

표면개질을 달리한 자동차 변속기어의 마멸특성 비교

류을현[†] · 조연상* · 김영희** · 박흥식***

[†] 동아대학교 대학원, **동아대학교 재료금속화학공학부,
***동아대학교 기계산업시스템공학부

Comparison of Wear Characteristics of Automobile Transmission Gear on Surface Modification

Ul-Hyun Ryu[†], Yon-Sang Cho*, Young-Hee Kim** and Heung-Sik Park***

Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

***Division of Metallurgical & Chemical Engineering, Dong-A University*

****Division of Mechanical & Industrial system Engineering, Dong-A University*

Abstract - The SCM420 used mainly to automobile transmission gear has problems that it costs transmission gear maker much money in carburizing treatment. For this, it needs to alternate the existing material and heat treatment to new gear material and surface modification. For this, friction and wear experiment according to sliding speed and applied load was carried out to evaluate the wear resistance of two transmission gear materials with oxidation nitrocarburising and non-oxidation nitrocarburising NT100. The presumed wear volume was calculated with the image processing for evaluation of wear resistance of two transmission gear materials. The results show that the oxidation nitrocarburising has a distinguished wear resistance than non-oxidation nitrocarburising.

Key words - Wear characteristics, Automobile transmission gear, Oxidation nitrocarburising, Non-oxidation nitrocarburising, Image processing, Wear volume

1. 서 론

자동차 변속기 기어의 설계 및 제작에 있어서는 높은 충격강도와 정숙성, 저진동 그리고 생산비용 저감 등이 요구되고 있다. 이러한 사항을 만족시키기 위해서 높은 내마멸성과 피로강도 등이 요구되며 일반적으로 트랜스미션 기어는 설계, 제작, 재료, 열처리, 조립 및 유행작용 등이 적절할 경우에는 장기간 동안 사용할 수 있다[1-2].

현재 자동차의 변속기 기어에 사용되는 소재의 표면개질 방법은 주로 침탄하여 사용하고 있지만 최근 환경문제와 고려해 볼 때 기존의 표면처리 방법인 침탄법은 처리시간과 다한 생산비용 등이 문제점으로 되어 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 보다 새로운 표면개질 방법이 필요하게 된다.

이를 위하여 본 연구에서는 기존의 기어 소재를 침탄에 의한 것과 새로운 기어 소재를 질화침탄한 것과의 내마멸성을 검토함으로써 기존의 표면개질 방법을 대체할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

질화침탄법은 침탄에 사용되는 오스테나이트화하기 위한 침탄온도(925℃) 보다 훨씬 낮은 질화침탄온도(580℃)에서 처리하기 때문에 처리 후 변형이 적고, 또한 표면개질 처리비용이 기존의 침탄법보다 저렴하다는 장점을 가지고 있다[3]. 질화침탄 처리에 있어서 또 하나의 처리 프로세스는 표면에 형성되는 산화물층의 형성을 인위적으로 가능하게 할 수 있는 특징이 있다. 상호 상대운동 하면서 마찰되는 두 마찰소재는 마찰면 온도의 상승과 함께 공기중의 산소와의 화학적 반응으로 표면에 얇은 산화물층이 형성된다. 마찰면에 형성되는 산화물층은 모지

금속보다 전단강도가 작기 때문에 마찰면에 윤활막을 만들어 마찰계수의 저하에 큰 기여를 하는 것은 알려진 현상이다.

따라서 표면개질시 인위적으로 이 산화물 층을 형성시키게 되면 초기의 마찰계수를 현저히 감소시켜 이 산화물의 영향이 계속되는 마찰시간에 걸쳐 이 영향을 지속적으로 유지할 수 있으리라 생각된다.

이를 위하여 최근 컴퓨터의 기술 발달과 더불어 급속도로 발전하고 있는 컴퓨터 영상처리 기술[4-6]을 적용하게 되면 매우 빠르고 간편하고 또한 직접 눈으로 관찰하는 것이 곤란한 작동중인 변속기 기어의 내마멸성을 해석적으로 평가할 수 있으리라 생각된다.

따라서 본 연구에서는 자동차 변속기 기어용 재료로 대체할 수 있는 소재인 질화강인 NT100을 표면에 산화처리 한 것과 하지 않은 것과의 마멸실험을 통하여 작동조건에 다른 기어의 마멸체적을 컴퓨터 영상처리를 통하여 마멸특성을 비교으로써 새로운 표면개질 방법을 제시하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험방법

2-1. 표면개질 처리

본 연구에 사용한 시편으로는 NT100이며, 이 재료의 화학 조성을 Table 1에, 기계적 성질은 Table 2에 나타내었으며, 이것은 제조회사에서 제공한 것이다. 여기서 NT100은 소량의 V이 0.33 % 함유되어 있다.

Fig. 1은 새로운 표면개질 방법인 질화침탄법의 열처리 사이클을 나타낸 것으로, 이것은 가스질화침탄(gaseous nitrocarburizing)한 것

Table. 2 Mechanical properties of materials

Material	NT100
Yielding point (kg/mm ²)	100
Tensile strength (kg/mm ²)	115
Percentage of elongation (%)	18
Percentage of contraction (%)	50
value of impact energy (kg · m/cm ²)	> 8
Hardness (HV)	890

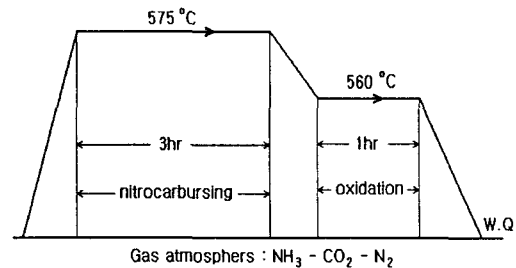
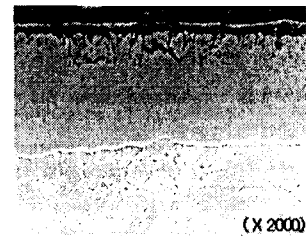
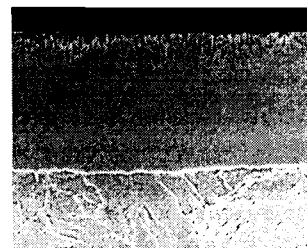


Fig. 1 Nitrocarburising cycle



(a)Oxidation



(b)Non oxidation

Fig. 2 Micrographs of non oxidation and oxidation NT100

Table. 1 Chemical composition of materials

Material	Chemical compositions (wt.%)							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V
NT100	0.17	1.05	0.3	0.016	0.005	1.05	1.05	0.33

으로, 575°C 에서 3시간 동안 60%NH₃-5%CO₂-35%N₂를 혼합한 가스분위기에서 실시하였다. 여기에 사용한 노는 상하부에 교반 fan이 부착된 피트형이며, 이의 크기는 500mmφ x1000mmH의 치수를 가지고 있으며, 총 유량은 1.2m³/hr으로 제어하였다. 질화침탄 후 560°C에서 1hr 동안 N₂ 가스분위기에서 후에 산화(oxidation)처리를 실시한 후 수냉하였다.

Fig. 2는 질화침탄한 NT100의 현미경 조직 사진을 나타낸 것으로, (a)는 최표면층이 2-3 μm 두께의 Fe₃O₄인 산화물층이며, 그 하부에는 Fe₃(CN)의 화합물층(compound layer)과 미량의 Fe₄N이며[3], 이의 두께는 26μm이다. 이 화합물층의 하부에는 미세한 기공이 형성되어 있다. 그리고 화합물층의 하부에는 원래의 모지(matrix)의 조직이다. 화합물층인 Fe₃(CN)은 내마멸성이 우수한 것[3]으로 알려져 있다. 그리고 (b)에는 표면의 산화물층을 제거한 현미경조직이다.

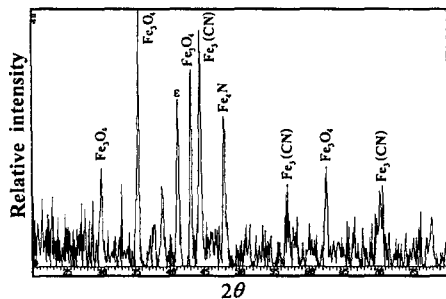


Fig. 3 XRD of nitrocarburising specimen

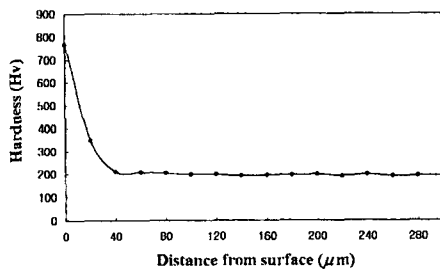


Fig. 4 Variation of hardness on distance from subsurface

Fig. 3은 질화침탄한 NT100의 표면 XRD 분석한 것으로 Fe₃O₄, Fe₃(CN) 및 Fe₄N으로 구성되어 있다. 그리고 Fig. 4는 질화침탄한 NT100의 표면하부로터의 경도변화(Hv)를 나타낸 것으로 표면 화합물층 Fe₃(CN)의 경도는 766이며, 표면층 하부의 20μm에서는 350정도이며, 그 하부의 40μm부터는 거의 모재의 경도 값을 나타내고 있다.

2-2. 윤활마찰·마멸 실험

본 연구에서는 표면개질 조건의 변화에 따른 변속기 기어 소재의 마멸특성의 비교를 위하여 볼 온 디스크(ball on disk)형 윤활마찰·마멸 실험장치를 사용하였다. 이는 실험재료인 디스크 시험편에 상대재료인 볼 시험편을 압착하여 마찰하는 것으로 볼은 직경 4.76 mm인 순도 99.7% 알루미나 세라믹스(Al₂O₃) 볼을 사용하였고, 디스크는 두 가지로 표면개질하여 산화처리 한 것과 표면의 산화물층을 제거한 것의 두 가지로 하였다. 이러한 디스크 시험편은 직경 50 mm, 두께 10 mm이며, 실험 전 정밀 연마기를 이용하여 표면조도를 0.2 μmRmax로 일정하게 하여 실험하였다.

실험에 사용한 윤활유는 자동차용 3중 SAE 75W인 기어오일을 사용하였으며, 시험편 접촉점 하부에 오일 배스(oil bath)를 설치하고 윤활유는 순환펌프로 시험편 접촉점에 공급하였다. 작용하중 조건은 2 kgf, 3 kgf, 4 kgf, 5 kgf 및 6 kgf으로 설정하였으며, 접촉부의 미끄럼속도를 2. m/min, 4 m/min, 6 m/min 및 8 m/min로 설정하였고, 미끄럼거리는 총 5,760 m(마찰시간 24hr)로 일정하게 하여 실험을 행하였다. 그리고 표면개질 조건을 달리한 두 시험편의 마멸특성을 비교하기 위한 마찰계수는 시험기의 볼 시험편 홀더에 스트레인 게이지(strain gauge)를 부착하여 이의 마찰력 신호를 PC내의 자체 구축한 마찰계수 측정 알고리즘을 이용하여 측정하였다. 실험 후 마찰면과 절단면은 광학현미경을 이용하여 사진촬영하였다.

3-2. 작동조건에 따른 마멸분 영상처리

윤활 마찰실험 후 발생된 시험편의 마멸분의 산화를 나타내 주는 광택도와 마멸체적을 계산하기 위하여 컴퓨터 영상처리를 행하였다. 이것은 실험조건 별로 채취한 윤활유 (20ml) 중의 마멸분을 마멸입자 채취여과기에 부착된 멤브레인 필터(공경 0.45 μm)로 채취하여 각 필터별로 컴퓨터 영상처리를 행하였다[7]. 컴퓨터 영상처리는 반사조명 및 투과조명의 2가지 할로겐 램프와 현미경 상부에 부착된 CCD 카메라에 의하여 관측된 영상은 컴퓨터내의 프레임 그래브(frame grabber)에 저장된다. 프레임 그래버는 화소수 640×480이고, 정방형 1 화소의 길이는 0.2445μm이다. 컴퓨터 영상처리 시스템의 프레임 그래버의 제어 및 이의 처리는 모두 C++언어(일부는 기계어)로 행하였다.

여기서 실험 후 총 마멸체적의 계산은 마멸입자의 두께를 대표경과 대등하다고 가정하고, 마멸입자의 면적에 이 대표경을 곱하여 총 마멸체적을 추정하였다. 여기서 대표경은 영상처리한 마멸분 한 개 면적의 평방근[7]을 의미한다. 즉, 마멸체적은 마멸분이 분포되어 있는 1 화면내의 하나의 마멸입자 체적을 V_{ij} 라 하고, 1 화면내의 입자개수를 n 으로 두었을 때 20화면 전체의 총 마멸체적 V_t 를 식 (1)로부터 구하였다.

$$V_t = \left(\sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^n V_{ij} \right) \quad (1)$$

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 초기 미끄럼거리에 따른 마찰계수

Fig. 5는 미끄럼거리에 따른 산화처리 한 시험편과 산화처리 하지 않은 시험편과의 미끄럼거리 변화에 따른 평균 마찰계수를 나타낸 것이다. 본 연구에서 행한 총 미끄럼거리는 5,760m 이지만 산화물층의 영향을 조사하기 위하여 960m(마찰시간 4hr)까지의 결과를 나타낸 것이다. 초기 미끄럼거리의 증가에 따라 마찰계수는 산화처리한 시험편

(A)과 산화처리 하지 않은 시험편(B) 모두 대체로 상승하고 있다. 그리고 마찰계수는 A에 비하여 B가 다소 낮은 값을 가진다는 것을 알 수 있다. 이것은 산화처리 한 시험편이 Fig. 2의 현미경 조직에서처럼 표면에 형성된 Fe_3O_4 의 산화물층이 형성되어 있어, 이것이 윤활막을 형성하여 마찰계수에 영향을 미친 결과라고 생각된다. 마찰면에 형성된 이 산화물층의 두께는 거의 2-3μm 정도 이므로 볼 시험편에 의한 이 산화물층의 파괴는 미끄럼거리 초기에서 대부분 탈락될 것으로 생각되지만 이 산화물층의 영향은 계속되는 미끄럼거리에 영향을 미친다고 생각된다. 따라서 마찰면에 인위적으로 산화물층을 형성하게 하면 마찰계수의 저감에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 시험편 A와 B의 미끄럼거리 240m에서의 마찰면의 사진을 나타낸 것이다. 그림에서 (a)는 산화처리 한 것이고 (b)는 산화처리 하지 않은 것이다. 그림에서 (a)의 경우는 마찰트랙에 얇은 산화물층이 남아있고, (b)는 트랙방향으로 정상적인 마찰흔적을 나타내고 있다.

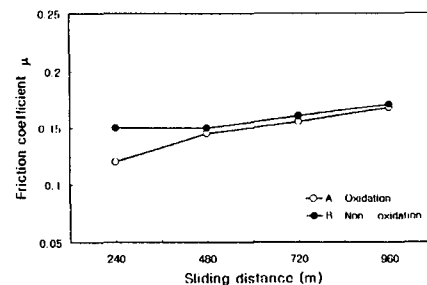


Fig. 5 Relation between friction coefficient and sliding distance

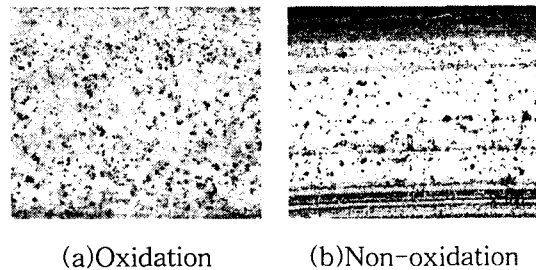


Fig. 6 Photographs of worn surface on nitrocarburising

3-2. 작동조건에 따른 마찰계수

Fig. 7은 각 미끄럼속도에서 작용하중의 변화에 따라 (a)산화처리한 것과 (b)산화처리 하지 않은 것의 마찰계수를 나타낸 것이다. 그림 (a)와 (b) 모두 작용하중의 증가와 함께 각 미끄럼속도에서 마찰계수는 대체로 상승하지만 작용하중이 6kg에서는 다시 감소하고 있다는 것을 볼 수 있다. 또한 미끄럼속도의 증가와 함께 대체로 마찰계수는 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 표면개질 조건을 달리한 (a)산화처리한 것의 마찰계수가 (b)산화처리 하지 않은 것에 비하여 낮은 값을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 작용하중이 증가에 따라 볼 시험편에 대한 디스크 시험편의 접촉면적이 증가함에 따라 마찰저항이 크게 작용한 것으로 생각되며, 작용하중이 6kg이 되면 접촉압력의 증가로 인하여 $Fe_3(CN)$ 의 표면화합물층이 완전히 제거되고 경도가 낮은 모재 부분이 마찰된 결과라고 생각된다.

그리고 미끄럼속도가 증가하면 마찰계수가 대체로 감소하는 것은 미끄럼속도의 증가에 따라 마찰면의 온도상승으로 인한 마찰면의 연화와 산화물의 윤활막 효과의 영

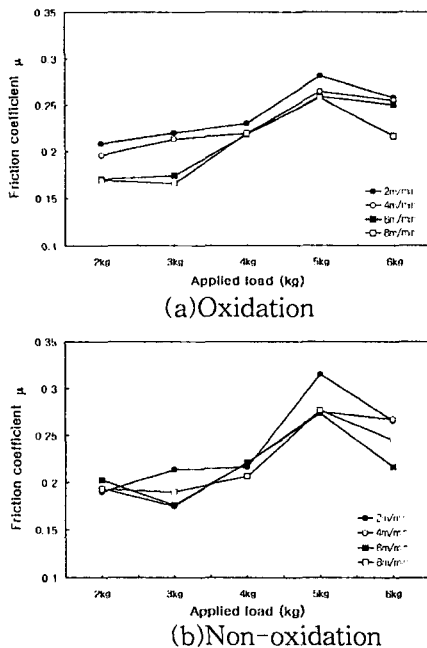


Fig. 7 Relation between friction coefficient and oxidation and non-oxidation processing

향으로 생각된다. 한편 표면개질을 달리한 (a)산화처리한 것의 마찰계수가 (b)산화처리 하지 않은 것에 비하여 대체로 낮은 값을 나타내는 것은 초기에 형성된 Fe_3O_4 산화물층의 역할이 작용한 것으로 생각된다.

Fig. 8은 미끄럼속도 6m/sec에서의 산화처리한 시험편의 작용하중 (a)3kg과 (b)6kg에서의 마찰면을 나타낸 것이다. 그림에서 (a)의 경우는 마찰트랙 방향으로 얇은 산화물이 덮혀 있으며, (b)6kg의 경우는 마찰트랙 방향에 abrasive 마멸과 미세한 crack이 형성되어 있는 것을 볼 수 있다.

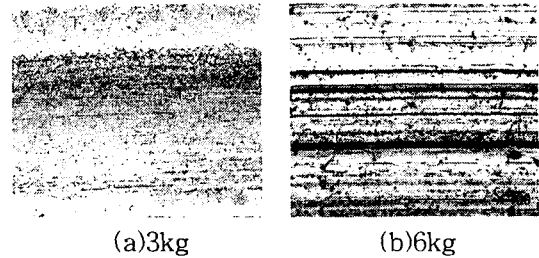


Fig. 8 Photographs of worn surface of oxidation process specimen

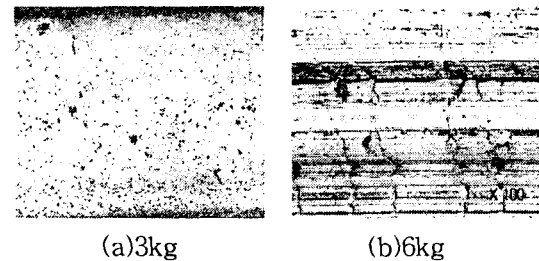


Fig. 9 Photographs of worn surface of non-oxidation process specimen

Fig. 9은 미끄럼속도 6m/sec에서의 산화처리 하지 않은 시험편의 작용하중 (a)3kg과 (b)6kg에서의 마찰면을 나타낸 것이다. 그림에서 (a)의 경우는 응착마멸이 진행되고 있지만 (b)6kg의 경우는 Fig. 8의 (b)에서와 같이 abrasive 마멸과 함께 마찰트랙과 직교 또는 임의 각도를 가진 방향으로 심한 crack이 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 8과 Fig. 9의 작용하중 6kg의 경우는 마찰면에 crack이 형성되어 있는 것은 작용하중의 증가에 따라 표면의 화합물층이 거의 탈락되어 경도가 작은 모지금속을 볼

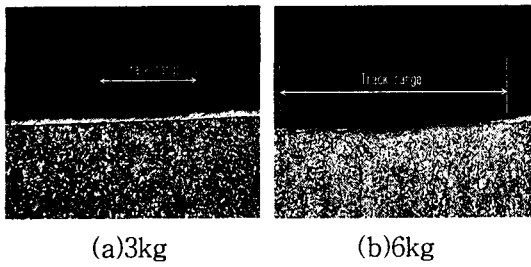


Fig. 10 Photographs of wear track range worn surface on applied load

시험편이 마찰한 것이므로 Fig. 7의 마찰계수의 저하와 함께 마멸이 급격하게 진행되고 이로 인하여 표면 하부에 급격한 소성변형이 진행된 것으로 생각된다.

Fig. 10은 미끄럼속도 6m/sec에서의 산화처리한 시험편의 작용하중 (a)3kg과 (b)6kg에서의 마찰면의 단면을 절단하여 나타낸 것이다. 그림에서 (b)의 6kg의 경우는 (a) 3kg 경우보다 마찰트랙이 거의 두 배정도로 폭 넓게 진행되어 있고, 또한 마멸깊이도 (a)의 경우 보다 표면 화합물층 Fe₃(CN)의 대부분이 파괴되어 모지 부분까지 마멸이 진행된 것을 볼 수 있다. 이 결과로부터 작용하중이 6kg이 되면 본 실험에서 설정한 총 마찰 시간에서 표면개질층의 대부분이 파괴되어 표면개질 효과는 거의 없어진다는 것을 나타내고 있다.

따라서 표면개질 효과를 충분히 유지하기 위해서는 작동조건에 따른 표면 화합물층의 두께의 설정이 필요할 것으로 생각된다.

3-3. 작동조건에 따른 마멸분의 광택도

윤활마찰 실험에서 작동조건의 변화에 따른 마찰면의 광택도를 알기 위하여 컴퓨터 영상처리를 행하였다. 이것은 작동조건의 변화에 따라 마찰면에 형성되는 산화층의 유무정도를 간접적으로 나타내 줄 수 있다고 생각된다.

Fig. 11은 작용하중 4kg에서 미끄럼속도의 변화에 따른 산화처리 한 시험편과 산화처리 하지 않은 시험편의 광택도 변화를 나타낸 것이다. 미끄럼속도의 증가에 따라 두 시험편 재료 모두 광택도값이 감소하며, 두

시험편의 광택도는 대체로 유사한 값을 나타내고 있다. 미끄럼속도의 증가에 따라 광택도가 저하하는 것은 미끄럼속도의 증가하면 마찰면 온도가 상승하여 윤활유의 산화가 조속히 일어나고 마찰면도 산화반응이 활성화되어 마멸분의 산화가 조속히 진행된 것으로 생각된다.

Fig. 12는 작용하중 3kgf, 미끄럼속도 4m/min에서 총 미끄럼거리(5,760m)의 변화에 따른 산화처리 한 시험편과 산화처리 하지 않은 시험편의 광택도 변화를 나타낸 것이다. 미끄럼거리의 증가에 따라 두 시험편 모두 광택도는 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 Fig. 10의 미끄럼속도 증가에 따라 광택도가 감소하는 것과 동일한 결과라고 생각된다. 그리고 산화처리한 시험편의 경우가 산화처리 하지 않은 시험편 보다 광택도가 대체로 작은 값을 가지며 미끄럼거리가 증가하게 되면 거의 같은 값을 가진다는 것을 알 수 있다.

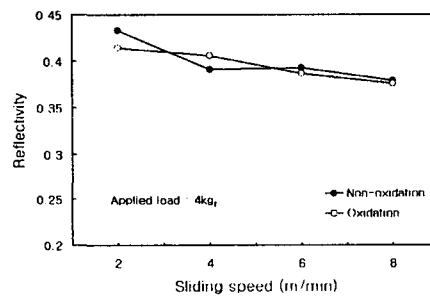


Fig. 11 Effect of reflectivity on sliding speed

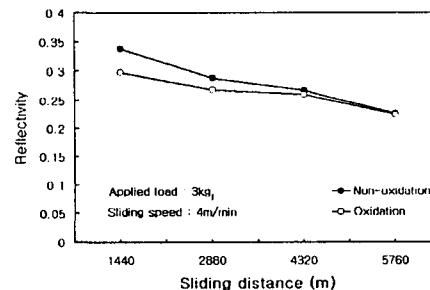


Fig. 12 Effect of reflectivity on sliding distance

3-4. 미끄럼거리에 따른 마멸량 비교

Fig. 13은 작용하중 3kgf, 미끄럼속도 4m/

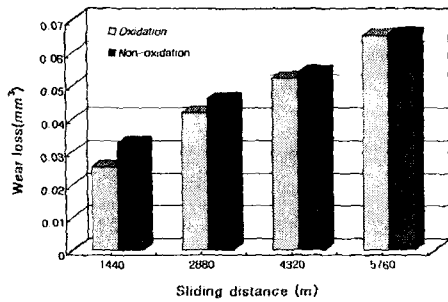


Fig. 13 Wear loss on sliding speed, (applied load : 4kgf, sliding speed : 4m/min)

min에서 총 미끄럼거리(5,760m)에 따라 산화처리한 시험편과 산화처리 하지 않은 시험편의 추정 마멸체적을 나타낸 것이다. 이것은 컴퓨터 영상처리를 통하여 구한 대표경으로부터 실험에 사용된 기어오일 100ml내의 전체 마멸체적을 식 (1)로부터 구하였다. 산화처리한 시험편이 산화처리 하지 않은 시험편보다 추정 추정 마멸체적이 미끄럼거리가 초기에서 뚜렷한 차이를 나타내지만 미끄럼거리가 증가함에 따라 이 차이는 점차 감소하여 미끄럼거리 5,760m에서는 거의 유사한 마멸체적을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 산화처리한 시험편의 Fe_3O_4 의 산화물층이 초기마멸을 감소시키는 역할을 하고 있다고 생각되며, 미끄럼거리가 증가하여 이 산화물층의 제거가 이루어지면 그 영향은 없어진다는 것을 나타내 주고 있다.

따라서 자동차 변속기의 기어소재의 표면 개질시 표면에 산화물층을 형성시키게 되면 마찰특성의 개선에 큰 영향을 나타내주고 있다는 것을 알 수 있으며, 이 산화물층의 두께는 작동조건에 따라 선택할 필요가 있다고 생각된다.

4. 결 론

자동차 트랜스미션 기어재료로 주로 사용되는 새로운 소재인 질화침탄한 NT100의 산화처리한 것과 하지 않은 것과 마멸특성을 비교하기 위하여 다양한 작동조건하에서 윤활 마찰실험을 행한 결과 다음과 같은 결

론을 얻었다.

1. 산화처리에 의한 Fe_3O_4 의 산화물층은 초기 마찰계수를 감소시키는 역할을 한다.
2. 산화처리한 시험편이 작용하중의 변화에도 산화처리 하지 않은 시험편에 비하여 마찰계수는 감소한다.
3. 미끄럼속도에 관계없이 작용하중이 6 kgf이 되면 표면흡착층의 영향은 없어진다.
4. 미끄럼속도와 미끄럼거리가 증가하면 마찰면의 표면온도 상승으로 산화반응이 조속히 일어나 마멸입자의 광택도가 감소한다.
5. 미끄럼거리의 증가에 따른 총 마멸체적은 산화처리한 시험편이 우수한 내마멸성을 갖는다.

후 기

본 연구는 한국과학재단(kosef) 지정 신소재 공청정공정개발연구센터(R12200205802 00402003)지원으로 수행되었습.

참고문헌

1. 박순철, "기어의 손상과 대책," 월간기계 설계, pp.44-54, 1990.
2. Y. Ko et al, "Measurements of Power Losses in Automobile Drive Train," SAE, Paper, 840054.
3. T. Bell, "Gaseous and Plasma Nitrocarburising," ASM Handbook, Vol.4, ASM International, pp.425-436, 1991
4. W. W. Siefert and V. C. Westcott, "A Method for the Study of Wear Particles in Lubricating Oil," Wear, 21, pp.27- 42, 1972.
5. A. D. H. Thomas, T. Gavies, and A. R. Luxmoore, "Computer Image Analysis for Identification of Wear Particles," Wear, 142, pp.213-226, 1991.
6. B. J. Roylance, I. A. Albidewi and M. S. Laghari, "Computer-Aided Vision Engineering

(CAVE)-Quantification of Wear Particles Morphology” , Lubr., Eng.,50, pp.111-116, 1993

7. 서영백, 박홍식, 전태옥, 김형자, “화상처리에 의한 기계윤활운동면의 마멸분 형태해석” , 한국윤활학회지, 제12권,제3호, pp.72-78, 1996.