

AE 원신호를 이용한 압축기의 이상상태 분석

Abnormal condition analysis of compressor using AE raw signal

김전하*, 이기용 (부산대 원), 강명창(부산대 기계기술연구소),

김정석(부산대, ERC/NSDM), 노태영, 이감규(LG전자)

Jeon-ha Kim*, Gi-yong Lee(Graduated School, Pusan Univ.), Myeong-chang Kang(RIMT, Pusan Univ.),

Jeong-seok Kim,(ERC/NSDM, Pusan Univ.), Tae-yeong Noe, Gam-gyu Lee(LG electronics)

Abstract

Rotary Compressor has many AE(Acoustic Emission) sources according to condition of parts because it is operated with combination of various parts. In this study, analysis of AE raw signal generated from Rotary compressor which has artificially-made parts inflicted abnormal condition was carried out. AE raw signals were acquired from high-speed A/D board, and many burst type signals were observed. By analyzing burst type signals which is caused from internal AE source, efficient AE parameters for monitoring and diagnosis were presented.

Key Words : AE Raw Signal(음향방출 원신호), Rotary Compressor(회전식 압축기), Burst Type(돌발형), AE Count(AE 카운트), AE Energy(AE 에너지), Abnormal Condition(이상상태), Butting(버팅)

1. 서 론

압축기의 실린더와 베인(Vane)주위는 여러부품들의 조합으로 인해 회전시에 많은 AE(Acoustic Emission)발생원이 존재하므로 압축기 내부의 메카니즘과 신호의 분석이 함께 이루어져야 한다.⁽¹⁾

회전식 압축기와 같은 회전기계는 모터의 구동에 의해 축을 중심으로 해서 공기의 흡입이나 토출, 베인의 움직임, 밸브의 여닫음, 롤러(Roller)의 회전 등 모든 작용부위들이 주기적으로 행해지므로, 그에 따라 발생하는 신호 또한 주기적으로 발생한다. 그러나, 냉매나 윤활, 전류변화와 압축상태 등의 많은 동적오차성분들에 의해 시간에 따라 한 주기의 수치적 값들이 다르게 나오는 현상때문에 신호분석에 많은 어려움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 잠재적으로 균열과 마멸을 줄 수 있는 출력신호 중에서도 큰 전압치를 보이는 충격적인 AE 돌발형 신호(Burst type signal)들을 원신호 자체로 분석하고 기준이 되는 돌발형 신호를 찾음으로써 그것을 기준으로 하여 발생하는 돌발형 신호들과 발생할 수 있는 압축기 내부의 이상상태를 알고자 한다.^(2,3)

2. 실험장치 및 방법

AE 신호는 수백kHz의 고주파를 발생하므로, 이를 측정할 시스템 또한 고속 대용량의 데이터 획득 장비가 필요하다.

실험은 하나의 AE센서를 사용하였고, 각 상태별로 한주기의 신호를 추출하여 분석을 행하였다.

2.1 실험장치

압축기 외형(Shell)은 곡면이므로 접촉면적에 따른 AE센서의 민감도를 고려하여 직경이 작은 Pico-Type의 AE센서를 선정하였고, 100~300kHz의 대역 필터를 사용하였으며, 신호의 증폭을 위해 프리앰프(Pre-Amp)와 전원공급장치로 24V를 공급하였다. 데이터획득을 위해서 Gagescop-A/D Board(분해능: 12bit, 20MHz)와 획득프로그램을 사용하였고, 샘플링주파수는 앨리어징(Aliasing)현상을 방지하기 위하여 2MHz로 하였으며, 트리거 레벨(Trigger Level)은 500mV로 주고, 시간에 대해 프리트리거(Pre-Trigger)를 2.5ms로 주어서 총 42.5ms(2주기)를 획득하는 실험장치도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험에 사용된 압축기 모델은 QJ222PD25B이며, 회전주파수는 50Hz이다.

Fig. 2에는 AE 원신호(Raw signal)의 스펙트럼(Spectrum)을 나타내었다.

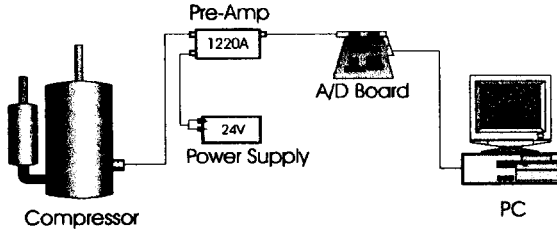


Fig. 1 Experimental set-up

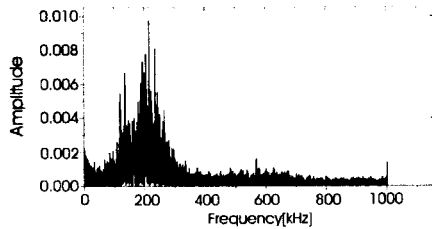


Fig. 2 Spectrum of AE raw signal

2.2 인위적 이상상태의 제작

이상상태의 종류에는 인위적인 이상상태인 롤러적힘(Roller defect), 롤러높음(Roller lift), 축편심(Set Clearance)의 3종류이다. 롤러적힘은 롤러에 축방향으로 윗부분에 적힘을 주었고, 롤러높음은 롤러를 5~7 μ m높여서 조립하여 베어링과의 마찰을 발생하도록 하였으며, 축편심은 축의 편심을 40~50 μ m로 주어 압축을 저하시키도록 하였다. 이상상태 종류별 인위적인 제작방법을 Fig. 3에 나타내었다.

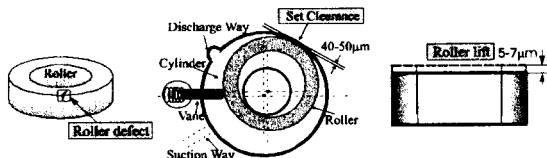


Fig. 3 Type of artificial abnormal condition

3. AE 원신호와 파라메타

3.1 이상상태별 AE 원신호 파형

정상과 이상상태별 AE 원신호 파형은 Fig. 4와 같이 확연히 구분되는 것을 알 수 있으며, 돌발형 신호는 모두 감쇠하는 과도(Transient) 신호형태를

가지고, 주기적으로 발생함을 알 수 있다.

Table 1에 나타난 한회전당 모터의 주기가 롤러 높음의 경우는 베어링과의 마찰로 모터에 부하가 많이 걸려서 주기가 늦어짐을 알 수 있다

각각의 이상상태별 AE원신호 파형에서는 주기적인 돌발형 신호들을 볼 수 있는데 이러한 돌발형 신호는 충격으로 인한 잠재적인 균열과 마멸을 유발할 수 있으므로 돌발형 신호의 분석이 필요하다.

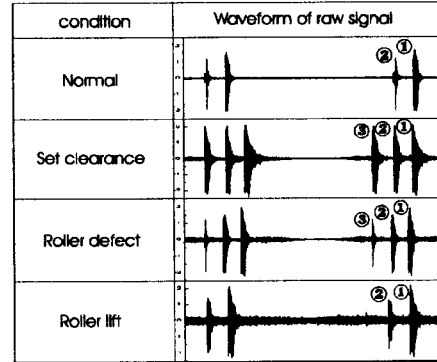


Fig. 4 Waveforms of AE raw signal

Table 1 Motor rotation period

Condition	Period(ms)
Normal	20.2775
Set Clearance	20.2730
Roller defect	20.2700
Roller lift	20.4850

3.2 AE 파라메타와 돌발형 신호

AE 원신호에서 구할 수 있는 기본적인 파라메타로는 카운트(Count), 이벤트(Event), 피크(Peak), AE 에너지(Energy) 등이 있다. 카운트는 설정값(Threshold)을 넘는 신호의 갯수이고, 이벤트는 카운트군들의 갯수이며, AE에너지는 진폭을 제공하여 전체 데이터갯수로 나눈 후 제곱근을 취한 것이다. 이것을 도식적으로 Fig. 5에 나타내었다.

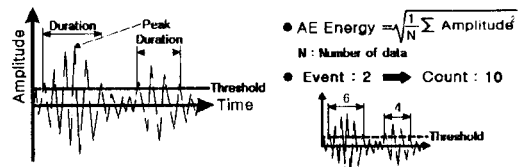


Fig. 5 Parameters of AE raw signal

실린더 내부구조의 평면도와 돌발형 신호중 기준이 될 버팅(Butting)시의 메카니즘을 Fig. 6에 나타

내었다.

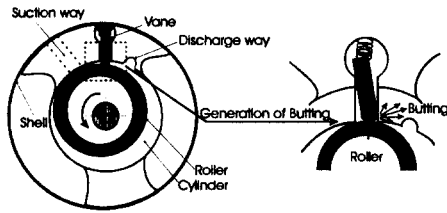


Fig. 6 Shape of cylinder and butting mechanism

토출후 롤러에 의해 베인이 수직으로 가장 큰 힘을 받는 시점에서 버팅이 발생하므로 상태별 버팅신호를 기준으로 압축기 메카니즘과 발생한 돌발형 신호들을 분석한다.

장시간으로 발생하는 돌발형 신호들은 모두 충격에 의해 감쇠하는 과도형태의 신호 유형을 가짐을 알 수 있으나, 압축기의 내부는 많은 동적오차성분으로 인해 Fig. 7과 같이 확대한 단시간의 돌발형 신호에는 많은 신호들이 복합적으로 섞여 있다. 이는 센서에 도달한 하나의 신호가 떨어지기 전에 또 다른 신호가 상승하면서 앞 신호에 실려서 나오기 때문이다.

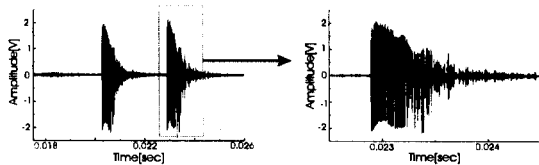


Fig. 7 Zoomed waveform of burst type signal

4 분석결과 및 고찰

원신호 파형에서 돌발형 신호군 이후에 반주기 정도는 돌발형 신호가 발생하지 않음으로 Fig. 4에서처럼 가장 오른쪽 신호부터 왼쪽으로 발생횟수 만큼 순서대로 번호를 붙인 후 분석을 행하였다. 각 상태별 돌발형 신호에서 공통적으로 기준이 되는 돌발형 신호만 알 수 있으면 한회전 360°에 대한 이상상태별 AE 발생원을 압축기의 메카니즘으로부터 유추할 수 있을 것이다. 따라서, Fig. 8~10에 AE원신호의 기본 파라메타인 에너지, 카운트와 전술한 돌발형 신호의 확대한 형태가 많은 신호들의 연속이므로 지속시간(Duration Time)을 정하기가 곤란하여 돌발형신호부분의 데이터를 크기순으로 분류하여 과도형태로 만든후 데이터의 갯수로 지속시간을 구한 후식 (1)을 사용하여 분석하였다.

$$K_{count} = \frac{Count}{DurationTime} \quad (1)$$

Fig. 8, 9에서의 에너지와 카운트값은 일치하는 값을 얻을 수가 없어서 신호의 일관성을 주기위하여 K_{count} 라는 파라메타를 구하여 분석하였다.

잡음성분을 고려하여 설정값을 0.35V로 하였다.

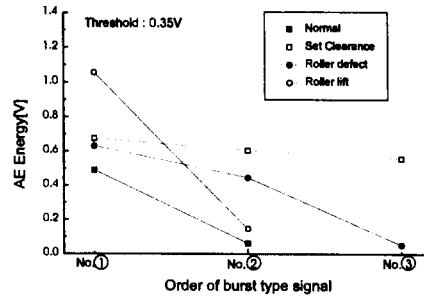


Fig. 8 AE energy of each burst type signal

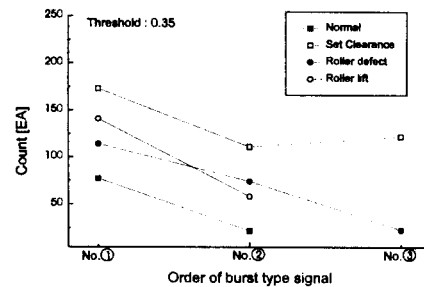


Fig. 9 Count of each burst type signal

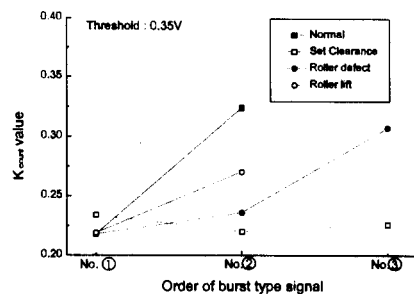


Fig. 10 K_{count} value of each burst type signal

실험과 분석은 동일한 조건하에서 행해진 것이므로 각 상태별로 발생하는 돌발형 신호의 K_{count} 값들이 모두 ①번 신호에서 일치하는 값을 보이므로 ①번 돌발형 신호를 기준으로 할 수 있다.

원신호 파형에서 버팅을 0°로 했을 때 압축에 의해 토출밸브가 열리는 180° 이후부터 점차적으로 신호가 연속적으로 증가하는 것을 알 수 있으며, 이러한 증가신호는 토출되는 압축공기의 세기에 좌우되며, 크기가 다른 것은 압축상태가 다르다는 것이므로 정상과 이상상태별로 내부의 압축상태가 다르고, 돌발형 신호 또한 이 영향을 받을 것임을 알 수 있다.

롤러높음의 경우는 전체적으로 마찰에 의해 높은 연속형 신호가 나옴을 알 수 있고, 롤러찍힘의 경우는 버팅 이후에 높은 신호가 나오는 데 이것은 베인 이 베인슬롯(Vane slot)에 밀리면서 내려올 때 과다하게 밀착되는 것 같다. ②와 ③번 돌발형 신호는 압축공기가 토출되면서 발생하므로 토출공기의 세기에 좌우되며, 토출밸브의 여닫음이나 이상상태별 특징이 이 부분에서 크게 작용함을 알 수 있다.

압축기의 메카니즘과 AE발생원의 신호를 분석함으로써 압축기의 감시와 진단 가능성을 조사하기 위해서는 한주기 또는 여러주기의 신호 특성치를 정량화하여 통계적으로 처리하는 일이 필요하다.

따라서, 한주기의 신호 특성치인 에너지값을 Fig. 11에, 잡음성분을 고려하여 0.2V, 0.35V, 0.5V로 설정값을 변화시키면서 카운트를 Fig. 12에 나타내었다.

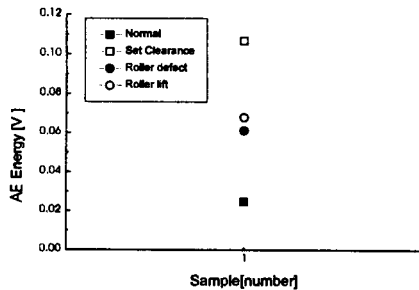


Fig. 11 AE energy value during one period

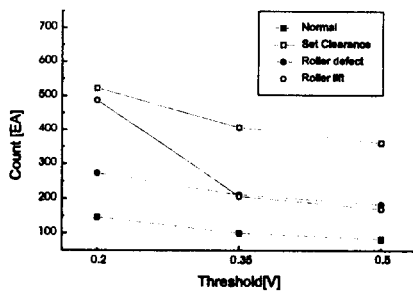


Fig. 12 Variation of count according to threshold value

한주기의 에너지값은 각각의 상태에 따라 구분이 가능하고, 카운트값은 설정값이 0.2V일 때 구분이 확실하므로 진단의 가능성을 보여주고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

하나의 돌발형 신호에 많은 신호들이 복합적으로 섞여 있어서 압축기의 상태를 분석하기에는 많은 오차를 유발할 수가 있지만, 각각의 돌발형 신호들은 AE 발생원의 특성을 지니고 있다.

본 연구를 통해서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 이상상태별로 AE 원신호의 형태와 그에 따른 파라메타 값들이 다르다는 것을 파악하였다.
- (2) 이상상태별 특징들이 토출압력의 세기에 좌우됨을 알 수 있다.
- (3) 버팅시 발생하는 신호에 대한 유효한 AE파라메타를 구했다.
- (4) 전체 한주기에 대해서 얻어진 각 상태별 에너지값과 문턱값 0.2V의 카운트는 이상상태의 진단에 적용할 수 있다.

이상과 같은 연구결과를 통하여, AE원신호를 이용하여 압축기의 이상상태를 진단할 수 있는 가능성을 알 수 있으며, 앞으로 실린더내의 압축상태와 롤러부의 이상에 따른 이상상태 뿐만아니라, 축과 베어링, 베인 등의 내부 부품에 대한 분석이 행해진다 면 보다 신뢰성 있는 진단 알고리즘이 구현될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Ichiya Sato and Takao Yoneyama, "Diagnosis of rotating slides in rotary compressors using acoustic emission technique", The Japanese Society for NDI, pp. 405-412, 1988
2. J. Webster, W. P. Dong, R. Rindsay, "Raw Acoustic Emission Signal Analysis of Grinding Process", Annals of the CIRP, Vol. 45, pp. 335-340, 1996
3. Shingo Yamasaki and Toshihiko Takahashi, "Delayed Fracture Mechanism in High Strength Steels by Acoustic Emission Source Wave Analysis", Iron and Steel, Vol. 83, pp. 48-53, 1997