

# 유리섬유 강화 복합재료를 이용한 마찰재 개발에 관한 연구

김영운\* · 최문호\*\* · 서상하\*\*\* · 김부안 · 문창권

\*한국해양수산연수원 수산교육부

\*\*부산개금고등학교, \*\*\*부산기능대학 전산응용기계과

부경대학교 공과대학 재료공학부

## Study on the Development of Friction Material Using E-glass Fiber Reinforced Composites

YOUNG-UN KIM\*, MOON-HO CHOI\*\*, SANG-HA SEO\*\*\*, BU-AHN KIM AND CHANG-KWON MOON

\*Korea Institute of Marine and Fisheries Technology

\*\*Pusan Gaegum Highschool

\*\*\*Department of Computer Based Machinery, Pusan Polytechnic College

Department of Materials Science and Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

**KEY WORDS:** Friction material 마찰재료, E-glass fiber/phenol composites E-유리섬유/페놀수지 복합재료, Alumina powder 알루미나 분말, Rubber powder 고무분말

**ABSTRACT:** This study has been investigated to apply fiber reinforced composites instead of asbestos as a friction material. The reinforcement used was E-glass fiber and binder resin was phenol having good mechanical properties and heat resistance. And it has been also investigated the effect of molding conditions and some additives such as carbon black, alumina and rubber powder in E-glass fiber/phenol resin composites on the friction and wear characteristics. As a result, it was found that the molding conditions of E-glass fiber/phenol resin composites for friction materials had to be different from those of phenol resin and was found that the wear rate of E-glass fiber/phenol resin composites added alumina powder was higher than that of composites added carbon black in the same wear distance. And it was also found that friction coefficient of E-glass/phenol resin composites added carbon black was decreased and that of the composites added the powder of natural rubber and ABS rubber were increased compared to the composites.

### 1. 서 론

현재까지 단일재, 내염용의 내장재, 클러치 및 브레이크의 마찰재로서 석면이 주로 사용되어 왔지만, 최근에 석면의 미세한 마모 입자의 인체 유해성 때문에 석면의 사용은 법적으로 규제를 받고 있다. 그래서 석면의 대체재료로서의 비석면(non-asbestos)의 섬유강화 복합재료를 이용한 마찰재의 개발이 활발하게 진행 중에 있다. 특히, 섬유강화 복합재료는 비강도, 비탄성률, 내식성 및 마모 특성이 우수하여 여러 분야의 구조용 재료로서 이용되고 있다(Hong, 1995). 미국, 유럽 등의 선진국에서는 섬유강화 복합재료로 된 마찰재가 현재 실용화되어 사용되고 있지만, 우리 나라에서는 아직 많은 양을 수입에 의존하고 있는 실정이다. 그리고 마찰재의 많은 양들이 수입에 의존하고 있으므로, 본 연구에서 좋은 결과를 얻게 된다면 많은 수입대체 효과가 있을 것으로 예상된다.

마찰재의 개발 동향을 살펴보면, binder resin으로서는 내열성이 우수한 열경화성 수지를 많이 사용하고 있으며, 내충격성 및 마찰력 증가를 위해서는 SBR, BR 등의 합성고무 분말이 검토되고 있다(Anderson, 1996). 그리고 강화 재료로는 탄소섬

유, 유리섬유 및 케브라 섬유 및 두 가지 이상의 혼합섬유가 검토되고 있으며(Joo, 1995), 우수한 마모 특성을 위해서는 carbon black, silicates, iron powder, alumina powder, TiO<sub>2</sub> powder 등이 검토되고 있다(Sheem, 1995).

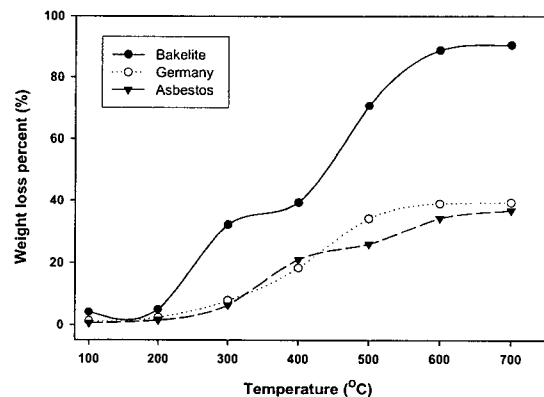


Fig. 1 Rate of weight loss vs. heat treatment temperature of each friction material

Fig. 1은 독일제 자동차 클리치용 마찰재와 국산의 석면 마찰재 및 페놀수지의 내열성을 본 연구실에서 비교, 검토한 그림으로 온도에 대한 무게 감소율을 나타낸 것이다. 그림에서 강화재를 사용하지 않았던 페놀수지 단독이 내열성이 가장 부족하며, 독일제의 마찰재와 국산의 석면 마찰재가 전 온도 구간에서 비슷한 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

Photo 1은 독일제 마찰재를 상온에서 파괴시킨 후 파단면의 전자 현미경 관찰 사진으로, 강화재인 유리섬유의 직경이 5 $\mu$ m 정도로 아주 미세한 섬유인 것으로 섬유와 수지 사이의 계면 접착 상태가 아주 양호한 것임을 알 수 있는 사진이다.

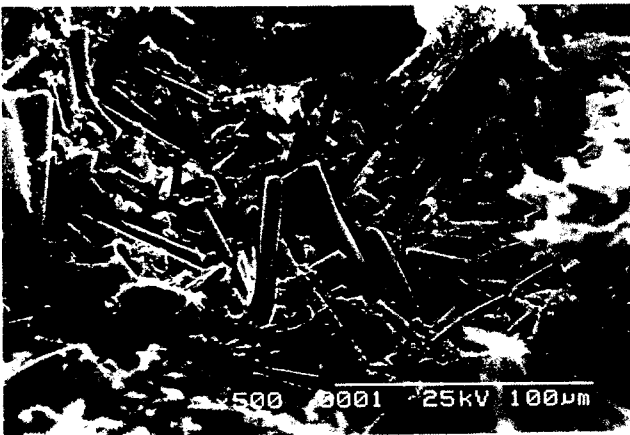


Photo 1 SEM photograph of fracture surface of German made friction material

섬유강화 복합재료에 있어서 계면접착 상태는 매우 중요하여 성형할 때 반드시 계면 상태는 최종적으로 요구되는 물성이 얻어질 수 있도록 강하게 혹은 약하게 제어되어야 될 사항이다.

본 연구는 석면 대체재료로서 섬유강화 복합재료를 마찰재료로 사용할 목적으로 수행한 것으로, 강화재로는 유리섬유를 binder resin으로는 내열성 및 기계적 성질이 우수한 페놀수지를 사용하여 성형조건 및 마찰재로서의 적합성을 검토하였다. 그리고 더 나아가서 carbon black, 천연고무와 합성고무의 분말 및 alumina 분말 등의 충전재의 첨가 및 충전재의 함유율이 마찰 및 마모 특성에 미치는 영향을 비교 검토하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 재료

본 연구에 사용된 재료의 강화재로는 E-glass chopped fiber (한국 화이바(주))로 평균 섬유 길이 5mm를 사용하였으며, binder 수지로는 노블락형 페놀수지를 사용하였다. 그리고 마찰 및 마모 특성을 향상시키기 위해 첨가제로 carbon black, 천연고무 및 합성고무 분말, alumina powder 등을 사용하였다.

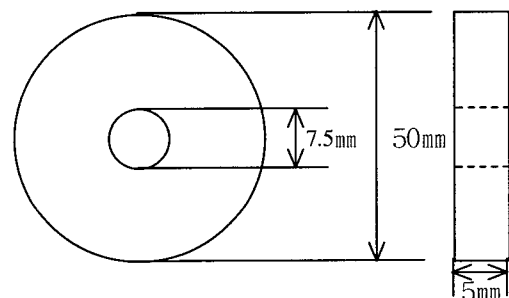
### 2.2 시험편 성형

시험편의 성형을 위해 먼저 유리섬유, 페놀수지 및 첨가제 등의 혼합물을 믹서기에서 분쇄와 혼합을 동시에 행하였다. 혼합 후의 유리섬유의 길이는 수십에서 수백  $\mu$ m으로 되었다.

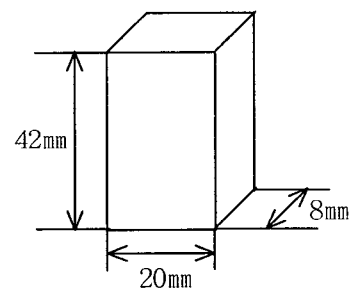
마찰재 시험편의 최적 성형조건을 얻기 위해 우선 페놀수지만을 사용하여 성형압력과 성형온도를 다르게 하여 hot press로 성형하였다. 성형시간은 모두 10분으로 고정하였고, 성형압력은 150 $^{\circ}$ C에서 각각 10, 15, 20, 25, 30MPa로 하여 마찰재를 성형하였으며, 성형온도는 15MPa의 압력에서 각각 110, 130, 150, 170, 190 및 210 $^{\circ}$ C로 변화시켜 성형하였다.

위와 같은 방법으로 수지만의 최적 성형조건을 도출하여 수지 단독 시험편의 표준 성형조건으로 정하였다. 그리고 alumina 분말, carbon black, 천연고무 및 합성고무 분말 등의 첨가제가 마모 및 마찰 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Table 1과 같이 여러 가지 조건의 disk type의 마찰 시험편을 성형하였다. 첨가제를 넣어 시험편을 성형할 때에는 수지만의 최적 성형조건을 복합재료에 그대로 적용하지 않고 성형조건을 약간 수정하여 성형하였다.

성형된 시험편의 형상을 Fig. 2에 나타내었다. (a)시험편은 마찰 및 마모시험편이고 (b)시험편은 압축시험편을 나타내고 있으며 압축시 좌굴파괴의 염려가 없도록 시험편 치수를 정하였다.



(a)



(b)

Fig. 2 Shape of wear and friction test (a) and compression test (b) specimen

Table 1 Composition of sample

	Glass fiber (wt.%)	Carbon black (wt.%)	Alumina powder (wt.%)	Natural rubber (wt.%)	ABS rubber (wt.%)
A	20				
B <sub>1</sub>	20	1			
B <sub>2</sub>	20	3			
B <sub>3</sub>	20	5			
C <sub>1</sub>	20		1		
C <sub>2</sub>	20		2		
C <sub>3</sub>			3		
D <sub>1</sub>				2	
D <sub>2</sub>				4	
D <sub>3</sub>				6	
E <sub>1</sub>					2
E <sub>2</sub>					4
E <sub>3</sub>					6

2.3 시험 및 방법

Photo 2와 같이 disk on pin type의 마찰 시험기를 제작하여 마찰 및 마모시험을 행하였다. 장치된 load cell 용량은 6kgf이며, 마찰하중은 1kgf까지 부가할 수 있으며 마찰력은 디지털 방식으로 출력되도록 제작하였다.



Photo. 2 Photograph of friction tester

압축시험은 Fig. 2(b)의 시험편을 cross head speed를 1.0mm/min로 하여 만능 인장 시험기(5ton)에서 행하였다.

마찰 및 마모시험은 Fig. 2(a)의 시험편을 Photo 2의 마모 시험기로 수직하중을 1kgf으로 일정하게 하고 회전속도를 다르게 하여 각 시험편의 동마찰 계수를 측정하였다. 그리고 수직하중을 1kgf으로 회전속도를 1600rpm으로 일정하게 하여 마모거리 에 따른 마모량을 정밀 전자 저울을 이용하여 측정하였다. 그리고 압축 시험 후의 파단면 및 마모 시험 후 시험편의 표면

상태 등을 광학 현미경 및 전자 현미경을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 성형온도를 150℃로 일정하게 하고 성형압력을 변화시켰을 때의 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 성형압력의 상승에 따라 압축강도는 초기에 조금 상승하다가 15MPa이상에서는 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다.

Fig. 4은 성형압력을 15MPa로 일정하게 하고 성형온도에 대한 압축강도의 영향을 나타낸 것이다. 그 결과 170℃까지는 성형온도가 높아짐에 따라 압축강도가 증가하지만, 그 이상 온도를 상승시켜도 압축강도의 변화는 거의 없는 것을 알 수 있다.

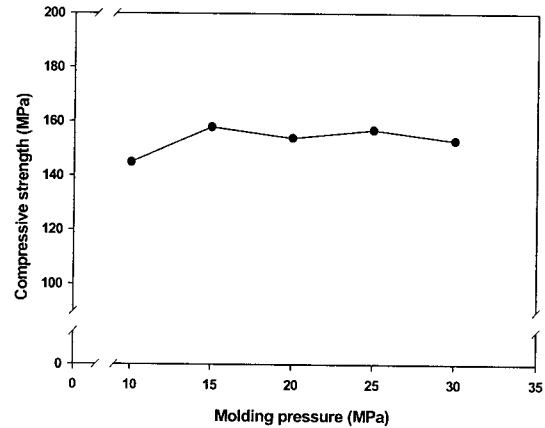


Fig. 3 Compressive strength as a function of molding pressure at 150℃ on the molding temperature

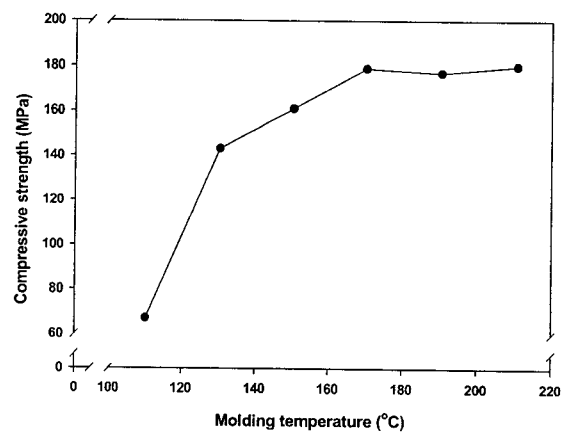


Fig. 4 Compressive strength as a function of molding temperature at 15MPa

Fig. 5은 성형온도를 170℃로 일정하게 하고 성형압력에 대

한 압축강도의 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 성형압력이 상승함에 따라 압축강도는 상승하다가 15MPa 이상에서는 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 성형온도를 170°C로 성형압력을 15MPa로 일정하게 하고 성형시간이 압축강도에 미치는 영향을 나타낸 것으로 성형시간이 5분에서는 압축강도 값이 작지만, 10분 이상에서는 압축강도 값이 거의 변화가 없는 것을 나타내고 있다. 이상의 자료를 검토한 결과, 본 연구에서 사용된 노블락형 페놀수지의 성형조건은 성형압력을 15MPa, 성형온도를 170°C, 성형시간은 20분으로 한 것이 최적임을 알 수 있었다.

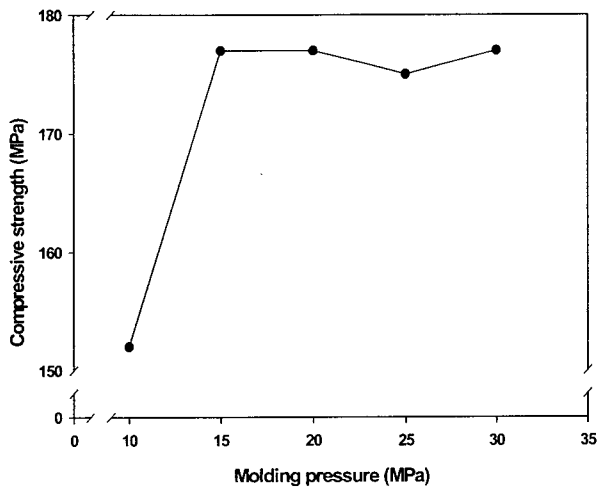


Fig. 5 Compressive strength as a function of molding pressure at 170°C

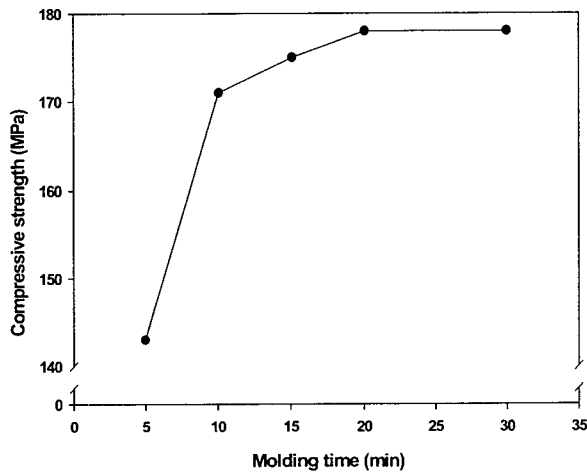


Fig. 6 Compressive strength as a function of molding time at 170°C (molding temperature) and 15MPa (molding pressure)

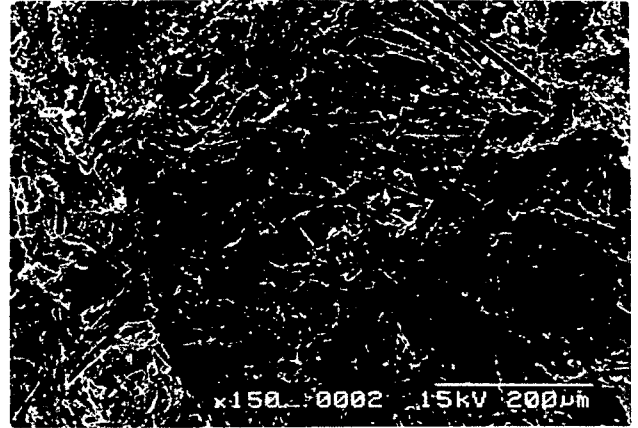


Photo 3 SEM photograph of fracture surface of friction material which contains 20wt.% of glass fiber

Photo 3은 성형압력을 15MPa, 성형온도를 170°C, 성형시간을 20분으로 하여 성형한 섬유 함유율이 20wt.%인 유리섬유/페놀수지 복합재료의 압축시험 후의 파단면 전자 현미경 사진이다. 그림에서 섬유와 수지 사이의 계면상태가 좋지 않아 유리섬유의 pull-out이 많이 일어나 있는 것을 알 수 있다. 이는 페놀수지 단독의 성형 조건과는 달리 유리섬유를 강화재로 사용한 복합재료의 경우는 성형 조건을 다르게 선택하여야 한다는 것을 나타내는 것이다.

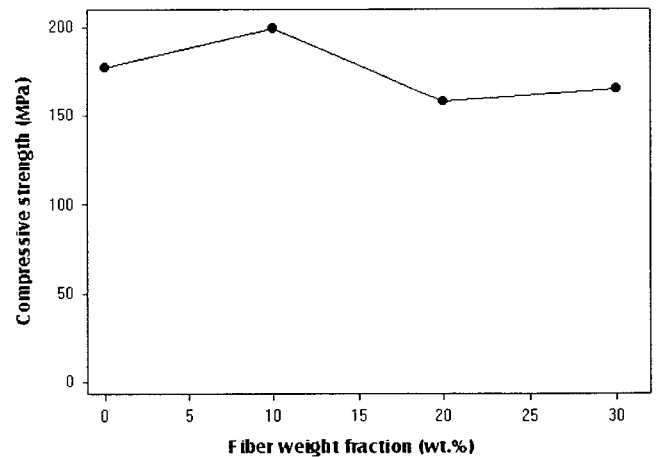


Fig. 7 Relationship between Compressive strength vs. fiber weight fraction of friction material

Fig. 7은 Photo 3과 같은 성형조건으로 성형하였을 때에 유리섬유의 중량 함유율에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 섬유 함유율이 크게 되어도 압축강도는 크게 나타나지 않았다. 결국, 복합재료의 성형조건은 수지 단독의 성형조건과 같게 성형하는 것은 적당하지 않다는 것을 알 수 있다.

Photo 4는 유리섬유/페놀 수지의 복합재료에 carbon black 및 alumina powder 등을 첨가하여 성형 압력은 전술한 조건과 같은 15MPa이지만 성형온도를 190℃로 높이고 성형시간을 30분으로 길게 하여 성형한 것이다. 압축시험 결과 압축강도는 240MPa로 Fig. 7과 비교해서 매우 우수한 결과를 얻을 수 있었고 섬유와 매트릭스 수지 사이의 계면 또한 양호하게 나타났다. 따라서 페놀수지 단독이 아닌 유리섬유 강화재 및 첨가재를 혼합하여 마찰 및 마모 시험편을 성형할 때에는 모두 성형압력은 15MPa, 성형온도는 190℃, 성형시간은 30min으로 성형조건을 정하였다.

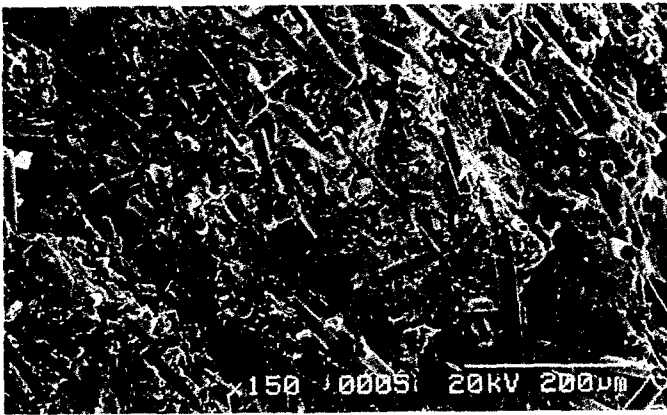


Photo 4 SEM photograph of fracture surface of friction material

수지보다 마찰속도가 빠를수록 동마찰 계수는 크게 나타나 있는 것을 알 수 있다. 그리고 마찰 속도에 따른 동마찰 계수의 변화는 순수한 페놀 수지의 경우는 마찰 속도가 빨라짐에 따라 지속적으로 감소하고 있는 것을 볼 수 있지만 유리섬유/페놀수지 복합재료의 경우는 400rpm에서 800rpm으로 속도가 증가했을 때는 다소 크게 감소했지만 그 이후에는 그다지 큰 변화는 보이지 않고 있는 것을 알 수 있다.

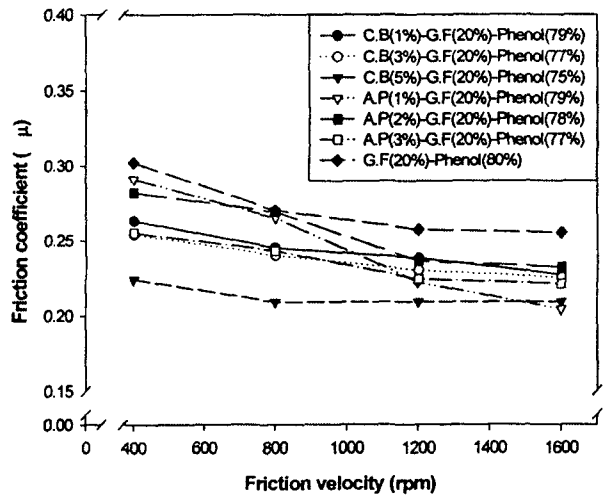


Fig. 9 Friction coefficient vs. friction velocity

Fig. 9는 유리섬유/페놀수지 복합재료에 carbon black 및 alumina 분말을 첨가했을 때의 마찰속도에 따른 동마찰 계수의 변화를 나타내는 그림이다. 첨가재를 첨가했을 경우가 첨가하지 않았을 때보다 모든 범위의 마찰속도에 대해 동마찰 계수가 낮게 나타났다. 첨가재의 첨가량이 많아질수록 마찰계수는 낮아지는 것을 알 수 있다. 특히, carbon black을 첨가했을 경우 alumina powder를 첨가했을 때보다는 마찰속도에 따른 동마찰 계수의 변화는 작게 나타나 있는 것을 볼 수 있다. alumina 분말의 경우는 첨가량이 많아질수록 마찰 속도에 따른 동마찰 계수의 변화가 작아지는 것을 볼 수 있다. 그리고 carbon black의 첨가량이 가장 많은 시험편이 가장 낮은 마찰 계수를 나타내면서 마찰 속도에 따른 동마찰 계수의 변화가 가장 작게 나타난 것을 알 수 있었다. 이는 carbon black의 윤활 특성이 우수하기 때문에 나타난 현상이라고 생각된다(Sonn, 1995).

Fig. 10은 유리섬유/페놀수지 복합재료에 천연고무(N.R) 및 ABS 고무 분말을 첨가했을 때의 마찰속도에 따른 동마찰 계수의 변화를 나타내는 그림이다. 그림에서 천연고무 6wt.%를 첨가한 경우가 마찰속도에 따라서 동마찰 계수의 변화가 작게 나타남과 동시에 마찰 계수도 저속에서는 ABS 고무 4wt.%와 천연고무 4wt.%를 첨가한 시험편 다음으로 높게 나타났지만 고속에서는 가장 높은 동마찰 계수를 나타낸 것을 볼 수 있다.

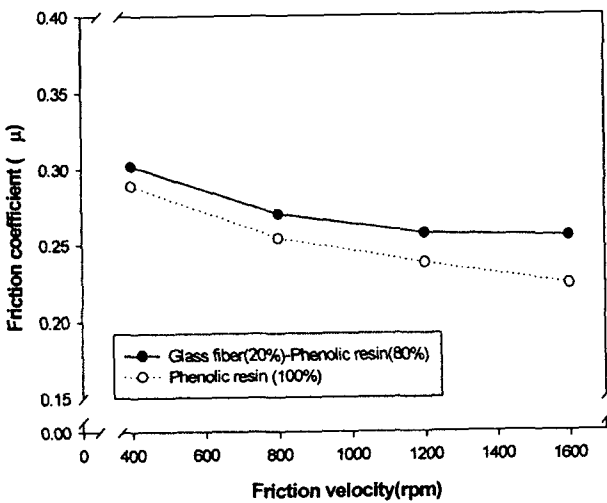


Fig. 8 Friction coefficient vs. friction velocity

Fig. 8는 페놀수지 단독 및 페놀수지에 유리섬유를 20wt.% 혼합하여 성형한 복합재료의 마찰속도에 따른 동마찰 계수를 나타낸 것이다. 그림에서 유리섬유/페놀수지 복합재료가 페놀

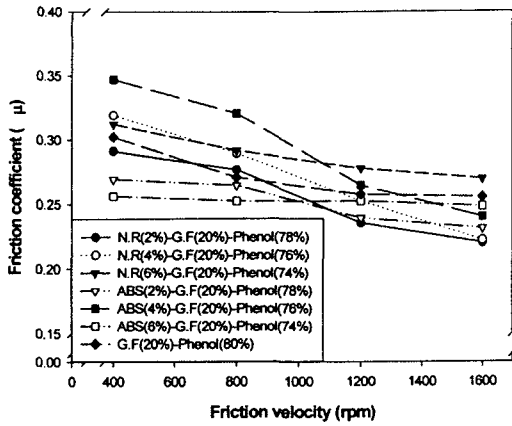


Fig. 10 Friction coefficient vs. friction velocity

Fig. 9와 Fig. 10을 보면 carbon black과 alumina 분말의 첨가로 동마찰 계수는 감소하지만 마찰 속도에 따른 동마찰 계수의 변화폭은 줄일 수 있었고, 천연고무 및 ABS 고무의 첨가로 높은 마찰 속도에서도 다소 높은 동마찰 계수를 얻는 결과를 얻을 수 있었다.

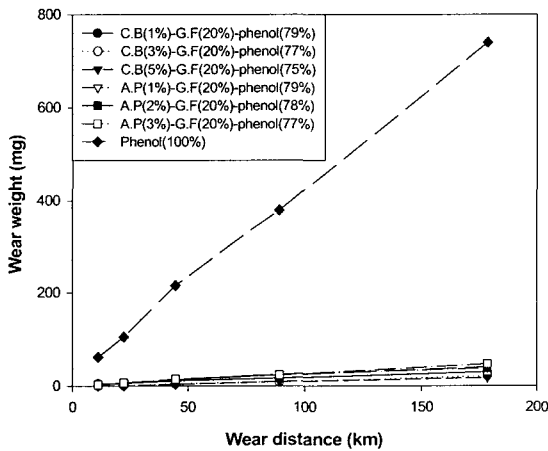


Fig. 11 wear weight vs. wear distance

Fig. 11은 페놀수지 단독 및 페놀수지에 유리섬유와 carbon black 그리고 유리섬유와 alumina 분말의 첨가재를 혼합하여 마찰재로 성형한 것의 마찰거리에 따른 마모량을 나타낸 것이다. 그림에서 페놀수지의 마모거리에 따른 마모량이 매우 크게 나타나 있는 것으로부터 유리섬유 및 첨가재의 효과를 쉽게 알 수 있다.

Fig. 12는 Fig. 11에서 페놀수지만의 마모량이 너무 크기 때문에 유리섬유/페놀수지 복합재료에 carbon black 및 alumina 분말을 첨가한 시험편의 마모특성을 잘 알 수 없었기에 페놀수지만의 시험편의 결과를 제외한 시험편의 마모거리에 따른 마

모량의 변화를 나타낸 것이다. 마찰 거리에 따라 거의 선형적으로 마모량이 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 마찰재의 성형성분에 따라 같은 마찰 거리에서의 마모량이 크게 차이가 나타나는 것을 볼 수 있는데 동일한 마찰 거리에서 carbon black이 많을수록 마모량은 적게 나타났으며 alumina 분말은 많을수록 마모량은 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 carbon black의 윤활 특성의 영향 때문이라고 생각된다.

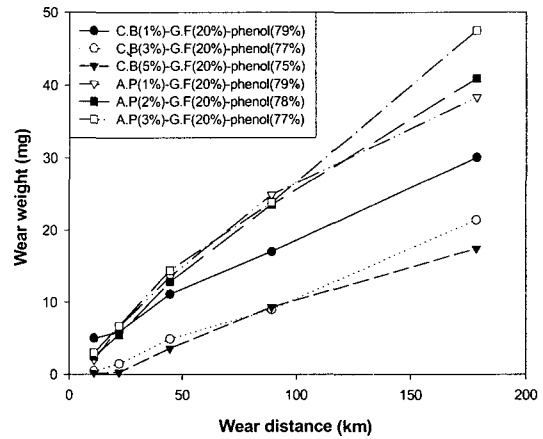


Fig. 12 Wear weight vs. wear distance

Photo 5는 유리섬유/페놀수지 복합재료에 carbon black을 1%, 3%, 5% 첨가한 시험편의 8시간 마모시험 후의 마찰면의 광학 현미경 사진이다. 모든 시험편에서 마찰 방향으로 연삭마모면이 관찰되었으며, 매트릭스 수지의 탈락 및 높은 마찰열에 인한 탈락된 매트릭스 수지의 재융점 등이 관찰되었다. Carbon black의 첨가량에 따른 시험편의 마찰면의 차이는 크게 나타나지는 않았다.

Photo 6은 유리섬유/페놀수지 복합재료에 alumina 분말을 1%, 2%, 3% 첨가한 시험편의 8시간 마모시험 후의 시험편의 광학 현미경 사진이다. 마찰면의 형상이 Photo 5와 유사하게 나타났지만 매트릭스 수지의 재융점이 더 많이 나타나 있는 것을 볼 수 있다.



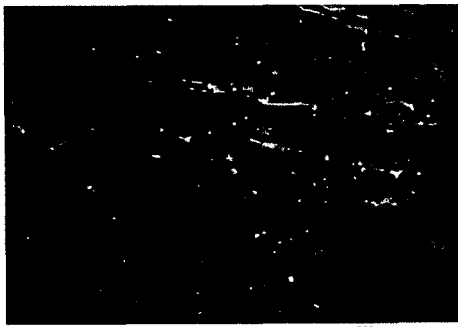
(a) Carbon Black 1wt.%



(b) Carbon Black 3wt.%



(c) Alumina Powder 3wt%

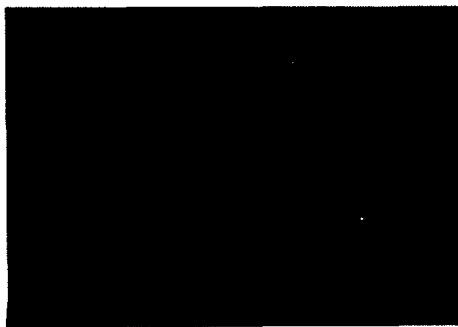


(c) Carbon Black 5wt.%

Photo 5 Microphotographs of each types specimen which was friction and wear tested surface after 8hours



(a) Alumina Powder 1wt.%



(b) Alumina Powder 2wt.%

Photo 6 Microphotographs of each types specimen which was friction and wear tested surface after 8hours

#### 4. 결 론

유리섬유/페놀수지 복합재료를 이용한 마찰재 개발에 관한 성형조건 및 첨가제에 따른 마모량과 마찰계수의 영향을 비교, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 마찰 복합재 시험편의 성형조건은 유리섬유 및 첨가제의 영향을 고려하여 수지 단독의 성형조건과는 다르게 성형하여야 한다.
- (2) Alumina 분말의 첨가로 같은 마모거리에서의 마모량이 carbon black을 첨가했을 때보다 크게 나타났다.
- (3) 첨가제로서 천연 및 합성 고무분말은 마찰계수를 증가시켰다.
- (4) Carbon black의 첨가로 같은 마모거리에서 마모량을 감소시킬 수가 있었다.
- (5) 수지 단독으로 성형한 것보다 유리섬유 및 첨가제를 첨가한 시험편의 마모 특성이 매우 우수하였다.

#### 참 고 문 헌

Anderson, A. E.(1996). "Friction and Wear of Automotive Brakes", pp 569~577.

Hong, M. H., Oh, I. S., Choi, D. M., Joo, H. J. and Park, I. S. (1995). "Thermal Shock and Erosion Properties of 4D Carbon/Carbon Composites", Vol. 5, pp 611~619.

Joo, H. J., Lee, Y. J., Choi, D. M., Oh, I. S. and Sheem, K. Y. (1995). "Friction and Wear Characteristics of Hybrid Fiber Reinforced Composites", Journal of the Korean Society for Composite Materials, Vol. 5, pp 316~323.

Sheem, K. Y., Oh, I. S. and Choi, D. M.(1995). "Fabrication and Densification of the 4D Carbon/Carbon Composites", Journal of the Korean Society for Composite Materials, Vol. 8, No. 2 pp 9~17.

Sonn, H. W., Hong, C. S., Kim, C. G. and Sung, D. U.(1995). "Thermolelastic Analysis of Carbon/Carbon Composite Brake Disk", Journal of the Korean Society for Composite Materials, Vol. 8, No. 1, pp 43~57.

2000년 7월 12일 원고 접수

2000년 9월 14일 수정본 채택