

## 유압구동부재의 구름운동상태 예지 및 판정을 위한 신경회로망의 적용

조연상\*(동아대원), 김동호(문경대학), 박홍식, 전태욱(동아대학교)

### Application of Neural Network to Prediction and estimation of Rolling Condition for Hydraulic members

Y. S. Cho, D. H. Kim, H. S. Park, T. O. Jun

#### ABSTRACT

It can be effect on diagnosis of hydraulic machining system to analyze working conditions with shape characteristics of wear debris in a lubricated machine. But, in order to predict and estimate working conditions, it is need to analyze the shape characteristics of wear debris and to identify. Therefor, if shape characteristics of wear debris is identified by computer image analysis and the neural network, it is possible to find the cause and effect of moving condition. In this study, wear debris in the lubricant oil are extracted by membrane filter, and the quantitative value of shape characteristics of wear debris are calculated by the digital image processing. This morphological informations are studied and identified by the artificial neural network. The purpose of this study is to apply morphological characteristics of wear debris to prediction and estimation of working condition in hydraulic driving systems.

**Key Words** : Wear Debris (마멸분), Morphological Information (형태정보), Image Analysis (영상해석), Neural Network (신경회로망), Moving Condition (작동조건)

#### 1. 서론

유압구동부의 작동상태 이상여부에 관한 문제에는 다수의 인자가 상호 복잡하게 작용하기 때문에 그들 각각의 인자가 마찰현상에 어느 만큼 기여하는가를 정확하게 기술한다는 것은 상당히 어렵다.<sup>(1~3)</sup> 숙련된 사람은 그 시스템의 작동상태를 관찰하고 직감적으로 상태판단을 할 수 있는 것처럼 인간의 직감성은 윤활운동부의 관찰을 통해 얻은 다수의 정보로부터 어떠한 사고과정에 의하여 그들 인자와의 상호관계를 정확하게 얻을 수 있다. 이 판단을 수학적으로 정식화하기 위하여 신경회로망과 같은 새로운 수학적 모델이 필요하다.

신경회로망은 인간의 뇌에서 행해지는 정보처리의 체계를 모의 한 것으로써 뉴런이라는 노드의 결합으로 네트워크를 조합한 구조를 가지며 이것에 의하여 학습기능을 가진다는 특징이 있다. 그리고 복

잡한 패턴 인식 문제에 대하여 비교적 용이하게 적용이 가능하고, 데이터의 입력과 기대출력을 반복하여 주는 것에 의하여 대상으로 하는 문제의 입출력 간의 비선형적인 관계를 학습에 의하여 해결할 수 있는 점에서 우수한 장점을 가지고 있다.<sup>(4~6)</sup> 이로 인하여 최근 여러 분야에서 신경회로망의 적용에 대한 연구를 하고 있으며, 트라이볼로지 시스템의 작동상태 예지 및 판정 기술에 대한 적용 가능성이 검토되고 있다.<sup>(7~8)</sup>

그러나 아직까지 유압구동계의 작동상태 예지 및 판정기술에 적용하기 위한 학습 및 판정 패턴으로 사용할 데이터의 추출 및 정리방법이 명확히 확립되어 있지 않다. 따라서 유압구동계에서 발생되는 마멸분에 대하여 영상처리를 통해 그 형태적 특징을 정량화하고 이러한 데이터를 이용하여 마멸분의 형태 특징에 따른 유압구동계의 작동상태 예지 및 판정을 위해서는 신경회로망의 구성 방법과 이에 의한

학습 및 판정을 위한 데이터의 패턴을 확립할 필요가 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 유압구동계를 모의한 윤활 마찰·마멸 실험을 통해 마멸분을 채취하고, 컴퓨터 영상처리 기법을 도입하여 유압구동계 내에서 발생하는 마멸분의 형태적 특징을 정량적으로 수치화된 형태정보로 추출하였다. 그리고 대상으로 하는 문제의 입출력간의 비선형적인 관계를 학습에 의해 해결할 수 있는 신경회로망을 이용하여 각 작동조건에 따른 마멸분의 형태정보에 대한 학습을 행하고 영상단위의 마멸분 데이터의 모집단에 대한 판정을 통해 마찰 조건을 식별함으로써 유압구동계의 작동상태 예지 및 판정에 적용하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 윤활 마찰·마멸실험

윤활 마찰·마멸실험을 위하여 ball on disk형 마찰·마멸시험기를 사용하였다. 볼 시험편은 직경 4.76mm의 순도 99.7%인 알루미늄 세라믹스( $Al_2O_3$ ) ball을 사용하였고, 디스크 시험편은 유압구동부재로 사용되는 청동주물 LBC3와 칩단 열처리를 한 크롬-몰리브덴강 SCM440을 사용하였다. 그리고 실험에 사용한 윤활유는 기유(base oil)인 무첨가 파라핀계 광유(8.2cSt@40°C)를 사용하였다. 하중조건으로는 접촉하중은 3kg, 5kg 및 7kg으로 행하였고, 미끄럼거리는 총 860 m로 일정하게 하여 시험편의 접촉부의 미끄럼속도를 40 mm/sec, 80 mm/sec, 120 mm/sec 및 160 mm/sec로 설정하여 실험을 행하였다. 그리고 윤활 장치부에는 시험편 접촉점 하부에 oil bath를 설치하고 윤활유 공급은 순환펌프로써 실리콘 관을 통하여 시험편 접촉점에 분사시켰으며, 각 실험조건에 따른 마멸분은 oil bath내의 윤활유를 교반한 후 공경 0.45 $\mu$ m의 membrane filter가 부착된 윤활유 채취기구를 통하여 마멸분을 채취하였다.

### 2.2 영상처리 시스템

채취한 마멸분으로부터 형태정보를 얻기 위해 투과 및 낙사조명의 두 가지 할로겐램프를 가진 광학현미경을 통하여 상부의 컬러 CCD카메라에 의해 관측된 투과 및 낙사영상을 화소수 640×480, 화소당 분해능은 RGB 각 8bit (256 grey level)인 컴퓨터의 프레임 그레버(frame grabber)를 이용하여 저장하였다. 투과영상은 히스토그램(histogram)으로부터 역치(threshold value)를 선정하여 2원화 영상으로 변환하였고, 변환된 2원화 영상과 낙사영상을 합성하여 마멸입자에 대한 경계와 표면의 명확한 형상을 추

출하여 마멸분의 4가지 형태정보인 장단도, 장단도, 복잡도 및 광택도와 하나의 영상내의 마멸분 개수를 구하였다.

### 2.3 신경회로망 구성과 학습

Fig. 4는 본 연구에서 사용한 계층형 신경회로망 모델을 나타낸 것으로 입력층, 은닉층, 출력층으로 구성되어 있으며, 입력층에는 마멸분의 4가지 형태 정보인 50%체적경, 장단도, 복잡도 및 광택도와 한 영상내의 마멸분의 개수를 입력값으로 사용하였고 출력층에는 실험의 작동조건에 해당하는 재료 2 종류, 하중 3 조건 및 미끄럼속도 4 조건을 출력하도록 하였다. 그리고 은닉층은 그 수를 3층으로 두고 각 층의 유니트(unit) 수를 45개로 설정하여 학습을 수행하였다.

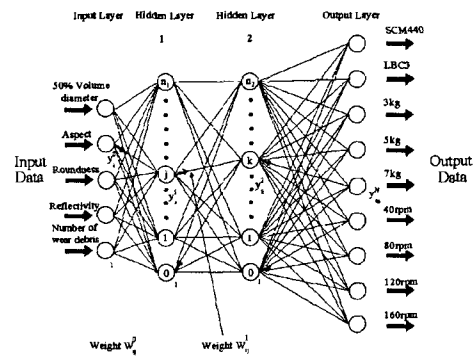


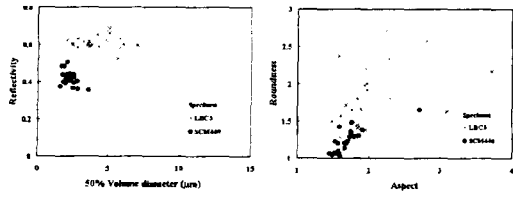
Fig. 4 Neural network model

그리고 각 실험조건에 따른 마멸분의 4가지 형태 정보와 한 영상 내의 마멸분 개수의 전체 평균값을 학습을 위한 입력 값으로 사용하였고 그에 따른 작동조건을 목표 값으로 하여 총 24개의 학습패턴을 구성하였으며, 학습 수렴조건을 학습오차를 0.00001 이하 또는 학습반복횟수 500,000회 이상으로 설정하여 최적의 신경회로망을 구성하였다. 또한 판정을 위하여 마멸분의 모집단의 평균값을 영상 단위로서 각 작동조건에 대하여 1장 및 4장마다의 영상에서 추출한 마멸분의 4가지 형태 정보와 마멸분 개수의 평균값을 입력 데이터로 이용하였다.

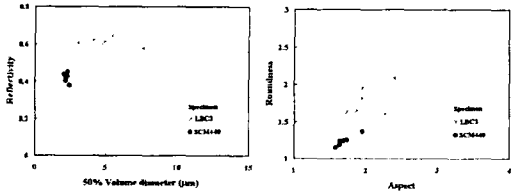
## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 영상에 따른 모집단 구성

Fig. 8은 작용하중 5 kg, 미끄럼속도 160 mm/sec 일 때, 시험편 재료 LBC3 및 SCM440의 마멸분 영



(a) group in every 1 image



(b) group in every 4 image

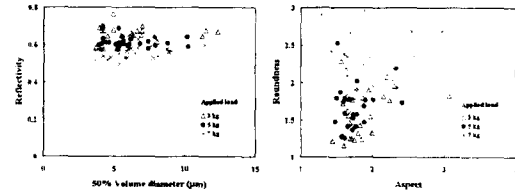
Fig. 8 Distribution of average value of shape parameter for material,

상 24장에서 영상 한 장마다의 마멸분의 모집단에 대하여 그 형태정보의 평균값 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 LBC3의 마멸분이 SCM440 보다 금속광택을 띤 크고 복잡한 형태로 분포되어 있다. 그리고 (a) 영상 1장마다의 분포 영역은 다소 중첩되고 있지만 대체로 잘 구분되며 (b) 영상 4장마다의 분포는 더욱 명확히 분리되어짐을 알 수 있다.

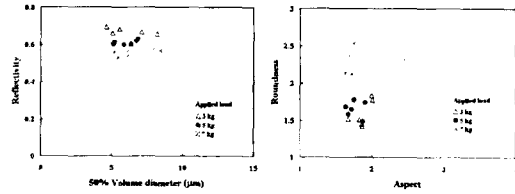
Fig. 9는 시험편 재료 LBC3, 미끄럼 속도 80 mm/sec에서 작용하중에 대한 마멸분의 형태정보의 분포를 나타낸 것으로 (a) 영상 1장 마다일 때는 그 분포 범위가 넓고 매우 심하게 중첩되어 있어 그 특징을 명확히 구분하기 힘들지만 (b) 영상 4장 마다의 형태정보의 분포에서는 모집단의 형태적 특징이 다소 구분되어짐을 알 수 있다. (b)에서 보면 입자의 크기 분포는 대체로 비슷하지만 하중이 증가함에 따라 광택도가 낮아지고 입자가 좀더 길쭉하고 피상의 형태를 띄고 있음을 알 수 있다.

그리고 Fig. 10에 작용하중 7kg, 시험편 재료 SCM440에서 미끄럼 속도에 대한 형태정보의 분포를 나타내었다. 여기서 미끄럼속도에 따른 마멸분의 모집단에 대한 형태적 특징은 영상의 개수에 관계없이 대체로 비슷한 영역에 분포되어 있고 크게 차이가 없어 판정이 매우 곤란하다고 생각되어지며 신경회로망에 의한 정답율도 상당히 낮을 것으로 예상되어진다.

이상과 같은 결과로 볼 때 영상 단위로 마멸분에 대한 모집단을 구성하여 입력데이터를 추출한 후 신경회로망에 의해 작동조건을 판정하였을 경우, 재료에 대해서는 영상 개수에 관계없이 그 형태적 특징이 매우 뚜렷하게 구분되기 때문에 신경회로망의 정답율이 매우 높게 나타날 것으로 예상

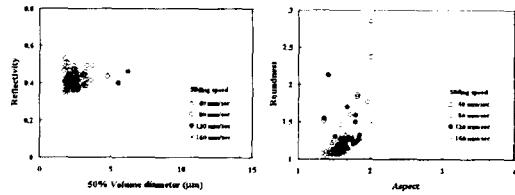


(a) group in every 1 image

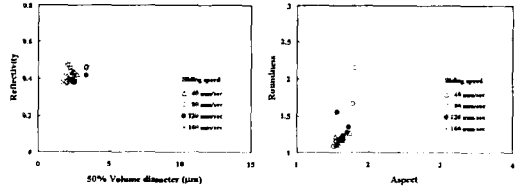


(b) group in every 4 image

Fig. 9 Distribution of average value of shape parameter for applied load



(a) group in every 1 image



(b) group in every 4 image

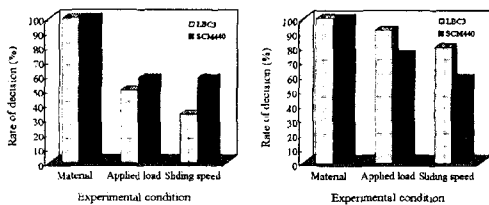
Fig. 10 Distribution of average value of shape parameters for sliding speed

된다. 그러나 하중과 미끄럼속도 조건에 대해서는 영상 1장 마다의 평균값을 입력하였을 경우에는 정답율이 낮고 영상 4장 마다의 평균값을 이용하면 정답율을 높일 수 있을 것으로 예상된다. 여기서 정답율을 높이기 위하여 4장까지로 한정된 것은 본 연구에 이용한 마멸분에 대한 총 영상의 개수를 24장으로 하였기 때문에 4장 이상의 평균값을 이용하면 판정을 위한 모집단의 수가 매우 적으므로 신경회로망의 판정에 신뢰성이 낮아질 것으로 생각되기 때문이었다. 하지만 판정을 위한 총 영상을 더욱 많이 추출하여 모집단의 수를 충분히 많이 둔다면 4장 이상의 평균값을 이용하여 판정할 경우 더 높은 정답율이 나올 것이라고 기대되어진다.

### 3.3 신경회로망에 의한 작동조건 판정

Fig. 11은 (a)영상 1장 마다와 (b)4장마다의 마멸분의 형태정보 및 마멸분 개수의 평균값을 입력 데이터로 하여 신경회로망에서 작동조건을 판정한 결과를 나타낸 것으로 영상 1장 마다일 경우 시험편 재료에 대해서는 Fig. 8의 분포도 (a)에서 예상한 바와 같이 모두 100 % 판정이 가능하였다. 그러나 작용하중과 미끄럼속도에 대해서는 Fig. 9과 Fig. 10의 분포도 (a)에서 예상한 바와 같이 정답률이 모두 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히 LBC3의 경우는 분포범위 또한 매우 넓어 그 정답률이 50% 이하로 매우 저조하다고 생각되며, 이러한 경우 Fig. 9의 (b)와 같이 모집단 구성을 위한 영상 수를 많이 뒀으로써 그 분포 범위를 좁히고 마멸분의 형태적 특징을 보다 명확히 구분되도록 할 필요가 있다고 생각한다.

신경회로망으로부터의 정답률을 높이기 위하여 Fig.11의 (b)와 같이 영상 4장 마다에서의 결과는 LBC3의 경우 각 작동조건에 대한 정답률이 모두 80% 이상으로 매우 높게 나타나고 있다. 이는 앞서 전술한 바와 같이 영상 1장보다는 좀더 많은 수의 영상에 대한 마멸분 정보의 평균값을 이용함으로써 모집단의 분포범위를 좁히고 마멸분의 형태적 특징을 보다 명확히 구분한 결과라고 생각한다. 그러나 SCM440의 경우에는 각 작동조건에 대한 정답률이 60% 이상으로서 영상 1장의 모집단의 평균값을 이용하였을 때 보다 비교적 정답률이 높게 나타났지만 LBC3에 비해 정답률이 크게 향상되지 않고 있다. 이는 Fig. 10의 분포도에서 볼 수 있듯이 영상 수를 4장으로 하여 모집단을 구성해도 작동조건에 따른 SCM 440의 마멸분의 형태적 특징이 크게 차이나지 않기 때문이라고 생각된다. 하지만 Fig. 12의 결과로 볼 때 영상 1장보다는 영상 4장마다의 마멸분의 형태정보 및 마멸분 개수의 평균값을 입력 데이터로 이용하는 것이 각 작동조건에 대하여 신경회로망으로부터 보다 유연성 있고 높은 정답률을 기대할 수 있다.



(a) group in 1 image (b) group on 4 image  
Fig. 11 Identification of result from neural network, input data

#### 4. 결론

유압구동부재에서 발생하는 마멸분을 영상처리하여 4가지 형태정보인 50%체적경, 장단도, 복잡도 및 광택도를 추출하고 이를 계층형 인공신경회로망에 학습하여 영상 1장 및 4장마다의 마멸분 정보의 모집단에 대하여 판정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 마멸분 형태특징의 분포에서 영상 1장 마다의 경우는 분포범위가 넓고 매우 중첩되고 있지만 4장마다의 경우는 범위가 좁고 그 특징을 대체로 구분할 수 있다.
- (2) 신경회로망의 입력데이터로 영상 1장 마다의 마멸분의 모집단 정보를 이용하였을 경우 재료에 대한 정답률은 100%로 높게 나타나지만 작용하중과 미끄럼속도에 대한 정답률은 60% 이하로 나타난다.
- (3) 유압구동부재의 작동조건 식별을 위해서는 영상 1장보다는 4장마다의 마멸분 정보의 평균값을 신경회로망의 입력 데이터로 이용하는 것이 높은 정답률을 나타낸다.

#### 참고문헌

1. B. J. Roylance, I. A. Albidewi and M. S. Laghari, "Computer-Aided Vision Engineering (CAVE) - Quantification of Wear Particle Morphology", *Lubr. Eng.*, 50, pp111~116, 1993.
2. T. Sato, O. Ikeda, T. Hatsuzawa and M. Linzer, "Real Time Evaluation of Wear Particle Using Electro Forced Rotation and Laser Scattering", *Wear*, Vol.15, pp.273~285, 1987.
3. T. M. Hunt, "Condition Monitoring of Mechanical and Plant", Chapman & Hall, pp.48~53, 1995.
4. 八名和夫, 鈴木義武, "ニューロ情報処理技術", 海文堂, pp.9~19, 1986.
5. 박홍식, "Neural Network에 의한 기계유회면의 마멸분 해석", *한국유회학회지*, 제11권, 제3호, pp.24~30, 1995.
6. 中野 馨, "Cでつくる腦の情報システム", 啓學出版, pp.11~152, 1990.
7. 朴興植, 杉村丈一, 山本雄二, "ニューラルネットワークによる磨耗粉の解析", *日本トライボロジー會議集*, pp.393~396, 1995.
8. 박홍식, 서영백, 이충엽, 조연상, "인공신경망에 의한 기계구동계의 작동상태 예지 및 판정", *한국공작기계학회지*, 제7권, 제5호, pp.92~97, 1998.