



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0020299
(43) 공개일자 2020년02월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 29/44 (2006.01) G01N 29/04 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 29/44 (2013.01)

G01N 29/04 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0095844

(22) 출원일자 2018년08월17일

심사청구일자 2018년08월17일

(71) 출원인

한국기술교육대학교 산학협력단

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)

(72) 발명자

김노유

서울특별시 강남구 언주로30길 13 대림아크로빌 B동 309호

(74) 대리인

최광호

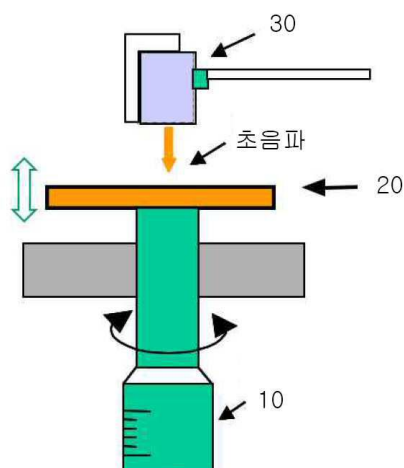
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 초음파 진동변위 측정방법

(57) 요약

본 발명은 레이저와 같이 비접촉이면서도 대상체의 재질과 무관하게 응답특성을 제공하는 초음파를 이용하여 상대적으로 정밀하면서도 저가로 구현하기가 용이한 초음파 진동 변위를 측정하는 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도2



명세서

청구범위

청구항 1

마이크로미터(10)에 부착된 소형 시험편(20) 위에 일정 간격을 두고 초음파센서(30)를 배치한 상태에서, 마이크로미터(10)에 의해 상기 시험편(20)이 움직여 변위를 일으키고, 이렇게 변위를 일으킨 시험편(20)에 수직으로 초음파센서(30)로부터 방출된 초음파의 반사를 측정하는 장치를 이용해 초음파 진동변위를 측정하는 방법에 있어서:

a. 시간 t 와 x 의 위치에서 초음파 센서로부터 발생되어 물체에 입사되는 진동수 ω 의 (초음파) 입사파 f_i , 시험편으로부터의 반사파 f_r , 시험편 표면에서의 반사계수 R , k 는 초음파의 파수(wave number)일 때 반사파 f_r 를 아래처럼 구하는 단계;

$$f_r(kx + \omega t) = R \cdot f_i(kx + \omega t) \quad (1)$$

b. 특정한 시간 $t = t_0$ 에서의 시험편의 위치를 기준위치라고 하고 이때를 $x=0$ 라고 할 때 위의 식(1)을 아래와 같이 구하는 단계;

$$f_r(\omega t_0) = R \cdot f_i(\omega t_0) \quad (2)$$

c. 이제 시험편이 t 초 후에 $t = t_0$ 로부터 $t = t + t_0$ 로 바뀌어 $x=0$ 로부터 새로운 위치 $x = u(t)$ 로 이동했을 때 시험편 표면에서의 반사파를 식 (2)로부터 아래와 같이 구하는 단계;

$$f_r(ku(t) + \omega(t + t_0)) = R \cdot f_i(ku(t) + \omega(t + t_0)) \quad (3)$$

d. 식(3)에서 식(2)를 뺀 결과 $g(t)$ 를 아래와 같이 구하는 단계;

$$\begin{aligned} g(u, t) &= f_r[ku(t) + \omega(t + t_0)] - f_r(\omega(t + t_0)) \\ &= R \cdot [f_i(ku(t) + \omega(t + t_0)) - f_i(\omega(t + t_0))] \end{aligned} \quad (4)$$

e. 식(4)의 형태로부터 초음파 신호 $g(u, t)$ 는 $ku(t)$ 만큼 변위가 지연되고 x 방향으로 진행하는 두 개의 입사파 f_i 의 차이를 나타내며, 물체의 운동 $u(t)$ 가 초음파의 파장과 비교해서 작다고 가정하고 물체의 운동속도가 초음파의 속도(c)보다 매우 느리다고 가정하면 ($\frac{u}{c}, u(t) \ll c$) 식(4)를 $t_0=0$ 에서 Taylor 급수전개에 의하여 아래와 같이 구하는 단계;

$$\begin{aligned} g(u, t) &= R \cdot [f_i(ku(t) + \omega t_0) - f_i(\omega t_0)] \\ &= R \cdot \left[(ku) \cdot \frac{\partial f_i}{\partial (ku)} \Big|_{u_0} + (ku)^2 \cdot \frac{\partial^2 f_i}{\partial (ku)^2} \Big|_{u_0} + \dots \right] \\ &\simeq R \cdot u \cdot \frac{\partial f_i}{\partial u} \Big|_{u_0} \end{aligned} \quad (5)$$

f. 식(5)에서 $t_0=0$ 라고 가정하고 변수 u 와 t 에 대해 다음과 같이 새로운 변수 r 을 도입하면

$$r = ku + \omega t \quad (6)$$

변수 u 와 t 를 새로운 변수 r 로 변수치환하여 식(7)을 구하고,

$$\frac{\partial f_i}{\partial u} = \frac{\partial r}{\partial u} \frac{\partial f_i}{\partial r} = k \frac{\partial f_i}{\partial r}, \quad \frac{\partial f_i}{\partial t} = \frac{\partial r}{\partial t} \frac{\partial f_i}{\partial r} = (k \frac{\partial u}{\partial t} + \omega) \cdot \frac{\partial f_i}{\partial r} \quad (7)$$

식(5) 우변의 u 에 대한 f_i 의 미분을 식(7)을 이용하여 아래와 같이 구하는 단계;

$$\frac{\partial f_i}{\partial u} = \frac{k}{k(\frac{\partial u}{\partial t}) + \omega} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial t} = \frac{1}{v(\dot{t}) + c} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial t} \quad (8)$$

여기서, $v(t) = \frac{\partial u(t)}{\partial t}$ 는 시간 t 일 때의 운동 물체의 x 방향 속도이고 $c = \frac{\omega}{k}$ 는 사용된 초음파의 속도,

g. 식(8)을 식(5)에 대입하고 함수 g 를 시간의 함수로 아래와 같이 구하는 단계;

$$g(\dot{t}) \approx \frac{R}{v(\dot{t}) + c} \cdot u(\dot{t}) \cdot \frac{\partial f_i(\dot{t})}{\partial t} \Big|_{t=0} \quad (9)$$

h. 진동의 속도가 초음파의 속도에 비해 매우 작고 시험편의 속도 $u(\dot{t})$ 는 초음파의 속도 c 와 비교해 무시할 수 있다는 가정 하에 식(9)로부터 아래와 같이 구하는 단계;

$$g(t) \approx R \cdot s \cdot u(t) \cdot \frac{\partial f_i(t)}{\partial t} \Big|_{t=0} \quad (10)$$

여기서, s 는 초음파의 slowness(속도의 역수= $1/c$)임,

i. 입사파 $f_i(kx + \omega t)$ 로부터 $\frac{\partial f_i(t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = \omega f_i(0)$ 이 되므로 식(10)을 아래 관계식으로 표시하는 단계; 및

$$g(t) \approx R \cdot s \cdot u(t) \cdot \omega \cdot f_i(0) \quad (11)$$

j. $g(t)$ 가 진동에 의한 변위 $u(\dot{t})$ 에 대하여 직접적으로 선형 비례한다는 사실로부터, 위 관계를 아래와 같이 간단한 진동변위로 표시하는 단계;를 포함하고,

$$g(t) \approx [R \cdot s \cdot \omega \cdot f_i(0)] \cdot u(t)$$

$$g(t) \approx \beta u(t) \quad \text{또는}$$

$$u(t) \approx \frac{1}{\beta} g(t) \quad (12)$$

이때 상수 $\beta = R \cdot k \cdot f_i(0)$ 이고 입사파 신호 f_i 의 초기($t=0$)값으로서 초음파 센서가 결정되면 정의되는 값이고, 식(12)로부터 진동변위 $u(\dot{t})$ 를 구하는 것을 특징으로 하는 초음파 진동변위 측정방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 초음파 진동변위 측정방법에 관한 것이다.

배경 기술

컴퓨터 하드디스크의 서스펜션과 같은 작은 구조의 모우드 측정이나 특수 자동차에 사용되는 터보 차저(turbo-charger)와 같은 정밀부품의 진동을 측정하기 위해서 사용되는 진동 센서는 광역 주파수 스펙트럼 특성을 가지면서도 측정면적이 작아야 하고 선형적 응답 특성을 가지고 있어야 한다. 또한 진동 측정장치는 작은 구조의 미세한 진동에 대해서도 민감해야 한다. 현재 사용되는 이러한 대표적 측정기술로는 Capacitance 타입의 변위 센서나 가속도 계, Eddy-current를 이용한 근접센서(gap-sensor)등이 있다. 이들 기술들은 저가이어서 산업용으로 많이 활용되기는 하지만 진동체에 직접 센서를 부착하거나(가속도계) 진동대상체의 재질에 영향을 받기 때문에 활용범위에서 제한적인 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하는 기술로서 고가이기는 하지만 Laser Doppler 효과

를 이용한 진동 측정장치가 있는데 비접촉이고 대상재료에 무관하게 사용할 수 있어 정밀 진동측정에 사용되고 있다. LDV(laser doppler vibrometer)는 넓은 동적 측정범위 우수한 분해능을 가지면서도 측정면적이 작은 장점이 있다. 하지만 LDV는 미세한 속도를 정밀 측정하는 데에는 매우 좋은 결과를 나타내지만 장비가 고가이며, 충격이나 큰 변위의 진동을 측정/분석하는데는 AC성분뿐만 아니라 DC성분의 변위 신호도 요구되기 때문에 이를 위한 보조적 측정수단이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 종래의 이런 문제점을 감안하여, 본 발명은 레이저와 같이 비접촉이면서도 대상체의 재질과 무관하게 응답특성을 제공하는 초음파를 이용하여 상대적으로 정밀하면서도 저가로 구현하기가 용이한 초음파 진동 변위를 측정하는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0004] 이런 목적 달성을 위해, 본 발명은,

[0005] 마이크로미터(10)에 부착된 소형 시험편(20) 위에 일정 간격을 두고 초음파센서(30)를 배치한 상태에서, 마이크로미터(10)에 의해 상기 시험편(20)이 움직여 변위를 일으키고, 이렇게 변위를 일으킨 시험편(20)에 수직으로 초음파센서(30)로부터 방출된 초음파의 반사를 측정하는 장치를 이용해 초음파 진동변위를 측정하는 방법에 있어서:

[0006] a. 시간 t 와 x 의 위치에서 초음파 센서로부터 발생되어 물체에 입사되는 진동수 ω 의 (초음파) 입사파 f_i , 시험편으로부터의 반사파 f_r , 시험편 표면에서의 반사계수 R , k 는 초음파의 파수(wave number)일 때 반사파 f_r 를 아래처럼 구하는 단계;

[0007]
$$f_r(kx + \omega t) = R \cdot f_i(kx + \omega t) \quad (1)$$

[0008] b. 특정한 시간 $t = t_0$ 에서의 시험편의 위치를 기준위치라고 하고 이때를 $x=0$ 라고 할 때 위의 식(1)을 아래와 같이 구하는 단계;

[0009]
$$f_r(\omega t_0) = R \cdot f_i(\omega t_0) \quad (2)$$

[0010] c. 이제 시험편이 t_0 후에 $t = t_0$ 로부터 $t = t + t_0$ 로 바뀌어 $x=0$ 로부터 새로운 위치 $x = u(t)$ 로 이동했을 때 시험편 표면에서의 반사파를 식 (2)로부터 아래와 같이 구하는 단계;

[0011]
$$f_r(ku(t) + \omega(t + t_0)) = R \cdot f_i(ku(t) + \omega(t + t_0)) \quad (3)$$

[0012] d. 식(3)에서 식(2)를 뺀 결과 $g(t)$ 를 아래와 같이 구하는 단계;

[0013]
$$g(u, t) = f_r(ku(t) + \omega(t + t_0)) - f_r(\omega(t + t_0))$$

[0014]
$$= R \cdot [f_i(ku(t) + \omega(t + t_0)) - f_i(\omega(t + t_0))] \quad (4)$$

[0015] e. 식(4)의 형태로부터 초음파 신호 $g(u, t)$ 는 $ku(t)$ 만큼 변위가 지연되고 x 방향으로 진행하는 두 개의 입사파 f_i 의 차이를 나타내며, 물체의 운동 $u(t)$ 가 초음파의 파장과 비교해서 작다고 가정하고 물체의 운동속도가 초음파의 속도(c)보다 매우 느리다고 가정하면 ($\frac{u}{c}, \frac{u}{c} \ll 1$) 식(4)를 $t_0=0$ 에서 Taylor 급수전개에 의하여 아래와 같이 구하는 단계;

[0016]
$$g(u, t) = R \cdot [f_i(ku(t) + \omega t_0) - f_i(\omega t_0)]$$

[0017]
$$= R \cdot \left[(ku) \cdot \frac{\partial f_i}{\partial (ku)} \Big|_{u_0} + (ku)^2 \cdot \frac{\partial^2 f_i}{\partial (ku)^2} \Big|_{u_0} + \dots \right]$$

$$\approx R \cdot u \cdot \frac{\partial f_i}{\partial u} \Big|_{u_0} \quad (5)$$

f. 식(5)에서 $t_0=0$ 라고 가정하고 변수 u 와 t 에 대해 다음과 같이 새로운 변수 r 을 도입하면

$$r = k u + \omega t \quad (6)$$

변수 u 와 t 를 새로운 변수 r 로 변수치환하여 식(7)을 구하고,

$$\frac{\partial f_i}{\partial u} = \frac{\partial r}{\partial u} \frac{\partial f_i}{\partial r} = k \frac{\partial f_i}{\partial r}, \quad \frac{\partial f_i}{\partial t} = \frac{\partial r}{\partial t} \frac{\partial f_i}{\partial r} = (\omega \frac{\partial u}{\partial t} + \omega) \cdot \frac{\partial f_i}{\partial r} \quad (7)$$

식(5) 우변의 u 에 대한 f_i 의 미분을 식(7)을 이용하여 아래와 같이 구하는 단계;

$$\frac{\partial f_i}{\partial u} = \frac{k}{k(\frac{\partial u}{\partial t}) + \omega} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial t} = \frac{1}{v(t) + c} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial t} \quad (8)$$

여기서, $v(t) = \frac{\partial u(t)}{\partial t}$ 는 시간 t 일 때의 운동 물체의 x 방향 속도이고 $c = \frac{\omega}{k}$ 는 사용된 초음파의 속도,

g. 식(8)을 식(5)에 대입하고 함수 g 를 시간의 함수로 아래와 같이 구하는 단계;

$$g(t) \approx \frac{R}{v(t) + c} \cdot u(t) \cdot \frac{\partial f_i(t)}{\partial t} \Big|_{t=0} \quad (9)$$

h. 진동의 속도가 초음파의 속도에 비해 매우 작고 시험편의 속도 $v(t)$ 는 초음파의 속도 c 와 비교해 무시할 수 있다는 가정 하에 식(9)로부터 아래와 같이 구하는 단계;

$$g(t) \approx R \cdot s \cdot u(t) \cdot \frac{\partial f_i(t)}{\partial t} \Big|_{t=0} \quad (10)$$

여기서, s 는 초음파의 slowness(속도의 역수= $1/c$)임,

i. 입사파 $f_i(kx + \omega t)$ 로부터 $\frac{\partial f_i(t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = \omega f_i(0)$ 이 되므로 식(10)을 아래 관계식으로 표시하는 단계; 및

$$g(t) \approx R \cdot s \cdot u(t) \cdot \omega \cdot f_i(0) \quad (11)$$

j. $g(t)$ 가 진동에 의한 변위 $u(t)$ 에 대하여 직접적으로 선형 비례한다는 사실로부터, 위 관계를 아래와 같이 간단한 진동변위로 표시하는 단계;를 포함하고,

$$g(t) \approx [R \cdot s \cdot \omega \cdot f_i(0)] \cdot u(t)$$

$$g(t) \approx \beta u(t) \quad \text{또는}$$

$$u(t) \approx \frac{1}{\beta} g(t) \quad (12)$$

이때 상수 $\beta = R \cdot k \cdot f_i(0)$ 이고 입사파 신호 f_i 의 초기($t=0$)값으로서 초음파 센서가 결정되면 정의되는 값이고, 식(12)로부터 진동변위 $u(t)$ 를 구하는 초음파 진동변위 측정방법을 제공한다.

도면의 간단한 설명

도 1은 진동체에서의 초음파 입사와 반사 관계를 보여주는 도면;

도 2는 본 발명의 일례의 일 실시예를 보여주는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040] 도 1과 같이 면의 변위 진동(out-of-plane)을 하는 물체가 어떤 시간 t 에서 x 의 위치에 놓여있다고 하자(실선 부분). 이 물체는 진동하기 때문에 미소시간이 지난 후에는 점선과 같은 위치 $u(t)$ 로 이동하였다고 가정할 수 있다.

[0041] 시간 t 와 x 의 위치에서 초음파 센서로부터 발생되어 물체에 입사되는 진동수 ω 의 입사파를 f_i 라고 할 때 이에 의해 만들어지는 물체로부터의 반사파를 f_r 라고 하면 물체 표면에서의 반사계수가 R 일 때 반사파 f_r 은 다음처럼 표현된다.

$$[0043] \quad f_r(kx + \omega t) = R \cdot f_i(kx + \omega t) \quad (1)$$

[0045] 여기서, k 는 초음파의 파수(wave number)이다. 만약 특정한 시간 $t = t_0$ 에서의 물체의 위치를 기준위치라고 하고 이때를 $x=0$ 라고 하면 식(1)은 간단히 다음 식으로 표현된다.

$$[0046] \quad f_r(\omega t_0) = R \cdot f_i(\omega t_0) \quad (2)$$

[0048] 이제 물체가 t 초 후에 $t = t_0$ 로부터 $t = t + t_0$ 로 바뀌어 $x=0$ 로부터 새로운 위치 $x = u(t)$ 로 이동한다면 그때 물체의 표면에서의 반사파는 식(2)로부터 다음과 같이 표현된다.

$$[0049] \quad f_r(ku(t) + \omega(t + t_0)) = R \cdot f_i(ku(t) + \omega(t + t_0)) \quad (3)$$

[0051] 식(3)에서 식(2)를 빼어주고 그 결과를 $g(t)$ 라고 정의하면 $g(t)$ 는 간단히 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$[0053] \quad g(u, t) = f_r(ku(t) + \omega(t + t_0)) - f_r(\omega(t + t_0))$$

$$[0054] \quad = R \cdot [f_i(ku(t) + \omega(t + t_0)) - f_i(\omega(t + t_0))] \quad (4)$$

[0056] 식(4)의 형태로부터 초음파 신호 $g(u, t)$ 는 $ku(t)$ 만큼 변위 delay를 가지고 x 방향으로 진행되는 두 개의 입사파 f_i 의 차이를 나타내게 된다. 물체의 운동 $u(t)$ 가 초음파의 파장과 비교해서 작다고 가정하고 물체의 운동속도가 초음파의 속도(c)보다 매우 느리다고 가정하면 ($\frac{u}{c}, u(t) \ll ct$) 식(4)는 $t_0=0$ 에서 Taylor 급수전개에 의하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$[0058] \quad g(u, t) = R \cdot [f_i(ku(t) + \omega t_0) - f_i(\omega t_0)]$$

$$[0059] \quad = R \cdot \left[(ku) \cdot \frac{\partial f_i}{\partial (ku)} \Big|_{u_0} + (ku)^2 \cdot \frac{\partial^2 f_i}{\partial (ku)^2} \Big|_{u_0} + \dots \right]$$

$$[0060] \quad \simeq R \cdot u \cdot \frac{\partial f_i}{\partial u} \Big|_{u_0} \quad (5)$$

[0062] 식(5)에서 유도를 편리하게 하기 위해 $t_0=0$ 라고 가정하고, 변수 u 와 t 에 대해 다음과 같이 새로운 변수 r 을 도입하면

$$[0064] \quad r = kx + \omega t \quad (6)$$

[0066] 변수 u 와 t 를 새로운 변수 r 로 변수치환이 다음 식(7)과 같이 가능하다.

$$[0068] \quad \frac{\partial f_i}{\partial u} = \frac{\partial r}{\partial u} \frac{\partial f_i}{\partial r} = k \frac{\partial f_i}{\partial r}, \quad \frac{\partial f_i}{\partial t} = \frac{\partial r}{\partial t} \frac{\partial f_i}{\partial r} = (k \frac{\partial u}{\partial t} + \omega) \cdot \frac{\partial f_i}{\partial r} \quad (7)$$

[0070] 그리고 식(5) 우변의 u 에 대한 f_i 의 미분을 식(7)을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$[0071] \quad \frac{\partial f_i}{\partial u} = \frac{k}{k(\frac{\partial u}{\partial t}) + \omega} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial t} = \frac{1}{v(t) + c} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial t} \quad (8)$$

[0073] 여기서, $v(t) = \frac{\partial u(t)}{\partial t}$ 는 시간 t 일 때의 운동 물체의 x 방향 속도이고 $c = \frac{\omega}{k}$ 는 사용된 초음파의 속도이다. 이러한 관계식 (8)을 식(5)에 대입하고 함수 g 를 시간의 함수로만 표현하면 다음과 같다.

$$[0075] \quad g(t) \approx \frac{R}{v(t) + c} \cdot u(t) \cdot \frac{\partial f_i(t)}{\partial t} \Big|_{t=0} \quad (9)$$

[0077] 통상 진동의 속도는 초음파의 속도에 비해 매우 작으므로 물체의 속도 $v(t)$ 는 초음파의 속도 c 와 비교해서 무시할 수 있다. 이러한 가정 하에서 식(9)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$[0079] \quad g(t) \approx R \cdot s \cdot u(t) \cdot \frac{\partial f_i(t)}{\partial t} \Big|_{t=0} \quad (10)$$

[0081] 여기서, s 는 초음파의 slowness(속도의 역수= $1/c$)를 나타낸다. 그리고 입사파가 $f_i(kx + \omega t)$ 로 주어지므로 $\frac{\partial f_i(t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = \omega f_i(0)$ 이 되므로 식(10)은 다음처럼 간단한 관계식으로 표시된다.

$$[0083] \quad g(t) \approx R \cdot s \cdot u(t) \cdot \omega \cdot f_i(0) \quad (11)$$

[0085] $g(t)$ 가 진동에 의한 변위 $u(t)$ 에 대하여 직접적으로 선형 비례한다는 것을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이 관계를 좀 더 간단히 진동변위로 표시하기 위해 식(10)을 달리 표현하면

$$[0086] \quad g(t) \approx [R \cdot s \cdot \omega \cdot f_i(0)] \cdot u(t) \quad \text{혹은}$$

[0087] $g(t) \approx \beta u(t)$

[0088]
$$u(t) \approx \frac{1}{\beta} g(t) \quad (12)$$

[0089] 이 되며 여기서 상수 $\beta = R \cdot k \cdot f_i(0)$ 이다. 상수 β 는 입사파 신호 f_i 의 초기($t=0$)값으로서 이론적으로 결정되는 값은 아니지만 초음파 센서가 결정되면 정의되는 값이다. 따라서 비록 그 값을 모르더라도 실험을 통해 결정할 수 있는 값이므로 상수라고 가정할 수 있다. 결국 식(12)에서 우변은 상수항 β 와 변위 $u(t)$ 의 곱으로 이루어지므로 좌변의 신호 $g(t)$ 는 변위 $u(t)$ 와 선형적 관계가 있음을 보여주고 있다. 즉, $g(t)$ 와 변위 $u(t)$ 의 선형 비례상수는 β 이며 반사계수 R과 초음파의 파수, 그리고 상수값 $f_i(0)$ 의 곱으로 이루어진 상수이다. 따라서 $g(t)$ 를 실험적으로 측정하면 그 때 진동 변위 $u(t)$ 는 식 (12)에서 얻어질 수 있음을 알 수 있다.

[0090] β 값의 실험적 산출은 대상 물체를 정지한 상태에서 초음파의 반사파를 측정하고 물체를 특정한 미소변위, 가령 0.1mm를 움직인 후 다시 얻어지는 초음파 반사파로부터 초기의 반사파와 비교하여 간단하게 결정할 수 있다. 그러므로 이 값은 사용하는 초음파의 주파수와 크기, 대상 물체의 종류(금속, 나무, 플라스틱등)가 결정되면 손쉽게 구하거나 미리 계산되어 사용자에게 제공될 수 있다.

[0091] $g(t)$ 의 측정은 $g(t)$ 의 정의가 식 (4)에서 입사파와 반사파의 차이이므로 실험적으로 쉽게 결정할 수 있는데 $g(t)$ 의 측정을 통해 진동체의 변위 $u(t)$ 를 계산해 낼 수 있다.

[0092] 실시예

[0093] 본 발명에서 제시한 측정이론의 실효성을 증명하기 위해서 변위측정 실험을 수행하였다. 10MHZ 초음파 센서로도 2와 같이 마이크로미터 위에 설치하였다. 실험방법은 마이크로미터 위에 부착된 소형 판을 수직방향으로 이동시켜 가면서 마이크로 미터에 의해 이동된 변위와 초음파 반사파($g(t)$)로 측정한 이동거리를 동시에 측정/비교하였다.

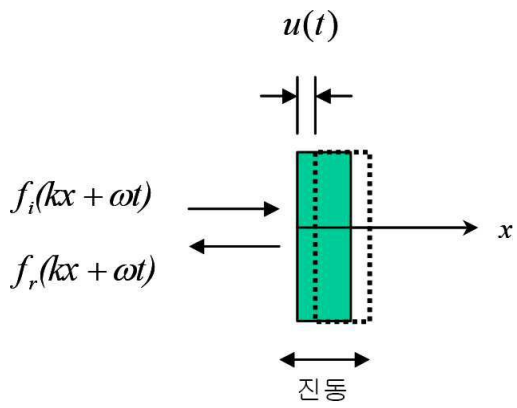
[0094] 마이크로미터 끝단이 임의의 기준위치 $u=0$ 에 놓여 있을 때, 식(11)의 반사파 $g(t)$ 는 $u(t)=0$ 이므로 식(4)에 의해 주어진 $g(t)$ 의 정의에 의해 제로가 된다. 다음으로 마이크로미터의 변위(수평축)를 $u=0$ 부터 10mm씩 증가/감소시키면서 -70mm에서 +70mm까지 초음파 반사파인 $g(t)$ 의 크기(수직축)를 측정하였는데 이때의 결과가 Fig. 3에 나타나 있다. Fig. 3으로부터 변위 $u(t)$ 가 증가함에 따라 $g(t)$ 의 크기가 선형적으로 늘어남을 알 수 있는데 이것은 식 (12)의 발명 이론과 일치하는 결과이다(도 3 참조)

[0095] 이러한 $g(t)$ 의 특성을 이용하면 진동 변위 측정이 가능하며 본 발명의 내용을 실험적으로 실증하였다.

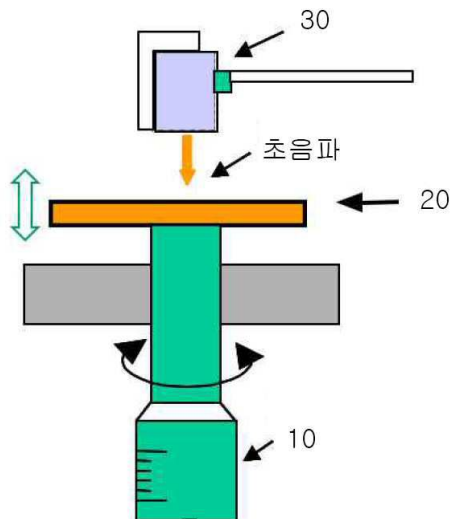
[0096] 본 발명은 종래의 진동측정 센서인 가속도계와는 달리 초음파를 사용하기 때문에 진동체에 직접 부착할 필요가 없고 전자기 유도방식인 eddy-current 기술의 갭센서(proximiter)와 달리 진동체가 고체가 아닌 유체일지라도 측정이 가능하다. 또한 가속도계와 같이 접촉매질이 필요치 않아 접촉불량에서 발생하는 오류가 없으며, 접촉을 위해 작업자가 일일이 일정한 힘으로 누르지 않아도 되므로 작업자의 접촉압력의 차이로 인해 발생하는 통계적 불량이나 잘못된 판정사례가 있을 수 없다. 또한 전자기 유도 방식의 센서들이 진동체에 가까이 위치되어야 측정이 가능한 반면에 본 발명에서의 초음파 측정기술은 상당히 먼 거리(수m)까지 진동체와 격리되어 있더라도 진동의 측정이 가능하다. 이러한 장점으로 원격 진동측정이나 유해환경등에서 진동을 측정할 수 있다. 이점은 레이저를 이용한 레이저 vibrometer와 유사하지만 본 발명에서 사용하는 초음파 센서와 측정 circuit은 매우 간단히 구현하고 저가이기 때문에 비용면에서 매우 효과적이라고 할 수 있다. 따라서 본 발명은 비교적 간단한 초음파 발생장치와 수학적 연산회로를 통해 상대적으로 정밀한 진동계측이 가능하면서도 고체와 유체등 대상물체의 다양한 선택이 가능하므로 생산성과 비용이 대폭 개선될 것으로 기대된다.

도면

도면1



도면2



도면3

