Journal of the KSTLE Vol. 20, No. 6, December 2004, pp. 299~305
The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers

자동차용 클러치 마찰재의 미끄럼마찰마모특성 해석 (제1보 마모특성)

이한영† · 김근영* · 허만대**

계명대학교 재료공학과, *계명대학교 대학원, **평화발레오 기술연구소

Analysis of Sliding Friction and Wear Properties of Clutch Facing for Automobile (Part 1)

Han-Young Lee†, Geon-Young Kim* and Man-Dae Hur**

Keimyung University, Department of Adevanced Materials Engineering, Daegu 704-701, Korea
Valeo Pyeong Hwa Co., R&D Center, Daegu 704-190, Korea

Abstract – The wear properties of clutch facing materials with two different copper amounts were evaluated against the fly-wheel materials used in clutch system, such as gray cast iron and spheroidal graphite cast iron. Sliding wear tests were carried out for four different combinations with these clutch facing materials and fly-wheel materials at different speeds and applied loads. Results showed that the clutch facing material contained a higher copper amount had the better wear resistance. And using the gray cast iron as the counter material, clutch facing material resulted in the much lower wear rate, regardless of the copper amount. It is obvious that the wear properties of clutch facing material are influenced from the thermal conductivities of the clutch facing material and the counter material.

Key words – clutch facing, counter material, sliding wear properties, thermal conductivity, copper amount.

1. 서 론

자동차의 클러치는 클러치 커버의 압축판에 의해 회전하는 플라이휘일과 마찰재(clutch facing)가 압착되어 발생하는 마찰력으로 엔진의 동력을 미션에 전달하거나 차단하는 자동차부품이다[1]. 또한 이러한 클러치는 방열, 방진 및 방음의 기능도 동시에 수행하는 것으로 알려져 있다[1]. 결국 이러한 기능은 주로 마찰재의 마찰작용에 의해 수반되는 것이므로 클러치 마찰재의 마찰마모 특성이 클러치 시스템의 성능을 좌우한다 해도 과언이 아닐 것이다.

자동차 마찰재로 대표적인 브레이크 마찰재는 일반적으로 고착재, 연마제, 강화섬유, 고체윤활제, 마찰조절제, 충진재 등 각기 역할을 하는 10종이상의 기본원료를 배합하여 만들어 진다[2]. 클러치 마찰재도 이와 유사하게 유리섬유와 황동 등의 금속세선을 엮은 뒤 마찰조절제를 첨가하고, 결합수지, 고무 등을 함침, 부착시켜 원판모양으로 감은 뒤 성형하고 열처리를 하여 제조하고 있다[3]. 그러나 이러한 자동차 마찰재 연구는 대부분 브레이크 마찰재 중심으로 진행되어[4] 클러치 마찰재에 대해서는 거의 검토된 바 없는 것으로 밝혀졌다. 사실 클러치 마찰재는 브레이크 마찰재와는 사용목적 및 환경뿐만 아니라 원료 배합비 등도 상이하여 클러치 마찰재의 마찰마모 특성파악은 성능향상 측면에서 필수불가결한 사안이다.

클러치 디스크의 수명을 결정하는 클러치 마찰재의 마모특성은 기본적인 하중, 속도, 온도 등 많은 영향인자 외에 재료 자체의 성분 배합비에 따라서도 변화할 것이 분명하다. 결국 클러치 마찰재의 마모특성은 이들 모든 원료가 각기 역할을 하여 종합적으로 나타나는 현상일 것이나 본 연구에서는 방열성 확보를 위해 첨가하는 금속세선인 Cu함량에 주목하고, 함유량이 상

†주저자 · 책임저자 : lhy@kmu.ac.kr

이한 2종류의 마찰재를 제작하여 이들의 미끄럼 마모 특성을 조사하였다. 특히 클러치 마찰재의 상대재는 회주철과 구상흑연주철이 용도에 따라 사용되고 있는 점을 감안하여 이들 상대재와의 조합에 따른 미끄럼 마모특성을 비교, 해석하였다.

2. 시험 방법

2-1. 시험편

시험편은 시판되는 클러치 마찰재로 현재 가장 널리 사용 중인 비석면 마찰재인 $\phi225\times3.6$ mm 크기의 클러치 마찰재 완성품 형번 815(이하 P1재, 경도 H_RS 100정도)와 815MCC(이하 P2재, 경도 H_RS 90정도)에서 직접 10×10 mm^{2}의 plate형 시편을 추출하였다. 이들 두 마찰재는 동선의 함량이 상이하여 실측한 P1재의 밀도가 약 1.6174 g/cm^3, P2재가 약 2.2033 g/cm^{3}로 P2재에 많은 동선이 함유되어 있다.

현재 클러치 마찰재와 접촉하는 플라이 휘일의 소재로는 주로 일반적인 용도로 회주철(이하 GC)이 사용되나 내열성이 요구되는 경우에 구상흑연주철(이하 GCD)이 사용되고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 이러한 상대재 종류에 따른 마찰재의 마찰특성 변화를 관찰하기 위하여 실제 이들 플라이휘일과 유사한 조성의 두 종류의 상대재를 제작하였다. 이들은 각각 $\phi86\times12$ mm의 원판모양으로 주조(1회 주조에 8개씩)후 황삭하고 최종 $\phi80\times8$ mm의 disc형태로 연삭가공하였다. 이들의 화학조성을 Table 1에 나타내었으며 GC 및 GCD의 경도는 시험전 각각 HB 160과 175인 것으로 확인되었다. 그리고 시험전 상대재 접촉면은 어느 것도 #400 abrasive paper로 연마한 뒤 시험하였다.

2-2. 속도특성시험

속도특성을 구하기 위한 마모시험은 Fig. 1에 나타낸 plate on disc형 미끄럼 마찰마모시험기를 이용하였다. 시험조건 중 하중은 일반적으로 클러치 마찰재에 작용하는 면압이 최대 150 kPa인 점을 감안하여 최대

Table 1. Composition of counter materials

Index	C	Si	Mn	P	S
GC	3.52	1.87	0.35	0.031	0.018
GCD	3.65	2.65	0.23	0.027	0.018

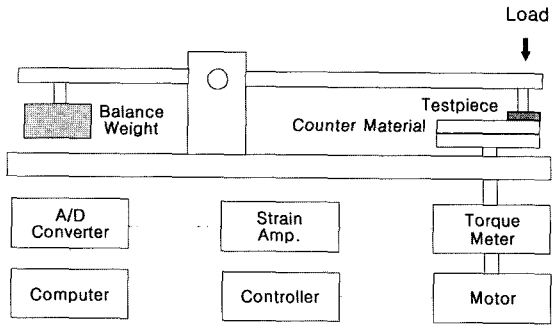

Fig. 1. A schematic diagram of plate on disc type test machine for determinating the friction and wear properties as a function of sliding speed.

의 마모발생은 반 클러치 상태로 추정하고 최대 면압의 40%의 하중 즉 6 N을 취하였다. 그리고 접촉면 중심부의 미끄럼 속도를 6, 8, 10, 11 m/s의 4수준을 선정하여 각각 총 마찰거리 12 km까지 대기중 무윤활 상태에서 시험하였다. 그리고 마모량은 소정의 거리마다 시험을 중단하고 중량감소를 측정하여 산출하였다.

2-3. 하중특성시험

하중특성을 구하기 위하여 사용한 시험기는 plate on disc형 마찰마모시험기(PLINT사 TE88)를 사용하였다. Fig. 2에 시험기의 모식도를 나타내었으나 이 시험기는 arm의 선단에 하중을 가하면 지랫대 원리에 의해 하중이 증폭되어 시편에 작용하는 방식이다. 시험조건 산출시 하중과 선속도는 실제 마찰재에 작용하는 최대 면압 150 kPa, 1000~2000 rpm으로 회전하는 범위를 선정하였다. 이러한 조건에서 산출된 수직하중은 약 15 N이고 선속도는 약 10~20 m/s의 범위가 되는 것으로 밝혀졌다. 그러나 본 연구에서는 일반적으로 면압을 증가시키면 마모특성 곡선이 저속쪽으로 이동된다는 점을 감안하고 일률(pv) 값을 동일하게 한다는

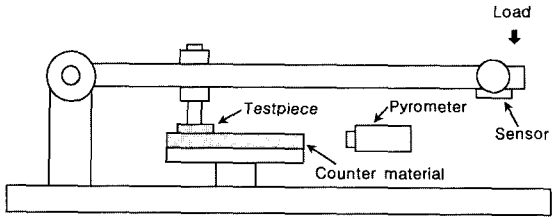

Fig. 2. A schematic diagram of plate on disc type test machine for determinating the friction and wear properties as a function of applied load.

조건하에 시편의 중앙의 선속도를 2 m/s로 선정하고 수직 하중을 63 N, 91 N, 119 N 그리고 147 N계 4조건으로 변화시켰다. 이들 시험도 대기중 무윤활 상태에서 시험하였고 총 마찰거리는 12 km이나 시험도중 소정의 미끄럼거리마다 시험을 중단, 중량감소를 측정하여 마모량을 산출하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3-1. 마모에 대한 속도특성

Fig. 3은 거리에 따른 마모량의 변화의 일례로 GCD 상대재로 시험한 P1, P2에 대해 나타낸 것이다. 그림에서도 보듯이 속도에 따라 정도는 상이하나 거리증대에 따라 초기에 마모량이 급증을 하다가 이후는 마모량 증가가 급격히 감소됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 상대재의 종류에 관계없이 동일하였다.

Fig. 4는 Fig. 3을 초기마모영역과 정상마모영역으로 구분한 후 각 영역에서의 마모율을 산출한 후 전술한 각 시편의 밀도를 고려해 마모체적으로 환산한 마모율을 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 정상마모

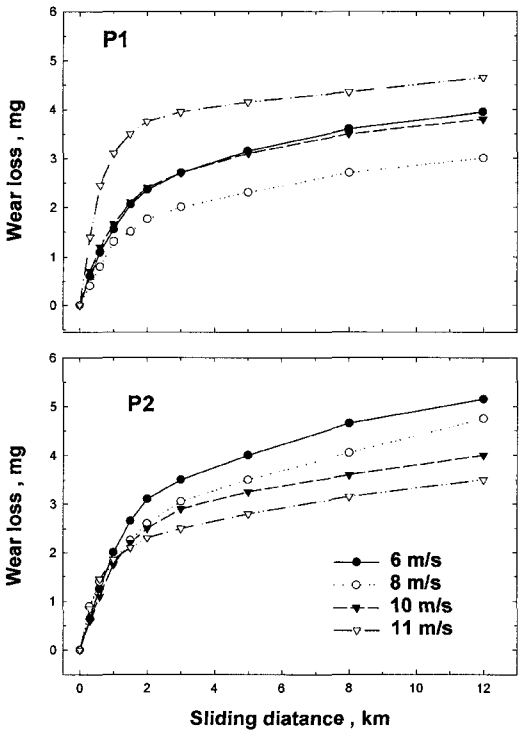

Fig. 3. The change of wear loss as a function of sliding distance at the various sliding speeds (against GCD).

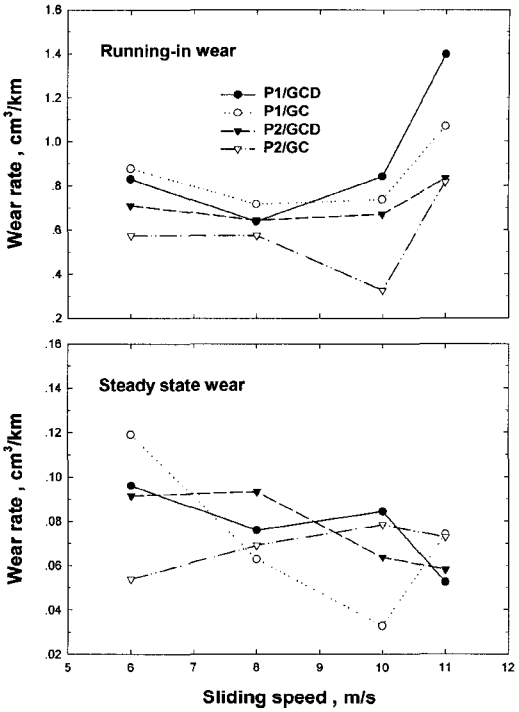

Fig. 4. Wear characteristics as a function of sliding speed.

영역의 마모율의 종축은 초기마모영역의 약 1/10정도로 급감하고 있다. 이러한 현상은 시편의 겉보기 면적은 크나 시험초기에 진실 접촉면적이 적어 고압이 가해졌기 때문에 초기마모에서 마모율이 현저히 커진 것으로 생각된다. 그러나 미끄럼거리 증대에 따라 진실 접촉면적이 커지면서 면압이 감소되어 마모가 급감한 것으로 추정된다. 그러나 이들 모두 12 km 시험종료 후의 마모면을 확인한 결과에서도 완전한 전면 접촉이 이루어지지 않은 것으로 확인되었다.

초기마모영역에서 속도증가에 따른 마모율의 변화는 전반적으로 마모율이 감소하다가 11 m/s 부근에서 다시 증가하는 경향이나 P1재에 비해 P2재의 마모율이 다소 적고 고속에서는 GC 상대재인 경우 마모율이 적은 경향임을 알 수 있다. 정상마모영역에서도 전반적으로 속도증가에 따라 감소하는 경향이나 시편 및 상대재에 따른 경향은 현저하지 않다. 이와 같이 정상마모영역에서는 초기마모영역과 달리 시편/상대재의 영향이 나타나지 않은 것은 마모율이 현저히 적기 때문으로 생각된다. 초기마모영역에서는 상당량의 마모발생으로 어느 정도 마찰면의 온도상승이 이루어져 시편과 상대재의 조합에 따라 열에 대한 작용이 나타난 것

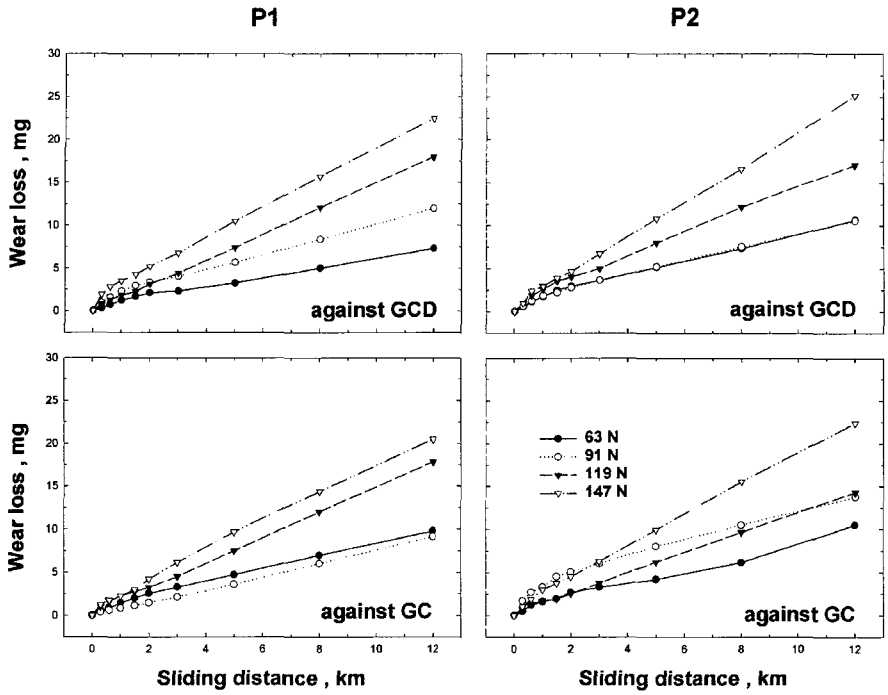

Fig. 5. The change of wear loss as a function of sliding distance at the various applied loads.

으로 추정된다. 이러한 측면에서 정상마모영역에서도 미끄럼거리를 증대하였다면 초기마모영역과 유사한 경향이 나타날 것으로 사료된다.

3-2. 마모에 대한 하중특성

Fig. 5는 2종류의 상대재에 대해 P1 및 P2재를 여러 시험하중에서 시험한 후 거리에 대한 마모량의 변화를 각각 나타낸 것이다. 그림에서도 보듯이 어느 것도 거리 및 하중증대에 따라 마모량이 증대하고 있으나 Fig. 3에 비해 마모량이 현저히 증가하는 것을 알 수 있다. 이때의 시편은 시험초기부터 전면접촉을 하고 있는 것으로 확인되었다.

Fig. 6은 Fig. 5와 같은 거리특성 곡선에서 각 시편/상대재 조합별로 초기 마모영역과 정상 마모영역으로 구분한 후 Fig. 4와 마찬가지로 각 영역에서의 마모율 변화를 시편의 밀도를 고려해 마모체적으로 환산하여 각 시험하중에 대해 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 초기마모의 경우는 초기마모영역이 짧아 다소 변화폭이 크지만 전반적으로 하중증가에 따라 지수 함수적으로 마모율이 증가하는 경향이고 시편 및 상대재의 영향의 조합에 따라 마모율이 상이함을 알 수 있다. 이와 같이 마모에 대한 하중특성곡선의

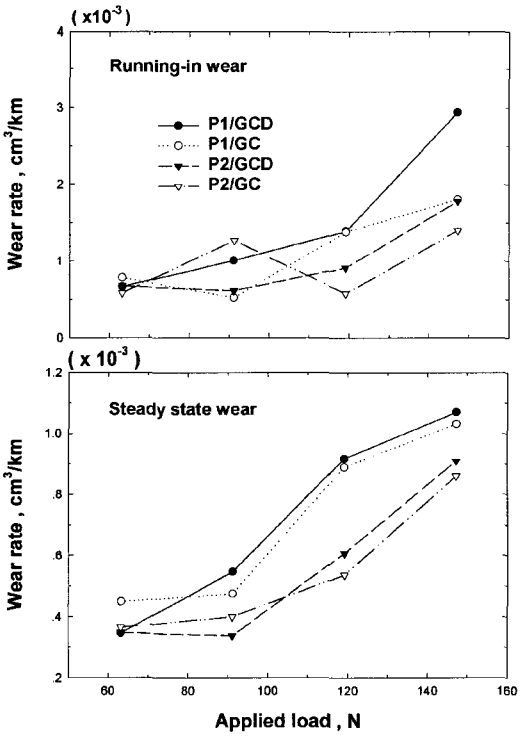

Fig. 6. Wear characteristics as a function of applied load.

형태는 일반적으로 알려진 마찰재의 마모면의 온도상승에 따른 마모율의 변화곡선[3,5]과 유사한 것으로 밝혀져 하중증대에 따라 마모면의 온도가 현저히 증가하였음을 예측할 수 있다. 정상마모영역에서 이러한 경향이 더욱 현저하여 63 N에서는 시편/상대재의 조합관계없이 거의 유사하나 하중이 증가할수록 P1재의 마모율 증가속도가 P2재에 비해 크며 같은 시편이라도 GCD 상재재시의 마모율이 GC재시보다 큰 것을 알 수 있다. 그러나 상대재에 따른 마모율 증가 속도는 유사하다.

이와 같은 시편/상대재 조합에 따른 하중에 대한 마모특성이 상이한 것은 결국 마찰에 의한 온도상승과 시편과 상대재의 열전달능과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되어 진다. 일반적으로 마찰재 성분중의 동선은 방열성 측면에서 첨가[3]하는 것으로 알려져 있다. 이러한 측면에서 Cu는 P1재에 비해 P2재에 많이 함유되어 있으므로 P2재의 열전달효과가 우수할 것이 분명하다. 또한 주철의 열전달 효과도 흑연형상에 따라 상이한 것으로 알려져 일반적으로 GC가 GCD에 비해 크다[6]. 결국 P1재와 GCD 상대재는 열전달능이 낮아 접촉부의 온도가 P2재, GC 상대재시보다 크게 상승할 것이 분명하다. 이와 같이 접촉부의 온도상승이 현저하면 시편의 열화로 이어져 마모율이 증대하는 것으로 생각된다. 이러한 측면에서 내마모성 측면에서는 시편 및 상대재의 열전도율 확보가 중요한 인자인 것을 알 수 있다. 그러나 열전달능 확보를 시편측에 한 경우가 상대재에 한 경우보다(P1/GC의 조합 및 P2/GCD 조합) 마모율차이가 큰 것으로 미루어 상대재 측보다는 시편측의 열전도율 향상을 기하는 것이 마모특성 향상에 크게 효과가 있는 것을 알 수 있다.

3-3. 마모면 관찰결과

Fig. 7은 열전달능이 낮은 P1/GCD의 조합과 열전달능이 높은 P2/GC의 조합을 각각 63 N과 147 N의 수직하중에서 시험한 후 관찰한 상대재 마모면을 관찰한 광학 현미경사진을 나타낸 것이다. 어느 것도 유색의 화합물층이 관찰됨을 알 수 있다.

Fig. 8은 147 N에서 P1재를 시험한 GCD(Fig. 7(b))와 63 N에서 P2를 시험한 GC상대재(Fig. 7(c)) 마모면의 SEM사진이다. 그리고 Fig. 9는 이들 마모면의 A부위를 EDX 분석결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 산소가 관찰되고 Cu 및 Ba, Ca 등이 확인되어 결국 상대재의 산화로 인한 산화물이 생성되고 이로

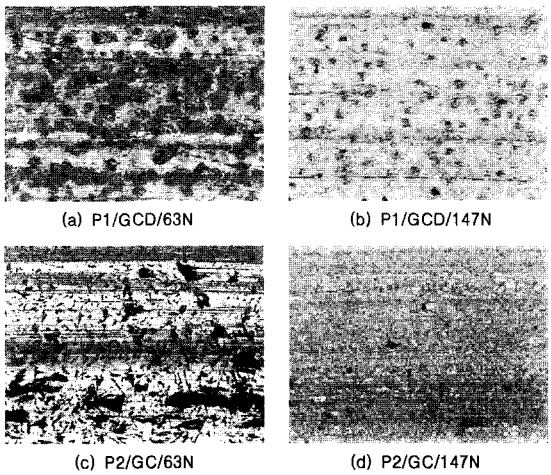

Fig. 7. Optical micrographs on worn surface of counter material.

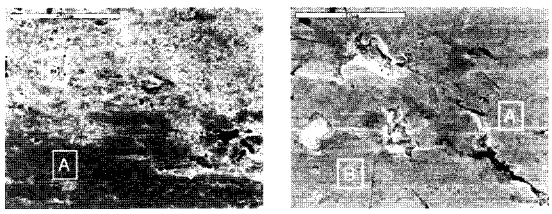

Fig. 8. SEM images on worn surface of counter material.

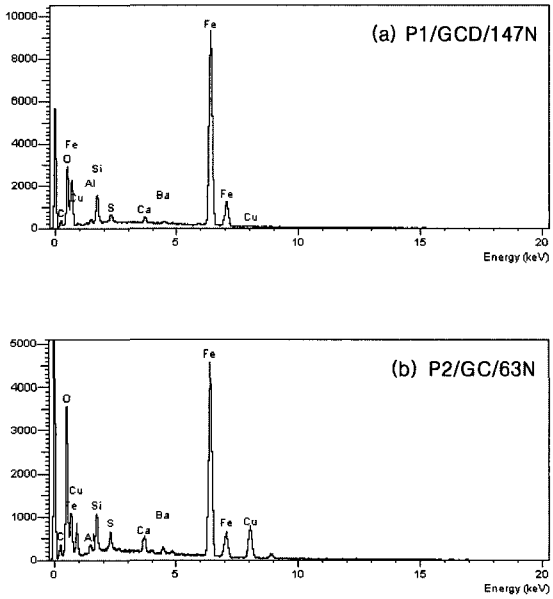

Fig. 9. Results of EDX analysis on worn surface of counter material.

인해 시편이 응착되고 상대재로 전이를 유발되었음[7]을 예측할 수 있다(B부위도 동일하나 이착량이 소량인 것으로 확인). 일반적으로 브레이크 마찰재와 접촉한 상대재의 마모면에는 film막층이 형성되어 마찰마모특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[7]. 이와 같이 클러치 마찰재의 경우도 이러한 film막층이 형성된다는 것을 알 수 있다. 이러한 film막층 형성은 Fig. 7에서 보듯이 63 N에서는 열전달능이 높은 P2/GC 조합의 경우는 현저하지 않으나 열전달능이 낮은 P1/GCD 조합에서는 다량으로 생성된 것을 알 수 있다. 또한 147 N에서는 어느 것도 전면을 덮고 있어 하중이 높아질수록 다량으로 생성됨을 알 수 있다. 이러한 마찰재의 마모면에 film막층의 형성은 일반적으로 표면의 산화 때문이며 이들이 형성되면 열확산을 방해하고 마찰재의 응착이나 전이를 유발하는 것으로 알려져 있다[7]. 결국 고하중시 다량으로 생성되는 것으로 미루어 전술한대로 하중이 높아질수록 마모면의 온도상승의 현저할수록 생성이 용이하다는 사실을 시사하는 결과로 생각된다. 특히 열전달능이 가장 낮은 조합인 P1/GCD 조합의 계면의 온도가 가장 상승하였음을 예측할 수 있다. 따라서 계면의 온도상승이 현저하면 film막층 형성을 촉진하므로 내마모성을 열악하게 하는

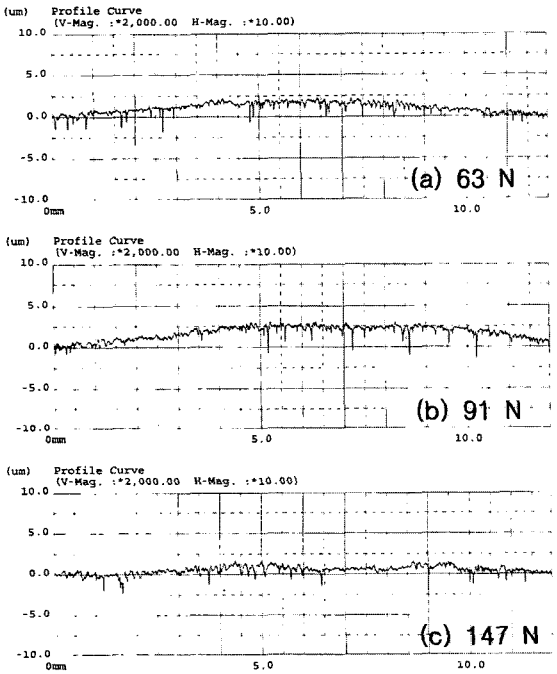

Fig. 10. Profile curves on worn track of GCD counter material (P1).

것으로 사료된다.

Fig. 10은 열전달능이 낮은 P1/GCD 조합의 하중에 따른 상대재 마모 track의 단면곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 어느 것도 돌출되어 마찰재에서 상대재로 상당량 전이되어 film막층으로 형성되어 있음을 알 수 있다. 그리고 하중 증가에 따라서 이들 film막층은 두꺼워지나 147 N에서는 오히려 감소하여 고온에서는 마찰재의 마모뿐만 아니라 film막층에서도 탈락이 일어남을 알 수 있다.

이러한 film막층의 형성에 대한 시편/상대재의 조합에 따른 정도차이는 없는 것으로 밝혀졌고 하중에 따른 film막층의 변화경향도 유사하였다.

4. 결 론

Cu함량이 상이한 2종류의 마찰재와 2종류의 플라이휠의 소재를 조합하여 각기 미끄럼 마모특성을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 클러치 마찰재의 마모특성은 마모가 적고 계면의 온도상승이 현저하지 않을 경우는 시편/상대재 조합과는 무관하다.

2) 클러치 마찰재의 마모에 대한 하중특성은 하중증가에 따라 마모율이 증가하는 경향이며, 시편의 Cu함유량이 많을수록, 구상흑연주철의 상대재보다 회주철의 상대재인 경우가 마모량이 적은 것으로 밝혀졌다.

3) 클러치 마찰재의 이러한 마모특성은 시편/상대재의 열전달능과 밀접한 관계가 있는 것으로 밝혀졌다. 결국 시편/상대재 공히 열전달능이 높은 조합이 내마모성에 유리하고 특히 시편의 열전달능이 높은 것이 효과가 큰 것으로 밝혀졌다.

4) 상대재 마모면에는 어느 것도 film 막층이 형성되고 이들은 하중증가에 따라 층이 두꺼워 지며 이 막층이 마찰재의 마찰?마모특성에 많은 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

참고 문헌

1. 평화발레오 기술연구소 내부자료

2. 정기영, "탄소섬유를 강화재로사용한 자동차용 마찰재의 마찰특성에 관한 연구," *고려대학교 석사학위 논문*, 1998.
3. 일본자동차기술회, "自動車のトライボロジ-," 121, 養賢堂, 일본, 1994.
4. 조민형, 장호, "자동차용 회주철 로터내의 편상흑연과 페라이트 형상에 따른 마찰특성에 관한 연구," *제30회 윤활학회 추계학술대회*, 49, 1999.
5. 佐田登志夫, "마모," *일본윤활학회 제7회 하기 세미나 강의록*, 1-12, 1972.
6. 양훈영, "신금속재료학," *문운당*, 319, 1993
7. N. Odani, M. Kobayashi and K. Kakihara, "Effects of Transferred surface Film on behavior of Disc brake pad in Humidity Environment," *SAE*, No. 1999-01-3391, 19-24, 1999.