

자동차 브레이크용 고분자복합재료의 물리적 특성평가에 관한 연구

손태관* · 김윤해** · 김봉식***

A Study on the Evaluation of Physical Properties of Polymer - based
Composite Materials for the Brake of the Automobile

T. K. Shon · Y. H. Kim and B. S. Kim

Key words : Asbestos - based friction materials(석면계 마찰재료), Non - asbestos friction materials(비석면계 마찰재료), Brake lining(브레이크 라이닝)

Abstract

The rapid expansion for the auto - industry and the worldwide trend toward non - asbestos friction materials for brake lining force our industry to transfer into non - asbestos ones from asbestos - based friction materials. Furthermore, it is imperative for the friction materials to have technological excellence and lower production cost to be competitive in the world market. There is no known theoretical procedures to formulate friction materials. It, rather, depends on the trial and error process. Thus, it is quite clear how important it is to accumulate the know - how on the formulation and manufacturing the friction material. This study concerns the practical ways of conceptualizing the formulation and optimizing the manufacturing process.

This study focused on the development of formulation for non - asbestos friction material as well as deriving the physical properties of the trial product to prove its validity and applicability. Elaboration of the formula and optimizing scheme of the manufacturing process to get better quality are also sought. Physical properties were obtained by constant velocity test dynamo test, hardness test and strength test. Differential scanning calorimeter was also used to analyze the thermal reactions of organic constituents, microstructures, bond effects, and degree of mixture.

* 영남대학교 대학원 공업화학과

** 정희원, 한국해양대학교 재료공학과 교수

*** 영남대학교 화학공학 및 공업화학부 교수

1. 서 론

우리나라 자동차 산업이 급격한 성장을 이룩하여 수출에 있어 주종품목의 하나로 성장하였다. 이러한 수출증대와 더불어 세계시장에서는 보다 나은 품질이 요구된다. 자동차의 제동장치는 자동차의 운행시 안전과 관련되므로 품질의 신뢰성이 매우 높아야 할 뿐만 아니라 최근에는 엔진의 기술, 서스펜션의 기술, 도로 환경, 차량속도의 고속화 등에 따라 제동장치에 요구되는 성능은 엄격해졌다. 자동차 제동용으로 많이 사용되는 마찰식 브레이크장치의 마찰재는 강도, 표면적, 가공성, 절연성, 경제성 등의 우수한 성질을 고루 갖춘 석면섬유를 사용한 제품이 사용되어 왔으나 근년에 석면분말이나 미립자들이 호흡기 질환을 유발하고 특히 발암성 물질로 발표됨에 따라 여러국가에서 석면섬유 또는 석면계 마찰재의 생산을 규제하고 있거나 석면마찰재에서 비석면계 또는 준금속마찰재로 대체되고 있는 실정이다. 국내의 일부회사에서도 외국의 기술 및 자본도입으로 비석면계의 마찰재를 생산하고 있으나 기술도입은 자체 기술축적을 어렵게 할 뿐만 아니라 때로는 불가능하게 하여 경제적인 측면에서 매우 불리하다고 할 수 있다. 따라서 비석면계마찰재에 대한 자체 개발기술 축적은 요구성능의 고수준화 및 다양화에 대응하고 국제경쟁력을 확보하기 위하여 매우 시급한 일이다.

본 연구에서는 레진을 결합제로 하고, 강화재로서 유기마찰재를 사용하여 적절한 마찰계수와 내마모성을 갖는 배합조성으로 유기마찰재의 열이력(fade) 및 열회복(recovery)특성, 상대면손상이 크게 일어나지 않는 정도의 범위, 제조공정에 따른 특성변화, dynamo실험특성 및 허브드럼의 거

칠기와의 관련성 등에 대하여 연구하였다. 그러나, 이러한 마찰재의 특성은 필연적으로 시행착오적인 반복법에 의존할 수 밖에 없고, 이들에 대한 정속마모실험, 경도시험등의 결과는 적정수준 이상임에도 불구하고 Dynamo실험의 결과는 불리하게 나타나고 있어 배합조성의 개선을 거듭하였다. 레진의 열특성을 알아내기 위하여 DSC실험을 하였고, 드럼의 거칠기와 마찰계수와의 관계를 알아보기 위해서는 Dynamo시 실험을 30km/hr, 60km/hr 및 90km/hr의 3가지 속도에 대해서 시험을 행하였다.

2. 실험(마찰재의 배합조성 및 제조)

2.1 조성요소와 그 특성

마찰재는 그 구성물질이 매우 다양할 뿐만 아니라 함량의 변화도 매우 큰 것을 볼 수 있으며, 정확한 조성이나 제조공정은 개인 또는 회사의 기술로 공개하지 않는다. 또한 브레이크장치의 크기, 제한속도, 차량의 종류등에 따라 마찰재에 요구되는 성능도 다르며 석면과 같은 발암성 물질을 규제하는 국가도 점차 늘어나는 실정이므로 사용할 수 있는 재료가 다양하면서도 제약을 받고 있다.

2.2 배합비

현재까지 알려진 여러 자료들을 분석해보면 전형적인 마찰재의 배합비는 Table 1과 같다.

2.3 공정

2.3.1 섬유 개면(fiber opening)

브레이크 마찰재는 자체의 강도를 증가시키기

Table 1. Typical formula of frictional materials

Compositions		Contents	Compositions		Contents
Binder	Fiber	30~50%	China Clay		0~10%
	Phenol	10~15%	Al ₂ O ₃		0~2%
	Rubber	2~10%	Metals		5~25%
	Cashew	0~10%	Graphite		1~5%
	BaSO ₄	10~20%	Sb ₂ S ₃		0~5%
CaO/MgO	0~55%	MoS ₂		0~5%	

위하여 일정량의 섬유질을 함유하여야만 한다.

가) 아라미드 섬유(F-K섬유, aramid fiber)의 개면

아라미드섬유계인 F-K섬유는 고탄성, 고강도, 열적안정성, 내마모성, 저밀도 등의 특성을 갖고 있으므로 마찰재로 아주 적합하다. 그러나 F-K는 매우 고가인 관계로 첨가하는 양이 소량이며 혼합(mixing)을 양호하게 하기 위하여 개면을 하여야 하며 이러한 개면공정의 필요성으로 인하여 F-K섬유의 사용이 제한을 받고 있다.

나) 파녹스 섬유(panox fiber) 개면

파녹스 섬유는 graphite fiber의 제조과정중에 생성되는 중간제품으로 graphite fiber에 대응하는 성질을 가지며 가격이 저렴한 잇점이 있으므로 본 연구에서는 파녹스 섬유를 마찰재의 보강용 섬유로의 사용 가능성을 검토하였다.

2.3.2 혼합

제품의 일정한 물성을 얻기 위하여는 재료 전체의 고른 혼합이 최우선 조건이다. 혼합기구를 보면 용기내의 교반기의 회전에 의하여 분체들이 대류를 일으킴으로서 혼합되는 대류(convective)혼합과 교반기의 선단끝이 용기의 내벽과 저면을 스치면서 전단을 일으키는 전단(shearing)혼합과 증력 및 분체의 유동방향이 바뀌는 방법을 통한 확산(diffusive)혼합기구 등으로 대별된다.

본 연구에서는 아라미드섬유인 F-K섬유의 혼합은 브레이크 패드(brake pad)의 제조를 목적으로 사용할 때는 혼합량이 많지 않아서 키친(kitchen)혼합기를 사용하였다. 성분원소들을 67g 정량하여 장입한 후 혼합기에서 약 2분간 혼합하였으며 혼합기 자체를 상·하로 움직여 주었다. 상용화된 분쇄기의 경우 회전속도가 높으므로 유리하나 2분이상 연속작동시 분쇄기 내부에서 발생하는 열로 인하여 장입성분중 저융점 원소들이 용착되는 경우가 발생되므로 혼합결과가 매우 불량하게 되었다. 이에 대하여 브레이크 라이닝(brake lining) 제조에 있어서는 상대적으로 많은 양의 조성물을 필요로 하므로 개면과 혼합을 분리하여 행하는 것을 원칙으로 하였다. 본 연구에서는 먼저 섬유만을 개면한후 기타의 첨가물을 혼합하여

V-type 혼합기를 이용하여 60~120분간 혼합공정을 행하였다.

2.4 제조방법

전형적인 제조방법에는 습식, 건식, 합침법이 있으며, 일반적인 가공공정은 결합제의 성격에 따라 구별되며, 낮은 온도에서 프리포밍(preforming)을 하여 소지강도(green strength)를 지니게 하고 높은 온도에서 셰이핑(shaping)을 한다. 그리고 완전경화는 오븐속에서 장시간에 걸쳐 행한다.

Fig. 1은 자동차 브레이크용 고분자 복합재료의 제조공정을 나타낸 것이다.

2.5 성형가공

섬유의 개면공정과 성분원소들을 첨가 혼합한 소재를 사용하여 패드와 라이닝 형상의 금형에 정량후 장입하고 성형온도 165℃, 가압력 150~200 kg/mm², 가공시간 30~60초로 3번의 탈기공정을 반복하면서 성형을 하였다. 형상이 간단한 패드의 경우 금형에 소재를 장입하는 것이 간단하나 상대적으로 구조가 복잡한 라이닝의 경우 한편으로 치

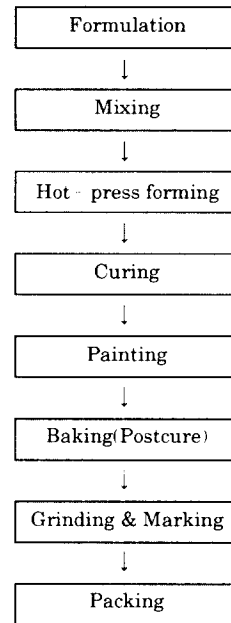


Fig. 1 Schematic diagram of polymer-based composite preparation

우려된 장입을 피하기 위하여 세심한 주의가 요구되었다.

2.6 경화(Curing)

경화는 공정중에 발생하는 가스의 제거를 용이하게 하기 위하여 진공 오븐에서 행했으며 경화조건은 160℃에서 6~8시간 처리한 후 오븐내에서 서냉시켰다.

3. 결과 및 고찰

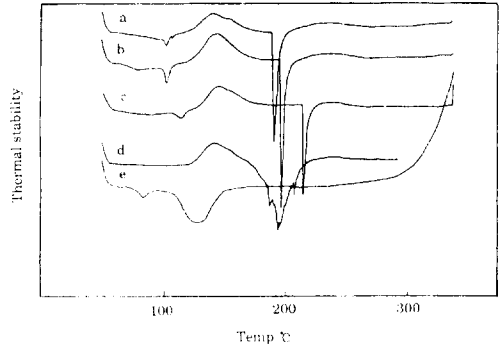
마찰재의 적절한 배합조성으로 각 요소들의 기능과 작용을 검토하였으며 대부분의 실험결과는 시편 하나로부터 측정된 것으로서 주어진 성분들의 기능을 비교하는데 역점을 두었다. 또한 패드성형시 금형의 2개 cavity 각각에서 다른배합조성의 시편이 제작되었기 때문에 배합전체 조성에 따른 밀도변화가 시편마다 가공압력이 약간씩 변경되었을 가능성도 있다. 따라서 이들 시험결과는 객관성이 결여될 가능성도 있기 때문에 그 해석에도 신중을 기하여야 할 것으로 생각된다. 일부는 시편을 여러개 만들어 결과의 재현성, 일관성을 검토하였고, 배합조성 개발시 기본성분을 구성하는데 참조하였다. 이러한 배합조성과 전자현미경(SEM) 관찰 결과를 토대로 마찰재의 기능을 고르게 나타나는 배합조성에 대하여 마찰재의 열적안정성 및 고온성능유지를 검토하였다.

3.1 열적특성

본 연구에서는 배합조성의 원칙에 따라 적정배합조성을 알아내는데 있어 필요한 기본자료로 활용하기 위하여 수지, 섬유 및 기타 첨가제 등의 열적특성거동을 조사하였다.

본실험에서는 열분석기(DSC, 듀폰 Model 910) 열적특성을 사용하여 시료 0.1g 정도를 알루미늄 캡슐에 담고 질소가스 흐름을 80ml/min로 조절하면서 승온속도 20℃/min로 50℃~420℃까지 시료의 열적특성 피크변화를 살펴보았다.

Fig. 2는 페놀수지와 첨가제를 가했을 때의 DSC 곡선이다. 페놀수지만 있을때 100℃근방에서 흡열반응을 일으키며 120~170℃ 사이에서 핵



a : Resin b : Additive Zn c : Additive PbS
d : Additive Cu e : Additive Hycar

Fig. 2 DSC curves for thermal conditions of phenol resin and additives

사의 분해에 따른 발열 피크가 있으며 190℃에서 강한 흡열 피크를 나타내었다. 여기서 Zn과 PbS 및 Cu를 첨가 했을 때의 피크변화를 살펴보면 Zn의 경우 흡열 및 발열 피크 위치가 약간씩 상승하여 열적안정성의 기여가 크지 않으나 PbS를 첨가했을 경우 흡열 및 발열 피크 위치가 훨씬 많이 상승하여 수지의 열적 안정성에 크게 기여하는 것을 볼 수 있다. Cu의 경우 100℃ 근방의 흡열 피크가 없어지는 대신 190℃ 근방의 흡열 피크가 복잡하게 변화하여 수지에 대해 좋은 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있다. 한편 이들에 하이카(Hycar)를 첨가했을 때는 전혀 다른 양상을 나타내고 있어 110℃ 근방의 흡열 피크가 발달하는 대신에 190℃ 근방의 흡열 피크는 완만하게 낮아지며 200~260℃ 근방의 발열 피크가 완만하게 나타나고 있다. 이상 DSC 결과로부터 무기금속의 첨가는 수지의 결합생성 및 파괴에 영향을 미치며 유기 첨가제인 하이카의 첨가도 수지의 거동에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3에 F-K와 P-GB(glass fiber)를 첨가한 수지의 DSC 곡선을 나타내었다. 이 곡선에서 보면 200℃이하의 흡열 피크가 없어지는 대신에 140~260℃에 걸치는 완만한 발열 피크를 나타내어 수지의 열적 상태에 미치는 영향이 매우 다르다는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4에 130℃에서 23시간 건조한 F-K, F-P(panox fiber), F-W(wollastonite fiber)의 DSC

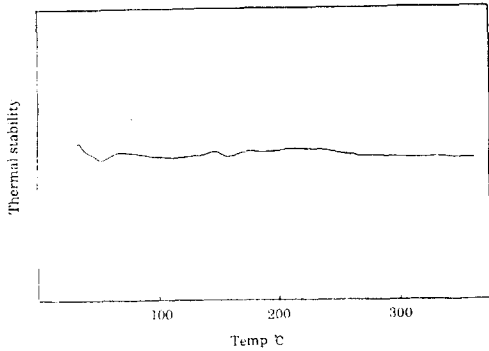
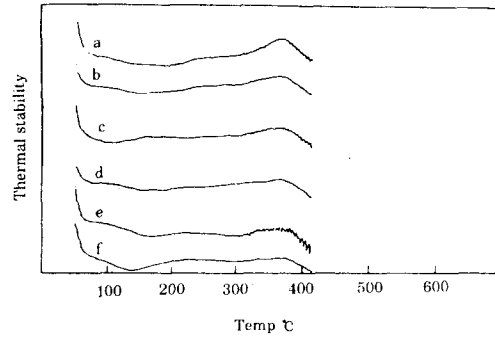
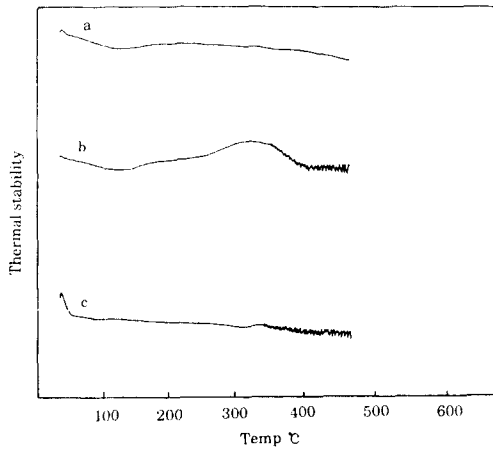


Fig. 3 DSC curves for thermal conditions of additive F-K and P-GB



a : Original d : 300°C - 10min
 b : 200°C - 10min e : 300°C - 30min
 c : 250°C - 10min f : 300°C - 60min

Fig. 5 Comparison of DSC curves for thermal stability of braking lining



a : F-K, b : F-P, c : F-W

Fig. 4 DSC curves for thermal conditions of each fibers

를 나타내었다. F-K와 F-W는 350°C까지 완만한 변화를 나타내었으나 F-P는 200°C부근에서부터 완만하나 뚜렷한 발열 피크를 나타내어 열적으로 불안정한 섬유임을 알 수 있다.

Fig. 5는 라이닝(lining)의 열처리가 이들의 열안정 상태에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 열처리 한 것의 DSC 곡선이 열처리 하지 않은 것에 비해 300°C 이상에서의 발열 피크가 작은 것으로 보아 열처리가 수지와 충전재들 사이의 상호작용을 완결시키는 것으로 보이며, 이러한 상호작용의 완결이 실제적으로는 수지의 결합력이 떨어지는 것으로 나타나는 것과 같다.

3.2 경도측정

Fig. 6은 경도측정결과를 나타낸 것이다.

본 연구에서 선정된 조성에 따라서 제조된 시편들에 대한 경도 측정법은 브레이크 패드 및 라이닝재에 대한 경도측정 방법(JIS B 7726 : Rockwell R-scale)에 따라서 행하였다. 그 결과를 분석하여 보면, 첫째 브레이크재의 경도치는 조성의 변화에 따라서 현저한 변화가 일어나지 않고 섬유와 개면과 성분원소들의 혼합정도에 따라 큰 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 즉 연구 초기에서 키친혼합기를 이용하여 개면 혼합한 경우 유사한 성분들로 형성되었음에도 불구하고 현저한 경도치 차이가 나타났다. 이에 반하여 후기의 연구대상 재료의 경우에는 조성의 차이가 주어져더라도 개면과 혼합이 최적화된 조건에서 경도치는 HRr 90~100의 값을 나타내었다.

경도치 측정 결과를 보면 적절한 조성으로 된 브레이크 라이닝의 경우 Rockwell R-scale 90~100의 경도치를 갖고 이와 대면하는 드럼은 FC 2t 재질의 회주철로서 HB210 정도의 경도치를 가지므로 상호경도를 직접 비교할 수 없을 정도로 드럼에 비하여 브레이크가 연(soft)하므로 원칙적으로 브레이크의 경도치의 변화가 드럼의 마모에 직접적인 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다.

Table 2. Results of dynamo measurement(drum brake)

Effects	Classification & measured value		Calculation	Results		Results	Criterion	Results	Criterion	Results
	Speed KPH	Pressure (Bar)		Design Pressure × 100	Design value versus measured value(%)					
Effective ness at 0.6G	50	68.5	Measurement Pressure, Design Pressure : Bar)	70~150	83.6	129.2	70~150	167.4	70~150	167.4
	100	66.2		70~130	88.2	85.7	70~130	81.3	70~130	81.3
	130			(70~120)			(70~120)		(70~120)	
0.6G	50	78.2	Measurement Pressure, Design Pressure : Bar)	90~120	71.9	92.3	90~120	90	90~120	90
	100	85		80~120	65.5	70.4	80~120	72.8	80~120	72.8
	130	90		70~110	61.3	53	70~110	52	70~110	52
3rd	50	58.4		90~120	100	97	90~120	91.4	90~120	91.4
	100	62.5		80~130	94.3	99.1	80~130	96.8	80~130	96.8
	130	77		70~130	74.4	60.4	70~130	101.3	70~130	101.3
Effects	50KPH Pressure			Ratio of 100KPH for 50KPH(%)		Ratio of 100KPH for 50KPH(%)		Ratio of 100KPH for 50KPH(%)		
	1st	× 100		80~120	103.5	68.2	80~120	53.3	80~120	53.3
	2nd	100KPH Pressure		80~120	9280~120	80~120	85.6		80~120	
3rd	3rd effect Pressure			Ratio of 2nd EFF for 3rd EFF(%)		Ratio of 2nd EFF for 3rd EFF(%)		Ratio of 2nd EFF for 3rd EFF(%)		
	50	× 100		90~110	74.7	96.8	90~110	97.2	90~110	97.2
	100	2nd effect Pressure		90~110	73.5	74.8	90~110	80	90~110	80
Variety of EFl at 0 : 0.6G	130			90~120	85.6	89	90~120	66	90~120	66
	Oil pressure(Bar)			Ratio of max. & min. effect under fade for initial effect of fade(%)		Ratio of max. & min. effect under fade for initial effect of fade(%)		Ratio of max. & min. effect under fade for initial effect of fade(%)		
	Initial	Min.	Max.	80~120	56.7~100	49.5~100	80~120	56.8~100	80~120	56.8~100
Fade	51	51	90	70~130	43.4~100	43.9~100	70~130	64~116.1	70~130	64~116.1
	53	53	122	Ratio of max. & min. effect under recovery for criterion effect(%)		Ratio of max. & min. effect under recovery for criterion effect(%)		Ratio of max. & min. effect under recovery for criterion effect(%)		
	Oil pressure(Bar)			Ratio of max. & min. effect under recovery for criterion effect(%)		Ratio of max. & min. effect under recovery for criterion effect(%)		Ratio of max. & min. effect under recovery for criterion effect(%)		
Recovery	Initial	Min.	Max.	80~120	78~107.5	87.8~128.6	80~120	45.3~119.3	80~120	45.3~119.3
	30.1	28	38.6	80~120	46.6~100	72.8~103.5	80~120	43.1~100.1	80~120	43.1~100.1
	31	31	66.5	Ratio of max. & min. effect under recovery for criterion effect(%)		Ratio of max. & min. effect under recovery for criterion effect(%)		Ratio of max. & min. effect under recovery for criterion effect(%)		

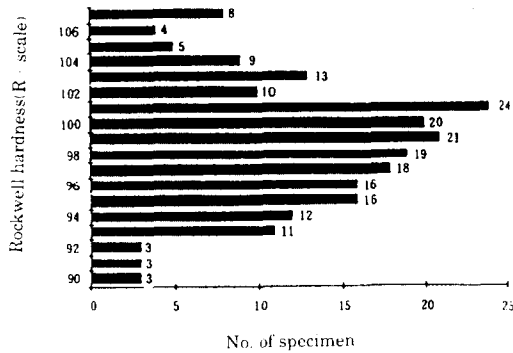


Fig. 6 Hardness distribution

3. 3 다이نام오(dynamo) 특성

예비배합조성에 의한 정속실험결과가 충분히 구비조건을 만족한 것으로 판단되는 배합조성에 대하여 Dynamo실험을 실시하였다. 실험 결과를 보면 처음 3개의 실험대상에서는 Effectiveness, Speed spread, EFF의 변화, 열이력 - 열회복 특성이 정속실험 결과와는 달리 판정기준을 벗어나고 있다. 처음 3개를 제외하면 그 이후의 다이نام오 실험결과는 상당히 개선된 것으로 나타난다(Table 2).

3. 4 드럼 표면 거칠기와 마찰계수

본 연구에서 드럼의 표면 거칠기와 브레이크 라이닝 마찰계수와의 관계를 규명하기 위하여 드럼 마찰면의 표면거칠기가 각각 8.6μR, 13.1μR, 16.1μR 및 25μR인 시료를 다이نام오 시험에 장착시키고 각각 30km/hr, 60km/hr 및 90km/hr의 주행상당 속도에서 4차에 걸쳐 제동시험을 한 결과 제동시간은 Table 3과 같다. 그 결과를 보면 제동시간은 제동속도에 비례하여 증가하나 동일한 제동속도에서 드럼의 표면거칠기 변화에도 불구하고 제동시간은 30km/hr의 경우 4.7sec, 60km/hr의 경우 10.4sec, 90km/hr의 경우 16.1sec로 거의 일정하게 나타났다.

30km/hr의 속도에서 제동시 감속도는 1.67~1.80m/sec², 60km/hr의 경우 1.54~1.67m/sec², 90km/hr의 경우는 1.49~1.67m/sec²로 고속일수록 감속도가 근소하게 감소하며 따라서 각각의 마찰계수는 $\mu = \frac{2v_0}{g \cdot t}$ (v_0 : 제동속도, t : 제동시간, g : 중력가속도)에서 속도 30km/hr의 경우 0.34~

Table 3. The effect of surface roughness of drum on the braking time (Unit : sec)

Roughness of surface \ Number		Velocity		
		30km/hr	60km/hr	90km/hr
8.6μR	1	4.6	10.0	15.6
	2	4.8	10.4	16.4
	3	4.6	10.2	16.7
	4	4.8	10.4	16.4
13.1μR	1	4.8	10.4	16.2
	2	5.0	10.6	16.0
	3	4.7	10.4	16.0
	4	4.6	10.8	16.0
16.1μR	1	4.8	10.4	16.0
	2	4.8	10.4	16.0
	3	4.6	10.2	16.0
	4	4.6	10.0	16.0
25μR	1	5.0	10.6	16.8
	2	4.8	10.8	16.4
	3	4.8	10.6	16.2
	4	4.8	10.4	16.4

0.37, 60km/hr의 경우 0.31~0.34, 90km/hr의 경우 0.30~0.33으로 산출되며 제동속도가 증가할수록 마찰계수는 감소하는 경향을 나타내고 있다.

이와같이 마찰계수가 드럼 마찰면의 표면거칠기에 영향을 받지않는 것은 드럼 마찰면의 가공방향이 드럼회전 방향과 일치하는 데서 기인하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

(1) 허브드럼과 마찰재와의 마찰계수는 근본적으로 사용하는 마찰재에 의해 좌우되지만 본 연구와 병행하여 진행한 드럼의 열변형 결과에 따르면 마찰계수가 0.3~0.4정도의 마찰재에 의하여 급제동시 접촉 표면온도는 제동 2~3초후 300℃이상까지 올라가며 이에 대해 드럼의 열변형이 마찰력에 상당한 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다. 이때 수지등 유기물들의 화학적 변화와 더불어 발생하는 가스가 드럼표면과의 반응이 마찰력에 크게

영향을 미칠 것으로 판단된다.

(2) 브레이크 라이닝의 마찰계수는 드럼마찰면과의 접촉 제동속도가 증가할수록 감소하는 경향이 있으나 드럼마찰면의 표면 거칠기에 영향을 받지 않는다.

(3) 수지 자체에 대한 성질규명, 혼합의 균질성 및 섬유와 수지의 접착성에 관한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

① Hexa가 첨가되면 120~170℃ 부근에서 Hexa의 분해에 따른 발열 peak가 일어난다.

② Zn, PbS, Cu를 첨가할 때 Zn은 흡열 및 발열 peak의 위치를 약간 상승시키고 PbS는 흡열 및 발열 피이크를 상당히 상승시켜 수지의 열적 안정성에 크게 기여한다. Cu는 100℃ 부근의 흡열 피이크를 없애는 반면 190℃ 부근의 흡열 피이크를 복잡하게 하여 레진에 대한 영향이 불리한 쪽으로 작용함을 알 수 있다.

③ kevlar와 panox 같은 유기섬유는 직경이 일정(즉 표면 및 형상)하고 개면시 정전기 발생 등으로 인하여 수지나 여타 충전재와의 혼합에 불균질을 초래하기 쉬울 뿐만 아니라 수지와와의 접착이 매우 불리해진다.

④ kevlar와 panox 같은 유기 섬유의 개면시 발생하는 정전기를 혼합전 또는 혼합시 중화시킬 적

절한 중화제의 사용이 필요하다.

⑤ 유기섬유의 개면이나 혼합에는 blade형상, 회전속도(shearing), 시간 등이 중요한 영향을 미치며 때 배합조성마다 적정치를 찾을 필요가 있다.

참고문헌

- 1) U. S. Pat. 3,856,120 (Dec. 24. 1974).
- 2) U. S. Pat. 4,418,115 (Nov. 29. 1983).
- 3) U. S. Pat. 4,477,605 (Oct. 16. 1984).
- 4) Phenolic Resins, A. Knop & L. A. Pilato, Springer Verlag, (1986).
- 5) Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 4. p202 Kirki. Othmlr, J. W. ley(1978).
- 6) U. S. Pat. 3,210,303 (Oct. 5. 1965).
- 7) U. S. Pat. 2,096,544 (Oct. 20. 1982).
- 8) U. K. Pat. 2,126,594A (Mar. 28. 1984).
- 9) U. S. Pat. 4,438,004 (Mar. 20. 1984).
- 10) Friction coefficientof auto friction materials · its sensitivity to load, speed and temperature, S. K. Rhee SAE 740415(1974).
- 11) A review of progress with some recently developed techniques for friction material evaluation A. R. Spencer, SAE 670081(1967).