

AE 원신호 파형분석에 의한 에어컨 컴프레서의 상태 진단

이갑규*, 강익수**, 강명창***, 김정석#

Condition Diagnosis of Air-conditioner Compressor by Waveform Analysis of AE Raw Signal

Gam Gyu Lee*, Ik soo Kang**, Myung Chang Kang*** and Jeong Suk Kim#

ABSTRACT

For the diagnosis of compressor abnormal condition in air-conditioner, AE signal which is derived from wear condition, compressed air and assembly error is analyzed experimentally. The burst and continuous type AE signal occurred by metal contact and compressed air and AE raw signal of compressors were directly acquired in production line. After extracting samples according to waveforms, Early Life Test(ELT) is conducted and classified to normal and abnormal waveform. The efficient parameters of waveform pattern are investigated in time and frequency domain and the diagnosis algorithm of air-conditioner by Neural Network estimation is suggested.

Key Words : AE raw signal(음향방출 원신호), Rotary compressor(회전식 압축기), Neural network(신경회로망), Early Life Test(ELT; 단기수명시험), Eccentricity(편심), Wear(마모), Diagnosis(진단)

1. 서론

AE(Acoustic Emission)신호는 재료의 마찰이나 균열의 진전이 발생할 때 반드시 그 원신호 파형의 변화를 가져온다. AE 신호가 물리적인 힘으로 정량화가 되어 있지 않으므로 구조물로부터 획득된 측정 데이터로부터의 상태별 비교와 분석이 행해지게 된다.¹

가스나 유체를 저장하는 고압탱크의 경우에는 균열과 누설을 감시하기 위해 AE 센서를 특정위치에 부착시키고, 그 상태만 감시하면 된다. 베어링이나 모터의 경우에는 회전과 함께 윤활, 마찰, 온도가 AE 신호에 영향을 줄 수 있는 변수로 작

용한다.²⁻⁴ 특히, 대형구조물의 베어링이나 모터의 경우에는 상태감시를 위한 분리와 재조립이 가능하고 센서부착이 용이하기 때문에 결합원인별 진단이 순조롭게 진행된다. 또한, 절삭가공 분야에서도 AE를 적용한 상태감시 연구가 꾸준히 진행되고 있는 실정이다.⁵

하지만, 소형압축기의 경우는 윤활, 마찰, 온도 외에 냉매와 압력의 변수가 더해진다. 그리고, 곡면인 외벽과 외부에 간섭받는 부품들이 많아서 센서의 부착위치가 용이하지 못하다. 특히, 실시간 검출을 위해 센서에 무리가 많이 가고, 상태진단을 위한 분리 측정이 어렵고, 재조립시에는 또다른 상태가 됨으로 해서 진단에 많은 어려움이 있

접수일:2004년 2월 17일; 게재승인일:2004년 8월 13일
* LG 전자㈜
** 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
*** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소
부산대학교 기계공학부
E-mail:juskim@pusan.ac.kr Tel.(051)510-2334

다. 동일한 압축기와 동일한 조건임을 가정하여 변수들을 줄였으며, 센서선정과 부착에 따른 신호차를 제거하였다.

실제 압축기 부품과 조립상의 이상이 있을 때 AE 원신호의 변화가 있는지를 확인하였으며, AE 신호의 특성을 고려하여 실제 양산라인에서 발생하는 이상파형 신호들을 추출하여 원인파악과 신경회로망을 통한 분류를 행하였다.

2. 실험방법 및 실험장치

2.1 실험방법

압축기 실린더 부위를 구동하고 조립할 수 있는 압축기를 제작하여 인위적 이상상태별 AE 원신호 파형을 분석하였다. 가속도 신호는 단지 분석할 AE 신호 추출을 위해 사용하였고, 압축기의 회전주파수가 60 Hz이므로 1 주기를 17 ms로 정하고, 3 주기 데이터를 추출하여 특징 파라메타를 구하였다. AE 이상파형의 원인을 파악한 후 그 파형으로부터 얻어진 특징 파라메타를 각 계층의 학습패턴으로 구성하였다. 이상파형별 원인이 파악된 시료의 부족으로 이상파형별 유사 임의파형을 학습패턴에 추가하였다. 학습 알고리즘은 오차 역전파학습을 이용하였고,⁶ 퍼셉트론 구조이며 입력을 $x_i (i=1, \dots, n)$, 입력층과 은닉층의 연결강도가중치 w_{ij} , 은닉층과 출력층의 연결강도가중치 w_{jk} 에 의한 은닉층 $y_j (j=1, \dots, m)$ 과 출력층 $z_k (k=1, \dots, l)$ 의 출력은 다음과 같다.

$$y_i = \sigma(s)(w_{0j} + w_{1j}x_1 + \dots + w_{nj}x_n) \quad (1)$$

$$z_k = \sigma(s)(v_{0k} + w_{1k}y_1 + \dots + w_{mk}y_m) \quad (2)$$

단, $\sigma(s) = 1/(1+e^{-s})$: 시그모이드 함수

목표값과 출력값의 오차를 이용하여 가중치 w_{ij} , v_{jk} 를 수정하면서 오차범위 이하가 되는 한 학습반복횟수를 계속하도록 하는 규칙을 행하였다.

2.2 실험장치

압축기 발생 AE 신호의 주파수대가 100~300 kHz 이므로 샘플링주파수는 1 MHz로 하였으며, 고속·고분해능의 A/D 보드와 100~300 kHz의 밴드패스필터

를 사용하였다.

압축기 외벽의 구조와 주파수대를 고려하여 직경이 작은 피코형(Pico type) AE 센서를 사용하였으며, 센서부착위치를 고려한 전용지그를 사용하여 압축기가 안정되는 시동 후 4 분에서 4 주기의 신호를 획득하였다. Table 1 과 Fig. 1 에 실험장비의 사양과 실험장치도를 나타내었다.

Table 1 Experiment instruments and specifications

Instrument	Specification
AE sensor	Resonant pico type
Accelerometer	B&K type 4374
AE-Amp.	1220A 100-300kHz
Accelerometer-Amp.	B&K NEXUS
Power supply	24V
A/D board	12bit 20MHz

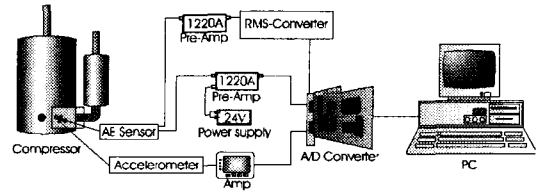


Fig. 1 Experiment setup

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축기 AE 발생원 시뮬레이션

압축기 부품의 마멸결함과 조립불량, 압축공기의 영향에 따른 AE 발생원을 규명하기 위하여 냉매와 압력의 변수가 배제된 상태의 실린더부위만 구동시킬 수 있는 장치를 제작하여 상태별 AE RMS 신호를 획득하여 구별해 보았다. Fig. 2 에 DC 모터구동 압축기와 이상상태의 종류를 나타내었다.

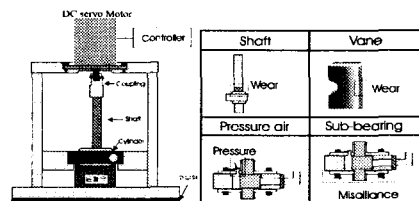


Fig. 2 Compressor operated by DC servo motor and abnormal condition types

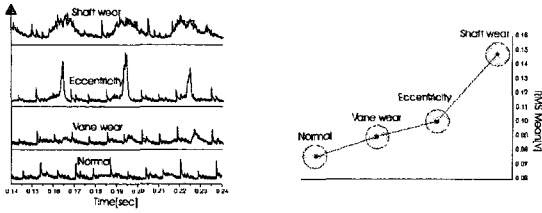


Fig. 3 AE signals by wear condition, eccentricity, compressed air and fluid

모터의 회전수는 3,000rpm 이며, AE 신호를 RMS 변환하여 파형만 관찰하였고, AE RMS 평균을 취하여 비교하였다. 정상과 조립이상, 마멸 상태의 비교 결과 그리고, 밸브상태에 따라 압축공기의 세기 조절과 밸브부위에서 유체가 튀는 상태를 정상상태와 비교하여 Fig. 3 에 나타내었다.

본 실험으로부터 부품의 상태나 조립불량, 압축공기의 영향으로 AE 신호의 레벨과 파형이 달라지며 정상적인 상태와 구분이 됨을 알 수 있다.

3.2 파형의 분류 및 수명시험 결과

AE 신호의 특성을 고려하여 현장라인에서 획득한 정상파형과 이상파형군의 분포를 Fig. 4에 나타내었다.

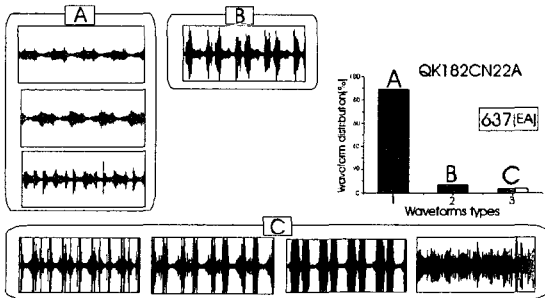


Fig. 4 Classification and distribution of waveform

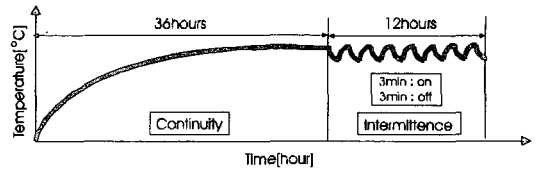


Fig. 5 Process of life test

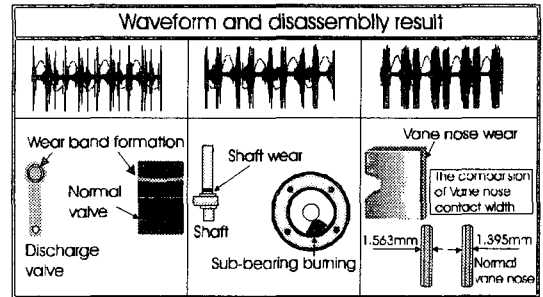


Fig. 6 Disassembly results

A 파형 1개, B 파형 1개, C 파형 1개, 총 3개의 샘플시료를 추출하여 48시간의 단기수명시험을 행한 후 절개하였다. Fig. 5에 수명시험의 공정을 나타내었으며, Fig. 6에 수명시험 후의 절개 검토 결과를 나타내었다.

절개 부품상태뿐만 아니라 정상과 이상파형 시료에 대한 동심도에 대한 치수오차를 측정된 결과를 Fig. 7에 나타내었으며, 이상파형의 시료들에 대한 동심도가 정상파형에 비해 상당히 크며, 이상파형들이 서브베어링 조립시의 편심불량에 의해

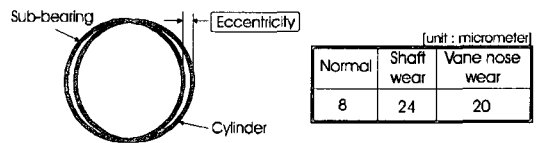


Fig. 7 The eccentricity of cylinder and sub-bearing

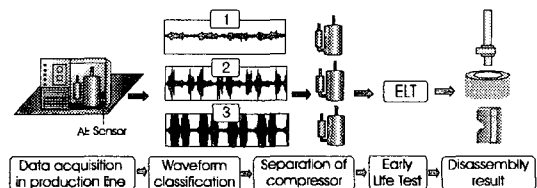


Fig. 8 The process of approaching method

발생하며 부품간의 마찰이 발생하는 것으로 추정된다.

이상상태 압축기 진단의 전체적인 접근방법의 개략도를 Fig. 8 에 나타내었다.

3.3 특징추출과 분류

AE 원신호 파형 2주기의 데이터로부터 시간과 주파수영역 5개의 파라메타를 정하고, 학습시의 오차에 근접하도록 상수로 노말라이징하였다. Fig. 9처럼 가속도 신호에 의해 동일 한주기 데이터가 추출되므로 파형패턴을 대변하도록 특징구간 5구간으로 나누어 각 구간의 평균을 파라메타로 하여 총 10개의 입력층 파라메타로 학습데이터를 구성하였다. Table 2에 입력층 유효파라메타 10개와 출력층 6개를 나타내었다.

Fig. 10에 설계한 신경회로망의 입력층, 은닉층, 출력층의 과정을 나타내었다.

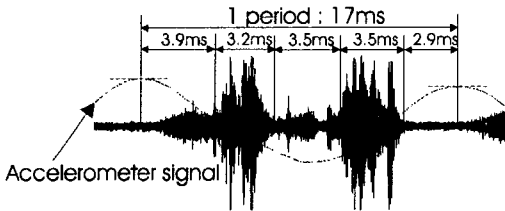


Fig. 9 Mean parameter by feature extraction step

Table 2 Input parameters and output classes

Period	No.	Input parameter				
2 period	I1	AE energy				
	I2	(AE mean × AE count[0.01V])/1000				
	I3	AE count[0.03V]/2000				
	I4	Peak to peak[100~200kHz]/1000				
	I5	Deviation/Kurtosis				
1 period (Mean)	I6	I7	I8	I9	I10	
	3.9ms	3.2ms	3.5ms	3.5ms	2.9ms	

No.	Output	No.	Output
O1	Normal 1	O4	Vane wear
O2	Normal 2	O5	Valve wear
O3	Shaft wear	O6	Wholly wear

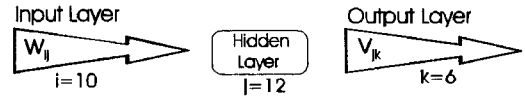


Fig. 10 The structure of neural network

3.4 분류결과 및 고찰

상태 검증된 시료의 부족과 생산과 현장라인 상의 문제로 데이터를 충분히 확보하지 못해 상태가 확인된 시료의 데이터 한 두개를 학습데이터로 하여 학습시킨 후 미지의 다른 데이터가 인식한 상태의 파형을 추가로 학습시켜 평가하였다. 전체적으로 높은 파형의 신호는 유사파형의 부족으로 랜덤값의 연산으로 만들어 추가하였다. 이상의 신경회로망 분류기를 이용하여 분류한 결과와 AE 원신호 파형의 가시적인 분류를 비교함으로써 인식률을 평가하였다. 에어컨 양산라인에서 획득한 총 637개 압축기에 대한 가시적인 파형수량분포와 상태 검증 데이터만으로 인식한 데이터를 추가하여 인식한 파형수량분포를 Fig. 11에 나타내었다. Table 3은 가시적 분류파형을 기본패턴으로 하여 인식률을 평가한 것이고, 반복횟수에 따른 인식률을 비교한 결과, (a)는 5,000번, (b)는 20,000번 수행한 결과이며, 반복횟수가 증가할수록 인식률이 향상됨을 알 수 있다.

O3 파형을 정상적인 O1 파형으로 인식한 경우는 실제로 정상에 가까운 낮은 파형이었다. 가시적인 AE 원신호파형의 분류와 인식했던 데이터의 추가로 신경회로망에 의한 분류가 잘 일치함을 알 수 있으며 계속적인 상태 검증된 데이터가 추가된다면 보다 향상될 것이다. 동심도 불량에 의한 이상파형의 발생을 확인하기 위하여 실제로 인위적인 편심을 주어서 실험을 한 결과 이상파형이 발생함을 알 수 있었다.

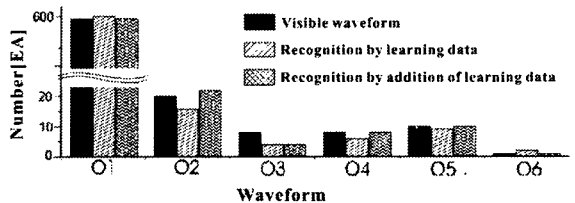


Fig. 11 Quantity distribution of waveform

Table 3 Estimation of recognition rate

(▽ : Standard pattern, ▶ : Recognition pattern)

(a) Repetition : 5,000

▽ \ ▶	O1	O2	O3	O4	O5	O6	Rate (%)
O1	590						100
O2	4	10			6		50
O3	3		1	1	3		12.5
O4				6	2		75
O5			1		8	1	80
O6						1	100

(b) Repetition : 20,000

▽ \ ▶	O1	O2	O3	O4	O5	O6	Rate (%)
O1	589	1					99.8
O2		20					100
O3	2	1	5				62.5
O4				8			100
O5					10		100
O6						1	100

O3 파형을 정상적인 O1 파형으로 인식한 경우는 실제로 정상에 가까운 낮은 파형이었다. 가시적인 AE 원신호파형의 분류와 인식했던 데이터의 추가로 신경회로망에 의한 분류가 잘 일치함을 알 수 있으며 계속적인 상태 검증된 데이터가 추가된다면 보다 향상될 것이다. 동심도 불량에 의한 이상파형의 발생을 확인하기 위하여 실제로 인위적인 편심을 주어서 실험을 한 결과 이상파형이 발생함을 알 수 있었다.

Fig. 12 에서 알 수 있듯이 인위적 제작에 의한 이상파형과 실제 생산라인에서 획득한 이상파형이 유사함을 알 수 있으며, 이는 서브베어링 체결시의 축의 위치와 관계하는 것으로 추정되며, 부품의 결합은 전수검사에 의해 걸러짐으로 이러한 조립불량이나 부품의 치수정도에 따른 이상상태가 많이 발생할 것으로 추정된다.

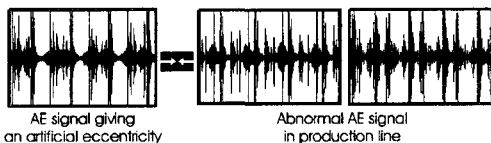


Fig. 12 The pattern of AE signal

4. 결론

본 실험을 통해 압축기 내부 부품의 상태를 AE 신호가 잘 나타냄을 확인하였고, 진단시스템 구축을 위한 유효 데이터의 추출과 알고리즘을 구성할 수 있게 되었다. 또한 신호가 압축기의 내부 상태의 간접적 감지에 유효함을 알 수 있으며, AE 원신호의 파형분류에 의해 접근할 때 조립불량에 의한 이상파형의 특성을 알 수 있었다. 따라서 신경회로망 분류기에 의해 신호분석을 함으로서 에어컨 압축기의 상태진단에 활용할 수 있음을 보였다.

향후 이러한 접근방법을 체계화하고, 보다 많은 이상파형시료 추출에 의한 상태검증을 행한 후 실시간 에어컨용 압축기의 진단시스템을 구축할 수 있게 될 것이다.

참고문헌

1. Khan, M. A., Shoji, T. and Takahashi, H., "Application of AE Technique to the Study of Crack Instability," 5th International AE Symposium Tokyo, pp. 395-410, 1980.
2. Sato, I. and Yoneyama, T., "Diagnosis of Rotating Slides in Rotary Compressors using Acoustic Emission Technique," The Japanese Society for NDI, pp. 405-412, 1988.
3. Webster, J., Dong, W. P. and Rindsay, R., "Raw Acoustic Emission Signal Analysis of Grinding Process," Annals of the CIRP, Vol. 45, pp. 335-340, 1996.
4. Yamasaki, S. and Takahashi, T., "Delayed Fracture Mechanism in High Strength Steels by Acoustic Emission Source Wave Analysis," Iron and Steel, Vol. 83, pp. 48-53, 1997.
5. Kim, J., S., Lee, D., W., Kang, M., C. and Choi, S., P., "Monitoring of Tool Life through AR Model and Correlation Dimension Analysis," Journal of the KSPE, Vol. 15, No. 11, pp. 34-43, 1998.
6. Kim, S., W., "Pattern recognition," Hong Reung Science Publishing, 1996.