

자동차 트랜스미션 기어의 손상과정 평가

배효준*, 조연상(동아대원), 이충엽(동의공업대), 서영백, 박홍식(동아대)

Damage Process Appraisal of Gears in Automobile Transmission

Abstract - It is the effective method to diagnosis damage process of gear system such as automobile transmission to observe wear particle in gear oil. We tested with new transmission and took out gear oil according to drive distance. 4 shape parameters of wear particles in gear oil were calculated and wear volume were presumed with the image processing system. To be applied to damage diagnosis of gear system in transmission of automobile, we discuss number of wear particles, shape characteristics and total wear volume according to driving distance.

Key words - Transmission(트랜스미션), Gear(기어), Wear particle(마멸입자), 4 Shape parameter (4가지 형태 파라미터), Wear volume(마멸체적)

1. 서 론

자동차의 트랜스미션(transmission)은 여러 가지 기어(gear)와 싱크로(synchro)의 조합으로 이루어진 복잡한 기어시스템으로 설계, 제작, 재료, 열처리, 조립 및 윤활 등이 적절할 경우에는 장기간 동안 사용할 수 있다. 그러나 이러한 사항 중 어느 한 부분이 라도 결함이 있으면 기어에 치명적인 피팅(pitting) 및 이상마멸이 발생되어지고, 이때 발생한 피팅 및 이상마멸은 기어시스템을 구성하는 기어의 손상과 파괴에 많은 영향을 줄뿐만 아니라 트랜스미션의 수명 단축과 고장의 원인이 되고 있다.⁽¹⁻²⁾ 따라서 미션의 내구성 평가를 통하여 장기간 동안 최적의 상태를 유지할 수 있는 치형, 재료, 열

처리방법 및 윤활방법 등을 결정함으로써 트랜스미션의 설계, 제작 및 조립 등의 지침자료를 마련할 필요가 있다.

이를 위하여 실제 현장에서는 작동중의 소음 및 이상마멸상태를 진단하기 위한 진동측정과 이때의 동력전달효율을 구하기 위한 입력축과 출력축 사이의 토크(torque)측정을 행함으로써 시험시간 동안에 기어의 파손과정을 정성적으로 관찰하고, 또한 시험시간 완료 후에는 미션을 분해하여 직접 기어들을 조사함으로써 피팅의 진행 및 기어의 파손 정도를 파악하고 있는 실정에 있다. 그러나 이러한 방법들은 기어의 손상평가에 많은 비용이 소요되고, 또한 측정 및 관찰된 데이터를 분석하기 위하여 숙련된 기술자나 전문가의 지식을 필요로 하며, 단

지 이러한 데이터들은 정성적인 데이터의 범위에 지나지 않기 때문에 명확한 분석을 위한 자료의 정립이 매우 곤란하다고 생각되어진다.

따라서, 필자들은 트랜스미션의 기어의 손상과정을 분석하기 위한 개선방법으로 최근 컴퓨터의 기술 발달과 더불어 급속도로 발전하고 있는 영상처리기술을 적용하였다. 이것은 내과의 혈액검사와 같이 소량의 윤활유를 채취하여 조사하는 것으로 매우 빠르고 간편하게 직접 보는 것이 곤란한 작동 중인 기어의 손상 과정을 알 수 있는 극히 유효한 수단이고⁽³⁻⁴⁾, 작동상태를 정량적으로 해석함으로써 개발되어진 트랜스미션의 설계, 제작, 조립 및 윤활 등의 다양한 부분에 있어서 나타날 수 있는 결함을 보다 쉽게 분석하고 평가하기 위한 기초자료로 활용되어질 수 있다고 생각되어진다.

이를 위하여 본 연구에서는 트랜스미션 시험을 통하여 시험거리별로 윤활유를 소량으로 채취하고 윤활유내의 마멸분에 대하여 영상처리를 하였다. 이를 통하여 각 거리에 따른 마멸분의 형태적 특징을 관찰하고 각각의 마멸량을 추정하여 분석함으로써 트랜스미션의 설계, 제작, 조립 등의 지침자료로 활용하고자 함을 목적으로 하였다.

2. 실험방법

2.1 트랜스미션의 시험

본 실험에 사용된 트랜스미션은 경차용

수동 5단 미션으로 그 내부구조를 Fig. 1에 나타내었다. 미션의 내부구조는 구동축과 중동축에는 1단에서부터 5단까지 각각의 단에 해당하는 헬리컬 기어와 역회전을 위한 후진 평기어, 그리고 변속을 위한 싱크로들로 조합되어져 있고 최종적으로 출력축에는 변속후의 출력을 전달하는 출력기어로 구성되어져 있으며, 각 기어는 크롬강인 SCr420을 사용하였으며 각각의 열처리 방법과 열처리 후의 표면경도의 값을 Table 1에 나타내었다. 실험에는 신펜 트랜스미션을 사용하였고, 실험에 사용된 윤활유는 SHELL SAE 75W/85로써 그 물성치는 Table 2와 같다.

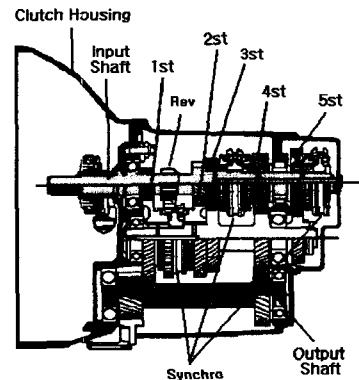


Fig. 1 Schematic diagram of transmission structure

Table 1 Specifications of test gears

	1st	2st	3st	4st	5st
Gear ratio	3.416	1.894	1.280	0.914	0.757
Heat treatment	Carburizing, Quenching & Tempering				
Hardness	H _{RC} 62				
Material	Scr 420				

Table 2 Characteristics of gear oil

		Shell T/M (SEA 75W/85)
Specific gravity 15/4°C		0.8769
Viscosity	40°C cST	61.36
	100°C cST	12.12
Sulfur content (%)		0.864
Phosphorous content (%)		0.0468

Fig. 2는 트랜스미션을 시험하기 위한 실험장치를 나타낸 것으로서 미션의 입력축에는 4000 rpm에서 최대 토크 12 kgf·m까지 회전시키는 구동모터를 설치하였고, 출력축에는 출력토크를 측정하기 위한 토크미터와 실제 차량에 장착하여 주행할 경우에 발생하는 주행저항 및 가속저항을 인위적으로 부가할 수 있도록 플라이 휠(fly wheel)을 설치하였다. 또한 트랜스미션의 시험은 기업에서 규정해 놓은 시험 방법에 따라 길

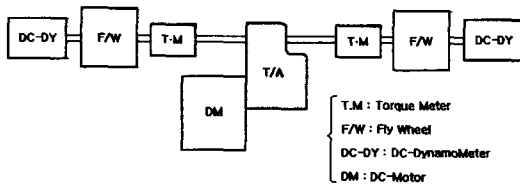


Fig. 2 Construction of transmission test

Table 3 experimental condition

Torque max (kgf/RPM)	12.0 / 4000
Driving distance (km)	14000, 16900, 21390, 25000
Oil (ℓ)	2.1

들이기 운전을 행한 후 오일은 깨끗한 신유

로 교체하여 실험을 하였다. 그리고 Table 3에서 나타낸 바와 같이 총 주행거리는 주어진 최대 토크조건으로 기업에서 여러번의 시험과정을 통하여 규정지어 놓은 트랜스미션의 기어가 파손직전에 이르는 지점인 25,000 km까지로 설정하였으며 이러한 조건으로 주행 중에 14,000 km, 16,900 km, 21,390 km 및 25,000 km 지점에서 윤활유를 각각 10ml씩 채취하여 공경 0.45 μm인 멤브레인 필터(membrane filter)가 부착된 마멸분 채취 기구를 통하여 오일 내의 마멸분을 채취하였다.

2.2 마멸분의 영상해석

주행거리 별로 채취한 마멸분의 데이터 정보를 얻기 위하여 영상처리 시스템⁽⁵⁾을 사용하였고 그 개략도를 Fig. 3에 나타내었다. 영상처리 시스템의 광학현미경은 투과

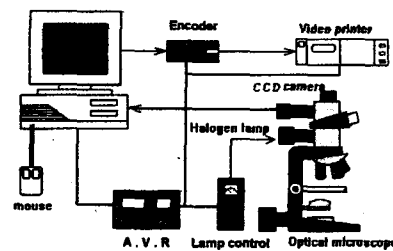


Fig. 3 Image processing system

조명 및 낙사조명의 2가지 할로겐 램프를 가지며 관측된 영상은 상부의 color CCD 카메라에 의하여 PC의 프레임 그레버(frame grabber)에 저장된다. 본 연구에 사용한 프레임그레버는 화소수 640x480, 화소당 분해

능은 RGB 각 8 bit(256 grey level)이고, 정방형 1화소(pixel)의 길이는 0.426 μ m이다. 이것은 마멸분 채취부분의 filter 직경이 35mm인 것을 고려하면 모니터 1 화면의 면적은 필터의 17,302분의 1이 된다. 각 실험 조건은 모두 대물렌즈 40배, 대안렌즈 10배로서 필터내의 랜덤한 위치 20화면에 포함된 마멸분에 대하여 이들의 파라미터(parameter)를 계산하였다. 그리고 프레임그레버의 제어 및 데이터의 처리는 모두 C 프로그램(일부는 기계어)에 의하여 행하였다.

마멸분은 발생조건에 따라 다양한 형태를 가지기 때문에 그 형태의 분류 및 평가를 위하여 본 연구에서 이용한 마멸입자의 형태정보를 각각의 마멸입자 대하여 Fig. 4에 서와 같이 정의하였다^(6~9). 실험조건에 따른 마멸분 입자의 형태정보를 분류하여 영상처리하고, 이것을 이용하여 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 50%체적경, 장단도, 복잡도 및 광택도의 4가지의 형태 파라미터를 영상해석하였다,

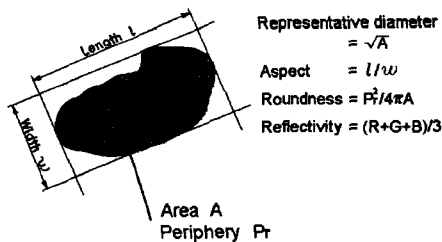


Fig. 4 Shape parameter of a wear particle

3. 실험결과 및 고찰

3.1 마멸분의 형태적 특징

Fig. 5는 주행거리에 따른 마멸분을 나타낸 것으로 주행거리가 증가함에 따라 산화된 마멸분의 수가 증가하는 것을 볼 수가 있으며 주행거리 (c) 21,390 km에서는 (a) 14,000 km 와 (b) 16,900 km에서 볼 수 있는 산화된 미세한 마멸분 외에 밝은 금속광택을 가지는 큰 피상의 금속입자가 나타나고 있음을 알 수가 있다. 그리고 (d) 25,000 km에서는 대체로 형상의 크기가 큰 산화물 입자가 많이 존재하고 있다는 것을 알 수가 있다.

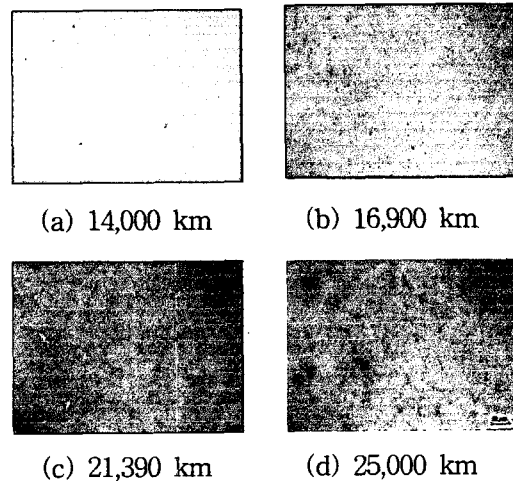


Fig. 5 Photos. of wear particles for driving distance

그리고 Fig. 5와 같은 마멸분의 영상으로부터 영상처리를 행하여 각 주행거리에서 20화면에 포함된 마멸분의 대표경에 대한 입자의 개수를 히스토그램으로 표시하여 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 주행거리에 관계없이 마멸분의 대표경은 대체로 1~3 μ m

에 가장 많이 분포되어있음을 알 수 있고, 주행거리가 증가함에 따라 Fig. 5에서 알 수 있듯이 마멸분의 수가 전체적으로 증가하고 있으며 (d) 25,000 km에서는 3 μ m 이상의 크기를 갖는 비교적 큰 크기의 마멸분이 많이 존재하고 있다는 것을 알 수가 있다. 따라서 이 히스토그램으로부터 각 주행거리에서의 마멸분의 분포 상태를 정량적으로 쉽게 파악할 수 있다고 생각되어진다.

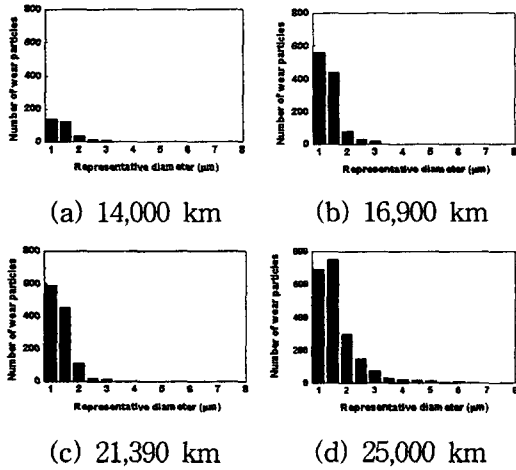


Fig. 6 Histogram for representative diameter of wear particle

그러나 각 주행거리에 따라 발생하는 마멸 입자 한개한개 마다의 파라미터 값으로부터는 그 조건에서의 마멸분의 분포 상태는 쉽게 판단할 수 있지만, 전체적인 형태 특징을 직접적으로 판단하기 힘들다. 따라서 각 주행거리에 따른 마멸분의 형태특징을 명확히 식별하기 위해서는 집단으로서의 성질, 예를들면 전체 마멸분 입자의 평균치

등을 이용할 필요가 있다. Fig. 7은 각 조건에서의 형태적 특징을 명확히 하기 위하여 주행거리에 따른 4가지 형태파라미터의 평균치를 도식화하여 나타낸 것으로써 그 형태적 특징을 살펴보면, 주행거리가 25,000 km에서는 그 입자의 크기가 크고 길며 과상의 형태를 가진다는 것을 알 수가 있다. 그리고 주행거리가 증가함에 따라 광택도의 값이 감소하는 것은 마찰면의 온도 상승과 오일의 열화변질로 인한 산화진행 결과라고 생각되어진다.

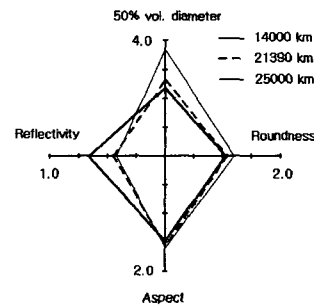


Fig. 7 Average values of shape parameters for driving distance

3.2 마멸체적의 추정

본 연구에서는 주행거리에 따른 기어의 손상과정을 살펴보기 위하여 마멸분 형태정보로부터 마멸체적의 추정치를 계산으로 구하였다. 이것은 눈으로 직접 보는 것이 곤란한 트랜스미션의 각 기어들에서 발생하는 마멸체적을 추정하는데 극히 유효한 수단이라고 생각되어진다. 여기서 추정 마멸체적의 계산은 마멸분의 두께를 Fig. 2의 대표경과 대등하다고 가정하고, 마멸분 면적에

이 대표경을 곱하여 입자하나의 마멸체적을 구하였다. 또한, 여기서 마멸분이 분포되어 있는 1 화면내의 하나의 마멸입자 체적을 V_{ij} 라하고, 1 화면내의 입자개수를 n 으로 두었을 때 20화면 전체의 총 마멸체적 V_t 를 식 (1)로부터 구하였다.

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

Fig. 8은 각 주행거리에 대하여 오일 1리터에 포함되어 있는 마멸체적을 식(1)을 이용하여 추정하여 나타낸 것이다. 그림에서 보면 주행거리 21,390 km까지는 마멸량이 조금씩 증가하다가 25,000 km 에서 급격히 증가한 것을 볼 수가 있다. 이는 본 연구에서 설정한 토크조건하에서 21,390 km까지는 안정된 마찰이 이루어지고 있다는 것을 나타낸다고 생각하며, 그 이후의 주행거리에서는 산화의 진행과 장시간 동안 반복충격하중이 작용함으로써 피로마멸에 의한 피팅이 급격히 진행된 결과라고 생각되어진다.

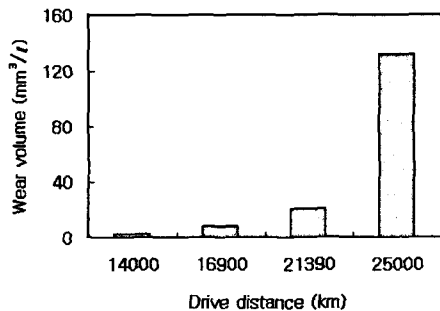


Fig. 8 Wear volume for driving distance

4. 결 론

트랜스미션 기어의 손상과정을 살펴보기 위해 트랜스미션의 시험을 하여 주행거리 14,000, 16,900, 21,390 및 25,000 km 지점에서 소량의 윤활유(10ml)를 채취하고, 윤활유내의 마멸분을 영상처리하여 마멸분의 4가지 형태파라미터(50%체적경, 장단도, 복잡도 및 광택도)를 계산한 후 마멸분의 분포상태와 형태적 특징을 해석하고 마멸체적을 추정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 마멸분의 대표경은 대체로 1~3 μ m에 가장 많이 분포되어 있고, 25,000 km에서는 3 μ m 이상의 크기를 갖는 비교적 큰 크기의 마멸분이 많이 존재하고 있었다.
2. 주행거리가 증가함에 따라 마찰면의 온도상승과 윤활유의 열화변질에 의한 산화의 진행으로 광택도의 값이 감소하였다.
3. 주행거리 21,390 km까지는 마멸량이 조금씩 증가하였지만 25,000 km에서는 피로마멸에 의한 피팅이 급격히 진행된 결과 마멸량이 급격히 증가하였다.
4. 본 연구의 결과를 통하여 주행거리에 따른 미션기어의 손상상태의 정량적인 측정이 가능하였다.

참고문헌

1. 박순철, "기어의 손상과 대책", 월간기계설계, pp 44-54

2. Y. Ko et al, "Measurements of Power Losses in Automobile Drive Train", SAE Paper, 840054
3. W. W. Siefert and V. C. Westcott, "A Method for the Study of Wear Particles in Lubricating Oil Wear, 21, pp. 27~42. 1972
4. Masaaki Shibata, "Tribological Characteristics and Diagnosis of Deteriorated Lubricating Oil" ,JJST, Vol. 39, No. 7, pp.559~565. 1994.
5. 서영백, 박홍식, 전태욱, 이광영, "윤활운동면의 작동조건에 따른 마멸분 화상해석" 한국정밀공학회지 제14권 제5호 pp43-49, 1997.
6. B. J. Roylance and S. Raadnui, "The Morphological Attributes of Wear Particles - Their Role in Identifying Wear Mechanisms" , Wear, 175, pp. 115~121. 1994.
7. T. B. Kirr, D. Panzera, R. V. Anamalay and Z. L. Xu, "Computer Image Analysis of Wear Debris for Machine Condition Monitoring and Fault Diagnosis" , Wear, 181, pp. 717~722. 1995.
8. B. J. Roylance, I. A. Albidewi, M. S. Laghari, Computer-Aided Vision Engineering (CAVE)-Quantification of Wear Particle Morphology" , Lubr. Eng., 50, pp. 111~116. 1993.
9. A. D .H. Thomas, T. Gavies, and A. R. Luxmoore, "Computer Image Analysis for Identification of Wear Particles" Wear, 142, pp 213-226, 1991.