



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년04월05일  
(11) 등록번호 10-1966168  
(24) 등록일자 2019년04월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 27/90 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01N 27/9006 (2013.01)  
G01N 27/904 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2017-0092885  
(22) 출원일자 2017년07월21일  
심사청구일자 2017년07월21일  
(65) 공개번호 10-2019-0010293  
(43) 공개일자 2019년01월30일  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2006145295 A\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
조선대학교산학협력단  
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)  
(72) 발명자  
이진이  
광주광역시 서구 풍암신흥로 18, 103동 1202호(풍암동, 광명메이루즈)  
김정민  
광주광역시 동구 필문대로192번길 24(산수동)  
심순보  
광주광역시 동구 산수길 23, 301호(산수동, 해뜨는집)  
(74) 대리인  
특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 11 항

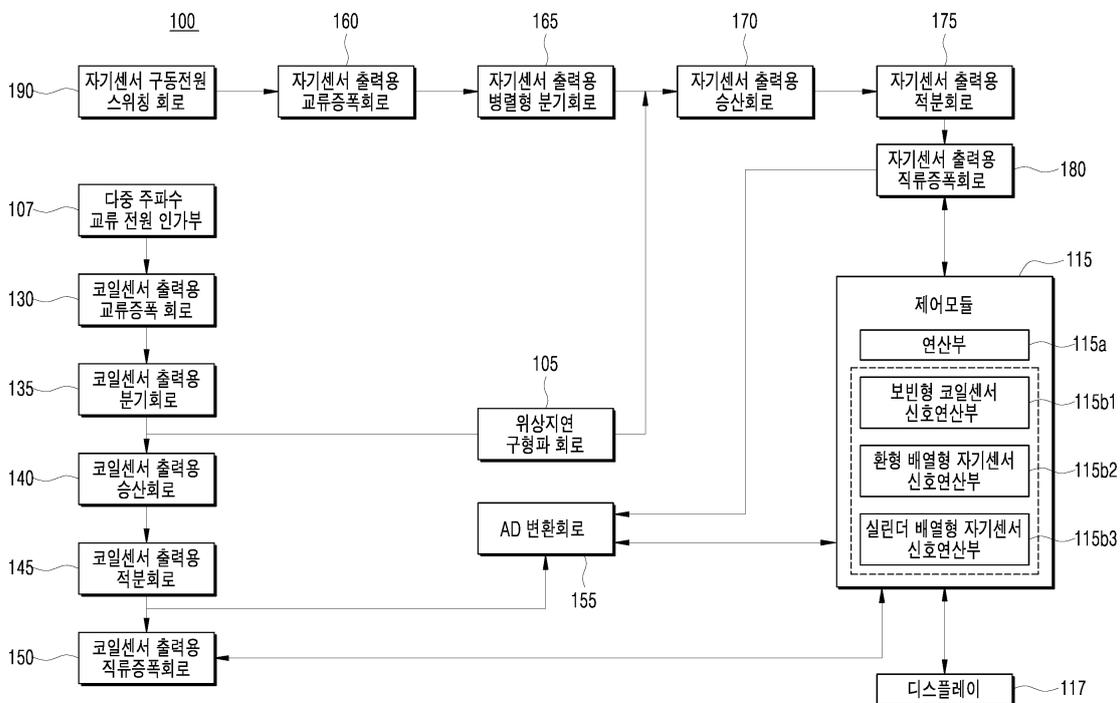
심사관 : 박준영

(54) 발명의 명칭 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치

(57) 요약

비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치가 개시된다. 본 장치는 비파괴 검사의 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입되어 시험편의 내벽에 유도전류를 인가하기 위한 보빈형 코일, 시험편의 레퍼런스인 무결함 시험편의 내부에 삽입되어 무결함 시험편의 내벽에 유도 전류를 인가하기 위한 참조 코일, 보빈형 코일의 내부에 배치되며, 행과 열 (뒷면에 계속)

대표도 - 도7



을 포함하는 원통형 홀센서 배열 및 다중 주파수 중 하나 이상의 주파수를 선택하여 보빈형 코일 및 참조 코일에 교류 전원을 인가하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하며, 인가된 신호 및 상기 구형파 신호가 제1 승산되도록 제어하는 제어 모듈을 포함하며, 제어 모듈은 원통형 홀센서 배열의 복수의 열 중에서 원호 방향의 열이 순차적으로 선택되도록 구동 전원을 스위칭하여 인가하고, 인가된 신호에 생성된 상기 위상차를 달리하는 구형파가 제2 승산되도록 제어하며, 제1 승산된 신호 및 상기 제2 승산된 신호에 기초하되, 신호의 진폭 및 위상차의 분포를 이용하여 시험편의 결함을 검출할 수 있다. 이에 따라 결함 검출이 정확하게 수행될 수 있다.

(52) CPC특허분류

**G01N 27/9046** (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020130130529 A\*

JP2006145296 A\*

JP60168046 A\*

KR1020120114570 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

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

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치에 있어서,

상기 비파괴 검사의 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입되어 상기 시험편의 내벽에 유도전류를 인가하기 위한 보빈형 코일;

상기 시험편의 레퍼런스인 무결함 시험편의 내부에 삽입되어 상기 무결함 시험편의 내벽에 유도 전류를 인가하기 위한 참조 코일;

상기 보빈형 코일의 내부에 배치되되, 행과 열을 포함하는 원통형 홀센서 배열; 및

다중 주파수 중 하나 이상의 주파수를 선택하여 상기 보빈형 코일 및 상기 참조 코일에 교류 전원을 인가하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하며, 인가된 신호 및 상기 구형파 신호가 제1 승산되도록 제어하는 제어 모듈;을 포함하며,

상기 제어 모듈은,

상기 원통형 홀센서 배열의 복수의 열 중에서 원호 방향의 열이 순차적으로 선택되도록 구동 전원을 스위칭하여 인가하고, 인가된 신호에 생성된 상기 위상차를 달리하는 구형파가 제2 승산되도록 제어하며,

상기 제1 승산된 신호 및 상기 제2 승산된 신호에 기초하되, 신호의 진폭 및 위상차의 분포를 이용하여 상기 시험편의 결함을 검출하는, 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 보빈형 코일;

상기 보빈형 코일의 내부에 배치되되, 행과 열을 포함하는 원통형 홀센서 배열; 및

다중 주파수 중 하나 이상의 주파수를 선택하여 상기 보빈형 코일에 교류 전원을 인가하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하며, 인가된 신호 및 상기 구형파 신호가 제1 승산되도록 제어하는 제어 모듈;을 포함하며,

상기 제어 모듈은,

상기 원통형 홀센서 배열의 복수의 열 중에서 원호 방향의 열이 순차적으로 선택되도록 구동 전원을 스위칭하여 인가하고, 인가된 신호에 생성된 상기 위상차를 달리하는 구형파가 제2 승산되도록 제어하며,

상기 제1 승산된 신호 및 상기 제2 승산된 신호에 기초하되, 신호의 진폭 및 위상차의 분포를 이용하여 상기 시험편의 결함을 검출하는, 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치.

**청구항 3**

비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치에 있어서,

상기 비파괴 검사의 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입되어 상기 시험편의 내벽에 유도전류를 인가하기 위한 보빈형 코일;

상기 시험편의 레퍼런스인 무결함 시험편의 내부에 삽입되어 상기 무결함 시험편의 내벽에 유도 전류를 인가하기 위한 참조 코일;

상기 보빈형 코일의 내부에 배치되되, 하나의 열로 구성되는 환형 홀센서 배열; 및

다중 주파수 중 하나 이상의 주파수를 선택하여 상기 보빈형 코일 및 상기 참조 코일에 교류 전원을 인가하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하며, 인가된 신호 및 상기 구형파 신호가 제1 승산되도록 제어하는 제어

모듈;을 포함하며,

상기 제어 모듈은,

상기 환형 홀센서 배열에 구동 전원을 인가하고, 인가된 신호에 생성된 상기 위상차를 달리하는 구형파가 제2 승산되도록 제어하며,

상기 제1 승산된 신호 및 상기 제2 승산된 신호에 기초하되, 신호의 진폭 및 위상차의 분포를 이용하여 상기 시험편의 결함을 검출하는, 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치.

**청구항 4**

비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치에 있어서,

상기 비파괴 검사의 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입되어 상기 시험편의 내벽에 유도전류를 인가하기 위한 보빈형 코일;

상기 보빈형 코일의 내부에 배치되되, 하나의 열로 구성되는 환형 홀센서 배열; 및

다중 주파수 중 하나 이상의 주파수를 선택하여 상기 보빈형 코일에 교류 전원을 인가하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하며, 인가된 신호 및 상기 구형파 신호가 제1 승산되도록 제어하는 제어 모듈;을 포함하며,

상기 제어 모듈은,

상기 환형 홀센서 배열에 구동 전원을 인가하고, 인가된 신호에 생성된 상기 위상차를 달리하는 구형파가 제2 승산되도록 제어하며,

상기 제1 승산된 신호 및 상기 제2 승산된 신호에 기초하되, 신호의 진폭 및 위상차의 분포를 이용하여 상기 시험편의 결함을 검출하는, 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치.

**청구항 5**

와전류 검사 장치의 구동 방법에 있어서,

비파괴 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입된 보빈형 코일 및 상기 시험편의 레퍼런스인 무결함 시험편의 내부에 삽입된 참조 코일에 다중 주파수 중 하나 이상의 주파수를 선택하여 유도 전류를 인가하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하여, 인가된 신호에 제1 승산하는 단계-상기 보빈형 코일 및 상기 참조 코일의 출력은 차동으로 연결됨-;

상기 보빈형 코일의 내부에 삽입된 원통형 홀센서 배열의 복수의 열 중에서 원호 방향의 열이 순차적으로 선택되도록 구동 전원을 스위칭하여 인가하고, 인가된 신호에 생성된 상기 위상차를 달리하는 구형파를 제2 승산하는 단계; 및

상기 제1 승산된 신호 및 상기 제2 승산된 신호에 기초하되, 신호의 진폭 및 위상차의 분포를 이용하여 상기 시험편의 결함을 검출하는 단계;를 포함하는, 와전류 검사 장치의 구동 방법.

**청구항 6**

컴퓨터 상에서 수행하기 위한 프로그램을 기록한 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 있어서, 상기 프로그램은, 프로세서에 의한 실행 시, 상기 프로세서가,

비파괴 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입된 보빈형 코일 및 상기 시험편의 레퍼런스인 무결함 시험편의 내부에 삽입된 참조 코일에 다중 주파수 중 하나 이상의 주파수를 선택하여 유도 전류를 인가하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하여, 인가된 신호에 제1 승산하는 단계-상기 보빈형 코일 및 상기 참조 코일의 출력은 차동으로 연결됨-;

상기 보빈형 코일의 내부에 삽입된 원통형 홀센서 배열의 복수의 열 중에서 원호 방향의 열이 순차적으로 선택되도록 구동 전원을 스위칭하여 인가하고, 인가된 신호에 생성된 상기 위상차를 달리하는 구형파를 제2 승산하는 단계; 및

상기 제1 승산된 신호 및 상기 제2 승산된 신호에 기초하되, 신호의 진폭 및 위상차의 분포를 이용하여 상기 시험편의 결함을 검출하는 단계;를 수행하는, 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체.

**청구항 7**

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,  
 상기 위상차를 달리하는 구형과의 위상차는 90도인, 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치.

**청구항 8**

제5항에 있어서,  
 상기 위상차를 달리하는 구형과의 위상차는 90도인, 와전류 검사 장치의 구동 방법.

**청구항 9**

제6항에 있어서,  
 상기 위상차를 달리하는 구형과의 위상차는 90도인, 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체.

**청구항 10**

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,  
 디스플레이;를 더 포함하며,  
 상기 제어 모듈은,  
 선택된 하나 이상의 주파수에 기초하여 결함 부위 별로 상기 신호의 진폭 및 위상차를 상기 디스플레이에 정량적으로 표시하는, 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치.

**청구항 11**

제1항 또는 제2항에 있어서,  
 상기 제어 모듈은,  
 교류증폭회로 및 직류증폭회로의 증폭비를 결정하고, 원통형 홀센서 배열에 포함된 행과 열에 구동 전원을 스위칭하여 인가하며, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 회로를 구동하는, 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치.

**발명의 설명**

**기술분야**

[0001] 본 개시는 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 발전소에 구비된 열교환기는 유체의 열을 전열관(heat transfer 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 와전류검사용 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 측정하는 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] 상기한 과제를 실현하기 위한 본 발명의 일 실시 예와 관련된 비파괴 검사를 위한 와전류 검사 장치는 상기 비파괴 검사의 검사 대상인 시험편의 내부에 삽입되어 상기 시험편의 내벽에 유도전류를 인가하기 위한 보빈형 코일; 상기 시험편의 레퍼런스인 무결함 시험편의 내부에 삽입되어 상기 무결함 시험편의 내벽에 유도 전류를 인가하기 위한 참조 코일; 상기 보빈형 코일의 내부에 배치되며, 행과 열을 포함하는 원통형 홀센서 배열; 및 다중 주파수 중 하나 이상의 주파수를 선택하여 상기 보빈형 코일 및 상기 참조 코일에 교류 전원을 인가하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하며, 인가된 신호 및 상기 구형파 신호가 제1 승산되도록 제어하는 제어 모듈;을 포함하며, 상기 제어 모듈은 상기 원통형 홀센서 배열의 복수의 열 중에서 원호 방향의 열이 순차적으로 선택되도록 구동 전원을 스위칭하여 인가하고, 인가된 신호에 생성된 상기 위상차를 달리하는 구형파가 제2 승산되도록 제어하며, 상기 제1 승산된 신호 및 상기 제2 승산된 신호에 기초하되, 신호의 진폭 및 위상차의 분포를 이용하여 상기 시험편의 결함을 검출할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0008] 본 발명의 다양한 실시예에 따르면 아래와 같은 효과가 도출될 수 있다.
- [0009] 우선, 회전체 구조가 아니라서 간단하면서, 기계적으로 내구성이 우수한 와전류 검사 장치가 제공될 수 있다.
- [0010] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 종래의 장비에서는 구현되지 못하였던 실시간으로 와전류의 진폭 및 위상차의 분포를 시각적으로 표시할 수 있다.
- [0011] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 보빈형 탐촉자, 회전형 탐촉자, 환형배열 탐촉자 등의 장점들이 모두 구현될 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 소구경 열교환기 전열관의 결함이 자동으로 검출될 수 있다.
- [0013] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 결함의 위치, 형상, 크기 등이 자동으로 평가될 수 있다.
- [0014] 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.
- [0015] 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.
- [0016] 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.
- [0017] 또한, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써, 종래의 환형 자기센서배열 탐촉자에 비하여, 결함의 위치가 내부인지 외부인지 정량적으로 평가될 수 있고, 축방향으로 상기 장치가 이동하지 않은 상태에서 고속으로 전자기장의 왜곡 분포가 정량적으로 측정될 수 있으며, 부식, 마모, 균열의 판별이 용이하며, 정량적으로 평가될 수

있다.

[0018] 마지막으로, 상기 와전류 검사 장치가 제공됨으로써 종래의 실린더형 자기센서배열 탐촉자에 비하여, 결합의 위치가 내부인지 외부인지 정량적으로 평가될 수 있고, 주파수에 따른 전자기장의 왜곡 분포가 정량적으로 측정될 수 있으며, 부식, 마모, 균열의 판별이 용이하고, 정량적으로 평가될 수 있다.

[0019] 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**

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 시험편에 삽입된 와전류 검사 장치의 탐촉자를 나타낸다.
- 도 2는 도 1에 도시된 탐촉자의 일부분을 구체적으로 확대한 도면이다.
- 도 3은 도 2에 도시된 보빈형 코일에 대응되는 참조 코일을 나타낸다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다중 주파수 교류전원 인가회로를 나타낸다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 보빈형 코일 및 참조 코일을 이용하여 와전류의 신호를 취득하기 위한 회로를 나타낸다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 원통형 홀센서 배열을 이용하여 와전류의 신호를 취득하기 위한 회로를 나타낸다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 와전류 검사 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.
- 도 8(a) 및 도 8(b)는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다양한 결합을 포함한 시험편을 나타낸다.
- 도 9 내지 도 12는 도 8에 도시된 시험편을 이용하여, 다중 주파수에 따른 진폭 분포 및 위상차 분포를 나타낸다.
- 도 13은 50kHz의 주파수를 인가하였을 때, 도 11과 도 12에서 결합의 중심을 지나는 센서의 출력을 바탕으로 도시한 리사주선도이다.

이상에서 살펴본 바와 같이 본 발명은 바람직한 실시예를 들어 도시하고 설명하였으나, 상기한 실시예에 한정되지 아니하며 본 발명의 정신을 벗어나지 않는 범위 내에서 당해 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변경과 수정이 가능할 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0021] 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.
- [0022] 도 1은 본 와전류 검사 장치(도 7, 100)의 탐촉자(30)가 시험편(10)에 삽입된 예를 나타낸다. 이하의 설명시 도 7의 도면부호를 함께 차용하기로 한다.
- [0023] 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 탐촉자(30)는 비파괴검사를 수행하기 위한 검색 유닛(search unit)에 해당된다.
- [0024] 본 명세서에서는 원자력 발전소의 열교환기에 사용되는 유체의 열을 전달하는 전열관(heat transfer tube)을 시험편(10)을 예를 들어 설명하나, 구현시에는 비파괴 검사의 대상인 다양한 오브젝트가 시험편(10)으로 이용될 수 있다.
- [0025] 탐촉자(30)는 원통형으로 구성될 수 있으며, 상기 탐촉자(30)는 탐촉자 기구(33), 상기 탐촉자 기구(33)에 감긴 보빈형 코일(110), 상기 보빈형 코일(110)의 내부에 배치된 원통형 홀센서 배열(120)을 포함할 수 있다. 탐촉자 기구(33)는 다양한 모양으로 구성될 수 있으나, 시험편(10)에 삽입될 때 장애물이 있는 경우 이를 감지하여 제

어 모듈(도 7의 115)에 전달할 수 있다.

[0026] 이하에서는 도 1에 도시된 탐촉자(30)의 특정 부분(u)을 확대한 도 2를 참고하여 보다 구체적으로 설명하기로 한다.

[0027] 도 2에 따르면, 시험편(10)은 결합부위(13)를 포함할 수 있다. 결합부위(13)는 부식, 마모, 균열 등에 의해 생길 수 있고, 체적성 결합에 의해 발생될 수 있다.

[0028] 상기 결합부위(13)를 정확하게 탐지하기 위해 상술한 와전류 검사 장치(100)가 제안된 것이고, 상기 와전류 검사 장치(100)는 보빈형 코일(110) 및 원통형 홀센서 배열(120)을 이용하여 결합부위(13)를 정확하게 검출할 수 있다.

[0029] 보빈형 코일(110)은 반지름 r인 광폭 보빈형 코일로 금속재질의 소구경 배관 시험편(10)의 내부에 삽입될 수 있다. 시험편(10)을 구경이 작은 소구경으로 설명하나, 구현시에는 시험편(10)이 대구경, 중구경을 가질 수 있다.

[0030] 보빈형 코일(110)에는 아래 [수학식 1]의 교류 전압이 인가될 수 있다.

[0031] [수학식 1]

$$V(t) = V_0 \sin \omega t$$

[0032]

[0033] 여기서, 주파수는 식  $\omega = 2\pi f$ 에 의해 도출될 수 있으며, 와전류 검사 장치(도 7, 100)는 다중 주파수의 교류 전압을 보빈형 코일(110)에 인가할 수 있다. 가령, 와전류 검사 장치(100)는 30 KHz의 주파수를 보빈형 코일(110)에 인가할 수 있고, 50 KHz의 주파수를 보빈형 코일(110)에 인가할 수 있으며, 이들의 복합된 주파수를 인가할 수 있으나, 실시 예는 이에 국한되지 않는다. 다중 주파수를 인가하기 위해 별도의 다중 주파수 교류 전원 인가 회로가 포함될 수 있다.

[0034] 이때, 보빈형 코일(110)에 교류전압이 인가되는 경우, 시험편(10) 내벽(inner diameter)에 유도전류의 흐름이 나타날 수 있다. 원통좌표계로서 반지름방향 r, 원호 방향  $\phi$ , 축방향 z라 하고, 보빈형 코일(110)의 저항과 인덕턴스를 각각 R과 L이라고 하면 여자전류(exciting current)는 아래 [수학식 2]와 같이 도출될 수 있다. 또한, 이러한 보빈형 코일(110)의 여자전류는 z축 방향으로 [수학식 3]과 같은 자속을 발생시킨다.

[0035] [수학식 2]

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

[0036]

[0037] [수학식 3]

$$\Psi_1 = \mu \pi b^2 i_{ext}(t)$$

[0038]

[0039] 만약, 시험편(10)에 결합이 없을 때에는 상기 보빈형 코일(110)의 반대방향이면서 시험편(10)의  $\phi$  방향을 따라 [수학식 4]의 유도전류가 발생한다. 또한, 이러한 유도전류는 -z 방향으로 [수학식 5]와 같은 자속을 발생시킨다. 이때, d는 시험편(10, specimen)의 두께를 나타낸다.

[0040] [수학식 4]

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

[0041]

[0042] [수학식 5]

$$\Psi_{2, specimen} = \mu \pi \left(b + \frac{d}{2}\right)^2 i_{specimen}(t)$$

[0043]

[0044] 따라서, 보빈형 코일(110)에는 [수학식 6]의 자속이 인가될 수 있다.

[0045] [수학식 6]

$$\Psi_{specimen} = \Psi_1 - \Psi_{2, specimen}$$

[0046]

[0047] 한편, 보빈형 코일(110)의 내부에는 원통형 홀센서 배열(120)이 배치될 수 있다. 복수의 홀센서가 원통형 모양을 따라 행과 열을 구성하여 배치될 수 있다. 또한, 열교환기 전열관이 곡관부의 형태를 가져서 센서의 전체 길이가 짧아져야 하는 경우에는 한 개의 열로 구성되어 환형으로 배치될 있다. 상기 원통형 홀센서 배열(120)은 회전하지 않고 고정되어 와전류 검사 장치의 내구성이 우수하게 된다.

[0048] 시험편(10)의 유도전류가 왜곡되는 경우, 시간적으로 변화하는 자계(시변자계)도 왜곡되게 된다. 복수의 홀센서는 환형 또는 실린더 형태로 구성된 반도체 기반의 수동형 자기센서로 시변자계의 왜곡을 측정할 수 있다. 이에 따라, 복수의 홀센서는 시험편(10)의 결함의 존재 뿐만 아니라 시변자계의 세기를 측정할 수 있다. 이는 능동형 코일센서를 이용하는 경우보다 크기가 작고, 센서 간의 간섭이 없어 공간 분해능을 높을 뿐 아니라, 센서를 교차로 구동시킬 필요가 없다. 또한, 구현시에 상기 복수의 홀센서는 GMR(giant magnetoresistance) 센서로 대체될 수도 있다.

[0049] 도 3은 도 2에 도시된 보빈형 코일(110)에 대응되는 참조 코일(110r)을 나타낸다.

[0050] 도 3에 도시된 시험편(20)은 무결함 시험편(20)이다. 무결함 시험편(20)은 시험편(10)과 동일 소재이고 시험편(10)의 레퍼런스이며 결함이 없는 것이 특징이다. 무결함 시험편(20) 내부에 상기 참조 코일(110r)이 배치될 수 있다. 참조코일(110r)에는 아래 수학식 7에 따른 자속이 인가될 수 있다.

[0051] [수학식 7]

$$\Psi_{reference} = \Psi_1 - \Psi_{2, reference}$$

[0052]

[0053] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다중 주파수 교류전원 인가회로를 나타낸다.

[0054] 도 4와 같이, 측정 시험편(10)에 내삽된 보빈형 코일(110) 및 무결함 시험편(20)에 내삽된 참조코일(110r)의 출력이 차동으로 연결될 수 있다. 구체적으로, 다중 주파수 교류전원 인가부(107)의 브릿지 회로의 일단에 보빈형 코일(110)이 배치되고, 다른 일단에 참조 코일(110r)이 배치되며 두 개의 저항이 각각 배치될 수 있다.

[0055] 다중 주파수 교류전원 인가부(107)는 후술할 제어 모듈(115)의 제어에 따라 복수의 주파수 중 선택된 주파수로 교류전원이 인가될 수 있다. 이때, 보빈형 코일(110) 및 참조 코일(110r)의 출력이 차동으로 연결되면, 출력신호는 [수학식 6] 및 [수학식 7]을 이용하여 아래 [수학식 8]과 같이 표현될 수 있다. 여기서, reference는 참조 코일(110r), specimen은 보빈형 코일(110)을 나타낸다.

[0056] [수학식 8]

$$\Psi = \Psi_{2, reference} - \Psi_{2, specimen}$$

[0057]

[0058] 만약, 시험편(10)에 결함이 존재하지 않는 경우에는 [수학식 8]의  $\Psi$ 에 의한 출력전류는 0 이다. 하지만, 시험편(10)에 결함이 존재하는 경우에는  $\Psi$ 가 0이 아니며, 결함의 위치 및 크기에 따라 [수학식 9]와 [수학식 10]으로 표현되는 임피던스 및 위상차가 변화한다.

[0059] [수학식 9]

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

[0060]

[0061] [수학식 10]

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

[0062]

[0063] 편의상 결함이 있는 경우에 출력되는 전류를 [수학식 9]와 [수학식 10]을 이용하여 아래 [수학식 11]과 같이 도출될 수 있다. 여기서, crack은 결함을 나타낸다.

[0064] [수학식 11]

$$i_{crack}(t) = \frac{V_0}{Z} \sin(\omega t - \theta)$$

[0065]

[0066] 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 보빈형 코일(110) 및 참조 코일(110r)을 이용하여 와전류의 신호를 취득하기 위한 회로를 나타낸다. 다만, 구현시에는 상기 참조코일(110r)이 회로에서 생략될 수 있으며, 상기 무결함 시험편(20)도 생략될 수 있다.

[0067] 와전류 검사 장치(100)는 보빈형 코일(110)과 참조코일(110r)의 차동 신호선을 코일센서 출력용 교류증폭회로(130)에 연결하여 충분한 신호레벨로 증폭할 수 있다. 와전류 검사 장치(100)는 증폭된 신호레벨을 코일센서 출력용 분기회로(135)에 의하여 분기할 수 있다. 또한, 와전류 검사 장치(100)는 각각의 분기신호를 코일센서 출력용 승산회로(140)를 이용하여 위상지연 구형파 회로(105)의 신호(105a)와 승산하는 경우, 상기 [수학식 11]을 아래의 [수학식 12] 및 [수학식 13]으로 도출할 수 있다. 여기서, 위상지연 구형파 회로(105)는 90도의 위상차를 가지는 신호를 코일센서 출력용 승산회로(140)에 제공할 수 있다.

[0068] [수학식 12]

$$V_1(t) = \frac{V_0}{Z} \sin(\omega t - \theta)$$

[0069]

[0070] [수학식 13]

$$V_2(t) = \frac{V_0}{Z} \cos(\omega t - \theta)$$

[0071]

[0072] 와전류 검사 장치(100)는 승산된 신호 각각을 코일센서 출력용 적분회로(145)에 의하여 적분할 수 있다. 와전류 검사 장치(100)는 제어 모듈(115)을 이용하여 보빈형 코일(110)의 신호연산을 수행하는데 있어 신호를 복소수 평면의 실수부와 허수부로 표현할 수 있다.

[0073] 즉, 상기 [수학식 12] 및 [수학식 13]의 각 변을 제곱하여 더한 후 제곱근 연산을 수행한 경우, 아래 [수학식 14]와 같은 임피던스의 차이가 도출될 수 있다. 시험편(10)에 결함이 존재하는 경우, 유도전류의 임피던스가 증가하게 된다.

[0074] [수학식 14]

$$\sqrt{V_1^2 + V_2^2} = \frac{V_0}{Z}$$

[0075]

[0076] 또한, 나눗셈 연산을 수행하는 경우, 아래 [수학식 15]와 같은 위상차가 도출될 수 있다. 상기 위상차에 기초하여 시험편(10)의 내벽(ID, inner diameter) 또는 외벽(OD, outer diameter)에 결함이 발생되었는지 검출될 수 있다.

[0077] [수학식 15]

$$\frac{V_1}{V_2} = \tan(\omega t - \theta)$$

[0078]

[0079] 이와 같이 와전류 검사 장치(100)는 시험편(10)의 어떤 위치에 결함이 발생되었는지 임피던스의 차이 및 위상차에 기초하여 검출할 수 있다.

[0080] 한편, 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 원통형 홀센서 배열(120)을 이용하여 와전류의 신호를 취득하기 위

한 회로를 나타낸다.

- [0081] 와전류 검사 장치(100)는 원통형 홀센서배열(120)를 이용하여 신호를 취득할 수 있다. 와전류 검사 장치는 반지름  $r$ 인 광폭 보빈형 코일(110)이 금속재질의 소구경 배관 시험편(10)에 내삽되고, 식  $\omega=2\pi f$ 에 의해 도출되는 주파수로 교류전압이 인가되었을 때, 시험편 내벽에 발생하는 유도전류는 결합 근방에서 왜곡된다. 따라서,  $z$ 방향의 교번자계와 함께  $r$  방향의 교번자계가 발생된다. 여기서, 교번자계는 세기 시간과 더불어 양 또는 음의 방향으로 증감하고 방향을 바꾸지 않는 자계를 말한다.
- [0082] 이러한 교번자계를 측정하기 위하여 와전류 검사 장치(100)는 자기센서 구동전원 스위칭회로(190)를 동작시켜, 원통형 홀센서배열(120)의  $\Phi$  방향의 1개 열(120-1 내지 120-4 각각)에 전원을 공급한다. 원통형 홀센서배열(120)은 도 6에 도시된 4개의 열(120-1 내지 120-4)보다 더 많은 열을 포함될 수 있으며, 센서의 전체 길이가 짧아져야 할 경우에는 한 개의 열로 구성되어 환형으로 배치될 수 있다.
- [0083] 또한, 상기 와전류 검사 장치(100)는  $z$  방향의 각각의 센서 배열의 신호선을 자기센서 출력용 병렬형 교류증폭회로(160)에 연결하여 충분한 신호레벨로 증폭한 후, 자기센서 출력용 병렬형 분기회로(165)에 의하여 분기할 수 있다.
- [0084] 또한, 상기 와전류 검사 장치(100)는 각각의 분기신호를 자기센서 출력용 승산회로(170)를 이용하여 위상지연 구형파 회로(105)의 구형파 신호(105a) 및 분기신호가 승산될 수 있다. 이에 따라, 와전류 검사 장치(100)는 상술한 [수학식 12 내지 15] 와 같이 결합의 존재에 기인한  $r$  방향 교번자계의 진폭 및 위상차를 측정할 수 있다. 이때 각각의 진폭 및 위상차는 환형배열형 자기센서 신호연산 부(115b2)에 의하여 소프트웨어적으로 계산될 수 있고, 구현시에는 하드웨어적으로도 계산될 수 있다.
- [0085] 도 6에 따르면, 시험편(10)의 결합이 체적성 결합인지 균열성 결합인지 평가될 수 있어, 발전소 정상 출력운전 중 전열관 파열에 의한 누설발생의 위험성이 해소될 수 있다. 또한, 원통형 홀센서배열(120)이 삽입되어 멈춰 있더라도, 기계적 회전을 하지 않은 상태에서 시변자계의 분포를 측정할 수 있으므로 장비의 열화를 방지할 수 있다. 또한, 전자식 스캔에 의하여 결합 검출 및 평가 속도가 빠르게 될 수 있다. 또한 원통형 홀센서배열(120)이 복수의 열로 구성되고 각 열이 환형 모양인 바, 하나의 열만 선택한 후 축방향으로 결합을 스캔하여 빠른 속도로 결합유무 판별 및 정량 평가에 사용될 수 있다. 또한, 홀센서 자체가 능동형 코일 센서가 아니고 크기가 작으므로, 센서의 상호 간섭이 문제되지 않으며, 비용이 저렴하게 될 수 있고, 공간 분해 능력이 우수하게 된다. 또한, 시험편(10)의 축방향으로 일부 영역만큼만 스캔이 수행될 수 있으며, 결합으로 인한 사변 자계가 왜곡되는 경우 결합 유무, 결합의 형상 및 크기 등이 모두 정량적으로 정확하게 평가될 수 있다. 또한, 다중 주파수를 이용하여 결합 검출이 가능하여 결합의 정량 평가에 탁월한 효과가 발생될 수 있다.
- [0086] 이하에서는 도 7을 참고하여 본 발명의 일 실시 예에 따른 와전류 검사 장치(100)의 구성을 나타내는 블록도이다. 와전류 검사 장치(100)는 코일(110, 110r) 센싱에 기반한 결합 검출 및 원통형 홀센서 배열(120)을 이용한 결합 검출을 모두 제공할 수 있다.
- [0087] 우선 코일(110, 110r) 센싱을 먼저 기술하기로 한다.
- [0088] 와전류 검사 장치(100)는 다중 주파수를 인가하는 다중 주파수 교류 전원 인가부(107)를 포함할 수 있다. 와전류 검사 장치(100)의 제어 모듈(115)은 상기 다중 주파수 교류 전원 인가부(107)에 복수의 주파수가 인가될 수 있도록 제어할 수 있다.
- [0089] 와전류 검사 장치(100)는 인가된 교류 전류에 코일센서 출력용 교류증폭 회로(130), 코일센서 출력용 분기회로(135)에서 출력된 신호와 위상지연 구형파 회로(105)에서 90도 위상차를 두는 구형파 신호를 코일센서 출력용 승산회로(140)에서 승산할 수 있다.
- [0090] 승산된 신호는 코일센서 출력용 적분회로(145) 및 코일센서 출력용 직류 증폭 회로(150)를 거쳐 AD 변환회로(155)에 의해 아날로그 신호가 디지털신호로 변환될 수 있다.
- [0091] 이때, 제어 모듈(115)의 보빈형 코일센서 신호 연산부(115b1)은 코일센서 출력용 직류증폭회로(150)로부터 출력된 2개의 신호를 조합하여 결합 유무와 위치에 따른 진폭과 위상차를 계산할 수 있다.
- [0092] 그 다음, 코일(110, 110r) 센싱에 이어 원통형 홀센서 배열(120)을 이용한 결합 검출을 설명하기로 한다.
- [0093] 먼저, 와전류 검사 장치(100)는 원통형 홀센서 배열(120)의 각 열(120-1, 120-2, 120-3, 120-4 등)에 구동전원을 선택적으로 인가하는 자기센서 구동전원 스위칭 회로(190)를 통해 축방향으로 순차적으로 전원을 인가할 수

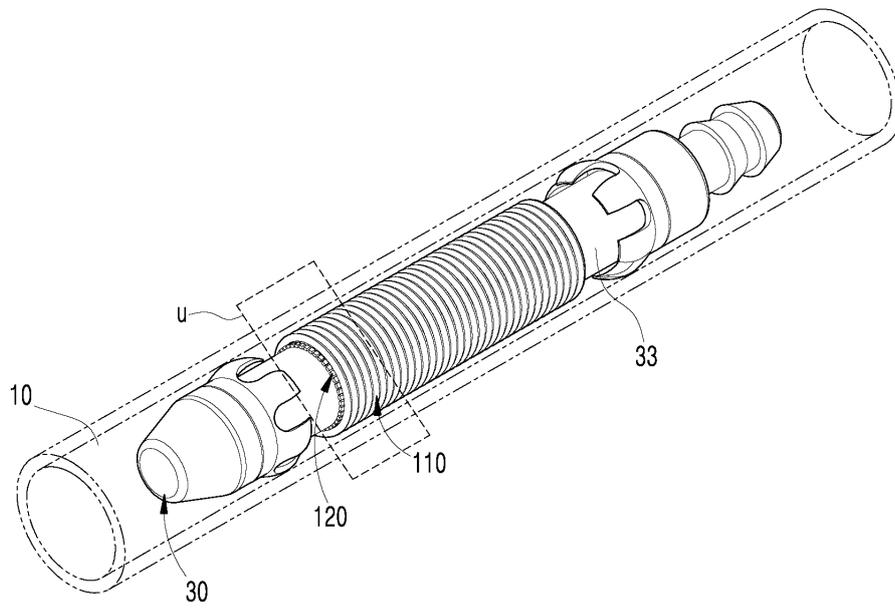
있다. 구현시에는 축방향에만 국한되지는 않고, 결함을 발견하는 부위를 기준으로 앞뒤로 전원이 순차적으로 인가될 수도 있다.

- [0094] 와전류 검사 장치(100)는 인가된 신호가 자기센서 출력용 교류증폭회로(160), 자기센서 출력용 병렬형 분기회로(165)을 통해 출력되도록 제어할 수 있다.
- [0095] 이때, 분기회로(165)에서 출력된 신호는 위상지연 구형과 회로(105)의 구형과 신호와 자기센서 출력용 승산회로(170)를 통해 승산될 수 있다. 상기 구형과 신호는 코일센서(110, 110r)에서 사용한 구형과 신호일 수 있으며, 90도의 위상차를 가지게 되나, 구현시에는 다른 각도의 위상차도 가능하다.
- [0096] 승산된 신호는 자기센서 출력용 적분회로(175), 자기센서 출력용 직류증폭회로(180)를 거쳐 AD 변환회로(155)에 의해 아날로그 신호가 디지털 신호로 바뀔 수 있다.
- [0097] 이때, 제어 모듈(115)의 환형 배열형 자기센서 신호 연산부(115b2)는 자기센서 출력용 직류증폭회로(180)로부터 출력된 열방향 센서수의 2배에 해당되는 신호를 조합하여 결함 유무와 위치에 따른 진폭과 위상차의 분포를 계산할 수 있다.
- [0098] 그리고, 상기 보빈형 코일센서 신호연산부(115b1)와 환형 배열형 자기센서 신호연산부(115b2)는 각각 코일센서 출력용 적분회로(145)를 거쳐서 출력된 2개의 적분신호를 증폭하기 위한 코일센서 출력용 직류증폭회로(150)와, 자기센서 출력용 적분회로(175)를 통과하여 출력된 센서 1개당 2개씩의 적분신호를 증폭하기 위한 자기센서 출력용 직류증폭회로(180)와, 상기 자기센서 출력용 직류증폭회로(180)와 코일센서 출력용 직류증폭회로(150)에서 출력된 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하기 위한 AD변환회로(155)를 거쳐서 연산장치에 입력된 후에 구동될 수 있다.
- [0099] 또한, 실린더 배열형 자기센서 신호 연산부(115b3)는 다중 주파수 교류전원 인가부(107)의 특정주파수를 선택한 상태에서, 상기 원통형 홀센서 배열(120)의 원호방향의 각 열을 순차적으로 선택하면서, 상기 자기센서 출력용 직류증폭회로(180)로부터 출력된 열방향 센서수의 2배에 해당하는 신호를 조합하여 결함 유무와 위치에 따른 진폭과 위상차의 분포를 계산할 수 있다.
- [0100] 제어 모듈(115)은 다중주파수 교류전원 인가부(107)의 주파수 선택, 코일센서 출력용 교류증폭회로(130) 및 코일센서 출력용 직류증폭회로(150)의 증폭비 변환, 자기센서 구동전원 스위칭 회로(190)의 가동, 자기센서 출력용 교류증폭회로(160) 및 직류증폭회로(180)의 증폭비 변환, AD변환회로(155)의 구동, 보빈형 코일 센서 신호연산부(115b1), 환형 배열형 자기센서 신호연산부(115b2), 실린더 배열형 자기센서 신호 연산부(115b3)를 제어할 수 있다.
- [0101] 도 8(a) 및 도 8(b)는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다양한 결함을 포함한 시험편을 나타낸다.
- [0102] 도 7(a)에 따르면, 시험편(10)의 총 길이는 500 mm 이고, 각종 결함이 나타난다. 또한 시험편(10)과 별개로 결함이 없는 시험편(20)의 경우 시험편(10)의 결함이 존재하지 않는다.
- [0103] 외벽(OD)은 15.87 이고, 원주 내경(ID)은 13.33 이며, 두께는 1.27 이고 소재는 SS304 로 이뤄진다. TSP(tube support plate)는 카본 스틸로 구성될 수 있으나, 구현시에 시험편(10)의 규격은 다양하게 바뀔 수 있다.
- [0104] 도 8(a)의 각각의 지점에 대해 결함에 대응되는 표는 도 8(b)에 나타난다.
- [0105] FBH(flat bottomed hole)은 평저공이고, TWH(through wall hole)은 관통홀을 나타낸다. TSP(tube support plate)도 관측된다.
- [0106] 도 9은 주파수 30 KHz가 인가된 경우의 각 결함의 진폭 분포를 나타낸다.
- [0107] 도 9에 따르면, 보빈형코일(110)에 주파수 30kHz가 인가되는 경우, 원통형 홀센서 배열(120) 중 선택된 하나의 환형열에서 측정된 시변자계 진폭의 분포가 나타난다. 횡축은 거리를 나타내며, 종축은 360도 방향으로 배열된 센서의 위치를 나타낸다. 연속된 그림에서 ID groove, OD groove, TSP와 같이 시험편의 원호방향으로 연속된 결함은 모든 센서에서 반응하므로, 종축으로 연속적으로 변화된 자계 분포를 나타낸다. FBH 20%-4는 4개의 FBH 결함이 환형으로 90도 간격으로 배열된 것으로, 진폭분포를 통해 결함이 90도 간격으로 배열된 것이 표시된다. 그리고, FBH 40~100%는 결함의 직경과 깊이가 서로 다른 결함을 나타낸다. 상하 4개씩 총 8개의 3차원 그래프는 상기 원통형 홀센서 배열(120)를 결함의 중심위치에 놓고, 환형으로 배열된 열을 순차적으로 선택하여 측정하였을 때 취득할 수 있는 시변자계의 진폭의 분포를 나타낸다. 즉, 종래의 기술에서 취득할 때 반드시 동반되어야 했던 기계적인 구동이 없이도 특정 영역에서의 진폭 분포를 측정할 수 있다.

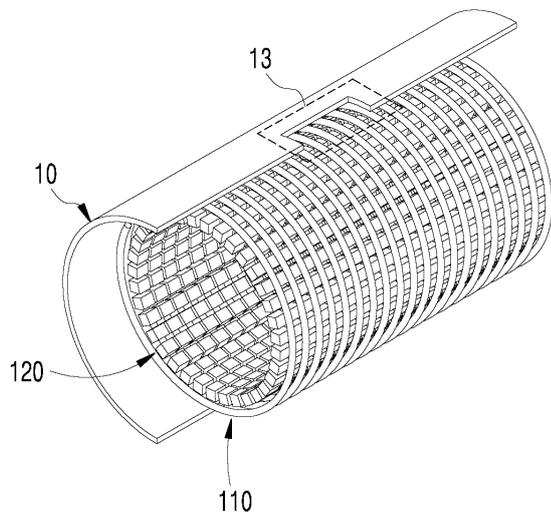
- [0108] 도 10은 주파수 30 KHz가 인가된 경우의 각 결함의 위상차 분포를 나타낸다.
- [0109] 도 10은 상기 도 9와 동일한 조건에서 측정된 시변자계의 위상차의 분포를 나타낸다. 도 9와 유사한 분포이나, FBH 20%-4의 결과가 명확하게 상이하다. 즉, 센서프로브가 배관 내벽에서 일정한 리프트오프(센서와 측정면의 거리)를 유지하지 못하고, 한쪽으로 치우쳤을 때에는 도 9에 나타낸 바와 같이 진폭의 강도가 변화하므로, 결함의 크기가 작은 것인지 아니면 리프트오프가 큰 것인지 구분하기 곤란하다. 하지만, 도 10에 나타낸 바와 같이 위상차 분포는 리프트오프에 크게 영향을 받지 않기 때문에, 동일한 크기의 결함에서는 동일한 위상차 분포를 나타낸다.
- [0110] 도 11은 주파수 50 KHz가 인가하였을 때, 진폭의 분포를 나타낸다.
- [0111] 주파수가 높으면, 와전류의 침투깊이가 얕아진다. 즉, 센서에서 가까운 위치의 결함은 측정하기 쉽지만, 센서에서 먼 위치의 결함으로부터 출력은 작아진다. 이러한 원리에 의하여 TSP 신호를 구분할 수 있다. 도 9에서 TSP 신호는 매우 커서, ID groove 10%와 OD groove 20%의 결함에 비하여 큰 신호를 지시한다. 그러나, 50kHz와 같이 높은 주파수를 인가하면, 유도전류는 시험편(110) 표면에만 집중하고 시험편의 바깥쪽에 위치한 TSP에는 미치지 못한다. 즉, 30kHz와 50kHz의 신호를 동시에 비교함으로써, TSP인지 groove인지를 구분할 수 있다. 하지만, 종래의 기술에 의하면 이렇게 여러 개의 주파수를 입력하면서 시변자계의 분포를 측정하기 위해서는 주파수를 바꿔가면서 여러 번 스캔하는 제1방법과, 다중 주파수를 동시에 또는 빠른 속도로 번갈아 가면서 주고, 천천히 스캔하는 제2방법을 사용해야만 한다. 제1방법은 검사시간이 주파수의 개수 배로 늘어나서, 2개의 주파수를 입력할 때에는 2배 이상, 8개의 주파수를 입력할 때에는 8배 이상의 시간이 소요된다. 제2방법은 신호처리 회로가 복잡해지고 가격이 비싸진다. 하지만, 본 발명에 따르면, 센서프로브를 결함 부근에 위치시키고, 전자식 스캔을 작동시키면 해당 영역에서 시변자계 분포를 실시간으로 관찰할 수 있다. 즉, 입력 주파수를 바꿔 주기만 하면 된다.
- [0112] 도 12는 주파수 50 KHz가 인가된 경우의 각 결함의 위상차 분포를 나타낸다.
- [0113] 도 12는 상기 도 11과 동일한 조건에서 측정된 시변자계의 위상차 분포이다. 그래프 상으로 큰 차이가 나타나지 않을 수도 있으나, 아래 도 13을 참고하면, 차이점이 보다 명확하게 도출될 수 있다.
- [0114] 도 13은 50kHz의 주파수를 인가하였을 때, 도 11과 도 12에서 결함의 중심을 지나는 센서의 출력을 바탕으로 도시한 리사주선도이다.
- [0115] 와전류 탐상에서 리사주선도는 결함의 존재 및 위치를 판별하는데 활용되는 기법으로, 곡선 형태의 패턴은 각각의 결함을 나타낸다. 그리고, 곡선 형태의 패턴이 좌표결함의 깊이가 20%에서 100%로 깊어질수록 반시계 방향으로 회전한다. 이 회전 방향과 정도를 통하여 결함의 위치와 크기가 판정될 수 있다. 즉, 결함이 시험편(10)의 내부인지, 외부인지를 판별될 수 있다.
- [0116] 도 9 내지 도 13를 따르면, 시험편(10)의 각 결함에 대해 다중 주파수로 측정이 가능하여 정량 평가가 효과적으로 수행될 수 있다.
- [0117] 진술한 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 콘텐츠를 제공하는 시스템(1000)의 제어 모듈(400)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

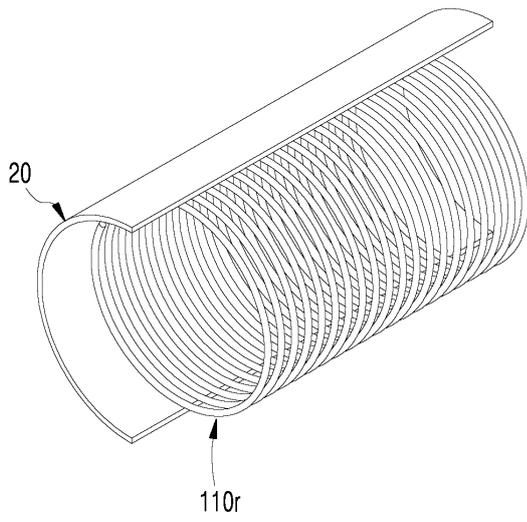
도면1



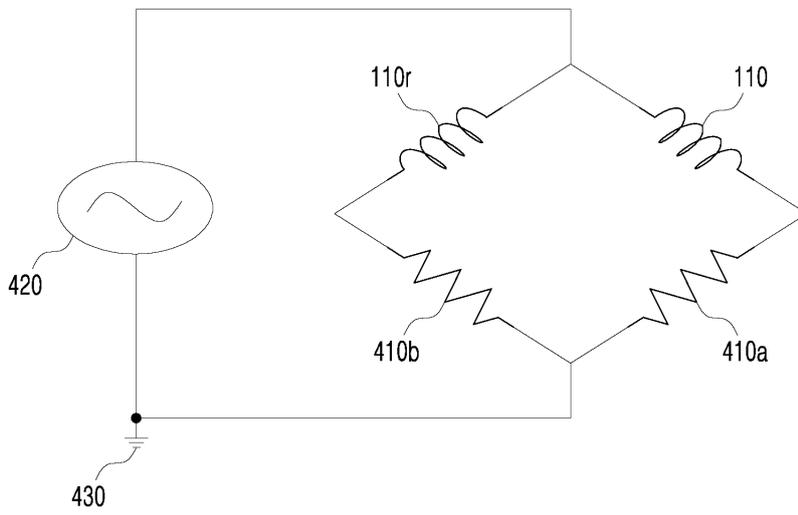
도면2



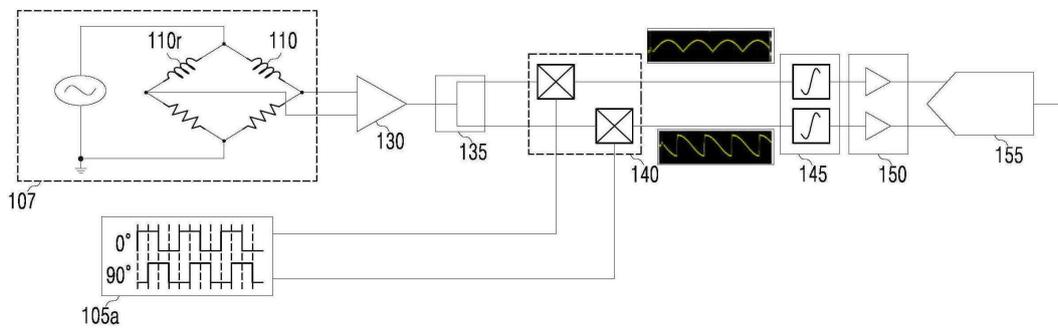
도면3



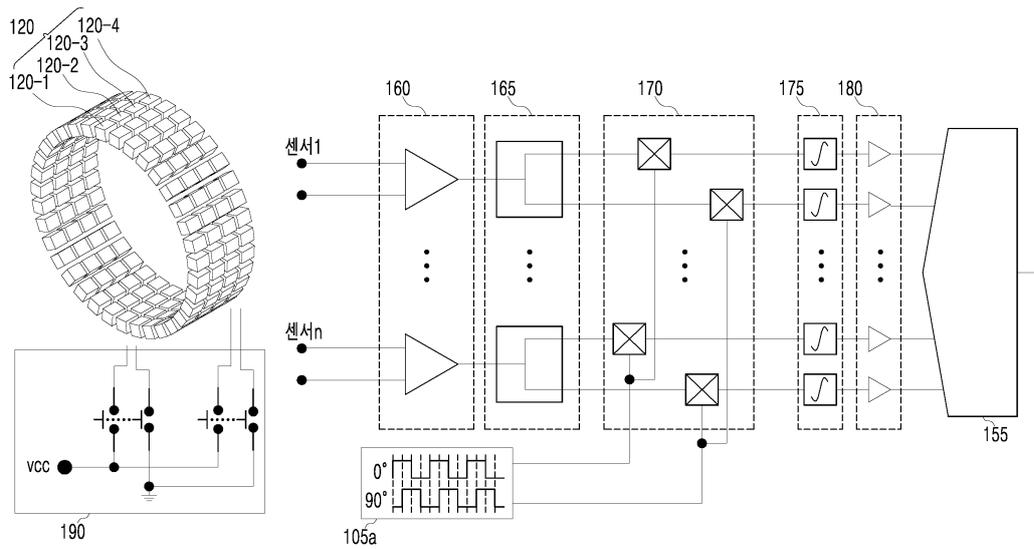
도면4



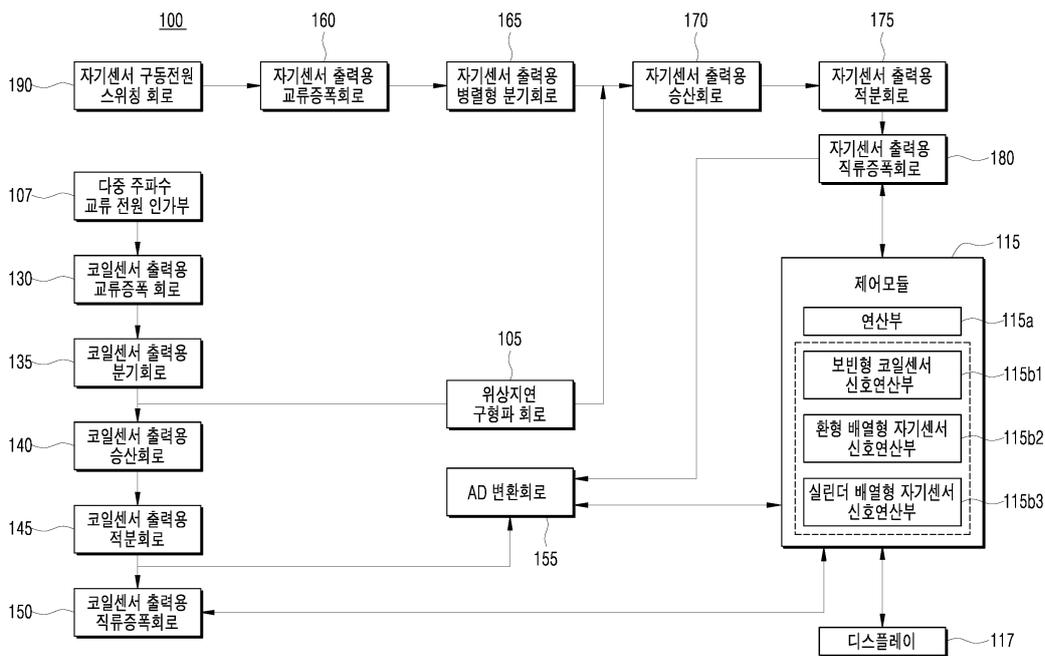
도면5



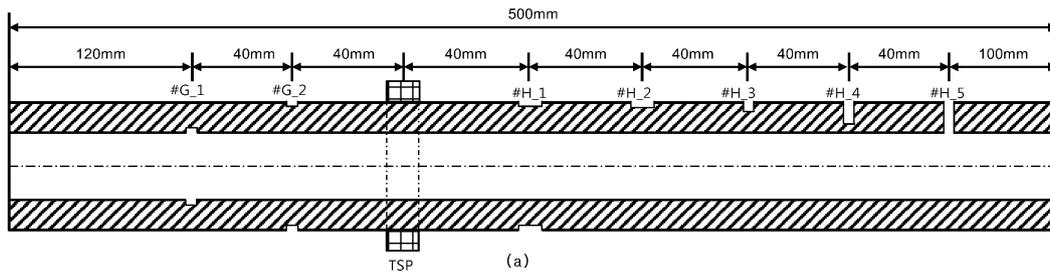
도면6



도면7



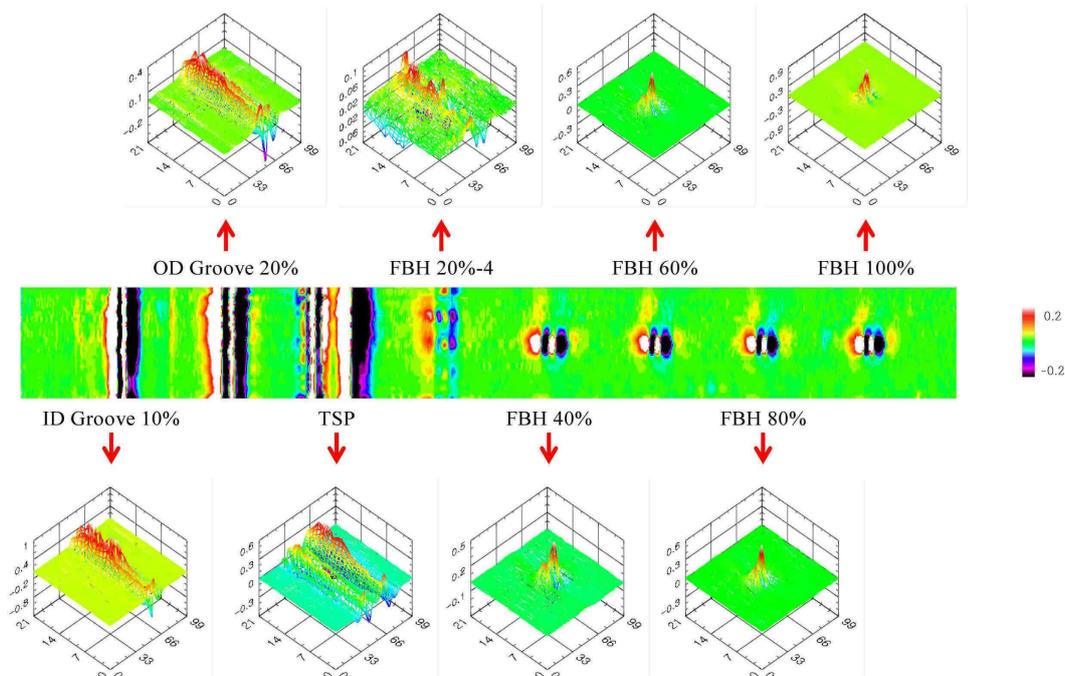
도면8



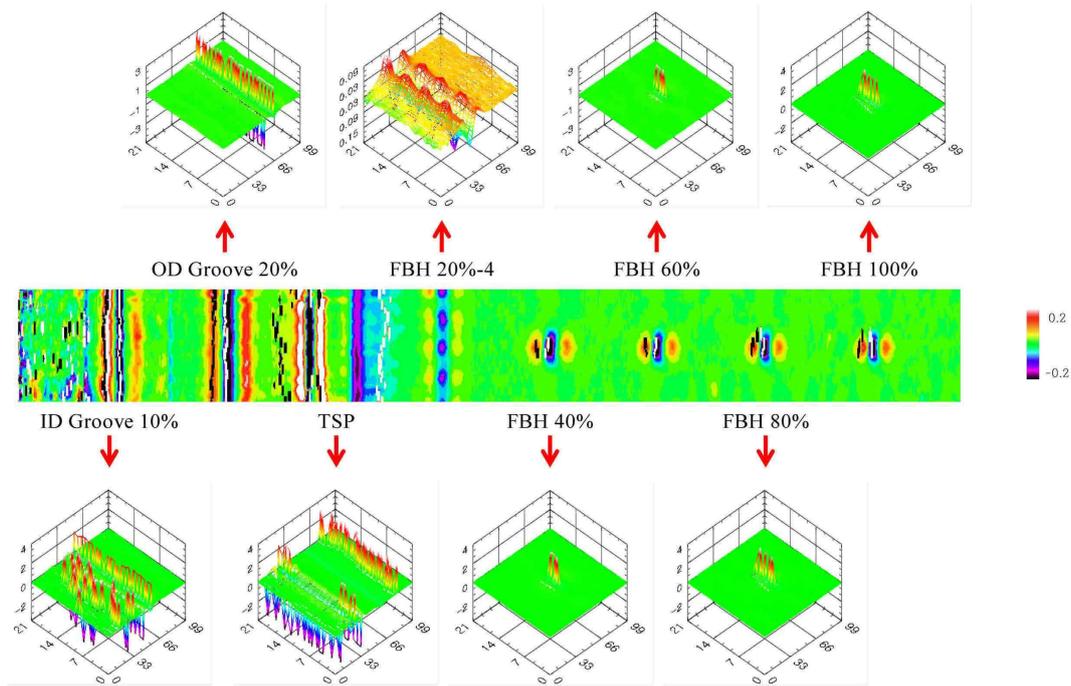
Location	#G_1	#G_2	TSP	#H_1	#H_2	#H_3	#H_4	#H_5
Flaw Depth	0.127	0.254		0.254	0.508	0.762	1.016	Hole
Flaw % of Wall	10%	20%	N/A	20%	40%	60%	80%	100%
Flaw Width/Dia	1.588	3.175	15.875/40.00	4.763	4.763	2.778	1.984	1.321
Flaw Type	ID Groove	OD Groove	TSP	FBH	FBH	FBH	FBH	TWH

(b)

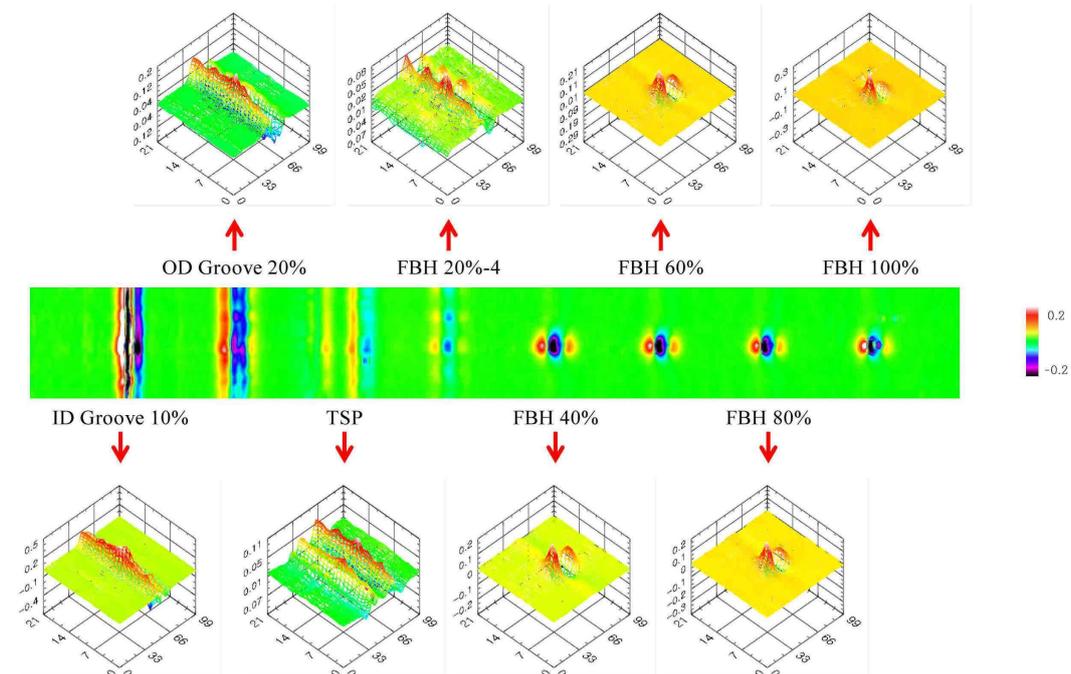
도면9



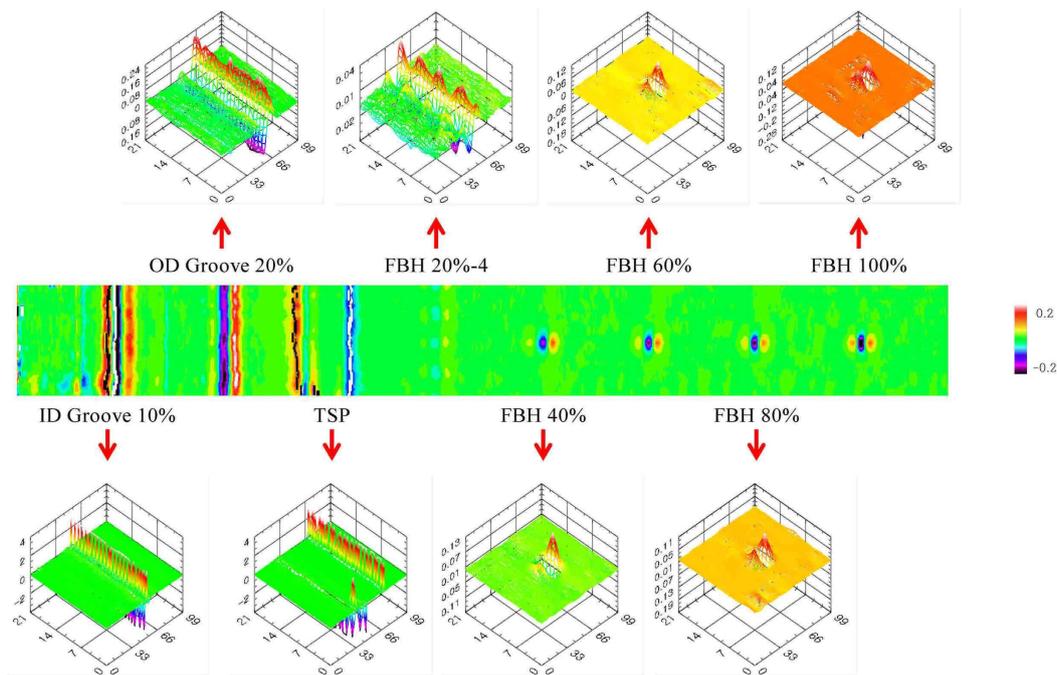
도면10



도면11



도면12



도면13

