

## 신경회로망을 이용한 미케니컬 시일의 on-line 감시 시스템 Neural network based on-line monitoring system for mechanical seal

이 완규\*, 임 순재, 최 만용  
한국표준과학연구원

### 1. 서 언

교반기나 펌프등의 회전기계에서의 트러블은 베어링 부분의 파손이나 결함보다는 미케니컬시일(이하 시일이라 한다)의 이상상태로 인한 액이나 기체의 누설에 의한 경우가 많다. 기계 또는 설비의 가동중에 이 시일의 고장은 단순히 시일 자체뿐만 아니라 설비 전체의 파손을 야기하고 시스템의 가동중단으로 생산 계획에 막대한 차질을 가져오기 때문에 시일이 장착된 시스템에서는 시일의 이상상태에 대한 관리.감시가 매우 중요한 문제가 되고 있다.

시일의 이상상태를 포착하기 위한 방법으로서로는 가동중의 온도, 축에 걸리는 토크, 실의 마멸에 의한 AE신호, 변위등이 고려되고 있는데 산업현장에서의 장기적인 on-line 계측을 고려할때 온도와 토크의 변화가 유효한 인자로 알려져 있다[1]. 그러나 이들 센싱값들은 가동조건에 따라 편차가 존재한다. 즉 실이 정상상태임에도 불구하고 교반기의 액의 상태에 따라 온도나 토크의 값이 달라지는 경우가 발생한다. 따라서 보다 신뢰성 있는 결과를 얻기 위하여는 이들 정보를 상호 보완 또는 통합하여 종합적인 판단을 내리는 것이 필요하다. 이를 위하여는 이들 서로 다른 센싱정보의 통합처리가 필요하게 된다.

본 연구에서는 온도와 토크의 출력변화를 온라인 센싱하고 이들 센싱정보를 통합처리하여 시일의 이상상태를 진단하는 방법에 대해 검토하였다. 센싱정보의 통합처리 모델로는 예측기능을 갖는 다층신경회로망을 이용하였다.

### 2. 신경회로망을 이용한 이상상태의 검출방법

#### 2.1 온도와 토크의 관계

마멸시간에 따른 온도와 토크의 관계에 대한 예를 그림 1에 나타낸다. 이 그림은 카본시트링과 알루미늄 피동링에 접촉압력  $7Kg/cm^2$  를 주어 1750 rpm으로 10분간 회전시켰을 때의 결과이다. 이 결과로 부터 알수 있는 것과 같이 접촉압력이 클수록 온도가 높게 나타나고, 토크가 급격히 변하고 나서 토크의 값이 변하는 경우 카본 윤착층이 생성과 탈락이 왕성하게 반복되는 관계로 온도가 급상승하는 것으로 생각된다. 따라서 온도와 토크의 사이에 높은 상관관계가 있다는 것을 알수 있다.

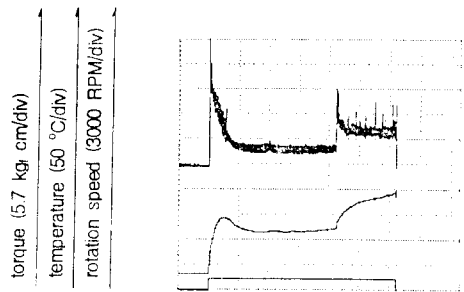


그림 1 온도와 토크의 관계

그림에서 보이는 것과 같이 온도와 토크의 출력 특성은 초기안정화 상태, 정상상태, 파단에 이르는 이상상태의 3가지로 분류할 수 있다.

본 연구에서는 온도와 토크의 신호에 대해 이들 각각의 3단계로 분류하고 출력신호가 어느범위에 속

하는 지를 판단하여 이상유무를 추정한다. 이때 이들 2가지 신호를 상호 보완 또는 통합함으로써 보다 신뢰성 있는 결과를 얻도록 하였다. 신호의 통합을 위한 모델 또는 처리 알고리즘으로는 칼만필터, 최소 2층법등을 이용한 수법이 제안되고 있으나 아직은 실험실 수준으로 실제의 시스템에 적용할 경우에 문제가 있는 것으로 알려져 있다[2],[3]. 여기서는 통합처리를 위한 방법으로서 3층 신경회로망모델을 사용하였고, 각각의 신호에 대해 단계별로 학습시킴으로써 노이즈, 국소적인 신호의 불균일에 대처할 수 있도록 하였다.

## 2.2 신경회로망 모델

본 연구에서는 정상상태의 온도와 토오크의 데이터를 이용하여 정상상태의 온도와 토오크의 상태를 모델링하고 이 모델로 부터 이상상태를 예측하도록 하였다. 이유로서는 이상상태의 데이터의 특징을 분류하기가 매우 어렵고 정상상태의 모델로서도 이상상태를 추정하는 것이 가능하기 때문이다.

온도와 토크의 불규칙적인 출력변화를 감지해서 실이 파괴되는 상황이 발생하기 전에 시스템가동을 중단하도록 해야 한다. 이를위해 시간에 따라 데이터의 특성변화를 3부분으로 구성하여 모델링하였다.

첫번째 단계는 작동초기로서 시스템이 가동되어 토크와 온도가 어는 일정한 상태에 도달하는 안정화 단계이며, 두번째 단계는 안정화 된 단계로 부터 파괴현상이 일어나기 직전까지의 정상상태를 나타내는 과정이며, 세번째 단계는 파괴가 시작되는 단계를 나타낸다.

본 연구에서는 파괴현상이 일어나는 시점 이전에 동작을 중단시켜야 하므로, 첫번째와 두번째 단계에 해당하는 과정의 학습자료를 이용하여 모델링을 하였다. 학습방법으로는 오류역전파학습을 이용하였고, 안정화 구간의 모델링을 위해서 인접 패턴들간의 유사성을 학습하도록 하였다. 이러한 학습과정을 통해

서 입력패턴에 대한 출력패턴간의 유사성이 일정값보다 크거나 그 지속시간이 임계값보다 큰 경우는 안정화 상태에서 벗어난 것으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 값의 증가가 연속적으로 7이상되는 경우를 종료조건으로 하였다. 신경 회로망의 구조는 그림 2와 같다.

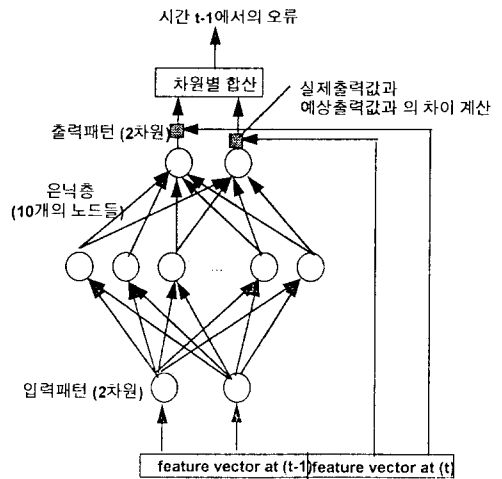


그림 2 신경회로망의 구조

제안한 신경회로망의 각 파라미터들은 다음과 같다.

- 입력및 출력차원수 = 2
- 종료조건 : 반복수 = 최대 10000  
오차율 =  $1.0e-10$ 이하
- 학습율 : 0.65
- 모멘텀 : 0.10
- 은닉층의 노드수 : 10개

## 2.3 학습 알고리즘

입력으로는 (t-1)시점에서의 입력패턴(2차원 벡터로 온도와 토크값으로 구성되어 있다.)을 사용하였으며, 대응되는 출력패턴으로는 t 시점에서 입력받은 패턴을 그대로 사용한다. 따라서, 매시점에서의 실제 출력값은 (t-1)시점에서의 입력과 t 시점에서 입력된

패턴간의 차의 제곱치에 대한 합산으로 정의된다.

매시점에서의 오류계산은 현재시점(t)에서의 입력 패턴에 대한 출력값과 이후 시점(t+1)에서 입력으로 들어올 패턴간의 차이의 제곱을 더하여 현재입력패턴에 대한 오류값을 계산한다.

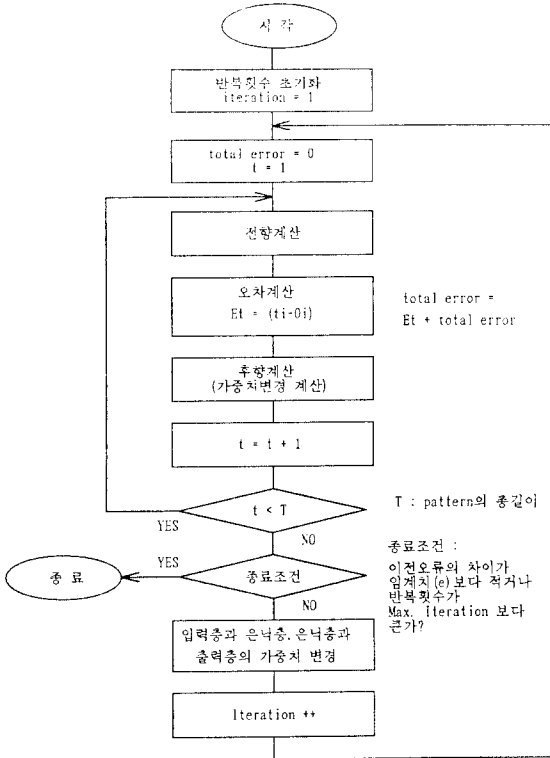


그림 3 신경회로망에 의한 학습과정

신경회로망에의 입력은 센싱된 온도와 토크의 시계 열데이터로서 예를들면 다음과 같다.

time	온도	토크
t = 0	0.1	0.4
t = 1	0.3	0.8
t = 2	0.2	0.7

종료조건 : 현재의 error와 이전의 error가 임계치(e) 보다 적거나 최대 반복횟수를 넘으면 종료

### 3. 실험 및 고찰

#### 3.1 실험장치

그림 4는 시일의 미끄럼운동의 상태인식을 위하여 실험한 장치의 개요를 나타낸다. 그림 좌측 상단의 알루미늄 링은 모터와 연결되어 회전운동을 일으킨다. 카본링은 정지상태를 유지한다. 이 카본링에 시일의 상태를 인식하기 위하여 순간접촉체를 이용하여 AE센서를 직접 부착하였다. 카본링의 저면에는 Cr-AI열전대를 삽입하여 카본링의 온도를 측정하였다. 카본링 홀더 밑에는 arm과 load cell을 장착하여 카본링에 걸리는 토크를 측정하였다.

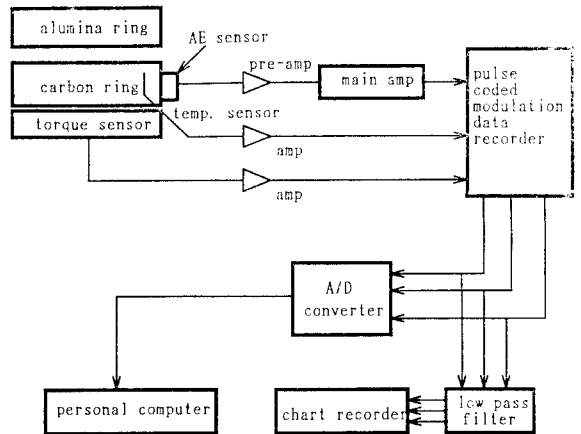


그림 4 실험장치 구성도

각 센서로 부터의 신호는 각각의 amp를 통하여 PCM데이터기록기에 저장하였다. 저장된 신호들은 실시간으로 혹은 실험후에 신호처리를 위하여 컴퓨터에 A/D변환기를 통하여 입력된다. 한편 실제 신호를 실시간으로 기록하기 위하여 chart recorder를 이용하였다. 이때 이 신호들은 저대역밴드필터를 통해 recorder에 기록된다.

#### 3.2 실험결과

본 연구에서는 알루미늄-카본링의 시일에 대해 건

식운전상태에서 실험을 하였다. 건식운전은 냉각수를 공급하지 않은 상태에서의 운전을 말하며 이와같은 상황에서 장기적인 운전을 할 경우 시일의 파괴를 일으키는 치명적인 트러블을 발생시키기 때문이다. 실험에 의해 시스템의 가동시작부터 파괴가 진전될 때까지 A/D변환되어 얻어진 데이터는 온도, 토오크 각각에 대해 총 12,000 포인트였다. 학습데이터로는 정상상태의 데이터중에서 파괴가 일어나기 전의 3,500 포인트를 취하였다.

표 1, 2는 상기의 방법에 의해 학습한 후 실제 상황에 적용했을 경우 시스템에의 입력과 출력치의 일부이다. 그림 5는 이 데이터를 플롯팅한 것이다. 시스템은 그림의 약 900 포인트 근방 즉 파괴가 일어난 직후에 이상상태로 인식하고 시스템을 종료한다.

현재로서는 온도와 토오크의 정보를 통합하여 정확하게 시스템의 이상상태를 진단하는 데에 초점을 두었기 때문에 파괴가 일어나기 전에 예측하는 것은 곤란하다. 그러나 이상징후를 나타내는 추가적인 센싱 정보를 추가하면 같은 본 연구에서 제안한 방법을 그대로 적용하여 예측기능을 갖는 시스템으로 예측이 가능할 것으로 판단된다.

표 1 입력데이터의 예

```

=====
온도      토크
=====
0.006300  0.015400
-0.00550  0.016400
-0.00480  0.016700
.....
-0.00530  0.016300
-0.00580  0.015600
.....
=====

```

표 2 출력 결과의 예

```

=====
시간      온도      토크      오류
=====
...      .....      .....      .....
[9033]  0.089400  0.113700  error=1.891863e-06
[9034]  0.089600  0.113800  error=1.949110e-06
[9035]  0.089400  0.113600  error=2.111972e-06
.....
[9063]  0.163700  0.113300  error=3.732660e-04
[9064]  0.195900  0.113400  error=4.339422e-04
<= 종료
=====

```

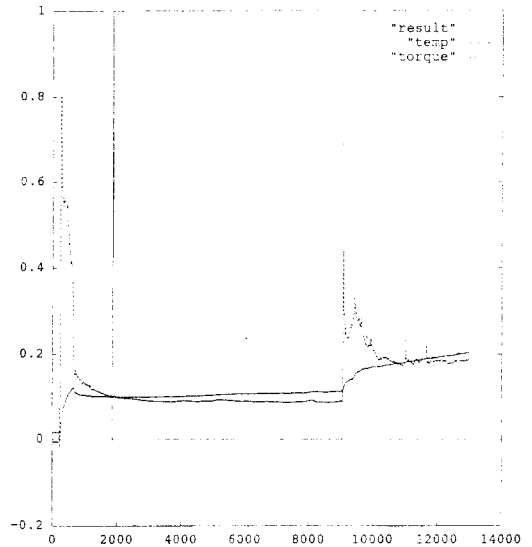


그림 5 신경회로망에 의한 출력

#### 4. 결 언

온도와 토오크의 출력신호를 센싱하고, 이들 신호의 통합에 의해 미캐니컬시일의 이상상태를 온라인 감시하는 방법에 대해 검토하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 가동중의 시일의 온도 및 토오크의 시계열데이터로부터 이상상태를 진단하는 방법을 제안하였다. 진

단에 있어서는 온도와 토오크신호를 통합처리하였고 이를 위한 신경회로망 모델을 제안하였다.

2) 제안한 방법에 대해서 케이스스터디에 의해 그 유효성을 확인한 결과 파단상태에 달하기 직전의 상태를 정확하게 감지하는 것이 가능하였다.

3) 본 연구에서는 이상상태의 예측에까지는 결과를 얻지 못하였으나 이것은 예측에 필요한 센싱파라미터가 불충분한 것으로 모델 자체는 예측에도 적용할 수 있을 것으로 생각된다. 향후 예측을 위한 센싱파라미터를 추가하여 실험을 진행할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] 최만용 외, Mechanical seal의 이상상태 계측 시스템 개발 (2차년도), 과학기술처, 1994
- [2] 이시가와, 센서휴전의 과제, 일본 로보트학회지, 8, 6, pp. 735-742, 1990
- [3] P. K. Allen, Integrating vision and touch for object recognition tasks, Int. J. Robotics Res., 7, pp. 138-161, 1988