

# 지능이론을 이용한 자동차 트랜스미션 소재의 마찰조건 판정

조연상<sup>1</sup>(동아대학교 기계공학과), 김영희<sup>2</sup>(동아대학교 금속공학과),  
박홍식<sup>3</sup>(동아대학교 기계공학과)

## Decision of Friction Condition for Materials of Automobile Transmission by Theory of Intelligence

<sup>1</sup>Yonsang Cho (Mech. Eng. Dept., DongA Univ.) *bluecys@donga.ac.kr.*,

<sup>2</sup>Younghee Kim (Metal. Eng. Dept., DongA Univ.) *kimyh@daunet.donga.ac.kr.*,

<sup>3</sup>Heungsik Park (Mech. Eng. Dept., DongA Univ.) *parkhs@daunet.donga.ac.kr.*

### ABSTRACT

A lubricated state of an automobile transmission can not be inspected directly with eyes. Thus, it needs to develop a more general method. Wear debris can be collected from the lubricants of operating transmission of an automobile and its morphology is directly related to the friction condition of the interacting materials from which the wear particles originated in lubricated transmission. In this paper, to identify the friction condition for transmission gear by neural network, the wear test of ball-on-disk type and the analysis of friction state were carried out for carburized SCM420 and nitrocarburized NT100 under different experimental conditions. The four shape parameters(50% volumetric diameter, aspect, roundness and reflectivity) of wear debris were calculated by the image processing system. They were used as input values to identify the moving condition of transmission gear by the neural network.

**Keywords** : Wear debris(마멸분), Friction condition(마찰조건), Transmission gear(트랜스미션 기어), Image processing(영상처리), Neural network(신경회로망)

### 1. 서론

현재 트랜스미션 기어에 사용되고 있는 표면개질 방법을 대체하고자 하는 침탄질화법은 침탄에 사용되는 오스테나이트화 하기 위한 침탄온도(925℃) 보다 훨씬 낮은 침탄 질화온도(580℃)에서 처리하기 때문에 처리 후 변형이 적고, 또한 표면개질 처리비용이 기존의 침탄법보다 저렴하다는 장점을 가지고 있다.<sup>1,2)</sup> 이처럼 새로운 표면개질 방법의 양부를 결정하기 위해서는 내마멸성의 평가가 우선되어야 한다.

트랜스미션 기어의 내마멸성 평가를 위하여 일반적으로 사용되는 방법은 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 및 기어의 파손정도를 파악하

고 있는 실정에 있다.<sup>3)</sup> 그러나 이러한 방법들은 기어의 손상상태 평가에 많은 시간이 소요되고, 또한 측정 및 관찰된 데이터를 분석하기 위하여 숙련된 기술자나 전문가의 지식을 필요로 한다. 그리고 이러한 데이터들은 정성적인 데이터의 범위에 지나지 않기 때문에 명확한 분석을 위한 자료의 정립이 매우 곤란하여 보다 새로운 작동상태 평가 기법이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 자동차 트랜스미션 기어용 재료로 사용되는 가스침탄한 SCM420 과 새로운 기어 소재인 침탄질화한 NT100에 대하여 윤활 마찰 실험을 행하고 미션오일에 함유되어 있는 마멸분을 채취하였다. 채취한 마멸분은 컴퓨터 영상처리 시스템<sup>4)</sup>을 통하여 작동조건에 따른 마멸분 형태 파라미터를 분류 및 평가하고, 이를 계층형 인공 신경회로망<sup>5-7)</sup>에 입력하여 다양한 작동조건에 따른 마멸분의 형태 식별을 행함으로써 트랜스미션의 작동상태 평가 기법의 확립을 목적으로 하였다.

## 2. 윤활마찰실험

자동차 트랜스미션 기어 소재의 내마멸성을 검토하기 위하여 볼 온 디스크(ball on disk)형 윤활 마찰시험기를 사용하였으며, 그 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 볼 시험편은 직경 4.76mm의 순도 99.7%인 알루미늄 나 세라믹스( $Al_2O_3$ )를, 디스크 시험편은 현재 트랜스미션 기어로 사용되는 침탄처리한 SCM420과 침탄질화한 NT100을 사용하였다.

실험에 사용한 미션오일은 자동차용 3중 SAE 75W인 기어유를 사용하였으며 이의 특성은 Table 1에 나타내었다. 그리고 윤활 마찰마멸 실험을 위한 실험조건은 Table 2에 나타내었다.

그리고 각 단계별로 윤활유를 교환하여 실험을 행하였으며, 미션오일 중의 마멸분은 공경 0.45 $\mu$ m의 멤브레인 필터(membrane filter)가 부착된 마멸입자 채취기구를 통하여 채취하였으며, 채취한 마멸분은 영상처리 시스템을 이용하여 마멸분의 형태적 특징을 구하였다.

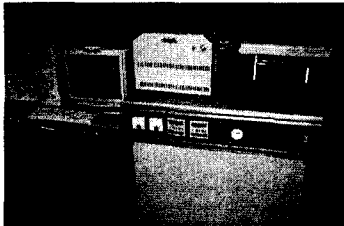


Fig. 1 Photograph of ball on disk type wear tester

Table 1 Characteristics of gear oil

Characteristics		Shell T/M (SAE 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

Table 2 Experiment conditions

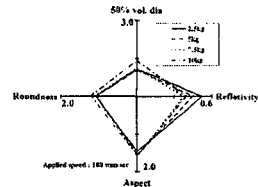
	Experiment condition
Applied load (kg)	2.5, 5.0, 7.5, 10.0
Sliding speed (mm/sec)	47, 94, 141, 188
Sliding distance (m)	1018

## 3. 마멸분 형태 및 작동조건 식별

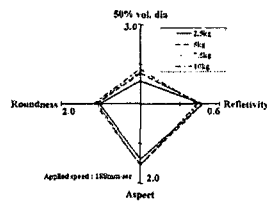
### 3.1 작동조건에 따른 마멸분 형태

본 연구에서는 컴퓨터 영상처리<sup>4)</sup>를 통해 작동조건에 따라 발생하는 두 트랜스미션 기어 재료의 마멸분 형태 특징을 추출하였다.

Fig. 3은 미끄럼속도 141mm/sec일 때 작용하중에 따른 마멸분의 4가지 형태 파라미터의 전체 평균값을 도식화하여 나타낸 것으로, (a)침탄 처리한 SCM420, (b)침탄질화 처리한 NT100이다. 그림에서 작용하중이 증가함에 따라 두 재료의 마멸분의 50%체적경, 복잡도 및 장단도의 값이 증가하고 있다. 이는 작용하중이 증가함에 따라 접촉부의 접촉압력의 증가와 온도 상승에 의한 마찰면의 전단강도 저하로 두 재료의 마멸분은 크고 복잡한 형태를 가진다는 것을 나타낸다.



(a) Carburized SCM420



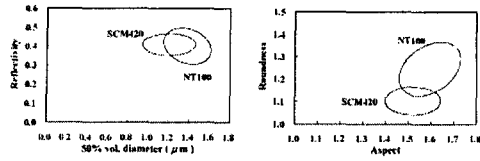
(b) Nitrocarburized NT100

Fig. 3 Average value of shape parameters of wear debris on applied load (sliding speed : 141mm/sec)

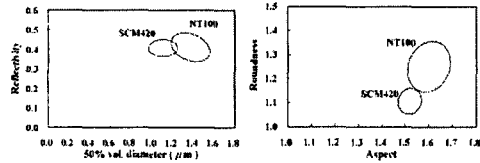
### 3.2 마멸분의 모집단 구성

Fig. 5는 작용하중 7.5kg, 미끄럼속도 97mm/sec의 경우, 침탄 처리한 SCM420과 침탄질화 처리한 NT100의 두 재료에 따른 마멸분 (a)50개와 (b)100개마다의 광택도와 50%체적경, 복잡도와 장단도에 대한 형태 파라미터의 평균값 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 100개마다의 평균 값을 이용한 것이 재료에 따른 마멸분의 형태 어느 파라미터를 조합하여 사용하여도 분포가 명확하게 잘 분리되므로 자동차 트랜스미션 기어 소재의 작동상태 식별을 위한 신경회

로망의 판정율이 높게 나타날 것으로 생각된다.



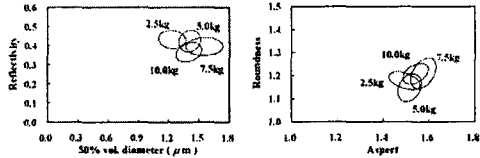
(a) every 50 wear debris



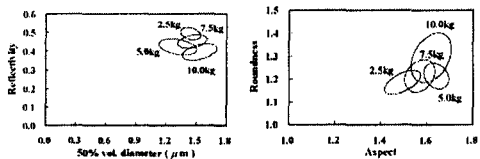
(b) every 100 wear debris

Fig. 5 Average value of shape parameters in every 50 and 100 wear debris for materials (applied load : 7.5kg, sliding speed : 94 mm/sec)

Fig. 6은 미끄럼속도 47mm/sec의 경우, 각 작용하중에 따라 (a)침탄처리한 SCM420과 (b)침탄질화 처리한 NT100의 마멸분 100개마다의 광택도와 50%체적경, 복잡도와 장단도에 대한 형태 파라미터의 평균값 분포를 나타낸 것이다. 작용하중 조건에서 저하중과 고하중에서는 비교적 높은 신경회로망의 판정율을 기대할 수 있지만 중간하중에서는 다소 판정율이 낮을 것이라고 예상할 수 있다.



(a) carburized SCM420



(b) nitrocarburized NT100

Fig. 6 Average value of shape parameters in every 100 wear debris for applied load (sliding speed : 47mm/sec)

### 3.3 작동조건 식별을 위한 신경회로망

Fig. 8은 본 연구에서 사용한 계층형 신

경회로망 모델<sup>5,6)</sup>을 나타낸 것으로 이것은 입력층, 은닉층 및 출력층의 3층으로 구성 되어져 있으며, 입력층에는 마멸분의 4가지 형태 정보인 50%체적경, 장단도, 복잡도 및 광택도를 입력값으로 사용하였고 출력층에는 실험의 마찰조건에 해당하는 재료 2종류, 작용하중 4조건 및 미끄럼속도 4조건을 출력하도록 하였다.

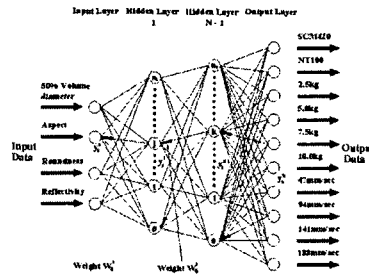


Fig. 8 Model of neural network

Fig. 9는 실험에서 사용하기 위하여 C++로 자체 제작한 신경회로망 소프트웨어를 나타낸 것으로 각 실험조건에 따른 마멸분의 4가지 형태 파라미터의 전체 평균값을 학습을 위한 입력값으로 사용하였고, 그에 따른 작동조건을 목표값으로 하여 총 32개의 학습패턴을 구성하였다. 본 연구에서는 입력  $i$ 에 대한 입력값  $A_i$ 에 대한 출력층의 출력값을  $B_i$ , 학습 반복횟수  $n$ 으로 할 때, 학습 수렴판정 조건으로서 학습반복횟수 500,000회 이상으로 설정하여 최적의 신경회로망을 구성하였다. 그리고 은닉층은 그 수를 1층으로 두고 각 층의 유닛(unit) 수를 60개로 설정하여 학습을 수행하였다.

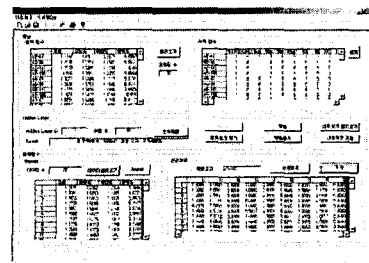
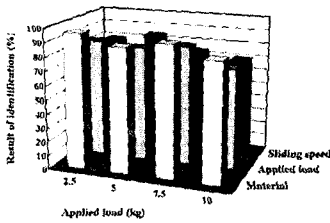


Fig. 9 Neural network program

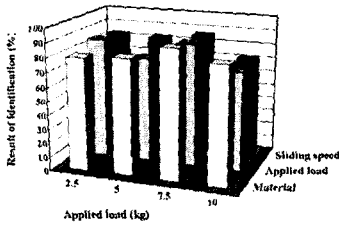
### 3.4 마멸분 모집단의 구성에 따른 작동조건 식별

Fig. 13은 작용하중에 따른 100개마다의

형태 파라미터 평균값에 대한 신경회로망의 판정 결과를 나타낸 것으로, 각 조건에 대하여 모두 70% 이상 높은 판정율을 보여주고 있다. 이것은 Fig. 6 에서처럼 분포범위가 중첩되어 있다 할지라도 모집단에 대한 4가지 형태 파라미터의 평균값을 종합적으로 평가하면 그 특징을 명백히 구분할 수 있고, 최적의 신경회로망 구성을 통하여 학습오차를 줄임으로써 보다 능동적인 판정이 가능하였다고 생각된다.



(a) carburized SCM420



(b) nitrocarburized NT100

Fig. 13 Decision rate of neural network on the applied load, group in 100 every wear debris

#### 4. 결론

자동차 트랜스미션 기어의 두 소재의 작동상태 예지 및 판정을 위한 마멸분의 형태 식별을 행할 목적으로 윤활마찰시험 실험장치를 이용하여 다양한 작동조건에 따라 발생하는 마멸분의 4가지 형태 파라미터 즉, 50%체적경, 장단도, 복잡도 및 광택도를 컴퓨터 영상처리 하였다. 그리고 이를 이용하여 마멸분의 형태적 특징을 해석하고, 계층형 신경회로망에 이들 형태 파라미터를 입력값으로 학습시켜 작동조건에 대응하는 마멸분 형태식별을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 다양한 작동조건에 따른 자동차 트랜스미션 기어 소재의 마멸분의 형태 특징을

구별하기 위한 신경회로망의 입력값은 전체 마멸분에 대하여 마멸입자 50개마다의 모집단 보다 100개마다의 모집단으로 나누어 그 형태 파라미터의 평균값을 이용하는 것이 유효하였다.

2. 신경회로망은 은닉층의 수를 1층, 유닛 수를 60개로 하였을 때 가장 최적의 상태이고, 마멸분의 형태식별을 위한 학습 조건으로서 4가지 형태 파라미터의 전체 평균값을 이용하는 것이 효과적이었다.

3. 본 신경회로망을 통하여 자동차 트랜스미션 기어 소재의 윤활마찰조건의 예지 및 판정이 가능하였다.

#### 참고문헌

1. Dawes C., "Nitrocarburising and its influence on design in the automotive sector", Heat Treatment of Metals, 18, pp. 19-30, 1991.
2. Dawes C. and Tranter D. F., "Nitrotec surface treatment - its development and application in design and manufacture of automobile component", Heat Treatment of Metals, 9, pp. 85-90, (1982).
3. Y. Ko et al, "Measurements of Power Losses in Automobile Drive Train", SAE Paper, 840054.
4. 尾崎弘, 谷口慶治, "画像處理-その基礎から應用まで", 第 2 版, 共立出版, pp.125 ~ 131, 1988.
5. 박홍식, "Neural Network 에 의한 기계윤활면의 마멸분 해석", 한국윤활학회지, 제 11 권, 제 3 호, pp.24 ~ 30, 1995.
6. 박홍식, 서영백, 이충엽, 조연상, "인공신경망에 의한 기계구동계의 작동상태 예지 및 판정", 한국공작기계학회지, 제 7 권, 제 5 호, pp.92 ~ 97, 1998.
7. J. Sugimura, A. Umeda and Y. Yamamoto, "Wear Debris Identification with Neural Networks", JSME, Vol.61, No.590, pp.4055 ~ 4060, 1995.