(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0021918
(43) 공개일자 2023년02월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01K 11/24 (2006.01) *G01B 17/04* (2006.01)
G01H 9/00 (2006.01) *G10K 11/24* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01K 11/24 (2013.01)
G01B 17/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0103908
(22) 출원일자 2021년08월06일
심사청구일자 2021년08월06일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
박영우
대전광역시 유성구 가정로 43 한울아파트 107동 503호
유은주
세종특별자치시 보람로 96, 2007동 403호 (도담동, 한양수자인에듀파크아파트)
(74) 대리인
특허법인서한

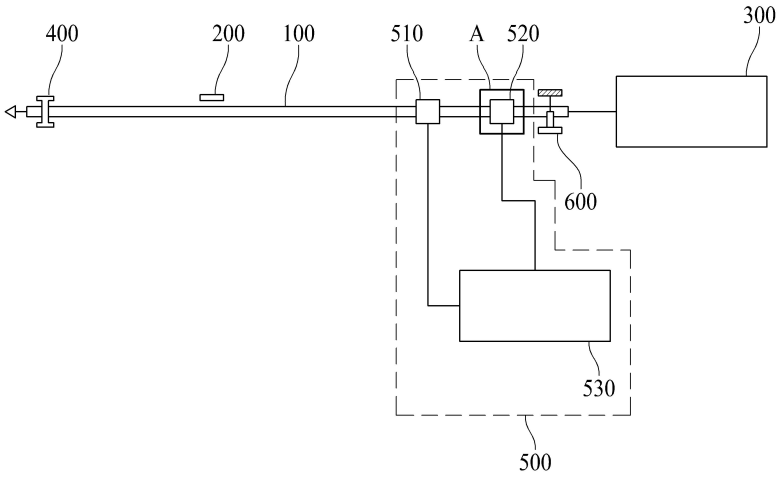
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치 및 그의 측정 방법**

(57) 요 약

초음파 도파로로 사용되는 자기변형 와이어; 상기 와이어의 길이 방향 중 어느 일 위치에 고정 배치되는 반사지점부; 상기 와이어의 일단에 배치되며, 상기 와이어에 펄스 전류를 인가하여 상기 와어어의 주변에 상기 와이어에 대한 원주 방향의 제2자기장을 제공하는 펄스송신부; 상기 와이어의 타측에 배치되어, 상기 와이어를 고정시키는 와이어고정부; 및 상기 와이어를 따라 상기 제2자기장이 이동하여 상기 반사지점부와 만나는 지점에서 제3자기장이 형성되면, 상기 제3자기장에 의한 변화를 검출하는 제1센싱코일부를 통해 상기 반사지점부의 온도를 측정하는 수신유닛;을 포함하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치를 제공한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01H 9/004 (2013.01)
G10K 11/24 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415164036
과제번호	20161520101300
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	원자력핵심기술개발(R&D)
연구과제명	사용후 핵연료 소내 건식 보관용기의 온도측정 기반 상태 감시 시스템 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)엔에스이
연구기간	2016.12.01 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

초음파 도파로로 사용되는 자기변형 와이어;

상기 와이어의 길이 방향 중 어느 일 위치에 고정 배치되는 반사지점부;

상기 와이어의 일단에 배치되며, 상기 와이어에 펄스 전류를 인가하여 상기 와어어의 주변에 상기 와이어에 대한 원주 방향의 제2자기장을 제공하는 펄스송신부;

상기 와이어의 타측에 배치되어, 상기 와이어를 고정시키는 와이어고정부; 및

상기 와이어를 따라 상기 제2자기장이 이동하여 상기 반사지점부와 만나는 지점에서 제3자기장이 형성되면, 상기 제3자기장에 의한 변화를 검출하는 제1센싱코일부를 통해 상기 반사지점부의 온도를 측정하는 수신유닛;을 포함하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 반사지점부는 상기 와이어의 주변에 상기 와이어에 대한 축 방향의 제1자기장을 제공하는 마그네틱 재질인 것을 특징으로 하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 반사지점부가 복수 개가 형성되면, 상기 반사지점부의 각 온도값에 대한 평균이 온도 측정의 대상에 대한 온도인 것을 특징으로 하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 수신유닛은 상기 제1센싱코일부를 통해 반사 신호를 분석하는 신호처리부;를 더 포함하고,

상기 신호처리부는 상기 제2자기장에 의한 변화가 검출되는 제b시간과 상기 제3자기장에 의한 변화가 검출되는 제c시간 사이의 시간 차이인 제d시간차를 이용하여 상기 반사지점부의 온도를 측정하는 온도측정알고리즘을 내장하는 것을 특징으로 하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 신호처리부는,

어느 일 기준 온도에서 상기 제2자기장에 의한 변화가 검출되는 제b1시간과 상기 제3자기장에 의한 변화가 검출되는 제c1시간 사이의 시간 차이인 제d1시간차를 미리 산출하고,

온도 측정의 대상을 통해 상기 제2자기장에 의한 변화가 검출되는 제b2시간과 상기 제3자기장에 의한 변화가 검출되는 제c2시간 사이의 시간 차이인 제d2시간차를 실시간 산출한 후,

상기 제d2시간차와 상기 제d1시간차 사이의 시간 차이인 제d3시간차를 최종 산출하여, 상기 반사지점부의 온도

를 측정하는 것을 특징으로 하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 온도측정알고리즘은 상기 반사지점부의 온도가 상승하는 온도상승구간과 상기 반사지점부의 온도가 하강하는 온도하강구간에 따라 서로 다른 것을 특징으로 하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 수신유닛은 상기 제3자기장에 의한 변화를 검출하여 상기 와이어의 비틀림 변위를 측정하는 제2센싱코일부;를 더 포함하고,

상기 제1센싱코일부의 배치 위치에 따라 측정불감대영역이 서로 다른 위치에 형성되며, 상기 제2센싱코일부는 상기 측정불감대영역 내에 배치되는 것을 특징으로 하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따른 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치 중 수신유닛에 내장되는 온도측정알고리즘에 의한 온도 측정 방법으로서,

상기 제1센싱코일부를 통해 반사 신호를 수집하는 제1단계;

미리 설정되는 어느 일 기준온도에서 초음파의 전파 시간을 산출하고, 피측정대상에 대해 초음파의 전파 시간을 산출한 후, 온도 변화에 따른 초음파의 전파 시간 차이를 계산하는 제2단계;

온도상승구간 및 온도하강구간에서 상기 온도 변화에 따른 초음파의 전파 시간 차이를 입력값으로 하는 함수를 각각 산출하는 제3단계; 및

상기 함수를 이용하여 피측정대상의 실시간 온도를 산출하는 제4단계;를 포함하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 자기변형원리를 이용한 온도 측정 장치 및 그의 측정 방법에 관한 것으로서, 특히 자기변형 와이어에 대한 비틀림 파를 검출하여 피측정대상에 대한 온도를 측정할 수 있는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 온도는 물리적 상태량 중 하나이며, 변위(Displacement), 압력(Pressure), 저항(Resistance), 주파수(Frequency) 등 다른 물리량을 먼저 계측한 뒤 이를 변환하는 방법으로 측정된다. 현재 산업 전반에 걸쳐 가장 많이 이용되는 것은 저항값의 변화를 통해 온도를 측정하는 방식의 열전대(Thermocouple)이다. 열전대는 온도를 측정하고자 하는 지점에 직접 부착, 설치하기 때문에 설치가 간단, 용이하며 열 관성이 낮고, 측정 오차가 작은 장점이 있다.

[0003] 그러나, 동일한 온도 조건하에서 장기간 사용할 경우, 온도 변화는 없지만 계측되는 저항값이 서서히 떨어지는 드래프트 오류(Draft error)가 발생할 수 있고, 설치 과정에서 용접 상태(Poor junction connection)에 영향을 받기 때문에 주기적으로 교정(Calibration) 작업이나 교체를 해주어야 한다. 또한, 열전대는 측정하고자 하는 지점에 부착된 단일 지점에서의 온도를 측정하기 때문에 열 분포를 확인하거나 다양한 지점에서의 온도 측정이 요구되는 경우에는 그 측정 수 만큼 설치해야 한다는 단점이 있었다.

[0004] 최근 다중 지점(Multi-level 또는 Multi-point) 측정이 요구되는 기술적 니즈로 인해 초음파 도파로를 이용한 초음파 방식의 온도 측정에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그러나, 기존 초음파를 이용한 온도 측정 기술은 대부분 기체를 매질로 사용하는 방식으로 송, 수신부의 표면 관리, 측정 대상과 송, 수신부 사이의 장애물 영향, 주변 환경에 의한 난반사 등 다양한 문제점이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1954567 초음파 도파로를 이용한 표면 온도 측정 장치

(특허문헌 0002) 일본등록특허공보 제4453023 위치 검출 장치 부착 유체 압실린더

(특허문헌 0003) 한국등록특허공보 제10-0635397 실시간 온도보정을 수행하는 초음파에 의한 두께 측정 방법

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 실시예는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 고체인 와이어를 초음파 도파로로 사용하여 피측정대상 물체의 온도를 측정할 수 있는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.

[0007] 또한, 온도 측정이 이루어지는 공간에 대한 구조적 제한(곡선, 곡면 등)과 주변 환경에 따른 측정 한계를 해결할 수 있는 온도 측정 장치 및 측정 방법을 제공하고자 한다.

[0008] 또한, 온도 측정 장치에 적용 가능한 온도 측정 알고리즘을 제공하고자 한다. 이를 통해, 온도 측정 장치 및 그 측정 방법의 신뢰성을 보다 확보하고자 한다. 또한, 본 장치의 각 구성요소 사이의 결합 관계를 용이하게 하여 유지, 관리가 편리하도록 한다.

[0009] 또한, 나선형 자기장에 의해 발생하는 비틀림 파에 의한 자기장 변화 및 와이어의 비틀림 변위를 측정하고자 한다. 이를 통해, 온도 뿐만 아니라, 동시에 측정되는 물리량을 더 확대하고자 한다. 기존 초음파 방식의 측정 장치에 존재하는 측정 불감대 영역을 감소시키고자 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 실시예는 상기와 같은 과제를 해결하고자, 초음파 도파로로 사용되는 자기변형 와이어; 상기 와이어의 길이 방향 중 어느 일 위치에 고정 배치되는 반사지점부; 상기 와이어의 일단에 배치되며, 상기 와이어에 펄스 전류를 인가하여 상기 와어어의 주변에 상기 와이어에 대한 원주 방향의 제2자기장을 제공하는 펄스송신부; 상기 와이어의 타측에 배치되어, 상기 와이어를 고정시키는 와이어고정부; 및 상기 와이어를 따라 상기 제2자기장이 이동하여 상기 반사지점부와 만나는 지점에서 제3자기장이 형성되면, 상기 제3자기장에 의한 변화를 검출하는 제1센싱코일부를 통해 상기 반사지점부의 온도를 측정하는 수신유닛;을 포함하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치를 제공한다.

[0011] 상기 반사지점부는 상기 와이어의 주변에 상기 와이어에 대한 축 방향의 제1자기장을 제공하는 마그네틱 재질인 것이 바람직하다.

[0012] 상기 반사지점부가 복수 개가 형성되면, 상기 반사지점부의 각 온도값에 대한 평균이 온도 측정의 대상에 대한 온도인 것이 바람직하다.

[0013] 상기 수신유닛은 상기 제1센싱코일부를 통해 반사 신호를 분석하는 신호처리부;를 더 포함하고, 상기 신호처리부는 상기 제2자기장에 의한 변화가 검출되는 제b시간과 상기 제3자기장에 의한 변화가 검출되는 제c시간 사이의 시간 차이인 제d시간차를 이용하여 상기 반사지점부의 온도를 측정하는 온도측정알고리즘을 내장하는 것이 바람직하다.

[0014] 상기 신호처리부는, 어느 일 기준 온도에서 상기 제2자기장에 의한 변화가 검출되는 제b1시간과 상기 제3자기장에 의한 변화가 검출되는 제c1시간 사이의 시간 차이인 제d1시간차를 미리 산출하고, 온도 측정의 대상을 통해

상기 제2자기장에 의한 변화가 검출되는 제b2시간과 상기 제3자기장에 의한 변화가 검출되는 제c2시간 사이의 시간 차이인 제d2시간차를 실시간 산출한 후, 상기 제d2시간차와 상기 제d1시간차 사이의 시간 차이인 제d3시간차를 최종 산출하여, 상기 반사지점부의 온도를 측정하는 것이 바람직하다.

[0015] 상기 온도측정알고리즘은 상기 반사지점부의 온도가 상승하는 온도상승구간과 상기 반사지점부의 온도가 하강하는 온도하강구간에 따라 서로 다른 것이 바람직하다.

[0016] 상기 수신유닛은 상기 제3자기장에 의한 변화를 검출하여 상기 와이어의 비틀림 변위를 측정하는 제2센싱코일부;를 더 포함하고, 상기 제1센싱코일부의 배치 위치에 따라 측정불감대영역이 서로 다른 위치에 형성되며, 상기 제2센싱코일부는 상기 측정불감대영역 내에 배치되는 것이 바람직하다.

[0017] 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치 중 수신유닛에 내장되는 온도측정알고리즘에 의한 온도 측정 방법으로서, 상기 제1센싱코일부를 통해 반사 신호를 수집하는 제1단계; 미리 설정되는 어느 일 기준온도에서 초음파의 전파 시간을 산출하고, 피측정대상에 대해 초음파의 전파 시간을 산출한 후, 온도 변화에 따른 초음파의 전파 시간 차이를 계산하는 제2단계; 온도상승구간 및 온도하강구간에서 상기 온도 변화에 따른 초음파의 전파 시간 차이를 입력값으로 하는 함수를 각각 산출하는 제3단계; 및 상기 함수를 이용하여 피측정대상의 실시간 온도를 산출하는 제4단계;를 포함하는 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0018] 이상에서 살펴본 바와 같은 본 발명의 과제해결 수단에 의하면 다음과 같은 사항을 포함하는 다양한 효과를 기대할 수 있다. 다만, 본 발명이 하기와 같은 효과를 모두 발휘해야 성립되는 것은 아니다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치는 고체인 와이어를 초음파 도파로로 사용하여 피측정대상 물체의 온도를 측정할 수 있다. 또한, 온도 측정이 이루어지는 공간에 대한 구조적 제한(곡선, 곡면 등)과 주변 환경에 따른 측정 한계를 해결할 수 있다. 또한, 온도 측정 장치에 적용 가능한 온도 측정 알고리즘을 제공하여, 온도 측정 방법의 신뢰성을 보다 확보할 수 있다.

[0020] 또한, 나선형 자기장에 의해 발생하는 비틀림 파에 의한 자기장 변화 및 와이어의 비틀림 변위를 측정할 수 있다. 이를 통해, 온도 뿐만 아니라, 동시에 측정되는 물리량을 더 확대할 수 있다. 또한, 기존 초음파 방식의 측정 장치에 존재하는 측정 불감대 영역을 감소시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 일 실시예에 따른 초음파 방식의 온도 측정 장치의 개략적인 구성도.

도 2는 도 1의 온도 측정 원리를 보여주는 도면.

도 3은 펄스 전류가 인가된 경우, 제1센싱코일부에서 검출되는 초기 신호 및 반사 신호에 대한 그래프를 보여주는 도면.

도 4는 제1코일 내지 제4코일에 대한 개략도.

도 5는 자기변형 와이어의 온도 상승 구간에서, 인가되는 펄스 전류(Excitation pulse)와 반사지점부에서 반사되는 반사 신호(검출 신호, Detection signal)에 대한 오실로스코프 그래프를 보여주는 도면.

도 6은 자기변형 와이어의 온도 하강 구간에서, 인가되는 펄스 전류(Excitation pulse)와 반사지점부에서 반사되는 반사 신호(검출 신호, Detection signal)에 대한 오실로스코프 그래프를 보여주는 도면.

도 7은 도 1의 온도상승구간에서 3차 지수함수에 대한 추세선을 보여주는 그래프.

도 8은 도 1의 온도하강구간에서 3차 다항함수에 대한 추세선을 보여주는 그래프.

도 9는 일 실시예에 따른 초음파 방식의 온도 측정 방법의 개략적인 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 본 개시의 구성 및 효과를 충분히 이해하기 위하여, 첨부한 도면을 참조하여 본 개시의 바람직한 실시예들을 설명한다. 그러나 본 개시는 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라, 여러 가지 형태로 구현될 수 있고 다양한 변경을 가할 수 있다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기능에 대하여 이 분야의 기

술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.

[0023] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 개시의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

[0024] 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 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.

[0025] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 개시의 실시예들에서 사용되는 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 통상적으로 알려진 의미로 해석될 수 있다.

[0026] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 구체적인 실시예를 상세히 설명한다.

[0027] 도 1은 일 실시예에 따른 초음파 방식의 온도 측정 장치의 개략적인 구성도이고, 도 2는 도 1의 온도 측정 원리를 보여주는 도면이며, 도 3은 펄스 전류가 인가된 경우, 제1센싱코일부에서 검출되는 초기 신호 및 반사 신호에 대한 그래프를 보여주는 도면이고, 도 4는 제1코일 내지 제4코일에 대한 개략도이다.

[0028] 도 1 내지 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치는 와이어(100), 반사지점부(200), 펄스송신부(300), 와이어고정부(400), 수신유닛(500), 장력조절부(600) 등을 포함할 수 있다.

[0029] 자기변형이란, 자기장 속에서 강자성체 재료 내부의 자구(magnetic domain)가 자기장의 방향으로 정렬하면서 외형이 변하는 것 또는 이 반대의 현상을 모두 통칭한다. 자기변형은 1차원 자기장과 2차원 자기장 효과로 나뉘는데, 1차원 자기장 효과 중 줄 효과는 강자성체 재료 주변에 한 축 방향의 자기장을 인가하면 재료 내부의 자구가 인가된 자기장 방향으로 정렬되면서 길이 방향으로 변화하는 현상을 의미한다. 이를 대표적으로 자기변형효과라고 지칭한다.

[0030] 2차원 자기장 효과에는 위드만 효과 등이 있다. 2차원 자기장 효과는 1차원 자기장 효과를 기반으로 한다. 강자성체 재료 주변에 예를 들어, 영구자석을 위치시키면 축 방향의 자기장이 형성되고, 재료에 직접 전류를 인가하면 원주 방향 자기장이 형성된다. 그리고, 축 방향과 원주 방향 자기장이 동시에 인가되면 어느 일 지점에서 만나 합 벡터 방향의 비틀어진 나선형 자기장이 유도된다. 그리고, 이를 통해 재료는 비틀어지는데, 이를 위드만 효과라고 한다.

[0031] 와이어(100)는 초음파 도파로로 사용되며, 강자성체인 자기변형 재료로 형성된다. 이 때, 와이어(100)의 직경은 1mm 이하인 것이 바람직하다. 초음파 도파로로 와이어(100)를 사용하면 10m 이상 긴 거리 측정이 가능하고, 외부 환경(먼지나 기름 등)에 대한 강건성이 우수하다는 장점을 갖는다. 또한, 와이어(100)는 휨이 가능한 형태인 바, 직선(평면) 뿐만 아니라 곡선(곡면) 등 다양한 형체에 고정, 설치 가능하다.

[0032] 또한, 일 실시예에 따른 와이어(100)는 직경이 1mm 이하인 바, 미세 공간 등 기존 구조적 한계에 따른 설치 어려움 등의 문제점을 해결할 수 있다. 일 실시예에 따른 와이어(100)는 니켈-철 합금인 $Ni_{50}Fe_{50}$을 사용하며, 직경은 1mm이다. 와이어(100)는 온도 측정의 대상에 예를 들어, 고온용 접착제를 통해 부착될 수 있다. 그 결과, 피측정대상의 표면 열은 와이어(100)로 원활하게 전달될 수 있다.

[0033] 반사지점부(200)는 펄스송신부(300)를 통해 인가되는 펄스 전류가 반사되는 지점을 의미한다. 반사지점부(200)는 와이어(100)의 길이 방향 중 어느 일 위치에 고정 배치되어, 와이어(100) 주변에 와이어(100)에 대한 축 방향의 제1자기장(H_A)을 제공한다. 이런, 반사지점부(200)는 동일 세기를 갖는 축 방향의 제1자기장을 와이어(100) 주변에 지속적으로 인가할 수 있다. 일 실시예에 따른 반사지점부(200)는 원기둥 형상이며, 마그네틱 재질로 형성될 수 있다. 또한, 반사지점부(200)는 와이어(100)의 외주연 예를 들어, 와이어의 상측 공간에 고정될 수 있다.

[0034] 또한, 일 실시예에 따른 온도 측정 장치는 와이어(100)의 외주면에 형성되는 적어도 하나 이상의 홈(미도시)으로 형성되는 보조반사지점부를 더 포함할 수 있다. 이 때, 와이어(100)에 대한 원주 방향의 제2자기장이 이동하여 홈과 만나는 지점에서 종파(Longitudinal Wave)가 형성될 수 있다. 그리고, 이런 종파에 의한 변화는 제1센싱코일부(510)를 통해 검출되어, 보조반사지점부의 온도를 측정할 수 있도록 한다.

[0035] 일 실시예에 따라, 반사지점부(200)가 복수 개가 형성되면, 반사지점부(200)의 각 온도값에 대한 평균이 온도 측정의 대상에 대한 온도일 수 있다. 이는 와이어(100)에 대한 길이 방향의 온도 구배가 심한 경우, 다중 측정을 통해 온도 편차를 보상할 수 있도록 한다.

[0036] 또한, 다른 실시예에 따라, 반사지점부(200)와 적어도 하나 이상의 보조반사지점부가 배치되는 경우, 각 온도값에 대한 평균이 온도 측정의 대상에 대한 온도일 수 있다. 이는 와이어(100)에 대한 길이 방향의 온도 구배가 심한 경우 다중 측정을 통해 온도 편차를 보상하기 위함이다.

[0037] 펄스송신부(300)는 와이어(100)의 일단에 배치되며, 와이어(100)에 펄스 전류를 인가하여 와어어의 주변에 와이어(100)에 대한 원주 방향 제2자기장(H_C)을 제공한다. 제2자기장은 와이어(100)를 따라 이동한다. 한편, 펄스 전류는 예를 들어, 컴퓨터, 데이터 수집 장치 및 전류 앰프를 순차적으로 거쳐 형성된다. 컴퓨터에 의해 인가될 펄스 파형이 설계되면, 데이터 수집 장치를 통해 펄스 파형이 출력되고, 이는 전류 앰프의 입력으로 입력되어 전압 대 전류 증폭비를 갖는 펄스 전류로 변환되어 와이어(100)에 인가된다. 한편, 인가되는 펄스 전류의 크기에 따라 제2자기장의 크기 역시 달라진다.

[0038] 와이어고정부(400)는 와이어(100)의 타측에 배치되어, 와이어(100)를 고정시킨다.

[0039] 수신유닛(500)은 와이어(100)를 따라 제2자기장이 이동하여 반사지점부(200)와 만나는 지점에서 제3자기장(H_T)이 형성되면, 제3자기장에 의한 변화를 검출하는 제1센싱코일부(510)를 통해 반사지점부(200)의 온도를 측정한다.

[0040] 반사지점부(200)가 마그네틱인 경우, 제3자기장은 제1자기장과 제2자기장의 각 비율에 따른 나선형 자기장의 형태일 수 있다. 한편, 나선형 자기장이 순간적으로 유도되면 와이어(100)가 순간적으로 비틀어지면서 비틀림 파가 형성된다. 이 때, 수신유닛은 제2센싱코일부(520)를 통해 이런 와이어(100)의 비틀림 변위를 측정할 수 있다. 그리고, 수신유닛(500)은 와이어(100)의 일측에 배치될 수 있다.

[0041] 제2자기장이 와이어(100)를 따라 이동할 때, 미소 관점에서 와이어(100)의 길이 방향으로 국부적 변형이 발생한다. 그 결과, 수신유닛(500)은 펄스송신부(300)에서 발생되는 제2자기장이 수신유닛(500)을 통과하면, 이를 유도 전압의 형태로 감지할 수 있다. 이 때, 감지되는 초기 신호에 대한 검출 시간을 T_0라고 한다. 한편, 유도 전압에 대한 감지는 특히, 제1센싱코일부(510)를 통해 이루어질 수 있다.

[0042] 제2자기장이 수신유닛(500)을 통과하여 와이어(100)를 따라 계속 이동하면 반사지점부(200)에 의한 축 방향의 자기장인 제1자기장과 만나게 된다. 그리고, 그 지점에서는 동시에 두 종류의 자기장이 만나면서 합 벡터 방향으로 나선형 자기장인 제3자기장(H_T)이 형성된다. 이 때, 와이어(100)는 제3자기장에 의한 변화에 의해 순간적으로 비틀어졌다가 다시 원래 상태로 복귀하게 된다. 그리고, 순간적인 비틀림 변형에 의해 와이어(100)에는 비틀림 파(Torsional wave)인 초음파가 유도되며, 이는 와이어(100)의 양 방향으로 전파된다.

[0043] 비틀림 파의 발생 위치에서 바로 수신유닛(500)을 향해 전파되는 비틀림 파가 제1센싱코일부(510)를 통과하면 이 때, 감지되는 반사 신호에 대한 검출 시간을 T_1이라고 한다. 여기서, 초음파의 전파 시간(TOF)은 T_1-T_0 이다. TOF는 제1센싱코일부(510)에서 반사지점부(200)의 위치까지 제1자기장이 이동하고, 반사지점부(200)에서 형성된 비틀림 파가 바로 제1센싱코일부(510)로 돌아온 시간을 의미한다.

[0044] 한편, 초음파의 전파 속도는 온도에 따라 변화하게 된다. 그리고, 반사지점부(200)의 위치는 고정되어 있는 바, 초음파의 전파 시간(TOF)은 온도에 의존적인 관계가 된다. 온도 변화에 따른 초음파의 전파 시간의 차이(DTOF)는 어느 일 기준 온도에서 초음파의 전파 시간(TOF_R)과, 온도 측정의 대상을 통해 산출되는 초음파의 전파 시간(TOF_C) 사이의 관계로 표현할 수 있다. ($DTOF = TOF_C - TOF_R$) 즉, 초음파의 전파 시간(TOF_C)을 측정하면, DTOF를 이용하여, 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정이 가능하다.

[0045] 본 발명의 일 실시예에 따른 제1센싱코일부(510)는 솔레노이드 구조의 제1코일(511) 및 1축 헬름홀츠 구조의 제2코일(512) 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 일 실시예에 따른 제1코일(511)은 구리 재질의 셀프-본딩 와이어가

1000턴(turn) 감겨지는 방법으로 형성될 수 있다. 그리고, 제1코일(511) 내부 중앙에는 일정 직경의 홀(hole 또는, 공극)이 형성될 수 있다.

[0046] 한편, 제2코일(512)인 헬름홀츠 구조는 제1코일(511)인 솔레노이드 구조에 비해 와이어(100)의 변화를 감지하는데 있어 미세한 자기장 변화를 보다 더 잘 감지할 수 있다. 이 때, 제2코일(512)의 형상 조건은 두 개의 원형 코일이 동일 축 선상에 평행으로 배치되고, 두 원형 코일 사이의 거리(L2)는 원형 코일의 반경(R)과 동일해야 한다.

[0047] 또한, 제1센싱코일부(510)의 배치 위치에 따라 측정불감대영역(A)이 서로 다른 위치에 형성되며, 제2센싱코일부(520)는 측정불감대영역(A) 내에 배치될 수 있다. 측정불감대영역(A)은 초음파를 이용하는 측정 장치에서 존재하기 마련이다. 이는 반사지점부(200)가 수신유닛(500) 내의 제1센싱코일부(510)에 근접하여 위치하게 되면, 펄스송신부(300)에서 인가되는 펄스 신호와 반사지점부(200)에 의한 반사 신호(초음파)가 서로 중첩되어 검출신호가 구별되지 않는 현상에 의해 발생할 수 있다.

[0048] 또한, 반사지점부(200)가 와이어(100)의 타단에 근접하여 위치하게 되면, 제3자기장에 의해 형성되는 비틀림 파로 인해 1) 반사지점부(200)에서 제1센싱코일부(510)로 직접 반사되는 것과 2) 반사지점부(200)에서 와이어고정부(400) 방향으로 이동한 후, 와이어고정부(400)에서 반사되어 제1센싱코일부(510)로 이동하는 것 사이의 차이가 작게 된다. 이로 인해 측정불감대영역(A)이 발생할 수 있다.

[0049] 수신유닛(500)은 측정불감대영역(A)을 줄이기 위해 제2센싱코일부(520)를 더 포함한다. 제2센싱코일부(520)는 2축 헬름홀츠 구조의 제3코일(521) 및 3축 헬름홀츠 구조의 제4코일(522) 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 2축 구조는 1축 구조에서 수직 방향으로 헬름홀츠 구조가 더 추가되는 것을 의미한다. 1축 구조가 X축 방향인 경우, 2축 구조는 XY축 방향 및 XZ축 방향 중 어느 하나가 된다. 이 때, 3축 구조는 XYZ축 방향이 된다.

[0050] 이 때, 제3코일(521) 및 제4코일(522)은 제3자기장에 의해 형성되는 비틀림 파가 와이어고정부(400)를 통해 반사되어 제2센싱코일부(520)로 이동하는 반사 신호를 검출한다. 비틀림 파는 2방향(와이어(100)의 축 방향과 와이어(100)의 원주 방향)의 자기장을 발생시킨다. 그리고, 이는 와이어(100)의 비틀림 변위를 형성한다.

[0051] 일 실시예에 따른 제2센싱코일부(520)는 제3자기장에 의한 변화를 검출하여 와이어(100)의 비틀림 변위를 측정할 수 있다. 종래 와이어(100)에 대한 비틀림 변위를 측정하기 위해, 와이어 등에 스트레인 게이지를 설치 부착하였으나, 일 실시예에 따른 와이어(100)의 직경은 1mm 이하인 바, 스트레인 게이지를 설치하는 것이 불가능하다. 제2센싱코일부(520)는 이런 문제점을 해결할 수 있다.

[0052] 또한, 제2센싱코일부(520)는 비틀림 파에 의한 자기장을 측정할 수 있다. 이 때, 제3코일(521)은 2축 헬름홀츠 구조를 갖는 바, 축 별(2개)로 전압값을 각각 측정할 수 있다. 제2센싱코일부(520)는 각 전압값의 비율, 벡터합을 이용하여 자기장을 측정하게 된다. 한편, 제4코일(522)은 3축 헬름홀츠 구조를 갖는 바, 축 별(3개)로 전압값을 각각 측정할 수 있다.

[0053] 일 실시예에 따른 수신유닛(500)은 단일 부품으로 형성되며, 제1센싱코일부(510)를 통해 반사지점부(200)의 온도 측정 뿐만 아니라, 제2센싱코일부(520)를 통해 와이어(100)의 변위 및 제3자기장 측정이 가능한 바, 복수 개의 물리량을 동시에 측정할 수 있다.

[0054] 이 때, 와이어(100)는 제3코일(521) 및 제4코일(522) 중 어느 하나를 관통하거나 또는 나란하게 배치되는 것이 바람직하다. 와이어(100)는 제3코일(521) 및 제4코일(522) 중 어느 하나의 내부 중앙을 관통할 수 있다. 또한, 와이어(100)는 제3코일(521) 및 제4코일(522) 중 어느 하나와 평행하게 배치될 수 있다.

[0055] 수신유닛(500)은 제1센싱코일부(510)를 통해 반사 신호를 분석하는 신호처리부(530)를 더 포함할 수 있다. 여기서, 신호처리부(530)은 제2센싱코일부(520)를 통해 반사 신호를 분석할 수도 있다. 한편, 신호처리부(530)는 제1센싱코일부(510)를 통해 제2자기장에 의한 변화가 검출되는 제b시간(T_0)과 제3자기장에 의한 변화가 검출되는 제c시간(T_1) 사이의 시간 차이인 제d시간차(TOF)를 이용하여, 반사지점부(200)의 온도를 측정하는 온도측정알고리즘을 내장할 수 있다.

[0056] 구체적으로, 신호처리부(530)는 어느 일 기준 온도에서 제2자기장에 의한 변화가 검출되는 제b1시간과 제3자기장에 의한 변화가 검출되는 제c1시간 사이의 시간 차이인 제d1시간차를 미리 산출할 수 있다. 여기서, 제d1시간차는 전술한 어느 일 기준 온도에서 초음파의 전파 시간인 TOF_R 이다.

[0057] 또한, 신호처리부(530)는 온도 측정의 대상을 통해 제2자기장에 의한 변화가 검출되는 제b2시간과 제3자기장에

의한 변화가 검출되는 제c2시간 사이의 시간 차이인 제d2시간차를 실시간 산출할 수 있다. 또한, 제d2시간차는 전술한 초음파의 전파 시간인 TOF_C 이다.

[0058] 이를 통해, 신호처리부(530)는 제d2시간차와 제d1시간차 사이의 시간 차이인 제d3시간차를 최종 산출하여 반사지점부의 온도를 측정할 수 있다. 그리고, 제d3시간차는 온도 변화에 따른 초음파의 전파 시간의 차이(DTOF)에 해당된다.

[0059] 도 5는 자기변형 와이어의 온도 상승 구간에서, 인가되는 펄스 전류(Excitation pulse)와 반사지점부에서 반사되는 반사 신호(검출 신호, Detection signal)에 대한 오실로스코프 그래프를 보여주는 도면이고, 도 6은 자기변형 와이어의 온도 하강 구간에서, 인가되는 펄스 전류(Excitation pulse)와 반사지점부에서 반사되는 반사 신호(검출 신호, Detection signal)에 대한 오실로스코프 그래프를 보여주는 도면이다.

[0060] 도 7은 도 1의 온도 상승 구간에서 3차 지수함수에 대한 추세선을 보여주는 그래프이고, 도 8은 도 1의 온도 하강 구간에서 3차 다항함수에 대한 추세선을 보여주는 그래프이다.

[0061] 도 6 내지 도 8을 참조하면, 일 실시예에 따른 온도측정알고리즘은 반사지점부의 온도가 상승하는 온도상승구간과 반사지점부의 온도가 하강하는 온도하강구간에 따라 서로 다른 것을 특징으로 한다. 즉, 온도 측정 대상에 있어, 온도가 상승하는 추세에 있는 경우와, 온도가 하강하는 추세에 있는 경우를 달리한다. 이는, 자기변형 와이어(100)의 재료적 특성이 엘에 대한 히스테리시스를 가지고 있으며, 초음파의 전파 속도가 온도에 의존적인 관계인 것 등에 기인한다.

[0062] 예를 들어, 온도상승구간에서 반사지점부의 온도($T_{온도상승구간}$)는 3차 지수함수의 형태를 갖는 것이 바람직하다.

[0063] $T_{온도상승구간} = a1*e^{(DTOF/a2)} + b1*e^{(DTOF/b2)} + c1*e^{(DTOF/c2)} + d$ (여기서, a1, b1, c1, a2, b2, c2 및 d는 와이어의 재료 등 테스트 조건에 따라 변동되는 임의의 상수이고, e는 무리수인 자연 대수를 의미한다.)

[0064] 또한, 온도하강구간에서 반사지점부의 온도($T_{온도하강구간}$)는 3차 다항함수의 형태를 갖는 것이 바람직하다.

[0065] $T_{온도하강구간} = a*(DTOF)^3 + b*(DTOF)^2 + c*(DTOF) + d$ (여기서, a, b, c 및 d는 와이어의 재료 등 테스트 조건에 따라 변동되는 임의의 상수이다.)

[0066] 따라서, 반사지점부(200)의 위치가 고정되어 있더라도, 온도의 변화에 따라 각 반사 신호에서 유효신호지점(Effective signal point)이 달라진다. 신호처리부(530)는 유효신호지점을 통해 제3자기장에 의한 변화가 검출되는 제c시간(T_1)을 검출하게 된다. 여기서, 유효신호지점은 검출되는 반사 신호 중 관심영역을 분석할 때, 전압최대값에 해당될 수 있다. 이와 같이 전압최대값이 측정되면, 그 시간이 전술한 T_1이 된다.

[0067] 장력조절부(600)는 와이어(100)의 장력을 변경시킨다. 장력조절부(600)는 와이어(100)의 일측에 배치되어 주변 환경의 온도, 습도 등의 조건에 따라 와이어(100)에 일정 크기의 장력을 인가할 수 있다.

[0068] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기변형원리를 이용한 초음파 방식의 온도 측정 장치는 수신유닛(500)에 내장되는 온도측정알고리즘을 포함할 수 있다. 그리고, 온도측정알고리즘에 의한 온도 측정 방법은 제1단계 내지 제4단계를 포함할 수 있다.

[0069] 도 9는 일 실시예에 따른 초음파 방식의 온도 측정 방법의 개략적인 흐름도이다. 이를 참조하면, 제1단계는 제1센싱코일부(510)에서 반사 신호를 수집하는 단계이다.

[0070] 제2단계는 미리 설정되는 어느 일 기준온도에서 초음파의 전파 시간을 산출하고, 피측정대상에 대해 초음파의 전파 시간을 산출한 후, 온도 변화에 따른 초음파의 전파 시간 차이를 계산하는 단계이다. 전술한 것처럼, 온도 변화에 따른 초음파의 전파 시간의 차이(DTOF)는 어느 일 기준 온도에서 초음파의 전파 시간(TOF_R)과 온도 측정의 대상을 통해 산출되는 초음파의 전파 시간(TOF_C) 사이의 관계로 표현할 수 있다. ($DTOF = TOF_C - TOF_R$)

[0071] 그 다음, 제3단계는 온도상승구간 및 온도하강구간에서 온도 변화에 따른 초음파의 전파 시간 차이(DTOF)를 입력값으로 하는 함수를 각각 산출하는 단계이다. 일 실시예에 따른 온도측정알고리즘은 온도상승구간과 온도하강구간에서 서로 다른 함수를 사용하게 된다. 예를 들어, 온도상승구간에서 반사지점부의 온도($T_{온도상승구간}$)는 전술한 것처럼, 3차 지수함수의 형태를 갖는 것이 바람직하다. 또한, 온도하강구간에서 반사지점부의

온도($T_{온도하강구간}$)는 전술한 것처럼, 3차 다항함수의 형태를 갖는 것이 바람직하다.

[0072] 제4단계는 함수를 이용하여 피측정대상의 실시간 온도를 산출하는 단계이다. 예를 들어, 피측정대상이 온도가 상승하는 공간에 위치하는 경우, 피측정대상에 대한 온도는 다음에 의해 산출될 수 있다. 아래 수식에, DTOF를 입력하면 온도를 산출할 수 있다.

[0073] $T_{온도상승구간} = a1*e^{(DTOF/a2)} + b1*e^{(DTOF/b2)} + c1*e^{(DTOF/c2)} + d$ (여기서, a1, b1, c1, a2, b2, c2 및 d는 임의의 상수이고, e는 무리수인 자연 대수를 의미한다.)

[0074] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0075] 100: 와이어 200: 반사지점부

300: 펄스송신부 400: 와이어고정부

500: 수신유닛 600: 장력조절부

510: 제1센싱코일부 520: 제2센싱코일부

511: 제1코일 512: 제2코일

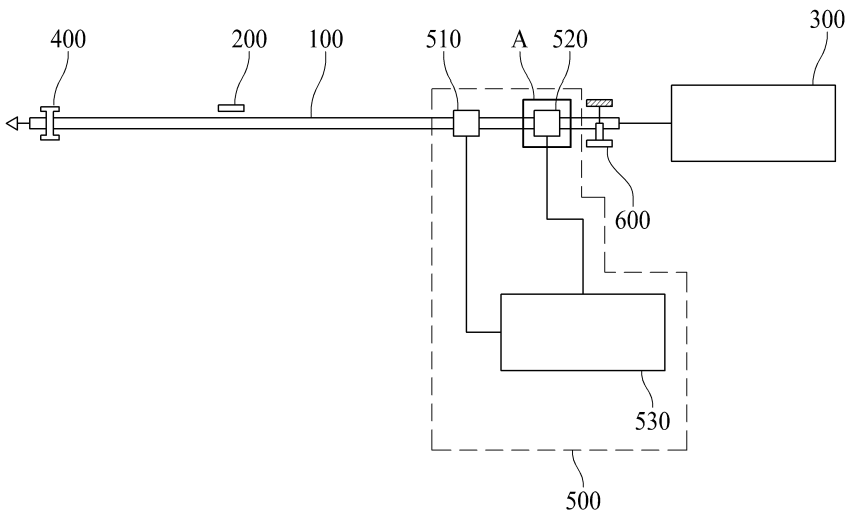
521: 제3코일 522: 제4코일

530: 신호처리부

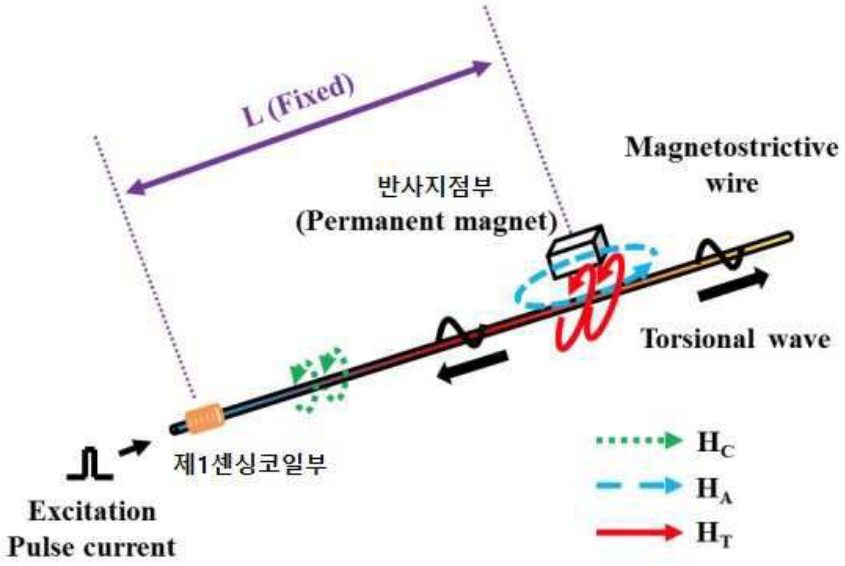
A: 측정불감대영역

도면

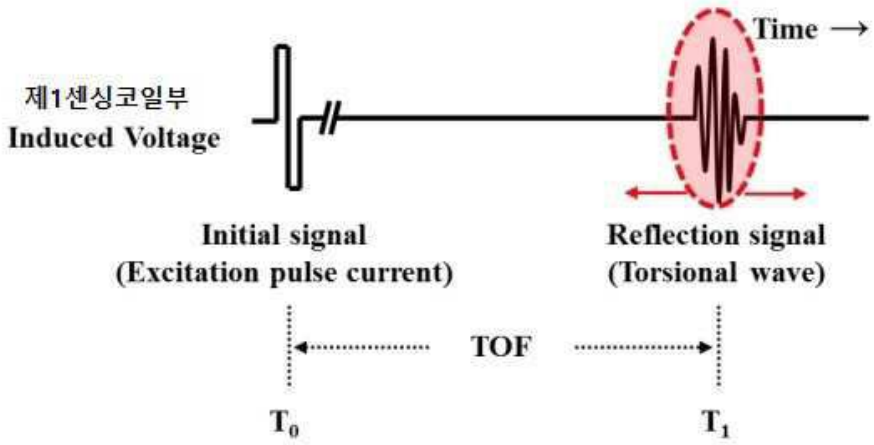
도면1



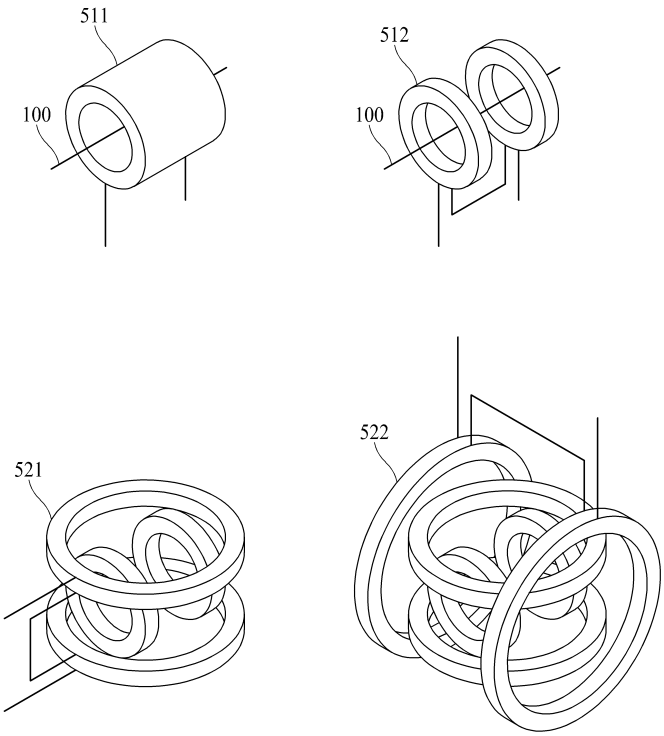
도면2


L (Fixed)
Magnetostrictive wire
반사지점부
(Permanent magnet)
Torsional wave
제1센싱코일부
Excitation
Pulse current
H_C
H_A
H_T

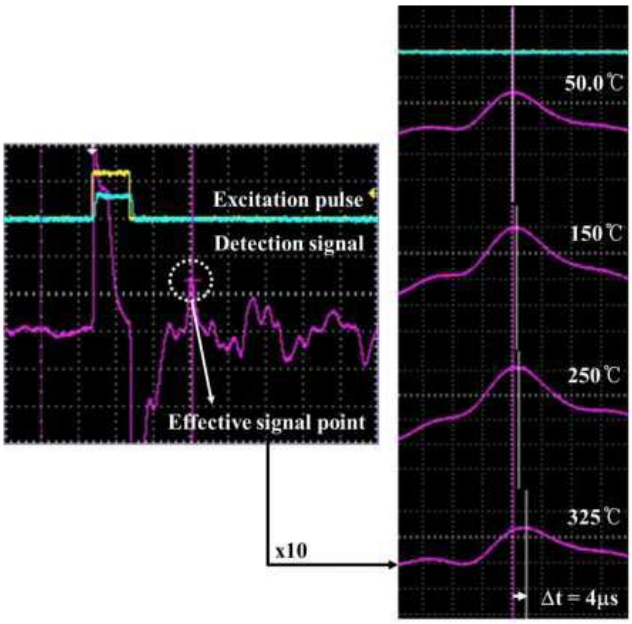
도면3


Time →
제1센싱코일부
Induced Voltage
Initial signal
(Excitation pulse current)
Reflection signal
(Torsional wave)
TOF
T_0
T_1

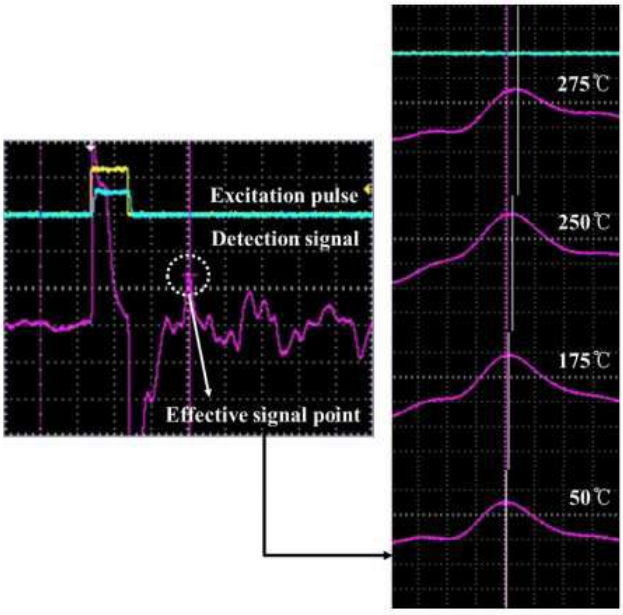
도면4


511
100
512
100
521
522

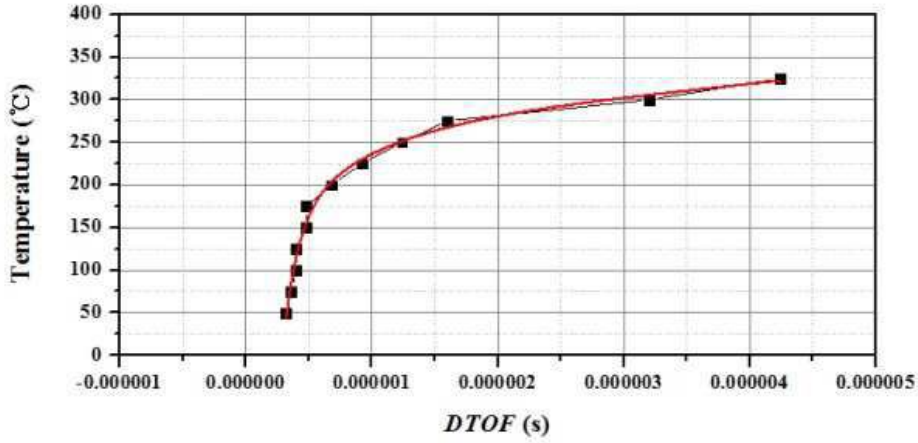
도면5


Excitation pulse
Detection signal
Effective signal point
x10
50.0℃
150℃
250℃
325℃
Δt = 4μs

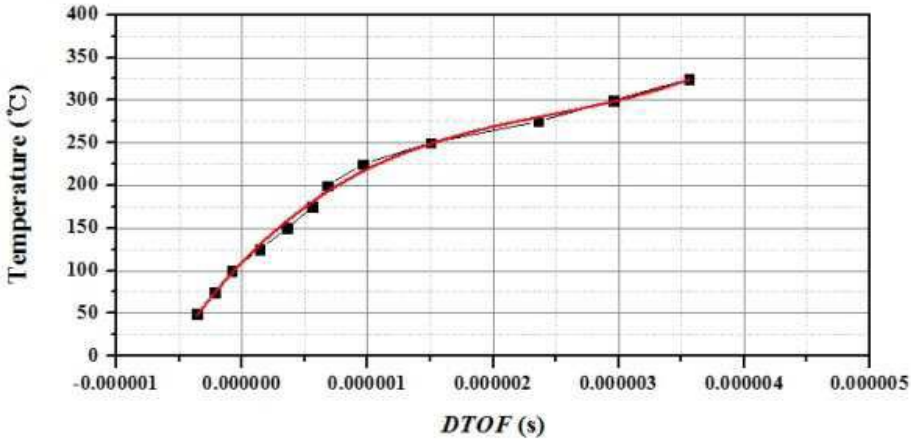
도면6


Excitation pulse
Detection signal
Effective signal point
275℃
250℃
175℃
50℃

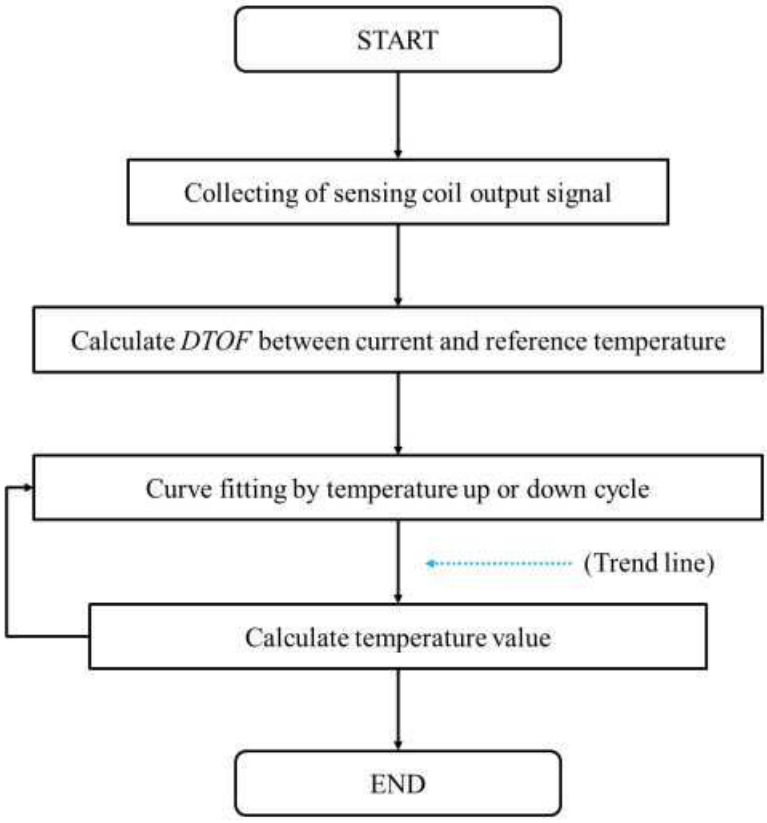
도면7


Temperature (℃)
DTOF (s)
400
350
300
250
200
150
100
50
0
-0.000001
0.000000
0.000001
0.000002
0.000003
0.000004
0.000005

도면8


Temperature (℃)
DTOF (s)
400
350
300
250
200
150
100
50
0
-0.000001
0.000000
0.000001
0.000002
0.000003
0.000004
0.000005

도면9


START
Collecting of sensing coil output signal
Calculate DTOF between current and reference temperature
Curve fitting by temperature up or down cycle
(Trend line)
Calculate temperature value
END