

페이퍼 페이스잉의 마찰특성에 관한 연구

안병길* · 최응수** · 권오관** · 문탁진*

*고려대학교 재료공학과

**한국과학기술원 기계공학부

A Study on the Frictional Characteristics of Paper Facing

Byeng Gil Ahn*, Ung Soo Choi**, Oh Kwan Kwon**, Tak Jin Moon*

*Dept. of Mat. Sci., Korea Univ.

**Divi. of Mech. Eng., KAIST

A paper facing, used for clutch disc or brake lining of the vehicles, is consisted of a combination of cellulose fiber of pulp with assorted filler and friction imparting particles, impregnated with a thermo-setting resin.

In this study, as a substitution for the paper-production method, the molding-production method was attempted to produce the paper facings, and their frictional characteristics were investigated.

According to the experimental results, it was estimated that the paper facings added with silica (SiO_2) have superior frictional characteristics, which is caused by the porosity and Mohs' hardness of the silica (SiO_2).

1. 서 론

마찰은 상대적인 운동을 하는 두 물체 사이에서 존재하는 움직임에 대한 저항치, 즉 힘의 정량적인 수치로 표시되며, Tribo-system에 따라 상이한 마찰특성을 지닌다.

대부분의 윤활시스템의 경우 낮은 마찰특성이 요구되고 있으나 클러치, 브레이크 등의 차동 및 제동시스템은 높은 마찰특성이 고려되어야 한다.

차동 및 제동시스템의 경우 높은 마찰특성을 유지하기 위하여 마찰재 lining과 pad facing 소재가 적용되며, 이는 건식 및 습식용으로 분류된다.

전자의 경우는 dry contact mechanism 기능을 갖는 반면, 후자는 유중(oil-immersed)하에서의 wet contact mechanism을 갖는다[1].

습식용 마찰재들은 paper, woven, moulded, sintered 및 resin/graphite 등으로 분류되나, 이들중 paper facing이 가공의 용이성 및 우수한 마찰특성 등의 장점을 지닌 이유로 paper facing이 습식용 마찰재로서 많이 사용되고 있다[2].

Paper facing은 cellulose fiber를 주체로 하여 열경화성 수지와 무기충진제 등으로 구성되어 있으며, 이들중 무기충진제의 종류 및 첨가량이 paper facing의 마찰특성과 밀접한 관계가 있다[3-7]. 이는 무기충진제의 경도 및 다공질 구조 등의 물리적 특성에 기인된 것으로, 특히 무기충진제의 다공질 구조는 paper facing의 마찰특성에 매우 중요한 인자이다.

일반적으로 paper facing은 초지기를 이용하는 초지제조방식[3, 4, 6, 8, 9, 12]으로 제조되고 있으나, 초지제조시 초지의 균일화를 위해 대량의 물이 사용되므로 binder로 사용되는 수지가 페수와 함께 유출되어 binder의 보강효과 감소와 아울러 대량의 페수로 인한 페수처리의 문제점을 안고 있다.

이러한 기존의 paper facing 제조시의 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서 새로운 paper facing 제조공정인 금형제조방식을 시도하였다.

본 연구에서는 목재펄프(wood pulp), 린터펄프(linter pulp) 등의 기공성이 우수한 펄프를 주체로 하고 열경화성수지와 무기충진제 등을 첨가한 마찰재를 새로운 paper facing의 마찰특성에 미치는 영향을 조

사함으로써 paper facing의 기초자료를 얻는데 그 목적이 있다.

2. 시료 및 실험

2-1. 시 료

2-1-1. 펄프의 선정

펄프는 크게 목재펄프와 식물성펄프로 대별된다.

목재펄프는 화학펄프와 기계펄프로 구분되며, 전자는 주로 크라프트펄프이고 후자는 쇠목펄프이다. 화학펄프의 경우 기계펄프보다 섬유가 길고 순수한 특성을 지니고 있으며, 섬유가 강하고 안정한 특성과 함께 인열강도, 파괴강도 등의 물성이 기계펄프보다 우수하다[10].

식물성펄프에 속하는 린터펄프는 단섬유상으로 섬유의 속이 비어있어 가공성이 우수한 성질을 가지고 있으므로 본 실험에서는 화학펄프의 한 종류인 U.K.P. (unbreach kraft pulp)와 린터펄프(linter pulp)의 혼합물을 사용하였다.

Pater facing 제조시 사용되는 펄프는 펄프고해기를 이용하여 1%의 aqueous pulp slurry 상태에서 고해(beatng)하였다.

2-1-2. 열경화성 수지의 선정

열경화성 수지는 paper facing의 기계적 강도 및 내구성을 향상시키기 위하여 사용되며 멜라민수지(melamine resin), 페놀수지(phenol resin) 및 에폭시수지(epoxy resin) 등이 많이 사용되고 있다[11].

본 실험에서는 열경화성 수지중에서 경제성이 우수하며 경화 온도가 낮은 페놀수지를 사용하였다.

본 실험에서 사용된 페놀수지의 TG-DTA Curve를 Fig.1에 도시하였으며, 이를 통하여 약 83°C부근에서 흡열 peak를 나타내고 있으며, 153.8°C에서 발열 peak가 나타남을 볼 수 있다. 83°C에서의 흡열 peak는 페놀수지의 용점이며, 153.8°C에서의 발열 peak는 경화 온도임을 알 수 있다.

또한 열분해는 200°C 이상의 온도에서 서서히 진행되고 있으며, 400°C 이상의 온도에서 완료됨을 나타내고 있다.

2-1-3. 무기충진제의 선정

Paper facing 제조시 마찰특성을 향상시키기 위해 사용되는 무기충진제에는 알루미늄, 실리카, 산화마그네슘, 산화티탄, 카오린 등과 금속산화물, 황산바륨, 인산칼슘, 탄산칼슘, 황산마그네슘, 고무분말, carbon black, 흑연 등이 사용되며 금속분으로는 동 및

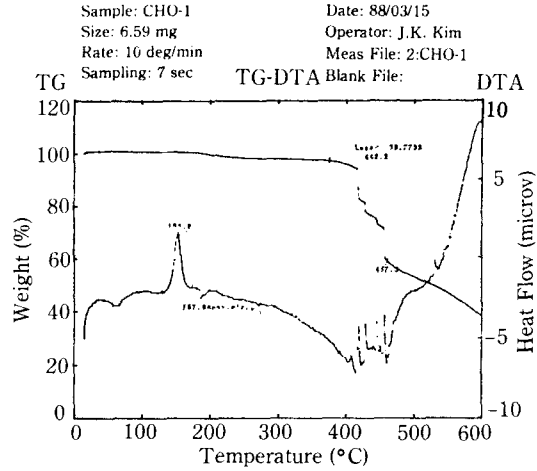


Fig. 1. TG-DTA curve of phenol resin

동합금, 아연, 철, 알루미늄 등이 많이 사용되고 있다 [4,5].

본 실험에서는 다양한 무기충진제들중에서 활석(talc), 규조토(diatomite), 실리카(SiO₂) 및 산화물(Fe₂O₃) 등을 선정하여, 이들의 첨가량 변화에 따른 paper facing의 마찰특성을 비교 검토하였다.

활석과 규조토는 technical grade를, 실리카와 산화철은 시약용을 각각 사용하였다.

아울러 이들의 무기충진제 이외에 마찰향상제로 사용되고 있는 cardolite(cashew-dust)를 일정량 첨가하여 paper facing의 마찰특성을 향상시키고자 하였다 [9,13].

Table 1. Composite formulation of paper facings.

	Plup	Phenol resin	Cardo-lite	Diato-mite	talc	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
Sample 1	63	30	7	—	—	—	—
Sample 2	30	30	7	—	33	—	—
Sample 3	30	30	7	33	—	—	—
Sample 4	30	30	7	28	—	5	—
Sample 5	30	30	7	25	—	8	—
Sample 6	30	30	7	23	—	10	—
Sample 7	30	30	7	28	—	—	5
Sample 8	30	30	7	25	—	—	8
Sample 9	30	30	7	23	—	—	10
Sample 10	30	30	7	23	—	5	5
Sample 11	30	30	7	23	—	3	7

Table 2. Physical properties of paper facings.

Thickness	1.20-1.30 mm
Density	0.65-0.70 g/cm ³
Mass per unit area	850 g/m ²
Loss on heating (20 mins at 160 °C)	2-3%

2-1-4. Paper facing 의 제조

일반적인 paper facing 제조방법은 3% aqueous pulp slurry 상태를 이용하는 초지제조방식이 적용되고 있으나, 이 제조방식은 대량의 폐수와 더불어 수지의 유출로 인한 보강효과감소 등의 문제점이 야기되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 새로운 제조방식인 금형제조방식으로 paper facing 을 제조하였다. 금형제조방식은 40%의 aqueous pulp slurry 를 금형에 넣은 후, hot press 로 가열가압하여 성형하는 제조방법으로 기존의 초지제조방식에서의 문제점을 극소화시켰다.

Pater facing 의 제조공정은 다음과 같다.

1) 펄프고해기에서 450 canadian freeness 로 고해 (beating)된 각각의 U.K.P.(unbreach kraft pulp)와 린터펄프(linter pulp)를 6 : 4의 무게비율로 혼합한 후, 약 40%의 aqueous slurry 상태로 탈수시킨다.

2) 40%의 aqueous slurry 에 적정량의 폐놀수지 및 무기충진제를 첨가하여 균일하게 혼합한다.

3) 균일하게 혼합된 펄프 slurry 를 금형(높이 5 cm, 직경 11 cm)에 넣어 hot press 에서 온도 120-130°C, 압력 150 kg/cm²의 조건으로 1시간 동안 성형한다.

4) 성형된 paper facing 을 소정의 치수로 절단하여 메탄올에 용해된 1% 폐놀수지 용액에 1분간 함침시킨 후, 함침된 paper facing 을 70°C의 대기속에서 30분간 건조 후에 160°C의 대기속에서 60분간 가열처리하여 paper facing 내의 폐놀수지를 완전히 경화시킨다.

5) 경화된 paper facing 을 에폭시 접착제로 철심에 접착시킨 후, 120°C, 100 kg/cm²의 hot press 에서 3분간 성형한 후에 24시간 동안 냉각시켜 paper facing sample 을 제조한다.

Table 1 은 위와같은 제조공정하에서 제조된 paper facing 의 composite formulation 을 나타낸 것이다. 또한 Table 2 는 본 실험에서 제조한 paper facing 들의 물성을 측정하여 도시한 것이다.

2-2. 실험

2-2-1. 실험장치 및 실험방법

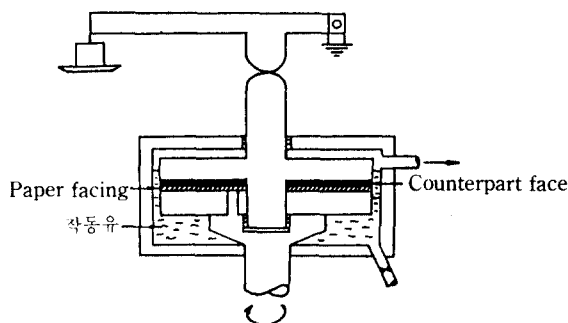


Fig. 2. Geometric diagram of contact assembly.

2-2-1-1. 함침기공률

Paper facing 의 함침기공률 측정은 paper facing 들을 소정의 치수로 절단하여 80°C의 유온하에서 15시간 동안 함침시킨 후, 무게변화로써 측정하였다.

$$\text{함침기공률 (\%)} = \frac{W' - W}{W} \times 100$$

여기서 w'는 함침 후의 paper facing 의 무게이며, w는 함침전의 paper facing 무게이다.

2-2-1-2. 마찰특성

Wet contact system 하에서 작동되는 paper facing 의 마찰특성을 조사하기 위해 wear and friction tester 인 Cygnus(II)를 사용하였으며, Fig.2는 Cygnus(II)의 contact assembly 를 도시한 것이다.

실험조건은 JIS D-4311[14]에 준하여 실행하였으며, 무기충진제의 종류 및 첨가량, 유온(40-140°C), 미끄럼속도(3-15 m/sec), 하중(3-10 kg/cm²) 및 작동시간의 변화에 따라 paper facing 의 마찰계수를 측정하여 마찰특성을 조사하였다.

Paper facing 의 마찰특성은 미끄럼접촉시의 torque 변화를 측정하여 마찰계수로 나타냈으며, 마찰계수는 다음의 식에 의해 계산된다.

$$\mu = \frac{6.15 \times T}{r + L}$$

여기서 T는 측정된 Torque 이고, r은 회전축에서 시편까지의 반지름, L은 total 하중이며, μ는 마찰계수이다.

3. 결과 및 고찰

3-1. Paper facing 의 함침기공률 측정

Paper facing 은 유중에서 작²되는 습식용 마찰제로써 paper facing 의 함침기공률이 마찰특성과 밀접한 관계가 있다.

Table 3은 본 연구에서 제조한 paper facing 들의

Table 3. The porosity of paper facings.

Sample	함침기공률 (%)
Sample 2 (talc 33 w/o)	33.8
Sample 3 (diatomite 33 w/o)	54.4
Sample 4 (Fe ₂ O ₃ 5 w/o)	50.2
Sample 5 (Fe ₂ O ₃ 8 w/o)	48.6
Sample 6 (Fe ₂ O ₃ 10 w/o)	46.0
Sample 7 (SiO ₂ 5 w/o)	58.2
Sample 8 (SiO ₂ 8 w/o)	60.2
Sample 9 (SiO ₂ 10 w/o)	62.0
Sample 10 (SiO ₂ 5 w/o, Fe ₂ O ₃ 5 w/o)	57.5
Sample 11 (SiO ₂ 7 w/o, Fe ₂ O ₃ 3 w/o)	59.2

함침기공률 측정결과이다. 함침기공률 측정결과 산화철(Fe₂O₃)의 첨가량이 증가할수록 paper facing의 함침기공률은 감소하였으며, 실리카(SiO₂)의 첨가량이 증가함에 따라서는 함침기공률이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 무기충진제들의 물성에 기인된 것으로, 다공질 구조를 가지고 있는 실리카(SiO₂)의 경우 함침기공률이 우수하였다.

3-2. 마찰계수 측정

3-2-1. 유온의 영향

무기충진제들의 첨가량을 변화시키면서 제조한

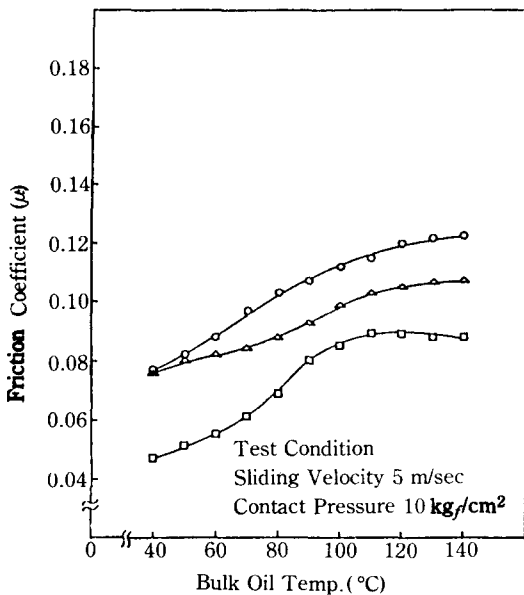


Fig. 3. Effect of the bulk oil temp. on the friction coefficient
 -□, Sample 1, △ Sample 2(활석), ○ Sample 3 (규조토)

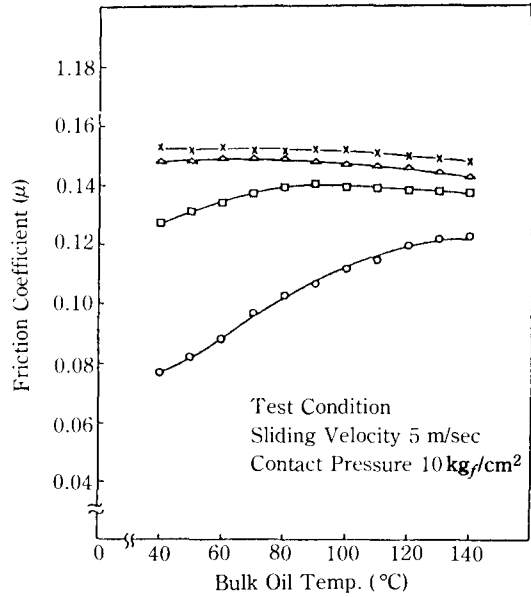


Fig. 4. Effect of the bulk oil temp. on the friction coefficient
 -○ Sample 3 (non SiO₂), □ Sampe 7 (5 wt.% SiO₂), △ Sample 8 (8 wt.% SiO₂), × Sample 9 (10 wt.% SiO₂)

paper facing들의 마찰계수를 유온변화(40-140°C)에 따라 측정하였으며, 유온은 1°C/min의 속도로 증가시켰다. 실험조건은 미끄럼속도 5m/sec, 하중 30kg(10 kg_f/cm²)하에서 마찰계수를 측정하였다.

Fig.3은 유온변화에 따른 sample 1, 2, 3의 마찰계수를 측정하여 도시한 것으로 sample 2, 3의 함침기공률은 각각 33.8%와 54.4%이었다. Sample 1은 무기충진제가 첨가되지 않은 paper facing이며, sample 2는 무기충진제로 활석(talc)을 함유하고 있는 paper facing으로 유온의 증가에 따라 마찰계수가 증가하였다. 또한 sample 3은 규조토(diatomite)를 첨가한 paper facing으로 sample 1, 2와 유사한 경향을 나타내고 있다. Sample 1, 2, 3의 경우 유온증가에 따른 마찰계수의 증가는 기어유의 물리적 특성(점도, 유막)에 기인되며, 전 유온영역에서 sample 1, 2, 3 각각의 마찰계수 차이는 첨가된 무기충진제의 기계적 특성(경도)에 기인된 것이다. 또한 sample 2와 sample 3의 마찰특성 비교에서 기공성 및 모스경도가 우수한 규조토가 층상구조인 활석보다 우수한 마찰특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

Fig.4는 무기충진제인 규조토에 실리카(SiO₂)의 첨가량(5-10 wt%)을 변화시키면서 제조한 paper fac-

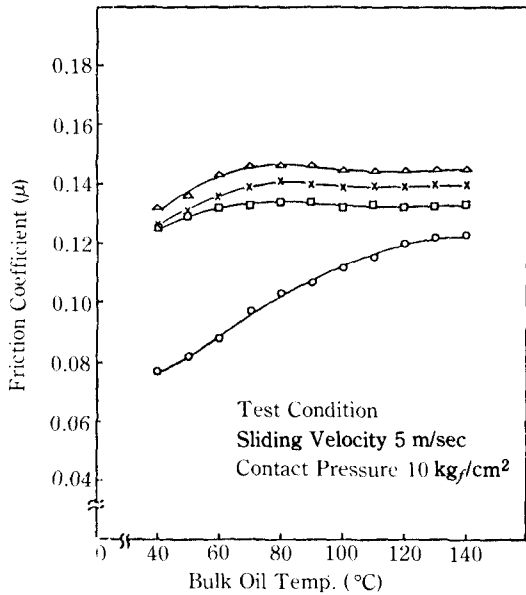


Fig. 5. Effect of the bulk oil temp. on the friction coefficient
 - ○ Sample 3 (non Fe₂O₃), □ Sample 4 (5 wt.% Fe₂O₃), × Sample 5 (8 wt.% Fe₂O₃), △ Sample 6 (10 wt.% Fe₂O₃)

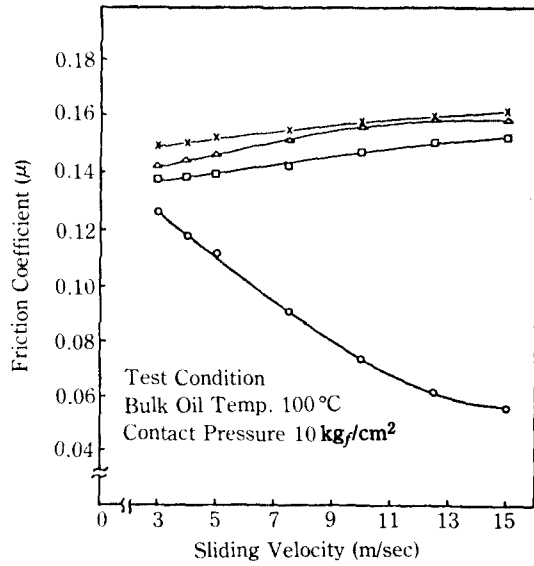


Fig. 7. Effect of the sliding velocity on the friction coefficient
 - ○ Sample 3 (non SiO₂), □ Sample 7 (5 wt.% SiO₂), △ Sample 8 (8 wt.% SiO₂), × Sample 9 (10 wt.% SiO₂)

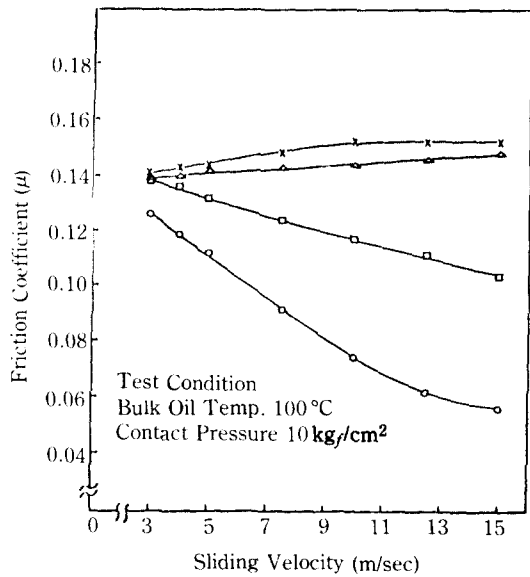


Fig. 6. Effect of the sliding velocity on the friction coefficient
 - ○ Sample 3 (non Fe₂O₃), □ Sample 4 (5 wt.% Fe₂O₃), △ Sample 5 (8 wt.% Fe₂O₃), × Sample 6 (10 wt.% Fe₂O₃)

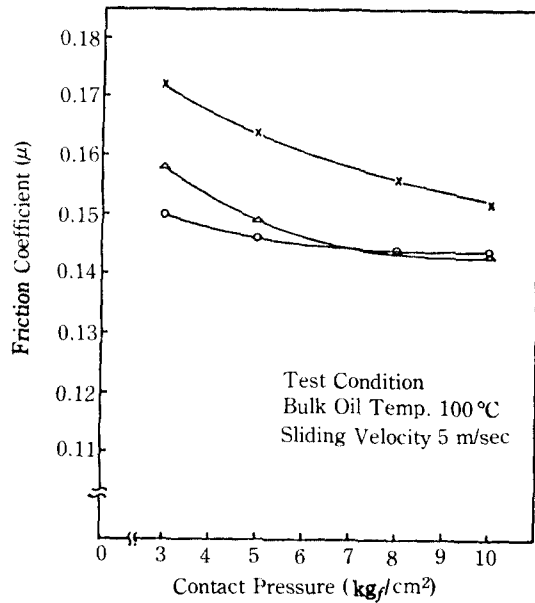


Fig. 8. Effect of the contact pressure on the friction coefficient
 - ○ Sample 6 (10 wt.% Fe₂O₃), △ Sample 11 (7 wt.% SiO₂, 3 wt.% Fe₂O₃), × Sample 9 (10 wt.% SiO₂)

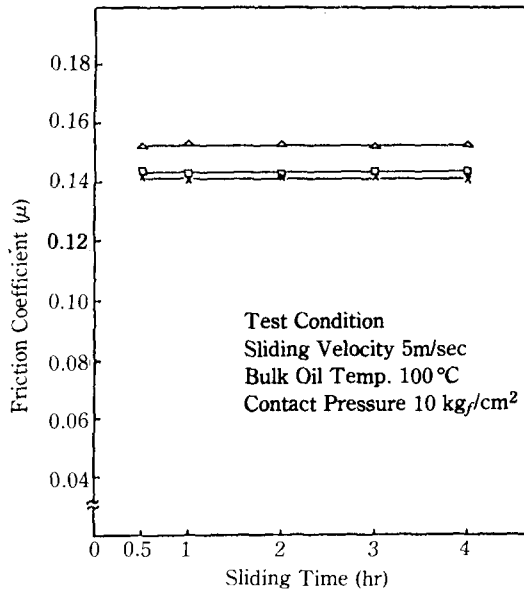


Fig. 9. Effect of the sliding time on the friction coefficient

- Δ Sample 9 (10 wt.% SiO₂), \times Sample 11 (7 wt.% SiO₂, 3 wt.% Fe₂O₃), \square Sample 6 (10 wt.% Fe₂O₃)

ing들의 마찰계수를 유온변화에 따라 측정한다. 그림에서 모스경도가 7.0인 실리카의 첨가량이 증가함에 따라 paper facing의 마찰계수가 증가하였으며, 또한 실리카의 첨가량이 증가함에 따라 유온변화에 따른 paper facing의 마찰계수가 완만하였다. 이는 모스경도 7.0인 실리카의 기계적 특성(경도) 및 실리카 첨가시의 우수한 함침기공률에 기인된 것이다.

Fig.5는 무기충진제인 규조토에 산화철(Fe₂O₃)의 첨가량(5-10 wt%)을 변화시키면서 제조한 paper facing들의 마찰계수를 유온변화에 따라 측정하여, 산화철이 paper facing의 마찰계수에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 산화철의 첨가량이 증가할수록 유온변화에 따른 paper facing의 마찰계수가 향상됨을 관찰할 수 있으며, 이는 모스경도 4.5인 산화철의 기계적 특성(경도)에 기인된 것이다.

3-2-2. 미끄럼속도의 영향

미끄럼속도변화에 따른 paper facing들의 마찰특성 조사를 위해 유온 100°C, 하중 30 kg(10 kg_f/cm²)의 조건하에서 미끄럼속도변화(3-15m/sec)에 따른 paper facing들의 마찰계수를 측정하였다.

Fig.6은 미끄럼속도변화에 따른 sample 3, 4, 5, 6의 마찰계수를 측정하여 도시한 것이다. 그림에서 sample

3은 펄프, 케놀수지, cardolite(cashew dust) 및 모스경도가 2.5인 규조토로 구성된 paper facing으로 미끄럼속도가 증가함에 따라 마찰계수가 감소하였다. 모스경도 4.5인 산화철을 5 wt% 첨가한 sample 4는 미끄럼속도 증가에 따라 paper facing의 마찰계수가 감소하였으나, 8 wt% 이상 첨가시에는 마찰계수가 완만하게 증가하였다. 이는 paper facing의 무기충진제 첨가에 기인된 것으로, 모스경도 4.5인 산화철이 첨가되지 않은 sample 3은 미끄럼속도가 증가함에 따라 마찰열이 발생하여 마찰면의 온도가 증가하게 된다. 마찰면의 온도가 증가함에 따라 paper facing 내의 oil이 유출하여 유막을 형성하게 되므로 미끄럼속도 증가에 따라 마찰계수가 감소하는 것이라 사료된다. 그러나 모스경도가 높은 무기충진제가 첨가된 paper facing들은 미끄럼속도 증가시 발생하는 마찰열에 의한 유막 형성 효과보다 모스경도가 높은 무기충진제들의 abrasion contact mechanism 효과가 더 크게되어 미끄럼속도가 증가함에 따라 마찰계수가 완만하게 증가하는 것이라 사료된다.

Fig.7은 미끄럼속도 변화에 따른 sample 3, 7, 8, 9의 마찰계수를 측정하여 도시한 것이다. 그림에서 sample 3은 실리카가 첨가되지 않은 paper facing으로 미끄럼속도 증가에 따라 마찰계수의 감소를 관찰할 수 있으나, 모스경도 7.0인 실리카를 첨가한 sample 7, 8, 9는 미끄럼속도의 증가에 따라 마찰계수가 완만하게 증가하였다. 또한 실리카의 첨가량이 증가할수록 높은 마찰계수를 측정할 수 있었다.

3-2-3. 하중의 영향

마찰특성시험결과 마찰특성이 우수한 paper facing인 sample 6, 9, 11을 유온 100°C, 미끄럼속도 5 m/sec의 조건하에서 하중변화(3-10 kg_f/cm²)에 따른 마찰계수를 측정하여 Fig.8에 도시하였다. 그림에서 sample 6, 9, 11의 모든 paper facing은 하중이 증가할수록 마찰계수가 감소하는 경향이며, 이러한 현상은 각각 46.0, 62.0 및 59.2%인 sample 6, 9, 11의 함침기공률에 기인된 것이다. 하중이 증가할수록 paper facing이 흡수하고 있던 oil이 유출하여 유막을 형성하게 되므로 함침기공률이 높은 paper facing일수록 하중증가에 따른 마찰계수의 감소가 큼을 알 수 있다.

또한 sample 11과 sample 6의 마찰특성 비교에서 실리카가 첨가된 paper facing의 마찰특성이 산화철이 첨가된 paper facing보다 우수하였다.

3-2-4. 작동시간의 영향

마찰특성이 우수한 paper facing인 sample 6, 9, 11

의 내구성을 측정하기 위하여 유온 100°C, 미끄럼속도 5 m/sec, 하중 30 kg(10 kg/cm²) 조건하에서 4시간 동안 이들의 마찰시험을 행하여 Fig.9에 도시하였다. 그림에서 sample 6, 9, 11의 모든 paper facing들이 작동시간이 경과함에 따라 일정한 마찰계수를 유지하고 있음을 관찰할 수 있다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 활석과 규조토가 각각 함유되어 있는 paper facing의 마찰시험결과 규조토가 함유된 paper facing의 마찰특성이 우수하였으며, 이는 규조토의 기공성 및 모스경도가 활석보다 우수한 것에 기인된다.
2. 무기충진제인 실리카와 산화철의 첨가량(5-10 wt%)이 증가할수록 유온변화(40-140°C)에 따른 paper facing의 마찰계수는 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 이중 실리카가 첨가된 paper facing의 마찰특성이 더 우수하였다. 이는 실리카의 기계적 특성(경도) 및 paper facing의 함침기공률에 기인된다.
3. 무기충진제인 실리카와 산화철의 첨가량(5-10 wt%)이 증가할수록 미끄럼속도증가(3-15 m/sec)에 따른 paper facing의 마찰특성이 증가하는 경향을 나타내고 있다.
4. 하중의 증가(3-10 kgf/cm²)에 따라 실리카와 산

화철을 함유하고 있는 paper facing의 마찰계수는 감소하는 경향을 보이고 있으며, 이는 paper facing의 함침기공률에 기인된다.

5. 끝으로 paper facing의 마찰특성 향상을 위해 첨가하는 무기충진제들의 기계적 특성(경도) 및 paper facing의 함침기공률 등이 paper facing의 마찰특성과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었으며, 기존의 초지 제조방식에서 벗어난 새로운 제조공정인 금형제조방식으로 paper facing을 제조하여 paper facing의 기초 자료를 얻을 수 있었다.

REFERENCES

1. SAE Hand Book.
2. Tribology Hand Book (1980).
3. Jpn. Patent 76,076 (1982).
4. Jpn. Patent 85,876 (1982).
5. Jpn. Patent 35,530 (1983).
6. Jpn. Patent 141,327 (1987).
7. Jpn. Patent 133,281 (1984).
8. Jpn. Patent 81,340 (1984).
9. U.K. Patent Appl. GB 2,163,784 (1984).
10. G.A. Smook, Hand Book for Pulp and Paper Technology (1985).
11. Encyclopedia of Polymer Science.
12. Jpn. Patent 14, 532 (1981).
13. Jpn. Patent 59,221,374 (1984).
14. JIS D-4311, "Clutch Facings for Automotives".