



등록특허 10-2099140



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년04월09일

(11) 등록번호 10-2099140

(24) 등록일자 2020년04월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 27/90 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 27/904 (2013.01)

G01N 27/9006 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0119171

(22) 출원일자 2018년10월05일

심사청구일자 2018년10월05일

(56) 선행기술조사문헌

JP2000314727 A*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 9 항

(73) 특허권자

조선대학교산학협력단

광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)

(72) 발명자

이진이

광주광역시 서구 풍암신흥로 18, 103동 1202호(풍암동, 광명메이루즈)

(74) 대리인

특허법인지원

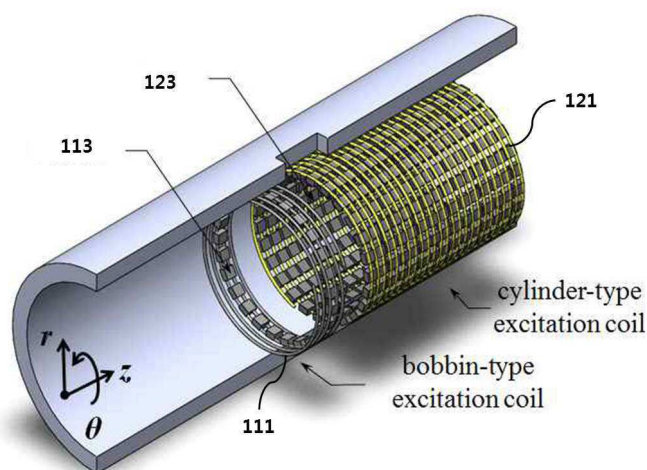
심사관 : 인치현

(54) 발명의 명칭 와전류 검사용 프로브 및 이를 이용한 비파괴검사 장치

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브는 상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 코일과 상기 권선된 코일의 축방향을 따라 환형으로 배열된 센서들을 포함하는 복수 개의 측정부들을 포함한다.

대표도 - 도3a



(56) 선행기술조사문헌

KR101835650 B1*

KR1020130130529 A*

KR101746072 B1

KR1020010023726 A

JP05052816 A

JP2004294341 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20171520101610

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국에너지기술평가원

연구사업명 에너지기술개발사업

연구과제명 원전 전열관의 손상 평가를 위한 제4세대 와전류검사법의 성능 고도화 및 신뢰성 확보

기 여 율 1/1

주관기관 조선대학교 산학협력단

연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

와전류 검사용 프로브에 있어서,

기 설정된 간격으로 이격되는 복수의 측정부들; 을 포함하고,

상기 측정부들은 상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 제1 코일 및 상기 제1 코일의 내측에 환형으로 배열된 제1 센서들을 포함하는 제1 측정부; 및

상기 제1 코일과 다른 폭으로, 상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 권선되는 제2 코일 및 상기 제2 코일의 내측에 원통형으로 배열된 제2 센서들을 포함하는 제2 측정부; 를 포함하는, 와전류 검사용 프로브.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 측정부들은,

상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 제3 코일 및 제4 코일과 상기 제3 코일 및 제4 코일의 사이에 부착된 센서들을 포함하는 제1 측정부; 및

상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 제2 코일과 상기 제2 코일의 안쪽에 부착된 센서들을 포함하는 제2 측정부를 포함하는,

와전류 검사용 프로브.

청구항 4

제1항 또는 제3항에 있어서,

상기 제1 측정부는 $M \times N_1$ 개의 센서들을 포함하고,

상기 제2 측정부는 $M \times N_2$ 개의 센서들을 포함하고,

여기서, M 은 상기 코일의 축방향을 따라서 상기 센서들이 이루는 환형 배열의 행의 개수이고,

N_1 및 N_2 는 각각 상기 제1 측정부 및 제2 측정부에 포함된 센서들이 이루는 환형 배열의 열의 개수인,

와전류 검사용 프로브.

청구항 5

제1항 또는 제3항에 있어서,

상기 제2 측정부에 포함된 코일의 축방향 길이는 상기 제1 측정부에 포함된 코일의 축방향 길이보다 길고,

상기 제2 측정부에 포함된 코일이 권선된 폭은, 상기 제1 측정부에 포함된 코일이 권선된 폭보다 큰,

와전류 검사용 프로브.

청구항 6

피측정체의 내부에 삽입되는 와전류 검사용 프로브;

상기 프로브 내 측정부들에 포함된 코일에 교류전류를 인가하고, 상기 측정부들에 포함된 센서들에 전원을 인가

하고, 상기 센서들에서 출력된 신호들을 수집하는 신호처리부; 및

상기 신호처리부가 상기 코일에 교류전류를 인가하고 상기 센서들에 전원을 인가하도록 제어하고, 상기 신호처리부에서 수집한 신호들의 진폭 및 위상차의 분포에 기반하여 상기 피측정체의 결함을 검출하는 제어부를 포함하고,

상기 측정부들은 상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 제1 코일 및 상기 제1 코일의 내측에 환형으로 배열된 제1 센서들을 포함하는 제1 측정부; 및

상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 제2 코일 및 상기 제2 코일의 내측에 원통형으로 배열된 제2 센서들을 포함하는 제2 측정부; 를 포함하는 것을 특징으로 하는, 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 프로브 내 측정부들 중 특정 측정부에 포함된 코일에 교류전류가 인가되고, 상기 특정 측정부에 포함된 센서들에 전원이 인가되도록 상기 신호처리부를 제어하는,

와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 특정 측정부에 포함된 센서들에서 출력된 신호들에 기반하여 상기 피측정체의 결함이 검출된 경우,

상기 프로브 내 측정부들 중 상기 특정 측정부를 제외한 나머지 측정부가 상기 검출된 결함 부위에 위치하면, 상기 나머지 측정부에 포함된 코일에 교류전류를 인가하고, 상기 나머지 측정부에 포함된 센서들에 전원을 인가하도록 상기 신호처리부를 제어하고,

상기 나머지 측정부에 포함된 센서들에서 출력된 신호들에 기반하여 상기 피측정체의 결함을 검출하는,

와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 특정 측정부는,

상기 프로브에 포함된 측정부들 중 포함된 센서들의 개수가 가장 적은 측정부인,

와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 신호처리부는,

상기 센서들에서 출력된 신호들을 고대역필터 및 저대역필터를 이용하여 필터링하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하여 상기 필터링된 신호들과 승산시키고, 상기 승산된 신호들을 적분하고, 상기 적분된 신호들을 증폭시킨 이후 디지털 신호로 변환하는,

와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 와전류 검사용 프로브 및 이를 이용한 비파괴검사 장치에 관한 것으로, 협폭의 측정부 및 광폭의 측정부를 포함하는 프로브를 이용하여 시험편의 결함을 검출하는 와전류 검사용 프로브 및 이를 이용한 비파괴검사 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 열교환기는 유체의 열을 전열관 튜브의 전열면을 통해 열전달을 일으켜 가열, 냉각, 응축 등의 기능을 수행한다. 고온, 고압, 진동, 수화학 환경 하에서 장시간 활용 한 열교환기 전열관 튜브는 부식, 점식, 침식, 공식, 마모, 감육, 피로균열, SCC, IASCC 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 계획예방정비기간 동안 주기적으로 수행되고 있다.

[0003] 열교환기 전열관의 건전성 확인을 위한 보빈형 와전류검사(ECT, eddy current testing)는 발전소 계획예방정비기간 동안 주기적으로 수행되고 있다. 내삽 보빈형 프로브(이하, 제1세대 ECT, bobbin probe)에 교류전류를 인가하면, 전열관 튜브에 유도전류가 발생한다. 유도전류의 경로에 결함이 존재하면, 유도전류의 임피던스가 증가한다. 또한, 결함의 존재가 튜브의 내벽에 위치하거나, 외벽에 위치하는 각 경우에 위상차가 발생한다. 따라서 보빈형 프로브의 임피던스와 위상차를 측정하면 결함의 위치와 깊이를 알아낼 수 있다(비특허문헌 1 내지 4).

[0004] 이러한 원리에 의하여 검사한 결과에 따라 체적성 결함이 관두께 정비기준을 초과한 전열관에 대해서는 관막음 정비를 수행하게 된다.

[0005] 한편, 전열관 검사결과에 대한 후속조치로서 전열관에서 균열성 결함이 발견될 경우에는 관두께 정비기준과 무관하게 관막음 조치를 취해야 한다. 이는 체적성 결함의 경우에 비하여 균열성 결함의 경우 결함이 매우 빠르게 진전하기 때문이다.

[0006] 따라서 균열성 결함이 체적성 결함으로 잘못 평가되어 미보수상태로 남아 있는 경우, 발전소 정상 출력운전 중에 전열관이 파열되어 누설이 발생할 수 있는 문제가 있다.

[0007] 따라서 보빈형 프로브를 사용한 열교환기 전열관 튜브의 비파괴검사에서는 결함 신호가 검출된 지점에서 별도의 수단으로 결함의 종류를 판별하는 작업을 추가해야 한다.

[0008] 결함을 보다 정량적으로 평가하기 위한 수단으로서, 열교환기 전열관 튜브 내벽의 와전류분포를 측정하는 회전형 프로브(이하, 2세대 ECT, MRPC)가 개발되었다(비특허문헌 5). 2세대 ECT는 1~2개의 권케익 코일을 열교환기 튜브 내벽을 따라 나선형으로 스캔하여 와전류 분포를 측정한다.

[0009] 하지만, 나선형으로 스캔할 경우, 검사시간이 길어지기 때문에 상술한 보빈형 프로브에 의하여 결함의 존재가 확인된 영역에서 재검사하는 국한된 목적으로 활용되고 있다.

[0010] 이를 보완하여, 검사시간을 단축하기 위하여 권케익 코일을 환형으로 배열하고, 축방향으로 스캔하여 와전류 분포를 측정하는 환형 배열 와전류검사 프로브(이하, 제3세대 ECT, X-probe)가 제안되었다(비특허문헌 6).

[0011] 이상의 보빈형 프로브, 회전형 프로브, 환형 배열 프로브는 코일을 이용하여 결함을 검출한다. 즉, 교류전류가 인가되는 코일을 시험편에 근접하면, 시험편에 유도전류가 발생되고, 결함이 없는 곳에서의 균일한 형태의 유도전류는 결함이 있는 곳에서 왜곡된다. 이러한 유도전류의 왜곡은 코일 주변의 시변자속밀도분포를 변화시키고, 결과적으로 코일에 발생하는 기전력을 변화시킨다. 한편, 코일에 의하여 발생하는 기전력은 아래의 수학적 1의 패러데이-렌츠의 법칙에 의하여 표현할 수 있다.

수학적 1

$$V_{emf} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = -N \int_S \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{s}$$

[0012]

- [0013] 여기에서, N , Φ , $\frac{d\vec{B}}{dt}$, s 는 각각 코일의 권수, 코일을 통과하는 총자속, 시변자속 밀도, 코일의 면적을 나타낸다. 즉, 많은 수의 권수, 높은 주파수 및 넓은 코일 면적에 의하여 보다 큰 신호를 얻을 수 있어, 결과적으로 결함 검출능이 향상된다. 하지만, 고속으로 와전류분포를 측정하는 환형배열 와전류검사 프로브는 코일센서의 조밀한 배열이 필수적이지만, 권수 및 코일면적의 증가는 공간분해능을 저하시키는 원인이 된다.
- [0014] 따라서 보다 많은 권수 및 넓은 코일의 면적은 환형배열 와전류검사 프로브의 결함검출능을 저하시킬 수 있다.
- [0015] 한편, 전자기적 간섭을 최소화하기 위해서는 센서와 센서의 간격을 이격시켜야 하며, 결과적으로 공간분해능이 저하된다. 전자기적 간섭을 최소화하기 위한 또 다른 방법으로는 센서를 조밀하게 배열한 후, 센서를 차례로 구동시키는 방법이 있다.
- [0016] 하지만, 이러한 경우에는 모든 센서를 동시에 구동하는 것에 비하여 스캔 속도가 저하된다는 단점이 있다. 한편, 수학식 1은 코일과 피측정체의 상대적인 위치가 고정되어 있을 경우를 상정한 것이다.
- [0017] 따라서 환형으로 배열된 코일센서를 이용하여, 열교환기 튜브의 축방향으로 기계식 스캔할 때, 상대적인 위치가 변화하는 경우라면 아래의 수학식 2와 같이 수정되어야 한다.

수학식 2

$$V_{emf} = -N \frac{d(\Phi_1 + \Phi_2)}{dt} = -N \left\{ \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \right\} \pm N v(t) = -N \int_S \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{s} \pm N v(t)$$

- [0018]
- [0019] 여기에서, Φ_1 , Φ_2 , $v(t)$ 는 각각 유도전류에 의한 총 자속, 자화영역에서 발생하는 총 자속 및 기계식 스캔 속도를 나타낸다. $\pm$ 기호는 피측정체의 국부적인 자화($\vec{M}$)의 방향을 나타낸다. 즉, 스캔속도가 빠를수록 δ -ferrite 조직, 강자성 이물질(ferrous foreign object) 및 튜브지지판(TSP, tube support plate)과 같은 고투자율 재질에 의한 바이어스 기전력이 발생한다. 그리고 해당 기전력은 자화의 방향에 따라 양의 값 또는 음의 값을 가질 수 있다. 따라서 결함이 아닌 곳에서 결함으로 인식하거나, 오히려 큰 신호의 경우에는 결함이 없는 것으로 오판할 수 있다.
- [0020] 상술한 보빈형 프로브의 제한적 정량평가, 회전형 프로브의 검사속도 제약, 환형 배열 프로브의 공간분해능 저하 등에 대한 해결책으로 원통형 배열 와전류검사 프로브가 개발되었다. 시변자계($\frac{d\vec{B}}{dt}$)를 인가하여 결함 주변에서 발생하는 유도된 전류밀도($\vec{J}$)의 변화에 의한 자속밀도($\vec{B}$) 분포의 변화를 원통형으로 조밀하게 배열된 자기센서에 의하여 측정하는 원통형 배열 와전류 프로브는 1개의 열을 선택하여 기계식으로 스캔하면서 연속적인 와전류 분포를 측정할 수 있다. 또한, 원통형으로 배열된 전체 센서를 전자식으로 스캔하여 정적인 상태에서 실시시간으로 와전류 분포를 측정할 수 있다. 하지만, 1개의 열을 선택하여 기계식으로 스캔할 때 얻어지는 연속적인 와전류 분포에서는 넓은 폭의 여자코일을 사용하기 때문에 도 1과 같은 고스트 신호, 즉 결함이 없음에도 불구하고 결함과 같은 지시신호가 발생한다는 한계가 있었다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0021] (비특허문헌 0001) M. O. Forster Friedrich, "Eddy current system for testing tubes for defects, eccentricity, and wall thickness", US patents, US3693075A, (1969)
- (비특허문헌 0002) John C. Moulder, Sunil K. Shaligram, Jay A. Bieber, James H. Rose, "Pulsed eddy current inspections and the calibration and display of inspection results", US patents, US6037768A, (1997)
- (비특허문헌 0003) Gordon R. Brandly, Martin D. MacLean, Paul P. Pastushak, David E. Russell, James B. Seale, Ad A. Shatat, Jens C. B. Winslow, "Flexible device for remote field eddy current inspection

of ferrous pipeline containing turns” , US patents, US6087830A, (1994)

(비특허문헌 0004) Andreas Boenisch, “Partial saturation eddy current sensor apparatus and method of use” , US patents, US9213018B2, (2009)

(비특허문헌 0005) Samuel Rothstein, “Tube inspection probe with rotating eddy current coil” , US patents, US4625165A, (1981)

(비특허문헌 0006) Florian Hardy, Rock Samson, “Eddy current probe with multi-use coils and compact configuration ” , US patents, US6344739B1, (1999)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0022] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 원통형 배열 와전류검사 프로브를 이용하여 기계식으로 스캔할 때 얻어지는 연속적인 와전류 분포에서 발생하는 고스트 신호를 제거하기 위한 와전류 검사용 프로브 및 이를 이용한 비파괴검사 장치에 관한 것이다.

과제의 해결 수단

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브는 상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 코일과 상기 권선된 코일의 축방향을 따라 환형으로 배열된 센서들을 포함하는 복수 개의 측정부들;을 포함할 수 있다.

[0024] 상기 측정부들은, 상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 제1 코일과 상기 제1 코일의 안쪽에 부착된 센서들을 포함하는 제1 측정부; 및 상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 제2 코일과 상기 제2 코일의 안쪽에 부착된 센서들을 포함하는 제2 측정부를 포함할 수 있다.

[0025] 상기 측정부들은, 상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 제3 코일 및 제4 코일과 상기 제3 코일 및 제4 코일의 사이에 부착된 센서들을 포함하는 제1 측정부; 및 상기 프로브의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 제2 코일과 상기 제2 코일의 안쪽에 부착된 센서들을 포함하는 제2 측정부를 포함할 수 있다.

[0026] 상기 제1 측정부는 $M \times N_1$ 개의 센서들을 포함하고, 상기 제2 측정부는 $M \times N_2$ 개의 센서들을 포함하고, 여기서, M 은 상기 코일의 축방향을 따라서 상기 센서들이 이루는 환형 배열의 행의 개수이고, N_1 및 N_2 는 각각 상기 제1 측정부 및 제2 측정부에 포함된 센서들이 이루는 환형 배열의 열의 개수이다.

[0027] 상기 제2 측정부에 포함된 코일의 축방향 길이는 상기 제1 측정부에 포함된 코일의 축방향 길이보다 길고, 상기 제2 측정부에 포함된 코일이 권선된 폭은, 상기 제1 측정부에 포함된 코일이 권선된 폭보다 클 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치는 피측정체의 내부에 삽입되는 상기 제1항의 와전류 검사용 프로브; 상기 프로브 내 측정부들에 포함된 코일에 교류전류를 인가하고, 상기 측정부들에 포함된 센서들에 전원을 인가하고, 상기 센서들에서 출력된 신호들을 수집하는 신호처리부; 및 상기 신호처리부가 상기 코일에 교류전류를 인가하고 상기 센서들에 전원을 인가하도록 제어하고, 상기 신호처리부에서 수집한 신호들의 진폭 및 위상차의 분포에 기반하여 상기 피측정체의 결함을 검출하는 제어부를 포함할 수 있다.

[0029] 상기 제어부는, 상기 프로브 내 측정부들 중 특정 측정부에 포함된 코일에 교류전류가 인가되고, 상기 특정 측정부에 포함된 센서들에 전원이 인가되도록 상기 신호처리부를 제어할 수 있다.

[0030] 상기 제어부는, 상기 특정 측정부에 포함된 센서들에서 출력된 신호들에 기반하여 상기 피측정체의 결함이 검출된 경우, 상기 프로브 내 측정부들 중 상기 특정 측정부를 제외한 나머지 측정부가 상기 검출된 결함 부위에 위치하면, 상기 나머지 측정부에 포함된 코일에 교류전류를 인가하고, 상기 나머지 측정부에 포함된 센서들에 전원을 인가하도록 상기 신호처리부를 제어하고, 상기 나머지 측정부에 포함된 센서들에서 출력된 신호들에 기반하여 상기 피측정체의 결함을 검출할 수 있다.

[0031] 상기 특정 측정부는, 상기 프로브에 포함된 측정부들 중 포함된 센서들의 개수가 가장 적은 측정부를 포함할 수

있다.

[0032] 상기 신호처리부는, 상기 센서들에서 출력된 신호들을 고대역필터 및 저대역필터를 이용하여 필터링하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하여 상기 필터링된 신호들과 승산시키고, 상기 승산된 신호들을 적분하고, 상기 적분된 신호들을 증폭시킨 이후 디지털 신호로 변환할 수 있다.

발명의 효과

[0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브 및 이를 이용한 비파괴검사 장치에 따르면, 제1세대 ECT의 제한적 정량평가, 제2세대 ECT의 검사속도 제약 및 제3세대 ECT의 공간분해능 저하 문제를 해결한 장점이 있다.

[0034] 또한, 결함이 아닌 곳에서 결함으로 인식되는 고스트 신호를 필터링함으로써, 피측정체의 결함을 보다 정확하게 검출할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0035] 본 발명에 관한 이해를 돕기 위해 상세한 설명의 일부로 포함되는, 첨부 도면은 본 발명에 대한 실시예를 제공하고, 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 특징을 설명한다.

도 1은 고스트 신호가 발생한 예시를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 간략히 도시한 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 간략히 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브와 종래의 프로브를 비교한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브의 일 예시를 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치를 간략히 도시한 블록도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치의 신호처리 과정을 간략히 도시한 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치의 성능 시험을 위한 시험편을 도시한 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치에 있어서, 협폭의 측정부(제1 측정부)에서 시험편의 각 결함부위의 자속밀도분포를 측정한 결과를 도시한 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치에 있어서, 협폭의 측정부(제1 측정부)에서 측정한 시험편의 각 결함부위의 진폭과 위상차 변화를 리사주선도로 도시한 도면이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치에 있어서, 광폭의 측정부(제2 측정부)에서 시험편의 각 결함부위의 자속밀도분포를 측정한 결과를 도시한 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치에 있어서, 협폭의 측정부(제1 측정부)와 광폭의 측정부(제2 측정부)에서 동일한 결함을 측정한 결과를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 본 명세서에서 제1 및/또는 제2 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 즉, 구성요소들을 상기 용어들에 의해 한정하고자 함이 아니다.

[0037] 본 명세서에서 '포함하다'라는 표현으로 언급되는 구성요소, 특징, 및 단계는 해당 구성요소, 특징 및 단계가 존재함을 의미하며, 하나 이상의 다른 구성요소, 특징, 단계 및 이와 동등한 것을 배제하고자 함이 아니다.

[0038] 본 명세서에서 단수형으로 특정되어 언급되지 아니하는 한, 복수의 형태를 포함한다. 즉, 본 명세서에서 언급된 구성요소 등은 하나 이상의 다른 구성요소 등의 존재나 추가를 의미할 수 있다.

[0039] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함하여, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자(통상의 기술자)에 의하여 일반적으로 이해되는 것과 동일한

의미이다.

- [0040] 즉, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미인 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0041] 이하에서는, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브 및 이를 이용한 비파괴검사 장치에 대해 상세하게 설명한다.
- [0042] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 간략히 도시한 블록도이다.
- [0043] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)는 서로 이격된 복수 개의 측정부(101) 및 지지부(103)를 포함할 수 있다.
- [0044] 측정부(101)는 프로브(100)의 내벽을 따라 원통형으로 도선이 권선된 원통형 코일과 코일의 축방향을 따라 환형으로 배열된 센서들을 포함할 수 있다. 센서들은 홀센서 또는 거대자기저항(GMR)센서 중 어느 하나가 이용될 수 있다.
- [0045] 예컨대, 측정부(101)는 원통형으로 권선된 코일과 코일의 안쪽에 부착된 센서들을 포함하거나, 원통형으로 권선된 코일들과 코일들의 사이에 부착된 센서들을 포함할 수 있다.
- [0046] 측정부(101)는 제1 측정부(110) 및 제2 측정부(120)로 구성되며, 제1 측정부(110)는 $M \times N_1$ 개의 센서들을 포함하고, 제2 측정부(120)는 $M \times N_2$ 개의 센서들을 포함할 수 있다. 여기서, M 은 코일의 축방향을 따라 센서들이 이루는 환형 배열의 행의 개수이고, N_1 및 N_2 는 각각 제1 측정부(110) 및 제2 측정부(120)에 포함된 센서들이 이루는 환형 배열의 열의 개수이다.
- [0047] 지지부(103)는 프로브(100)의 형상을 유지하며, 측정부(101)가 움직이지 않도록 측정부(101)를 프로브(100) 내에서 고정할 수 있다.
- [0048] 예컨대, 지지부(103)는 프로브(100)의 일단과 제2 측정부(120)의 일단 사이에 형성된 제1 지지부(141), 제2 측정부(120)의 타단과 제1 측정부(110)의 일단 사이에 형성된 제2 지지부(143), 제1 측정부(110)의 타단과 프로브(100)의 타단 사이에 형성된 제3 지지부(145)를 포함할 수 있다.
- [0049] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)를 간략히 도시한 도면이다.
- [0050] 구체적으로 도 3a는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)를 도시한 도면이고, 도 3b는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)를 도시한 도면이다.
- [0051] 도 3a를 참조하면, 제1 측정부(110)는 0.2mm 두께의 에나멜동선이 12mm의 폭으로 총 120회 권선된 제1 코일(111) 및 제1 코일(111)의 축방향을 따라 1열 16행으로 배열된 제1 센서들(113)을 포함할 수 있다. 환형으로 배열된 16개의 제1 센서들(113)이 제1 코일(111)의 안쪽에 부착될 수 있다.
- [0052] 제2 측정부(120)는 0.2mm 두께의 에나멜동선을 61.5mm의 폭으로 총 610회 권선된 제2 코일(121) 및 제2 코일(121)의 축방향을 따라 24열 16행의 원통형(cylinder-type)으로 배열된 제2 센서들(123)을 포함할 수 있다. 즉, 1열에 2.5mm 간격씩 16개, 1행에 24개씩 원통형으로 배열된 제2 센서들(123)이 제2 코일(121)의 안쪽에 부착될 수 있다.
- [0053] 즉, 제2 코일(121)의 축방향 길이는 제1 코일(111)의 축방향 길이보다 길고, 제2 코일(121)이 권선된 폭은 제1 코일(111)이 권선된 폭보다 클 수 있다.
- [0054] 도 3b를 참조하면, 제1 측정부(110)는 0.2mm 두께의 에나멜동선이 3mm의 폭으로 총 120회 권선된 제3 코일(131) 및 제4 코일(132)를 포함하고, 제3 코일(131) 및 제4 코일(132)의 사이에서 제3 코일(131) 및 제4 코일(132)의 축방향을 따라 1열 16행으로 배열된 제3 센서들(133)을 포함할 수 있다.
- [0055] 제2 측정부(120)는 0.2mm 두께의 에나멜동선을 61.5mm의 폭으로 총 610회 권선된 제2 코일(121) 및 제2 코일(121)의 축방향을 따라 24열 16행의 원통형(cylinder-type)으로 배열된 제2 센서들(123)을 포함할 수 있다. 즉, 1열에 2.5mm 간격씩 16개, 1행에 24개씩 원통형으로 배열된 제2 센서들(123)이 제2 코일(121)의 안쪽에 부착될 수 있다.
- [0056] 즉, 제2 코일(121)의 축방향 길이는 제3 코일(131) 및 제4 코일(132)의 축방향 길이의 합보다 길고, 제2 코일

(121)이 권선된 폭은 제3 코일(131) 및 제4 코일(132)이 각각 권선된 폭보다 클 수 있다.

[0057] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)와 종래의 프로브를 비교한 도면이다.

[0058] 도 4를 참조하면, 제1 코일(111) 및 제2 코일(121)의 안쪽에 축방향을 따라 제1 센서들(113) 및 제2 센서들(123)이 각각 부착될 수 있다.

[0059] 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)를 이용하여 시험편의 결함을 검출하는 원리를 설명하면 다음과 같다.

[0060] 먼저 와전류 검사용 프로브(100)를 시험편 내부에 삽입시키고, 제1 측정부(110)에 포함된 제1 코일(111) 및 제1 센서들(113)에 교류전류를 인가하고, 와전류 검사용 프로브(100)를 축방향(z방향)으로 이동시키며 스캔한다.

[0061] 도 3b에 도시된 와전류 검사용 프로브(100)를 이용하는 경우에는, 제1 코일(111) 대신 제3 코일(131) 및 제4 코일(132)에 교류전류를 인가하고, 제1 센서들(113) 대신 제3 센서들(133)에 교류전류를 인가하며 수행된다. 이하에서는 도 3a 및 도4에 도시된 와전류 검사용 프로브(100)를 이용하여 시험편의 결함을 검출하는 원리를 설명한다.

[0062] 제1 코일(111)에 교류전류가 인가되면, 시험편 내부에 유도전류가 인가되고, 결함이 존재하는 경우 시변자속밀도의 변화가 유발된다. 자속밀도분포는 결함의 크기 및 위치에 따라 진폭 및 위상차가 변화된다. 시변자속밀도의 변화는 반도체 기반 자기센서인 제1 센서들(113)을 이용하여 측정되며, 제1 센서들(113)은 시변자속밀도의 변화 분포를 측정하여 결함의 유무, 위치 및 크기를 파악할 수 있다.

[0063] 그 다음, 결함이 발견된 위치에 제2 측정부(120)를 위치시키고, 제2 측정부(120)에 포함된 제2 코일(121) 및 제2 센서들(123)에 교류전류를 인가하면, 결함의 존재에 기인하여 시변자속밀도의 변화가 유발된다. 위와 마찬가지로 제2 센서들(123)은 시변자속밀도의 분포를 측정하여, 결함의 유무, 위치 및 크기를 정밀하게 파악할 수 있다.

[0064] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)는 프로브(100) 내부에 협폭의 제1 측정부(110) 및 광폭의 제2 측정부(120)를 배치함으로써, 권선된 코일의 폭이 좁은 제1 측정부(110)로 시험편에 존재하는 결함을 1차 검출하고, 결함 위치에서 제2 측정부(120)로 결함을 2차 검출함으로써, 보다 정밀하고 정확하게 결함을 검출할 수 있는 장점이 있다.

[0065] 예컨대, 제1 측정부(110)를 이용해서만 결함을 검출하는 경우, 축방향(z방향) 균열이 제1 센서들(113)들 중 2개의 센서들의 사이를 통과하는 경우, 결함 검출능력이 저하될 수 있다. 이러한 문제는 제2 측정부(120)를 이용하여 원통형으로 배열된 제2 센서들(123)을 이용하여 결함을 검출함으로써 해결될 수 있다.

[0066] 또한, 제1 측정부(110)를 이용해서 결함을 검출하는 경우, 피측정체의 δ -ferrite 조직, 강자성 이물질과 TSP와 같은 고투자율 재질에서 발생하는 국부적인 자화($\overline{M}$)를 원인으로 하는 바이어스 기전력이 발생될 수 있다.

[0067] 이러한 바이어스 기전력은 제1 코일(111)에서만 발생하는 것이 아니라, 반도체기반 제1 센서들(113)에서도 발생될 수 있다. 즉, 피측정체 표면의 국부적인 자화($\overline{M}$)의 방향 및 크기가 제1 센서들(113)의 측정값에 부가되어 제1 센서들(113)에서 출력된 신호들이 왜곡될 수 있다.

[0068] 왜곡된 신호들에 기반하여 결함을 검출할 경우, 결함 검출의 정확성을 담보하지 못하기 때문에, 제2 측정부(120)에 포함된 제2 센서들(123)을 이용하여 시변자속밀도의 변화를 측정할 필요가 있다.

[0069] 즉, 원통형으로 배열된 제2 센서들(123)을 이용하여 시변자속밀도의 변화를 측정하여 수학식 2의 $N_v(t)$ 신호를 제거함으로써 국부적인 자화($\overline{M}$)를 원인으로 하는 바이어스 기전력에 의해 왜곡된 신호들을 제거하여, 제1 측정부(110)만을 이용할 때보다 정확하게 결함을 검출할 수 있다.

[0070] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)의 일 예시를 도시한 도면이다.

[0071] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)에서 제1 지지부(141)는 프로브(100)의 일단과 제2 측정부(120)의 일단 사이에 위치하고, 제2 지지부(143)는 제2 측정부(120)의 타단과 제1 측정부(110)의 일단 사이에 위치하고, 제3 지지부(145)는 제1 측정부(110)의 타단과 프로브(100)의 끝단 사이에 위치하여, 프로브(100) 내에서 측정부(101)가 고정되도록 할 수 있다.

[0072] 본 발명의 일 실시예에서는 프로브(100)의 일단을 기준으로 제1 측정부(110)가 제2 측정부(120) 뒤쪽에 위치하

였으나, 이에 국한되는 것은 아니고, 제1 측정부(110)가 제2 측정부(120)의 앞쪽에 위치할 수도 있다.

- [0073] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치를 간략히 도시한 블록도이고, 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)를 이용한 비파괴검사 장치의 신호처리 과정을 간략히 도시한 도면이다.
- [0074] 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)를 이용한 비파괴검사 장치(200)는 프로브(100), 신호처리부(201), 제어부(203) 및 디스플레이부(205)를 포함할 수 있다.
- [0075] 신호처리부(201)는 프로브(100) 내 측정부(101)에 포함된 코일에 교류전류를 인가하고, 측정부들에 포함된 센서들에 전원을 인가하고, 센서들에서 출력된 신호들을 수집할 수 있다.
- [0076] 도 7을 참조하면, 신호처리부(201)는 센서들에서 출력되는 신호들을 고대역필터 및 저대역필터를 이용하여 필터링하고, 위상차를 달리하는 구형파 신호를 생성하여 필터링된 신호들과 승산(Multiply)시키고, 승산된 신호들을 적분하고, 적분된 신호들을 증폭시킨 이후 디지털 신호로 변환할 수 있다.
- [0077] 제1 센서들(113) 및 제2 센서들(123)에서 출력되는 출력값은 교류신호이므로, 센서들에 인가되는 국부적인 자화($\overline{M}$)에 의한 바이어스 직류 출력값은 고대역통과필터에 의해 간단하게 제거될 수 있다.
- [0078] 제어부(203)는 신호처리부(201)가 측정부(101)에 포함된 코일에 교류전류를 인가하고 센서들에 전원을 인가하도록 제어하며, 신호처리부(201)에서 수집한 신호들의 진폭 및 위상차의 분포에 기반하여 피측정체의 결함을 검출할 수 있다.
- [0079] 제어부(203)는 프로브(100) 내 측정부(101)들 중 특정 측정부(포함된 센서들의 개수가 가장 적은 측정부)에 포함된 코일에 교류전류가 인가되고, 특정 측정부에 포함된 센서들에 전원이 인가되도록 신호처리부(201)를 제어할 수 있다. 그리고 제어부(203)는 신호처리부(201)에서 수집된 신호들에 기반하여 피측정체의 결함을 검출할 수 있다.
- [0080] 피측정체에 결함이 검출된 경우, 제어부(203)는 프로브(100) 내 측정부(101)들 중 특정 측정부를 제외한 나머지 측정부가 검출된 결함 부위에 위치하면, 나머지 측정부에 포함된 코일에 교류전류를 인가하고, 나머지 측정부에 포함된 센서들에 전원을 인가하도록 신호처리부(201)를 제어하고, 나머지 측정부에 포함된 센서들에서 출력된 신호들에 기반하여 피측정체의 결함을 검출할 수 있다.
- [0081] 예컨대, 제어부(203)는 제1 측정부(110)에 포함된 제1 코일(111)에 교류전류가 인가되고, 제1 센서들(113)에 전원이 인가되도록 신호처리부(201)를 제어할 수 있다. 그리고 제어부(203)는 제1 센서들(113)에서 출력되고 신호처리부(201)에서 수집 및 처리된 신호들에 기반하여 피측정체의 결함을 검출할 수 있다.
- [0082] 만약 결함이 검출되었고, 결함의 위치에 제2 측정부(120)가 위치하면, 제어부(203)는 제2 측정부(120)에 포함된 제2 코일(121)에 교류전류가 인가되고, 제2 센서들(123)에 전원이 인가되도록 신호처리부(201)를 제어할 수 있다. 그리고 제어부(203)는 제2 센서들(123)에서 출력되고 신호처리부(201)에서 수집 및 처리된 신호들에 기반하여 피측정체의 결함을 검출할 수 있다.
- [0083] 이처럼 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)를 이용한 비파괴검사 장치(200)는 프로브(100) 내 제1 측정부(110)를 이용하여 결함의 유무를 검출하고, 결함이 검출된 위치에서 제2 측정부(120)를 이용하여 결함의 유무를 재차 검출함으로써, 종래의 제1세대 내지 제3세대 프로브를 이용하여 결함을 검출할 때의 문제점들을 해결하여, 보다 정확하고 정밀하게 결함을 검출할 수 있는 장점이 있다.
- [0084] 디스플레이부(205)는 측정된 자속밀도분포, 진폭 및 위상차의 변화를 디스플레이하여, 사용자가 결함 유무를 확인하게 할 수 있다.
- [0085] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치의 성능 시험을 위한 시험편을 도시한 도면이다.
- [0086] 도 8을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100)를 이용한 비파괴검사 장치(200)의 성능 시험을 위해 마모(A 및 B), 홀형 결함(C, H, I, J, K 및 L), 슬릿형 결함(D 및 E), 그루브(M 및 N), 덴트(F) 및 스팀커팅(G)가 포함된 시험편을 준비하였다.
- [0087] 시험편에 포함된 결함의 세부사항은 다음의 표 1과 같다.

표 1

No	Flaw type	Depth(%)	Width/Dia
A	180° Tapered Wear	39	6.32mm/180°
B	180° Flat Wear	39	6.32mm/180°
C	Hole	20	9mm
D	OD axial notch	40	9mm
E	Circumferential notch	40	9mm
F	Denting	18	10mm
G	Stream Cutting	20	40mm
H	Flat bottom hole	100	Φ 1.7mm
I	Flat bottom hole	80	Φ 1.98mm
J	Flat bottom hole	60	Φ 2.78mm
K	Flat bottom hole	40	Φ 4.76mm
L	4 Flat bottom hole	20	Φ 4.76mm
M	OD groove	10	Φ 3.18mm
N	ID groove	20	Φ 1.59mm

- [0088]
- [0089] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치에 있어서, 협폭의 측정부(제1 측정부)에서 시험편의 각 결함부위의 자속밀도분포를 측정한 결과를 도시한 도면이다.
- [0090] 구체적으로, 도 9a는 제1 코일(111)에 15, 30 및 60 kHz의 교류전류를 인가한 후, 시험편의 A 내지 G 결함에 대해 제1 센서들(113)에서 측정한 자속밀도분포이고, 도 9b는 제1 코일(111)에 15, 30 및 60 kHz의 교류전류를 인가한 후, 시험편의 H 내지 N 결함에 대해 제1 센서들(113)에서 측정한 자속밀도분포이다.
- [0091] 도 9를 참조하면, A와 B 결함과 같이 원주방향으로 넓은 영역의 면적을 가지는 경우에는 폭이 넓은 자속밀도분포를 보인다. 다만, B 결함과 같이 좌우의 깊이가 동일한 경우에는 축방향으로 대칭인 자속밀도분포를 보이지만, A 결함과 같이 축방향으로 비대칭의 형상을 가지는 마모는 자속밀도분포에서도 비대칭 경향을 보인다.
- [0092] C, H, I, J, K 및 L 결함과 같은 홀형 결함에서는 원주방향은 물론 축방향으로도 좁은 형태의 자속밀도 분포를 보인다. 특히, L 결함의 경우에는 4개의 홀형 결함이 보인다.
- [0093] 축방향 슬릿형 결함인 D 결함은 축방향으로 긴 형태의 자속밀도분포를 보인다. 하지만, 원주방향 슬릿형 결함인 E 결함의 경우에는 결함의 존재에 기인한 자속밀도분포의 변화를 구분하기 곤란하다.
- [0094] F 및 G 결함의 경우에는 축방향으로 긴 형태의 자속밀도의 왜곡을 보인다.
- [0095] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치에 있어서, 협폭의 측정부(제1 측정부)에서 측정한 시험편의 각 결함부위의 진폭과 위상차 변화를 리사주선도로 도시한 도면이다.
- [0096] 구체적으로 도 10a는 제1 코일(111)에 15, 30 및 60 kHz의 교류전류를 인가한 후, 시험편의 A 내지 G 결함에 대해 제1 센서들(113)에서 측정한 진폭과 위상차 변화를 리사주선도로 도시한 도면이고, 도 10b는 제1 코일(111)에 15, 30 및 60 kHz의 교류전류를 인가한 후, 시험편의 H 내지 N 결함에 대해 제1 센서들(113)에서 측정한 진폭과 위상차 변화를 리사주선도로 도시한 도면이다.
- [0097] 도 10을 참조하면, 주파수가 높아짐에 따라서 위상차 변화가 나타나고 있으며, 특히 상술한 자속밀도분포에서는 검출하기 곤란하였던 원주방향 슬릿형 결함(E)도 검출할 수 있다.
- [0098] 반면에, 큰 자속밀도분포를 보였던 F 결함의 경우에는 위상차가 변화하지 않아서, 두께가 감육하지 않는 튜브의 형상 변화임을 보인다.
- [0099] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치에 있어서, 광폭의 측정부(제2 측정부)에서 시험편의 각 결함부위의 자속밀도분포를 측정한 결과를 도시한 도면이다.
- [0100] 구체적으로 도 11a는 제2 코일(121)에 15, 30 및 60 kHz의 교류전류를 인가한 후, 시험편의 A 내지 G 결함에 대해 제2 센서들(123)에서 측정한 자속밀도분포이고, 도 11b는 제2 코일(121)에 15, 30 및 60 kHz의 교류전류를 인가한 후, 시험편의 H 내지 N 결함에 대해 제2 센서들(123)에서 측정한 자속밀도분포이다.

- [0101] 도 9 및 11을 참조하면, 제1 센서들(113)에 의한 차분 절대값 분포에서는 세개의 피크값이 보였으나, 제2 센서들(123)에 의한 차분 절대값 분포에서는 두개의 피크값이 보인다.
- [0102] A 및 B 결함과 같이 원주방향으로 넓은 영역의 면적을 가지는 경우에는 폭이 넓은 자속밀도분포를 보인다. 다만, B 결함과 같이 좌우의 깊이가 동일한 경우에는 축방향으로 대칭인 자속밀도분포를 보이지만, A 결함과 같이 축방향으로 비대칭의 형상을 가지는 마모는 자속밀도분포에서도 비대칭 경향을 보인다.
- [0103] C, H, I, J, K 및 L 결함과 같은 홀형 결함에서는 원주방향은 물론 축방향으로도 좁은 형태의 자속밀도분포를 보인다. 특히, L 결함의 경우에는 공간분해능이 2.5mm로서 비교적 낮음에도 불구하고, 4개의 홀형 결함이 보인다.
- [0104] 축방향 슬릿형 결함인 D 결함은 검출할 수 있지만, 원주방향 슬릿형 결함인 E 결함의 경우에는 결함의 존재에 기인한 자속밀도분포의 변화를 구분하기 곤란하다.
- [0105] F 및 G 결함의 경우에는 축방향으로 긴 형태의 자속밀도의 왜곡을 보인다.
- [0106] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브를 이용한 비파괴검사 장치에 있어서, 협폭의 측정부(제1 측정부)와 광폭의 측정부(제2 측정부)에서 동일한 결함을 측정한 결과를 도시한 도면이다.
- [0107] 구체적으로 도 12는 I 결함에 TSP를 위치시킨 후 제1 센서들(113) 및 제2 센서들(123)을 이용하여 H 내지 N 결함을 측정한 결과를 도시한 도면이다. 도 12a는 제1 센서들(113)을 이용하여 측정한 결과를 도시한 도면이고, 도 12b 및 12c는 제2 센서들(123)을 이용하여 측정한 결과를 도시한 도면이다.
- [0108] 도 12a를 참조하면, A11은 제1 센서들(113)을 이용하여 H 내지 N 결함을 측정한 결과이고, X, Y, Impedance 및 Phase는 A11에서 특히 H, I, J 결함 영역만 확대한 것으로서, 실수부, 허수부, 진폭 및 위상차 분포를 나타낸다. 실수부, 허수부 및 진폭의 영상에서는 TSP의 영향에 의하여 결함 정보가 명확하게 나타나지 않는다. 하지만, 위상차 분포에서는 TSP의 정보가 제거되어 TSP 아래에 있는 결함 정보가 명확하게 나타난다.
- [0109] 한편, 도 12b 및 c를 참조하면, 제2 센서들(123)을 이용하여 측정한 결과에 의하면 국부적인 자화($\overline{M}$)를 원인으로 하는 바이어스 기전력을 제거할 수 있기 때문에, 진폭 및 위상차 분포에서 결함을 명확하게 지시할 수 있다.
- [0110] 본 발명의 일 실시예에 따른 와전류 검사용 프로브(100) 및 이를 이용한 비파괴검사 장치(200)는 제1세대 ECT(보빈 프로브)의 제한적 정량평가, 제2세대 ECT(MRPC, motorized rotation pancake coil)의 검사속도 제약, 제3세대 ECT(X-probe)의 공간분해능 저하 등의 문제점을 해결하였다.
- [0111] 구체적으로, 원자력발전소 증기발생기에 적용되는 Inconel 690 튜브에 도입한 여러 가지 형태의 인공 결함을 검출하여 성능을 검증한 결과, 마모, 축방향 균열, 홀형 결함 및 그루브를 검출하고, 가시화할 수 있었다.
- [0112] 또한, 실시간으로 영상화하는 진폭 및 위상차 분포는 별도의 스캔 장치없이 국부적인 자화영역에서 결함의 존재를 명확하게 나타내었다.
- [0113] 비록 본 명세서에서의 설명은 예시적인 몇 가지 양상으로 나타났지만, 다양한 수정이나 변경이 후술되는 특허청구범위에 의해 정의되는 범주로부터 이루어질 수 있으며, 본 발명의 기술적인 보호범위는 다음의 특허청구범위에 의하여 정해져야 할 것이다.

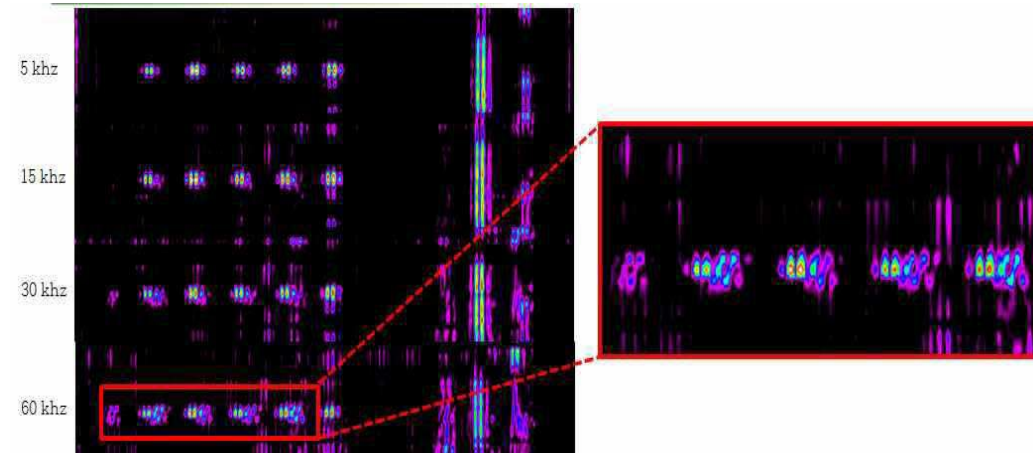
부호의 설명

- [0115]
- | | |
|--------------|----------------|
| 100 : 프로브 | 132 : 제4 코일 |
| 101 : 측정부 | 133 : 제3 센서들 |
| 103 : 지지부 | 141 : 제1 지지부 |
| 110 : 제1 측정부 | 143 : 제2 지지부 |
| 111 : 제1 코일 | 145 : 제3 지지부 |
| 113 : 제1 센서들 | 200 : 비파괴검사 장치 |
| 120 : 제2 측정부 | 201 : 신호처리부 |

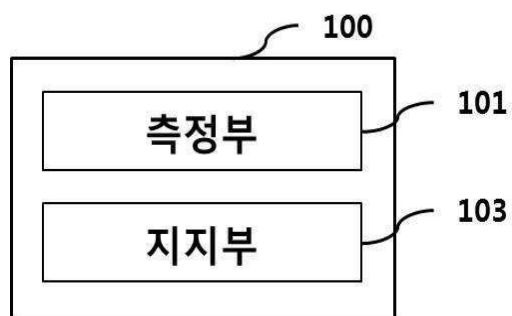
121 : 제2 코일 203 : 제어부
 123 : 제2 센서들 205 : 디스플레이부
 131 : 제3 코일

도면

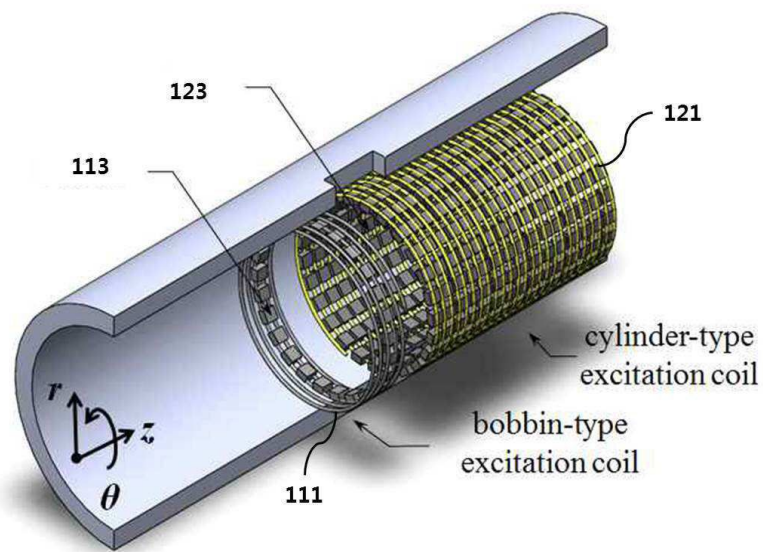
도면1



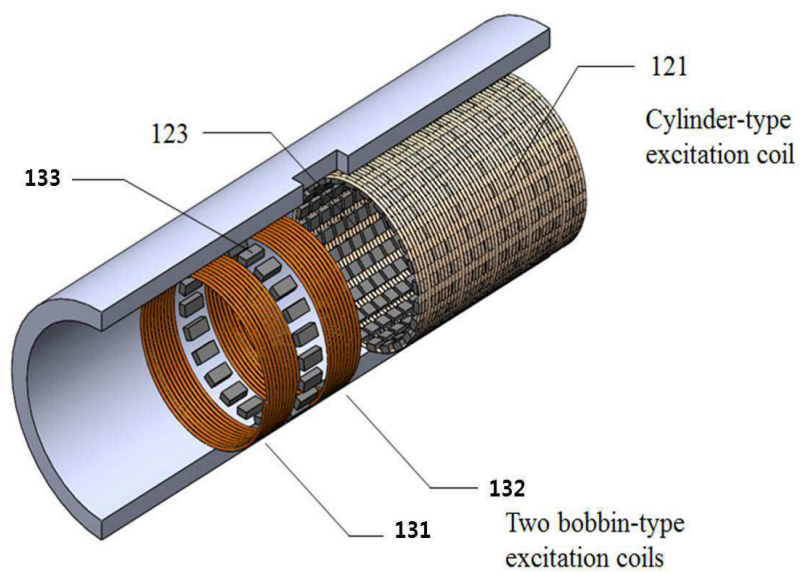
도면2



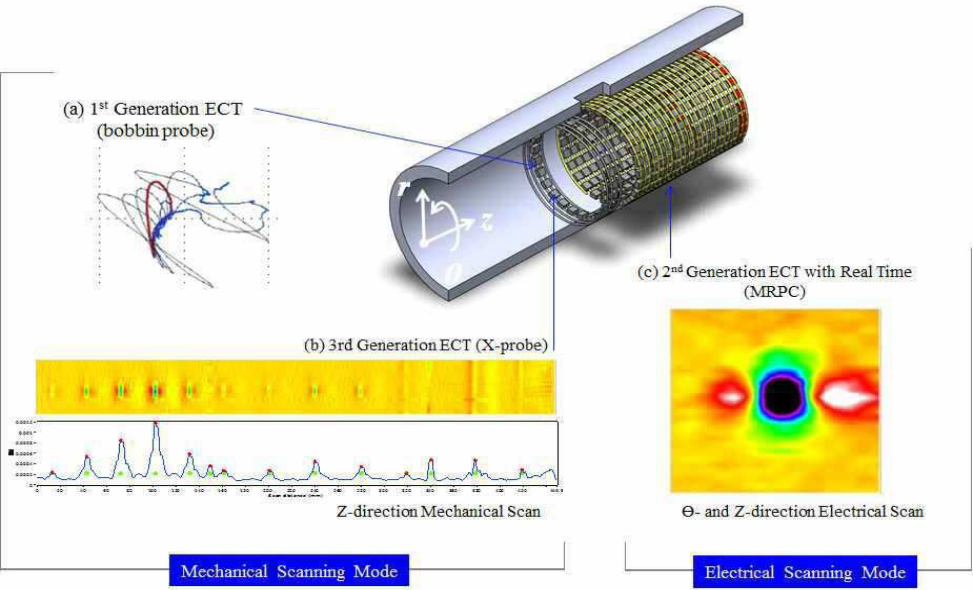
도면3a



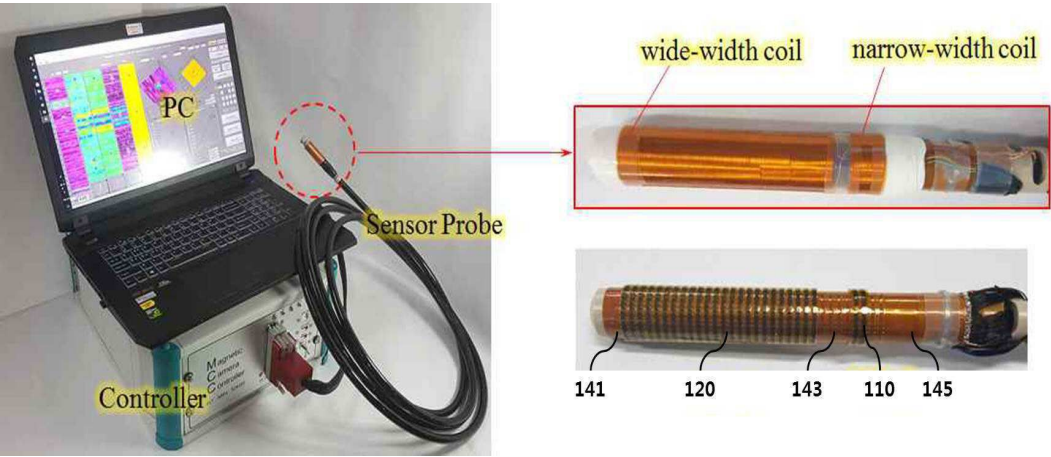
도면3b



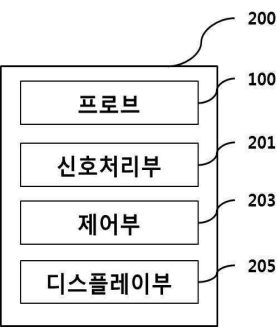
도면4



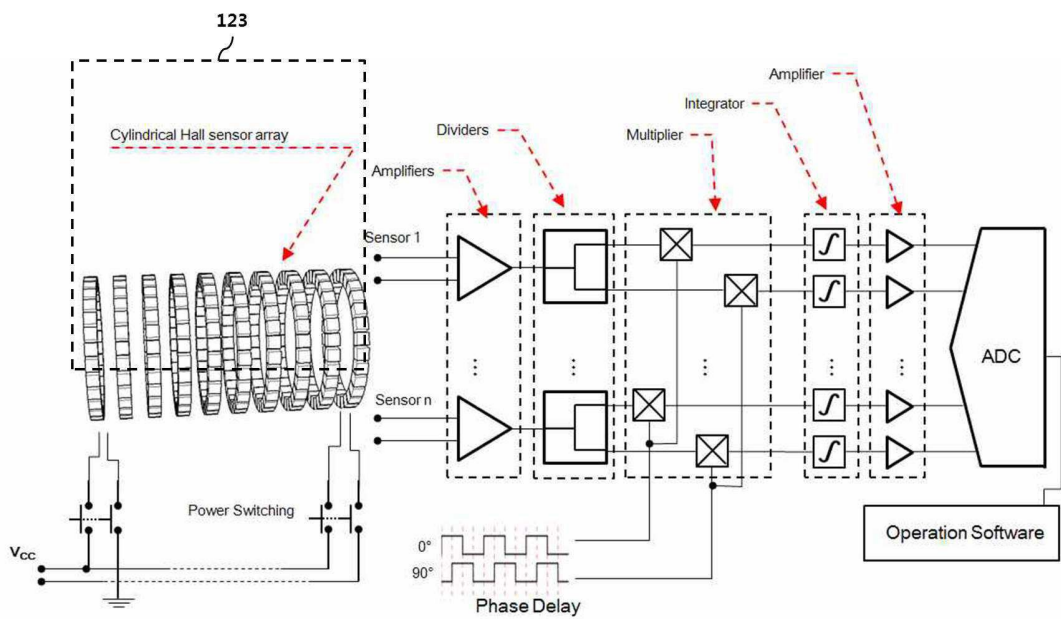
도면5



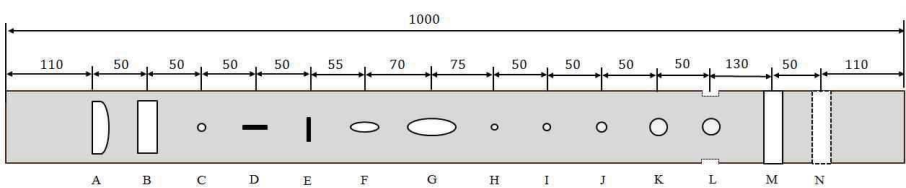
도면6



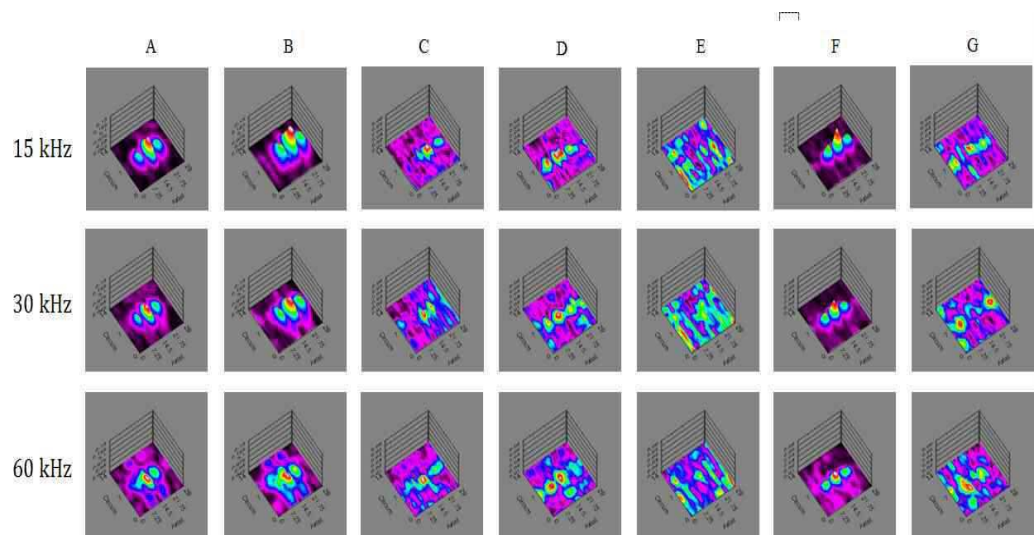
도면7



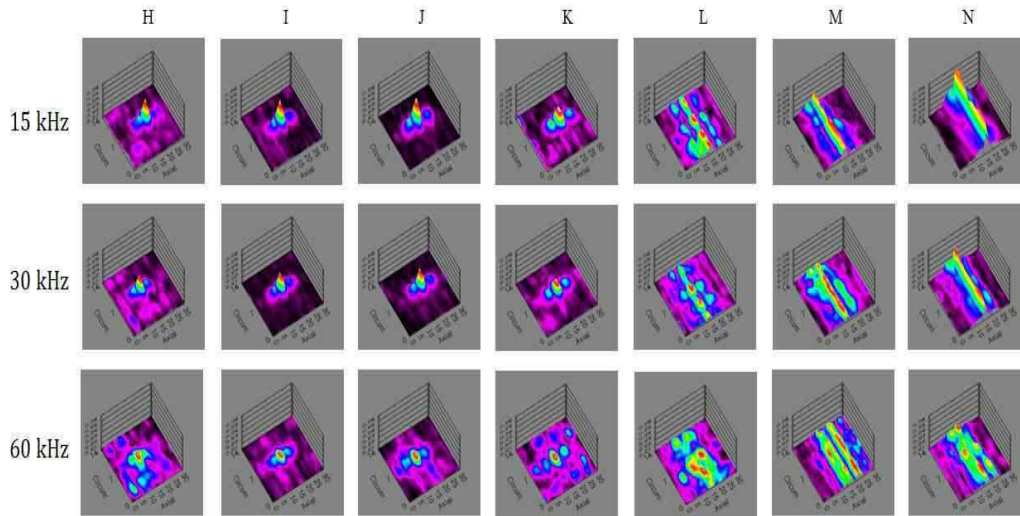
도면8



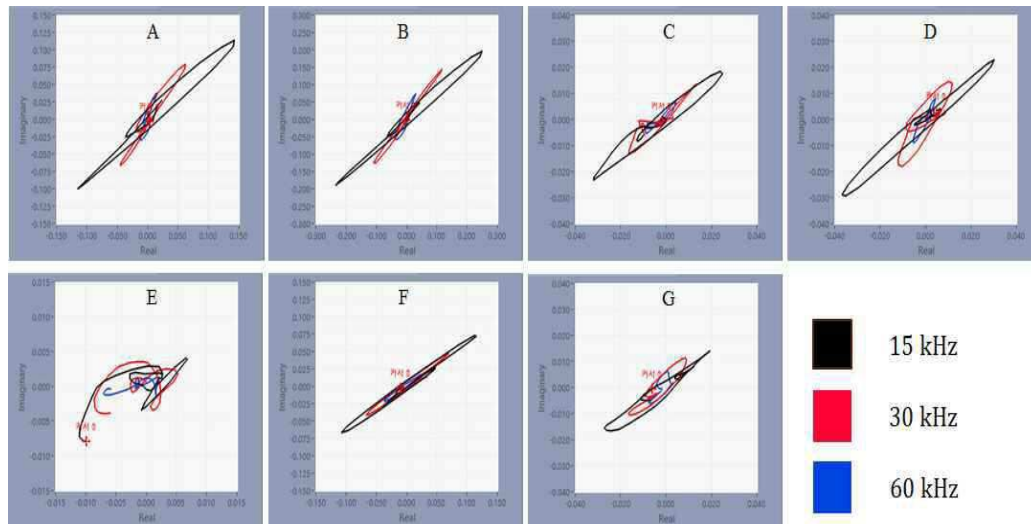
도면9a



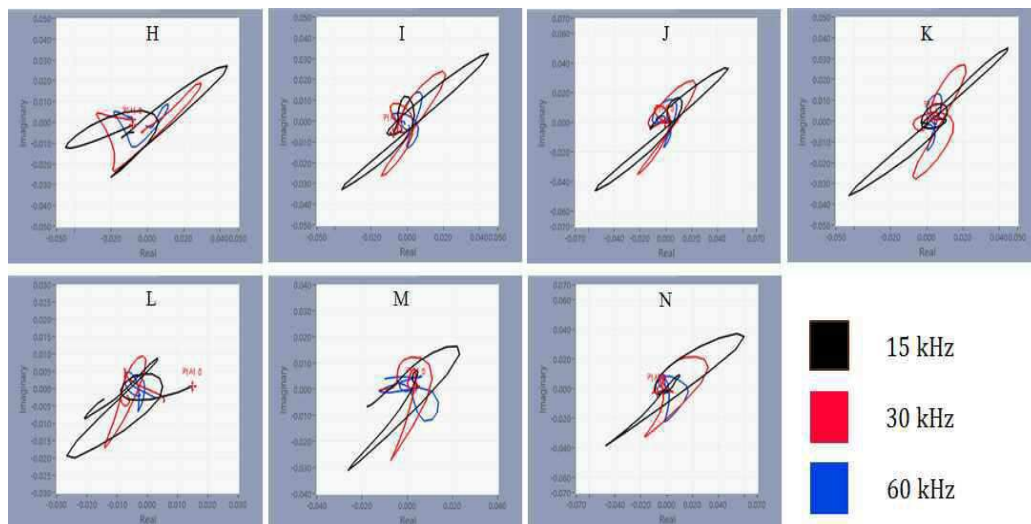
도면9b



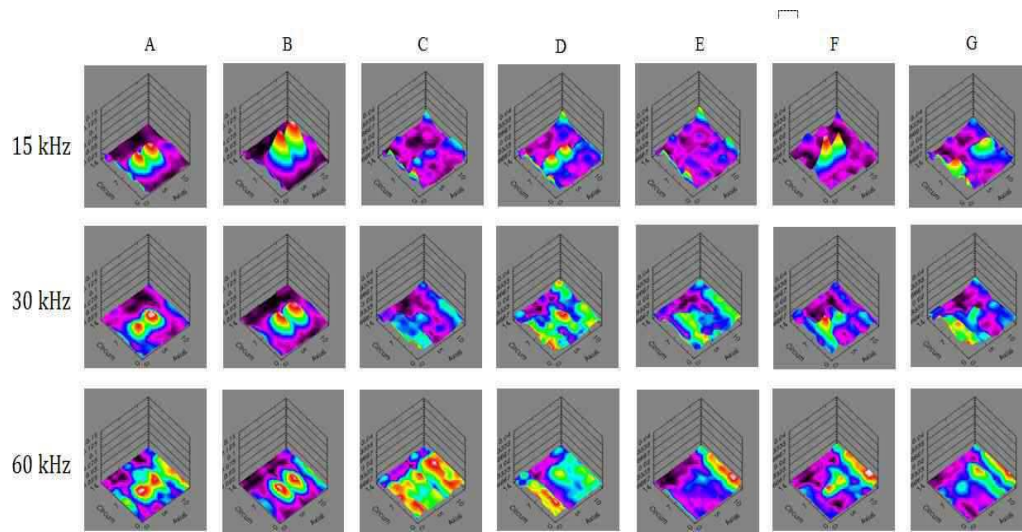
도면10a



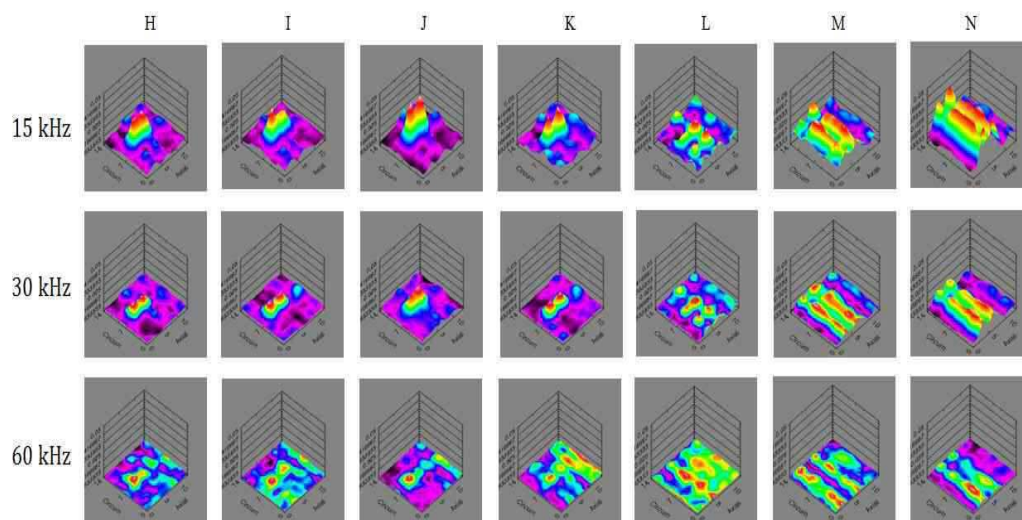
도면10b



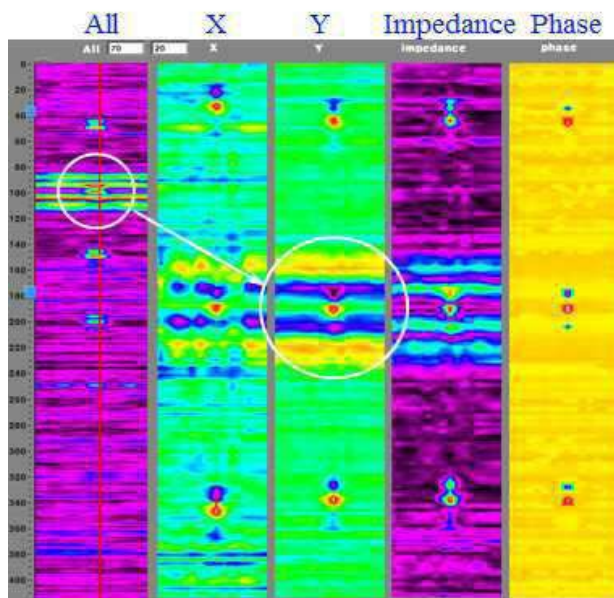
도면11a



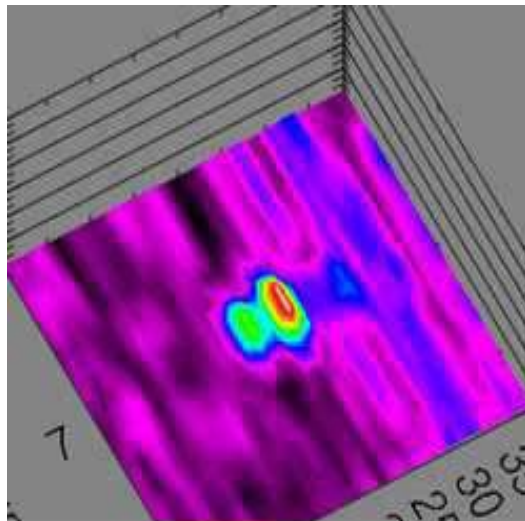
도면11b



도면12a



도면12b



도면12c

