



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0155489  
(43) 공개일자 2022년11월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 29/14 (2006.01) G01N 29/06 (2006.01)  
G01N 29/40 (2006.01) G01N 29/44 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01N 29/14 (2013.01)  
G01N 29/069 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2021-0062219  
(22) 출원일자 2021년05월13일  
심사청구일자 2021년05월13일

(71) 출원인  
주식회사 아이디케이  
대전광역시 유성구 테크노9로 35, 306호(탑립동,  
아이티전용벤처타운)  
연세대학교 원주산학협력단  
강원도 원주시 흥업면 연세대길 1  
(72) 발명자  
이병일  
경기도 화성시 동탄산척로2길 56 1940동 1701호  
권혁남  
강원도 원주시 봉화서부로 11, 107동 1305호 (단  
계동, 원주봉화산푸르지오아파트)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인지담

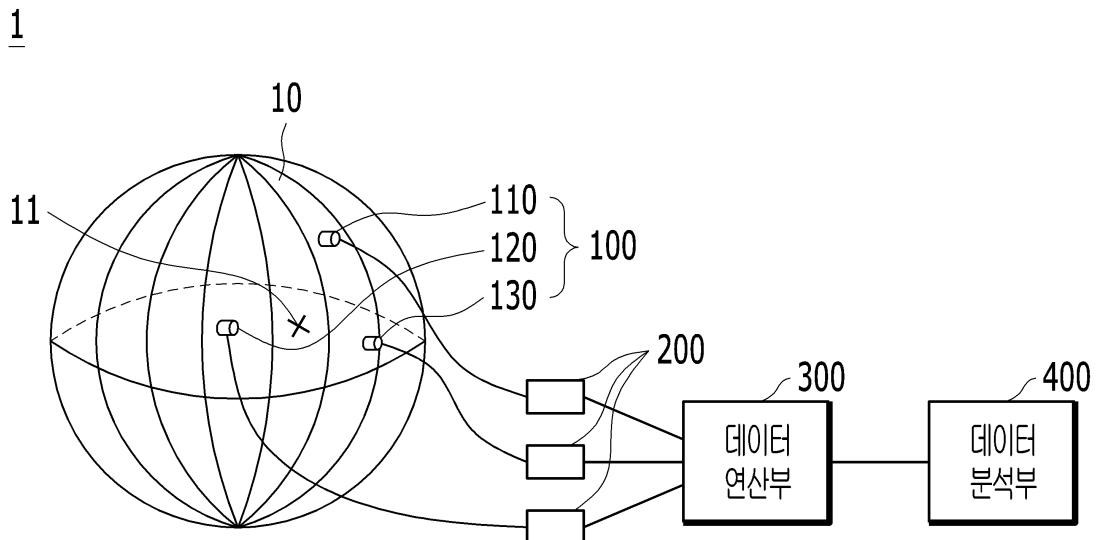
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법

(57) 요약

본 발명의 실시 예는 신호 측정부가, 진단대상물에 배치될 때 서로 이격되는 적어도 3개의 센서를 구비하여, 상기 진단대상물의 결함부에서 발생된 음향방출 신호를 측정하는 측정 단계, 신호 전처리부가, 상기 음향방출 신호를 필터링 및 증폭하는 신호 전처리 단계, 데이터 연산부가, 상기 음향방출 신호가 상기 신호 측정부의 적어도 3개의 센서에 도달한 시간인 측정 시간을 각각 추출하는 추출 단계, 데이터 분석부가, 상기 측정 시간 및 상기 신호 측정부의 위치 정보를 이용하여, 상기 결함부의 위치 및 상기 결함부의 발생 시간을 분석하는 제1 분석 단계를 포함하는 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법을 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 29/40 (2013.01)

G01N 29/4454 (2013.01)

G01N 29/4472 (2013.01)

G01N 2291/0289 (2013.01)

(72) 발명자

**김광복**

대전광역시 유성구 문지로316번길 54-20

**김창일**

대전광역시 유성구 배울2로 19 908동 1001호

**우진호**

대전광역시 유성구 신성남로 127-1 202호

**나민국**

대전시 서구 청사로 70, 104동 105호

**강병호**

부산광역시 금정구 수림로 12 105동 303호

**김봉기**

세종특별자치시 국책연구원1로 15 907동 803호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415168442

과제번호 20191510301470

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원

연구사업명 원자력핵심기술개발(R&D)

연구과제명 원자로 격납건물 등의 대형구조물 해체 시 실시간 안전 진단을 위한 10 Msps 속도

급의 AET 다채널 임베디드 인공지능 시스템 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 주식회사 아이디케이

연구기간 2021.01.01 ~ 2021.12.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

신호 측정부가, 진단대상물에 배치될 때 서로 이격되는 적어도 3개의 센서를 구비하여, 상기 진단대상물의 결함 부에서 발생된 음향방출 신호를 측정하는 측정 단계;

신호 전처리부가, 상기 음향방출 신호를 필터링 및 증폭하는 신호 전처리 단계;

데이터 연산부가, 상기 음향방출 신호가 상기 신호 측정부의 적어도 3개의 센서에 도달한 시간인 측정 시간을 각각 추출하는 추출 단계;

데이터 분석부가, 상기 측정 시간 및 상기 신호 측정부의 위치 정보를 이용하여, 상기 결함부의 위치 및 상기 결함부의 발생 시간을 분석하는 제1 분석 단계;를 포함하는,

음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 분석 단계는,

상기 음향방출 신호의 전달 속도를 미지수로 설정하되, 상기 결함부로부터 전달되어 적어도 3개의 상기 센서에 서 각각 측정된 상기 음향방출 신호의 전달 속도는 모두 동일하다는 속도 조건을 적용하는 단계;를 포함하는,

음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 속도 조건은 하기 수학적식 (1)로 정의되고,

$$\frac{|\vec{(x-y_i)}|}{t-t_i} = \frac{|\vec{(x-y_j)}|}{t-t_j} \quad \dots(1)$$

상기 수학적식 (1)에서,

$\vec{x}$  : 결함부의 위치

$\vec{y_i}, \vec{y_j}$  : 각 센서들의 위치

$t$  : 결함부 발생 시간

$t_i, t_j$  : 센서들 각각에서 음향방출 신호가 측정된 측정 시간으로 정의되는,

음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 분석 단계는,

상기 속도 조건의 오차에 기반한 비용 함수(Cost function)를 정의하고, 상기 비용 함수를 최소화(Minimization)하여 상기 결함부의 위치 및 상기 결함부의 발생 시간을 산출하며,

상기 비용 함수는 하기 수학적 식 (2)로 정의되고,

$$F(\vec{x}, t) = \sum_{i \neq j} (|\vec{x} - \vec{y}_i| \cdot (t - t_j) - |\vec{x} - \vec{y}_j| \cdot (t - t_i))^2 \quad \dots(2)$$

상기 비용 함수의 최소화는 하기 수학적 식 (3)으로 정의되는,

$$(\vec{x}, t) = \underset{(\vec{x}, t)}{\operatorname{argMin}} F(\vec{x}, t) \quad \dots(3)$$

음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법.

## 청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제1 분석 단계는,

상기 속도 조건에, 시간 편차를 고려하는 단계;를 더 포함하고,

상기 시간 편차를 고려한 속도 조건은, 하기 수학적 식 (4)로 정의되고,

$$\frac{|\vec{x} - \vec{y}_i|}{t - (t_i - \delta t_i)} = \frac{|\vec{x} - \vec{y}_j|}{t - (t_j - \delta t_j)} \quad \dots(4)$$

상기 수학적 식 (4)에서,

$\delta t_i, \delta t_j$  : 센서들 각각에서 발생하는 시간 편차로 정의되는,

음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법.

## 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제1 분석 단계는,

상기 속도 조건의 오차에 기반한 비용 함수를 정의하고, 상기 비용 함수를 정칙화(Regularization) 기법으로 최소화하여 상기 결함부의 위치 및 상기 결함부의 발생 시간을 산출하며,

상기 비용 함수는 하기 수학적 식 (5)로 정의되고,

$$G(\vec{x}, t, \delta t) = \sum_{i \neq j} (|\vec{x} - \vec{y}_i| \cdot [t - (t_j - \delta t_j)] - |\vec{x} - \vec{y}_j| \cdot [t - (t_i - \delta t_i)])^2 \quad \dots(5)$$

상기 비용 함수의 최소화는 하기 수학적 식 (6)으로 정의되며,

$$(\vec{x}, t, \delta t) = \underset{(\vec{x}, t, \delta)}{\operatorname{argMin}} G(\vec{x}, t, \delta t) + \lambda |\delta t| \quad \dots(6)$$

상기 수학적 식 (6)에서,

$\lambda$  : 가중치로 정의되고,

상기 가중치는 진단대상물의 특성에 따라 사용자에게 의해 설정되는 값인,

음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법.

## 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 데이터 분석부가, 상기 결함부의 위치 정보 및 상기 결함부의 발생 시간 정보에 기초하여, 상기 결함부의 성장 방향 및 상기 결함부의 성장 속도를 분석하는 제2 분석 단계;를 더 포함하는,

음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법.

## 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제1 분석 단계는,

상기 진단대상물의 표면을 2차원의 평면으로 가정한 상태에서 상기 결함부의 위치를 분석하고,

상기 제1 분석 단계 이후에,

상기 데이터 분석부가 상기 결함부의 위치를 3차원의 위치 좌표로 변환하는 좌표 변환 단계;를 더 포함하는,

음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법.

## 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 좌표 변환 단계는,

상기 결함부의 위치 벡터에 회전 변환 행렬을 적용하는,

음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 결함 위치 진단 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 음향방출 신호를 이용한 비파괴 검사는, 재료에서 자발적으로 발생하는 탄성파를 측정하는 방식으로, 구조물의 결함을 조기에 진단할 수 있는 기술이다. 구조물의 결함을 조기에 발견하고 대응하기 위해서는, 결함의 발생 여부에 대한 실시간 검사뿐만 아니라, 결함이 발생한 위치와 시점에 대한 분석이 이루어져야 한다.

[0004] 그러나, 종래의 음향방출 신호를 이용한 비파괴 검사 방법은, 결함 발생 위치 추정에 있어서, 정확도가 다소 낮다는 단점이 있었다. 이에 따라, 보다 정확도가 개선된 결함 위치 진단 방법의 개발이 요구되고 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0006] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 음향방출 신호를 이용한 비파괴 검사 방법에 있어서, 정확도가 개선된 결함 위치 진단 방법을 제공하는 것이다.
- [0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0009] 상기 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명의 실시 예는 신호 측정부가, 진단대상물에 배치될 때 서로 다른 위치에 적어도 3개의 센서를 구비하여, 상기 진단대상물의 결함부에서 발생된 음향방출 신호를 측정하는 측정 단계, 신호 전처리부가, 상기 음향방출 신호를 필터링 및 증폭하는 신호 전처리 단계, 데이터 연산부가, 상기 음향방출 신호가 상기 신호 측정부의 적어도 3개의 센서에 도달한 시간인 측정 시간을 각각 추출하는 추출 단계, 데이터 분석부가, 상기 측정 시간 및 상기 신호 측정부의 위치 정보를 이용하여, 상기 결함부의 위치 및 상기 결함부의 발생 시간을 분석하는 제1 분석 단계를 포함하는 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법을 제공할 수 있다.
- [0010] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 제1 분석 단계는, 상기 음향방출 신호의 전달 속도를 미지수로 설정하되, 상기 결함부로부터 전달되어 적어도 3개의 상기 센서에서 각각 측정된 상기 음향방출 신호의 전달 속도는 모두 동일하다는 속도 조건을 적용하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0011] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 속도 조건은 하기 수학식 (1)로 정의되고,

$$\frac{|\vec{x}-\vec{y}_i|}{t-t_i} = \frac{|\vec{x}-\vec{y}_j|}{t-t_j} \quad \dots(1)$$

- [0012] 상기 수학식 (1)에서,

[0013]  $\vec{x}$  : 결함부의 위치

[0014]  $\vec{y}_i, \vec{y}_j$  : 각 센서들의 위치

[0015]  $t$  : 결함부 발생 시간

[0016]  $t_i, t_j$  : 센서들 각각에 음향방출 신호가 도달한 시간인 측정 시간으로 정의될 수 있다.

- [0017] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 제1 분석 단계는, 상기 속도 조건의 오차에 기반한 비용 함수(Cost function)를 정의하고, 상기 비용 함수를 최소화(Minimization)하여 상기 결함부의 위치 및 상기 결함부의 발생 시간을 산출하며, 상기 비용 함수는 하기 수학식 (2)로 정의되고,

$$F(\vec{x}, t) = \sum_{i \neq j} (|\vec{x}-\vec{y}_i| \cdot (t-t_j) - |\vec{x}-\vec{y}_j| \cdot (t-t_i))^2 \quad \dots(2)$$

- [0018] 상기 비용 함수의 최소화는 하기 수학식 (3)으로 정의될 수 있다.

$$(\vec{x}, t) = \underset{(\vec{x}, t)}{\operatorname{argMin}} F(\vec{x}, t) \quad \dots(3)$$

- [0019] 본 발명의 다른 실시 예에 있어서, 상기 제1 분석 단계는, 상기 속도 조건에, 시간 편차를 고려하는 단계를 더 포함하고,

[0023] 상기 시간 편차를 고려한 속도 조건은, 하기 수학식 (4)로 정의되고,

$$\frac{|\vec{x} - \vec{y}_i|}{t - (t_i - \delta t_i)} = \frac{|\vec{x} - \vec{y}_j|}{t - (t_j - \delta t_j)} \quad \dots(4)$$

[0025] 상기 수학식 (4)에서,

[0026]  $\delta t_i, \delta t_j$  : 센서들 각각에서 발생하는 시간 편차로 정의될 수 있다.

[0027] 본 발명의 다른 실시 예에 있어서, 상기 제1 분석 단계는, 상기 속도 조건의 오차에 기반한 비용 함수를 정의하고, 상기 비용 함수를 정규화(Regularization) 기법으로 최소화하여 상기 결함부의 위치 및 상기 결함부의 발생 시간을 산출하며, 상기 비용 함수는 하기 수학식 (5)로 정의되고,

$$G(\vec{x}, t, \delta t) = \sum_{i \neq j} (|\vec{x} - \vec{y}_i| \cdot [t - (t_j - \delta t_j)] - |\vec{x} - \vec{y}_j| \cdot [t - (t_i - \delta t_i)])^2 \quad \dots(5)$$

[0029] 상기 비용 함수의 최소화는 하기 수학식 (6)으로 정의되며,

$$(\vec{x}, t, \delta t) = \underset{(\vec{x}, t, \delta)}{\operatorname{argMin}} G(\vec{x}, t, \delta t) + \lambda |\delta t| \quad \dots(6)$$

[0031] 상기 수학식 (6)에서,

[0032]  $\lambda$  : 가중치로 정의되고,

[0033] 상기 가중치는 진단대상물의 특성에 따라 사용자에게 의해 설정되는 값일 수 있다.

[0034] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 데이터 분석부가, 상기 결함부의 위치 정보 및 상기 결함부의 발생 시간 정보에 기초하여, 결함부의 성장 방향 및 결함부의 성장 속도를 분석하는 제2 분석 단계를 더 포함할 수 있다.

[0035] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 제1 분석 단계는, 상기 진단대상물의 표면을 2차원의 평면으로 가정한 상태에서 상기 결함부의 위치를 분석하고, 상기 제1 분석 단계 이후에, 상기 데이터 분석부가 상기 결함부의 위치를 3차원의 위치 좌표로 변환하는 좌표 변환 단계를 더 포함할 수 있다.

[0036] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 좌표 변환 단계는, 상기 결함부의 위치 벡터에 회전 변환 행렬을 적용할 수 있다.

## 발명의 효과

[0038] 본 발명의 실시 예에 따른 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법은, 음향방출 신호의 전달 속도를 특정하지 않고, 미지의 값으로 설정하여 이루어진다. 이에 따라, 전달 속도 값의 예측 실패에 따른 오류 발생을 방지할 수 있다.

[0039] 또한, 진단대상물의 부위에 따른 전달 속도의 차이 및 데이터 연산부의 계산 오차를 더 고려하기 위해, 시간 편차 변수를 적용함으로써, 분석 결과의 정확성을 보다 향상시킬 수 있다.

[0040] 본 발명의 효과는 상기한 효과로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 설명 또는 청구범위에 기재된 발명의 구성으로부터 추론 가능한 모든 효과를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

## 도면의 간단한 설명

[0042] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법을 수행하기 위한 비파괴 검사 장치의 개략도이다.

도 2는 2차원 평면으로 가정된 진단대상물의 표면에, 센서들의 위치 및 결함부의 위치를 표시한 도면이다.

도 3은 음향방출 신호의 파형 그래프에서, 측정 시간을 추출하기 위한 기준을 표시한 도면이다.

도 4는 균질 재료와 비균질 재료에서 측정된 음향방출 신호의 파형을 각각 도시한 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법의 과정을 도시한 흐름도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0043] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 설명하기로 한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 따라서 여기에서 설명하는 실시 예로 한정되는 것은 아니다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0044] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결(접속, 접촉, 결합)"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0045] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0046] 본 명세서에서, "모듈"은 하드웨어, 소프트웨어 또는 펌웨어로 구성된 유닛을 포함하며, 예컨대 로직, 논리 블록, 부품, 또는 회로 등의 용어와 상호 호환적으로 사용될 수 있다. 모듈은 일체로 구성된 부품 또는 하나 또는 그 이상의 기능을 수행하는 최소 단위 또는 그 일부가 될 수 있다. 예컨대 모듈은 ASIC(application-specific integrated circuit)으로 구성될 수 있다.
- [0047] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명의 실시 예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0048] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법을 수행하기 위한 비파괴 검사 장치의 개략도이다.
- [0049] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법은, 비파괴 검사 장치(1)에 의해 수행될 수 있다. 비파괴 검사 장치(1)는 음향방출(Acoustic Emission; AE) 신호를 이용하여 진단대상물(10)의 상태를 실시간으로 검사하는 장치일 수 있다. 구체적으로, 비파괴 검사 장치(1)는, 진단대상물(10)의 결함부(11)에서 발생하는 음향방출 신호를 측정하여, 결함부(11)의 위치 및 결함부(11) 발생 시간을 분석할 수 있다. 여기서, 결함부(11)는 진단대상물(10) 내에서 재료의 파괴가 발생한 일 지점일 수 있다.
- [0050] 음향방출 신호는 진단대상물(10)을 구성하는 재료가 파괴될 때 발생하는 탄성파(Elastic wave)로부터 얻은 전기적 신호일 수 있다. 그리고, 진단대상물(10)은 예를 들어, 발전소를 구성하는 구조물일 수 있다.
- [0051] 비파괴 검사 장치(1)는 신호 측정부(100), 신호 전처리부(200), 데이터 연산부(300) 및 데이터 분석부(400)를 포함할 수 있다.
- [0052] 도 2는 2차원 평면으로 가정된 진단대상물의 표면에, 센서들의 위치 및 결함부의 위치를 표시한 도면이다.
- [0053] 도1 및 도 2를 참조하면, 신호 측정부(100)는 진단대상물(10)에서 발생하는 음향방출 신호를 측정할 수 있다. 구체적으로, 신호 측정부(100)는, 진단대상물(10)의 결함부(11)에서 발생하는 탄성파를 전기적 신호인 음향방출 신호로 변환하여 수집할 수 있다.
- [0054] 신호 측정부(100)는 복수개의 센서를 포함할 수 있다. 구체적으로, 신호 측정부(100)는 적어도 3개 이상의 센서를 포함할 수 있다. 이러한 센서들은, 진단대상물(10)에 연결될 수 있다. 일 실시 예로, 센서들은 진단대상물(10)의 표면에 부착될 수 있다. 이때, 센서들은 서로 이격되어 배치될 수 있다. 즉, 센서들은, 진단대상물(10)의 표면에서, 서로 다른 위치에 배치될 수 있다.
- [0055] 센서가 부착되는 진단대상물(10)은, 3차원의 곡면으로 이루어진 표면을 가질 수 있다. 이러한 진단대상물(10)의 표면은, 연산 및 분석 상의 편의를 위해, 2차원의 평면으로 가정될 수 있다. 이에 따라, 센서의 위치 및 결함부



의 위치는, 2차원 좌표계 내의 좌표벡터(Coordinate vector)로 표현될 수 있다.

- [0056] 도 2에서는, 2차원의 평면으로 가정된 진단대상물의 표면에 배치된 3개의 센서와, 결합부의 위치를 표시하였다. 전술한 바와 같이, 센서는 3개 이상이 구비될 수 있으나, 설명의 편의를 위해, 3개의 센서만을 구비하는 실시 예를 중심으로 설명하기로 한다.
- [0057] 서로 다른 위치에 배치된 3개의 센서들은, 결합부(11)에서 발생한 음향방출 신호를 각각 측정할 수 있다. 이때, 각 센서들이 결합부(11)로부터 이격된 거리는 상이할 수 있다. 구체적으로, 제1 센서(110), 제2 센서(120) 및 제3 센서(130)가 결합부(11)로부터 이격된 거리는, 각각 상이할 수 있다.
- [0058] 신호 전처리부(200)는 신호 측정부(100)에서 측정된 음향방출 신호를 필터링(Filtering) 및 증폭할 수 있다. 구체적으로, 신호 전처리부(200)는 신호 측정부(100)에서 측정된 음향방출 신호에서, 잡음(Noise)은 제거하고, 잡음 이외의 신호는 증폭시킬 수 있다. 여기서, 잡음은 진단대상물(10)에 파괴가 일어날 때 발생하는 음향방출 신호를 제외한, 다른 신호들을 의미할 수 있다. 예를 들어, 잡음은 진단대상물(10)이 정상적으로 작동할 때 발생하는 소음, 작업장의 소음 등을 포함할 수 있다. 신호 전처리부(200)는, 예를 들어, 프리앰프(Pre-amplifier)일 수 있다.
- [0059] 도 3은 음향방출 신호의 파형 그래프에서, 측정 시간을 추출하기 위한 기준을 나타낸 도면이다.
- [0060] 도 3을 참조하면, 데이터 연산부(300)는 센서에 음향방출 신호가 도달한 시간을 추출할 수 있다. 구체적으로, 데이터 연산부(300)는, 결합부(11)에서 발생한 음향방출 신호가 각 센서들에 도달한 시간인, 측정 시간을 추출할 수 있다. 이때, 데이터 연산부(300)가 음향방출 신호의 측정 시간을 추출하는 방법은 다양할 수 있다.
- [0061] 일 실시 예로, 데이터 연산부(300)는, 음향방출 신호의 파형이 문턱값(Threshold; TH)을 최초로 초과하는 시점( $t_{TH}$ )을, 측정 시간으로 추출할 수 있다. 여기서, 문턱값(TH)은 음향방출 신호의 발생 여부를 판단하는 기준값일 수 있다. 이러한 문턱값(TH)은, 음향방출 신호가 가진 파형의 특성에 따라, 사용자가 그 값을 설정할 수 있다.
- [0062] 다른 실시 예로, 데이터 연산부(300)는, 음향방출 신호의 파형이 최대진폭(Peak Amplitude; PA)에 이르는 시점( $t_{PA}$ )을, 측정 시간으로 추출할 수 있다. 여기서, 최대진폭(PA)은 각 음향방출 신호의 파형이 가지는, 최대 진폭을 의미할 수 있다.
- [0063] 그러나, 음향방출 신호의 측정 시간을 추출하는 방법은 전술한 두 가지 실시 예들에 한정되지는 않으며, 이외의 다양한 방법으로 실시될 수도 있다.
- [0064] 전술한 바와 같이, 3개의 센서들이 결합부(11)로부터 이격된 거리는 상이할 수 있다. 이에 따라, 결합부(11)에서 발생한 음향방출 신호가, 3개의 센서들에 각각 도달하는 시간은, 상이할 수 있다. 구체적으로, 제1 센서(110)에서 측정된 제1 측정 시간, 제2 센서(120)에서 측정된 제2 측정 시간, 그리고 제3 센서(130)에서 측정된 제3 측정 시간은, 각각 상이할 수 있다.
- [0065] 도 2를 다시 참조하면, 제3 센서(130)는 제2 센서(120)보다 결합부(11)에 가까이 배치되어 있으므로, 결합부(11)에서 발생한 음향방출 신호는 제2 센서(120)보다 제3 센서(130)에 빨리 도달할 수 있다. 즉, 제3 측정 시간은 제2 측정 시간보다 빠른 시점일 수 있다.
- [0066] 데이터 분석부(400)는 결합부(11)의 위치와 결합 발생 시간을 분석할 수 있다. 구체적으로, 데이터 분석부(400)는 데이터 연산부(300)가 추출한 측정 시간 정보와, 신호 측정부(100)의 위치 정보를 기초로, 결합부(11)의 위치와 결합 발생 시간을 분석할 수 있다. 여기서, 신호 측정부(100)의 위치 정보는, 센서들이 배치된 위치에 대응되는 좌표벡터일 수 있다.
- [0067] 데이터 분석부(400)는 음향방출 신호의 전달 속도를 미지의 값으로 설정할 수 있다. 그리고, 이러한 전달 속도가, 진단대상물(10)의 표면 전체에서 일정하다는 속도 조건을 설정할 수 있다. 구체적으로, 데이터 분석부(400)는, 결합부(11)에서 발생한 음향방출 신호가, 진단대상물(10)의 표면을 따라, 각 센서들로 전달되는 속도가 일정하다는 속도 조건을 설정할 수 있다.
- [0068] 일 실시 예로, 이러한 속도 조건은 하기의 속도 계산식 (a) 및 (b), 수학식 (1)로 표현될 수 있다.

$$v_{i=1} = \frac{|\vec{(x-y_{i=1})}|}{t-t_{i=1}}, v_{j=2} = \frac{|\vec{(x-y_{j=2})}|}{t-t_{j=2}} \quad \dots(a)$$

$$\frac{|\vec{(x-y_i)}|}{t-t_i} = \frac{|\vec{(x-y_j)}|}{t-t_j} \quad \dots(1)$$

$$|\vec{(x-y_i)}| \cdot (t-t_j) - |\vec{(x-y_j)}| \cdot (t-t_i) = 0 \quad \dots(b)$$

상기 속도 계산식 (a) 및 (b), 수학식 (1)에서 사용된 기호는, 하기와 같이 정의된다.

$v_i : i$ 로 레이블링 된 센서에서 측정된 음향방출 신호의 전달 속도

$v_j : j$ 로 레이블링 된 센서에서 측정된 음향방출 신호의 전달 속도

$\vec{x}$  : 결함부 위치 벡터

$\vec{y_i}, \vec{y_j}$  : 각 센서들의 위치 벡터

$t$  : 결함부 발생 시간

$t_i, t_j$  : 센서들 각각에 음향방출 신호가 도달한 시간인 측정 시간으로 정의된다.

이때, 신호 측정부(100)가 N개의 센서를 구비한다고 가정하면, 상기 속도 계산식 (b)와 같은 식을 총  $\frac{N(N-1)}{2}$ 개 정의할 수 있다. 예를 들어, 3개의 센서를 구비하는 경우에는, 속도 계산식 (b)와 같은 식을 3개 정의할 수 있다.

데이터 분석부(400)는 이러한 복수개의 속도 계산식(b)를 이용하여, 상기 결함부(11)의 위치 및 결함부(11) 발생 시간을 산출할 수 있다. 구체적으로, 데이터 분석부(400)는 속도 계산식 (b)의 좌변의 제곱의 합을 비용 함수(Cost Function)로 정의할 수 있다. 그리고, 데이터 분석부(400)는, 이러한 비용 함수를 최소화(Minimization) 할 수 있다. 이때, 비용 함수는 하기 수학식 (2)로 정의될 수 있다.

$$F(\vec{x}, t) = \sum_{i \neq j} (|\vec{(x-y_i)}| \cdot (t-t_j) - |\vec{(x-y_j)}| \cdot (t-t_i))^2 \quad \dots(2)$$

그리고, 이러한 비용 함수의 최소화는, 하기 수학식 (3)으로 정의될 수 있다.

$$(\vec{x}, t) = \underset{(x, t)}{\operatorname{argMin}} F(\vec{x}, t) \quad \dots(3)$$

상기 수학식 (2) 및 (3)에 따라, 데이터 분석부(400)는, 속도 계산식 (b)의 값이 0에 가장 근접하는, 결함부(11)의 위치 및 결함부(11) 발생 시간을 산출할 수 있다. 즉, 데이터 분석부(400)는, 실제 결함부(11)와 가장 유사한, 최적의 결함부(11)의 위치 및 결함부(11) 발생 시간을 산출할 수 있다.

전술한 바와 같이, 상기 수학식 (1) 내지 (3)은, 진단대상물(10)의 표면 전체에서, 음향방출 신호의 전달 속도가 일정하다는 가정 하에 정의되었다. 그리고, 데이터 연산부(300)에서 측정 시간을 추출할 때, 계산 오차가 발생하지 않는다는 가정하에 정의되었다.

그러나, 실제 진단대상물(10)은, 진단대상물(10)을 이루는 재료의 비균질성(nonhomogeneous)으로 인해, 속도 편차가 발생할 수 있다. 그리고, 실제 음향방출 신호가 가지는 불규칙한 파형으로 인해, 데이터 연산부(300)에서 계산 오차가 발생할 수 있다.

- [0087] 도 4는 균질 재료와 비균질 재료에서 측정된 음향방출 신호의 파형을 각각 도시한 그래프이다.
- [0088] 도 4를 참조하면, 균질 재료에서 측정된 음향방출 신호(W1)와, 비균질 재료에서 측정된 음향방출 신호(W2)의 측정 시간이 상이함을 알 수 있다. 즉, 균질 재료와 비균질 재료에서의 음향방출 신호의 전달 속도는, 상이할 수 있다. 구체적으로, 재료가 비균질한 정도에 따라, 음향방출 신호의 전달 속도는 달라질 수 있다.
- [0089] 이러한 재료의 비균질한 정도는, 진단대상물(10)의 부위에 따라서도 상이할 수 있다. 이에 따라, 진단대상물(10)의 부위에 따라, 음향방출 신호의 전달 속도가 상이할 수 있다. 즉, 복수개의 센서들에서 측정된 음향방출 신호의 전달 속도는 상이할 수 있으며, 속도 편차를 포함할 수 있다.
- [0090] 이러한 속도 편차와는 별개로, 데이터 연산부(300)가 전달된 음향방출 신호의 측정 시간을 추출하는 과정에서, 계산 오차가 발생할 수 있다. 여기서, 계산 오차는, 실제로 음향방출 신호가 센서에 도달한 시간과, 데이터 연산부(300)가 추출한 측정 시간 간의 차이를 의미할 수 있다.
- [0091] 이러한 계산 오차는, 음향방출 신호의 불규칙한 파형으로 인해 발생할 수 있다. 구체적으로, 실제 음향방출 신호는, 도 3과 같이 이상적인 파형이 아닌, 불규칙한 파형을 가질 수 있다. 이러한 불규칙한 파형의 경우, 문턱값(TH)을 최초로 초과하는 시점( $t_{TH}$ ) 또는 최대진폭(PA)에 이르는 시점( $t_{PA}$ )이, 명확하게 구분되지 않을 수 있다. 이에 따라, 데이터 연산부(300)가 측정 시간을 추출하는 과정에서, 계산 오차가 발생할 수 있다.
- [0092] 따라서, 전달 속도가 일정하며, 계산 오차가 존재하지 않는다는 가정 하에 정의된 상기 수학식 (1) 내지 (3)의 경우, 그 산출 결과의 정확도가 상대적으로 낮을 수 있다.
- [0093] 이러한 정확도를 개선하기 위해, 본 발명의 다른 실시 예에 따른 데이터 분석부(400)는, 시간 편차를 더 고려할 수 있다. 여기서, 시간 편차는, 전술한 진단대상물(10)의 부위에 따른 속도 편차 및 데이터 연산부(300)의 계산 오차를 반영하는 추가 변수일 수 있다.
- [0094] 본 발명의 다른 실시 예에 따른 데이터 분석부(400)는, 시간 편차가 더 고려된 속도 조건을 설정할 수 있다. 이러한 속도 조건은, 하기의 속도계산식 (c) 및 (d), 수학식 (4)로 정의될 수 있다.

[0095] 
$$v_i = \frac{|\vec{x} - \vec{y}_i|}{t - (t_i - \delta t_i)}, v_j = \frac{|\vec{x} - \vec{y}_j|}{t - (t_j - \delta t_j)} \dots(c)$$

[0096] 
$$\frac{|\vec{x} - \vec{y}_i|}{t - (t_i - \delta t_i)} = \frac{|\vec{x} - \vec{y}_j|}{t - (t_j - \delta t_j)} \dots(4)$$

[0097] 
$$|\vec{x} - \vec{y}_i| \cdot [t - (t_j - \delta t_j)] - |\vec{x} - \vec{y}_j| \cdot [t - (t_i - \delta t_i)] = 0 \dots(d)$$

[0098] 상기 속도 계산식 (c) 및 (d), 수학식 (4)에서 사용된 기호는, 하기와 같이 정의된다.

[0099]  $\delta t_i, \delta t_j$  : 센서들 각각에서 발생하는 시간 편차

[0100] 데이터 분석부(400)는 이러한 속도 계산식(d)를 이용하여, 상기 결합부(11)의 위치 및 결합부(11) 발생 시간을 산출할 수 있다. 구체적으로, 데이터 분석부(400)는 속도 계산식 (d)의 좌변의 제곱의 합을 비용 함수(Cost Function)로 정의할 수 있다. 그리고, 데이터 분석부(400)는, 이러한 비용 함수를 최소화(Minimization) 할 수 있다. 이때, 비용 함수는 하기 수학식 (5)로 정의될 수 있다.

[0101] 
$$G(\vec{x}, t, \delta t) = \sum_{i \neq j} (|\vec{x} - \vec{y}_i| \cdot [t - (t_j - \delta t_j)] - |\vec{x} - \vec{y}_j| \cdot [t - (t_i - \delta t_i)])^2 \dots(5)$$

[0102] 이러한 수학식 (5)는, 전술한 수학식 (2)에 비해 시간 편차 변수를 더 포함하므로, 수학식 (5)를 비용함수로 갖는 최소화 문제는 결정미달문제(underdetermined problem)가 된다.

[0103] 결정미달문제(underdetermined problem)가 적합한 근(root)을 갖도록 하기 위해, 데이터 분석부(400)는 정칙화

(Regularization) 기법을 적용할 수 있다. 구체적으로, 데이터 분석부(400)는, 시간 편차 변수를 더 포함하는 비용 함수를, 정칙화 기법을 사용하여 최소화할 수 있다. 여기서, 정칙화 기법은, 특정 변수가 결과값에 미치는 영향을 조절함으로써, 최소화 문제가 적합한 근을 갖도록 하는 방법일 수 있다.

[0104] 이러한 정칙화 기법을 사용한 최소화는, 하기 수학적 식 (6)으로 정의될 수 있다.

$$(\bar{x}, t, \delta t) = \underset{(x, t, \delta)}{\operatorname{argMin}} G(\bar{x}, t, \delta t) + \lambda |\delta t| \quad \dots(6)$$

[0106] 상기 수학적 식 (6)에서 사용된 기호는, 하기와 같이 정의될 수 있다.

[0107]  $\lambda$  : 가중치

[0108] 이때, 가중치는, 진단대상물의 특성에 따라 사용자에게 의해 설정되는 값일 수 있다. 예를 들어, 가중치를 상대적으로 크게 설정하는 경우에는, 시간 편차가 분석 결과에 미치는 영향이 상대적으로 커질 수 있다. 반대로, 가중치를 상대적으로 작게 설정하는 경우에는, 시간 편차가 분석 결과에 미치는 상대적으로 작아질 수 있다.

[0109] 상기 수학적 식 (5) 및 (6)에 따라, 데이터 분석부(400)는, 속도 계산식 (d)의 값이 0에 가장 근접할 수 있는, 결함부(11)의 위치 및 결함부(11) 발생 시간을 산출할 수 있다. 즉, 데이터 분석부(400)는, 실제 결함부(11)와 가장 유사한, 최적의 결함부(11)의 위치 및 결함부(11) 발생 시간을 산출할 수 있다.

[0110] 이러한 방법으로 산출된 결함부(11)의 위치 및 결함부(11)의 발생 시간은, 시간 편차를 더 고려함으로써, 전술한 수학적 식 (2) 및 (3)을 이용한 산출 결과보다 정확도가 개선된 값을 가질 수 있다.

[0111] 데이터 분석부(400)는 결함부(11)의 성장 방향 및 결함부(11)의 성장 속도를 분석할 수 있다. 구체적으로, 데이터 분석부(400)는, 결함부(11)의 위치 정보 및 결함부(11)의 발생 시간 정보에 기초하여, 결함부(11)의 성장 방향 및 결함부(11)의 성장 속도를 분석할 수 있다. 보다 구체적으로, 데이터 분석부(400)는, 결함부(11)의 발생 시간에 대응되는 결함부(11)의 위치를 연속적으로 표시할 수 있다. 이에 기초하여, 데이터 분석부(400)는 진단대상물(10)의 파괴가 진행되는 방향 및 파괴가 진행되는 속도를 분석할 수 있다.

[0112] 데이터 분석부(400)는, 이러한 결함부(11)의 성장 방향 및 성장 속도 정보에 기초하여, 결함부(11)의 예상 위치 및 결함부(11)의 예상 발생 시간을 분석할 수 있다. 이에 따라, 사용자는 결함부(11)의 발생에 보다 조기에 대응할 수 있으며, 추가적인 결함부(11)의 발생을 방지할 수 있는 대응시간을 확보할 수 있다.

[0113] 데이터 분석부(400)는, 분석한 결함부(11)의 위치를 3차원으로 표시할 수 있다. 구체적으로, 데이터 분석부(400)는, 결함부(11)의 위치를 3차원 좌표벡터로 표시할 수 있다. 전술한 바와 같이, 데이터 분석부(400)는, 진단대상물(10)의 표면을 2차원의 평면으로 가정한 상태에서, 결함부(11)의 위치를 분석할 수 있다. 이에 따라, 결함부(11)의 위치는, 2차원 좌표벡터로 산출될 수 있다. 데이터 분석부(400)는, 이러한 2차원 좌표벡터를 3차원 좌표벡터로 변환할 수 있다.

[0114] 이때, 데이터 분석부(400)가 좌표벡터를 변환하는 방식은, 회전행렬(Rotation matrix)을 적용하는 방식일 수 있다. 이러한 회전행렬은, 하기의 수학적 식 (7)로 정의될 수 있다.

$$R = (XT \cdot X)^{-1}(XT^T \cdot XT) \quad \dots(7)$$

[0116] 상기 수학적 식 (7)에서 사용된 기호는, 하기와 같이 정의될 수 있다.

[0117] R : 좌표 변환 회전행렬

[0118] X : 결함부의 2차원 좌표벡터 행렬

[0119] XT : 결함부의 3차원 좌표벡터 행렬

[0120] 이러한 방식으로, 데이터 분석부(400)는, 결함부(11)의 위치를 2차원 좌표벡터에서 3차원 좌표벡터로 변환할 수 있다. 이에 따라, 산출된 결함부(11)의 위치를 3차원 상에 표시할 수 있다. 따라서, 사용자는 보다 용이하게 결함부(11)의 위치를 확인할 수 있다.

[0121] 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법의 과정을 도시한 흐름도이다.

[0122] 도 5를 참조하면, 본 발명의 실시 예들에 따른 음향방출 신호를 이용한 결함 위치 진단 방법은, 다음과 같이 이

루어질 수 있다.

- [0123] 먼저, S100 단계에서, 신호 측정부(100)가 진단대상물(10)의 결합부(11)에서 발생한 음향방출 신호를 측정할 수 있다.
- [0124] 그리고, S200 단계에서, 신호 전처리부(200)가 측정된 음향방출 신호를 필터링 및 증폭할 수 있다.
- [0125] 그리고, S300 단계에서, 데이터 연산부(300)가 음향방출 신호가 센서에 도달한 시간인, 측정 시간을 추출할 수 있다.
- [0126] 그리고, S410 단계에서, 데이터 연산부(300)가 음향방출 신호의 측정 시간 및 신호 측정부(100)의 위치 정보를 기초로 하여, 결합부(11)의 위치 및 결합부(11) 발생 시간을 분석할 수 있다.
- [0127] 그리고, S420 단계에서, 데이터 연산부(300)가 결합부(11)의 위치 정보 및 결합부(11) 발생 시간을 기초로 하여, 결합부(11)의 성장 방향 및 성장 속도를 분석할 수 있다.
- [0128] 통상적인 결합 위치 진단 방법은, 음향방출 신호의 전달 속도를 일정 값으로 특정하여 이루어진다. 구체적으로, 통상적인 결합 위치 진단 방법에서는, 진단대상물(10)의 표면에서 음향방출 신호가 전달되는 속도가 일정하다고 가정하고, 이러한 평균 속도의 값을 미리 특정하여 입력한 뒤, 분석이 이루어진다.
- [0129] 그러나, 실제 음향방출 신호의 전달 속도를 정확하게 예측하기는 매우 어려우며, 이러한 전달 속도는 진단대상물(10)의 부위에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 이러한 전달 속도의 값을 특정한 상태에서 분석이 이루어지는 경우, 그 결과의 정확성이 상대적으로 낮아질 수 있다.
- [0130] 반면에, 본 발명의 실시 예들에 따른 음향방출 신호를 이용한 결합 위치 진단 방법은, 음향방출 신호의 전달 속도를 특정하지 않고, 미지의 값으로 설정하여 이루어진다. 이에 따라, 전달 속도 값의 예측 실패에 따른 오류 발생을 방지할 수 있다.
- [0131] 또한, 진단대상물(10)의 부위에 따른 속도 편차 및 데이터 연산부(300)의 계산 오차를 더 고려하는 시간 편차 변수를 적용함으로써, 분석 결과의 정확성을 보다 향상시킬 수 있다.
- [0132] 그리고, 데이터 분석부(400)가 결합부(11)의 예상 위치 및 결합부(11)의 예상 발생 시간을 분석함으로써, 사용자가 결합부(11)의 발생에 보다 조기에 대응할 수 있으며, 추가적인 결합부(11)의 발생을 방지할 수 있는 대응 시간을 확보할 수 있다.
- [0133] 또한, 데이터 분석부(400)가 결합부(11)의 위치를 2차원에서 3차원으로 변환함으로써, 사용자가 결합부(11)의 위치를 보다 용이하게 확인할 수 있다.
- [0134] 진술한 본 발명의 실시 예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 구성요소를 통하여 실행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 기록매체는 프로그램 명령어, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명의 실시 예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것이거나, 컴퓨터 소프트웨어 분야의 통상의 기술자에게 공지되어 사용가능한 것일 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 기록매체는, 하드디스크, 플로피 디스크, 자기테이프 등의 자기기록 매체, CD-ROM, DVD 등의 광기록 매체, 플롭티컬디스크 등의 자기-광 매체, ROM, RAM, 플래시 메모리 등과 같이, 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 구성된 하드웨어를 포함한다. 프로그램 명령은, 컴파일러에 의해 만들어지는 기계어 코드, 인터프리터를 사용하여 컴퓨터에서 실행될 수 있는 고급언어 코드를 포함한다. 하드웨어는 본 발명에 따른 방법을 처리하기 위하여 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있고, 그 역도 마찬가지이다.
- [0135] 본 발명의 실시 예에 따른 방법은 프로그램 명령 형태로 전자장치에서 실행될 수 있다. 전자장치는 스마트폰이나 스마트패드 등의 휴대용 통신 장치, 컴퓨터 장치, 휴대용 멀티미디어 장치, 휴대용 의료 기기, 카메라, 웨어러블 장치, 가전 장치를 포함한다.
- [0136] 본 발명의 실시 예에 따른 방법은 컴퓨터 프로그램 제품에 포함되어 제공될 수 있다. 컴퓨터 프로그램 제품은 상품으로서 판매자 및 구매자 간에 거래될 수 있다. 컴퓨터 프로그램 제품은 기기로 읽을 수 있는 기록매체의 형태로, 또는 어플리케이션 스토어를 통해 온라인으로 배포될 수 있다. 온라인 배포의 경우에, 컴퓨터 프로그램 제품의 적어도 일부는 제조사의 서버, 어플리케이션 스토어의 서버, 또는 중계 서버의 메모리와 같은 저장 매체에 적어도 일시 저장되거나, 임시적으로 생성될 수 있다.



[0137] 본 발명의 실시 예에 따른 구성요소, 예컨대 모듈 또는 프로그램 각각은 단수 또는 복수의 서브 구성요소로 구성될 수 있으며, 이러한 서브 구성요소들 중 일부 서브 구성요소가 생략되거나, 또는 다른 서브 구성요소가 더 포함될 수 있다. 일부 구성요소들(모듈 또는 프로그램)은 하나의 개체로 통합되어, 통합되기 이전의 각각의 해당 구성요소에 의해 수행되는 기능을 동일 또는 유사하게 수행할 수 있다. 본 발명의 실시 예에 따른 모듈, 프로그램 또는 다른 구성요소에 의해 수행되는 동작들은 순차적, 병렬적, 반복적 또는 휴리스틱하게 실행되거나, 적어도 일부 동작이 다른 순서로 실행되거나, 생략되거나, 또는 다른 동작이 추가될 수 있다.

[0138] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

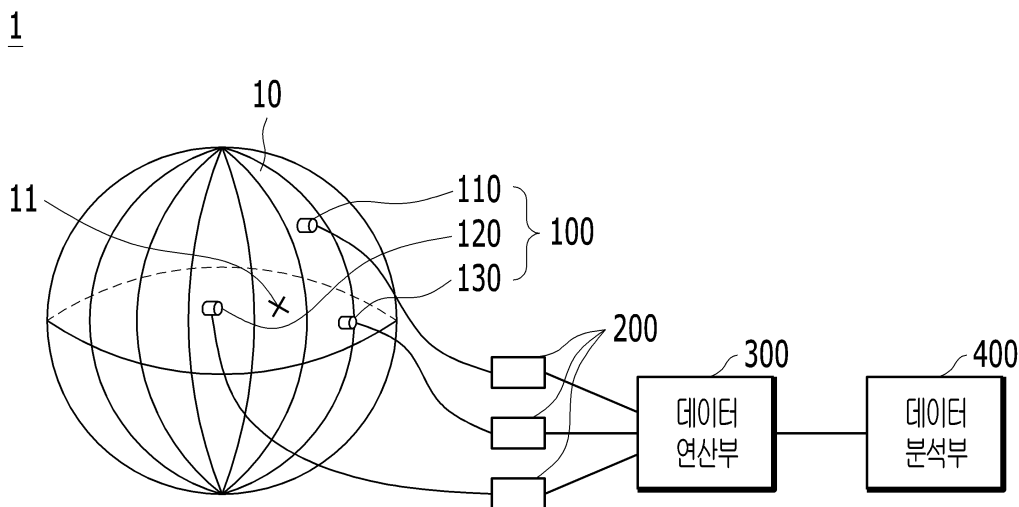
[0139] 본 발명의 범위는 후술하는 청구범위에 의하여 나타내어지며, 청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

## 부호의 설명

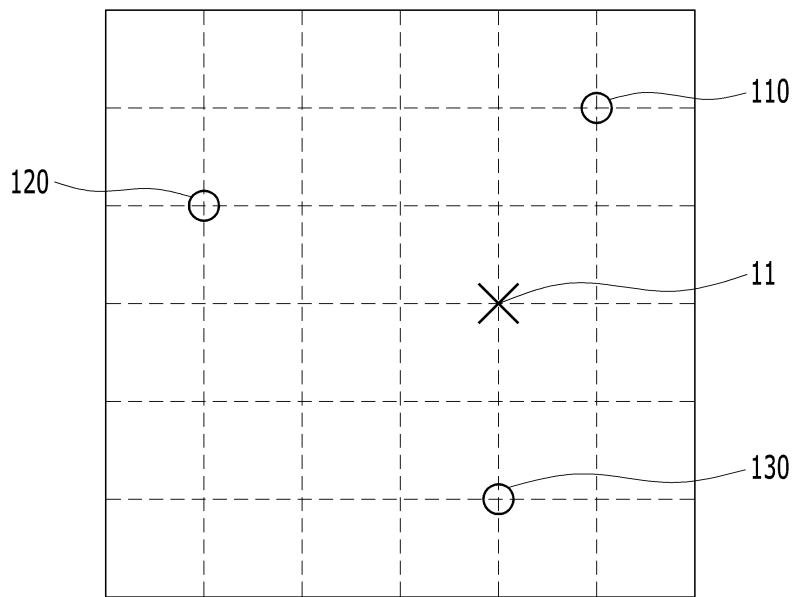
- [0141]
- 1: 비파괴 검사 장치
  - 10: 진단대상물
  - 11: 결합부
  - 100: 신호 측정부
  - 200: 신호 전처리부
  - 300: 데이터 연산부
  - 400: 데이터 분석부

## 도면

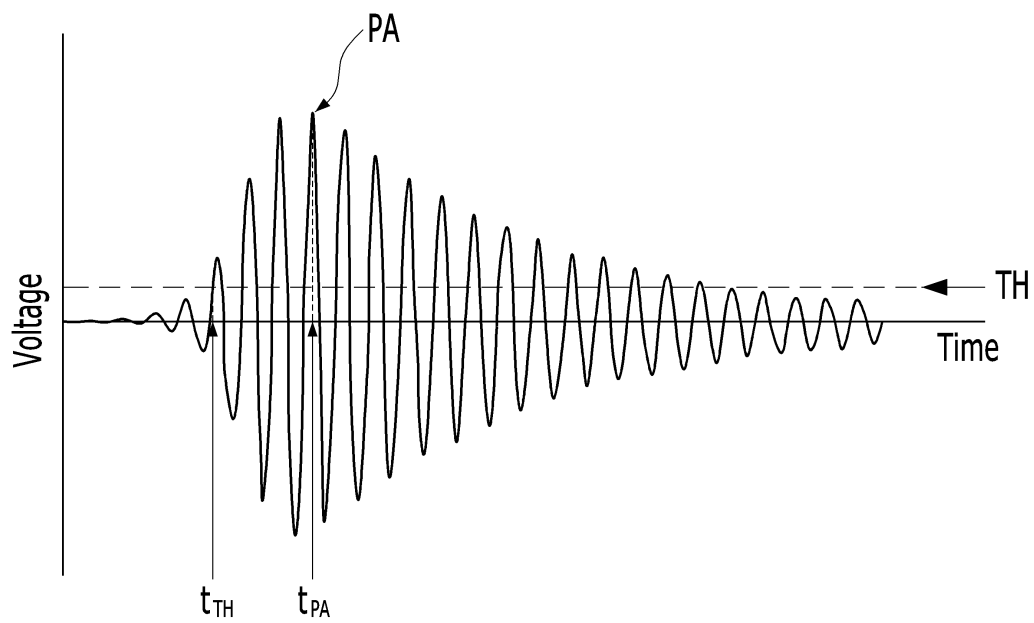
### 도면1



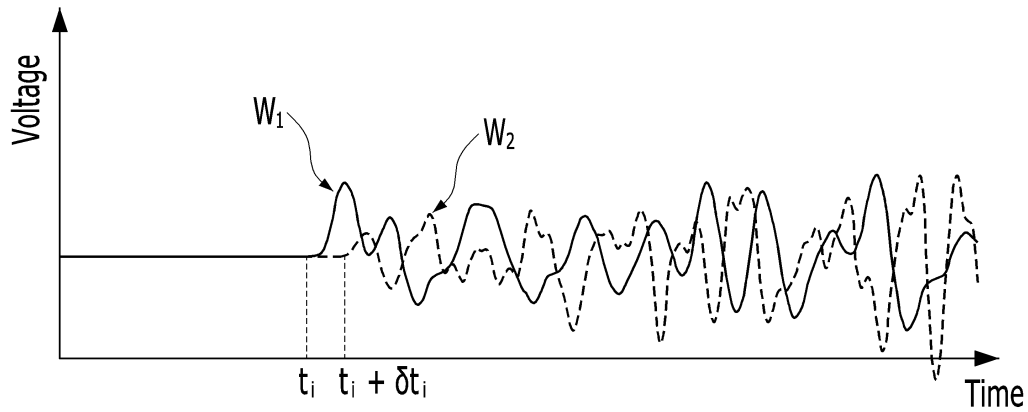
도면2



도면3



도면4



도면5

