



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0069603
(43) 공개일자 2018년06월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 8/00 (2006.01) A61B 5/00 (2006.01)
A61B 8/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 8/4494 (2013.01)
A61B 5/7225 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0171934
(22) 출원일자 2016년12월15일
심사청구일자 2016년12월15일

(71) 출원인
한양대학교 산학협력단
서울특별시 성동구 왕십리로 222(행당동, 한양대
학교내)
(72) 발명자
장경영
서울특별시 성동구 고산자로 160, 106동 703호
서호건
광주광역시 광산구 사암로118번길 11-13
편도경
충청남도 서산시 호수공원11로 11, 107동 1504호
(74) 대리인
홍성욱, 심경식

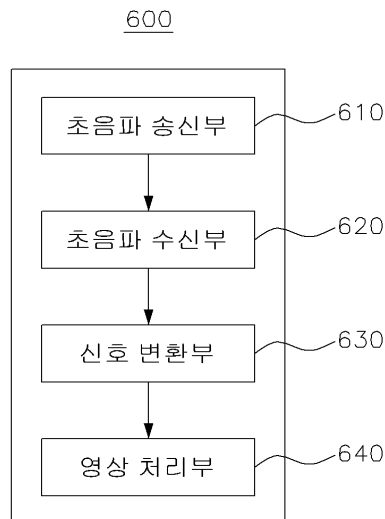
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치는 피검사체 내부로 톤버스트 파형의 초음파 신호를 송신하는 초음파 송신부, 상기 피검사체 내부에서 반사된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 수신하는 초음파 수신부, 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 주파수 성분별로 분리하여 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환하는 신호 변환부, 및 상기 단일 펄스 파형의 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 이용하여 상기 피검사체 내부의 영상을 생성하는 영상 처리부를 포함한다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

A61B 8/4477 (2013.01)

A61B 8/5207 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013M2A2A9043241

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 (재)한국연구재단

연구사업명 원자력연구개발사업 / 방사선기술개발사업 / 첨단 비파괴검사기술개발사업

연구과제명 산업구조재의 잠닉손상 정밀진단을 위한 선형/비선형 하이브리드 초음파 기술 (UNIS & UNET) 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한양대학교 산학협력단

연구기간 2015.07.01 ~ 2016.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

피검사체 내부로 톤버스트 파형의 초음파 신호를 송신하는 초음파 송신부;

상기 피검사체 내부에서 반사된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 수신하는 초음파 수신부;

상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 주파수 성분별로 분리하여 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환하는 신호 변환부; 및

상기 단일 펄스 파형의 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 이용하여 상기 피검사체 내부의 영상을 생성하는 영상 처리부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 신호 변환부는

상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 기본 주파수 성분 및 고조파 성분으로 분리하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 신호 변환부는 대역 통과 필터를 이용하며,

제1 대역 통과 필터를 이용하여 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 상기 기본 주파수 성분을 분리하는 기본 주파수 파형 추출부; 및

상기 제1 대역 통과 필터와 다른 대역을 가지는 제2 대역 통과 필터를 이용하여 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 상기 고조파 성분을 분리하는 고조파 파형 추출부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 신호 변환부는

상기 기본 주파수 성분 및 상기 고조파 성분을 절대값 처리하여 각 주파수 성분에 대한 양의 값을 획득하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 신호 변환부는

상기 절대값 처리된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분에 덮개 함수를 적용하여 상기 각 주파수 성분의 극점을 단일화 하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 신호 변환부는

상기 덮개 함수가 적용된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 미분하여 상기 각 주파수 성분에 대한 초음파 신호가 시작되는 시점에서의 극점을 추출함으로써, 상기 각 주파수 성분이 단일 펄스 파형을 가지도록 하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 신호 변환부는

상기 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분의 진폭 크기를 각 주파수 성분별 크기에 따라 보정하고, 상기 각 주파수 성분에 대한 음의 값을 제거하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 신호 변환부는

상기 절대값 처리된 각 주파수 성분, 상기 덮개 함수가 적용된 각 주파수 성분 및 상기 미분된 각 주파수 성분의 진폭 크기와 동일하도록, 상기 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분의 진폭 크기를 보정하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 영상 처리부는

상기 보정된 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 이용하여, 상기 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 나타내는 비선형 파라미터를 추출하는 비선형 파라미터 추출부; 및

상기 추출된 비선형 파라미터를 이용하여 상기 피검사체 내부의 영상 데이터를 생성하는 영상 데이터 생성부를 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 비선형 파라미터 추출부는

상기 기본 주파수 성분 및 상기 고조파 성분을 하기의 수학식 1에 기초하여 상기 비선형 파라미터를 추출하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치.

[수학식 1]

$$\beta = \frac{A_2}{A_1^2}$$

여기서, β 는 상기 비선형 파라미터, A_2 는 상기 고조파 성분의 크기, A_1 은 상기 기본 주파수 성분의 크기임.

청구항 11

피검사체 내부로 톤버스트 파형의 초음파 신호를 송신하는 단계;

상기 피검사체 내부에서 반사된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 수신하는 단계;

상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 주파수 성분별로 분리하여 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환하는 단계; 및

상기 단일 펄스 파형의 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 이용하여 상기 피검사체 내부의 영상을 생성하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 변환하는 단계는 대역 통과 필터를 이용하며,

제1 대역 통과 필터를 이용하여 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 기본 주파수 성분을 분리하는 단계; 및

상기 제1 대역 통과 필터와 다른 대역을 가지는 제2 대역 통과 필터를 이용하여 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 고조파 성분을 분리하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 변환하는 단계는

상기 기본 주파수 성분 및 상기 고조파 성분을 절대값 처리하여 각 주파수 성분에 대한 양의 값을 획득하는 단계;

상기 절대값 처리된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분에 뒀개 함수를 적용하여 상기 각 주파수 성분의 극점을 단일화 하는 단계;

상기 뒀개 함수가 적용된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 미분하여 단일 펄스 파형을 가지도록 하는 단계; 및

상기 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분의 진폭 크기를 각 주파수 성분별 크기에 따라 보정하고, 상기 각 주파수 성분에 대한 음의 값을 제거하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 생성하는 단계는

상기 보정된 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 이용하여, 상기 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 나타내는 비선형 파라미터를 추출하는 단계; 및

상기 추출된 비선형 파라미터를 이용하여 상기 피검사체 내부의 영상 데이터를 생성하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 추출하는 단계는

상기 기본 주파수 성분 및 상기 고조파 성분을 하기의 수학적 식 1에 기초하여 상기 비선형 파라미터를 추출하는 것을 특징으로 하는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 방법.

[수학적 식 1]

$$\beta = \frac{A_2}{A_1^2}$$

여기서, β 는 상기 비선형 파라미터, A_2 는 상기 고조파 성분의 크기, A_1 은 상기 기본 주파수 성분의 크기임.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치 및 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 초음파의 비선형 형성에 기초하여 단면 균열 및 극미세 손상부를 검출하고 고해상도 및 고정확도의 영상화를 수행하기 위한 기술이다.

배경 기술

[0002] 초음파의 선형적 특성을 활용하여 피검사체 내부에 존재하는 결함 판단을 위한 영상화 기술로서, 주로 B-scan 또는 합성개구기법(SAT: Synthetic Aperture Technique)이 활용된다. 이러한 영상화 기법은 초음파 펄스 반사 신호의 시간영역 정보를 공간영역으로 변환한 후, 진폭의 차이를 색상을 통해 표현함으로써 결함을 가시화한다. 이때, 분석의 대상이 되는 초음파 진폭의 변화는 초음파의 선형적 특성에 해당한다.

[0003] B-scan의 경우에는 수 mm 수준의 열린 결함 또는 거시적 손상에 대한 반사신호의 진폭 정보를 통해 영상화가 가능하며, 합성개구기법(SAT)의 경우에는 수 μm 수준의 결함으로부터 산란되어 오는 작은 진폭들의 신호까지 다중 중첩하여 결함을 영상함으로써 고해상도 및 고정확도 결함 탐상을 가능케 한다. 그러나, 이러한 합성개구기법을 적용하더라도 수 nm 수준의 단면 균열이나 극미세 손상의 경우에 반사신호의 진폭이 미약하여 노이즈 성분과의 구분이 난해하기 때문에 여전히 추정되는 결함크기가 실제보다 과소평가될 수 있는 개연성이 높다.

[0004] 음향비선형성을 측정하면 진폭 정보 분석만으로는 탐상이 어려운 단면 균열이나 극미세 손상을 진단할 수 있다. 그러한 음향비선형을 측정하기 위해서는 펄스가 아닌 톤버스트 파형의 초음파를 발진해야 하며, 반사신호의 주파수 분석을 통한 기본 주파수 성분 및 고조파 성분의 추출이 필요하다. 이렇게 얻어진 기본 주파수 성분과 고조파 성분 간의 관계식을 통해 음향비선형 파라미터 산출할 수 있다. 음향비선형 파라미터는 기본 주파수 성분의 크기에 대한 상대적인 고조파 성분의 크기에 비례하는 특성을 나타내는데, 단면 균열이나 극미세 손상부에서는 접촉음향비선형성(CAN: Contact Acoustic Nonlinearity) 효과에 의해 고조파가 발생이 때문에 음향비선형 파라미터가 크게 측정되는 반면, 균열이 없는 검사영역이나 열린 결함 또는 거시적 손상부에서는 고조파의 발생이 없으므로 음향비선형 파라미터가 상대적으로 매우 작거나 노이즈와 구분하기 어려운 수준으로 측정된다.

[0005] 관련 선행기술로는 대한민국 공개특허공보 제10-2007-0027644호(발명의 명칭: 상호변조 곱 신호를 사용한 비선

형 초음파 진단 영상형성 시스템, 공개일자: 2007년 03월 09일)가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 일 실시예는 단일 펄스 파형으로 변환된 초음파 신호의 비선형 파라미터를 합성개구 영상화 기법에 적용함으로써, 탐지가 어려운 단힌 균열 및 극미세 손상부를 탐지하고 고해상도 및 고정확도의 영상화를 수행하는 장치와 방법을 제공한다.

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제(들)로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제(들)은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치는 피검사체 내부로 톤버스트 파형의 초음파 신호를 송신하는 초음파 송신부, 상기 피검사체 내부에서 반사된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 수신하는 초음파 수신부, 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 주파수 성분별로 분리하여 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환하는 신호 변환부, 및 상기 단일 펄스 파형의 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 이용하여 상기 피검사체 내부의 영상을 생성하는 영상 처리부를 포함한다.

[0010] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 신호 변환부는 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 기본 주파수 성분 및 고조파 성분으로 분리할 수 있다.

[0011] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 신호 변환부는 대역 통과 필터를 이용하여, 제1 대역 통과 필터를 이용하여 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 상기 기본 주파수 성분을 분리하는 기본 주파수 파형 추출부, 및 상기 제1 대역 통과 필터와 다른 대역을 가지는 제2 대역 통과 필터를 이용하여 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 상기 고조파 성분을 분리하는 고조파 파형 추출부를 포함할 수 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 신호 변환부는 상기 기본 주파수 성분 및 상기 고조파 성분을 절대값 처리하여 각 주파수 성분에 대한 양의 값을 획득할 수 있다.

[0013] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 신호 변환부는 상기 절대값 처리된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분에 덧개 함수를 적용하여 상기 각 주파수 성분의 극점을 단일화할 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 신호 변환부는 상기 덧개 함수가 적용된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 미분하여 상기 각 주파수 성분에 대한 초음파 신호가 시작되는 시점에서의 극점을 추출함으로써, 상기 각 주파수 성분이 단일 펄스 파형을 가지도록 할 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 신호 변환부는 상기 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분의 진폭 크기를 각 주파수 성분별 크기에 따라 보정하고, 상기 각 주파수 성분에 대한 음의 값을 제거할 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 신호 변환부는 상기 절대값 처리된 각 주파수 성분, 상기 덧개 함수가 적용된 각 주파수 성분 및 상기 미분된 각 주파수 성분의 진폭 크기와 동일하도록, 상기 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분의 진폭 크기를 보정할 수 있다.

[0017] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 영상 처리부는 상기 보정된 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 이용하여, 상기 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 나타내는 비선형 파라미터를 추출하는 비선형 파라미터 추출부, 및 상기 추출된 비선형 파라미터를 이용하여 상기 피검사체 내부의 영상 데이터를 생성하는 영상 데이터 생성부를 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 비선형 파라미터 추출부는 상기 기본 주파수 성분 및 상기 고조파 성분을 하기의 수학적 식 1에 기초하여 상기 비선형 파라미터를 추출할 수 있다.

[0019] [수학식 1]

$$\beta = \frac{A_2}{A_1^2}$$

[0020]

[0021] 여기서, β 는 상기 비선형 파라미터, A_2 는 상기 고조파 성분의 크기, A_1 은 상기 기본 주파수 성분의 크기임.

[0022] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 방법은 피검사체 내부로 톤버스트 파형의 초음파 신호를 송신하는 단계, 상기 피검사체 내부에서 반사된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 수신하는 단계, 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 주파수 성분별로 분리하여 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환하는 단계, 및 상기 단일 펄스 파형의 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 이용하여 상기 피검사체 내부의 영상을 생성하는 단계를 포함한다.

[0023] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 변환하는 단계는 대역 통과 필터를 이용하며, 제1 대역 통과 필터를 이용하여 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 기본 주파수 성분을 분리하는 단계, 및 상기 제1 대역 통과 필터와 다른 대역을 가지는 제2 대역 통과 필터를 이용하여 상기 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 고조파 성분을 분리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 변환하는 단계는 상기 기본 주파수 성분 및 상기 고조파 성분을 절대값 처리하여 각 주파수 성분에 대한 양의 값을 획득하는 단계, 상기 절대값 처리된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분에 덧셈 함수를 적용하여 상기 각 주파수 성분의 극점을 단일화 하는 단계, 상기 덧셈 함수가 적용된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 미분하여 단일 펄스 파형을 가지도록 하는 단계, 및 상기 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분의 진폭 크기를 각 주파수 성분별 크기에 따라 보정하고, 상기 각 주파수 성분에 대한 음의 값을 제거하는 단계를 포함할 수 있다.

[0025] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 생성하는 단계는 상기 보정된 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 이용하여, 상기 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 나타내는 비선형 파라미터를 추출하는 단계, 및 상기 추출된 비선형 파라미터를 이용하여 상기 피검사체 내부의 영상 데이터를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0026] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 추출하는 단계는 상기 기본 주파수 성분 및 상기 고조파 성분을 하기의 수학식 1에 기초하여 상기 비선형 파라미터를 추출할 수 있다.

[0027] [수학식 1]

$$\beta = \frac{A_2}{A_1^2}$$

[0028]

[0029] 여기서, β 는 상기 비선형 파라미터, A_2 는 상기 고조파 성분의 크기, A_1 은 상기 기본 주파수 성분의 크기임.

[0031] 기타 실시예들의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 첨부 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0032] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 단일 펄스 파형으로 변환된 초음파 신호의 비선형 파라미터를 합성개구 영상화 기법에 적용함으로써, 탐지가 어려운 단단 균열 및 극미세 손상부를 탐지하고 고해상도 및 고정확도의 영상화를 수행할 수 있다.

[0033] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 산업구조물의 품질 관리 및 안전 관리를 위한 재료의 강도 변화 및 열화 여부를 현장에서 정밀하게 진단함으로써 산업구조물 및 첨단부품소재의 잠재적 파손위험성을 사전에 진단하여 효과적인 구조물 및 소재의 건전성 유지 관리를 실현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 배열 탐촉자를 통해 초음파를 송수신하는 구성을 도시한 도면이다.

도 2a는 단일 펄스 파형의 초음파 반사신호를 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 2b는 단일 펄스 파형의 초음파 반사신호가 중첩된 모습을 도시한 도면이다.

도 2c는 단일 펄스 파형의 초음파 반사신호를 이용한 결함부의 영상 결과를 도시한 도면이다.

도 3a는 톤버스트 파형의 초음파 반사신호를 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 3b는 톤버스트 파형의 초음파 반사신호가 중첩된 모습을 도시한 도면이다.

도 3c는 톤버스트 파형의 초음파 반사신호를 이용한 결함부의 영상 결과를 도시한 도면이다.

도 4a 및 도 4b는 접촉음향비선형성 효과에 따른 열린 결함부 및 닫힌 결함부에서의 고조파 성분의 생성 과정을 도시한 도면이다.

도 5는 열린 결함부 및 닫힌 결함부에서의 기본 주파수 성분과 고조파 성분의 반사신호로부터 산출된 음향비선형 파라미터의 변화를 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 구성을 도시한 블록도이다.

도 7은 도 6의 신호 변환부의 상세 구성을 도시한 도면이다.

도 7a는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 피검사체 내부에서 반사된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 도시한 도면이다.

도 7b는 도 7a의 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 분리된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 도시한 도면이다.

도 7c 내지 도 7f는 분리된 각 주파수 성분을 단일 펄스화 시키는 과정을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 8은 도 6의 영상 처리부의 상세 구성을 도시한 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 톤버스트 파형의 초음파 신호를 주파수 성분별로 분리하는 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 주파수 성분별로 분리된 초음파 신호를 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환하는 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.

도 11a는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 닫힌 접촉계면에 음향비선형성 특성을 이용한 고해상도 및 고정확도의 영상화를 실험으로 검증하기 위해 구성한 실험 장치를 도시한 도면이다.

도 11b는 실험에 사용되는 시편의 형상을 도시한 도면이다.

도 12는 접촉 압력에 따른 시편 간 접촉계면 특성의 변화를 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 13a 내지 도 13c는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 선형 특성의 초음파를 이용한 영상화 기법(B-scan) 및 비선형 특성의 초음파를 이용한 영상화 기법(SAIAN)이 각각 적용된 접촉계면 영상화 결과를 비교하기 위해 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 본 발명의 이점 및/또는 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.

[0037] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0038] 본 발명의 일 실시예를 설명하기에 앞서, 도 1, 도 2a 내지 도 2c 및 도 3a 내지 도 3c를 참조하여 일반적인 합성개구 영상화 기법에 관하여 설명하고, 도 4a 및 도 4b를 참조하여 일반적인 음향비선형성 측정기법에 관하여 설명하기로 한다. 참고로, 도 1은 배열 탐촉자를 통해 초음파를 송수신하는 구성을 도시한 도면이고, 도 2a는 단일 펄스 파형의 초음파 반사신호를 설명하기 위해 도시한 도면이고, 도 2b는 단일 펄스 파형의 초음파 반사신호가 중첩된 모습을 도시한 도면이고, 도 2c는 단일 펄스 파형의 초음파 반사신호를 이용한 결함부의 영상 결과를 도시한 도면이다. 도 3a는 톤버스트 파형의 초음파 반사신호를 설명하기 위해 도시한 도면이고, 도 3b는 톤버스트 파형의 초음파 반사신호가 중첩된 모습을 도시한 도면이고, 도 3c는 톤버스트 파형의 초음파 반사신호를 이용한 결함부의 영상 결과를 도시한 도면이다. 도 4a 및 도 4b는 접촉음향비선형성 효과에 따른 열린 결함부 및 닫힌 결함부에서의 고조파 성분의 생성 과정을 도시한 도면이다.

[0039] 합성개구 영상화 기법은 도 1에서와 같은 실험 구성을 통해, 송신-수신 조합에 따라 획득된 신호를 하기 수학적 2를 통해 중첩시킨 시간 영역 정보를 공간 영역 정보로 변환하여 영상화한다.

[0040] [수학적식 2]

$$I(x,z) = \left\| \sum_{Tx} \sum_{Rx} A_{Tx,Rx} \left(\frac{d_1(x,z)}{v} + \frac{d_2(x,z)}{v} \right) \right\|$$

[0041] 여기서, $I(x,z)$ 는 결함위치 x,z 에서의 중첩된 신호의 진폭이고, $A_{Tx,Rx}$ 는 시간 t 에서의 T_x 를 통해 송신된 초음파가 R_x 를 통해 수신된 신호의 진폭이고, d_1, d_2 는 결함위치에 대한 초음파의 전파 거리이고, v 는 음속이다.

[0043] 이때 발진한 신호의 파형에 따라서 동일한 결함에 대한 영상화의 해상도와 정확도가 달라질 수 있다.

[0044] 단일 펄스 파형의 초음파로 발진할 경우, 결함부 반사신호는 도 2a에서와 같이 단일 펄스 파형이 될 수 있다. 이때, 여러 지점에서 수신된 반사신호를 공간 영역에서 중첩하면, 도 2b에서와 같이 결함 위치에서 신호의 누적 효과가 나타나고 이를 영상화하면 도 2c에서와 같이 결함이 가시화 될 수 있다. 이러한 펄스 파형의 신호는 초음파의 선형적 특성에 해당하는 전파시간 및 진폭 정보를 활용하기에 적절하지만, 주파수 특성을 분석하기에 용이하지 않아서 초음파의 비선형적 특성을 측정하기에 적합하지 않다.

[0045] 한편, 톤버스트 파형의 초음파로 발진할 경우, 결함부 반사신호는 도 3a에서와 같이 톤버스트 파형이 될 수 있다. 이를 중첩하면 도 3b에서와 같이 결함 위치 부근에서 신호의 누적효과가 나타나고, 이를 영상화하면 도 3c에서와 같이 결함이 가시화 될 수 있다.

[0046] 파형에 따른 영상화 결과를 비교하면, 단일 펄스 파형의 경우가 톤버스트 파형의 경우보다 결함 위치에서의 누적효과에 대한 정밀도와 정확도가 더 높은 것을 확인할 수 있다. 톤버스트의 경우 파형의 길이 때문에 누적효과가 결함 주변 영역에 걸쳐서 나타나 결함의 위치에 대한 부정확한 판단 및 형태나 크기를 과대평가하게 될 가능성이 높다. 이러한 이유에서 초음파 합성개구 영상화 기법에서는 톤버스트 파형이 아닌 파장이 짧은 단일 파형을 활용하여 고해상도와 고정확도를 지향한다.

[0047] 음향비선형성 측정기법은 접촉음향비선형성(CAN: Contact Acoustic Nonlinearity) 효과를 통해 닫힌 결함 탐상을 가능하게 하고, 결함 크기를 보다 정확하게 측정하도록 함으로써 결함의 잠재적 위험에 대한 비파괴 평가의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 접촉음향비선형성은 도 4b에서와 같이 닫힌 결함부에 단일 주파수(f_1) 성분(A_1)의 톤버스트 파형의 초음파가 입사되었을 때, 입사된 초음파에 고조파(f_2)에 해당하는 성분(A_2)이 생성되는 비선형적 초음파 특성이다. 그러한 반면에, 도 4a에서와 같이 열린 결함부에 대해서는 단일 주파수(f_1) 성분(A_1)의 톤버스트 파형의 초음파가 입사되었을 때, 입사된 초음파에 고조파(f_2)에 해당하는 성분(A_2)이 생성되지 않아 비선형적 초음파 특성을 나타내지 않는다.

[0048] 즉, 접촉음향비선형성을 측정하면 도 5에서와 같이 닫힌 결함부에 대한 탐상이 가능해지고, 이를 통해 결함 진단의 정확도를 향상시킬 수 있다. 다시 말해, 닫힌 결함부에 대해 발생하는 기본 주파수 성분(A_1)과 고조파 성분(A_2)으로부터 음향비선형 파라미터(β)를 산출하고, 파라미터(β)를 이용하여 닫힌 결함부에 관한 영상화를 수행할 수 있다. 이러한 접촉음향비선형성을 측정하기 위해서는 주파수 분석이 용이한 파형의 초음파를 활용이 요구되며, 따라서 단일 펄스 파형보다는 톤버스트 파형의 초음파를 활용하는 것이 적합하다. 참고로, 도 5는 열린 결함부 및 닫힌 결함부에서의 기본 주파수 성분과 고조파 성분의 반사신호로부터 산출된 음향비선형 파라

미터의 변화를 도시한 도면이다.

- [0049] 이와 같이, 합성개구 영상화 기법과 음향비선형성 측정기법에 적합한 초음파 파형이 상이하고 서로 배타적인 특징을 나타내기 때문에, 두 기법의 조합을 통한 단한 균열이나 극미세 손상부의 고해상도 및 고정확도 결합 영상화 기술의 구현에 난점이 있다. 합성개구 영상화 기법을 적용하기 위해서는 단일 펄스 파형의 반사신호가 요구되는 반면, 그러한 단일 펄스 파형의 초음파 신호로는 음향비선형성 측정이 어렵다는 한계가 있다. 반대로, 음향비선형성 측정이 용이한 톤버스트 파형의 초음파 신호를 활용하게 되면, 합성개구 영상화 기법 적용 시 결합부의 크기를 과대평가하게 될 우려가 있으며 본래 합성개구 영상화 기법을 통해 기대하는 고해상도 및 고정확도 결합 영상화의 장점이 온전히 발현되기 어렵다.
- [0050] 이에, 본 발명의 일 실시예에서는 톤버스트 파형의 초음파 신호를 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환하여, 단한 균열 또는 극미세 손상부에 대한 고해상도 및 고정확도 결합 영상화를 수행할 수 있는 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치 및 방법을 제공한다.
- [0051] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 상세 구성을 도시한 블록도이다.
- [0052] 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치는 초음파 송신부(610), 초음파 수신부(620), 신호 변환부(630) 및 영상 처리부(640)를 포함한다.
- [0053] 초음파 송신부(610)는 피검사체 내부로 톤버스트 파형의 초음파 신호를 송신한다. 이때, 초음파 송신부(610)는 라인(line) 형태 또는 어레이(array) 형태로 배열되어 피검사체의 일면 또는 초음파의 빔의 경로가 집속될 수 있는 위치에 부착될 수 있다. 여기서, 초음파 송신부(610)는 복수 또는 이동 가능하게 구현될 수 있다.
- [0054] 초음파 수신부(620)는 피검사체 내부에서 반사된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 수신한다. 이때, 초음파 수신부(620)는 초음파 송신부(610)와 마찬가지로, 라인 형태 또는 어레이 형태로 배열되어 피검사체의 일면 또는 초음파의 빔의 경로가 집속될 수 있는 위치에 부착될 수 있고, 복수 또는 이동 가능하게 구현될 수 있다.
- [0055] 피검사체 내부에 결함이 존재하는 경우, 피검사체 내부로 방사된 초음파 신호는 결함이 존재하는 지점에서 반사를 일으키게 되는데, 초음파 수신부(620)는 결함이 존재하는 지점에서 반사된 초음파 신호를 수신한다. 이때, 반사된 초음파 신호는 결함에 대한 정보를 포함하게 된다.
- [0056] 신호 변환부(630)는 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 주파수 성분별로 분리한다. 구체적으로, 신호 변환부(630)는 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 기본 주파수 성분 및 고조파 성분으로 분리할 수 있으며, 바람직하게 대역 통과 필터(Band Pass Filter)를 이용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0057] 이를 위해, 신호 변환부(630)는 도 7에 도시된 바와 같이 기본 주파수 파형 추출부(710) 및 고조파 파형 추출부(720)를 포함할 수 있다. 참고로, 도 7은 도 6의 신호 변환부(630)의 상세 구성을 도시한 도면이다.
- [0058] 기본 주파수 파형 추출부(710)는 제1 대역 통과 필터를 이용하여 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 기본 주파수 성분을 분리할 수 있다. 고조파 파형 추출부(720)는 제1 대역 통과 필터와 다른 대역을 가지는 제2 대역 통과 필터를 이용하여, 수신된 톤버스트 초음파 신호로부터 고조파 성분을 분리할 수 있다. 즉, 도 7a에 서와 같은 톤버스트 초음파 신호로부터 도 7b의 상단에 위치한 그래프에 도시된 기본 주파수 성분 및 도 7b의 하단에 위치한 그래프에 도시된 고조파 성분을 분리할 수 있다. 참고로, 도 7a는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 피검사체 내부에서 반사된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 도시한 도면이고, 도 7b는 도 7a의 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 분리된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 도시한 도면이다.
- [0059] 이때, 수신된 톤버스트 초음파 신호를 기본 주파수 성분 및 고조파 성분으로 분리하는데 있어서, 대역 통과 필터뿐만 아니라 STFT(Short-time Fourier Transform) 또는 Wavelet Transform 등의 신호처리기법을 이용할 수도 있다. 이렇게 함으로써, 신호 변환부(630)는 수신된 톤버스트 초음파 신호로부터 시간 축에 대한 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 획득할 수 있게 된다. 즉, 톤버스트 파형의 초음파 신호에 해당하는 $A(t)$ 를 기본 주파수 성분에 해당하는 $A_1(t)$ 와 고조파 성분인 $A_2(t)$ 로 분리할 수 있다.
- [0060] 신호 변환부(630)는 수신된 톤버스트 초음파 신호를 기본 주파수 성분 및 고조파 성분으로 분리하여 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환한다. 이하에서는, 신호의 변환 절차를 도 7c 내지 도 7f를 참조하여 설명하기로 한다. 참고로, 도 7c 내지 도 7f는 분리된 각 주파수 성분을 단일 펄스화 시키는 과정을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

[0061] 먼저, 신호 변환부(630)는 도 7c에서와 같이, 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 분리된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 각각 절대값 처리하여 각 주파수 성분에 대한 양의 값을 획득할 수 있다. 즉, 기본 주파수 성분인 $A_1(t)$ 를 절대값 처리하여 $|A_1(t)|$ 로 나타낼 수 있고, 고조파 성분인 $A_2(t)$ 를 절대값 처리하여 $|A_2(t)|$ 로 나타낼 수 있다.

[0062] 다음으로, 신호 변환부(630)는 도 7d에서와 같이, 절대값 처리된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분에 각각 뒤편 함수(envelope function)를 적용하여 각 주파수 성분의 극점을 단일화할 수 있다. 이때, 각 주파수 성분에 뒤편 함수를 적용하는데 있어서, 저역 통과 필터(Low Pass Filter), 힐버트 변환(Hilbert Transform), 이동 평균 필터(Moving Average Filter), 평활화 기법인 Savitzky-Golay Filter와 Local Regression Smoothing을 이용할 수 있다. 즉, 절대값 처리된 기본 주파수 성분인 $|A_1(t)|$ 를 뒤편 함수가 적용된 기본 주파수 성분인 $\bar{A}_1(t)$ 로 나타낼 수 있고, 절대값 처리된 고조파 성분인 $|A_2(t)|$ 를 뒤편 함수가 적용된 고조파 성분인 $\bar{A}_2(t)$ 로 나타낼 수 있다.

[0063] 다음으로, 신호 변환부(630)는 도 7e에서와 같이, 뒤편 함수가 적용된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 미분할 수 있다. 이에 따라, 신호 변환부(630)는 각 주파수 성분에 대한 초음파 신호가 시작되는 시점에서의 극점을 추출함으로써, 각 주파수 성분이 단일 펄스 파형을 가지도록 할 수 있다. 즉, 뒤편 함수가 적용된 기본 주파수 성분의 미분에 대하여 하기 수학식 3과 같이 나타낼 수 있고, 뒤편 함수가 적용된 고조파 성분의 미분에 대하여 하기 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

[0064] [수학식 3]

$$D(\bar{A}_1(t)) = \frac{\bar{A}_1(t)}{dt} = \bar{A}_1'(t)$$

[0065]

[0066] [수학식 4]

$$D(\bar{A}_2(t)) = \frac{\bar{A}_2(t)}{dt} = \bar{A}_2'(t)$$

[0067]

[0068] 다음으로, 신호 변환부(630)는 도 7f에서와 같이, 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분의 진폭 크기를 각 주파수 성분별 크기에 따라 보정하고, 각 주파수 성분에 대한 음의 값을 제거할 수 있다. 구체적으로, 신호 변환부(630)는 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분의 진폭 크기를 앞에서 언급한 절대값 처리된 각 주파수 성분, 뒤편 함수가 적용된 각 주파수 성분 및 미분된 각 주파수 성분의 진폭 크기와 동일하도록 보정할 수 있다. 즉, 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분의 진폭 크기 보정에 대하여 하기 수학식 5와 같이 나타낼 수 있고, 단일 펄스 파형을 가지는 고조파 성분의 진폭 크기 보정에 대하여 하기 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

[0069] [수학식 5]

$$\hat{A}_1 = \begin{cases} \frac{\bar{A}_1'(t) \times \max(\bar{A}_1(t))}{\max(\bar{A}_1'(t))}, & \text{if } \bar{A}_1'(t) \geq 0 \\ 0, & \text{if } \bar{A}_1'(t) < 0 \end{cases}$$

[0070]

[0071] [수학식 6]

$$\hat{A}_2 = \begin{cases} \frac{\bar{A}_2'(t) \times \max(\bar{A}_2(t))}{\max(\bar{A}_2'(t))}, & \text{if } \bar{A}_2'(t) \geq 0 \\ 0, & \text{if } \bar{A}_2'(t) < 0 \end{cases}$$

[0072]

- [0073] 이로써, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 톤버스트 파형의 초음파 신호를 전술한 신호 처리 및 변환 과정을 통해 단일 펄스 파형의 비선형 초음파 신호를 산출할 수 있다.
- [0074] 영상 처리부(640)는 단일 펄스 파형의 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 이용하여 피검사체 내부의 영상을 생성한다.
- [0075] 이를 위해, 영상 처리부(640)는 도 8에 도시된 바와 같이 비선형 파라미터 추출부(810) 및 영상 데이터 생성부(820)를 포함할 수 있다. 참고로, 도 8은 도 6의 영상 처리부(640)의 상세 구성을 도시한 도면이다.
- [0076] 비선형 파라미터 추출부(810)는 보정된 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 이용하여, 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 나타내는 비선형 파라미터를 추출할 수 있다.
- [0077] 즉, 비선형 파라미터 추출부(810)는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 하기의 수학적 식 1에 기초하여 비선형 파라미터를 추출할 수 있다.
- [0078] [수학적 식 1]
- $$\beta = \frac{A_2}{A_1^2}$$
- [0079]
- [0080] 여기서, β 는 비선형 파라미터, A_2 는 고조파 성분의 크기, A_1 은 기본 주파수 성분의 크기를 각각 나타낸다.
- [0081] 영상 데이터 생성부(820)는 추출된 비선형 파라미터를 이용하여 피검사체 내부의 영상 데이터를 생성할 수 있다. 여기서, 영상 데이터 생성부(820)는 합성개구 영상화 기법을 이용할 수 있다. 이에 따라, 본 실시예에서는 전술한 신호 처리 및 변환 과정을 통해 산출된 단일 펄스 파형의 비선형 초음파 신호를 합성개구 영상화함으로써 단면 균열이나 극미세 손상부에 대하여 월등한 해상도 및 정확도를 가진 영상화를 수행할 수 있다.
- [0082] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치, 즉 초음파 송신부(610), 초음파 수신부(620), 신호 변환부(630), 영상 처리부(640) 등의 동작을 전반적으로 제어할 수 있는 제어부(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0083] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.
- [0084] 도 6 및 도 9를 참조하면, 단계(910)에서 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 초음파 송신부(610)는 피검사체 내부로 톤버스트 파형의 초음파 신호를 송신한다.
- [0085] 다음으로, 단계(920)에서 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 초음파 수신부(620)는 피검사체 내부에서 반사된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 수신한다.
- [0086] 다음으로, 단계(930)에서 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 초음파 신호 변환부(630)는 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 주파수 성분별로 분리하여 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환한다.
- [0087] 이하에서는, 도 10을 참조하여 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 주파수 성분별로 분리하는 방법을 설명하고자 한다. 참고로, 도 10은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 톤버스트 파형의 초음파 신호를 주파수 성분별로 분리하는 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.
- [0088] 도 6 및 도 10을 참조하면, 단계(1010)에서 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 초음파 신호 변환부(630)는 제1 대역 통과 필터를 이용하여 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 기본 주파수 성분을 분리할 수 있다.
- [0089] 다음으로, 단계(1020)에서 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 초음파 신호 변환부(630)는 제1 대역 통과 필터와 다른 대역을 가지는 제2 대역 통과 필터를 이용하여 수신된 톤버스트 파형의 초음파 신호로부터 고조파 성분을 분리할 수 있다.
- [0090] 즉, 신호 변환부(630)는 대역 통과 필터를 이용하여 톤버스트 파형의 초음파 신호를 기본 주파수 성분과 고조파 성분으로 분리할 수 있다.
- [0091] 이하에서는, 도 11을 참조하여 주파수 성분별로 분리된 초음파 신호를 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환하는 방법을 설명하고자 한다. 참고로, 도 11은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 주파수 성분별로 분리된 초음파

신호를 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환하는 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.

[0092] 도 6 및 도 11을 참조하면, 단계(1110)에서 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 초음파 신호 변환부(630)는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 절대값 처리하여 각 주파수 성분에 대한 양의 값을 획득할 수 있다.

[0093] 다음으로, 단계(1120)에서 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 초음파 신호 변환부(630)는 절대값 처리된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분에 덮개 함수를 적용하여 각 주파수 성분의 극점을 단일화할 수 있다.

[0094] 다음으로, 단계(1130)에서 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 초음파 신호 변환부(630)는 덮개 함수가 적용된 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 미분하여 단일 펄스 파형을 가지도록 할 수 있다.

[0095] 다음으로, 단계(1140)에서 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 초음파 신호 변환부(630)는 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분의 진폭을 각 주파수 성분별 크기에 따라 보정하고, 각 주파수 성분에 대한 음의 값을 제거할 수 있다.

[0096] 이로써, 신호 변환부(630)는 단계(1110) 내지 단계(1140)의 절차를 거쳐 주파수 성분별로 분리된 톤버스트 파형의 초음파 신호를 단일 펄스 파형의 초음파 신호로 변환할 수 있다.

[0097] 다시, 도 6 및 도 9를 참조하면, 단계(940)에서 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치의 영상 처리부(640)는 단일 펄스 파형의 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 이용하여 피검사체 내부의 영상을 생성한다.

[0098] 이때, 영상 처리부(640)는 보정된 단일 펄스 파형을 가지는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 이용하여, 초음파 신호에 대한 비선형 특성을 나타내는 비선형 파라미터를 추출할 수 있다.

[0099] 여기서, 영상 처리부(640)는 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 하기의 수학적 식 1에 기초하여 비선형 파라미터를 추출할 수 있다.

[0100] [수학적 식 1]

$$\beta = \frac{A_2}{A_1^2}$$

[0101] 여기서, β 는 비선형 파라미터, A_2 는 고조파 성분의 크기, A_1 은 기본 주파수 성분의 크기를 각각 나타낸다.

[0103] 그 후, 영상 처리부(640)는 추출된 비선형 파라미터를 이용하여 피검사체 내부의 영상 데이터를 생성할 수 있다.

[0105] 이하에서는, 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파의 비선형 특성을 이용한 영상화 장치 및 방법에 대한 실험에 관해 도 11a, 도 11b 및 도 12를 참조하여 보다 구체적으로 설명하기로 한다. 참고로, 도 11a는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 단힌 접촉계면에 음향비선형성 특성을 이용한 고해상도 및 고정확도의 영상화를 실험으로 검증하기 위해 구성한 실험 장치를 도시한 도면이고, 도 11b는 실험에 사용되는 시편의 형상을 도시한 도면이고, 도 12는 접촉 압력에 따른 시편 간 접촉계면 특성의 변화를 설명하기 위해 도시한 도면이다.

[0106] 본 실시예에서는, 단힌 접촉계면에서 음향비선형성 특성을 이용한 고해상도 및 고정확도의 영상화를 실험으로 검증하기 위해 도 11a 및 도 11b와 같이 실험 장치를 구성하였다.

[0107] 열린 접촉계면 및 단힌 접촉계면을 모사하기 위해 아크릴 소재의 상부시편 및 하부 시편을 각각 준비하여 서로 접촉하는 면이 생기도록 맞댄 후, 접촉면에 압력을 가하였다. 이때, 하부시편의 상면 중심부에 국부적으로 깊이 0.1 mm, 폭 5 mm의 단차를 가공함에 따라, 계면의 상태를 열림상태에서 단힘상태를 거쳐 밀착상태가 되도록 하였다.

[0108] 구체적으로, 도 12를 참조하면, 압력이 가해지기 전에는 단차의 양단부 및 단차의 중심부가 열림상태이고, 단힌 결함에 대한 음향비선형성을 나타내는 CAN 효과가 발생하지 않는다. 이후에 압력이 가해짐에 따라 단차의 양단부는 단힘상태, 단차의 중심부는 열림상태가 되고, CAN 효과는 단차의 양단부에서 발생한다. 이후에 압력이 더 가해짐에 따라 단차의 양단부는 밀착상태, 단차의 중심부는 열림상태가 되고, CAN 효과는 발생하지 않는다. 이후에 압력이 더 가해짐에 따라 단차의 양단부는 밀착상태, 단차의 중심부는 단힘상태가 되고, CAN 효과는 단차

의 중심부에서 발생한다. 이후에 압력이 더 가해짐에 따라 단차의 양단부 및 단차의 중심부는 밀착상태가 되고, CAN 효과는 발생하지 않는다.

- [0109] 참고로, 도시된 하중 피스톤 및 하중 전달부를 이용하여 각 시편 간 접촉계면에 압력을 가하고, 시편 하단에 설치된 압력 측정기를 이용하여 접촉계면에 가해진 압력을 측정하였다.
- [0110] 한편, 상부시편 상단에 배열 탐촉자를 배치하여 접촉계면에 대한 음향비선형성 특성의 합성개구 영상화를 수행하였다. 여기서, 합성개구 영상화는 피검사체로부터 반사된 초음파 펄스 신호의 시간영역 정보를 공간영역 정보로 변환한 후, 신호 진폭의 차이를 색상을 통해 표현함으로써 피검사체의 결함을 가시화할 수 있다.
- [0111] 참고로, 배열 탐촉자는 16개의 채널을 이용하되 송신 탐촉자와 수신 탐촉자를 일정 간격 이동시키면서 초음파 신호를 송수신하였다. 수신된 초음파 신호로부터 기본 주파수 성분 및 고조파 성분을 효과적으로 분리하기 위해 톤버스트 파형의 협대역 신호를 이용하였고, 분리된 각 주파수 성분이 단일 펄스 파형을 가지도록 신호처리를 수행하였다.
- [0112] 이하에서는, 도 13a 내지 도 13c를 참조하여 선형 특성의 초음파를 이용한 영상화 기법(B-scan) 및 본 실시예와 관련된 비선형 특성의 초음파를 이용한 영상화 기법(SAIAN)이 각각 적용된 접촉계면 영상화 결과를 비교하고자 한다. 참고로, 도 13a 내지 도 13c는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 선형 특성의 초음파를 이용한 영상화 기법(B-scan) 및 비선형 특성의 초음파를 이용한 영상화 기법(SAIAN)이 각각 적용된 접촉계면 영상화 결과를 비교하기 위해 도시한 도면이다. SAIAN은 Synthetic Aperture Imaging of Acoustic Nonlinearity로서 비선형 특성의 초음파를 이용한 영상화 기법을 의미한다.
- [0113] 먼저, 상하부 시편에 0.6 MPa의 압력을 가한 경우 단차의 양단부는 닫힘상태, 단차의 중심부는 열림상태가 되고, CAN 효과는 단차의 양단부에서 발생하였다. 이때, B-scan을 이용하여 영상화한 결과 도 13a의 좌측에 도시된 바와 같이, 열린 접촉계면에 해당하는 단차의 중심부를 가시화 하였고, SAIAN을 이용하여 영상화한 결과 도 13a의 우측에 도시된 바와 같이, 닫힌 접촉계면에 해당하는 단차의 양단부를 가시화 하였다.
- [0114] 다음으로, 상하부 시편에 2.6 MPa의 압력을 가한 경우 단차의 양단부는 밀착상태, 단차의 중심부는 닫힘상태가 되고, CAN 효과는 단차의 중심부에서 발생하였다. 이때, B-scan을 이용하여 영상화한 결과 도 13b의 좌측에 도시된 바와 같이, 아무것도 가시화 하지 못하였고, SAIAN을 이용하여 영상화한 결과 도 13b의 우측에 도시된 바와 같이, 닫힌 접촉계면에 해당하는 단차의 중심부를 가시화 하였다.
- [0115] 다음으로, 상하부 시편에 7 MPa의 압력을 가한 경우 단차의 양단부 및 단차의 중심부는 밀착상태가 되고, CAN 효과는 발생하지 않는다. 이때, B-scan 및 SAIAN을 이용하여 영상화한 결과 도 13c의 좌측 및 우측에 도시된 바와 같이, 아무것도 가시화 하지 못하였다.
- [0116] 이를 통해, 선형 특성의 초음파를 이용하여 영상화 하는 경우 열린 접촉계면에 대하여 영상화할 수 있고, 비선형 특성의 초음파를 이용하여 영상화 하는 경우 닫힌 접촉계면에 대하여 영상화할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0117] 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 단일 펄스로 변환된 초음파 신호의 비선형 특성을 이용하여 영상화하는데 있어서, 닫힌 균열 및 극미세 손상부가 강조된 이미지를 높은 해상도와 높은 정확도를 가지고 보다 효율적으로 수행할 수 있다.

[0119] 지금까지 본 발명에 따른 구체적인 실시예에 관하여 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서는 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허 청구의 범위뿐 아니라 이 특허 청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

[0120] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 이는 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명 사상은 아래에 기재된 특허청구범위에 의해서만 파악되어야 하고, 이의 균등 또는 등가적 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

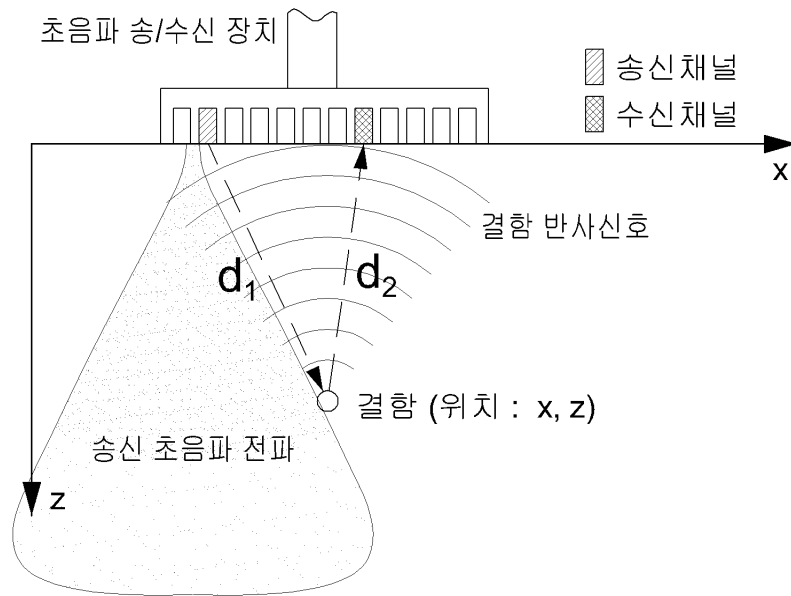
부호의 설명

- [0121] 610 : 초음파 송신부
620 : 초음파 수신부

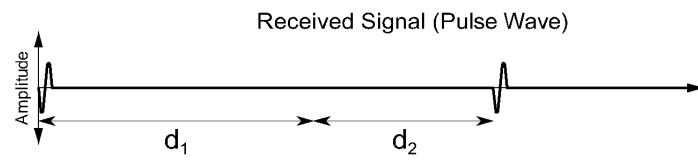
- 630 : 신호 변환부
- 640 : 영상 처리부
- 710 : 기본 주파수 파형 추출부
- 720 : 고조파 파형 추출부
- 810 : 비선형 파라미터 추출부
- 820 : 영상 데이터 생성부

도면

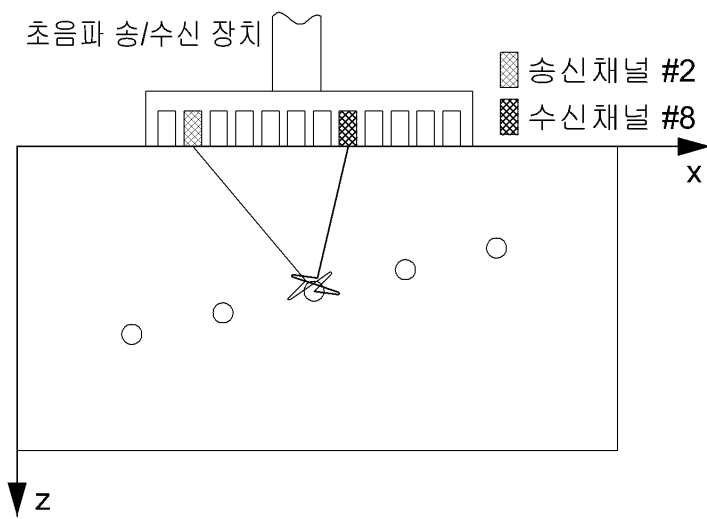
도면1



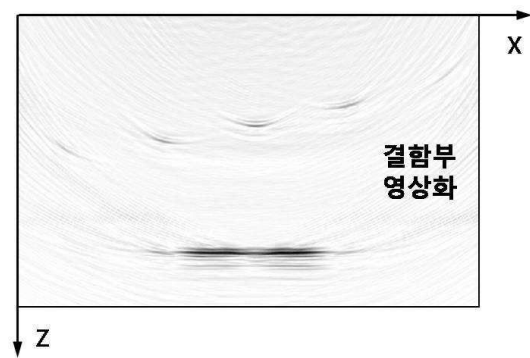
도면2a



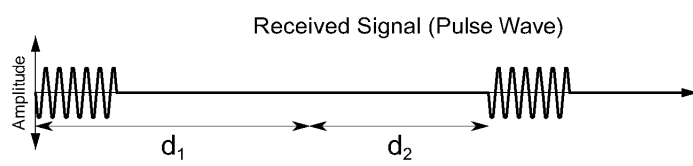
도면2b



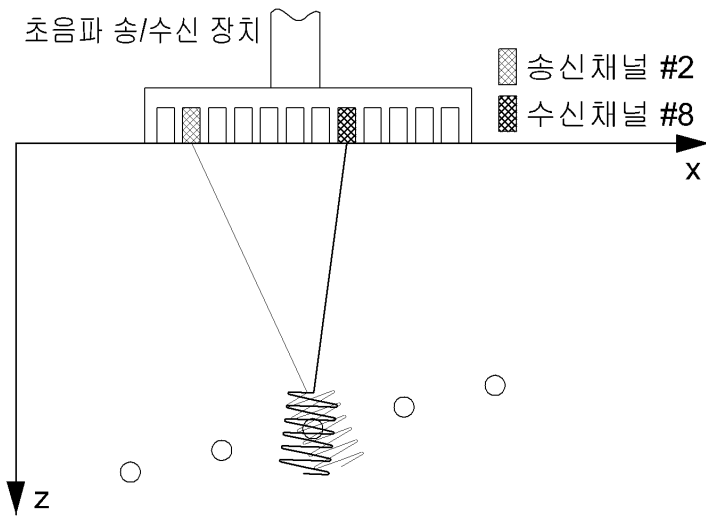
도면2c



도면3a



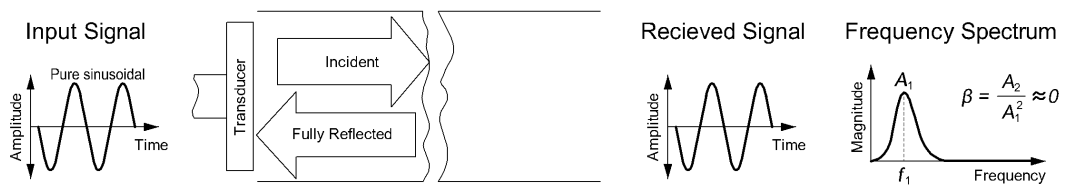
도면3b



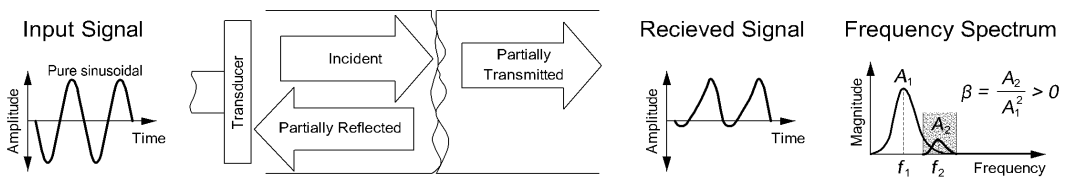
도면3c



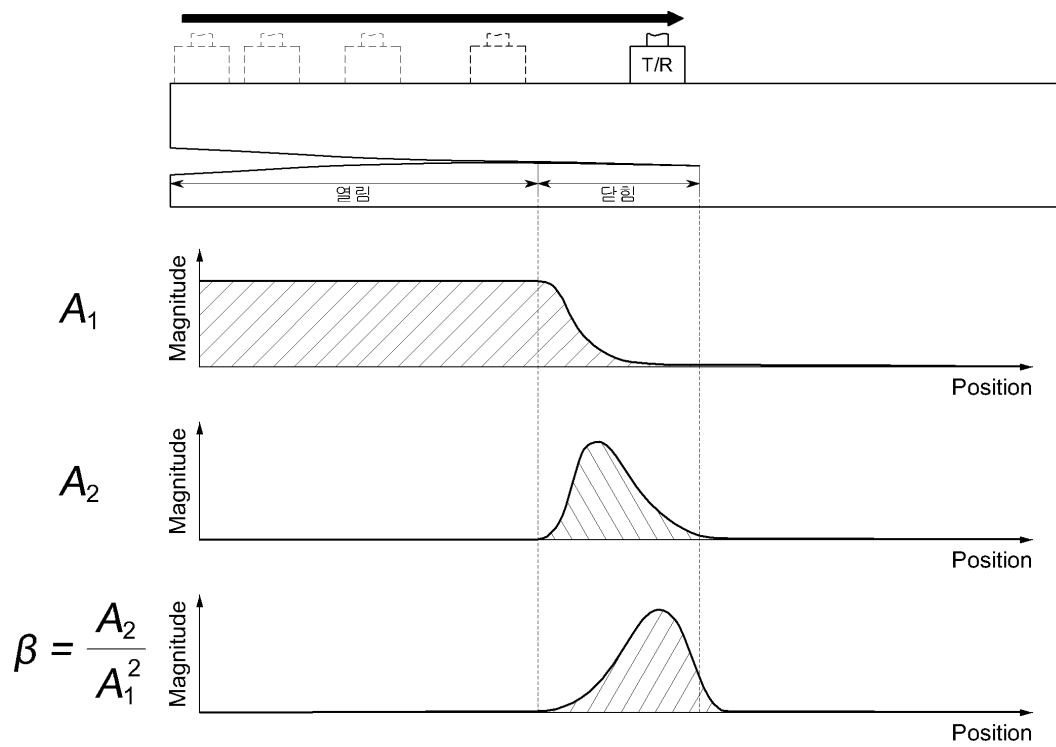
도면4a



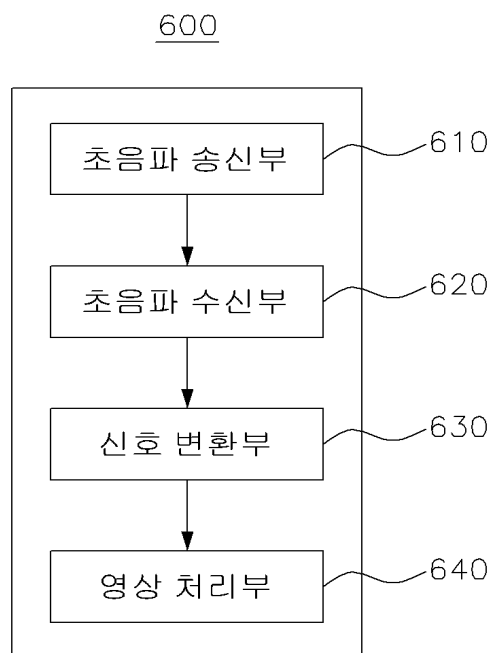
도면4b



도면5

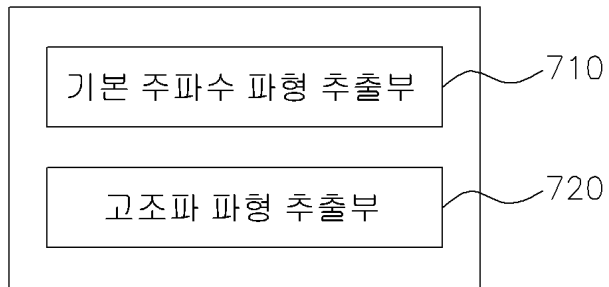


도면6

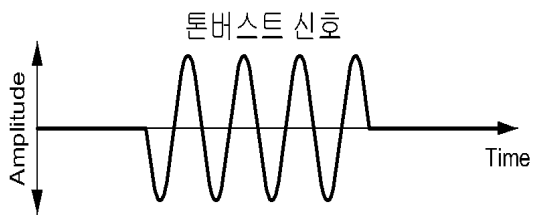


도면7

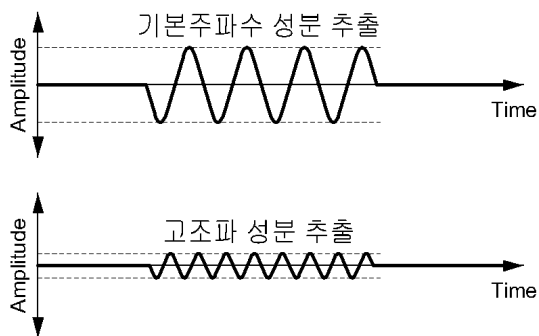
630



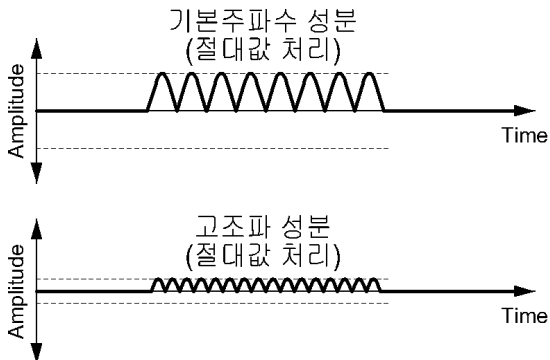
도면7a



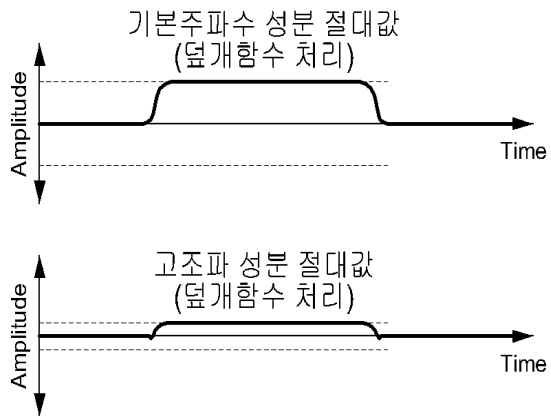
도면7b



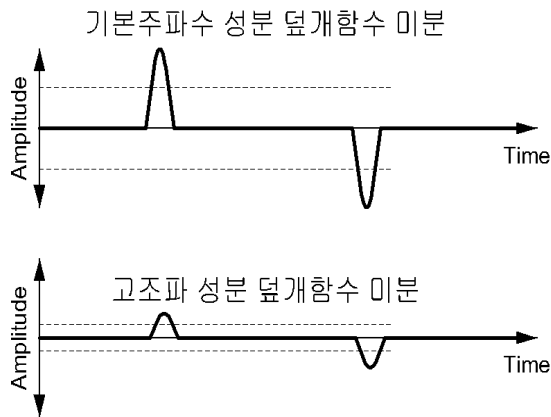
도면7c



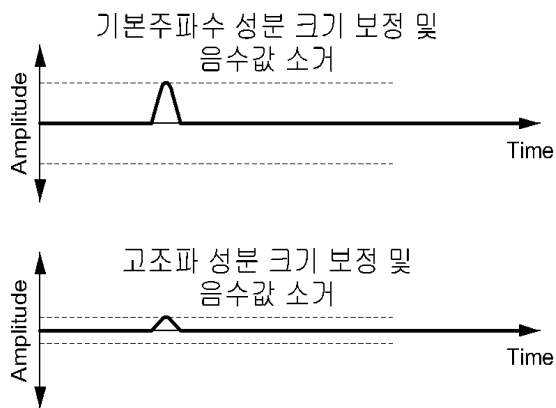
도면7d



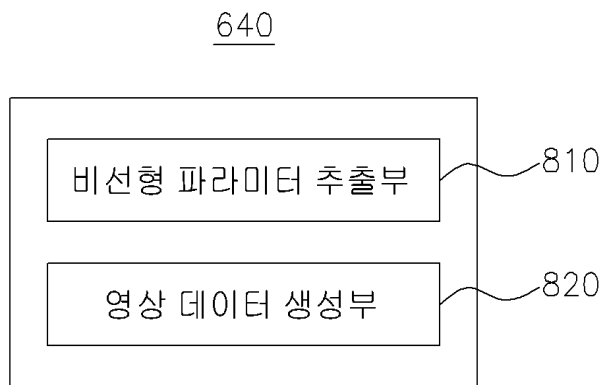
도면7e



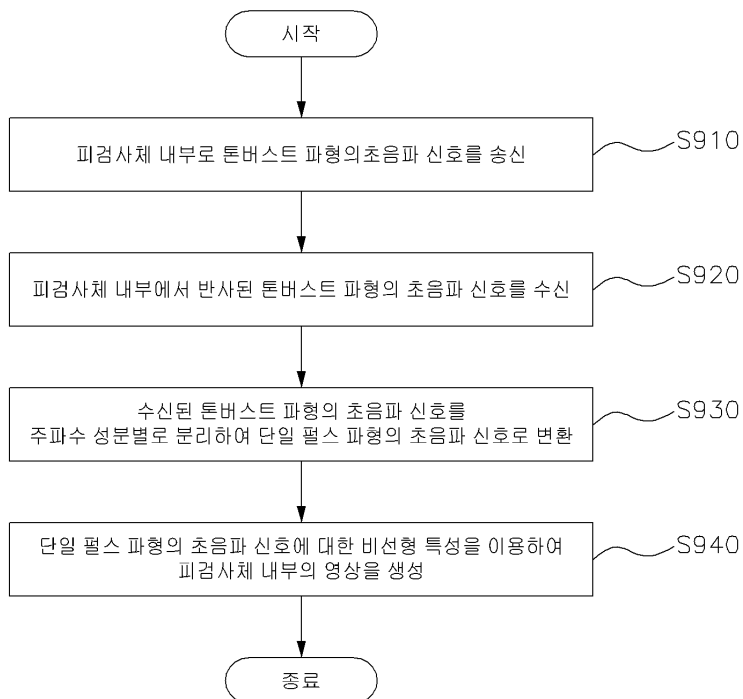
도면7f



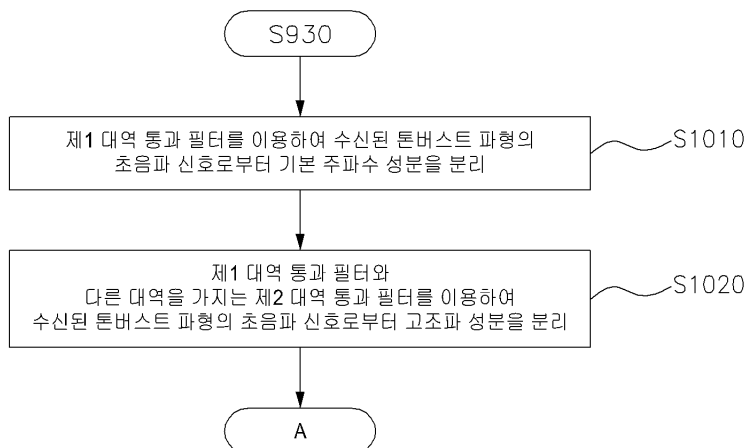
도면8



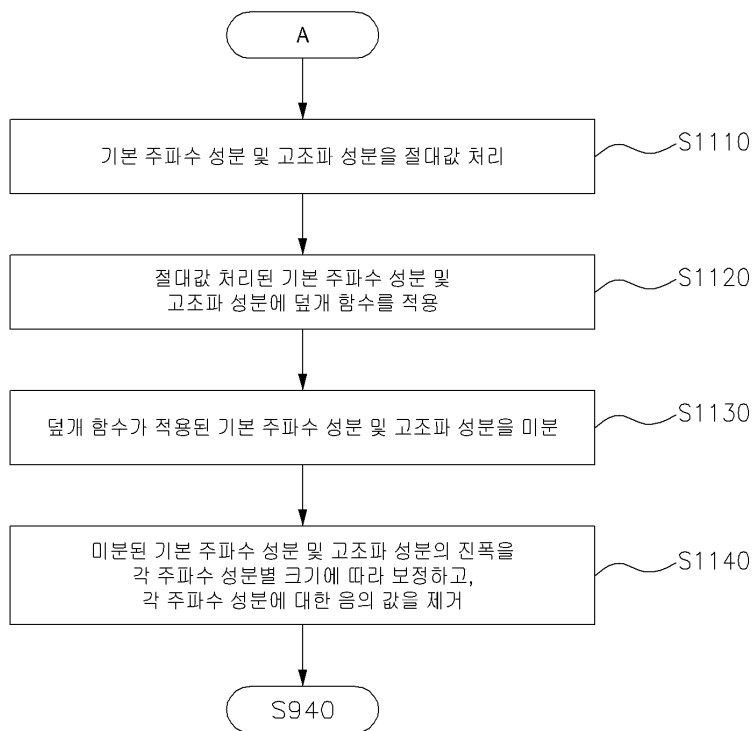
도면9



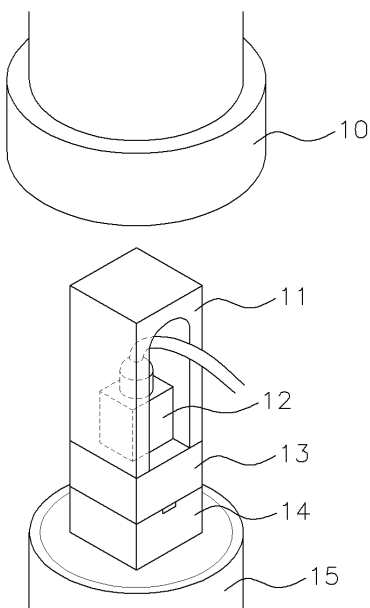
도면10



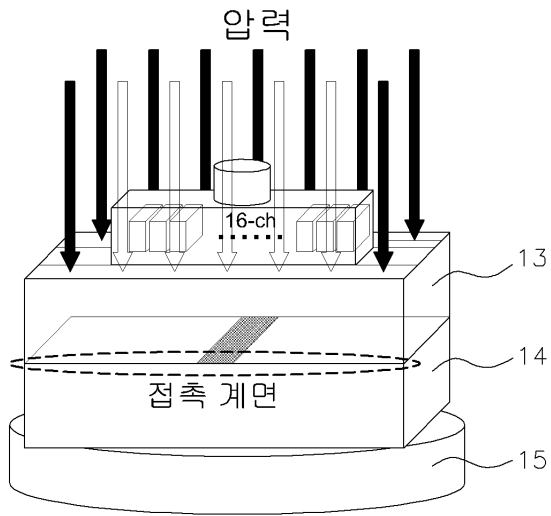
도면11



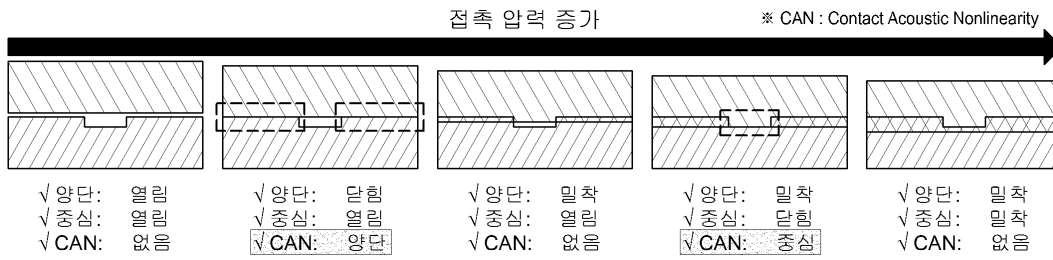
도면11a



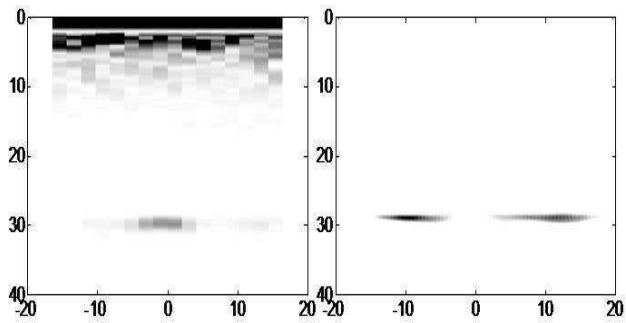
도면11b



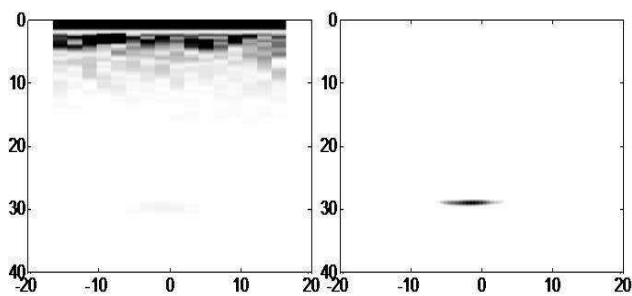
도면12



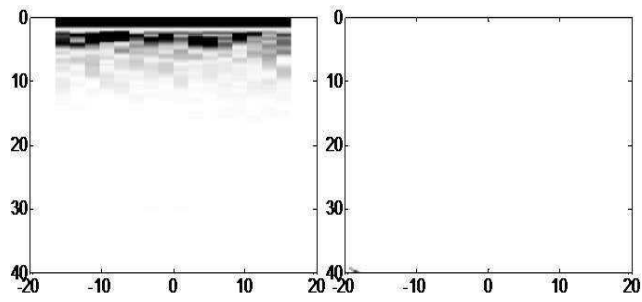
도면13a



도면13b



도면13c



专利名称(译)	使用超声波的非线性特征进行成像的装置和方法		
公开(公告)号	KR1020180069603A	公开(公告)日	2018-06-25
申请号	KR1020160171934	申请日	2016-12-15
[标]申请(专利权)人(译)	汉阳大学校产学协力团		
申请(专利权)人(译)	汉阳大学产学合作基金会		
[标]发明人	JHANG KYUNG YOUNG 장경영 SEO HO GEON 서호건 PYUN DO KYUNG 편도경		
发明人	장경영 서호건 편도경		
IPC分类号	A61B8/00 A61B5/00 A61B8/08		
CPC分类号	A61B8/4494 A61B8/4477 A61B8/5207 A61B5/7225		
代理人(译)	Hongseonguk 情感方程式		
其他公开文献	KR101883987B1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

根据本发明实施例的使用超声波的非线性特性的成像装置包括：超声波发送单元，用于将色调突发波形的超声波信号发送到待检查对象；超声波接收单元，用于接收在对象内部反射的色调突发波的超声波信号，一种信号转换器，用于将接收到的音调脉冲串波形的超声波信号分离成频率分量，并将接收的超声波信号转换成单脉冲波形超声波信号；以及用于生成图像的图像处理单元。 专利文献1：JP-A-10-2018-0069603

