(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0018284
(43) 공개일자 2019년02월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/90 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 27/9006 (2013.01)
G01N 27/904 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0103058
(22) 출원일자 2017년08월14일
심사청구일자 2017년08월14일

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)
(72) 발명자
이진이
광주광역시 서구 풍암신흥로 18, 103동 1202호(풍암동, 광명메이루즈)
김정민
광주광역시 동구 필문대로192번길 24(산수동)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 4 항

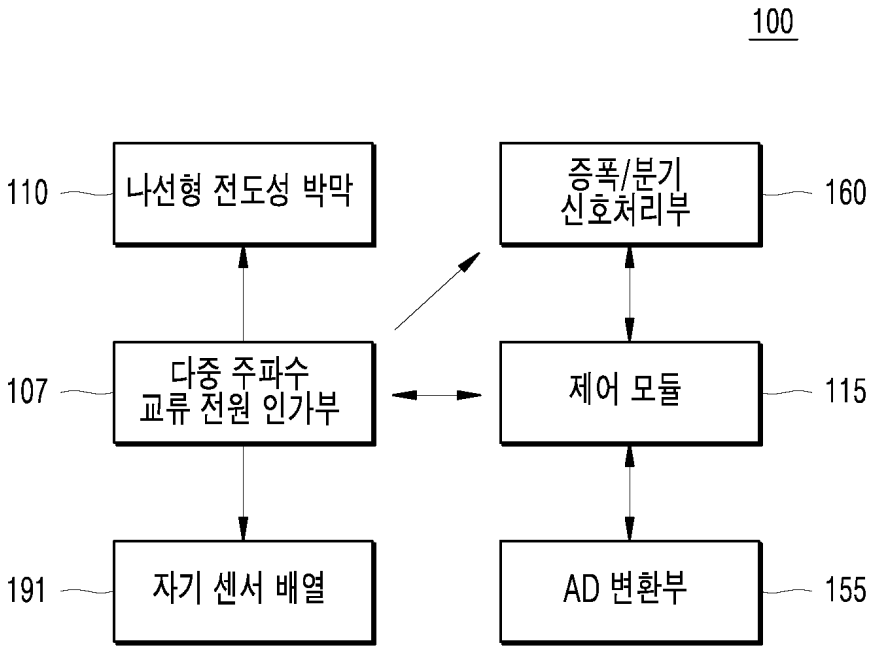
(54) 발명의 명칭 **나선 방향 전류 유도 수단을 구비한 비파괴 검사 장치**

(57) 요 약

비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치가 개시된다. 본 장치는 비파괴 검사의 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입되어 시험편의 내벽에 유도전류를 인가하기 위한 나선형 전도성 박막, 나선형 전도성 박막에 인접하고, 시험편의 결함에 따른 전자기장의 변화를 측정하는 자기 센서 배열을 포함하는 플렉서블 자기센서 PCB(printed circuit

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도10



board), 나선형 전도성 박막에 전류를 인가하기 위한 트랜스포머, 하나 이상의 주파수로 교류 전원을 상기 트랜스포머에 선택적으로 인가하는 다중 주파수 교류 전원부, 자기 센서 배열에서 출력되는 신호를 증폭하며, 출력되는 신호의 진폭 및 위상차를 출력하도록 제어하는 증폭-분기 신호처리부, 증폭된 출력 신호에서 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하도록 제어하는 AD 변환부 및 플렉서블형 자기센서 배열 및 증폭-분기 신호처리부로부터 출력된 신호에 기초하여, 시험편의 결함 유무, 결함 위치 및 결함 크기 중 적어도 하나를 검출하는 제어모듈을 포함할 수 있다. 이에 따라, 비파괴 검사의 정확도가 향상될 수 있다.

(52) CPC특허분류
G01N 27/9046 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415151795
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 원전 전열관의 손상 평가를 위한 제4세대 와전류검사법의 성능 고도화 및 신뢰성 확보
연구과제명 원전 전열관의 손상 평가를 위한 제4세대 와전류검사법의 성능 고도화 및 신뢰성 확보
기 여 율 1/1
주관기관 조선대학교 산학협력단
연구기간 2017.05.01 ~ 2017.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치에 있어서,

상기 비파괴 검사의 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입되어 상기 시험편의 내벽에 유도전류를 인가하기 위한 나선형 전도성 박막;

상기 나선형 전도성 박막에 인접하고, 상기 시험편의 결함에 따른 전자기장의 변화를 측정하는 자기 센서 배열을 포함하는 플렉서블 자기센서 PCB(printed circuit board);

상기 나선형 전도성 박막에 전류를 인가하기 위한 트랜스포머;

하나 이상의 주파수로 교류 전원을 상기 트랜스포머에 선택적으로 인가하는 다중 주파수 교류 전원부;

상기 자기 센서 배열에서 출력되는 신호를 증폭하며, 출력되는 신호의 진폭 및 위상차를 출력하도록 제어하는 증폭-분기 신호처리부;

증폭된 출력 신호에서 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하도록 제어하는 AD 변환부; 및

상기 플렉서블형 자기센서 배열 및 증폭-분기 신호처리부로부터 출력된 신호에 기초하여, 상기 시험편의 결함 유무, 결함 위치 및 결함 크기 중 적어도 하나를 검출하는 제어모듈을 포함하는, 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치.

청구항 2

비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치에 있어서,

상기 비파괴 검사의 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입되어 상기 시험편의 내벽에 유도전류를 인가하기 위한 나선형 전도성 박막;

상기 나선형 전도성 박막에 인접하고, 상기 시험편의 결함에 따른 전자기장의 변화를 측정하는 자기 센서 배열을 포함하는 플렉서블 자기센서 PCB(printed circuit board);

하나 이상의 주파수로 교류 전원을 상기 나선형 전도성 박막에 선택적으로 인가하는 다중 주파수 교류 전원부;

상기 자기 센서 배열에서 출력되는 신호를 증폭하며, 출력되는 신호의 진폭 및 위상차를 출력하도록 제어하는 증폭-분기 신호처리부;

증폭된 출력 신호에서 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하도록 제어하는 AD 변환부; 및

상기 플렉서블형 자기센서 배열 및 증폭-분기 신호처리부로부터 출력된 신호에 기초하여, 상기 시험편의 결함 유무, 결함 위치 및 결함 크기 중 적어도 하나를 검출하는 제어모듈을 포함하는, 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 자기 센서 배열은 복수의 자기센서들을 포함하고, 상기 자기센서들은 선형 형태로 상기 플렉서블 자기센서 PCB에 배치되고,

상기 자기센서들 각각은 상기 플렉서블 자기센서 PCB의 폭 방향으로 배선을 형성하는, 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 자기 센서 배열은 복수의 자기센서들을 포함하고, 상기 복수의 자기센서들은 개별적으로 몰딩되어 형성되되, 상기 플렉서블 자기센서 PCB와 직접 연결되는, 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치에 관한 것으로 보다 상세하게는 나선형 전도성 박막을 구비한 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 발전소에 구비된 열교환기는 유체의 열을 전열관(heat trasfer tube)의 전열면을 통해 열전달을 일으켜 가열, 냉각, 응축 등의 기능을 수행한다. 고온, 고압, 진동, 수화학 환경 하에서 장시간 활용한 열교환기 전열관 튜브는 부식, 점식, 침식, 공식, 마모, 감육, 피로균열, SCC(stress corrosion cracking), IASCC(irradiation assisted stress corrosion cracking) 등의 손상을 입을 수 있다. 이러한 손상에 기인하여 열교환기 본연의 기능을 수행하지 못할 경우, 발전소 정상운전에 지장을 초래할 수 있다. 따라서, 열교환기 전열관의 건전성 확인을 위한 비파괴검사가 발전소 계획, 예방, 및 정비 기간 동안 주기적으로 수행되고 있다. 이를 위한 와전류 검사용 탐촉자(probe)가 전열관 내부에 삽입되어 비파괴검사가 수행될 수 있다.

[0003] 다만, 종래기술의 경우 보빈형 탐촉자, 환형배열 탐촉자, 회전형 탐촉자 등을 이용하여 비파괴 검사가 수행되었다. 그러나, 종래기술에 비해 검사속도, 결함탐상능력 및 내구성이 보다 향상되고, 정량평가 기능을 수행하는 비파괴검사 기기의 대두가 요청된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 공개특허공보 10-2012-0054419호(공개일 2012.05.22)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 일 실시 예는 와전류의 진폭과 위상차의 분포를 실시간으로 측정하여 검사 대상의 결함을 검출하는 와전류 검사 장치를 제안한다.

[0006] 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 실시 예에 따른 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치는 상기 비파괴 검사의 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입되어 상기 시험편의 내벽에 유도전류를 인가하기 위한 나선형 전도성 박막; 상기 나선형 전도성 박막에 인접하고, 상기 시험편의 결함에 따른 전자기장의 변화를 측정하는 자기 센서 배열을 포함하는 플렉서블 자기센서 PCB(printed circuit board); 상기 나선형 전도성 박막에 전류를 인가하기 위한 트랜스포머; 하나 이상의 주파수로 교류 전원을 상기 트랜스포머에 선택적으로 인가하는 다중 주파수 교류 전원부; 상기 자기 센서 배열에서 출력되는 신호를 증폭하며, 출력되는 신호의 진폭 및 위상차를 출력하도록 제어하는 증폭-분기 신호처리부; 증폭된 출력 신호에서 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하도록 제어하는 AD 변환부; 및 상기 플렉서블형 자기센서 배열 및 증폭-분기 신호처리부로부터 출력된 신호에 기초하여, 상기 시험편의 결함 유무, 결함 위치 및 결함 크기 중 적어도 하나를 검출하는 제어모듈을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0008] 본 발명의 다양한 실시예에 따르면 아래와 같은 효과가 도출될 수 있다.

[0009] 우선, 전열관의 균열성 결함은 체적성 결함에 비해 응력집중부를 포함하기 때문에 결함의 진전 속도가 빠르다. 또한, 같은 균열성 결함이라고 하더라도 횡방향 균열과 종방향 균열의 위험도가 다르다. 본 발명의 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 횡방향 균열과 종방향 균열의 결함 검출 능력의 차이가 해소될 수 있다.

[0010] 또한, 회전체 구조가 아니면서, 간단한 구조를 가지며 기계적으로 내구성이 우수한 와전류 검사 장치가 제공될 수 있다.

[0011] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 소구경 배관의 비파괴검사 수행시 나선방향으로 유도되는 전류에 의해 결함 검출 성능이 향상될 수 있다.

[0012] 또한, 상기 소구경 배관의 결함 주변에 발생되는 유도 전류의 왜곡에 기인한 전자기장의 진폭과 위상차 분포를 플렉서블 PCB(printed circuit board)에 배열된 자기 센서 배열을 통해 측정함으로써, 결함 검출의 속도가 향상될 수 있고, 정량 평가가 수행될 수 있다.

[0013] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 실시간으로 와전류의 진폭 및 위상차의 분포가 시각적으로 표시될 수 있다.

[0014] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 소구경 열교환기 전열관의 결함이 자동으로 검출될 수 있다.

[0015] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 결함의 유무, 위치, 형상, 크기 등이 자동으로 평가될 수 있다.

[0016] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 종래의 보빈형 와전류 탐촉자에 비하여, 결함의 존재에 기인한 전자기장의 왜곡 분포가 정량적으로 측정될 수 있으며, 부식, 마모, 균열이 판별될 수 있으며 정량적으로 평가될 수 있다.

[0017] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 종래의 회전형 와전류 탐촉자에 비하여, 회전체를 포함하지 않는 구조임에도 불구하고, 고속으로 전자기장의 왜곡 분포가 정량적으로 측정될 수 있으며, 부식, 마모, 균열이 판별될 수 있고, 정량적으로 평가될 수 있으며 우수한 내구성이 제공될 수 있다.

[0018] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써 종래의 환형배열 와전류 탐촉자에 비하여 발열이 적으면서 공간분해능이 높으며, 고속으로 전자기장의 왜곡 분포가 정량적으로 측정될 수 있으며, 부식, 마모, 균열의 판별이 용이하며, 정량 평가가 수행될 수 있다.

[0019] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 종래의 환형 자기센서배열 탐촉자에 비하여, 결함의 위치가 내부인지 외부인지 정량적으로 평가될 수 있고, 축방향으로 상기 장치가 이동하지 않은 상태에서도 고속으로 전자기장의 왜곡 분포가 정량적으로 측정될 수 있으며, 부식, 마모, 균열의 판별이 용이하며, 정량적으로 평가될 수 있다.

[0020] 마지막으로, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써 종래의 실린더형 자기센서배열 탐촉자에 비하여, 횡방향 균열과 종방향 균열의 결함검출능을 향상할 수 있으며, 부식, 마모, 균열의 판별이 용이하고, 정량적으로 평가될 수 있다.

[0021] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 나선형 전도성 박막에 유도 전류의 흐름이 발생되는 원리를 나타낸다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 시험편의 내부에 배치된 변압기 및 나선형 전도성 박막의 개략적인 구현을 나타낸다.

도 3은 도 2에 도시된 나선형 전도성 박막에 유도된 유도 전류의 흐름을 보다 구체적으로 나타낸다.

도 4(a) 및 도 4(b)는 종래 기술의 비교례에 따른 유도전류가 축방향 균열 및 원호방향 균열을 만났을 때 유도전류의 왜곡을 나타낸다.

도 5(a) 및 도 5(b)는 본 발명의 일 실시 예에 따른 유도전류가 축방향 균열 및 원호방향 균열을 만났을 때 유도전류의 왜곡을 나타낸다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사 장치를 나타낸다.

도 7은 본 발명의 다른 실시 예에 따른 완전류 검사 장치를 나타낸다.

도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 적용된 복수의 자기 센서를 포함하는 플렉서블 PCB(printed circuit board)를 나타낸다.

도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 와전류 검사 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 다양한 실시 예를 보다 상세하게 설명한다. 다만, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 나선형 전도성 박막(110)에 유도 전류의 흐름이 발생되는 원리를 나타낸다.

[0025] 도 1에 따르면, 변압기(120)는 N1의 권선수로 코어(120c)의 일측에 감긴 제1 코일(120a), N2의 권선수로 코어(120c)의 다른 일측에 감긴 제2 코일을 포함할 수 있다. 코어(120c)는 철심일 수 있고, 고리 모양일 수 있으나, 다른 재료 및 모양으로 구현될 수 있다.

[0026] 이 경우, 제1 코일(120a)에 I1의 교류 전원이 인가되면, 제2 코일인 나선형 전도성 박막(110)에 도 1과 같은 유도 전류가 발생될 수 있다. 권선수와 전류 간의 관계는 아래 [수학식 1]과 같이 도출될 수 있다. 제1 코일(120a)에 높은 전류 및 권선수의 많으면 나선형 전도성 박막(110)에 흐르는 유도전류 I2의 크기도 커질 수 있다.

[0027] [수학식 1]

[0028] $$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

[0029] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 시험편(10)의 내부에 배치된 변압기(120) 및 나선형 전도성 박막(110)의 개략적인 구현을 나타낸다.

[0030] 참고로, 비파괴 검사는 초음파, 와전류 등을 이용하여 시험편(10) 내부의 기공이나 균열 등의 결함 등을 시험편(10)을 파괴하지 않고 검사할 수 있다. 와전류(Eddy Current)란 도체표면에 가해지는 교류 자기장에 의한 유도전류이며, 와전류 검사 장치는 시험편(10)에 유도된 와전류를 측정하여 비파괴검사를 수행하는 장치이다. 또한, 프루브(probe)라고 불리는 탐촉자는 비파괴검사를 수행하기 위한 검색 유닛(search unit)에 해당된다.

[0031] 본 명세서에서는 원자력 발전소의 열교환기에 사용되는 유체의 열을 전달하는 전열관(heat trasfer tube)을 시험편(10)을 예를 들어 설명하나, 구현시에는 비파괴 검사의 대상인 다양한 오브젝트가 시험편(10)으로 이용될 수 있다.

[0032] 나선형 전도성 박막(110)은 전기가 통하는 박막이다. 나선형 전도성 박막(110)은 시험편(10)의 내부 벽의 둘레를 도 2에 도시된 것과 같이 나선형으로 둘러쌀 수 있다.

[0033] 나선형 전도성 박막(110)은 시험편(10)의 내벽을 나선형으로 둘러싼 양말단(110a, 110b)을 포함할 수 있다. 제1 말단(110a) 및 제2 말단(110b)에서 변압기(120)의 코어(120c)까지 시험편(10)의 축방향의 길이 방향으로 나선형 전도성 박막(110)이 상호 연결될 수 있다. 나선형 전도성 박막(110)은 소정의 균일한 폭(W)을 가질 수 있고, 상기 폭(W)은 연장선(110c, 110d)의 폭과도 동일할 수 있고, 상이할 수도 있다.

[0034] 또한, 나선형 전도성 박막(110)이 시험편(10)에 내삽되고, 주파수 $\omega=2\pi f$인 아래 [수학식 2]의 교류전압이 인가되었을 때, 시험편(10) 내벽에 유도전류의 흐름이 발생될 수 있다.

[0035] [수학식 2]

[0036] $$V(t) = V_0 \sin \omega t$$

[0037] 도 3은 도 2에 도시된 나선형 전도성 박막(110)에 유도된 유도 전류의 흐름을 보다 구체적으로 나타낸다.

[0038] 도 3을 설명할 때, 원통좌표계를 이용하여 설명하기로 한다. 반지름방향 r, 원호방향 Φ, 축방향 Z로 설정될 수 있다.

[0039] 나선형 전도성 박막(110)의 저항과 인덕턴스를 각각 R과 L이라고 하면 여자전류는 아래 [수학식 3]과 같이 표현된다.

[0040] [수학식 3]

$$i_{ext}(t) = \frac{V_0}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}} \sin\left(\omega t - \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}\right)$$

[0041]

[0042] 만약, 시험편(10, specimen)에 결함이 없을 때에는 상기 나선형 전도성 박막(110)의 반대방향이면서, 박막(110)의 직하에서 나선형으로 [수학식 4]의 유도전류가 발생될 수 있다.

[0043] [수학식 4]

$$i_{specimen}(t) = \frac{V_0}{\sqrt{R_s^2+(\omega L_s)^2}} \sin\left(\omega t - \tan^{-1}\frac{\omega L_s}{R_s}\right)$$

[0044]

[0045] 만약, 시험편(10)에 결함이 존재하는 경우에는 결함의 위치 및 크기에 따라 [수학식 5] 및 [수학식 6]으로 표현되는 임피던스 및 위상차가 변화하게 된다.

[0046] [수학식 5]

$$Z = \sqrt{R_C^2+(\omega L_C)^2}$$

[0047]

[0048] [수학식 6]

$$\theta = \tan^{-1}\frac{\omega L_C}{R_C}$$

[0049]

[0050] 도 4(a) 및 도 4(b)는 종래 기술의 비교 례에 따른 유도 전류의 왜곡을 나타낸다.

[0051] 나선형 도전성 박막(110)이 적용되지 않은 비교 례의 도전성 박막이 나선형의 형태를 가지지 않고, 종래의 보빈 프로브와 같이 r-Φ 평면상에 수평으로 감겨있을 때, 축방향 균열(도 4(a), 410)과 원호방향 균열(도 4(b), 420) 주변에서 발생하는 유도전류의 왜곡을 나타낸다. 상기 축방향 균열(410) 및 원호방향 균열(420)은 모두 시험편(10)에 발생된 경우이다. 참고로, 균열성 결함의 경우, 체적성 결함보다 결함의 진전이 빠르다.

[0052] 축방향(Z방향) 균열(410)에 의하여 유도전류는 결함의 선단에서 왜곡된다. 따라서, 균열과 유도전류가 이루는 각도가 서로 수직이므로, 유도전류는 급격한 왜곡이 발생하여 그 강도는 최대가 될 수 있다. 다만, 왜곡이 발생하는 영역은 결함(410)의 선단에서 그 폭에 해당하는 만큼 발생하므로 좁은 영역에서 검출된다. 반면에 원호방향(Φ-방향) 균열(420)에 의하여 유도전류는 결함의 길이방향 변에서 왜곡된다. 따라서, 균열과 유도전류가 이루는 각도가 서로 평행이므로, 유도전류는 완만한 왜곡이 발생하고, 그 강도는 최소가 될 수 있다.

[0053] 도 5(a) 및 도 5(b)는 본 발명의 일 실시 예에 따른 유도 전류의 왜곡을 나타낸다.

[0054] 나선형 전도성 박막(110)의 경우 유도전류의 방향은 원호방향(Φ-방향)보다 경사가 있다. 나선형 전도성 박막(110)인 경우의 축방향 균열(510)과 원호방향 균열(520) 주변에서 발생하는 유도전류의 왜곡은 아래와 같다.

[0055] 축방향(z-방향) 균열(510)에 의하여 유도전류는 결함의 선단 및 변에서 왜곡될 수 있다. 축방향(z-방향) 균열(410)의 경우 선단에서 왜곡되는 비교 례와 차이가 있다.

[0056] 또한, 균열(510)과 유도전류가 이루는 각도가 45도를 이루므로, 유도전류의 강도 및 왜곡이 비교적 크고 넓게 분포하게 된다. 선단에서 폭에 해당되는 만큼 발생하여 좁은 영역에서 검출되는 비교 례와 차이가 있게 된다. 이때, 유도전류 및 균열(510)이 이루는 각도를 45도로 한정하였으나, 구현시에는 45도보다 크거나 작게 설정될 수 있다.

[0057] 또한, 원호방향(Φ-방향) 균열(520)에 의해서도 유사한 형태의 유도전류의 강도 및 왜곡이 발생될 수 있는데, 유도전류가 결함의 길이방향 변에서 왜곡(540a, 540b) 될 수 있다. 균열(420)과 유도전류가 이루는 각도가 서로 평행한 비교 례와 차이가 있게 된다.

[0058] 도 4(a) 내지 도 5(b)를 통해, 축방향의 균열과 원호방향의 균열의 결함 검출 능력의 차이가 본 발명에서는 크지 않은데 반해, 비교 례의 경우 크게 된다. 이에 따라, 본 발명에 따르면 균열의 결함 검출이 원호방향 및 축방향에 좌우되지 않고 균일하게 수행될 수 있다.

[0059] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사 장치(100A)를 나타낸다. 변압기(120)는 센서 및 신호선에 전자기적 간섭을 일으키지 않기 위하여, 신호선(110c, 110d)의 반대 방향, 즉 삽입 방향의 선단에 위치될 수 있다. 나선형 전도성 박막(110)은 나선형으로 꼬여져 있으며, r-Φ 평면상에서 보았을 때 360도보다 큰 각도로 겹쳐지는 것을 특징으로 한다. 플렉서블형 자기센서 배열(191)은 나선형 전도성 박막(110)의 하부에 위치한다. 일 예로, 플렉서블형 자기센서 배열(191)은 나선형 전도성 박막(110)의 바로 아래에 위치할 수 있으며, 나선형 전도성 박막(110)과 직접적으로 접하게 배치될 수 있다.

[0060] 와전류 검사 장치(100A)는 다중 주파수를 인가할 수 있는 다중 주파수 교류 전원 인가부(107)를 포함할 수 있다. 다중 주파수 교류 전원 인가부(107)는 도 6과 같이 배치될 수 있고, 플렉서블형 자기센서 배열(191) 방향에 배치될 수 있으나, 실시 예는 이에 국한되지 않는다.

[0061] 도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 와전류 검사 장치(100B)를 나타낸다. 본 와전류 검사 장치(100B)는 도 6과 같은 변압기(120)를 구비하지 않는다. 와전류 검사 장치(100B)는 나선형 전도성 박막(110)에 직접 전류를 인가할 수 있다. 즉, 도 2에 도시된 나선형 전도성 박막(110)의 제1 말단(110a) 및 제2 말단(110b)에 교류 전원이 인가될 수 있다. 이러한 경우에는 전체 센서의 길이가 짧게 구현될 수 있으므로, 변압기에 의한 전자기장의 간섭을 최소화하고, 또한 곡선형태를 가지는 전열관, 즉 곡관의 검사에 유리하다.

[0062] 도 8은 본 발명에 의한 플렉시블형 자기센서 배열(191)의 일 실시예를 나타낸다. 플렉시블 인쇄회로기판(193) 위에 자기센서(191a, 191b, 191c)를 배열하고, 센서(191a, 191b, 191c)와 인쇄회로기판(193)을 연결하기 위한 배선은 플렉시블 인쇄회로기판의 폭방향(810)으로 하는 것을 특징으로 한다. 각각의 센서(191a, 191b, 191c)와 신호 연결선(810a, 810b, 810c)은 각각 개별적으로 몰딩하는 것을 특징으로 한다. 이러한 구조에서는 플렉시블 인쇄회로기판의 유연성이 극대화되므로, 상기 도전성 박막의 하부 또는 상부에 자기센서를 균일한 간격으로 나선형으로 배열할 수 있게 된다.

[0063] 도 9는 본 발명에 의한 플렉시블형 자기센서 배열의 또 다른 실시예를 나타낸다. 개별적으로 몰딩된 자기센서(191)를 플렉시블 인쇄회로기판(193)에 납땜 등을 통해 직접 연결하는 것을 특징으로 한다. 몰딩된 자기센서를 활용하므로, 센서 자체의 손상을 최소화하여 내구성을 증대할 수 있다. 다만, 직접 연결하는 방식은 다양하게 구현될 수 있다.

[0064] 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 와전류 검사 장치(100)의 구성요소를 나타내는 블록도이다. 와전류 검사 장치(100)는 나선형 전도성 박막(110), 다중 주파수 교류 전원 인가부(107), 자기 센서 배열(191), 증폭/분기 신호 처리부(160), 제어모듈(115) 및 AD 변환부(155)를 포함할 수 있다. 도 10에 설명된 와전류 검사 장치(100)의 구성들은 본 발명을 구현하기 위해 필수적인 것은 아닌바, 일부가 생략되거나 추가 구성들이 포함될 수 있다.

[0065] 다중 주파수 교류 전원 인가부(107)는 다중 주파수 중에서 하나 이상의 주파수를 변압기(120)의 코일 또는 나선형 전도성 박막(110)에 인가할 수 있다.

[0066] 증폭/분기 신호 처리부(160)는 나선형 전도성 박막(110) 및 자기 센서 배열(191)에 인가된 신호들을 증폭/분기할 수 있다.

[0067] AD 변환부(155)는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환할 수 있다.

[0068] 제어 모듈(115)은 자기 센서 배열(191) 및 증폭/분기 신호 처리부(160)로부터 출력된 센서수의 2배에 해당하는 신호, 즉 진폭과 위상차의 분포를 계산하여 결함 유무, 위치 및 크기를 판정할 수 있다.

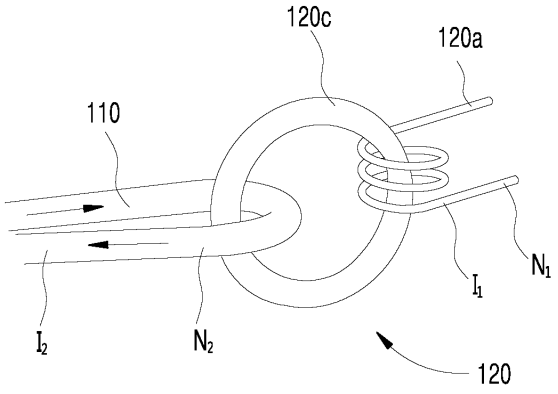
[0069] 상술한 구성 이외에, 승산 회로, 적분회로 등이 포함될 수 있으나, 실시 예는 이에 국한되지 않는다.

[0070] 전술한 본 발명은, 프로그램이 기록된 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 매체는, 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를

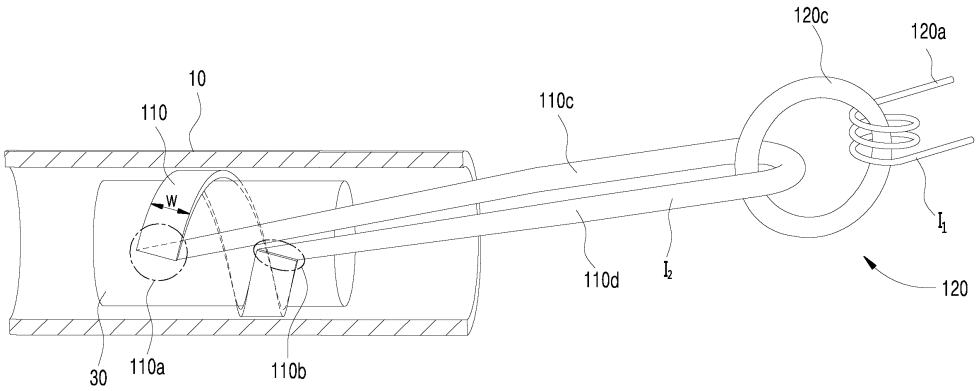
포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 매체의 예로는, HDD(Hard Disk Drive), SSD(Solid State Disk), SDD(Silicon Disk Drive), ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광 데이터 저장 장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어, 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한, 상기 컴퓨터는 와전류 검사 장치(100)의 제어 모듈(115)을 포함할 수도 있다. 따라서, 상기의 상세한 설명은 모든 면에서 제한적으로 해석되어서는 아니되고 예시적인 것으로 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 첨부된 청구항의 합리적 해석에 의해 결정되어야 하고, 본 발명의 등가적 범위 내에서의 모든 변경은 본 발명의 범위에 포함된다.

도면

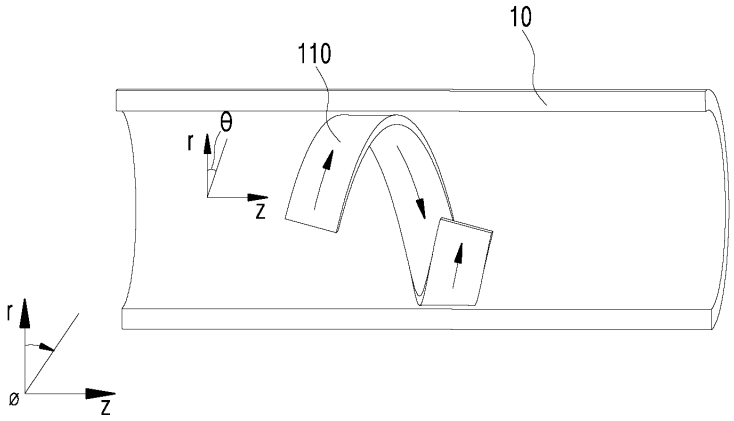
도면1



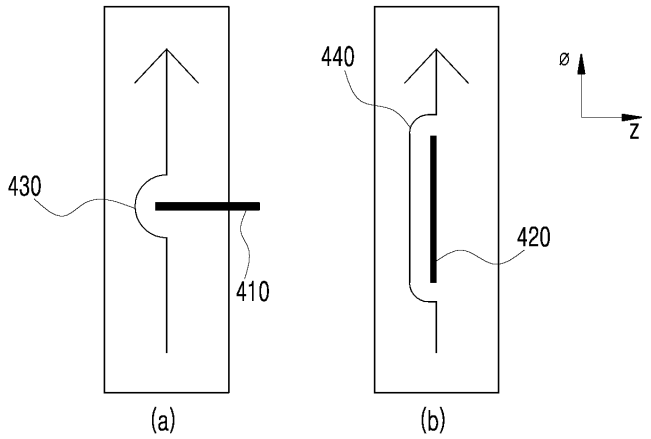
도면2



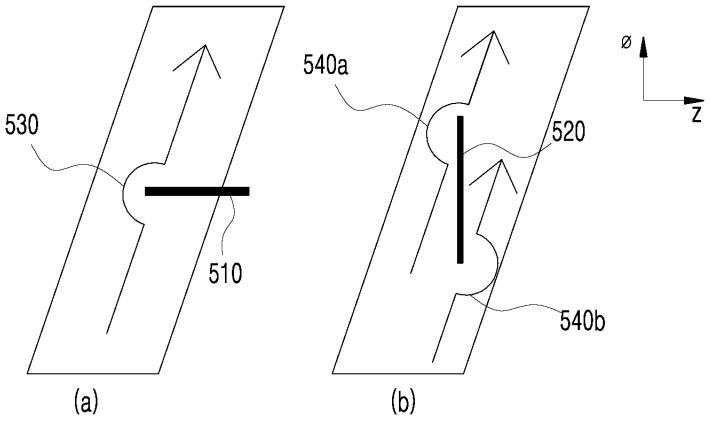
도면3



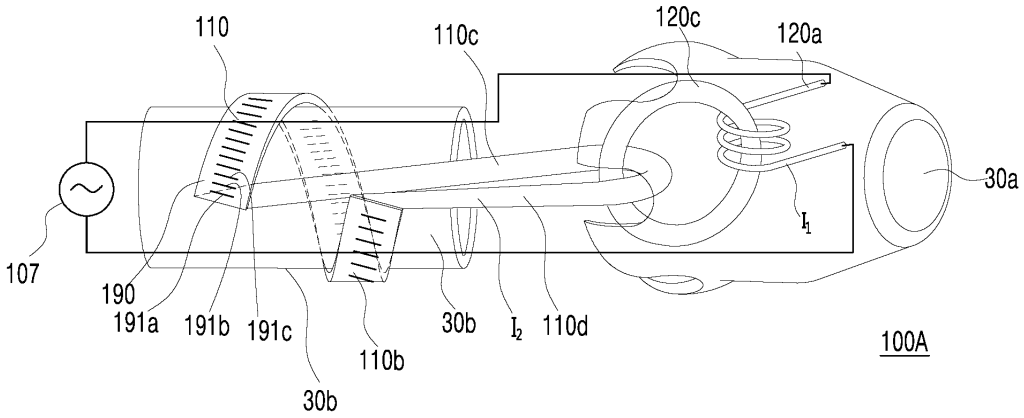
도면4



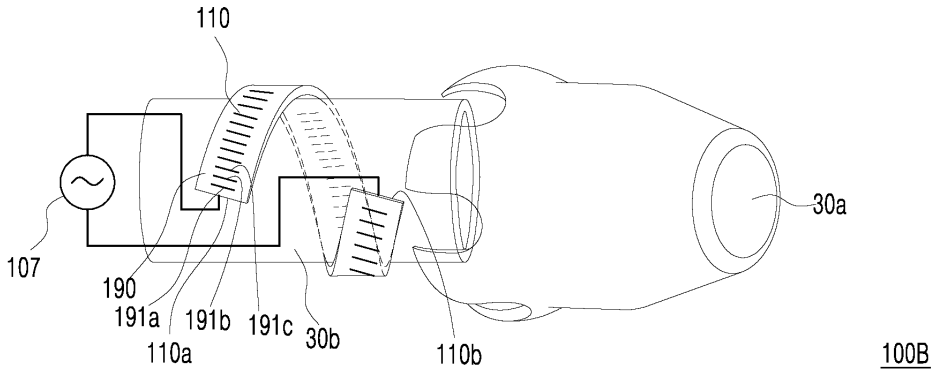
도면5



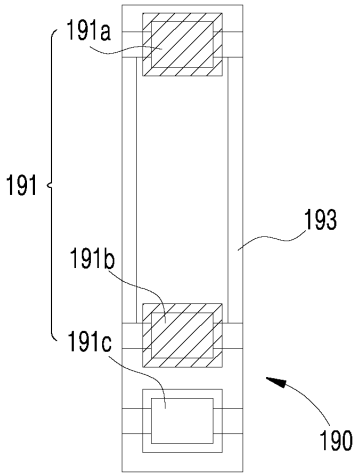
도면6


110
110c
120c
120a
30a
107
190
191a
191b
191c
110b
30b
30b
I_2
110d
I_1
100A

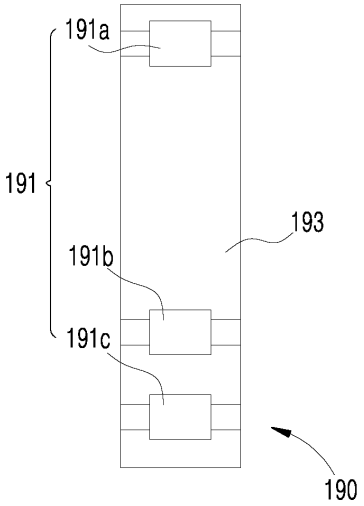
도면7


110
30a
107
190
191a
191b
191c
30b
110a
110b
100B

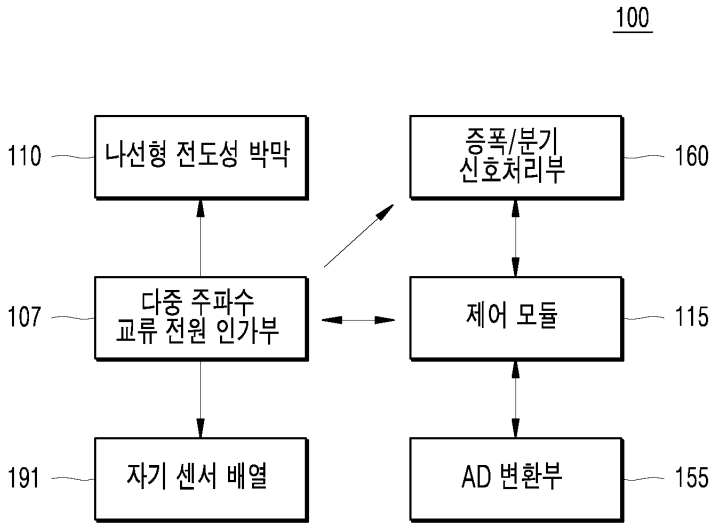
도면8


191a
191
193
191b
191c
190

도면9


191a
191
193
191b
191c
190

도면10


100
110
나선형 전도성 박막
증폭/분기
신호처리부
160
107
다중 주파수
교류 전원 인가부
제어 모듈
115
191
자기 센서 배열
AD 변환부
155