

AE신호의 신경망 형상인식법에 의한 로터리 압축기의 결함 분류에 관한 연구

이강용*, 이종명*, 황인범**, 김윤원***, 홍정기***

* 연세대학교 기계공학과

** LG 생산기술원

*** 삼성전자(주) 가전본부

요 약 음향방출법을 이용하여 룸 에어컨에 사용되고 있는 로터리 압축기의 로울러와 베인의 마모결함과 정상인 압축기, 축과 베어링의 scoring 결함과 정상인 압축기를 분류하기 위한 연구를 실사용 상태에서 수행하였다. 이를 위해 AE 신호 형상 인식법과 신경회로망 분류기를 사용하여 모두 완벽하게 분류하였다. 내부압력과 오일과 냉매는 로울러와 베인의 마모에 영향을 미친다.

1. 서 론

로터리 압축기에 발생하는 이상결함은 주로 마모와 마찰인데 여기에 AE(acoustic emission)법을 이용하는 연구는 극히 제한적이다. Sato와 Yoneyama¹⁾는 로터리 압축기 저널 베어링의 마멸, 핀과 베인의 마모에 AE를 적용하여 회전속도, AE 발생수, 신호의 최대값과 평균값의 비에 근거하여 진단 시스템을 고안하였고 Sato 등²⁾은 스크롤 압축기의 이상 마찰에 대해 효과적인 AE 파라미터를 찾았다. 그 외의 시편실험으로 Lingard와 Ng³⁾는 disk-disk 마모 실험에서 디스크의 재질, 하중, 속도를 변화시켜 가면서 마찰에 의한 일과 누적 AE수와의 관계를 제시했다. Carpenter 등⁴⁾은 block-on-ring 마찰 실험에서 하중과 속도를 변화시켜 가면서 AE 실효값과 마찰력과의 관계를 제시하였다. McBride와 Boness⁵⁾는 ball-on-cylinder 마모 실험에서 AE 실효값, 마모 시간, 마모량간의 관계를 측정

하였다. Yoon과 Kwon⁶⁾은 저널 베어링의 비정상적인 조작 상태와 AE 실효값과의 관계를 제시하였다. Jouaneh 등⁷⁾은 여러 가지 접촉 형태의 마찰과 AE 파라미터와의 관계를 제시하였다.

신경 회로망을 이용하는 연구로는 Dornfeld⁸⁾가 공구 이상 검출에 신경 회로망을 이용하였고 Yuki와 Homma⁹⁾는 여러 가지 형상의 pencil lead break로부터 얻은 신호를 신경 회로망을 이용하여 분류하였다. 송성진¹⁰⁾은 용접 결함인 균열, 기공, 슬래그 개재에 초음파법으로 얻은 신호를 확률 신경 회로망을 적용하여 분류하였고 Oishi 등¹¹⁾은 신경 회로망과 계산 역학을 이용한 역분석법과 초음파법을 사용하여 결함의 위치와 크기를 파악하였고, Jiefu 등¹²⁾은 용접부 인공 결함에 신경 회로망을 사용하여 98 % 이상의 분류율을 보였다. 이강용 등^{13, 14)}은 초음파와 AE신호 형상 인식법에 의해 스테인레스강 용접부 결함을 분류하는 연구를 하였다.

그러나 회전체에 신경 회로망을 적용하여 결함을 분류한 연구는 본 연구팀인 이강용 등¹⁵⁾이 로터리 압축기에 인공결함을 분류하기 위해 무부하 운전상태에서 AE신호형상인식법을 적용한 것외는 없는 것 같다. 이러한 이유로 본 연구에서는 신호 형상 인식법과 신경 회로망을 이용하여 신호를 분류하는 프로그램을 자체 개발하여 실사용 상태에서 로터리 압축기의 정상적인 제품과 이상 결함 제품의 신호들을 분류하여 로터리 압축기의 신뢰성을 높이고자 한다. 뿐만 아니라 압력, 오일 및 냉매 등이 이상 결함 발생에 미치는 영향을 관찰하고자 한다.

2. 신호 형상 인식 프로그램의 구성

개발된 신호 형상 인식 프로그램은 자료획득(data acquisition), 자료변환(data transformation), 특징추출(feature extraction), 특징선택(feature selection), 분류기 설계(classifier design), 평가(evaluation)로 구성되어 있다.

자료획득에서는 컴퓨터에 저장한 데이터를 신호 형상 인식 프로그램에 사용하기 위한 형태의 화일로 바꾸어 준다. 자료변환에서는 앞에서 얻은 시간축 상의 데이터를 디지털 신호 처리 기술을 사용하여 여러 영역으로 변환시킴으로써 시간 축에서 얻을 수 없는 정보를 얻을 수 있도록 하였다. 즉 Fourier 변환을 함으로써 주파수 축상에서 각 주파수에 대한 진폭을 얻을 수 있고 자기 상관 함수를 통하여 시간 간격에 따른 유사성을 볼 수 있으며 그 외에 포락성 파형도 얻을 수 있도록 하였다. 특징추출에서는 시간 축의 경우 파형의 형태를 나타내는 최대 진폭 파형의 상승 시간, 하강 시간, 지속 시간, 최대 진폭 기울기 등의 특징 매개변수와 데이터의 통계적 분포를 나타내는 평균값, 분산 등의 매개변수 그리고 주파수 영역에서는 주파수 밴드별 에너지량 등을 자동으로 얻은 후 이 특징값들을 규격화(normalized)하는 프로그램을 구성하였다. Table 1과 Table 2는 시간영역과 주파수영역에서의 특징값을 나타낸다. 또한 이들 값을 얻어내기 위해 문턱값과 신호 처리 과정을 사용자가 정의할 수 있도록 하였다. 특징선택에서는 추출한 특징값이 신호를 분류하는 과정에서 모두 필요하지 않고 신호를 잘 구별할 수 있는 몇 개의 특징값만이 필요하므로 Fisher's weight criterion과 class-mean scatter criterion을 이용하여 신호를 잘 분류할

수 있는 특징값의 순위를 정하고 필요한 갯수만큼 선택하도록 하였다. 분류기 설계에서는 선택한 특징값으로 역전파법을 이용한 신경 회로망 분류기(neural network classifier)를 사용하여 신호를 분류할 수 있도록 하였다.

평가에서는 분류기 설계에 쓰이지 않은 신호를 사용하여 앞에서 설계한 신경회로망 분류기를 검증할 수 있도록 한다.

Table 1. Feature parameters in time domain

| number | feature parameter |
|--------|---|
| 0 | total power in total original time domain |
| 1 | total mean level in total original time domain |
| 2 | total variance in total original time domain |
| 3 | total skewness in total original time domain |
| 4 | total kurtosis in total original time domain |
| 5 | a number of peaks exceeding a present threshold |
| 6 | ratio of the powers above 90% and 10% threshold |
| 7 | ratio of the powers above 50% and 10% threshold |
| 8 | ratio of the powers above 90% and 50% threshold |
| 9 | pulse duration of largest pulse in original time domain |
| 10 | rise time of largest pulse |
| 11 | decay time of largest pulse |
| 12 | peak duration |
| 13 | largest pulse area |
| 14 | energy of largest pulse |
| 15 | first amplitude moment of largest pulse |
| 16 | first energy moment of largest pulse |
| 17 | second amplitude moment of largest pulse |
| 18 | second energy moment of largest pulse |
| 19 | rise slope of largest pulse |
| 20 | decay slope of largest pulse |
| 21 | mean of largest pulse |
| 22 | variance of largest pulse |
| 23 | skewness of largest pulse |
| 24 | kurtosis of largest pulse |

Table 2. Feature parameters in frequency domain

| number | feature parameter |
|--------|--|
| 25 | largest partial power in frequency 0.25 MHz band |
| 26 | 2nd partial power in frequency 0.25 MHz band |
| 27 | 3rd partial power in frequency 0.25 MHz band |
| 28 | ratio of the largest partial power and the largest partial power |
| 29 | ratio of the 2nd partial power and the largest partial power |

| | |
|----|--|
| 30 | ratio of the 3rd partial power and the largest partial power |
| 31 | total power above user defined threshold level |
| 32 | total mean level |
| 33 | total variance |
| 34 | total skewness |
| 35 | total kurtosis |
| 36 | a number of peaks exceeding a present threshold |
| 37 | ratio of the powers above 90% and 10% threshold |
| 38 | ratio of the powers above 50% and 10% threshold |
| 39 | ratio of the powers above 90% and 50% threshold |
| 40 | pulse width of largest pulse |
| 41 | rise width of largest pulse |
| 42 | decay width of largest pulse |
| 43 | number of valley above threshold level |
| 44 | width of valley above threshold level |
| 45 | pulse energy of largest pulse |
| 46 | first amplitude moment of largest pulse |
| 47 | first energy moment of largest pulse |
| 48 | second amplitude moment of largest pulse |
| 49 | second energy moment of largest pulse |
| 50 | rise slope of largest pulse |
| 51 | decay slope of largest pulse |
| 52 | mean of largest pulse |
| 53 | variance of largest pulse |
| 54 | skewness of largest pulse |
| 55 | kurtosis of largest pulse |

3.1.2. 로터리 압축기의 scoring 실험

시편은 대용량 로터리 압축기이며 시편의 종류는 축과 베어링의 scoring 시험편과 무결함 시험편이다. scoring 시험편은 실제상태에서 얻기 어려워 인공적으로 제작한 시험편이고 각 시험편의 갯수는 3개이다.

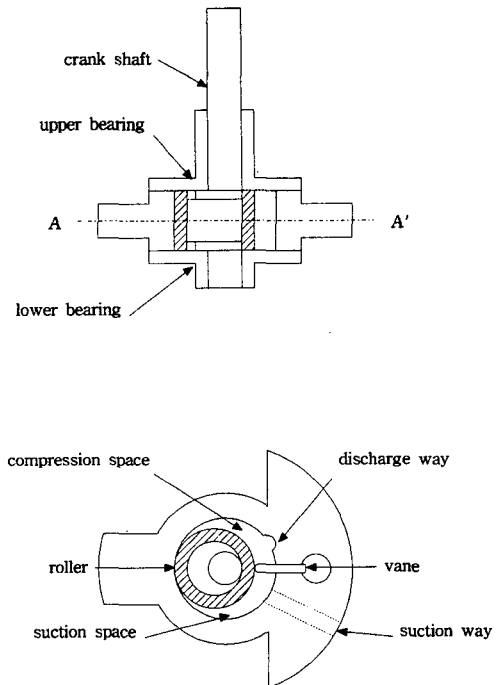


Fig. 1. Configuration of rotary compressor

3. 실험

3.1. 시험편

시험편은 룸 에어컨에 사용되고 있는 로터리 압축기이며 그 구조는 Fig. 1과 같다.

3.1.1. 로터리 압축기의 마모 실험

시편은 중용량 로터리 압축기이며 시편의 종류는 로롤러(roller)와 베인(vane)의 마모 시험편과 무결함 시험편이다. 마모 시험편은 신뢰성 시험후 로롤러와 베인에 마모가 일어난 것을 확인한 후 재조립한 압축기이고 무결함 시험편은 생산라인에서 양산되고 있는 압축기이다. 시험편의 상태와 갯수는 Table 3과 같다. 또한 오일과 냉매의 영향을 알아보기 위하여 오일과 냉매가 서로 다른 같은 용량의 무결함 시험편을 2개씩 4개 준비하였다.

Table 3. Specimens for classification of wear

| specimen | specimen number |
|-------------------------|-----------------|
| wear on roller and vane | W1 |
| | W2 |
| | W3 |
| | W4 |
| no defect | N1 |
| | N2 |
| | N3 |
| | N4 |

3.2. 실험장치

주파수 대역이 60 kHz~1 MHz의 광대역 센서인 PAC(Physical Acoustics Corporation)회사의 AE센서(model:UT-1000)를 사용하여 받은 신호를 40 dB(100배)로 증폭한 후 30 kHz~2 MHz의 필터를 사용하여 잡음을 제거한 후 Sonotek사의 digiscope를 사용하여 컴퓨터에 저장하였다. AE센서를 부착하기 위해 로터리 압축기의 경우 외부가 곡면이기 때문에 웨이브 가이드를 설치하였다.

AE신호의 원활한 전달을 위해서 시편, 웨이브 가이드, AE센서 사이에 Dow Corning사의 high vacuum grease를 couplant로 사용하였다. AE센서의 고정은 메탈 밴드(metal band)를 사용하여 고정시켰다.

Fig. 2는 실험장치를 보여준다.

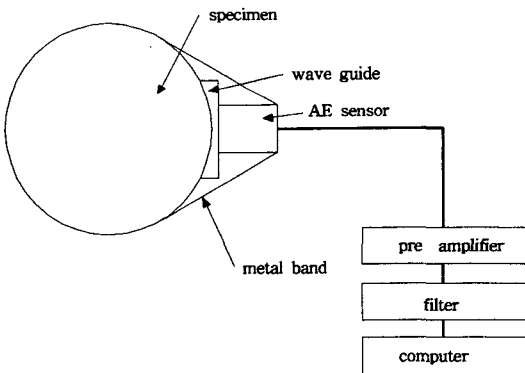


Fig. 2. Schematic diagram of testing system

3.3. 실험방법

샘플링 주파수(sampling frequency)는 390kHz로 하여 1주기의 신호를 받도록 하였다. 실험 분위기 온도는 실온상태이다.

3.3.1. 로터리 압축기의 마모 실험

분류기 설계를 위해 Table 3의 각 시험편에 POE 오일과 R407C의 냉매를 주입한 후 압축기의 압력을 20.88기압으로 하여 온도와 압력이 정상상태가 된 후 각각의 시험편에 대해 신호를 받았다. 압력이 마모에 미

치는 영향을 조사하기 위하여 Table 3의 W3을 실험 사용 가동압력 20.88기압에 근사한 20기압에서 운전하여 신호를 받았고 N3을 20, 23, 26, 29, 32기압에서 운전하여 신호를 받았다. 그리고 오일과 냉매가 마모에 미치는 영향을 조사하기 위하여 같은 용량의 무결함 압축기에 POE 오일과 R407C냉매를, 또다른 무결함 압축기에는 광유(mineral oil)와 R22냉매를 주입하여 20기압에서 운전시 신호를 받았다.

3.3.2. 로터리 압축기의 scoring 실험

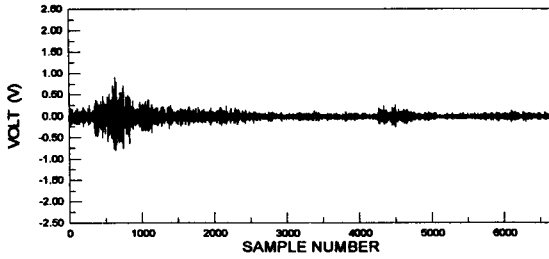
무결함 시편의 경우 압력을 20, 23, 26, 29기압으로 변화시키면서 신호를 받았고 scoring시편은 압력을 20기압으로 하여 신호를 받았다. 이때 광유와 R22냉매를 사용하였고 압력과 온도가 모두 정상상태에 도달한 후 신호를 받았다. 무결함 시편과 scoring시편의 20기압에서의 신호로 분류기를 설계하였고 무결함 시편의 20, 23, 26, 29기압시의 신호와 scoring 시편의 신호로 압력이 scoring에 미치는 영향을 조사하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

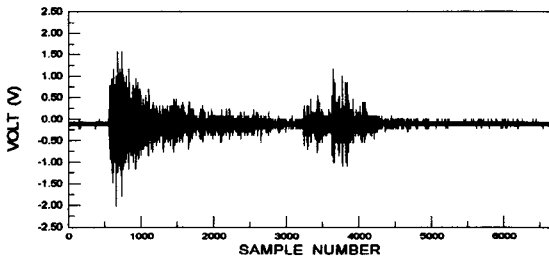
4.1. 로터리 압축기의 마모 관련 실험

Fig. 3은 로터리 압축기의 마모시편과 무결함 시편에서 받은 신호를 일례로 보여주고 있다. 결함시편인 W1, W2, W3과 무결함 시편인 N1, N2, N3에서 각각 50개씩 받은 신호중 30개의 신호를 가지고 분류기를 설계하였고 그 외 분류기 설계에 쓰지 않은 신호와 나머지 시편인 W4와 N4의 신호로 분류기를 검증하였다. 분류기 설계를 위한 특징값은 시간영역에서 25개와 주파수영역에서 31개를 추출하였다.

분류기 설계를 위한 특징값 선정은 Fisher's criterion¹⁶⁾과 class mean scatter criterion¹⁶⁾에 공통으로 포함하고 있는 특징값 7개를 선정하였다. Table 4에 선정된 특징값과 두 개의 criterion에서 순위를 나타내었고 Fig. 4에서는 선정된 특징값중 일부를 예로 하여 feature plot으로 나타내었다. Table 5에는 선정된 7개의 특징값으로 설계한 분류기의 인식률(R.R.)을 나타내었고 Table 6에는 W1, W2, W3, N1, N2, N3시편의 신호 중에서 분류기에 쓰이지 않은 신호와 W4, N4의 신호로 분류기를 검증한 결과를 나타내었다.



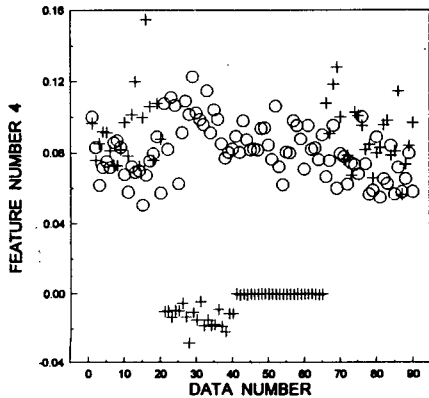
(A) wear specimen



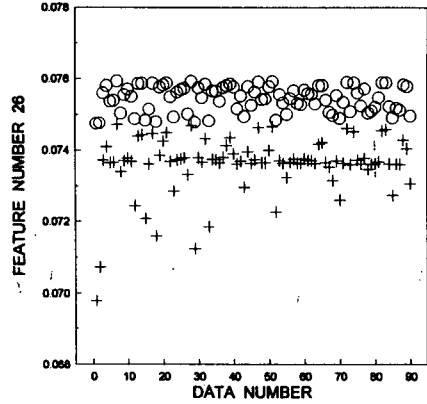
(B) no defect specimen

Fig. 3. Signals in time domain from specimens for classification of wear

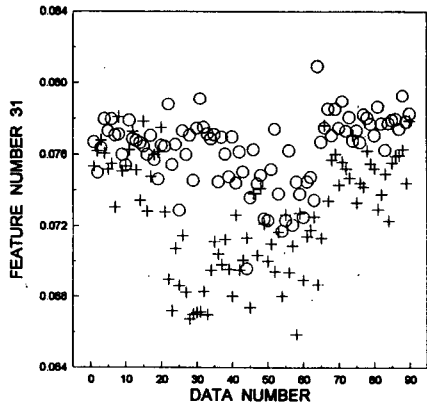
Table 7은 무결함시편의 내부압력을 증가시켰을 때 그 특징값들이 마모시편의 특징값으로 접근하는 것을 보인다. 이는 내부압력이 증가하면 윤활막의 두께가 얇아져서 마모가 일어나게 되는 현상과 일치한다.



(a) feature number 4 (+ : wear, ○ : normal)



(b) feature number 26 (+ : wear, ○ : normal)



(c) feature number 31 (+ : wear, ○ : normal)

Fig. 4. Feature plots of selected features in wear test

Table 8에 나타낸 시간영역과 주파수 영역의 특징값들은 오일과 냉매가 서로 다른 시편에서 받은 신호의 특징값의 평균을 보여준다. R407C 냉매의 경우의 특징값이 R22냉매의 경우보다 크다. 이는 R407C냉매가 R22냉매보다 마모발생을 증가시키는 결과를 주게 된다는 것으로 볼 수 있다.

Table 4. Selected features and ranks in wear test

| selected feature | Fisher's criterion | class mean scatter criterion |
|-------------------|--------------------|------------------------------|
| feature number 1 | 7 | 5 |
| feature number 4 | 14 | 8 |
| feature number 26 | 1 | 1 |
| feature number 28 | 2 | 2 |
| feature number 30 | 3 | 3 |
| feature number 31 | 4 | 10 |
| feature number 32 | 5 | 11 |

Table 5. Results of wear classifier design

| | wear | normal | R.R.(%) |
|--------|------|--------|---------|
| wear | 90 | 0 | 100 |
| normal | 0 | 90 | 100 |

Table 6. Evaluation of wear classifier

| specimen number | R.R. | specimen number | R.R. |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| W1 | 20/20 (100%) | N1 | 20/20 (100%) |
| W2 | 20/20 (100%) | N2 | 20/20 (100%) |
| W3 | 20/20 (100%) | N3 | 20/20 (100%) |
| W4 | 20/20 (100%) | N4 | 20/20 (100%) |

Table 7. Average feature values of no defect specimens for various pressures and wear specimens

| feature number | no defect 20 atm | no defect 23 atm | no defect 26 atm | no defect 29 atm | no defect 32 atm | wear 20 atm |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
| feature[0] | 0.169 | 0.171 | 0.169 | 0.175 | 0.175 | 0.205 |
| feature[2] | 0.022 | 0.026 | 0.022 | 0.028 | 0.028 | 0.062 |
| feature[5] | 15.402 | 16.330 | 17.870 | 18.060 | 19.800 | 17.760 |
| feature[6] | 960.379 | 1097.739 | 1198.520 | 1388.469 | 1526.579 | 145.170 |
| feature[7] | 966.482 | 1103.680 | 1204.410 | 1394.959 | 1533.630 | 150.750 |
| feature[8] | 963.919 | 1101.239 | 1201.839 | 1392.270 | 1530.500 | 148.380 |
| feature[32] | 36.072 | 62.757 | 63.797 | 65.703 | 64.509 | 65.850 |
| feature[34] | 2.967 | 2.879 | 2.793 | 2.448 | 2.303 | 2.280 |
| feature[35] | 11.574 | 11.181 | 10.791 | 9.298 | 8.583 | 8.524 |
| feature[38] | 18.341 | 19.519 | 18.546 | 19.670 | 21.607 | 19.352 |
| feature[39] | 14.181 | 16.357 | 15.578 | 16.462 | 18.015 | 17.046 |
| feature[40] | -1.958 | -0.137 | -1.922 | 0.000 | 1.021 | 3.758 |
| feature[41] | -11.125 | -9.741 | -9.649 | -7.702 | -5.709 | -2.413 |
| feature[42] | 10.731 | 10.711 | 9.296 | 8.829 | 7.452 | 6.317 |
| feature[43] | 2.977 | 3.268 | 3.786 | 4.143 | 4.277 | 4.669 |
| feature[44] | 1.989 | 1.916 | 2.243 | 2.518 | 2.383 | 2.825 |
| feature[45] | 4.418 | 4.876 | 6.640 | 7.678 | 7.189 | 9.762 |
| feature[46] | 6.979 | 12.118 | 10.673 | 15.384 | 13.285 | 17.582 |
| feature[47] | 8.607 | 14.586 | 12.726 | 17.993 | 16.056 | 20.705 |
| feature[48] | -107.641 | -281.597 | -148.572 | -482.732 | -266.911 | -620.387 |
| feature[51] | 2.126 | 2.147 | 1.899 | 2.477 | 2.501 | 2.706 |
| feature[52] | 0.985 | 1.074 | 1.580 | 1.719 | 1.620 | 2.053 |
| feature[53] | 5.497 | 5.523 | 5.861 | 6.826 | 6.974 | 7.454 |
| feature[55] | 1.033 | 1.264 | 0.948 | 1.522 | 1.372 | 1.512 |

Table 8. Average feature values of no defect specimens for two kinds of oil and refrigerant

| feature number | mineral oil, R22 | POE oil, R407C |
|----------------|------------------|----------------|
| feature[0] | 0.24559 | 0.26583 |
| feature[1] | -0.18042 | -0.17657 |
| feature[2] | 0.10168 | 0.14499 |
| feature[3] | 0.13017 | 0.21516 |
| feature[4] | 25.43723 | 26.19762 |
| feature[5] | 29.76181 | 66.63000 |
| feature[10] | 3.69521 | 3.80500 |
| feature[12] | 3.19513 | 3.97162 |
| feature[13] | 1.92077 | 2.35950 |
| feature[14] | 4.76159 | 6.42900 |
| feature[18] | -762.66278 | -742.05432 |
| feature[19] | 0.91227 | 1.08694 |
| feature[20] | 1.25676 | 1.67896 |
| feature[21] | 1.73764 | 2.11725 |
| feature[22] | 2.38779 | 3.33072 |
| feature[23] | -0.48479 | -0.45157 |
| feature[26] | 256.72925 | 256.81067 |
| feature[28] | 256.72925 | 256.81067 |
| feature[30] | 256.72925 | 256.81067 |
| feature[32] | 64.05432 | 70.15091 |
| feature[33] | 61.97386 | 63.88457 |
| feature[34] | 2.00592 | 2.19038 |
| feature[35] | 7.19907 | 8.12542 |
| feature[36] | 1.15789 | 1.42726 |
| feature[37] | 17.51645 | 17.56522 |
| feature[38] | 22.39698 | 23.23617 |
| feature[39] | 17.96884 | 19.39496 |
| feature[40] | -5.66011 | -1.53804 |
| feature[47] | 40.48779 | 41.00918 |
| feature[54] | -0.28621 | -0.26060 |

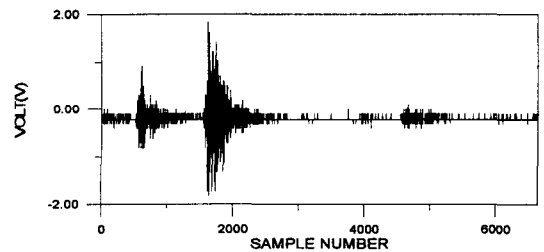
4.2. 로터리 압축기의 scoring 관련 실험

Fig. 5는 로터리 압축기의 20기압에서의 무결함시편 3개 scoring 시편 3개에서 받은 신호중 각각 1개씩을 예로 보여준다. 이 중 무결함 시편 2개와 scoring 시편 2개의 신호로 분류기를 설계하였고 그의 분류기 설계에 쓰이지 않은 신호와 나머지 시편의 신호로 분류기를 검증하였다. 분류기 설계를 위한 특징값은 시간영역에서 25개와 주파수영역에서 31개를 추출하였다.

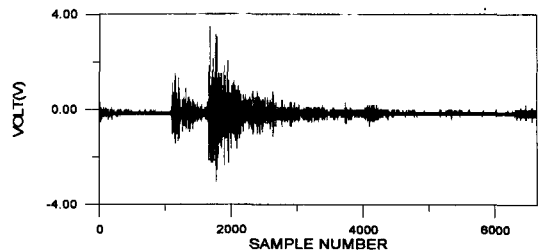
분류기 설계를 위한 특징값선정은 Fisher's criterion과 class mean scatter criterion에 공통으로 포함하고

있는 특징값 3개를 선정하였다. Table 9에 선정된 특징값과 두 개의 criterion에서 순위를 나타내었다. Table 10에는 선정된 3개의 특징값으로 설계한 분류기의 인식률(R.R.)을 나타내었고 Table 11에는 분류기 설계에 사용된 시편중 분류기 설계에 쓰이지 않고 남은 신호와 분류기 설계에 사용되지 않은 시편의 신호로 분류기를 검증한 결과를 나타내었다.

Table 12에서는 무결함 시편의 각각의 압력에 따른 특징값의 평균과 scoring 시편의 특징값의 평균을 보여준다. 시간영역과 주파수 영역에서 공히 압력이 증가한다해서 특징값이 scoring 시편의 특징값의 평균으로 수렴하는 것이 아니므로 압력과 scoring 발생과는 연관성이 없는 것 같다.



(a) no defect specimen



(b) scoring specimen

Fig. 5. Signals of specimens in scoring test in time domain

Table 9. Selected features and ranks in scoring test

| selected feature | Fisher's criterion | class mean scatter criterion |
|-------------------|--------------------|------------------------------|
| feature number 1 | 1 | 1 |
| feature number 12 | 3 | 3 |
| feature number 14 | 2 | 2 |

Table 10. Results of scoring classifier design

| | | | |
|---------|---------|--------|----------|
| | scoring | normal | R.R. (%) |
| scoring | 60 | 0 | 100 |
| normal | 0 | 60 | 100 |

Table 11. Evaluation of scoring classifier

| specimen number | R.R. | specimen number | R.R. |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| no defect #1 | 10/10 (100%) | scoring #1 | 10/10 (100%) |
| no defect #2 | 10/10 (100%) | scoring #2 | 10/10 (100%) |
| no defect #3 | 10/10 (100%) | scoring #3 | 10/10 (100%) |

Table 12. Average feature values of no defect specimens for various pressures and scoring specimens

| feature number | no defect 20 atm | no defect 23 atm | no defect 26 atm | no defect 29 atm | scoring 20 atm |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| feature[0] | 0.208 | 0.211 | 0.217 | 0.218 | 0.239 |
| feature[2] | 0.012 | 0.019 | 0.033 | 0.032 | 0.092 |
| feature[3] | 0.329 | 0.462 | 0.316 | 0.378 | 0.631 |
| feature[4] | 15.449 | 2.892 | 57.254 | 39.202 | 37.411 |
| feature[5] | 43.894 | 42.826 | 46.646 | 53.920 | 103.896 |
| feature[6] | 3320.300 | 3453.536 | 3600.026 | 3839.306 | 3460.256 |
| feature[7] | 3325.506 | 3458.543 | 3605.270 | 3845.283 | 3466.003 |
| feature[8] | 3323.199 | 3456.370 | 3603.003 | 3842.576 | 3463.636 |
| feature[9] | 5.205 | 5.006 | 5.243 | 5.976 | 5.746 |
| feature[10] | 2.898 | 2.833 | 2.976 | 3.270 | 3.380 |
| feature[11] | 2.307 | 2.173 | 2.266 | 2.706 | 2.366 |
| feature[12] | 1.346 | 1.708 | 1.982 | 1.757 | 3.404 |
| feature[13] | 0.832 | 1.028 | 1.234 | 1.085 | 2.116 |
| feature[14] | 0.916 | 1.518 | 2.215 | 1.878 | 4.917 |
| feature[15] | 14.119 | 13.010 | 14.410 | 19.336 | 17.770 |
| feature[16] | 17.986 | 16.778 | 18.236 | 23.820 | 22.234 |
| feature[19] | 0.490 | 0.626 | 0.690 | 0.581 | 1.088 |
| feature[20] | 0.654 | 0.853 | 1.048 | 0.786 | 1.670 |
| feature[21] | 0.694 | 0.852 | 1.021 | 0.945 | 1.847 |
| feature[22] | 0.627 | 1.068 | 1.500 | 1.108 | 2.819 |
| feature[35] | 10.574 | 11.151 | 11.707 | 11.222 | 4.567 |
| feature[37] | 173426 | 16.997 | 19.217 | 18.556 | 17.923 |
| feature[38] | 19.924 | 21.087 | 21.586 | 21.099 | 23.474 |
| feature[53] | 6.460 | 6.277 | 6.578 | 6.474 | 10.477 |
| feature[55] | 0.363 | 1.547 | 1.806 | 1.413 | 1.81 |

5. 결론

신호형상 인식 프로그램을 로터리 압축기의 이상결함 분류에 적용한 결과는 다음과 같다.

1. 마모시편과 무결함 시편을 분류하는 분류기는 시간 영역과 주파수 영역에서의 7개의 특징값을 사용하여 분류기를 설계하였고 검증한 결과 무결함 시편과 마모시편을 완벽히 분류하였다.
2. 압력과 마모와의 관계와 오일과 냉매의 마모와의 관련성은 시간영역과 주파수 영역에서 몇 개의 특징값에서 압력이 증가할수록 또 윤활특성이 떨어지는 R407C윤활유를 사용했을 때 AE신호가 커졌다는 현상으로부터 찾아볼 수 있다.
3. Scoring 시편과 무결함 시편 분류하는 분류기는 시간 영역에서의 3개의 특징값을 사용하여 분류기를 설계하였고 검증한 결과 무결함 시편과

scoring시편을 완벽히 분류하였다.

4. 압력이 scoring을 유발하는 원인이라고 볼 수 없다.

후 기

본 연구는 교육부 학술연구조성비(기계공학분야)에 의한 연구(과제번호 ME 97-C-21)의 결과로써 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) I. Sato and T. Yoneyama, "Diagnosis of Rotating Slides in Rotary Compressors Using Acoustic Emission Technique", Progress in Acoustic Emission IV(1988), pp. 405-412
- 2) I. Sato, T. Yaneyama and Y. Sato, "An Acoustic Emission Diagnosis Technique for Rotating Slides in Scroll Compressors", Progress in Acoustic Emission VII(1994), pp. 607-612
- 3) S. Lingard and K. K. Ng, "An Investigation of Acoustic Emission in Sliding Friction and Wear of Metals", Wear, Vol.130(1989), pp. 367-379
- 4) S. H. Carpenter, C. R. Heiple, D. L. Armentrout, F. M. Kustas and J. S. Schwartzberg, "Acoustic Emission Produced by Sliding Friction and its Relationship to AE from Machining", Journal of Acoustic Emission. Vol.10(1992), Number 3/4, pp. 97-101
- 5) S. L. McBride and R. J. Boness, "Acoustic Emission Monitoring of a Wear Occurring in a Lubricated Ball-on-Cylinder Test", Progress in Acoustic Emission V(1990), pp. 181-187
- 6) D. J. Yoon and O. Y. Kwon, "Acoustic Emission Monitoring of Incipient Failure in Journal Bearings", Progress in Acoustic Emission VI(1992), pp. 93-100
- 7) M. K. Jouaneh, R. Lemaster and F. C. Beall, "Study of Acoustic Emission Generation Sliding Motion", Journal of Acoustic Emission, Vol.10(1992), Number 3/4, pp. 83-90
- 8) D. A. Dornfeld, "Monitoring the Machine Process by Means of Acoustic Emission Sensors", Acoustic Emission : Current Practice and Future Directions, ASTM STP 1077(1991), pp. 328-344,
- 9) H. Yuki and K. Homma, "AE Source Waveform Analysis by Using a Neural Network", Progress in Acoustic Emission VI(1992), pp. 235-242
- 10) 송성진, "확률 신경 회로망을 이용한 용접 결합 분류 기법", 초음파와 재료 강도에 관한 학술 토론회(1994), 자료 번호 : KSNT/UT9407
- 11) A. Oishi, K. Yamada, S. Yoshimura and G. Yagawa, "Inverse Analysis by Mean of Neural Network and Computational Mechanics : Its Application to UT-Based Nondestructive Evaluation", The Joint JSME/KSME Conference on Recent Progress in Fracture Mechanics (1993), pp. 89-94
- 12) T. Jiefu, T. Wenxin and D. Xiaodai, "Application of Artificial Neural Network in Intelligent Ultrasonic Flaw Detector", Proceeding of International Symposium on Nondestructive Testing & Stress-Strain Measurement(1992), pp. 325-330
- 13) 이강용, 김준섭, "초음파신호의 신경망 형상인식법을 이용한 오스테나이트 스트레인 레스강의 용접부 결합분류에 관한 연구", 대한기계학회 논문집(A), 제 20권, 제 4호, pp. 1309-1319, 1996
- 14) 이강용, 임장묵, 김준섭, "적응형 신호 형상 인식 프로그램의 개발과 AE법에 의한 용접부 결합분류에 관한 적용 연구", 한국비파괴검사학회지(논문), 제 16권, 제 1호, pp. 34-45, 1996
- 15) 이강용, 이종명, 김준섭, "적응형 AE 신호 형상 인식 프로그램의 개발과 회전체 금속 접촉부 이상 분류에 관한 적용 연구", 한국비파괴검사학회지(논문), 제 15권, 제 4호, pp. 520-530, 1995
- 16) Richard O. Duda and Peter E. Hart, Pattern Classification and Scene Analysis. John Wiley & Sons, 1973

Classification of Defects in Rotary Compressor by Neural Pattern Recognition of Acoustic Emission Signal

K. Y. Lee*, C. M. Lee*, I. B. Hwang**, Y. W. Kim*** and J. K. Hong***

* Department of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749

** Production Engineering Research Center, LG Electronics Inc.

*** Home Appliance Business, Samsung Electronics Co., Ltd.

Abstract The specimen with the wear between a roller and a vane and a normal specimen are classified by AE signal pattern recognition method with a neural network classifier in airconditioning operation test. Also the specimen with the scoring between a shaft and a bearing and a normal specimen are classified by the same method. As the internal pressure increases, the wear between the roller and the vane increases. The different pairs of oils and refrigerants give the effect on the wear.