

표면개질에 따른 자동차 트랜스미션 기어의 내마멸성 평가

박재상[†] · 류을현 · 김동호* · 김영희** · 박흥식***[‡]

동아대학교 대학원, *문경대학 컴퓨터응용기계설계학과,
동아대학교 재료금속화학공학부, *동아대학교 기계산업시스템공학부

Wear Resistance Evaluation of Automobile Transmission Gear on Surface Modification

Jae-Sang Park[†], Ul-Hyun Ryu, Dong-Ho Kim*, Young-Hee Kim** and Heung-Sik Park***[‡]

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

*Computer Aided Mechanical Engineering, Munkyeong College

**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 carburising SCM420 and 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 nitrocarburising NT100 has a distinguished wear resistance than carburising SCM420.

Key words – wear resistance, automobile transmission gear, carburising, nitrocarburising, image processing, 50% volume diameter, wear volume.

1. 서 론

자동차 트랜스 미션기어의 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 기어의 설계, 제작, 재료, 열처리, 조립 및 윤활작용 등이 적절할 경우에는 장기간 동안 사용할 수 있다[1-2].

현재 자동차의 트랜스미션 기어에 사용되는 소재의 표면개질 방법은 주로 침탄하여 사용하고 있지만 최근 환경문제와 고려해 볼 때 기존의 표면처리 방법인 침탄법은 처리시 증기의 발생과 냉각제의 처리와 과도한 생산비용 등이 문제점으로 되어 있다. 따라서 이러한

문제점을 해결하기 위하여 보다 새로운 표면개질 방법이 필요하게 된다.

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

질화침탄법은 침탄에 사용되는 오스테나이트화하기 위한 침탄온도(925°C) 보다 훨씬 낮은 질화침탄온도(580°C)에서 처리하기 때문에 처리 후 변형이 적고, 또한 표면개질 처리비용이 기존의 침탄법보다 저렴하다는 장점을 가지고 있다[3].

이와 함께 일반적으로 트랜스미션의 기어의 작동 중 이상마멸 상태를 진단하기 위하여 진동측정과 이때의 동력전달효율을 구하기 위한 입력축과 출력축 사이의 토크 측정을 행하고, 시험기간 완료 후에는 트랜스미션을 분해하여 기어들을 직접 조사함으로써 피팅의 진행

[†]주저자 : sang692@hanmail.net

[‡]책임저자 : parkhs@daunet.donga.ac.kr

및 기어의 파손정도를 파악하고 있는 실정에 있다.

그러나 이러한 방법들은 기어의 손상상태 평가에 많은 시간이 소요되고, 또한 측정 및 관찰된 데이터를 분석하기 위하여 숙련된 기술자나 전문가의 지식을 필요로 할 뿐만 아니라 이러한 데이터들은 정성적인 데이터의 범위에 지나지 않기 때문에 명확한 분석을 위한 자료의 정립이 매우 곤란하여 보다 새로운 기어의 손상상태 평가 기법이 요구되고 있다.

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 트랜스미션 기어의 내마멸성을 해석적으로 평가할 수 있으리라 생각된다.

따라서 본 연구에서는 자동차 트랜스미션 기어용 재료로 사용되는 SCM420을 가스침탄한 것과 새로운 기어 소재인 질화강인 NT100을 질화침탄하여 사용하였으며, 작동조건에 따른 기어의 마멸체적을 컴퓨터 영상처리를 통하여 내마멸성을 조사함으로써 기존의 소재 및 표면개질 방법을 대체하기 위한 기초자료를 얻는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험방법

2-1. 기어재료 및 표면개질 처리

본 연구에 사용한 시편으로는 SCM420과 NT100이

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 |
| SCM420 | 0.20 | 0.65 | 0.3 | 0.016 | 0.005 | 1.10 | 0.21 | - |

Table 2. Mechanical properties of materials

| Material | NT100 | SCM420 |
|--|--------------------------------------|--------|
| | Yielding point (kg/mm ²) | 100 |
| Tensile strength (kg/mm ²) | 115 | 100 |
| Percentage of elongation (%) | 18 | 12 |
| Percentage of contraction (%) | 50 | 45 |
| value of impact energy (kg · m/cm ²) | > 8 | > 6 |
| Hardness (HV) | 890 | 800 |

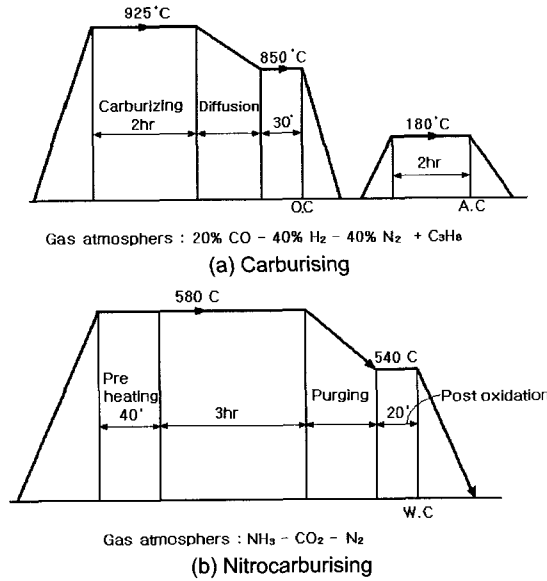
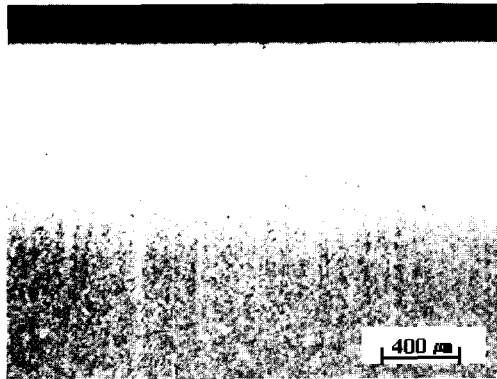


Fig. 1. Heat treatment cycle of carburising and nitrocarburising.

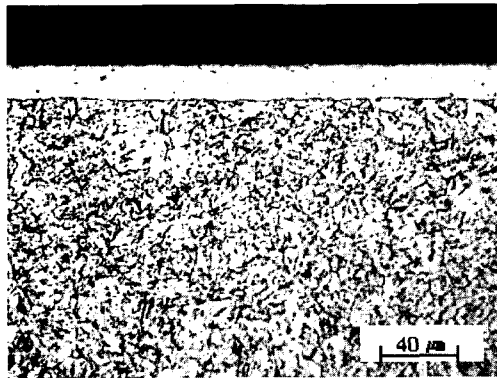
며, 이들 두 재료의 화학 조성을 Table 1, 기계적 성질은 Table 2에 나타내었으며, 이것은 제조회사에서 제공한 것이다. 여기서 NT100은 SCM420보다 소량의 V이 0.33% 함유되어 있다.

Fig. 1은 기존의 표면개질 방법인 침탄법과 질화침탄법의 열처리 사이클을 나타낸 것으로, (a) 침탄법의 경우는 오스테나이트 온도 925°C에서 2시간 동안 endothermic(20%C-40%H₂-40%N₂) 가스 분위기 중에서 C₃H₈를 첨가하여 탄소포텐셜(carbon potential)을 0.8%C에 도달하도록 자동제어장치가 부착된 밀봉 담금질 노에서 실시하였다. 침탄 후 850°C까지 확산 처리하면서 냉각 후 이 온도에서 30분 유지한 다음 30°C의 담금질 오일속에 냉각하였다. 그리고 180°C에서 2시간 동안 뜨임한 후 공냉하였으며, 여기서 생성된 침탄층의 깊이는 1.2 mm이다. (b) 질화침탄법은 가스질화침탄(gaseous nitrocarburizing)한 것으로, 580°C에서 3시간 동안 60%NH₃-5%CO₂-35%N₂를 혼합한 가스분위기에서 질화침탄을 실시하였다. 여기에 사용된 노는 상하부에 교반 fan이 부착된 피트형이며, 이의 크기는 500 mmφ × 1000 mmH의 치수를 가지고 있으며, 총 유량은 1.2 m³/hr으로 제어하였다. 질화침탄 후 540°C까지 N₂ 가스분위기에서 후 산화(post oxidation)을 실시한 후 공냉하였다.

Fig. 2는 (a) 침탄한 SCM420과 (b) 질화침탄한



(a) SCM420



(b) NT100

Fig. 2. Micrographs of carburising SCM420 and nitro-carburising NT100.

NT100의 현미경 조직사진을 나타낸 것이다. 침탄한 SCM420의 침탄층은 백층부분이 고탄소 마르텐사이트이며, 그 하부에는 저탄소 마르텐사이트로 구성되어 있다. 그리고 질화침탄한 NT100의 백층부분은 $Fe_3(CN)$ 의 화합물층(compound layer)[3]이며, 이의 두께는 $20 \mu m$ 이다. 이 $Fe_3(CN)$ 의 화합물층은 내마멸성이 우수한 것으로 알려져 있다[3].

2.2. 윤활마찰 · 마멸 실험

본 연구에서는 트랜스미션 기어 소재의 내마멸성의 검토를 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 mm 인 순도 99.7% 알루미늄 세라믹(Al_2O_3) 볼을 사용하였고, 디스크는 침탄한 SCM420과 질화침탄한 NT100으로 이들은 직경 50 mm , 두께 10 mm 이며, 디스크 시험편은 정밀 연마

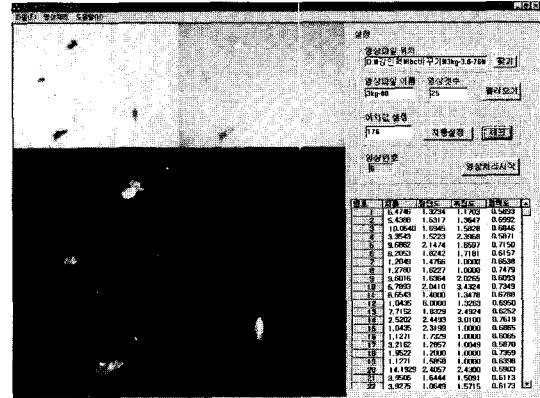


Fig. 3. Image processing program.

기를 이용하여 표면조도를 $0.2 \mu m R_{max}$ 로 일정하게 하여 실험하였다.

실험에 사용한 윤활유는 자동차용 3종 SAE 75W인 기어오일을 사용하였으며, 시험편 접촉점 하부에 오일 베스(oil bath)를 설치하고 윤활유는 순환펌프로 시험편 접촉점에 공급하였다. 작용하중 조건은 2.5 kg , 5 kg , 7.5 kg 및 10 kg 으로 설정하였으며, 접촉부의 미끄럼 속도를 2.827 m/min , 5.654 m/min , 8.482 m/min 및 11.309 m/min 로 설정하였고, 미끄럼거리는 총 $1,018 \text{ m}$ 로 일정하게 하여 실험을 행하였다.

2.3. 마멸분의 컴퓨터 영상처리

Fig. 3은 윤활 마찰실험 후 발생한 침탄한 SCM420과 질화침탄한 NT100의 마멸분의 형태적 특징과 마멸체적을 계산하기 위한 컴퓨터 영상처리한 결과를 나타낸 것이다. 이것은 실험조건 별로 채취한 윤활유(20 ml) 중의 마멸분을 마멸입자 채취여과기에 부착된 멤브레인 필터(공경 $0.45 \mu m$)로 채취하여 각 필터별로 컴퓨터 영상처리를 행하였다. 컴퓨터 영상처리는 반사 조명 및 투과조명의 2가지 할로겐 램프와 현미경 상부에 부착된 CCD 카메라에 의하여 관측된 영상은 컴퓨터내의 프레임 그래브(frame grabber)에 저장된다. 프레임 그래버는 화소수 640×480 이고, 정방형 1 화소의 길이는 $0.2445 \mu m$ 이다. 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 평

방근[7]을 의미한다.

즉, 마멸체적은 마멸분이 분포되어 있는 1 화면내의 하나의 마멸입자체적을 V_{ij} 라 하고, 1 화면내의 입자개수를 n 으로 두었을 때 20화면 전체의 총 마멸체적 V_i 를 식 (1)로부터 구하였다.

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

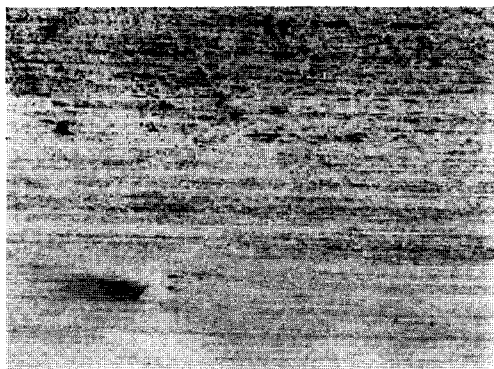
3. 결과 및 고찰

3-1. 작용하중에 따른 마찰면의 변화

Fig. 4는 미끄럼속도 11.309 m/min의 경우, 침탄한 SCM420과 질화침탄한 NT100의 작용하중 2.5 kg의 마찰면을 나타낸 것으로 침탄한 (a) SCM420의 경우 부분적으로 윤활유가 부착되고 산화된 흔적과 마찰트랙 방향으로 응착마멸이 지배적으로 작용하고 있으며, 질화침탄한 (b) NT100의 경우는 산화마멸도 진행되어

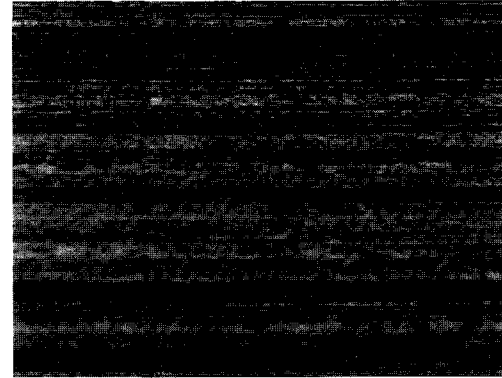


(a) SCM420

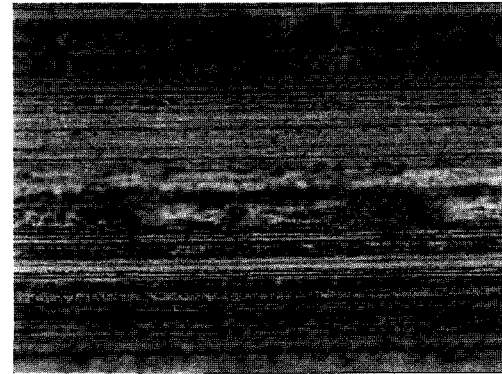


(b) NT100

Fig. 4. Photos. of worn surface for carburising SCM420 and nitrocarburising NT100, applied load : 2.5 kg.



(a) SCM420



(b) NT100

Fig. 5. Photos. of worn surface for carburising SCM420 and nitrocarburising NT100, applied load : 7.5 kg.

있지만 전체의 마찰면에는 응착마멸의 영향은 적다는 것을 볼 수 있다.

Fig. 5는 작용하중 7.5 kg, 미끄럼속도 11.309 m/min에서 침탄한 (a) SCM420과 질화침탄한 (b) NT100의 마찰면을 나타낸 것이다. SCM420은 마찰트랙 방향으로 깊은 홈이나 있는 연삭마멸이 지배적으로 작용한 것을 알 수 있지만, NT100의 마찰면은 연삭마멸과 응착마멸이 혼재하여 존재하고 있다. 그러나 연삭마멸에 의한 홈(groove)은 SCM420보다 얕다는 것을 알 수 있다. 그리고 각 작용하중에서 두 재료 모두 마찰면의 산화는 일어나지만 특히 침탄한 SCM420이 질화침탄한 NT100보다 각 작용하중에서 마찰면의 산화가 더 진행된 것을 알 수 있다. 이것은 질화침탄한 NT100이 표면층에 형성된 내마멸성이 우수한 화합물층 (Fe_3CN)의 영향[3]으로 마찰면 온도상승에 의한 산화가 침탄한 SCM420보다 훨씬 적게 진행된 결과라고 생각된다.

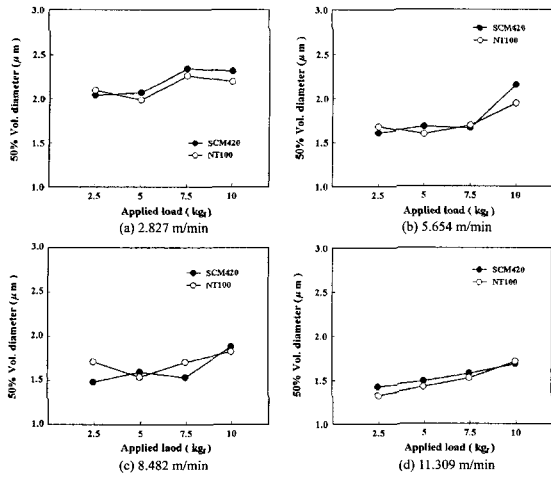


Fig. 6. Variation in 50% volume diameter with applied load for sliding speed.

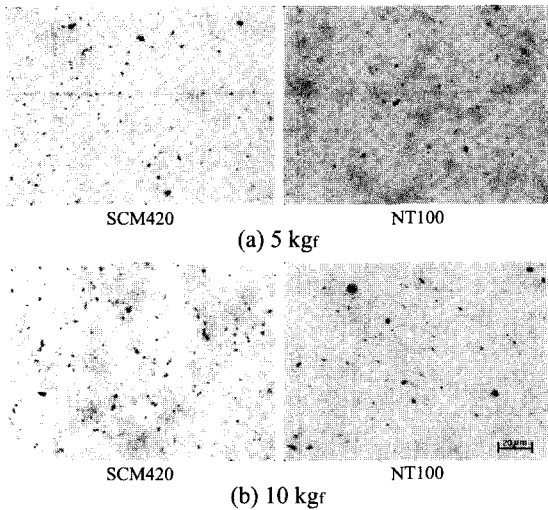


Fig. 7. Photograph of wear debris on applied load for each materials, sliding distance; 60 rpm.

3-2. 표면개질에 따른 마멸분 크기

Fig. 6은 각 미끄럼속도에서 두 시험편 재료의 작용 하중에 따른 50%체적경의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 50%체적경은 영상처리에 의하여 전체의 마멸분 체적에서 50%의 체적을 갖는 직경[7]을 의미한다. 각 미끄럼속도에서 작용하중의 증가에 따른 50%체적경은 대체적으로 증가하고 있다. 이것은 작용하중이 증가하게 되면 응착마멸이 지배적으로 작용하게 되고, 이로 인하여 마찰면의 전단강도 저하로 큰 마멸입자의 탈락이 이루어진 결과라고 생각된다. 그리고 미끄럼속도가 증가하면 마찰면의 온도상승에 의한 산화마멸에 의하여

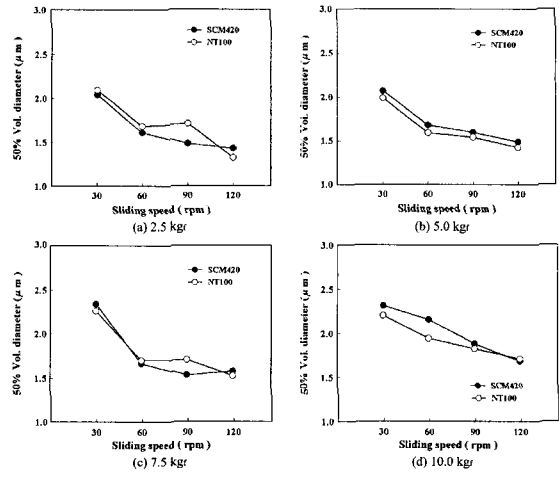


Fig. 8. Variation in 50% volume diameter with sliding speed.

50%체적경은 점차로 작아지고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 미끄럼속도 5.654 m/min에서 침탄한 SCM420과 질화침탄한 NT100의 두 재료의 작용하중에 따른 마멸입자를 나타낸 것으로 작용하중의 증가와 함께 마멸입자의 크기도 크며, 그 수도 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 두 재료 모두 마멸입자는 산화된 마멸분이 많이 형성되어 있다. 특히 (b) 10 kg의 경우는 침탄한 SCM420의 경우는 마멸입자는 입자의 크기도 크고 금속광택을 가지는 입자도 볼 수 있다. 이 결과로부터 침탄한 SCM420에 비하여 질화침탄한 NT100의 마멸분 수가 적다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 각 작용하중에서 침탄한 SCM420과 질화 침탄 처리한 NT100의 두 재료의 미끄럼 속도에 따른 마멸입자의 50%체적경을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 각 작용하중에서 미끄럼속도가 증가함에 따라 50% 체적경이 감소하고 있다. 이것은 미끄럼속도 증가에 따라서 마멸입자 수와 크기가 작아진다는 것을 나타낸다. 이와 같이 미끄럼속도가 증가할수록 50%체적경이 작아지며, 또한 마멸입자 수도 적게 발생되는 것은 마찰면의 온도상승에 따른 엔진오일의 점도가 저하된 영향으로 생각된다.

Fig. 9는 작용하중 5 kg에서 침탄한 SCM420과 질화침탄한 NT100의 두 재료의 미끄럼속도 (a) 2.827 m/min 및 (b) 8.482 m/min에서의 마멸분을 나타낸 것이다. 그림에서 침탄한 SCM420이 질화침탄한 NT100 보다 입자 수도 많고, 산화된 마멸입자로 구성되어 있다는 것을 알 수 있다.

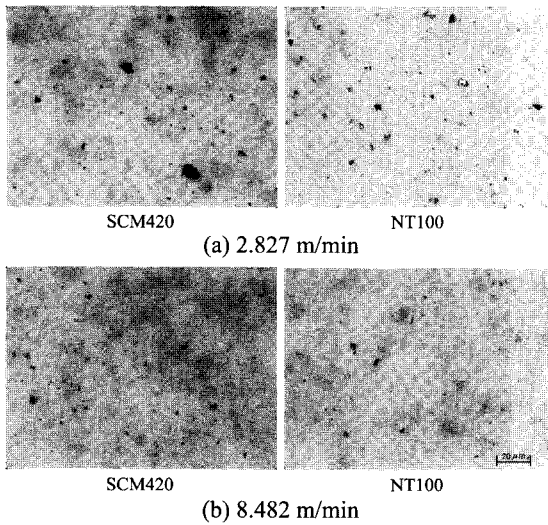


Fig. 9. Photographs of wear debris for sliding speed, applied load; 5 kg.

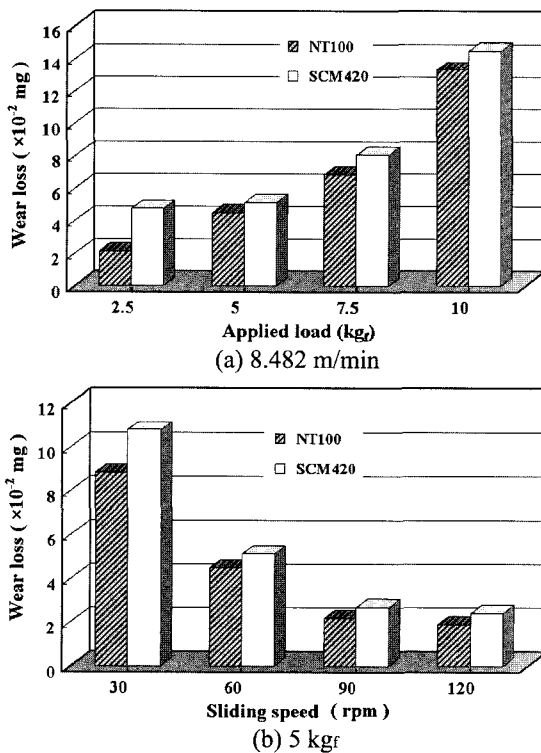


Fig. 10. Wear loss on applied load and sliding speed for gear materials.

3-3. 작동조건에 따른 마멸량 추정

Fig. 10은 미끄럼속도 (a) 8.482 m/min에서 작용하

중에 따른 마멸체적과 (b) 5 kg에서 미끄럼속도 증가에 따른 마멸체적을 나타낸 것이다. 이것은 침탄한 SCM420과 질화침탄한 NT100의 두 재료에 대하여 영상처리를 통하여 구한 대표경으로부터 실험에 사용된 기어오일 100 m³내의 전체 마멸체적을 식 (1)로부터 구하였다. (a) 8.482 m/min에서는 작용하중이 증가함에 따라 침탄한 SCM420과 질화침탄 처리한 NT100의 두 재료 모두 마멸체적이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 진술한 바와 같이 접촉부의 접촉압력 증가와 접촉부의 온도 상승에 의한 전단강도 저하로 인하여 마멸입자가 많아진 결과라고 생각된다. 그리고 (b) 5 kg에서 미끄럼속도에 따른 침탄한 SCM420과 질화침탄한 NT100의 두 재료의 전체 마멸체적은 저속영역에서 많지만 미끄럼속도의 증가에 따라 마멸체적이 감소하고 있음을 알 수 있다.

이 결과로부터 침탄질화한 NT100이 침탄한 SCM420 보다 모든 작동조건에서 마멸체적이 적게 나타난다는 것을 알 수 있다.

이것은 트랜스미션 기어 소재로서 NT100을 침탄질화 처리를 통해 표면개질함으로써 기존의 SCM420 보다 내마멸성을 크게 높인 NT100의 특성을 잘 나타내준다고 생각된다.

4. 결 론

자동차 트랜스미션 기어재료로 주로 사용되는 침탄한 SCM420과 새로운 소재인 질화침탄한 NT100의 내마멸성을 검토하기 위하여 다양한 작동조건하에서 윤활 마찰실험을 행한 후 이때 발생된 마멸분을 채취하여 컴퓨터 디지털 영상처리를 통해 각 마멸분의 형태특성과 마멸체적을 추정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 침탄한 SCM420과 질화침탄한 NT100 모두 작용하중이 증가함에 따라 마멸입자의 크기가 크며, 미끄럼속도의 증가에 따라서 마멸분의 입자 수와 크기가 작아진다.
2. 질화침탄한 NT100이 침탄한 SCM420 보다 산화반응 속도다 늦다.
3. 질화침탄한 NT100이 침탄한 SCM420 보다 내마멸성이 우수하다.
4. 컴퓨터 영상처리를 통하여 트랜스미션 기어의 누적 마멸체적의 추정이 가능하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단(kosef) 지정 신소형재 가공 청정 공정개발 연구센터(R12-2002- 004-02-003)지원으로 수행되었습.

참고문헌

1. 박순철, “기어의 손상과 대책,” 월간기계설계, 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 Nitrocar-burising,” 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, 전태욱, 김형자, “화상처리에 의한 기계윤활운동면의 마멸분형태 해석,” 한국윤활학회지, 제12권, 제3호, pp.72-78, 1996.