

# 음향방출법과 응용에

李 康 鏞

연세대학교 기계공학과 교수



●1947년 1월 19일생  
●파괴 및 피로공학을 전공하고 파괴원인 및 방지를 위한 이론정립, BEM 전산연구, 특히 AE법의 현장응용에 관심이 있다.

## 1. 머리말

음향 방출법은 기존의 비파괴 시험보다 여러 가지 면에서 장점을 가지고 있으나 아직 우리나라에서는 그 사용 예가 많지 않다. 따라서 본 고에서 음향 방출법을 소개하면서 몇가지 응용예를 간략히 들고자 한다.

## 2. 음향 방출법 개요

기존의 비파괴시험 검사방법은 다음과 같은 단점을 니포하고 있다.

- ① 구조물의 넓은 면적에 사용할 수 없다.
- ② 구조물상에 시험할 수 없는 영역이 있을 수 있다.
- ③ 시험담당자의 경험과 판단에 상당히 좌우된다.
- ④ 균열발생 원인을 구명하지 못한다.
- ⑤ 정지 상태에서만 검사가 가능하다.

이러한 단점중 ③은 음향방출법(acoustic emission method)에서도 역시 약간의 문제로 남지만 그외는 문제시 되지 않는다. 따라서 최근에는 이 음향방출법이 비파괴시험 검사법의 하나로 각광받고 있다. 음향방출이란 물체가 변형을 일으킬 때와 물체내에 균열이 발생하여 성장할 때 원자의 재배열이 일어나며 그때 물체는 탄성파(elastic wave)를 방출하며 이 탄성파 방출을 음향방출이라 부르고 보통 AE로

약어로 사용된다. 이 AE는 물체 표면에 접촉시킨 transducer에 의해 잡아낸다. transducer를 하나만 부착하여도 되는 경우는 AE 발생원을 알고 있을 때이고 transducer를 3개 이상 부착하여야 하는 경우는 물체 내에 심각한 변형을 일으키는 위치를 포착하고자 할 때이다.

AE수를 측정하는 방법으로는 크게 두 가지 방법이 있다.

### (1) Ring down count method

이 방법은 어떤 주어진 trigger level이상의 진폭을 가지는 파의 갯수를 헤아리는 방법

### (2) Pulse area measurement method

이 방법은 어떤 주어진 trigger level 이상의 파의 면적을 헤아리는 방법

그림 1은 AE해석을 위한 block diagram을 표시하고 있으며 amplifier이하의 system은 필요한 정보를 얻기위한 것 외는 제외하여도 무방하다. 그림 2는 170기압에 해당하는 내압을 이미 받은 압력용기를 0기압에서 다시 증가시켰을 때 과거에 받은 내압 즉 170기압까지는 AE가 거의 나타나지 않았지만 170기압을 넘어서면서 AE가 상당히 많이 발생되었으며 172기압에서 유지하는 동안은 AE발생이 미소하였다가 다시 기압을 증가시키니까 AE가 상당히 많이 발생하였다는 것을 보여주고 있다. 여기에서 0~170기압까지는 과거에 받은 하중역사가 있기 때문에 다시 이 범위에서 하중을 주어도 AE가 거의 발생하지 않는다는 것은 Kaiser effect로 알려져 있으며 Kaiser는 AE에 대한

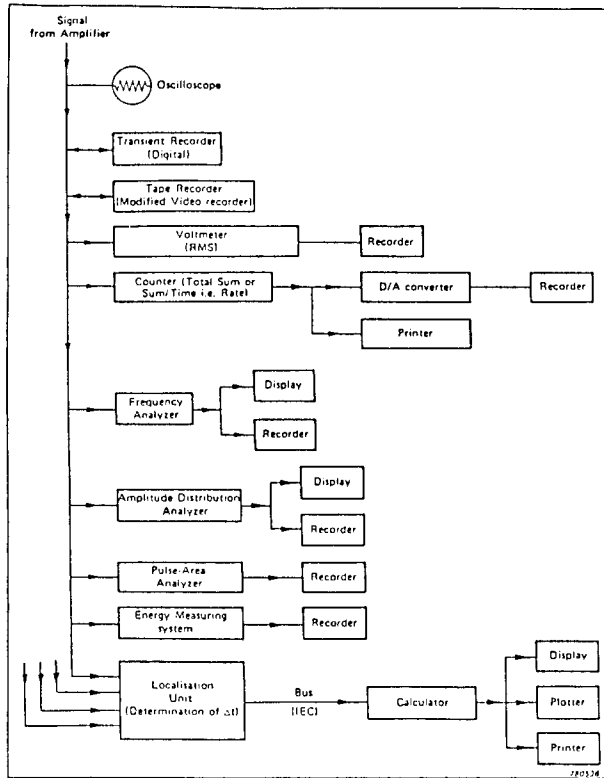


그림 1 음향방출을 위한 여러가지 해석과 교정시스템을 위한 block diagram

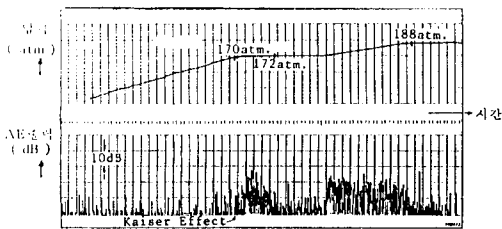


그림 2 Kaiser effect를 설명하기 위한 압력 대 시간과 AE출력(dB)대 시간곡선

최초의 논문을 1950년도에 낸 사람으로 그 뒤 1964년도에 AE측정장비가 개발되어 오늘에 이르고 있다.

### 3. 음향 방출법의 응용에

#### 3.1 파괴역학에 응용

최근에 이르러서는 AE방법을 파괴역학과 관

련지으려는 연구가 진행되고 있고 특히 사이클에 따른 AE누계수(cumulative AE count)율과 피로균열 성장율과의 상관관계를 찾고자 많은 연구 결과가 보고되고 있다. 이에 대한 대부분의 논문은 Dunegan가정으로 알려진 AE누계수는 균열선단 소성역크기에 비례한다는 가정에 근거를 두고 있다. 이러한 가정에 대한 배경은 Dunegan 등이 N50A 베릴륨과 알루미늄 7075-T6합금에 대해 균열이 없는 인장시험편을 갖고 인장시험을 하여 AE누계수를 측정할 결과 시편의 파단시까지 나타난 AE누계수의 대부분이 항복점으로 부터 인장강도 범위에서 발생하였다는 데에 있다. Lindley 등은 Dunegan의 가정을 이용하여 다음 관계식을 제안하였다.

$$\frac{dn}{dN} = AK^2_{max} \frac{da}{dN} \quad (1)$$

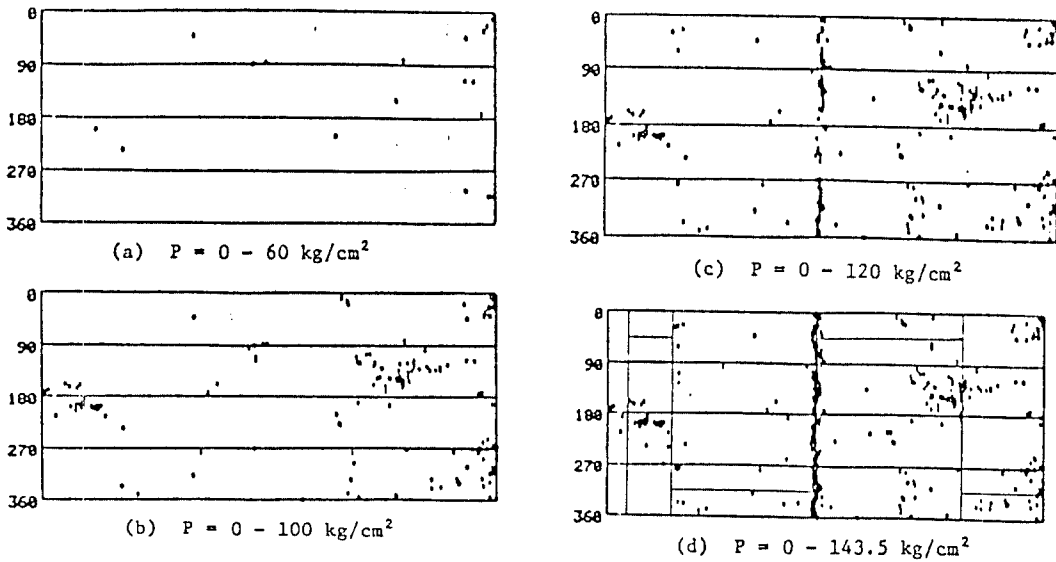


그림 3 AE 발생원의 위치

여기서  $n$ 은 AE누계수이고  $dn/dN$ 은 AE수 증가율이라고 부르고  $A$ 는 실험상수이다. 한편 Morton등 2024-T851 알루미늄 합금과 EZ 33 A-T5 마그네슘 합금을 가지고 콤팩트 인장시험편으로 실험한 결과 다음과 같은 실험식을 제시하였다.

$$\frac{dn}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (2)$$

여기에서  $C$ ,  $m$ 은 실험상수이다.

이외에도 저자는 최근 AE방법에 의해 파괴 인성  $K_{Ic}$ 와  $J_{Ic}$ 뿐 아니라 재료 찢어짐 계수 (material tearing modulus)를 찾을 수 있음을 연구 보고 한 바 있다. 또 다른 저자의 연구에 앞서 언급한 Dunegan가정이 잘못되었으며 그 가정은 AE누계수와 균열 선단 소성역 크기는 양 대수그래프에서 직선으로 표현된다고 수정되어야 한다고 지적한 바 있다.

### 3.2 Rocket Motor Case의 AE시험

실린더형 motor case상에 여러 개의 AE 트랜스듀서를 부착하여 그림 3과 같이 단계별로 압력  $p$ 를 주었을때, AE 발생원 위치를 AE 신호의 시간차에 의한 계산결과로부터 얻을

수 있다. 이러한 결과로 그림 4와 같이 C group에서 균열이 발생하는 지점을 예상할 수 있으며 또 실제 그곳에서 균열이 발생하였음을 알 수 있다. 그림 5는 motor case의 허용압력과 파괴압력을 AE방법에 의해 구할 수 있음을 보여주고 있다.

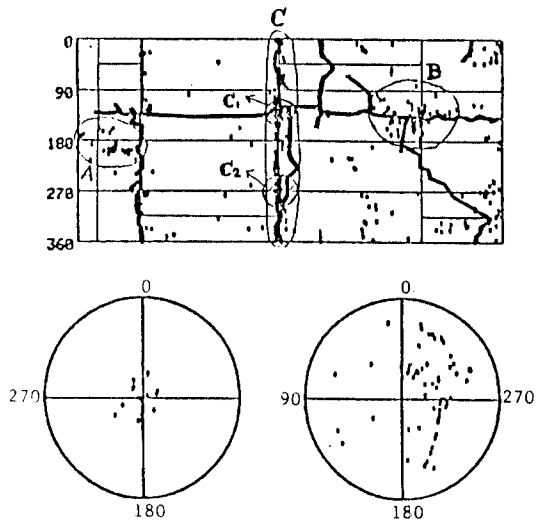


그림 4 AE 발생원의 위치와 균열

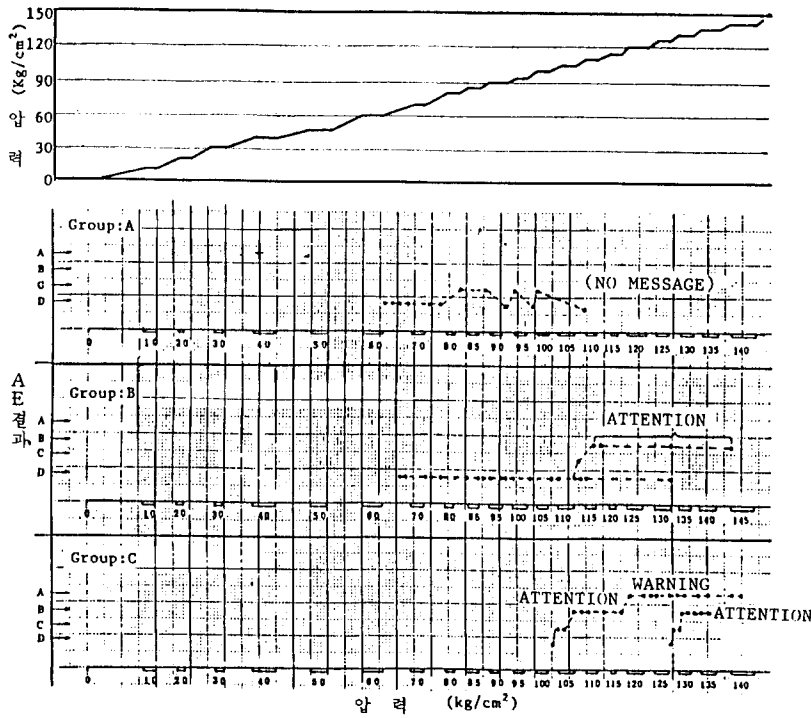


그림 5 Motor case의 위험압력

### 3.3 저널베어링 진단

저널 베어링이 힘을 받아 babbit금속면이 저널과 접촉하면 babbit면의 마모가 일어나는데 접촉여부를 초기에 알 수 있는 방법으로 AE법을 사용할 수 있다. 그림 6은 metal wipe시점을 babbit금속온도 측정이나 윤활유온도 측정

보다 AE법이 훨씬 신속하고 정확하다는 것을 보인다. 그림 7은 metal wipe가 일어날 때와 일어나지 않을 때의 파형의 차이가 있음을 보이며 wipe가 계속되면 AE진폭의 크기가 커져 babbit금속면에 상당한 마멸을 주고 있음을 알 수 있다.

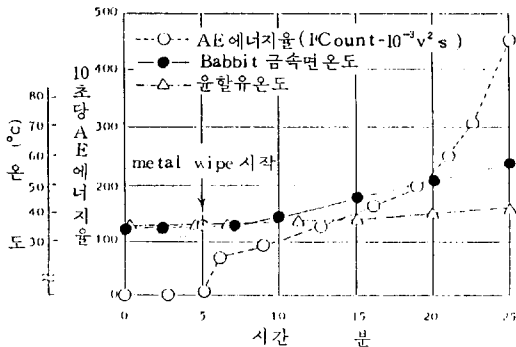


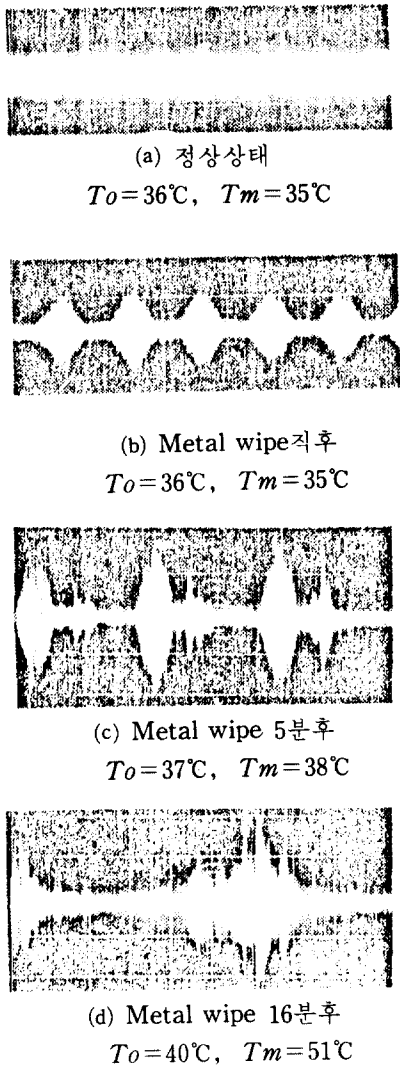
그림 6 Metal wipe 시점

### 3.4 Pipe Line Leak 검출

여러개의 transducer를 예상되는 지점 양쪽에 부착하여 AE수를 각 transducer 위치에서 찾아서 AE수 대 transducer위치로 데이터를 찍어 extrapolation시켜 만나는 교점으로 leak 위치를 찾을 수 있다.

### 3.5 원자력 압력 용기 노즐의 열충격 균열 감지

그림 8과 같은 HDR 압력 용기 노즐이 열충격을 반복해서 받았을때 원주 표면에서 발생하



- (1)  $N = 5$  rpm, 진폭 : 2v/div, 시간 : 20ms/div
- (2)  $T_o$  : 윤활유 온도
- (3)  $T_m$  : Babbit 금속면 온도

그림 7 Metal wipe에 의한 AE파형

는 균열을 액상 침투 방법에 의해 탐지한 것이 그림 9(a)이고 그림 9(b)는 같은 원주 상에서 AE수를 표시하고 있다. 180°근방에서 많은 표면균열로 인한 AE수의 다량 발생을 볼 수 있으며 270°에서 표면 균열로 인한 AE수 증가 현상을 알 수 있다.

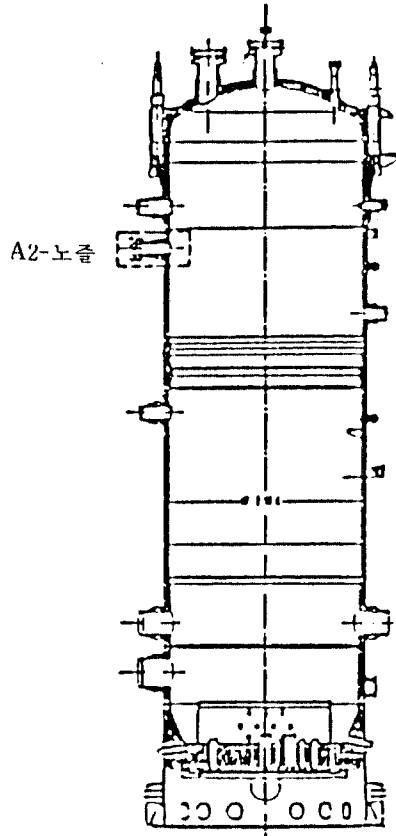


그림 8 HDR 압력용기

### 3.6 용접시 균열 감지

용접중 on-line에서 균열을 감지하는 AE방법은 이미 ASTM에서 표준서를 제시하고 있을 정도로 선진국에서는 알려져 있다. 연속 용접중에 on-line으로 AE법에 의해 균열을 감지하는 방법으로는 그림 10과 같은 이동식 트랜스듀서 탐지 방법과 그림 11과 같은 고정식 트랜스듀서 탐지 방법이 있다. 저항 점 용접(resistance spot welding)인 경우에는 그림 12와 같이 lower grounded electrode holder에 트랜스듀서를 고정하여 AE를 감지하기도 한다. 그림 13은 용접 상태가 양호한 경우와 미소 균열이 발생한 경우에 AE수 증가율을 비교한 것이다.

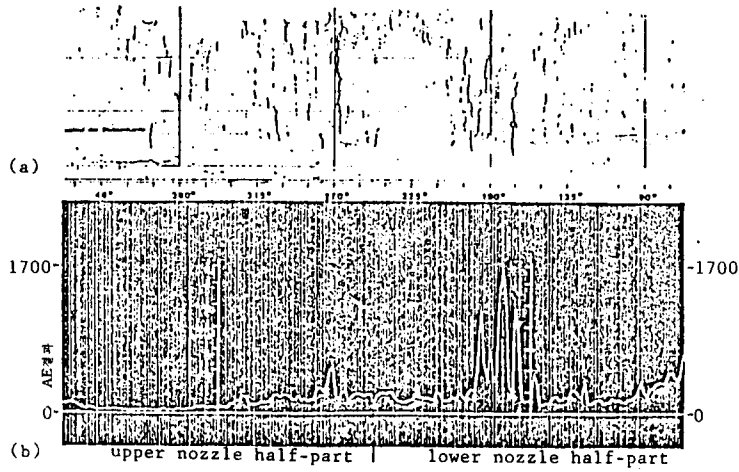


그림 9 400번 열충격까지 발생한 포면균열(a)과 AE수(b)

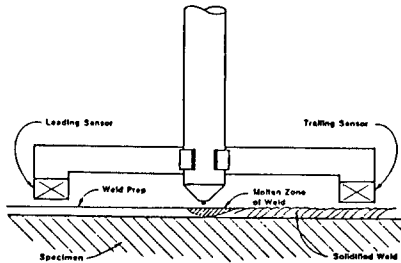


그림 10 연속 용접에서 이동식 AE 균열 감지법

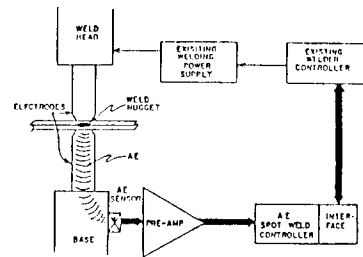
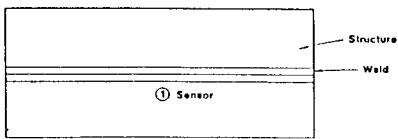
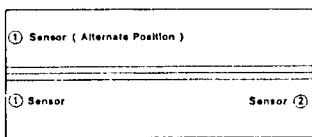


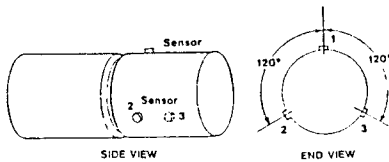
그림 12 저항 점 용접의 트랜스듀서 위치



(a) 1개 트랜스듀서

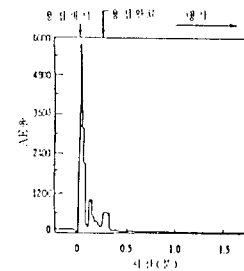


(b) 2개 트랜스듀서

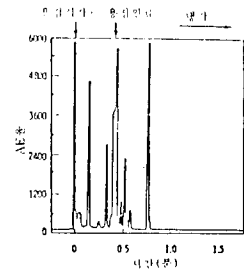


(c) 3개 트랜스듀서

그림 11 연속 용접에서 고정식 AE 균열 감지법



(a)



(b)

그림 13 용접시 미소균열이 발생하지 않은 경우 (a)와 발생한 경우에 대한 AE 반응