

## AE 테스트 (AT) 기본 사항 - 장비 - 데이터 분석 (개요)

목차:

1	개요	1
2	AE의 근원	2
3	AE-분석 - 필수적인 테스트 방법	2
4	AE-분석 - 수동적인 테스트 방법	2
5	AE-분석 - 동적 실시간 테스트 방법	2
6	AE 프로세스 체인	3
7	일시적 및 연속적 신호	3
8	AE 매개 변수	4
9	AE 측정 체인	5
10	시차를 기준으로 한 위치 계산	6
11	클러스터링	7
12	결론	7

### 1 개요

음향 방출 (AE) 분석은 광범위한 비파괴 테스트 응용 프로그램에 배포할 수 있는 매우 강력한 기술입니다: 금속 압력 용기, 배관 시스템, 원자로 등. 이 백서는 이러한 종류의 응용에 중점을 둡니다. 다른 유형의 응용은 간단히 언급합니다:

- 기계적으로 강하게 응력을 받는 구성 요소 또는 섬유 강화 플라스틱 또는 복합 재료의 전체 구조에 대한 비파괴 검사. 예를 들어 항공 우주 산업.
- 재료 연구 (예: 재료 속성, 고장 메커니즘 및 손상 행동 조사)
- 검사 및 품질 보증 (예: 용접 및 목재 건조 공정 모니터링, 세라믹 부품의 연속 검사, 스크래치 테스트 등)
- 소형 밸브에서 직경 100m의 탱크 바닥까지 다양한 구성품 내에서의 실시간 위치 및 누출 테스트.
- 지질 및 미세 지진 연구.
- 대형 변압기에서 고전압 부분 방전 위치 및 감지.

약어는 'Acoustic Emission'의 'AE' (NDT-norm EN 1330-9에 따름), 'Acoustic Emission Testing'의 'AT' (EN473-2000에 따름)입니다.

## 2 AE의 근원

모든 고체 물질은 특정한 탄성을 가지고 있습니다. 그것들은 외력에 의해 변형되거나 압축되어 풀릴 때 튀겨 나옵니다. 힘이 클수록 탄성 변형이 클수록 탄성 에너지가 높아집니다. 탄성 한계가 초과되면, 부서지기 쉬운 재료이거나 특정 소성 변형 후 즉시 파단이 발생합니다. 탄성 변형 재료에 결함이 있는 경우, 예를 들어 용접 조인트 결함, 비금속 개재물, 불안전 용접 가스 기포 또는 이와 유사한 균열은 심하게 스트레스를 받는 지점에서 발생하여 빠른 탈구로 재료를 빠르게 이완시킵니다. 탄성 에너지의 빠른 방출은 우리가 AE 이벤트라고 부릅니다. 이것은 적절한 센서로 전파되고 감지될 수 있는 탄성파를 생성합니다. AE 테스트는 이러한 균열 과정에서 발생하는 음향 이벤트를 감지하고 해석하며 매우 짧은 시간 내에 테스트 대상의 초기 손상을 식별, 위치 및 표시할 수 있습니다.

## 3 AE-분석 - 필수적인 테스트 방법

짧고 일시적인 AE 사건은 탄성 에너지의 매우 빠른 방출, 실제로 국소 탈구 운동에 의해 생성됩니다. 이 국소 전위는 모든 방향으로 전파되어 더 이상 멈출 수 없는 탄성파의 원천입니다. 그것은 결함에서 진원과 지진과 유사하지만 미세한 크기입니다.

적은 수의 센서로 비교적 큰 표면의 100%를 모니터링 할 수 있습니다. 결함을 찾기 위해 센서를 표면 위로 이동할 필요는 없습니다.

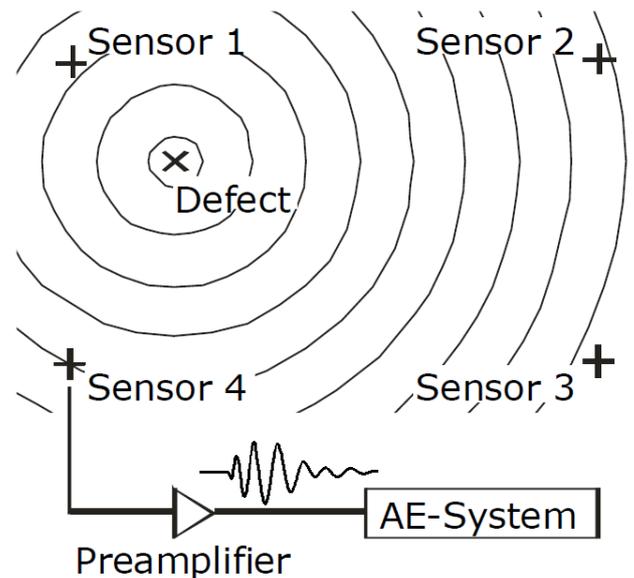


그림 1: 소리의 전파

## 4 AE-분석 - 수동적인 테스트 방법

AE 테스트는 결함이 발생한 순간에 발생하는 초음파 펄스를 분석하는 수동적이고 수용 가능한 기술입니다. 초음파 기술과 달리, 테스트 대상의 인공적이고 반복 가능한 음향 자극에 대한 응답을 측정하지 않습니다. 대신, 결함의 각 성장에 의해 생성된 음향 신호가 평가됩니다. 결함의 각 성장은 고유한 이벤트이며 재현할 수 없습니다.

## 5 AE-분석 - 동적 실시간 테스트 방법

AE는 균열이 커지거나 균열 경계가 서로 마찰될 때 발생합니다. (예: 시험물 이완 후 균열이 닫힐 때) 일반적으로 국소 결함이 발생하고 음향 방출이 발생하도록 테스트 대상은 작동 수준을 초과하여 기계적으로 스트레스를 받아야 합니다. 따라서 AE 분석은 테스트 대상이 일반적인 조건보다 더 많은 스트레스를 받는 경우에 특히 적합한 기술입니다. (예: 압력 용기 테스트) AE 분석은 결함이 발생한 순간에 실시간으로 결함을 "수신"합니다. 이 실시간 모니터링으로 인해 AE 테스트 방법은 환경 및 테스트 개체에 치명적인 결과를 초래할 수 있는 시스템 장애를 방지하기 위한 경고 시스템으로 사용할 수 있습니다.

## 6 AE 프로세스 체인

그림 2에서 볼 수 있듯이 시험 대상 내에서 기계적 응력이 발생해야 하며, 일반적으로 외부 힘을 가하여 수행됩니다. 재료의 반응 및 탄성 에너지 방출의 시작점, 예를 들어 균열 형성에 의해, 재료 특성 및 환경 조건에 의해 영향을 받습니다. 재료를 통해 전파되는 탄성파는 AE 센서에 의해 감지되어 전기 AE 신호로 변환됩니다. AE 시스템은 AE 신호를 처리하고, 검출된 버스트를 피쳐 데이터 세트로 변환하고, 소스 위치를 결정하고, 통계를 계산하여 실시간으로 그래픽 및 숫자로 표시합니다. 소위 파라메트릭 채널은 검출된 AE에 대한 기준 매개 변수로서 외부 부하 뿐만 아니라 환경 조건을 측정합니다.

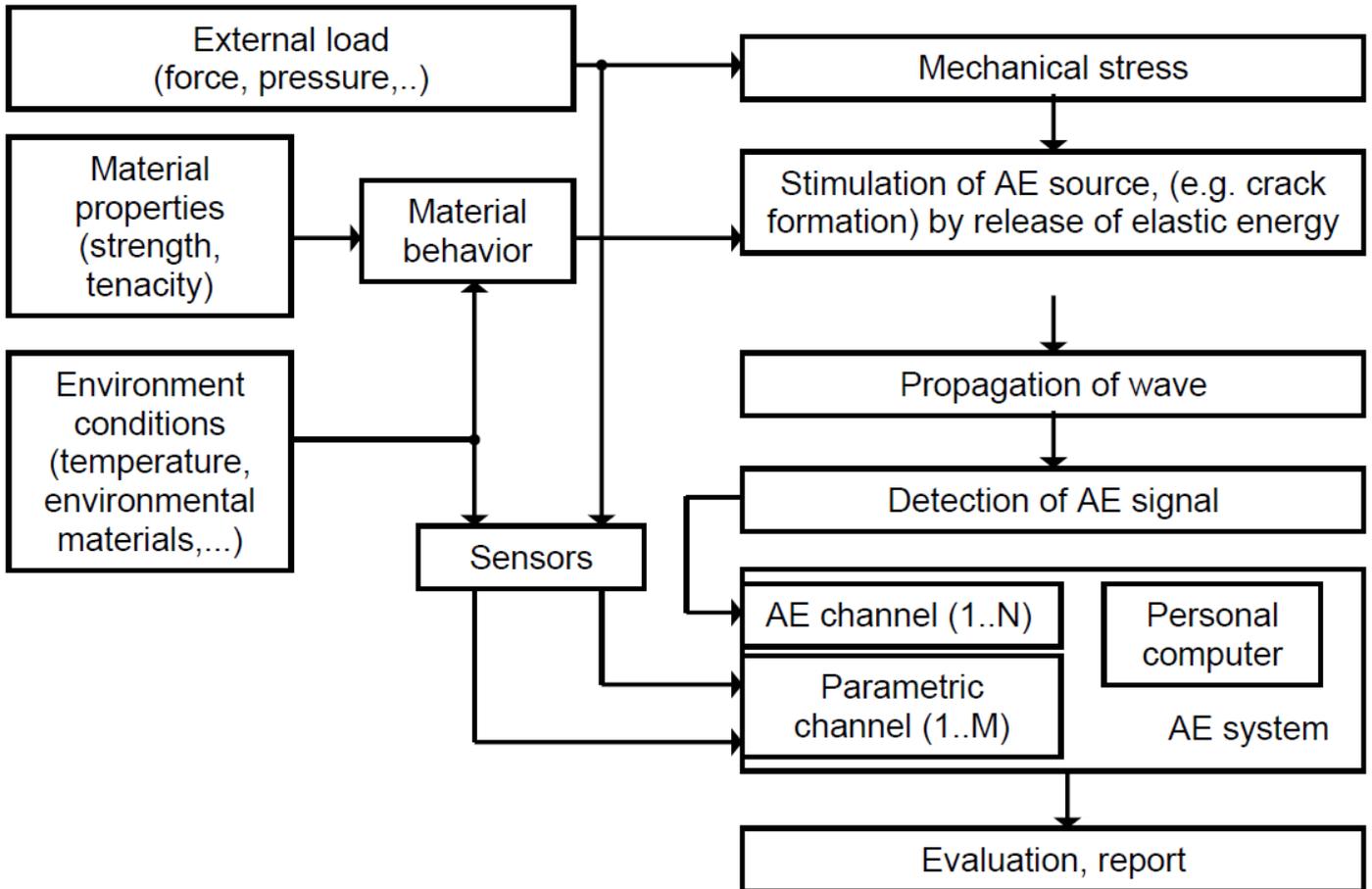


그림 2: AE 프로세스 체인

## 7 일시적 및 연속적 신호

기본적으로 AE 신호에는 일시적 신호와 연속 신호의 두 가지 유형이 있습니다. 버스트라고도 하는 일시적 신호를 사용하면 신호의 시작과 끝이 백그라운드 노이즈와 명확하게 벗어납니다. 연속 신호를 사용하면 진폭 및 주파수 변동을 볼 수 있지만 신호는 끝나지 않습니다. 그림 3에는 두 가지 유형의 AE 신호가 표시됩니다.

대형 압력 용기에서 AE 테스트에 유용한 신호는 예를 들어 파열 또는 균열 성장에서 비롯된 버스트 유형 신호입니다. 연속 신호는 마찰이나 흐름 노이즈와 같은 원하지 않는 (노이즈) 신호입니다. 그러나 버스트 신호조차도 간섭 신호가 될 수 있습니다. (예: 짧은 마찰 소음 또는 전기 스파이크) 최상의 배경 노이즈 프리 앰프 또는 센서의 전자 노이즈일 뿐입니다.

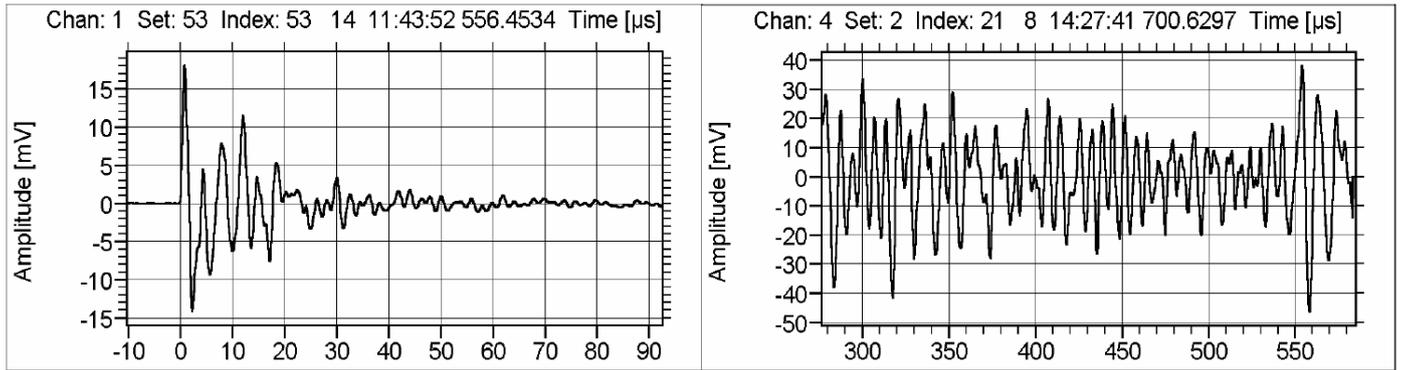


그림 3: 일시적 (왼쪽) 및 연속적 (오른쪽) AE 신호

### 8 AE 매개 변수

아주 적은 경우에, AE 테스트는 몇 번의 버스트만을 기반으로 합니다. 일반적으로 통계 평가를 위해 수백 또는 수천 개의 버스트가 기록됩니다. 파형의 통계적 평가는 특정 파형 기능 (매개 변수)의 통계 평가보다 어렵습니다. 테스트 중인 구조의 결과를 결함이 없는 데이터베이스와 결함이 있는 테스트 개체의 데이터베이스와 비교하기 위해 파형의 가장 중요한 매개 변수를 결정해야 합니다. 가장 일반적으로 사용되는 기능은 다음과 같습니다:

- 도착 시간 (첫 번째 임계값 교차 시간, 위치 계산에 필요)
- 피크 진폭
- 상승 시간 (제 1 임계값 교차와 피크 진폭 사이의 시간)
- 신호 지속 시간 (첫 번째와 마지막 임계값 교차 사이의 시간)
- 임계값 교차 횟수 (개수)
- 에너지 (신호 지속 시간에 따른 제곱 (또는 절대) 진폭의 적분)
- 연속 배경 노이즈 (버스트 전)의 RMS (Root Mean Square)

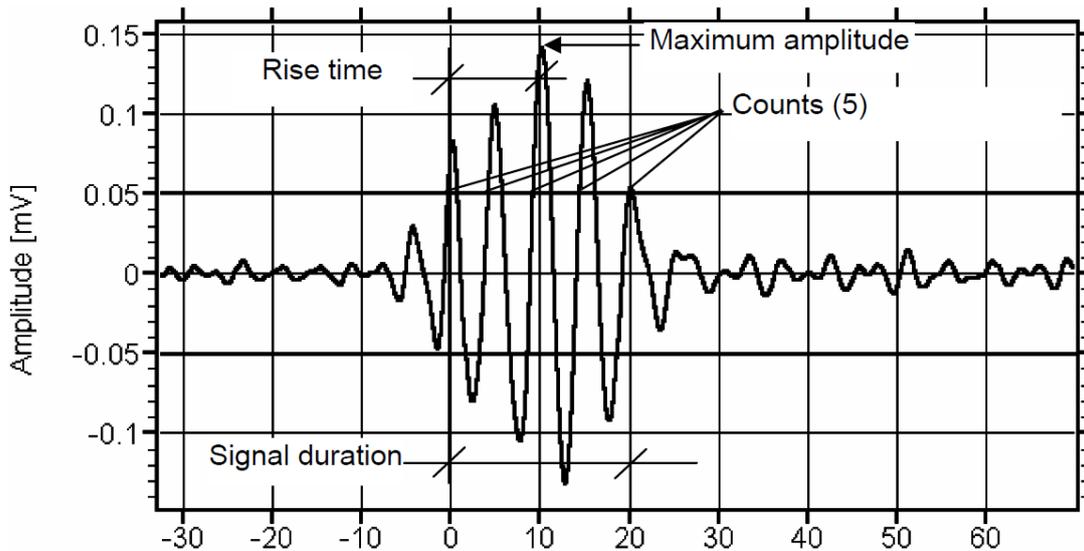


그림 4: 일시적 신호의 특징

AE 버스트는 우리가 찾고 있는 결함에 의해 생성될 뿐만 아니라 배경 노이즈의 피크와 같은 장애로 인해 발생할 수도 있습니다. 따라서 원치 않는 버스트로부터 원하는 버스트를 구별할 수 있는 특성을 결정하는 것이 매우 중요합니다.

피크 진폭은 가장 중요한 버스트 기능 중 하나입니다. 균열 신호는 중간에서 높은 진폭을 나타내며 테스트 대상의 속성에 따라 약 10 $\mu$ s의 지속 시간을 갖습니다.

대부분의 경우 임계값 교차가 3미만이고 지속 시간이 3 $\mu$ s 미만인 버스트는 원치 않는 신호로 간주될 수 있습니다. 진폭이 낮고 지속 시간이 긴 대부분의 버스트는 마찰 노이즈입니다. 매우 짧은 신호는 특히 모든 채널에 동시에 도달하는 경우 전기적 노이즈 피크를 나타낼 수 있습니다.

논리 필터를 사용하면 버스트 기능을 기반으로 버스트를 유연하게 분리할 수 있습니다. 이것은 주의해서 수행해야 합니다: 부주의하게 중요한 버스트를 놓치지 않도록 하십시오.

### 9 AE 측정 체인

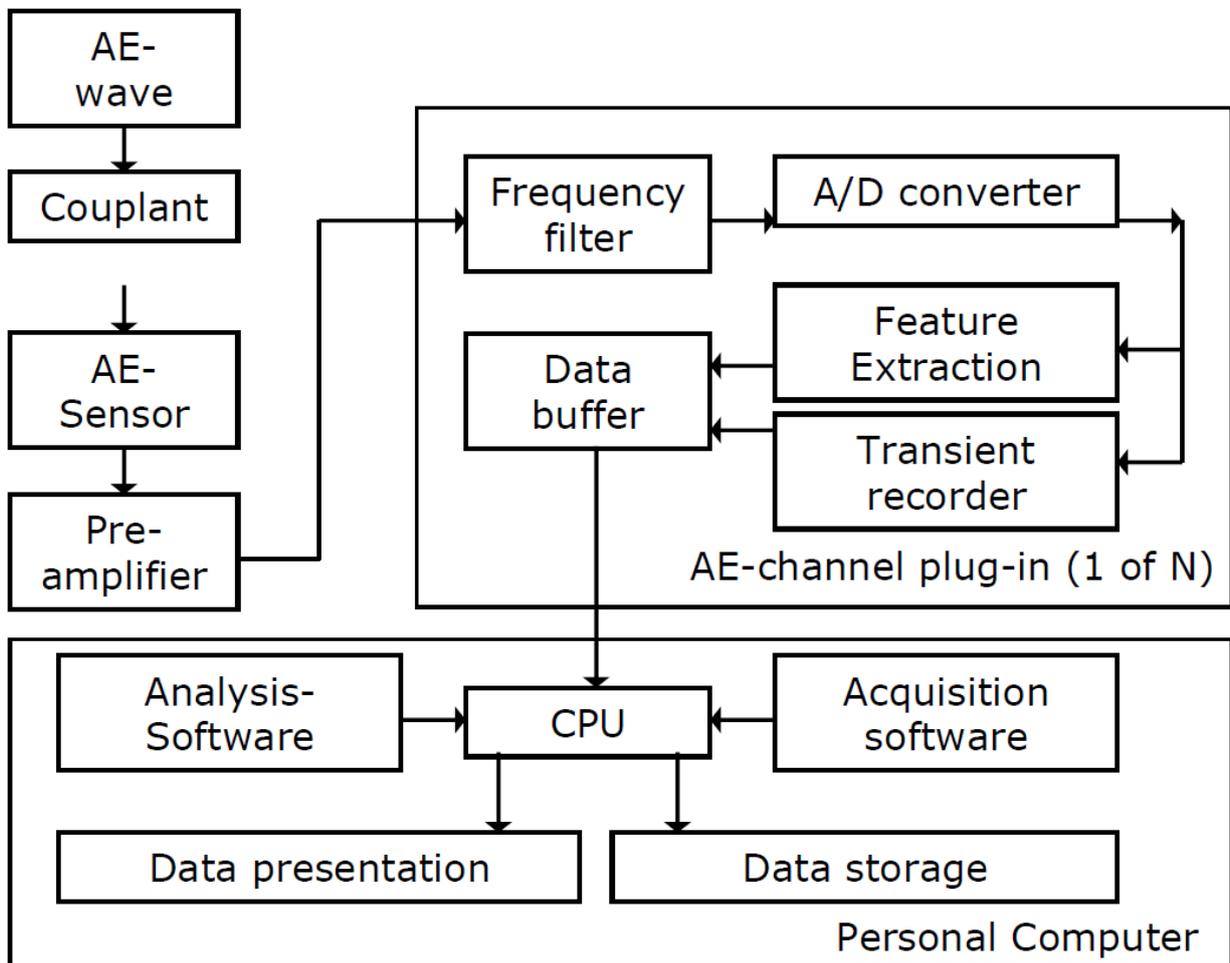


그림 5: AE 측정 체인

그림 5의 다이어그램은 커플런트에서 PC까지 AE 측정 체인의 회로도를 보여줍니다.

압전 센서는 모든 유형의 AE 테스트에 가장 적합한 것으로 입증되었습니다. 강력하고 매우 민감합니다. 최적의 주파수 범위는 AE 소스의 예상 종류와 전파 전달, 파동 감쇠 및 거리 조건에 따라 달라집니다. 금속 용기의 무결성을 테스트할 때는 일반적으로 100 ~ 300kHz의 주파수 범위가 선택됩니다. 콘크리트 및 플라스틱 재료를 테스트하려면 종종 더 낮은 주파수를 선택해야 합니다. 방해 노이즈를 다른 방법으로 제거할 수 없고 소스 메커니즘이 적절한 광대역인 경우, 더 높은 주파수를 선택하면 감지 거리가 짧아지면서 신호 대 노이즈 비율이 향상될 수 있습니다.

선택한 주파수 범위는 센서, 프리 앰프 및 플러그인 보드 AE 채널의 주파수 필터에 의해 정의됩니다.

다이내믹 레인지 및 샘플 속도와 관련하여 전체 측정 체인, 특히 A/D 컨버터에 대한 수요는 엄청납니다. 원거리에서 약한 소스의 신호는 전자 노이즈와 구별되어야 합니다. 근거리에서 강한 소스의 신호가 측정 범위를 포화시키지 않아야 합니다. 마이크로 전자의 발전 덕분에 이러한 요구는 가장 최근 몇 년 동안 실현 가능해졌습니다. 그림 6은 +/- 100mV의 측정 범위에서 AE-System (AMSY4, Vallen-Systeme)에 의해 디지털화되었으므로 낮은 진폭과 높은 진폭의 신호를 보여줍니다. 왼쪽 신호는 약 40µV의 버스트 진폭, 오른쪽은 약 40mV, 1000배 높은 진폭을 나타냅니다.

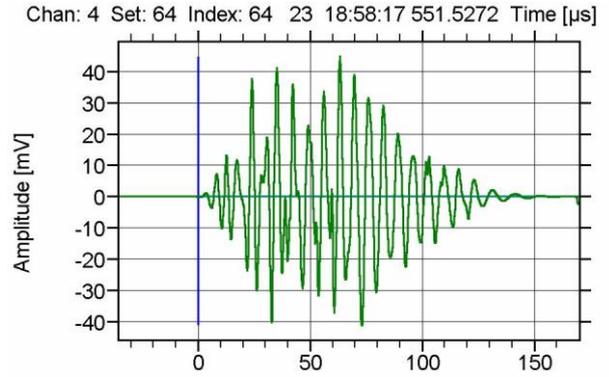
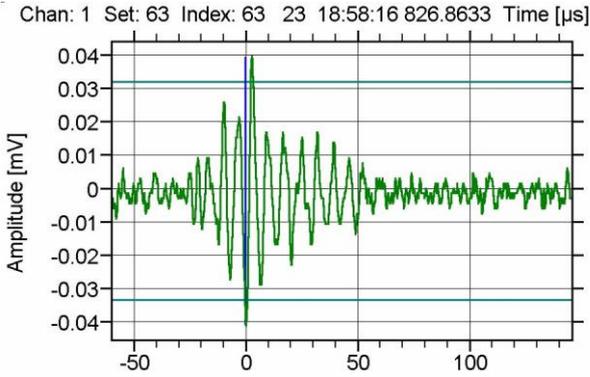


그림 6: AE 신호 역학 - 최신 A/D 컨버터 버스트

이 A/D 컨버터의 동적 범위는 16비트입니다. 이는 1 ~ 65.397 또는 1.5mm ~ 100m의 비율에 해당합니다. 연속 샘플링 속도는 10MHz입니다. 즉, 각 채널은 초당 1천만 개의 측정값을 생성하며, 이는 특징 추출 프로세서에 의해 실시간으로 처리됩니다. 일시적인 레코더 (그림 5)는 특성의 의미를 나타내는 버스트 파형의 모든 샘플을 저장하는 데 사용됩니다. 그림 6 및 7의 다이어그램은 일시적인 레코더 기능으로 인해 가능합니다.

### 10 시차를 기준으로 한 위치 계산

각 이벤트의 소스 위치를 결정하는 것은 AE 테스트의 필수 요소입니다. 소스 (결함)와 다른 센서 간의 거리 차이는 **도착 시간 차이 \* 음속**과 같습니다.

그림 7은 그림 1의 센서 소스 설정에서 가져온 파형과 다양한 도착 시간을 보여줍니다. 소스의 정확한 시간을 측정할 수 없습니다. 센서 간의 도착 시간 차이 ( $\Delta t$ )만 측정할 수 있습니다. 소스와 두 센서 사이의 거리 차이는  $\Delta t * v$ 로 계산됩니다. 두 고정점 (센서)까지의 거리 사이에 일정한 차이가 있는 모든 점은 쌍곡선을 형성합니다. 그림 8은 그림 7의 측정에 해당하는 세 가지 쌍곡선을 보여줍니다. 각 쌍곡선은 두 센서 간의 거리 차이를 계산하여 모든 점을 나타냅니다. 세 쌍곡선의 교차점에는 원하는 소스 위치가 있습니다.

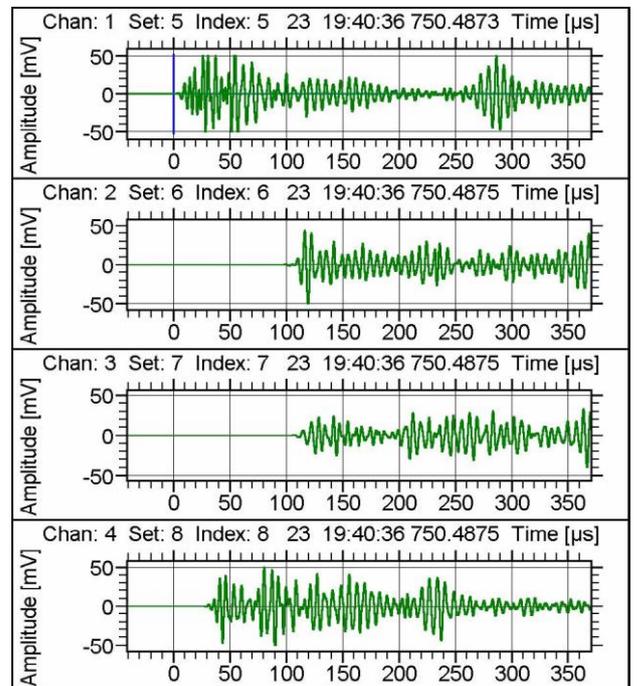


그림 7: 도착 시간 차이

## 11 클러스터링

일반적으로 위치 계산 결과는 포인트 다이어그램으로 표시됩니다. (예: 테스트 객체의 배경 그림)

그림 9는 천연 가스를 위한 구형 저장 탱크의 예를 보여줍니다. 각 기호는 기호의 색과 모양이 특정 진폭 범위를 나타내는 위치 결과를 나타냅니다.

위치 결과의 농도를 클러스터라고 하며 그림 9에서 큰 원으로 표시됩니다.

클러스터 원의 색상은 클러스터 내에서 찾은 이벤트 수를 나타냅니다. 많은 수의 이벤트로 구성된 위치 클러스터는 반복적인 AE 소스의 위치를 나타냅니다.

이는 잠재적 결함 또는 장애일 수 있습니다. 때로는 이러한 소스를 빠르게 식별할 수 있습니다. (예: 마찰재, 부속물 등) 소스를 교란으로 식별할 수 없으면 결함의 가능성이 있으며 다른 NDT 방법으로 테스트해야 합니다.

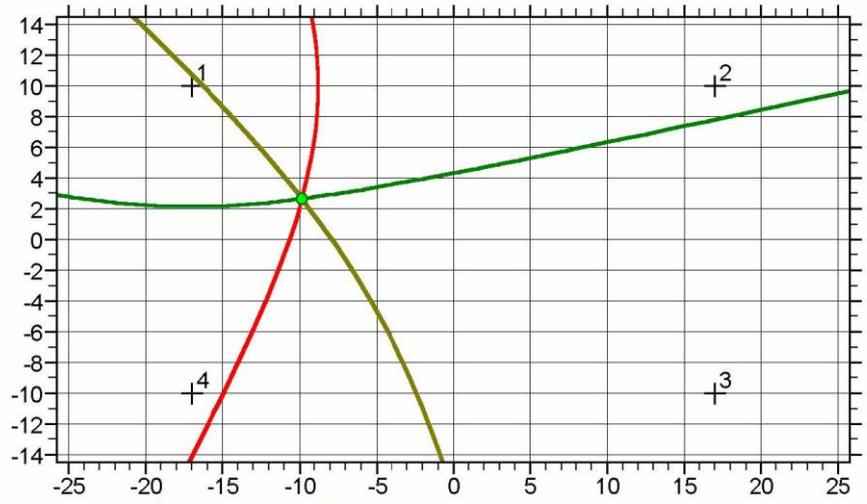


그림 8: 3개의 적중 센서와 쌍곡선 교차

## 12 결론

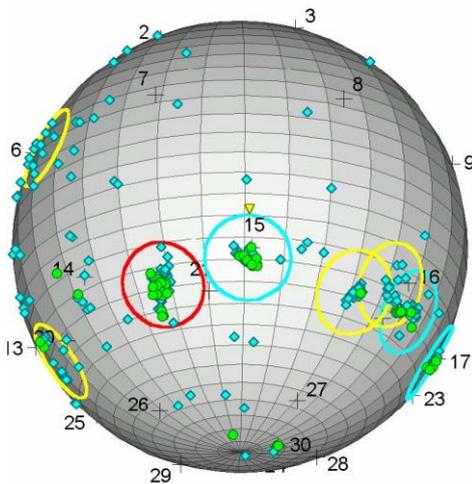


그림 9: 구형 위치

이 문서는 AE 테스트 방법에 대한 개요만 제공할 수 있습니다. 주요 목적은 지난 몇 년 동안 만들어진 장비 기술의 진전을 나타내는 것입니다.

최신 컴퓨터 기술과 사용자 친화적인 Windows 소프트웨어는 초당 100개의 클러스터를 실시간으로 처리하고 표시할 수 있습니다. 지난 몇 년간 기술의 증가로 성공적인 AE 응용 프로그램의 수도 증가했습니다. 지난 10년 동안 데이터 수집 및 분석 속도가 1000배 이상 증가했습니다. 10년 전에 제조된 장비에 대한 실망스러운 경험에서 AE 방법의 잠재력을 측정해서는 안 됩니다. 이 테스트 방법은 많은 응용 분야에서 성숙에 도달했습니다.

AE 테스트 방법의 수용도 향상되었습니다. 1999년부터 DGZfP는 EN473-2000에 따라 AE 테스트 과정 (AT)을 제공합니다. AT는 레벨 3 지원자를 위한 새로운 Z 코스의 구성 요소입니다. AT에 관한 몇 가지 CEN-Norms가 개발되었으며, 지식인들 사이에 좋은 합의를 보여주었습니다.

AT의 사용은 지속적으로 증가할 것이며 압력 용기 검사 및 기타 응용 분야에서 점점 더 많이 고려될 것입니다. (예: 평평한 탱크 바닥 테스트.)

추가적인 정보가 필요한 경우, Vallen 사의 국내 대리점 엠케이씨코리아 ([www.mkckorea.com](http://www.mkckorea.com))로 연락하여 주시기 바랍니다.