

# AE를 이용한 회전형 압축기의 이상상태 감시 (The Monitoring of Abnormal Rotary Compressor using Acoustic Emission)

정지홍\*, 이기용(부산대 대학원), 강명창(부산대 기계기술연구소),  
김정석(부산대 NSDM 연구센터), 이감규, 안봉열(LG전자 공조기 OBU)

## ABSTRACT

The compressor is one of important elements in refrigerator cycle and play an important role of refrigeration efficiency and quality. Therefore it is very important to monitor state of normal and abnormal compressor. In this research, technic of AE is used for monitoring abnormal rotary compressor and an AE parameter which is a most proper parameter to monitor the abnormal state of compressor is determined by signal processing. Finally, the monitoring result of rotary compressor is agreement with the result of life test.

Key Words : Monitoring(감시), Rotary Compressor(회전형 압축기), Acoustic Emission(음향 방출), Count(카운트), Butting(충돌), Life Test(수명 시험)

## 1. 서 론

냉매 압축기(Compressor)를 사용하는 냉동 사이클에 있어서, 냉매 압축기는 기본기능을 좌우하는 핵심부품의 하나로서 성능과 품질에 있어 결정적인 영향을 미친다. 그러므로 수년간 품질 개선 노력에 의해 조립 라인에서의 불량률의 감소가 혁신적으로 개선되어 왔으나 최근 2~3년간의 현상은 압축기 단품의 개선이 한계에 이른 듯하고 시스템적인 접근에 의하여 개선되고 있으나 상당히 어려운 연구임과 동시에 압축기 자체의 불량에 대해서는 검출력을 향상시킬 수 있는 획기적인 대책을 마련하지 못하고 있다. 그 개선 대책으로 음향방출법(Acoustic Emission Technic : 이하 AE라고 칭함)을 도입하고자 한다.

AE는 구조물의 현상태를 진단하고 안전도를 평가하는 비파괴 검사법(NDT : Non-destructive Testing)<sup>(1,2)</sup>이나 재료의 미시적인 변형과 파괴 과정을 실험적으로 해석하는 재료의 평가법<sup>(3,4)</sup>으로서 주로 사용되고 있지만, 최근에는 금속재료와 같은 균질한 재료를 대상으로 개발되어진 대부분의 각종 실험 방법들을 복합재료와 같은 불균일한 재료나 비금속 재료에 적용시킬 때 파생되는 여러 가지 문제점들을 보완하는 차원에서 AE를 이용한 새로운 평가 방법들의 개발

도 활발하게 이루어지고 있다.<sup>(5,6)</sup>

지금까지의 조사결과로, AE신호는 매우 높은 주파수의 탄성파로서 낮은 진폭을 갖고 있으므로 계측과 증폭에 특별한 기기가 필요하며 압축기 내부의 축계와 펌프계의 가공상 문제가 있을 경우 비정상적인 AE 신호가 감지되므로써 불량률의 판별이 가능할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 압축기의 이상상태를 감시하기 위해 AE기법을 도입하여 회전형 압축기에 대하여 AE 센서를 이용하여 최적의 측정 파라미터를 선정하고 정상과 비정상상태를 판별할 수 있는 기법을 제안하고자 한다.

## 2. AE 신호의 파라미터

디지털로 변환된 AE 신호의 계측에 있어서 측정되는 파라미터로서는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 실효치 전압(RMS Voltage), 카운트(Count), AE 진폭, AE 에너지, AE 주파수, 지속시간(Duration Time), 상승시간(Rise Time), AE 히트(Hit) 등이 있으며 이러한 파라미터의 특성으로부터 측정하려는 목적에 따라 적절한 파라미터의 선정이 감시에 있어서 상당히 중요하다.

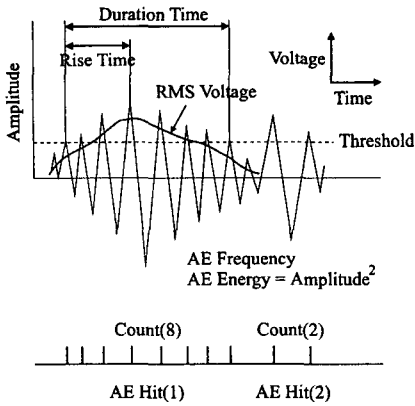


Fig. 1 The Parameters of AE Signal

### 3. 회전형 압축기와 음향방출 발생원

#### 3.1 압축기 구조와 원리

소형 에어컨에 사용되는 회전형 압축기의 구조는 Fig. 2와 같다.

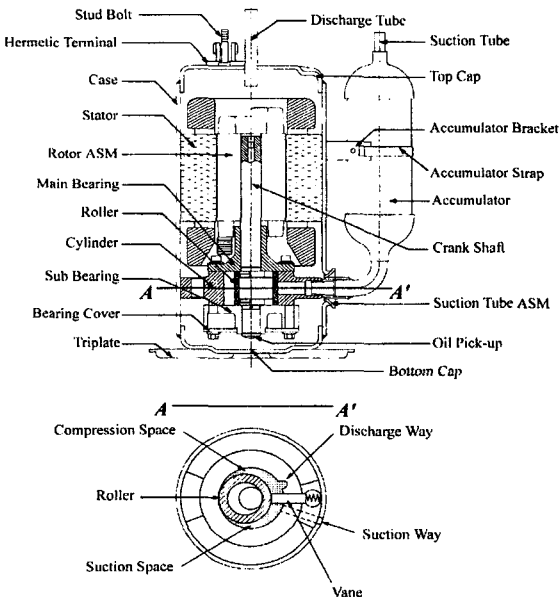


Fig. 2 The Structure Diagram of Rotary Comp.

회전형 압축기의 주요 부품은 크랭크 축(Crank Shaft), 롤러(Roller), 베인(Vane), 베어링(Bearing) 등이고 실린더에서 편심된 중심을 가진 크랭크 축은

메인 베어링과 서브 베어링에 의해 지지되어 있고, 크랭크 축은 롤러와 결합하여 모터의 회전에 따라 냉매가스를 흡입구에서 토출구로 연속적으로 보낸다. 베인은 스프링에 의해 항상 롤러와 접촉하고 흡입측과 토출측을 차단하여 압축시킨 가스가 흡입측으로 누설이 되지 않도록 하고 있다.

회전형 압축기가 종래의 왕복식 압축기와 다른점은 모터의 회전운동을 왕복운동으로 변환하는 기구가 없기 때문에 부품수가 적고, 소형 경량화가 가능하다. 또한 압축은 연속적으로 행해지기 때문에 균형을 잡는 것이 가능하고 진동이 적다. 하지만 과열이 되기 쉽고 각부분의 간격이 매우 균일로 작지 않으면 압축가스가 저압측의 누설로 성능이 나오지 않으므로 매우 고도의 가공정도를 요하고 가공정도가 재질이 나빠서 마모된 경우는 급격히 압축기의 성능 저하를 가져온다.

#### 3.2 음향방출 신호의 발생원

회전형 압축기에서 회전 부품(Rotation Slide) 부분은 크랭크 축과 베어링, 롤러와 베어링, 베인과 롤러, 롤러와 크랭크 축 사이이며 이들 부분에서는 주로 마찰과 마멸에 의한 AE 신호가 발생이 되고, 베인 슬롯(Slot)에서는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 베인은 압축된 공기와 롤러에 의해 흡입측으로 밀리게 되고 롤러가 회전함에 따라 베인이 상사점에 도달했을 때 베인이 토출구쪽면으로 충돌 현상(Butting)에 의해 AE 신호가 발생한다.

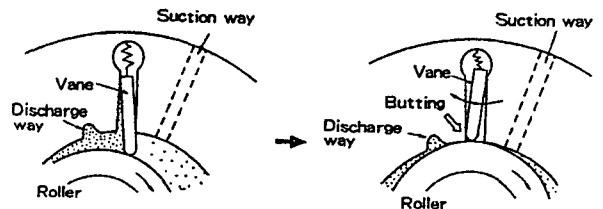


Fig. 3 The Generation Mechanism of AE

### 4. 실험장치 및 방법

#### 4.1 실험장치의 구성

본 연구를 수행하기 위해서 사용된 실험 장치도는 Fig. 4와 같이 구성하였다.

압축기는 원통형으로 AE센서의 부착면이 곡면이므로 센서를 부착하기 위해 직경 5mm Pico 센서를

사용하였으며, 마그네틱 칩을 제작하여 압축기에 부착하였다. AE 신호가 미약하므로 전치증폭기를 사용하였고 노이즈를 제거하기 위해, 주파수 밴드폭이 100 kHz~1,200 kHz의 대역통과필터를 사용하였다.

AE 신호는 고주파이므로 범용 A/D 변환기와 PC를 사용하면 데이터 처리를 원활히 수행할 수 없으므로 고성능 A/D 변환기가 장착된 DSP보드를 사용하여 데이터를 획득하였다.

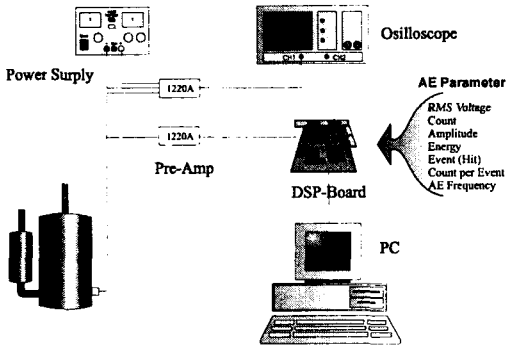


Fig. 4 The Schematic Diagram of Experimental Setup

#### 4.2 실험방법

실험은 회전형 압축기를 정격으로 기동시키고 압축기에 양호한 신호를 검출하기 위하여 실리콘 그리스를 사용하여 AE 센서를 부착하였다.

적절한 AE 센서를 선정하기 위하여 압축기에 광대역 AE센서를 사용하여 해당 주파수를 분석하고 압축기의 온도 범위를 조사하였다. 또한 AE 신호가 가장 안정하게 나오는 발생원을 찾기 위하여 여러부분에 AE 센서를 부착하여 실험을 행하였다.

AE 센서에서 검출된 신호는 디지털 오실로스코프를 사용하여 원신호 파형을 분석하여 AE-DSP 보드에 사용할 초기 조건인 PDT, HDT, HLT 및 설정치(Threshold) 레벨을 설정하였다.

검출된 신호는 AE-DSP를 통해 분석하였고 적절한 파라미터를 선정하기 위해 불량 압축기와 정상상태의 압축기에서 각각 신호를 받아 비교하였다.

AE 감시기법에 의해 이상상태로 판정된 압축기는 과부하 조건으로 40시간 가동하는 단기 수명 시험을 실행한 후 절개하여 각 부품의 마멸 상태를 정밀 측정함으로써 검증하였다.

Table 1에 실험 조건과 단기 수명 시험의 과부하 조건을 나타내었다.

Table 1 The Pressure Condition of Compressor

	Suction Pressure ( $kg/cm^2$ )	Discharge Pressure ( $kg/cm^2$ )
Normal Load	5.34	20.86
Over Load	9.00	30.00

### 5. 실험결과 및 고찰

#### 5.1 AE 센서의 선정

광대역 센서를 사용하여 압축기의 AE 신호의 주파수를 측정된 결과 100 kHz~400 kHz 정도의 주파수 대역이었으며, 압축기의 평균 온도는 50°C 전후였다.

AE 신호의 주파수 대역, 압축기의 부위별 온도 그리고 접촉 면적을 고려하여 본 연구에서는 작동 온도 -65~177°C, 작동 주파수 100~750 kHz, 센서 직경이 5mm인 Pico 센서를 선정하였다.

#### 5.2 AE 원신호와 파라미터 선정

정상상태의 압축기를 정격기동시 오실로스코프에서 측정된 AE 원신호는 Fig. 5에 나타내었다. 일정한 주기를 가지고 있는 피크군이 발생하고 낮은 진폭의 신호는 회전부품에 의한 신호로 생각되고, 높은 진폭의 신호는 베인의 충돌 현상에 의해 발생하는 것으로 사료된다.

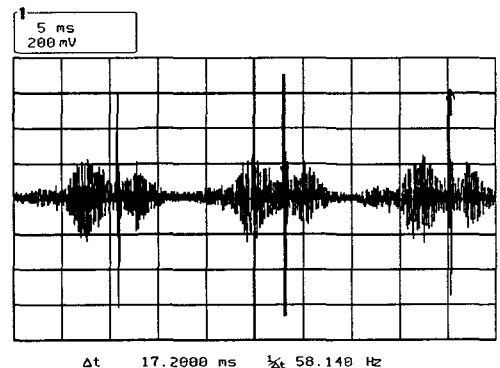


Fig. 5 AE Raw Signal of Compressor

또한 원신호 파형 분석을 통해 감시에 적절한 PDT, HDT, HLT를 설정하였으며 AE의 여러 파라미터 중 이상상태 압축기를 판별하기에 적절한 파라미터를 선정하기 위해 여러 원인의 불량 압축기와

파라미터 중 카운트가 감시에 효과적임을 알았다.

Table 2는 이상상태에서의 압축기에 대한 카운트 값의 한계를 통해 정상으로 판정한 압축기의 카운트가 3000정도인데 비하여 이상상태인 압축기는 대체로 낮은 카운트 값의 분포를 보였다.

Table 2 The Count of Abnormal Compressor

Factor of Abnormal State	Count
Electronic Sound	750
Operating in Low Volt	1400
Operating in Low Volt + Electronic Sound	1800

### 5.3 AE 센서의 부착위치 선정

최적의 센서 부착위치를 선정하기 위하여 압축기의 각 위치별로 측정된 AE 신호와의 관계는 Fig. 6 ~ Fig. 9에 나타내었다

Fig. 6은 베인 부근에 센서를 부착하였는데 시간에 대해 카운트 값이 거의 일정하고 변동이 작다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 압축기 중간에 센서를 부착한 경우이고, Fig. 8은 베인에서 반시계 방향으로 90° 회전하여 센서를 부착한 경우이며, Fig. 9는 압축기의 윗부분에 센서를 부착했을때를 나타내는데, 베인 이외의 부분에서는 시간에 대하여 카운트 값의 변동이 심하고 카운트 값은 정상인 압축기에 비해 낮은 것을 알 수가 있다.

따라서 회전형 압축기에서 베인 부근에 AE 센서를 부착하면 감시하기에 양호한 신호를 얻을 수 있으며, 이 위치가 최적의 위치임을 알 수 있다.

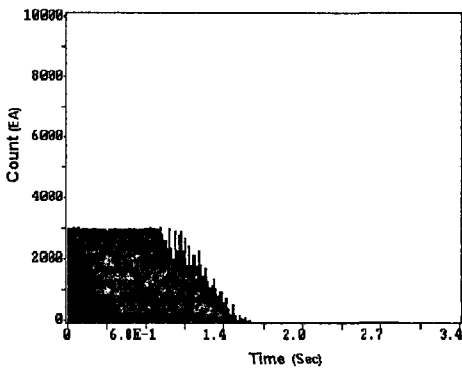


Fig. 6 The Count Measured at Vane near Compressor

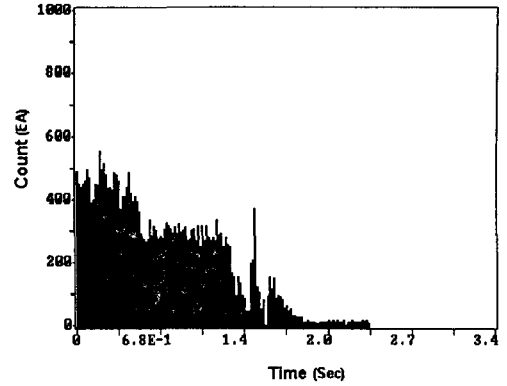


Fig. 7 The Count Measured at the Middle of Compressor

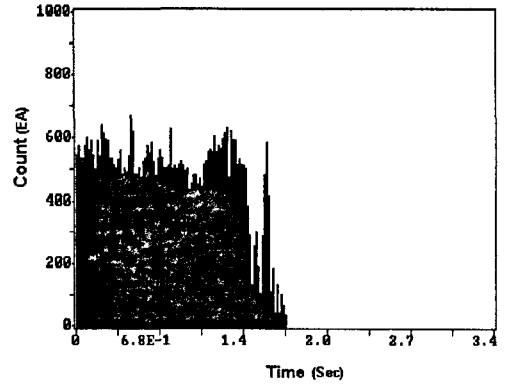


Fig. 8 The Count Measured at the Place perpendicular to Vane of Compressor

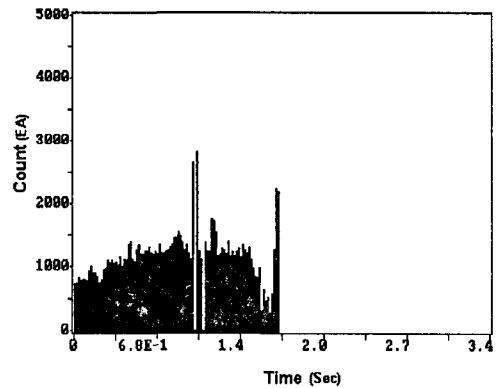


Fig. 9 The Count Measured at the Top Surface of Compressor

## 5.4 카운트 분포도 및 검증

압축기의 700개 샘플에 대해서 카운트 분포도를 Fig. 10에 나타내었는데 정상적인 마멸이 발생할 때 카운트값은 3000정도이고 카운트값이 낮거나 높은 것은 압축기의 이상상태라고 사료된다.

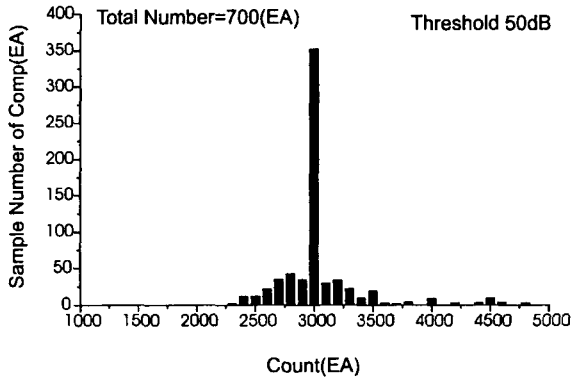


Fig. 10 The Count Distribution for Compressor

이를 검증하기 위하여 카운트값이 낮거나 높은 압축기를 추출하여 단기 수명시험을 실시한 다음 절개하여 각 부품별로 정밀 측정된 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 The Count and the Result of Life Test of Abnormal Compressor

Sample Number	Count	The Result of Life Test
1	2000	Abnormal
2	3700	Abnormal
3	4500	Abnormal
4	4800	Abnormal
5	5000	Abnormal

수명 시험 결과 AE 감시 기법으로 추출한 압축기가 모두 이상상태라고 판정되어 카운트에 의한 이상상태 감시 결과는 수명 시험 결과와 잘 일치한다는 것을 알 수 있다.

## 6. 결론

회전형 압축기와 AE 파라미터 사이의 관계를 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) AE 주파수와 압축기의 온도를 고려하여 적절한 AE 센서(Pico Type)를 선정하였으며, AE 발생원은 베인 근처로서 이 위치를 센서 부착점으로 선정하였다.

2) 압축기의 이상상태를 감시하기 위한 AE 신호 획득 및 처리 기법을 정립하였고, 감시에 효과적인 AE 파라미터로 카운트값을 선정하였다

3) 압축기의 정상과 이상상태를 감시한 결과는 수명 실험 결과와 대체적으로 잘 일치하였다.

이상과 같은 AE 신호 기법의 연구 결과는 회전형 압축기의 이상상태 감시에 효과적으로 적용할 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

- (1) EPRI, "Acoustic Emission Monitoring of Steam Turbines", EPRI CS ~2367, Final Report, April, 1982
- (2) Blackburn, P.B. and Rana, M.D., "Acoustic Emission Testing and Structural Evaluation of Seamless Steel Tubes in Compressed Gas Service", Trans. of the ASME, Vol. 108, May, pp.234~240, 1986
- (3) Choi, N. S. and Takahashi, K, "Characteristics of AE Wave Attenuation in Short Fiber Reinforced Plastic", J. of Composite Materials, Vol. 24, pp. 1012~1028, 1990
- (4) Fowler, T. J., Blessing, J. A. and Conlisk, P. J., "New Directions in Testing", 3rd Int'l Symp. on AE from Composite Materials(AECM-3), July 17~21, Paris, pp. 17~27, 1989
- (5) Khan M. A., Shoji T. and Takahashi, H., "Application of AE Techique to the Study of Crack Instability", 5th INT'l AE Sysposium, Tokyo, pp. 395~410, 1980
- (6) Vargas, A. F., "Acoustic Emission for Quality Control in Composites", Fabricating Composite Conference, 1985