

음향방출(AE)시험의 원리 및 응용

이종오, 지현섭, 주노희 | 재료연구소

[요약문]

재료시험 및 비파괴시험법의 하나로 다양한 분야에 응용되는 음향방출 시험법에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 고에서는 음향방출 시험법의 이론, 음향방출 변수, 결과의 분석방법을 소개하고 학문적인 이용과 설비진단의 응용을 간략하게 소개하고자 한다.

1. 서론

음향방출(Acoustic Emission)에 대한 인식은 인류의 역사만큼이나 오래되었다고 할 수 있겠으나 실험적 연구의 시작은 니켈(Ni)강에서 상변태에 의해 발생하는 음향방출^[1]의 기록과 음향방출에 의한 주석(Sn)에서의 dislocation moving의 관찰^[2] 및 카드뮴(Cd) 단결정에서 twinning의 관찰^[3] 등을 들 수 있다. 그러나 학문적으로 체계적 연구는 응력을 받는 재료에서 음향방출 신호를 측정하고 변형과 연관 지어 설명한 Kaiser에 의해서라고 볼 수 있다.^[4]

학문적으로 음향방출이란 매질내에서 급격한 탄성장의 변화에 기인하여 방출되는 탄성파로 정의하며^[5] 그 발생원으로는 전위^[6], 쌍정^[3], 고상변태^[7], 자구의 생성, 이동, 소멸^[8]과 같은 재료내의 미시현상과 미소균열의 생성, 성장^[9], 부식, 용융, 응고 등이 있으며, 누설, 마모 등도 의사 음향방출원으로 볼 수 있다. 음향방출 신호의 관측은 지금까지 측정하기 어려웠던 재료내부에서 진행되는 미시적 현상에 대한 정보를 알아내는 재료시험이나 특성평가의 수단으로 이용되며, 균열의 탐지와 같은 비파괴시험이나 누설의 검출 등을 통한 설비진단에도 이용되고 있다.

비파괴시험(또는 설비진단)의 관점에서 볼 때, 음향방출이 다른 시험법과 다른 점은 i) 외부에서 에너지를 주입하여(Action) 반응결과를 관측하는 초음파탐상시험이나 방사선투과시험과는 달리 음향방출은 외부에서 에너지를 주입할 필요 없는(passive) 자체 현상에서 발생하는 신호를 측정하는 것과 ii) 다른 비파괴시험이 기존에 존재하는 정적인 불연속을 검출하는데 반해 진행 중에 있는 동적인 현상을 관찰할 수 있다는 데 있다. 따라서 균열과 같은 거시적 불연속의 성장뿐만 아니라 결합발생의 징후를 사전에 알 수도 있다는 것이다.

2. 음향방출의 이론

재료내의 미시적 현상이 음향방출과 어떻게 연관되는지를 이론적으로 살펴보면 우선 매질내의 미시적 폐쇄영역 V+S를 생각하자. 여기서 V는 폐쇄영역의 체적을 나타내고 S는 폐쇄영역을 둘러싼 표면을 나타낸다. 어떤 시간 t에 표면 S의 단위면적당 작용하는 힘(force), 즉 surface traction이 $t(x, t)$ 이고 체적 V에 작용하는 body force, $f(x, t)$ 가 작용하면 linear momentum 변화율은 그 시각에 미치는 외력과 같다는 linear momentum balance 원리를 이용하여 운동방정식을 풀면 매질내의 어떤 폐쇄된 영역에서 발생한 surface traction이나 body force는 종파나 횡파인 탄성파의 형태로 외부로 전파해 나감을 알 수 있다. 이 전파된 탄성파에 의해 미소 폐쇄영역 외부 어떤 점의 변위에 영향을 미침을 알 수 있다. 그리고 이 변위는 시편 표면에서 탐촉자(sensor)에 의해 측정할 수 있고 이를 음향방출(Acoustic Emission)이라 한다.



예를 들면 선형 탄성 매질내에서 음향방출에 대한 미시적 모델은 미시균열의 발생과 전위 loop의 형성 등이 있으며, 전위 loop의 형성에 의한 stress변화는 $C_{ijkl} b_i A_j(t)$ 와 비례하는 것으로 알려져 있고^[10], 여기서 C_{ijkl} 는 탄성 계수, b_i 는 burger's vector의 성분, A_j 는 수직방향인 j 방향인 평면에 projection 면적이다.

음향방출원에서 발생한 신호는 매질을 지나 탐촉자에서 검출되고 검출된 신호는 신호처리를 통해 인지할 수 있는데, 매질을 통해 전파하는 동안 매질 내에 흡수, 구조물의 형상에 따른 다중반사, 방해물에 의한 산란 및 분산 등에 의해 많이 왜곡된다. 이러한 복잡한 현상에 의해 왜곡된 정도를 일반적으로 전달함수(transfer function)라고 하며 음향방출 신호의 해석에 중요한 요소가 된다. 즉, 발생원에서 발생한 신호가 매질을 전파한 후 표면에 변위를 일으키고 이 변위를 변환자를 통하여 검출하고 화면에 출력한다고 할 때 신호는 아래 그림처럼 여러 전달 함수를 포함하게 된다.

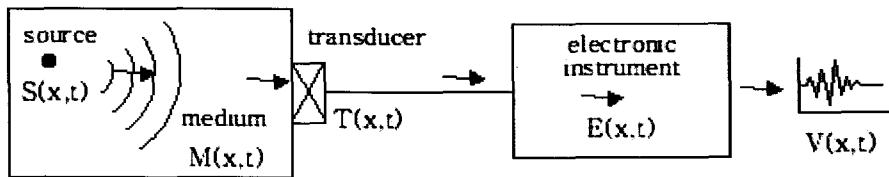


그림 1. 음향방출원의 전달 함수

발생원의 함수를 $S(x, t)$ 라 하고 우리가 인지하기 전까지 신호의 왜곡에 영향을 줄 수 있는 물질 상수, 기하학적 형상, 변환자 및 다른 전자장치 등을 전달함수 $G(x, t)$ 로 표현한다면

$$G(x, t) = E(x, t) * T(x, t) * M(x, t) \text{가 되고}$$

우리가 인지할 수 있도록 표현되는 출력 $V(x, t)$ 는

$$V(x, t) = G(x, t) * S(x, t) \text{로 표현된다.}$$

여기서 전달함수 $G(x, t)$ 를 이론적으로 정확히 알기는 불가능하다. 그러나 이상적 매질이나 탐촉자의 특성을 알고 있는 경우, 매우 복잡한 수식이기도 하나 $G(x, t)$ 를 알 수 있고 측정된 $V(x, t)$ 를 이용한다면 발생원의 함수 $S(x, t)$ 를 알 수 있다.

음향방출 시험의 궁극적 목적은 매질 내의 임의의 점에서 발생하는 음향 방출원의 발생원 함수 $S(x, t)$ 를 구하여 무슨 현상이 일어나고 있는지 규명하고자 하는 것이라 하겠다.

3. 음향방출 신호의 해석

음향방출 신호는 크게 연속형과 돌발형 신호로 나눌 수 있다. 이러한 음향방출 신호는 위에서 언급한 발생원 함수를 정확히 구하고자하는 특별한 경우를 제외하고는 신호처리를 통해 발생 유무나 신호의 형상 등의 변수를 분석한다. 따라서 신호 처리기에서 신호를 처리하기 위해 임계전압을 설정하며 임계전압을 넘는 신호가 검출되면 음향방출 신호가 발생한 것으로 간주한다. 임계전압은 신호 발생 유무의 기준이 되는 것으로 임계전압이 너무 낮으면 잡음을 신호로 분석하려는 오류를 일으키고 너무 높으면 실제로는 음향방출 신호가 발생하고 있는데 신호가 검출되지 않은 것으로 인식하기 때문에 음향방출 시험에서 적절한 임계전압의 설정이 매우 중요하다.

3.1 음향방출 신호 변수

아래 그림은 전형적인 음향방출 신호를 나타낸 것으로 임계전압, V_t , 최대 진폭, 오름시간(rise time), 신호 길이(event duration) 등을 정의하고 있다. 신호 길이가 일정한 크기를 가지면 돌발형 신호로 볼 수 있고 무한히 길다면 연속형 신호로 볼 수 있다. 아래 그림은 신호 길이가 유한한 돌발형 신호로 하나의 hit를 나타내고 있다.

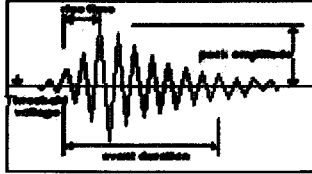


그림 2. 음향방출 신호변수

3.1.1 threshold voltage(임계전압)

임계전압은 음향방출 신호의 검출 유무를 결정하는 전압을 나타내는 것이다.

3.1.2 hit와 event

hit와 event는 음향방출 빈도를 나타내는 것으로 hit는 탐촉자에서 검출한 돌발형 신호 하나하나를 나타내는 것이고, event는 발생원에서 음향방출 신호를 발생시키는 것을 나타내는 것이다. 따라서 여러 개의 탐촉자를 사용하는 경우 하나의 event는 여러 개의 hit를 나타낼 수도 있다. 다만 방출원에서 하나의 음향방출 신호가 발생되면 음향방출 측정 장치에서 하나의 event만을 관찰할 수 있다는 가정 하에서 신호를 해석하는 것이 일반적이다.

3.1.3 amplitude(최대진폭)

한 음향방출 event의 최대진폭, V_p 을 나타내며, 발생원의 크기와 종류에 따라 달라지는 변수이다.

3.1.4 counts(계수)

counts란 설정된 임계전압을 넘는 파고의 수로 정의하며 AE 발생원의 빈도수 및 크기에 정성적으로 비례한다. 그리고 이 양은 매질의 전파특성이나 신호검출 sensor의 특징에도 크게 의존하므로 같은 조건하에서 상대적인 비교에 많이 이용된다.

3.1.5 energy(에너지)

한 개 event의 면적에 해당하는 것으로 일반적으로 $E=V_p^2$ 의 식으로 계산하며, 발생원의 세기와 관련이 있다고 본다.

3.1.6 ΔT (도달시간차)

ΔT 는 음향 방출 위치표정(AE source location)에 사용되는 변수(parameter)로서 하나의 AE event가 각각의 탐촉자에 도달하는 시간차를 나타낸다.

3.1.7 rise time(오름시간)

한 event에서 임계전압을 능가한 시각부터 최대진폭에 도달할 때까지 걸린 시간을 나타내는 양으로 발생원의 오름 시간과 관계가 있다.

3.1.8 event duration(신호길이)

한 event에서 임계전압을 능가한 시각부터 event의 끝나는 시각까지 걸린 시간, 이 양은 파의 길이를 나타낸다고 할 수 있다.

3.1.9 rising slope

최대진폭을 오름 시간으로 나눈 값이며 파형의 특성을 나타내는 변수로 이용된다.

3.1.10 주파수 스펙트럼

AE 신호를 Fourier 변환하여 파의 주파수 성분을 구한 것으로 발생원의 rise time과 밀접한 관계가 있으며, 손상 기구의 해석 시 손상 mode에 따라 주파수 성분이 달라진다고 알려져 있으며 파형해석에 널리 이용되고 있다.



3.2 음향방출 신호의 해석

음향방출신호의 해석은 음향 방출원 함수를 계산할 수 있으면 가장 좋은 방법이 되겠지만 특별한 경우를 제외하고 실제적이지 못하므로 음향방출 변수를 비교하는 상대적방법이 이용되고 있다. 음향방출 신호의 해석은 크게 음향방출 신호의 과다로 표현되는 활성화도(activity) 및 신호의 모양과 관련된 파형분석에 의한 방법으로 나눌 수 있다.

음향방출 활성화도에 의한 방법은 음향방출원의 크기 및 빈도수와 직접적 관계가 있는 event 수, count, 최대진폭 및 에너지 등의 변수를 평가하는 것으로 건전성 평가에서 event 및 count를 이용한 평가의 예는 Kaiser 효과^[11], Felicity ratio 및 creep 현상을 관찰 하는 것으로 Kaiser 효과는 응력이 기존에 받았던 응력에 도달하기 전까지는 음향방출 신호를 방출하지 않는다는 것으로 시험편이 건전한 경우에 Kaiser 효과를 관찰 할 수 있을 것이다. 한편 Kaiser 효과와는 대조적으로 기존에 받았던 응력에 도달하기 전 음향방출이 일어나는 경우 기존에 받았던 응력의 몇 퍼센트에서 음향방출이 나타나는가를 나타내는 것을 Felicity ratio라 한다. 그러므로 Felicity ratio는 Kaiser 효과와는 달리 기존에 받은 응력에 의해 얼마만큼의 손상을 입었는지의 척도로 이용될 수 있다. 어떤 일정한 응력을 받고 있는 시험편에서 event 또는 count가 증가하는 현상을 creep 이라고 하며 이러한 경우 시험편에는 손상의 전진이 일어나고 있다고 평가 할 수 있다.

파형 분석에 의한 방법은 어떤 특별한 변형기구에 의해 발생하는 음향방출 신호는 특별한 파형특성을 갖는다는 생각에서 음향방출 신호의 파형이 어떻게 생겼는가를 비교하는 것으로 파형특성의 관찰은 rise time, duration, slope 및 주파수 스펙트럼이 이용되며, 이들을 통계적으로 처리하여 특별한 파괴기구에 대한 규명을 할 수가 있다. 한편 음향방출 신호 분석에 pattern 인식 이라고 불리는 방법이 이용되는데^[12] 이는 새로운 방법은 아니고 위의 파형 분석 방법을 좀 더 정량적인 통계적 처리를 이용하는 것으로 특별한 변형기구들에서 발생한 음향방출 신호들에 대하여 신호의 특징(feature)들을 선택하여 신호를 분류한 후 알지 못하는 변형기구에 의해 발생한 음향방출 신호의 변형기구를 유추하고자 하는 것이다. 신호의 특징으로 사용되는 변수에는 위에 언급한 음향방출 신호분석 전용장비에서 이용된 변수들뿐만 아니라 신호 중에서 조금이라도 특징이 될 수 있다고 생각되는 이용 가능한 다양한 변수가 이용되고 있다.

3.3 위치표정(source location)

위치표정이란 음향방출 발생원의 위치를 결정하는 것으로 음향방출 시험의 중요한 목적중의 하나라고 할 수 있다. 비파괴시험 측면에서 음향방출 시험은 방사선투과시험, 초음파탐상시험 방법과 달리 시험체내에서 발생하는 음향방출 신호를 음향방출 센서를 이용하여 검출 및 신호처리를 행함으로써 결함에 관한 정보를 파악하는 수동적인 방법(passive method)이다. 즉 음향방출시험은 병원에서 환자의 이상 유무를 청진기로 진단하는 것과 마찬가지로 시험편 내에서 발생한 음향방출신호가 전파될 수 있는 곳이면 어느 곳이든 관계없이 음향방출 센서를 설치하여 감시할 수 있는 특징을 가지고 있다. 따라서 시험 동안 음향방출 신호 발생위치에 대한 정보를 계산할 필요가 있다. 현재까지 대부분의 음향방출 시험에서는 감시도중 음향방출 신호를 검출하여 음향방출 발생원의 위치를 결정하고, 방사선 투과시험과 초음파 탐상법을 이용하여 음향방출 발생원의 주위를 정밀히 평가하여 결함의 크기 및 종류를 파악하고 있다.

돌발형 신호의 위치표정방법은 센서간 신호의 도달 시간차를 이용하여 지진의 진앙을 찾는 것과 같은 방법으로 발생원의 위치를 결정하고, 연속형 신호의 경우 신호의 도달 시간을 결정할 수 없으므로 센서간 신호의 진폭으로 발생원의 위치를 결정한다.

음향방출원의 정확한 위치를 결정하지 아니하고 대략적인 음향방출발생원의 위치를 어떤 영역(zone)내에 있다고 결정하는 위치표정의 방법을 영역표정(zone location)이라하는데 이는 신호를 검출한 센서의 순서나 센서간 신호진폭의 크기로서 대략적인 위치를 결정하는 것이다.

4. 음향방출 시험의 주의사항

지금까지 음향방출 시험의 이론과 신호해석에 대해 간단히 언급하였고, 실제적인 문제에서는 잡음이나 감도 또는 장비의 사용 미숙 등으로 인하여 음향방출 신호를 검출하는데 실패하거나 원하지 않는 잡음신호를 잘못 검출하는 실수를 범할 가능성이 많으며, 아래에서는 장비사용 및 음향방출 시험시의 주의사항에 대하여 간단히 언급하고자 한다.

4.1 탐촉자(Sensor)의 선정

탐촉자의 특성에 따라 음향방출 신호는 크게 왜곡될 수 있다. 시험의 목적에 따라 탐촉자의 선정을 달리할 필요가 있는데 음향방출의 활성도에 관심이 있는 경우 대부분 공명형 탐촉자로 감도가 높은 것을 선택하며, 파형분석에 관심이 있는 경우는 감도는 떨어지지만 주파수 범위가 넓은 광대역 탐촉자를 선택하는 것이 좋을 것이다. 물론 참고자료나 예비시험을 통하여 발생원에 대한 대략적인 정보를 알고 시험에 임하면 탐촉자 선정에 도움이 되리라 생각한다. 일반적으로 금속에서 균열을 검출할 목적이면 150kHz 공진형 탐촉자를 사용하고 누설측정의 경우 30~60kHz의 공진형 탐촉자를 많이 이용하고 있다. 탐촉자가 선정되면 탐촉자와 시험편이 음향학적으로 잘 정합이 되도록 접촉매질을 이용하여 부착한다.

4.2 임계전압의 설정

임계전압은 음향방출 신호 발생 유무를 결정하는 변수로 임계전압이 낮으면 많은 잡음신호를 포함하기 때문에 원하는 음향방출 신호의 해석에 어려움이 있으며 임계전압이 높으면 작은 진폭의 원하는 음향방출 신호를 검출할 수 없기 때문에 많은 정보를 잃을 수 있다. 따라서 임계전압을 설정하기 위해서는 탐촉자를 시험편에 부착한 후 원하는 음향방출 신호가 검출되지 않는 시험 시작 전에 오실로스코프 등을 이용하여 기저잡음을 측정해 이 기저잡음 진폭의 약 1.5배로 임계전압을 설정하는 것이 좋다. 여러 개의 센서가 이용되는 경우 가변증폭기를 이용하여 센서 간 기저잡음을 같은 정도로 맞추어 주어야 한다.

4.3 장비의 기본 설정값(default value)

음향방출 시험을 위한 장비들은 대부분 장비를 동작시키는데 필요한 변수의 기본 설정값을 가지고 있다. 정확한 시험을 위해서는 오실로스코프로 신호를 관찰하여 하고자 하는 시험의 상황에 맞도록 기본 설정값을 바꾸어 줄 필요가 있다. 예를 들면 i) 하나의 hit로 보아야 할 신호를 2개 또는 여러 개의 hit로 또는 ii) 여러 개의 hit로 구별되어야 할 신호를 하나의 hit로 잘못 계산하는 경우가 발생할 수도 있다.

4.4 잡음의 제거

잡음은 낮은 주파수로부터 높은 주파수에 이르는 여러 형태가 있으며, 될 수 있는 대로 잡음을 발생 시키는 외부장비는 사용을 억제하거나 전원을 따로 사용하는 것이 좋으며, 필터를 이용하거나 접지, 또는 차폐를 통하여 어느 정도 제거할 수 있다.

4.5 기타 주의사항

음향방출 발생원의 특성과 관련되어 탐촉자에서 수신되어 전단증폭기에서 증폭된 신호에 대하여 추가적인 증폭 및 감쇠가 필요하게 된다. 음향방출 탐촉자의 위치선정과 음향적인 정합이 되도록 부착하여야 하며, 탐촉자를 발생원에서부터 음향적으로 음지가 아닌 장소에 두어야 한다. 발생원과 탐촉자 사이에서 주어지는 음향임피던스가 다른 여러 경계층에 대하여도 동일한 주의를 기울여야 한다. 시험편이 역학적 여과기(mechanical filter) 및 도파관(waveguide)으로 역할을 하므로 시험편의 매질도 장비의 일부분으로 간주해야 한다.



5. 음향방출의 응용

음향방출시험은 전자장비의 발전과 함께 점차확대 되어 다양한 부문에 응용되고 있으며, 그 응용 분야는 크게 실험실적 연구와 비파괴검사기술로서 산업계의 응용을 들 수 있다. 실험실적 연구에는 source characterization 이라고 하는 음향 방출원과 센서간의 전달과정을 해석하는 것으로 근본적으로는 음향방출원의 특징을 규명 하고자 하는 연구와 재료의 특성(materials properties)과 음향방출 변수와의 상관관계를 규명 활용하고자 하는 연구 분야로 나눌 수 있다. 산업계의 응용은 공정 감시, 건전성 평가, 온라인 감시 등으로 분류해 볼 수 있다. 표 1은 비파괴 검사학회지 Vol.3 No.1(1983)부터 Vol.27 No.6(2007)까지 총 101권에 대한 논문에서 음향방출과 관련된 논문을 가지고 위에 언급된 응용 분야에 대해 분석을 해본 것이다. 그리고 실질적인 내용은 실험실적 연구라 하더라도 초록이나 서론에 연구 목적을 보고 건전성 평가나 온라인 감시로 분류하기도 하였다. 그리고 산·학·연으로 구분한 것을 제1차자에 대한 것을 나타낸 것이다. 위에 언급된 것 외에 기타로 분류한 것은 식물이 환경에 대응하여 방출하는 음향방출 신호해석에 관한 논문^[13]을 제외하면 모두 위치표정에 대한 내용이어서 따로 분류한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 산업계에서 음향방출에 대한 관심도가 높을 것으로 생각하지만 논문 발표는 미미한 것으로 나타났다. 재료 특성과 파괴기구간의 상관관계 연구가 가장 많은 것으로 조사 되었으며, 특히 학교에서 연구가 많은 것으로 학교에서 학문적 연구의 중심이 되는 것을 보여준다. 상대적으로 건전성과 on-line 감시 쪽은 연구소 쪽에서 더 많은 연구를 하는 것으로 조사 되었다. 아래에 간략하게 이들의 연구에 대해 소개하고자 한다.

표 1. 비파괴학회지 AE 논문의 분류

구분	편 수			계
	산	학	연	
source characterization		1	3	4
재료과학적 연구		32	5	37
공정감시		3		3
건전성평가		4	8	12
온라인 감시	3	6	8	17
기타(위치표정 등)	1	6	2	9
계	4	52	26	82

5.1 source characterization

source characterization은 발생원의 특징을 규명하고자 하는 연구로 2장에서 임의의 x' 의 위치에 작용하는 힘, surface traction 이나 body force 가 $F_j(x', t)$ 인 경우 위치 x 에서의 변위 $u(x, t)$ 는^[14]

$$u(x, t) = \iint G_{ij}(x, x', t-\tau) F_j(x', \tau) dx', d\tau \quad (1)$$

로 주어지며 실험과 이론을 통하여 $F_j(x', t)$, $u(x, t)$, $G_{ij}(x, x', t)$ 및 측정 신호 $V(x, t)$ 의 사이의 관계를 규명하고자 하는 연구이다. 대부분 실험에서는 힘의 방향이 시험편의 표면과 수직한 방향으로 작용하는 경우에 한정하며, 일반적으로 발생원으로는 연필심이나 유리모세관 파괴 또는 볼 낙하 등이 이용되며, 매질로는 이론적으로 Green 함수의 계산이 가능한 평판을 이용한다.^[15, 16] 그리고 표면의 변위 $u(x, t)$ 는 변위를 측정할 수 있는 센서로 레이저 간섭계 등을 이용한다.

이 연구의 주 목적은 표면에서 측정한 변위와 매질내의 전달함수(Green 함수)를 안다면 위 (1)식의 역 콘볼루션(convolution)을 이용하여 적용된 힘을 구할 수 있으므로 음향방출 신호를 분석하여 재료 내부에서 일어나는 현상을

정확하게 알고자 하는데 있다고 할 것이다.^[17] 그리고 작용하는 힘과 알려진 Green 함수를 이용하여 센서로 이를 검출하는 경우 주어진 변위를 정확하게 알아서 측정신호와 변위에서 역 콘볼루션(convolution)에 의해 센서의 전달 함수를 알 수 있으므로 센서의 특성 평가에도 이용할 수 있다.^[18]

5.2 재료과학적연구

source characterization과 함께 실험실에서 수행되는 연구로 source characterization 이 주로 신호를 직접 분석한다면 이 분야는 3장에서 언급한 신호 처리된 음향방출 신호 변수와 재료의 특성과의 상관관계를 구명하고자 하는 연구이다. 파괴기구의 해석^[19], 피로특성^[20], 부식^[21], creep 특성, 상 변태^[22], 자성연구^[8] 등 여러 분야에 연구가 진행되고 있으며, 재료개발, 설계 응용 등 다른 산업분야의 기초 자료나 음향방출시험의 산업계 응용의 기초 자료로 활용될 수 있다. 국내에서는 대학의 재료 또는 기계학과에서 많은 연구가 수행되고 있으며 앞으로도 재료과학적인 다양한 분야에 음향방출 시험이 수행될 것으로 본다.

5.3 공정감시

공정 감시 분야의 응용에는 rolling, forming, extruding 등의 deforming process, TIG, MIG, Spot, electron beam 등의 용접공정, 마찰용접^[23], 밀링, 연삭 등의 tool monitoring^[24], 복합재료의 cure monitoring 등이 있다. 온라인 감시와 차이점은 온라인 감시가 결함의 검출이나 상태변화를 감시하는 것이라면 공정 감시는 공정 이상에 의해 생기는 음향방출을 연구하는 것이다.

5.4 건전성 평가

금속 및 복합재료 압력용기, 저장탱크, 밸브, 배관 등의 사용전이나 가동중 일시정지시 수행하는 압력시험과 동시에 음향방출 시험을 수행하며, 카이저 효과, Felicity ratio, creep 효과 등을 분석하여 건전성을 입증한다.^[25-28] 온라인 감시는 사용 중에 지속적인 감시를 목적으로 한다면 짧은 기간에 기기나 설비의 건전성을 확인하기 위한 것이며, 주로 수압시험과 병행하여 수행한다.

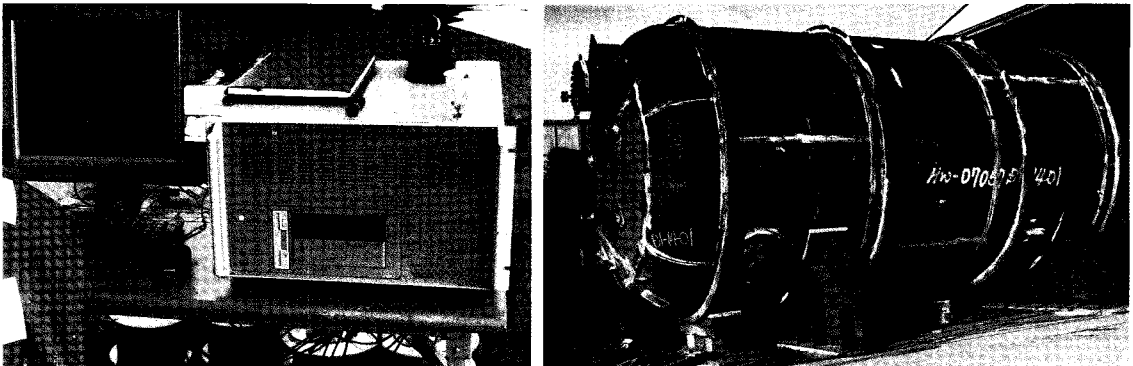


그림 3. 압력용기 건전성 평가

5.5 온라인 감시

음향방출의 가장 큰 장점은 가동 중에 있는 압력용기, 배관, 교량, 회전기기, 항공기 등 다양한 분야에서 감사를 수행할 수 있고 아주 미시적인 결함을 위험한 상태가 되기 전에 온라인으로 감시할 수 있다는 것이다.^[29]



6. 결 언

음향방출시험(AE)의 역사가 오래되었음에도 불구하고, 잡음의 제거 및 신호해석의 어려움으로 인하여 널리 알려지지 않은 점이 있으며, 이 글을 통하여 조금이나마 음향방출의 이해에 도움이 되기를 기대한다.

❁ 참고 문헌

- [1] Förster, Friedrich and Erich Scheil, "Akustische Untersuchung der Bildung von Martensitnadeln (Acoustic Study of the formation of Martensite Needles)", Zeitschrift für Metallkunde. Vol.29, No.9, pp245-247(1936)
- [2] W.P. Mason, H.J.Mcskimin, and W. Schockley. "Ultrasonic Observation of Twinning in Tin." Phys. Rev., Vol. 73, No.10, p1213(1948)
- [3] D. Millard, "Twinning in Single Srystal of Cadmium." Ph.D. thesis, Bristol, England, Univ. of Bristol(1950)
- [4] Kaiser, J., Untersuchungen über das Auftreten von Geräuschen beim Zugversuch (An Investigation into the Occurrence of Noises in Tensile Tests). Ph.D. thesis, Technische Hochschule, M?nich, (1950)
- [5] ASTM-E610, "Standard Definition of Terms Relating to Acoustic Emission"
- [6] Simmons, J.A. and R.B. Clough. "Theory of Acoustic Emission." Proc. Int. Conf. on Dislocation Modelling of Physical Systems, J.Hirth and M.Ashby, eds. Pergamon Press(1981).
- [7] J.K. Lee and H.C. Kim, J. Mater. Sci. Lett., Vol.7, p722(1988)
- [8] H.C.Kim and C.G. Kim, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 21, (1988)
- [9] T.Ohira and T. Kishi, Proc. 6th Int. AE Symp., Japan, p208(1982)
- [10] Burridge, R. and L. Knopoff, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.54, P.1875(1964)
- [11] Kaiser, J., "Erkenntnisse und Folgerungen aus der Messung von Gerauschen bei Zngbeanspruchig von Metallische Werkstoffen", Archiv fur das Eisenhutzen Wesen, Vol.24, No.1-2, p.43(1953)
- [12] 주영상, 정현규, 심철무, 임형택, 비파괴검사학회지, Vol.10, No.2, p.15(1990)]
- [13] 남기우, "식물의 환경 변화에 따른 음향방출 신호의 특성", 비파괴검사학회지, Vol.23, No.3, p.198(2003)
- [14] N.N. Hsu and D.G. Eitzen, Proc. 5th Int. AE Symp., Japan, p67(1980)]
- [15] Y, H, Pao and R.R. Gsjewski, "The generalized ray theory and transient response of layered elastic solid", chapter 6, Physical Acoustics, vol.13, W.P.Mason and R.N.Thurston, ed., Academic Press, pp.183-265(1977)
- [16] N. N. Hsu, "dynamic Green's function of an infinite plate-a computer program", NBSIR85-3234, Nat'l Bur. Stds., (1985)
- [17] J.O.Lee, H.C.Kim, "AE Source Function, During, Martensitic Transformation in Cu-Al-Mn Alloy", Proc. 1st Far East NDT Confer.(FENDT ' 91), Korea, p.151(1991)
- [18] 김병극, 김영환, "음향방출 신호 검출을 위한 공진형 및 광대역 센서의 제작과 특성평가", 비파괴검사학회지, Vol.12, No.4, p.9(1992)
- [19] 이종오, 이주석, 조정식, 이승희, 오세규, "CFRP 복합재료의 인장시험시 파괴기구의 해석", 한국복합재료학회지, Vol.5, No.2, p.11(1992)
- [20] 윤동진, 정중채, 박휘립, 김기복, 이승석, "응력학대 계수와 음향방출 변수를 이용한 피로균열 거동연구", 비파괴검사학회지, Vol.20, No.5, p.412(2000)

- [21] 성계용, 김인섭, 윤용구, “음향방출에 의한 인코넬 600합금의 응력 부식 균열 거동 평가”, 비파괴검사학회지, Vol.16, No.3, p.174(1996)
- [22] H. C. Kim, J. O. Lee, “Acoustic Emission During Thermal cycling of Cu-Al-Mn Alloys”, J. Mater. Sci. Lett. Vol.9, p.1345(1990)
- [23] 오세규, 장지훈, 장홍근, “Cr-Mo 강의 마찰용접최적화와 음향방출법에 의한 실시간 비파괴적 평가”, 비파괴 검사학회지, Vol.15 No.4, p.511(1995)
- [24] 윤종학, 강명순, “밀링공구마멸과 치핑의 검출을 위한 음향방출 이용에 관한 연구”, 비파괴검사학회지, Vol.11, No.1, p.31(1991)
- [25] 장홍근, 이주석, 조정식, “수압시험중의 구형 압력용기에 대한 AE 검사”, 비파괴검사학회지, Vol.3, No.1, p.12(1983),
- [26] 이주석 외, “AE법을 이용한 압력용기의 연속감시 기술 개발(UCE 216-722·C)”, 한국기계연구원보고서, (1986, 과학기술처),
- [27] 이종오, “금속 압력용기의 사용전 음향방출 시험”, 비파괴검사학회지, Vol.23, No.3, p.280(2003),
- [28] 윤동진, 김철중, “음향방출 측정에 의한 배관계의 누출탐지에 관한 연구”, 비파괴검사학회지, Vol.7, No.1, p.7(1987)
- [29] 윤동진, 권오양, 정민화, 김경웅, “음향방출을 이용한 저어널 베어링의 조기파손 방지(II)”, 비파괴검사학회지, Vol.14, No.2, p.122(1994)



이 종 오

· 재료연구소 원자력공인검사단 책임연구원
 · 관심분야 : 원전기기, 화학플랜트, 비파괴시험
 · E-mail : jolee@kims.re.kr



지 현 섭

· 재료연구소 원자력공인검사단 선임연구원
 · 관심분야 : 원전기기, 화학플랜트, 비파괴시험
 · E-mail : jeehs@kims.re.kr



주 노 회

· 재료연구소 원자력공인검사단 선임기술원
 · 관심분야 : 원전기기, 화학플랜트, 비파괴시험
 · E-mail : jnh@kims.re.kr