

# AE 신호를 이용한 회전형 압축기의 이상상태 감시

이감규<sup>+</sup>, 정지홍<sup>++</sup>, 김진하<sup>+++</sup>, 강명창<sup>\*</sup>, 김정석<sup>++++</sup>

(논문접수일 2004. 2. 17, 심사완료일 2004. 8. 18)

## The Abnormal Condition Monitoring of Rotary Compressor using Acoustic Emission

Kam-Gyu Lee<sup>+</sup>, Ji-Hong Jung<sup>++</sup>, Jeon-Ha Kim<sup>+++</sup>, Myung-Chang Kang<sup>\*</sup>, Jeong-Suk Kim<sup>++++</sup>

### Abstract

The compressor has one of important roles in refrigeration cycle and it determines refrigeration efficiency and quality. This paper aims to monitor rotary compressors for room air conditioners by using Acoustic Emission(AE) technique. The reliability of rotary compressors has been evaluated through visual inspection on them after long term test. This paper describes methods for acquisition and processing AE raw signal to monitor the state of rotary compressor.

A detecting method of abnormal compressor in real time is suggested and special-purpose monitoring system which can be applied to automatic manufacturing line is developed using one-chip microprocessor at low cost.

**Key Words :** Monitoring(감시), Rotary Compressor(회전형 압축기), Acoustic Emission(음향방출)

## 1. 서론

회전형 압축기(Rotary Compressor)는 종래의 압축기에 비해 소형·경량이고, 효율이 높으며, 소음이 적어 최근 가정용 에어컨 및 냉장고 등 냉동시스템에 널리 채용되고 있다. 압축기는 냉동사이클의 핵심부품이고, 성능과 품질에 결정적인 영향을 미치므로 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>(1,2)</sup>.

현재 압축기의 이상상태를 판별하기 위해 전류센서를

이용하지만, 신뢰성 문제로 거의 적용되지 않고 있으며, 숙련된 작업자들의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 따라서, 이러한 단점을 보완하고, 신뢰성 있는 감시를 위해 본 연구에서는 음향방출(Acoustic Emission)법<sup>(3-5)</sup>을 도입하였다.

AE는 구조물의 현 상태를 진단하고 안정도를 평가하는 비파괴검사법이나 재료의 미시적인 변형과 파괴과정을 실험적으로 해석하는 재료의 평가법으로 주로 사용되고 있으며, 최근에는 금속재료의 마찰과 마멸로 인해 발생하는

\* 교신저자, 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소 (kangmc@pusan.ac.kr)  
주소: 609-735 부산시 금정구 장전동 산30번지

+ LG전자(주)

++ 한국산업기술평가원

+++ 부산대학교 기계기술연구소

++++ 부산대학교 기계공학부

문제점들을 보완하는 차원에서 AE를 이용한 새로운 평가 방법들의 개발이 활발하게 이루어지고 있다<sup>(6,7)</sup>.

특히, 압축기 내부의 축계와 펌프계의 가공상·조립상의 문제로 비정상적인 AE신호가 감지될 것으로 사료되어 본 연구에서는 정상과 이상 압축기들에 대한 AE신호로부터 최적의 AE파라미터를 선정하였고, 압축기 단품의 정상과 비정상상태를 판별할 수 있는 기법을 제안하였다.

이러한 기법을 통해, 에어컨에 조립된 상태에서 압축기의 이상상태를 감시하고, 실시간으로 정상과 비정상상태를 판별할 수 있는 알고리즘을 구축하였다. 또한, 고신뢰성 제품의 생산 및 자동화 조립라인의 적용을 목적으로 저비용의 원칩 마이크로프로세서를 이용한 전용 감시시스템을 개발하였다.

## 2. 압축기 구조와 AE신호 파라미터

회전형 압축기의 구조는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이, 회전 부품과 고정 부품사이에 마찰이 발생하는 것을 알 수 있다. 크랭크축이 회전함에 따라 크랭크축과 메인 베어링, 서브 베어링이 마찰을 일으키고 크랭크축의 편심된 부분에 의해 롤러가 함께 회전하므로 베인과 롤러와 접촉된 부품, 즉 메인 베어링, 서브 베어링, 실린더와 마찰을 일으킨다. 이렇게 부품이 접촉한 상태에서 회전하며 일으키는 마찰은 음향 신호를 발생시킨다.

이러한 AE신호의 계측에 있어서 측정되는 파라미터로는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 실효치 전압(RMS voltage), 카

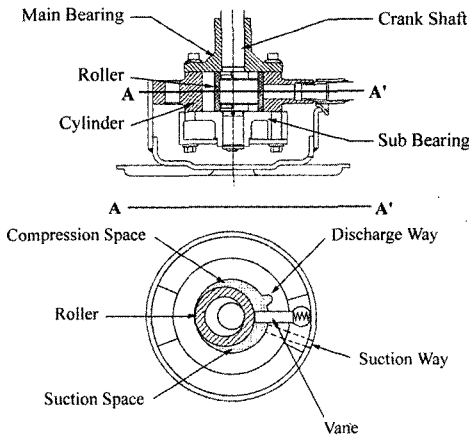


Fig. 1 Structure of rotary compressor

운트(Count), AE진폭, AE에너지, AE주파수, 지속시간(Duration time), 상승시간(Rise time), AE히트(Hit) 등이 있으며<sup>(8)</sup>, 이러한 파라미터의 특성으로부터 측정하려는 목적에 따라 적절한 파라미터의 선정이 감시에 있어서 상당히 중요하다.

## 3. 실험장치 및 방법

본 연구를 수행하기 위한 실험장치도를 Fig. 3에 나타내었다. 에어컨에 조립된 압축기에 마그네틱 지그(Magnetic Jig)를 사용하여 직경 5mm의 AE센서를 부착하고, 100 kHz ~ 1200kHz의 대역통과필터를 내장한 전치증폭기(Pre-amp)를 사용하였다. AE신호는 수백 kHz ~ 수 MHz의 고주파이므로 원활한 데이터 처리를 위해 디지털오실로스코프 및 고성능 A/D변환기가 장착된 DSP보드를 사용하여 데이터를 획득하였다. Fig. 3에 실험장치도, Table 1에 실험장비의 규격을 나타내었다.

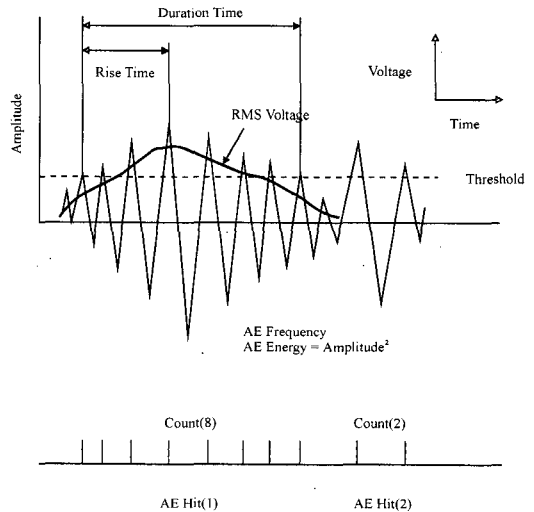


Fig. 2 Parameters of AE signal

Table 1 Instruments and specification

Instrument	Specification
DSP board	2Ch, PAC
Digital Oscilloscope	9410A, 2Ch, Lecroy
AE sensor	Pico type, PAC
Pre-amp	1220A, PAC

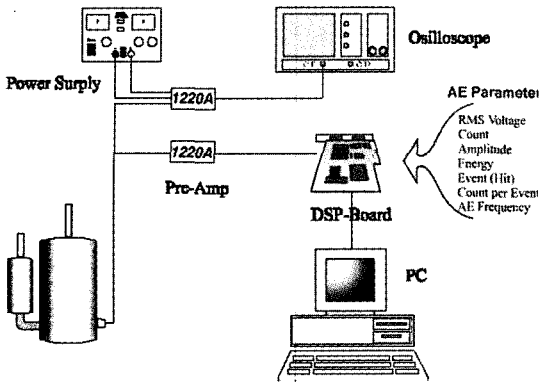


Fig. 3 Schematic diagram of experimental setup

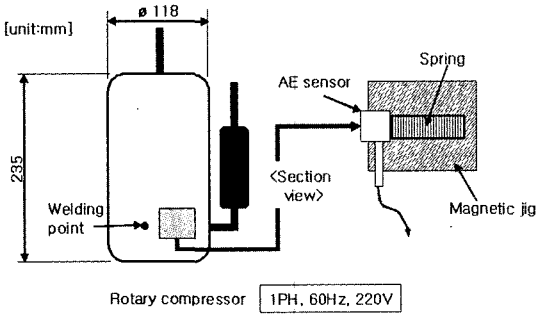


Fig. 4 Compressor dimension and AE sensor jig

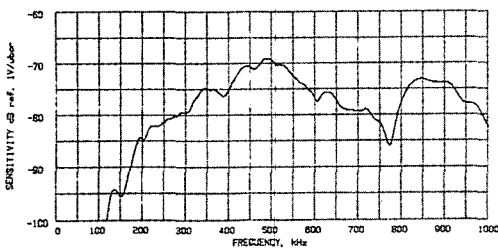


Fig. 5 Frequency curve of AE sensor

Fig. 4에는 본 연구에 사용된 압축기의 개략적인 치수와 용량, 센서부착위치 및 방법에 대해서 나타내었다. 센서는 마그네틱 지그를 사용하여 그림과 같이 압축기 내의 베인(Vane)부근에 부착할 수 있도록 하였다. Fig. 5는 본 연구에 사용된 AE센서의 주파수 특성 곡선을 나타내고 있다.

에어컨을 정격으로 기동시킨 상태에서 AE센서를 압축기의 베인(Vane) 부근에 부착하고, 오실로스코프를 사용하여 AE원신호 파형을 분석하였다. 이를 통해 AE DSP보드에

초기치로 입력할 파라미터들(PDT, HDT, HLT) 및 설정치(Threshold) 레벨을 설정하고, AE DSP보드를 사용하여 AE신호로부터 카운트(Count)를 추출하였다.

정상적인 조건으로 제품의 수명시험을 하면 정확한 수명 데이터를 얻을 수 있지만, 압축기 수명 판정을 위해 수십년을 기다린다는 것은 어려운 실정이므로, 제작사의 수명시험 기준에 근거하여 제품의 수명을 보장하는 가혹한 조건에서 단기수명시험(Earlt Life Test : ELT)을 행하게 된다. 그리고, 실제 판매된 제품에 대한 사후관리에 의해 장기수명 판리가 진행되게 된다.

따라서, AE감시기법에 의해 이상상태로 판정된 압축기는 과부하 조건으로 40시간 가동하는 단기수명시험(Early Life Test : ELT)을 실행한 후 절개하여 각 부품의 마멸상태를 정밀 측정함으로써 검증하였다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

에어컨 내 정상상태의 압축기를 조립하고 정격기동하여 오실로스코프로 측정한 AE원신호를 Fig. 6에 나타내었다. 일정한 주기를 가지는 피크군이 발생하고 낮은 진폭의 신호는 압축기의 회전부품의 마찰 및 마멸에 의한 신호로 생각되고, 높은 진폭의 신호는 베인의 충돌현상에 의한 것으로 사료된다.

에어컨의 가동과 함께 시간에 따른 AE카운트의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 기동시작지점에서 불안정하게 높은 카운트값을 보이며, 시간에 따라 안정됨을 알 수 있다. 따라서, 적절한 경과시간을 정하여 안정된 영역의 신호를 획득하여 분석하였다.

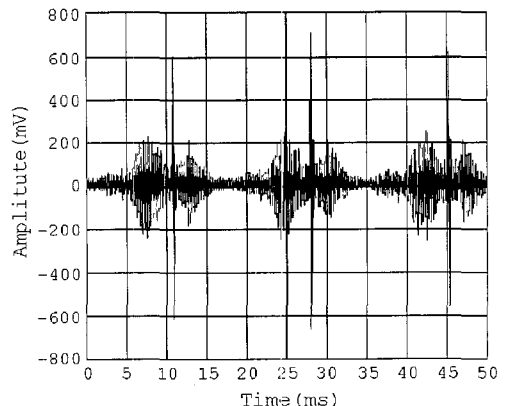


Fig. 6 AE raw signal under normal condition

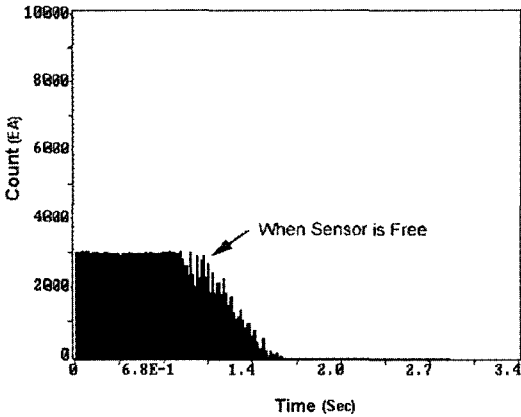


Fig. 7 AE count according to operating time

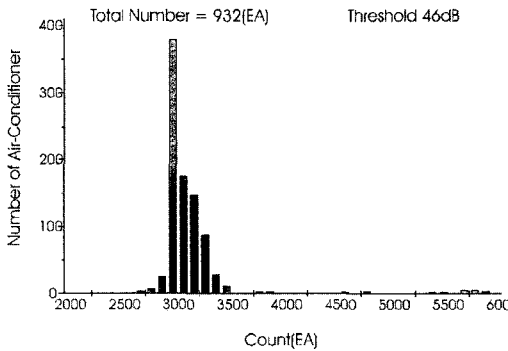


Fig. 8 Count distribution for rotary compressor in threshold 46dB

실제 에어컨 생산라인에 AE 신호 획득장비를 설치하여, 당일 생산수량이 정해진 한 모델에 대해 직접 샘플검사를 수행하였다. Fig. 8은 932개의 에어컨 샘플에서 측정된 카운트 분포도이다. 3000부근에서 밀집된 카운트 분포를 보이며, 그 이상의 카운트에서는 간헐적으로 나타났다.

이로부터 카운트가 높은 영역의 압축기는 이상상태로 사료되며, 이를 검증하기 위해 카운트 값에 따라 몇 개의 압축기를 추출하여 단기수명시험을 행한 다음 절개하여 각 부품별로 정밀측정한 결과, Table 2와 같은 결과를 얻었다.

AE count 값이 5500인 샘플 4는 블러의 찌힘, 6000인 샘플 5는 베인마모, 6000인 샘플 6은 상부 스톱스베어링 마모가 발생하여 이상상태로 분류하였다. 따라서, 카운트값이 5500 이상인 경우를 이상상태로, 5400 이하는 정상으로

Table 2 Result of early life test and AE count

Sample Number	Count	Result of early life test
1	4000	Normal
2	5000	Normal
3	5400	Normal
4	5500	Abnormal(Roller defect)
5	6000	Abnormal(Vane Wear)
6	6000	Abnormal(Bearing wear)

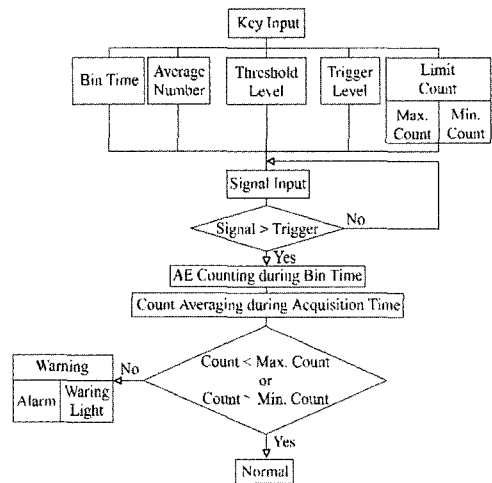


Fig. 9 Algorithm for monitoring of rotary compressor

판정되었기 때문에 정상과 이상상태를 분류하기 위한 적절한 감시용 설정값 레벨을 선정할 수 있다.

## 5. 감시 알고리즘 및 시스템 개발과 검증

### 5.1 감시 알고리즘

본 연구의 실험결과를 토대로 하여 설정값을 정하여 Fig. 9와 같은 알고리즘을 구축하였다. Bin시간은 카운팅하는 시간으로 Bin시간 동안 입력되는 AE신호에서 설정값 레벨을 넘은 신호를 카운팅한다. AE신호의 획득시간은 Bin시간에 평균값수를 곱한 것을 의미한다. Bin시간 동안의 카운트는 평균값수에서 지정한 만큼 연속적으로 카운팅하며 평균을 취하여 최종 카운트값을 LCD 화면으로 출력하게 된다.

트리거 레벨은 감시시스템의 작동시점을 결정하는 부분으로 작업자가 감시시스템의 오퍼레이팅 버튼을 작동시키지 않아도 일정 카운트 이상의 신호가 입력되면 자동적으로 감시시스템이 작동하도록 구성하였다. 또한, 대상 모델마다 감시에 적절한 한계 카운트가 바뀔 가능성을 고려하여 한계 카운트를 감시대상에 맞게 입력할 수 있도록 구성하였다. 입력이 끝나면 실제 라인상에서 에어컨에 센서를 부착하게 되고, 센서로부터의 신호가 설정값레벨을 넘어서는 순간부터 트리거되기 시작하여 설정된 획득시간 동안 신호를 받아들이고 설정된 Bin시간 동안 카운트의 값을 합하게 된다. 획득시간동안의 Bin갯수로 카운트값의 평균을 구하고, 설정값과 비교하여 정상유무의 판단을 하게 된다. 이후 판단의 유무는 경광등과 소리를 통하여 작업자에게 이상상태를 알리게 된다.

### 5.2 감시 시스템 개발과 검증

본 연구에서 개발한 감시장치는 인텔 8096원칩 컴퓨터를 기본으로 하여 구성하였다. 인텔 8096은 최대 45kHz의 샘플링 주파수를 가진 10비트 A/D변환기를 내장하고 있고, 16비트 데이터 버스를 가지고 있으므로 실시간 처리를 필요로 하는 응용에 적합한 원칩 컴퓨터이다.

전체 감시장치는 Fig. 10에 나타난 바와 같이 센서와 전치증폭기를 제외한 모든 부분을 담당하고 있다.

신호는 LM318 비교기(Comparator)를 사용하여 설정값을 기준 전압으로 설정하여 기준전압 이상의 신호에 대해서 8253타이머 카운터 칩으로 신호를 카운터하였다. 음향방출 신호의 고주파성을 고려하여, 데이터를 읽어들이는 동안 데이터 손실을 막기위하여 16비트 복수로 지정하여 카운터하였다.

프로그램 실행을 위해서는 32Kbyte의 용량을 가진 램과 롬을 사용하였으며, 이전의 세팅을 기억시키기 위해서 충전

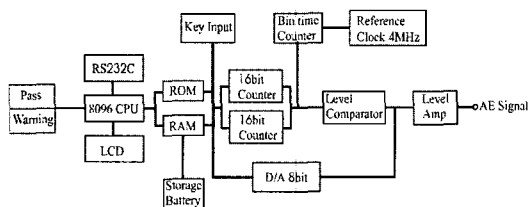
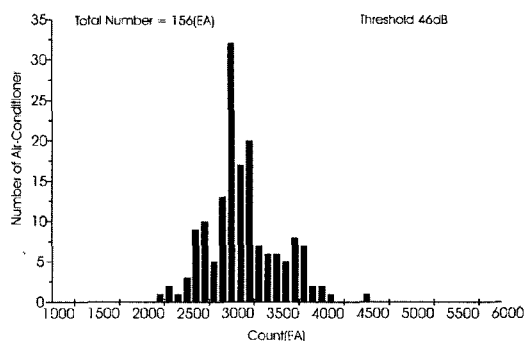
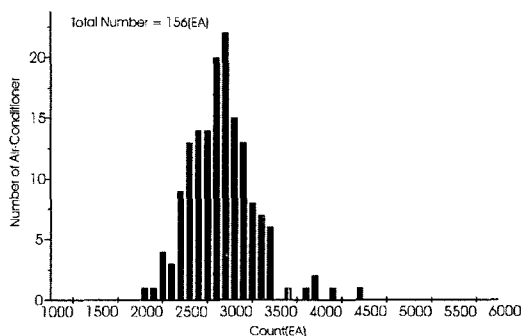


Fig. 10 Structure of monitoring system



(a) Count distribution using AE DSP board



(b) Count distribution using monitoring system

Fig. 11 Count distribution using AE DSP board and monitoring system

지를 사용하여 램에 항상 전원을 공급하도록 하였다. 신호의 정상인지 아닌지의 판단은 설정값 이상 또는 이하의 값이 나오면 경보음과 경광등으로 나타나게 하였다. 이후 시스템의 확장을 고려하여 PC와 RS232C통신이 가능하도록 하였으며, 오실로스코프를 통해서 원신호를 볼 수 있도록 하였다. 또한, 모든 입력과 결과는 LCD화면으로 출력되도록 하였다. 실행 프로그램을 위한 시스템 개발 언어로는 인텔 8096전용 언어인 IAR C를 사용하였다.

기존의 연구결과를 비교하기 위해 두 개의 AE센서를 메인 근처에 동시에 부착하여 하나의 센서신호는 PC에서 DSP보드를 이용하여 획득하여 처리하였으며, 다른 하나는 새로이 개발한 전용 감시시스템에서 신호를 받아들여 카운트를 계산하였다. 부착위치에 따라 약간의 차이가 있지만 동시에 신호를 획득하기 위하여 오차는 실험결과의 고찰시

에 고려하였다. 기존의 AE DSP보드 장치를 이용한 것과 새로이 개발된 전용 감시 시스템과의 평가실험 결과의 분포도를 Fig. 11에 나타내었다.

전용 감시시스템을 이용한 카운트의 분포가 비교적 넓게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 감시시스템 내부의 신호처리 과정에서 증폭 및 변환특성이 기존의 AE DSP보드를 이용할 때와 다르기 때문이며, 센서의 부착위치가 다소 틀리기 때문인 것으로 사료된다.

두 장치에 의한 신호처리 결과를 살펴보면, 각각의 카운트값에 따라 에어컨의 수는 다르지만 카운트 분포대역은 거의 유사한 결과를 보였다. 따라서, 전용 감시시스템을 이용하여 좀더 많은 성능시험과 검증을 행하여 적절한 감시레벨을 선정한다면 압축기와 에어컨의 이상상태 감시에 유용하게 이용할 수 있을 것이다.

## 6. 결론

음향방출신호 기법을 도입하여 에어컨에 조립된 회전형 압축기의 이상상태 감시를 위한, 전용 감시시스템 개발을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 에어컨에 조립된 압축기의 이상상태를 감시하기 위하여 AE DSP보드 장비에 대한 AE신호 획득 및 처리기법을 정립하였다.
- (2) 에어컨에 조립된 압축기의 정상과 이상상태를 감시한 결과는 단기수명시험결과와 잘 일치하였으며, 감시에 적절한 카운트 대역을 선정하였다.
- (3) 인텔 8096 칩을 이용하여 저가의 전용 이상상태 감시시스템을 새로이 개발하였으며, 기존의 AE장비와 개발된 전용 감시시스템은 유사한 감시 성능을 보였다.

## 참고 문헌

- (1) Khan, M. A., Shoji, T., and Takahashi, H., 1980, "Application of AE Technique to the Study of Crack Instability," *5th International AE Symposium Tokyo*, pp. 395~410.
- (2) EPRI, 1982, "Acoustic Emission Monitoring of Steam Turbines," *EPRI CS~2367, Final Report*, April.
- (3) Kim, J. S., Kim, N. K., and Bae, J. K., 1997, "Monitoring of Tool Wear using AE Signal in Interrupted Cutting," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 6, No. 2, pp. 112~118.
- (4) Choi, N. S., and Takahashi, K., 1990, "Characteristics of AE Wave Attenuation in Short Fiber Reinforced Plastic," *Journal of Composite Materials*, Vol. 24, pp. 1012~1028.
- (5) Na, J. R., 1993, *Intel 8096 structure and design*, Ohm press.
- (6) McBride, S. L., Hong, Y., and Pollard, M. D., 1992, "Enhanced Fatigue Crack Detection in Aging Aircraft using Continuous AE Monitoring," *Proceedings of 11th IAES*, pp. 325~332.
- (7) Sato, I., and Yoneyama, T., 1988, "Diagnosis of rotating slides in rotary compressors using acoustic emission technique," *The Japanese Society for NDI*, pp. 405~412.
- (8) Papadakis, E. P., 1984, "Physical Acoustics and Microstructure of Iron Alloys," *International Material Review*, Vol. 29, No. 1, pp. 1~23.