1988.
-