(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0529
(43) 공개일자 2013년12월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/82 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0054419
(22) 출원일자 2012년05월22일
심사청구일자 2012년05월22일

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 서석동 375 조선대학교 내
(72) 발명자
이진이
광주광역시 서구 풍암동 대주2차아파트 202동 805호
전종우
광주광역시 광산구 신가동 1030번지 신창7차부영사랑으로아파트 1309동 201호
김정민
광주광역시 동구 금동 57-38 한스빌라 301호
(74) 대리인
특허법인아이엠

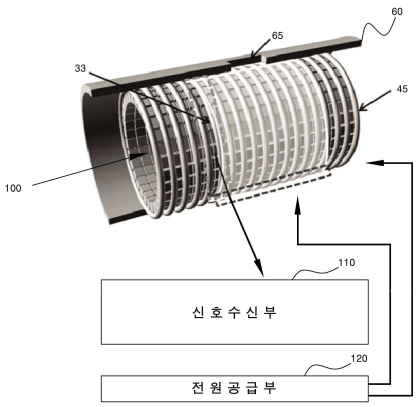
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **소구경 배관 결함 탐상 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 소구경 배관의 결함을 측정하는 결함 탐상 장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명은 소구경 배관의 결함을 측정하는 결함 탐상 장치에 있어서, 복수의 자기센서가 배열되며 원통형으로 형성된 센서부, 센서부의 외면을 따라 권취되는 코일부, 센서부에 직류전원을 인가하고 코일부에 교류전원을 인가하는 전원공급부 및 센서부로부터 인가된 신호를 정량적으로 수치화하는 신호수신부를 포함하되, 센서부는 코일부에 인가된 교류전원으로 인하여 소구경 배관의 결함으로부터 기인하는 자기장 분포를 검출하는 것을 특징으로 하는 결함 탐상 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2011-0030110
부처명	교육과학기술부
연구사업명	원자력연구개발사업-방사선기술개발사업-첨단비파괴검사 기술개발
연구과제명	실시간 플렉시블 3차원 마이크로 자기카메라 개발 및 비파괴검사 응용
기 여 율	1/2
주관기관	조선대학교 산학협력단
연구기간	2011.09.05 ~ 2014.06.30이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	H0301-12-2008
부처명	지식경제부
연구사업명	대학IT연구센터 육성지원
연구과제명	IT 기반 실시간 손상계측기술 개발
기 여 율	1/2
주관기관	조선대학교 산학협력단
연구기간	2012.01.01 ~ 2012.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

소구경 배관의 결함을 측정하는 결함 탐상 장치에 있어서,

복수의 자기센서가 배열되며 원통형으로 형성된 센서부;

상기 센서부의 외면을 따라 권취되는 코일부;

상기 센서부에 직류전원을 인가하고 상기 코일부에 교류전원을 인가하는 전원공급부; 및

상기 센서부로부터 인가된 신호를 정량적으로 수치화하는 신호수신부를 포함하되,

상기 센서부는 상기 코일부에 인가된 교류전원으로 인하여 상기 소구경 배관의 결함으로부터 기인하는 자기장 분포를 검출하는 것을 특징으로 하는 결함 탐상 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 센서부는 복수의 홀센서가 M(자연수)행, N(자연수)열로 배열되며,

상기 각각의 홀센서는 제1 및 제2 입력단과, 제1 및 제2 출력단을 구비하는 것을 특징으로 하는 결함 탐상 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제1 입력단에 상기 입력전원이 인가되도록 스위칭되는 제1 입력스위치부; 및

상기 제2 입력단에 접지전원이 인가되도록 스위칭되는 제2 입력스위치부를 포함하는 결함 탐상 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 제1 입력스위치부는

일단이 행방향으로 배열된 자기센서들의 상기 제1 입력단과 연결되며, 타단은 상기 전원공급부와 연결되는 복수의 스위치 소자를 구비하는 것을 특징으로 하는 결함 탐상 장치.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 제2 입력스위치부는

일단이 행방향으로 배열된 자기센서들의 상기 제2 입력단과 연결되며, 타단이 상기 접지전원과 연결되는 복수의 스위치 소자를 구비하는 것을 특징으로 하는 결함 탐상 장치.

청구항 6

제 4 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 입력스위치부는 종방향으로 형성되며, 종방향으로 형성된 상기 자기센서들의 개수에 상응하는 스위치소자들을 구비하는 것을 특징으로 하는 결함 탐상 장치.

청구항 7

제 3 항에 있어서,

상기 제1 입력스위치부의 복수의 스위치 소자들을 순차적으로 턴온 및 턴오프 시키는 제1 제어신호를 인가하고,

상기 제2 입력스위치부의 복수의 스위치 소자들을 순차적으로 턴온 및 턴오프 시키는 제2 제어신호를 인가하는 스위치 제어부를 더 포함하는 결함 탐상 장치.

청구항 8

매트릭스 형태로 복수의 자기센서가 배열되며 원통형으로 형성된 센서부와, 상기 센서부의 외면을 따라 권취되는 코일부로 구성된 센서모듈을 이용하여 소구경 배관의 결함 탐상 방법에 있어서,

(a) 상기 센서부를 상기 소구경 배관의 축방향을 따라 이동시키되, 상기 코일부에 교류전류를 인가하여 상기 소구경 배관에 유도 전류에 의한 자기장을 발생시키고, 상기 센서부의 복수의 자기센서들 중 적어도 어느 하나의 행에 배열된 자기센서들을 구동시키는 단계;

(b) 상기 센서부에서 상기 소구경 배관의 자기장 변화를 검출하는 단계;

(c) 상기 자기장 변화가 검출된 영역에 상기 센서부를 위치시키고 상기 센서부에서 자기장 분포를 측정하는 단계를 포함하는 소구경 배관의 결함 검출 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 단계 (c)는

상기 센서부에서 행방향으로 배열된 홀센서의 제1 입력단과 공통으로 연결되는 제1 입력스위치부의 각 스위치들을 순차적으로 온/오프 시키는 단계; 및

상기 제1 입력스위치부와 동기되어 상기 센서부의 제2 입력단과 공통으로 연결되는 제2 입력스위치부의 각 스위치들을 순차적으로 온/오프 시키는 단계를 더 포함하는 소구경 배관의 결함 검출 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 결함 탐상 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 원통형 자기배열센서와 보빈코일이 결합되어 소구경 배관의 결함을 검출하는 결함 탐상 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 원자력 발전소의 증기발생기나, 총신, 송유관 등의 경우 배관의 부식, 피로, 결함에 의해 손상이나 파손이 발생할 경우 매우 심각한 사고가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 와전류 탐상기 등의 소구경 배관 탐상 장치가 개발되어왔다.

[0003] 종래 소구경 배관을 탐상하기 위한 탐상 장치는 픽업 코일을 이용하거나 팬케익 코일을 이용한 방식의 탐상 장

치가 주를 이루고 있다.

[0004] 픽업 코일을 이용한 탐상 장치는 소구경 배관에 픽업 코일을 삽입하고 입력 코일측에 교류 전류를 인가하고 출력 코일측에서 유도되는 전류를 측정하여 결함을 검출하는 방식이다. 위의 경우 센서의 크기가 커서 작은 결함을 발견하기 어렵고, 결함의 형태나 크기를 추정하기 곤란하다.

[0005] 팬케익 코일을 이용한 탐상 장치는 작은 팬케익형 코일을 배관에 삽입하고 회전시키면서 배관의 축방향으로 이동하면 배관 내부의 유도전류의 변화를 2차원으로 측정할 수 있어 작은 결함을 측정할 수 있고, 결함의 형태 및 크기를 측정할 수 있다. 그러나 이러한 경우 별도의 스캔 장비가 필요하고, 측정에 많은 시간이 소요되며, 센서 크기에 한계가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 소구경 배관의 결함을 측정하기 위하여, 원통형으로 배열한 홀센서와 보빈코일를 조합하여 공간분해능, 탐상 속도 및 원호방향의 회전이 없는 결함 탐상 장치 및 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 소구경 배관의 결함을 측정하는 결함 탐상 장치에 있어서, 복수의 자기센서가 배열되며 원통형으로 형성된 센서부; 상기 센서부의 외면을 따라 권취되는 코일부; 상기 센서부에 직류전원을 인가하고 상기 코일부에 교류전원을 인가하는 전원공급부; 및 상기 센서부로부터 인가된 신호를 정량적으로 수치화하는 신호수신부를 포함하되, 상기 센서부는 상기 코일부에 인가된 교류전원으로 인하여 상기 소구경 배관의 결함으로부터 기인하는 자기장 분포를 검출하는 것을 특징으로 하는 결함 탐상 장치를 제공할 수 있다.

[0008] 상기 센서부는 복수의 홀센서가 M(자연수)행, N(자연수)열로 배열되며, 상기 각각의 홀센서는 제1 및 제2 입력단과, 제1 및 제2 출력단을 구비할 수 있다.

[0009] 상기 제 센서부는 상기 제1 입력단에 상기 입력전원이 인가되도록 스위칭되는 제1 입력스위치부; 및 상기 제2 입력단에 접지전원이 인가되도록 스위칭되는 제2 입력스위치부를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 제1 입력스위치부는 일단이 행방향으로 배열된 자기센서들의 상기 제1 입력단과 연결되며, 타단은 상기 전원공급부와 연결되는 복수의 스위치 소자를 구비할 수 있다.

[0011] 상기 제2 입력스위치부는 일단이 행방향으로 배열된 자기센서들의 상기 제2 입력단과 연결되며, 타단이 상기 접지전원과 연결되는 복수의 스위치 소자를 구비할 수 있다.

[0012] 상기 제1 및 제2 입력스위치부는 종방향으로 형성되며, 종방향으로 형성된 상기 자기센서들의 개수에 상응하는 스위치소자들을 구비할 수 있다.

[0013] 상기 제1 입력스위치부의 복수의 스위치 소자들을 순차적으로 턴온 및 턴오프 시키는 제1 제어신호를 인가하고, 상기 제2 입력스위치부의 복수의 스위치 소자들을 순차적으로 턴온 및 턴오프 시키는 제2 제어신호를 인가하는 스위치 제어부를 더 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 실시 예에 따르면, 매트릭스 형태로 복수의 자기센서가 배열되며 원통형으로 형성된 센서부와, 상기 센서부의 외면을 따라 권취되는 코일부로 구성된 센서모듈을 이용하여 소구경 배관의 결함 탐상 방법에 있어서, (a) 상기 센서부를 상기 소구경 배관의 축방향을 따라 이동시키되, 상기 코일부에 교류전류를 인가하여 상기 소구경 배관에 유도 전류에 의한 자기장을 발생시키고, 상기 센서부의 복수의 자기센서들 중 적어도 어느 하나의 행에 배열된 자기센서들을 구동시키는 단계; (b) 상기 센서부에서 상기 소구경 배관의 자기장 변화를 검출하는 단계; (c) 상기 자기장 변화가 검출된 영역에 상기 센서부를 위치시키고 상기 센서부에서 자기장 분포를 측정하여 상기 소구경 배관의 결함을 검출하는 단계를 포함하는 소구경 배관의 결함 검출 방법을 제공할 수 있다.

[0015] 상기 단계(c)는 상기 센서부에서 행방향으로 배열된 홀센서의 제1 입력단과 공통으로 연결되는 제1 입력스위치부의 각 스위치들을 순차적으로 온/오프 시키는 단계; 및 상기 제1 입력스위치부와 동기되어 상기 센서부의 제2

입력단과 공통으로 연결되는 제2 입력스위치부의 각 스위치들을 순차적으로 온/오프 시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따르면, 매트릭스 형태로 배열된 복수의 자기센서가 배열되는 센서부를 통해 높은 공간분해능으로 빠른 시간에 소구경 배관을 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 소구경 배관 결함 탐상 장치를 도시한 블록도.

도 2는 도 1에 도시된 센서부를 도시한 회로도.

도 3은 도 1 및 도 2에 도시된 센서부의 센서들이 한 곡면상에 배열될 수 있음을 도시한 도면.

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따라 제조된 결함 탐상 장치의 사진.

도 5는 ODSCC(Outer Diameter Stress Corrosion Cracking)을 가지는 배관 내부에 보빈코일이 삽입되었을 경우 전자기장의 분포를 해석하기 위한 모델.

도 6은 표 1의 각 ODSCC에 의해 발생한 전자기장 왜곡을 해석한 결과를 도시한 도면.

도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 결함 탐상 장치의 ODSCC 검출 여부를 검증하기 위한 장치를 도시한 도면.

도 8은 ODSCC 검출 결과를 도시한 도면.

도 9는 ODSCC의 체적과 V_{RMS} 합의 관계를 도시한 그래프.

도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 결함 탐상 코일을 이용한 결함 탐상 방법을 순차적으로 도시한 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 도면을 참조한 본 발명의 설명은 특정한 실시 형태에 대해 한정되지 않으며, 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있다. 또한, 이하에서 설명하는 내용은 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0019] 이하의 설명에서 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용되는 용어로서, 그 자체에 의미가 한정되지 아니하며, 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0020] 본 명세서 전체에 걸쳐 사용되는 동일한 참조번호는 동일한 구성요소를 나타낸다.

[0021] 본 발명에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한, 이하에서 기재되는 "포함하다", "구비하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것으로 해석되어야 하며, 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.

[0022] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부한 도 1 내지 도 10을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0023] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 소구경 배관 결함 탐상 장치를 도시한 블록도이고, 도 2는 도 1에 도시된 센서부를 도시한 회로도이고, 도 3은 도 1 및 도 2에 도시된 센서부의 센서들이 한 곡면상에 배열될 수 있음을 도시한 도면이며, 도 4는 본 발명의 실시 예에 따라 제작된 센서모듈을 도시한 사진이다. 여기서, 도 4에 도시된 센서모듈은 도 3에 도시된 센서부의 외부면에 보빈코일을 권취한 것을 도시한 사진이다.

[0024] 도 1 내지 도 4를 참조하면, 본 발명에 따른 소구경 배관 결함 탐상 장치는 센서모듈(100), 전원공급부(120) 및 신호수신부(110)를 포함할 수 있다.

[0025] 구체적으로, 전원공급부(120)는 센서모듈(100)에 직류전원 및 교류전원을 공급할 수 있다. 직류전원(VCC)은 센서부(33)에 공급되며, 교류전원은 코일부(45)에 공급된다.

[0026] 신호수신부(110)는 센서부(33)에서 출력되는 신호를 수신하여 결함 영역에서의 결함 형태를 가시화하도록 신호처리를 할 수 있다.

[0027] 예를 들면, 신호수신부(110)는 증폭부, 필터부, 및 신호변환부를 포함할 수 있다. 증폭부는 센서부(33)에서 입력되는 신호를 증폭한다. 필터부는 증폭된 신호에 포함된 노이즈를 제거한다. 신호변환부는 노이즈가 제거된 신호를 컴퓨터 모니터에 표시될 수 있도록 디지털 신호로 변환할 수 있다.

[0028] 센서모듈(100)은 상기에서와 같이 센서부(33)와 코일부(45)를 포함할 수 있다. 센서모듈(100)은 소구경 배관의 직경보다 작은 직경으로 제조될 수 있다.

[0029] 센서모듈(100)은 센서부(33)에 매트릭스 형태로 배열된 자기센서, 예를 들면 홀세서(33)를 이용하여 자기장 분포를 측정함으로써 소구경 배관의 결함을 검출할 수 있다. 센서모듈(100)은 코일부(45)에 인가된 교류전류에 의해 소구경 배관에 유도전류를 발생시키며, 소구경 배관의 유도전류에 의한 자기장 분포를 센서부(33)에서 측정한다.

[0030] 센서모듈(100)은 소구경 배관의 결함의 위치를 탐색하기 위하여 초기에 적어도 하나의 행방향으로 배열된 홀센서들을 구동시킨다. 즉, 1라인의 홀센서들이 소구경 배관의 내측을 따라 이동되면서 자기장을 측정한다. 이때, 자기장 변화가 발생되는 영역에 결함이 있는 것으로 판단할 수 있다.

[0031] 이어서 센서모듈(100)을 결함 발생된 위치에 배치하고 센서부(33) 전체의 홀센서들을 구동하여 자기장 분포를 측정하여 결함의 크기 및 상태를 측정할 수 있다.

[0032] 센서부(33)는 기판(200) 상에 M(자연수)행, N(자연수)열로 배치된 홀센서들(22a 내지 22d)을 포함한다.

[0033] 기판(200)에는 M 개의 전원공급용 전원라인들(L11 내지 L41), M 개의 접지 라인들(L12 내지 L42), N 개의 정극성의 전압을 출력하는 제1 출력라인들(V1+ 내지 V4+), N 개의 부극성의 전압을 출력하는 제2 출력라인들(V1- 내지 V4-) 및 제1 입력스위치부(75)와 제2 입력스위치부(85)가 구비된 회로가 구현된다.

[0034] 제M 행에 포함된 센서들 각각의 VCC 단자들(a)은 제M 행의 전원라인과 연결된다.

[0035] 제M 행에 포함된 센서들 각각의 접지 단자들(c)은 제M 행의 접지라인과 연결된다.

[0036] 제N 열에 포함된 센서들 각각의 제1 출력 단자들(d)은 제N 열의 제1 출력 라인(VN+)과 연결된다.

[0037] 제N 열에 포함된 센서들 각각의 제2 출력 단자들(b)은 제N 열의 제2 출력 라인(VN-)과 연결된다.

[0038] 제1 입력스위치부(75)는 전원라인들(L11 내지 L41)과 각각 연결되는 복수의 스위치들을 포함하며, 각각의 전원라인들(L11 내지 L41)에 입력전압을 선택적으로 제공할 수 있다. 예를 들면, 제1 입력스위치부(75)의 스위치SWa1이 턴온되면 제1 행의 전원라인(L11)에 입력전원(VCC)이 인가된다. 스위치SWa4은 턴온되면 제4 행의 전원라인(L14)에 입력전원인 인가된다. 이때, 스위치SWa1 내지 SWa4는 순차적으로 온/오프될 수 있다. 즉, 스위치SWa1이 턴온되면 나머지 스위치들(SWa2 내지 SWa4)은 오프되며, 스위치SWa2가 턴온되면 나머지 스위치들(SWa1, SWa3, SWa4)은 오프된다.

[0039] 제2 입력스위치부(85)는 접지라인들(L12 내지 L42)과 각각 연결되는 복수의 스위치들을 포함하며, 각각의 접지라인들(L12 내지 L42)에 접지전원(GND)을 선택적으로 제공할 수 있다. 예를 들면, 제2 입력스위치부(85)의 스위치SWb1이 턴온되면 제1 행의 접지라인(L12)에 접지전원(GND)이 인가된다. 스위치SWb4가 턴온되면 제4 행의 접지라인(L42)에 접지전원(GND)이 인가된다. 이때, 스위치SWb1 내지 Swb4는 순차적으로 온/오프될 수 있다. 즉, 스위치SWb1이 턴온되면 나머지 스위치들(SWb2 내지 SWb4)는 오프되며, 스위치SWb2가 턴온되면 나머지 스위치들(SWb1, SWb3, SWb4)은 오프된다.

[0040] 한편, 본 발명의 실시 예에 따르면, 제1 입력스위치부(75)의 각 스위치들이 턴온되는 순간에 이에 동기하여 제2 입력스위치부(85)의 각 스위치들이 동시에 턴온될 수 있다. 예를 들면, 스위치SWa1이 턴온되면 스위치SWb1이 동시에 턴온되고, 이어서 스위치SWa2가 턴온되면 스위치SWb2가 턴온될 수 있다.

[0041] 이에 따라, 순차적으로 입력전원(VCC)과 접지전원(GND)을 행별로 배열된 센서들에 일괄적으로 제공할 수 있다. 이에 따라, 별도의 스캔 장비 없이 일정한 간격의 자기장 분포를 측정할 수 있다.

[0042] 도 3은 기관(200)에 도 2의 센서부가 형성된 것을 도시한 도면으로 상기 기관(200)은 가요성 기관(200)으로 원통곡면상에 상술한 센서들(22a 내지 22d)이 배열된 것을 도시하고 있다.

[0043] 코일부(45)는 교류전류를 공급하여 소구경 배관(60)에 유도 전류를 발생시킨다. 이때, 소구경 배관(60)에 결함(65)이 있을 경우 결함(65)으로 인하여 생성된 유도전류 왜곡과 유도전류 왜곡에 의한 자기장의 세기를 상술한 센서부(33)에서 측정함으로써 결함의 위치, 크기 및 상태 등을 검출할 수 있다.

[0044] 상기에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 센서모듈은 보빈코일(45)에 교류전류가 인가되며, 이때, 소구경 배관에 유도 전류가 발생될 수 있다. 이때, 소구경 배관에 결함이 있을 경우 유도 전류가 변화되며 도 5에 도시된 바와 같이, 유도 자기장이 형성될 수 있다.

[0045] 도 5는 ODSCC(Outer Diameter Stress Corrosion Cracking)을 가지는 배관 내부에 보빈코일이 삽입되었을 경우 전자기장의 분포를 해석하기 위한 모델이다.

[0046] 도 5에서, r, Θ, z는 각각 실리더 좌표계에서 반지름, 원호 및 원주방향을 의미한다. 배관의 내경은 17.28㎜, 두께는 0.89㎜ 이며 재질은 티타늄으로 5.2E-7의 유전율을 가진다. 센싱 영역의 크기는 0.78㎜이며 사용화된 3차원 유한요소해석프로그램(ANSYS Ver. 11.0 SP1 UP20070830 EMAG)에 의해 해석하였다. 또한, 보빈코일은 직경 0.2㎜, 길이 35㎜이며, 보빈코일에 인가되는 전류는 600mA이고, 주파수는 5kHz이다. ODSCC는 표 1과 같이 홀형과 환형으로 모델링된다. 홀형 ODSCC는 직경 1.5~4.6㎜, 깊이 37~100%이고, 환형 ODSCC는 폭 3㎜, 깊이 19%로 가정한다. 전자기장의 분포는 보빈코일의 내부의 직경 16㎜에서 해석한 것이다.

표 1

[0047]

Number	shape	Depth	Width	Surface area	Volume
1	Hole-type	0.860㎜	1.5㎜	1.77mm^2	1.52mm^3
2		0.697㎜	1.8㎜	2.54mm^2	1.77mm^3
3		0.499㎜	2.7㎜	5.73mm^2	2.86mm^3
4		0.335㎜	4.6㎜	16.62mm^2	5.57mm^3
5		0.315㎜	4.6㎜	16.62mm^2	5.29mm^3
6	Circumferential-type	0.163㎜	3.0㎜	104.57mm^2	17.09mm^3

[0048] 도 6은 표 1의 각 ODSCC에 의해 발생한 전자기장 왜곡을 해석한 결과를 도시한 도면이다. 측정면(Θ-plane)에서 magnetic field의 r-방향 성분을 Br이라고 하면, 도 6은 수학식 1로 표현되는 측정면에서 ODSCC의 중심을 지나는 △Br의 크기를 도시한 것이다.

수학식 1

[0049] $$\triangle Br(\theta,z)\text{-}Br(i+1,j)\text{-}Br(i,j)$$

[0050] 도 6의 첫번째 사진(No. 1)의 경우, 결함 폭이 제일 작음에도 불구하고, 가장 명확한 영상을 제공하고 있다. 또한, No.1과 No.4를 비교하면, ODSCC의 넓이가 넓으면, 결함주변의 전자기장의 왜곡이 넓게분포한다. 한편, No.4와 No.5를 비교하면, 같은 넓이임에도 불구하고, No.5와 같이 깊이가 얕을 경우, 결함 지시 신호가 작아짐을 알 수 있다. 도 6의 No.6와 같이 보빈코일에 의한 유도전류의 인가방향이 circumferential ODSCC의 길이방향과 일치하더라도, 전자기장의 왜곡이 발생하고 있음을 알 수 있다.

[0051] 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 결함 탐상 장치의 ODSCC 검출 여부를 검증하기 위한 장치를 도시한 도면이고, 도 8은 ODSCC 검출 결과를 도시한 도면이며, 도 9는 ODSCC의 체적과 V_{RMS} 합의 관계를 도시한 그래프이다.

[0052] 도 7 내지 도 9를 참조하면, 본 발명의 실험에서는 티타늄 합금(ASME SB338 GR2)의 배관을 이용하였다. 배관의 내경은 17.28mm, 두께는 0.86mm이다. 이때, 홀형 ODSCC의 경우에는 직경 1~4.6mm, 깊이 18~100%이다. 또한, 환형 ODSCC는 폭 3mm, 깊이 19%이다.

[0053] 표 2는 소구경 배관의 각 ODSCC에 의해 발생한 전자기장 왜곡을 측정한 결과를 나타낸 표이다.

표 2

[0054]

Number	shape	Depth	Width	Surface area	Volume
1	Hole-type	0.860mm	1.0mm	0.79mm^2	0.68mm^3
2		0.697mm	1.8mm	2.54mm^2	1.77mm^3
3		0.499mm	2.7mm	5.73mm^2	2.86mm^3
4		0.335mm	4.6mm	16.62mm^2	5.57mm^3
5		0.155mm	4.6mm	16.62mm^2	2.57mm^3
6	Circumferential-type	0.163mm	3.0mm	104.57mm^2	17.09mm^3

[0055] 여기서, 도 1 내지 도 3에서 도시된 센서부(33)의 회로와 동일한 회로를 가지는 센서부(33)는 0.78mm간격의 32 x32개의 홀센서가 외경 15mm의 원주면에 0.78mm 간격으로 배치되었다. 따라서, 214° ×24.96mm 영역의 Θz-평면의 교류 자기장의 크기 분포를 측정할 수 있다.

[0056] 여기서, 증폭부의 증폭비는 17.57dB이다. 한편, 센서부(33)의 외벽에 형성된 보빈코일(45)은 직경 0.2mm의 140회 감겨져 실험에 사용되었다. 보빈코일(45)은 15.4mm의 외경을 갖게 되며, 리프트 오프는 1.2mm이다.

[0057] 보빈코일(45)에는 600mA, 5kHz의 교류전류를 인가하였다. 증폭부 및 필터부 회로는 INA128 및 AD637JRZ에 의하여 구현하였다. 아날로그-디지털 변환부는 NI사의 6071E를 이용하여 디지털 변환하였다. 전원부의 스위칭 속도를 30ms 간격으로 수행한 결과, 32 x 32개의 홀센서에 의하여 약 1frames/sec의 자기장 영상을 획득할 수 있었다.

[0058] 홀전압을 RMS회로에 의하여 변환한 신호를 V_{RMS}라하고, z-축 방향으로 인접한 자기장 분포의 차이를 수학식 2를 얻을 수 있다.

수학식 2

[0059]
$$\triangle V_{RMS}(\theta,z)-V_{RMS}(i+1,j)-V_{RMS}(i,j)$$

[0060] 도 8은 상술한 도 1의 신호수신부(110)에 의하여 얻어진 $\triangle V_{RMS}$ 영상을 나타낸다. 도 8은 상기에서 설명한 수치해석결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 도 8의 (No.1)의 경우, 결함 폭이 제일 작음에도 불구하고, 가장 명확한 영상을 제공하고 있다. 또한, ODSCC의 넓이가 넓으면, 결함주변의 전자기장의 왜곡이 넓게 분포한다. 한편, No.4와 No.5를 비교하면, 같은 넓이임에도 불구하고, No.5와 같이 깊이가 얕을 경우, 결함 지시 신호가 작아짐을 알 수 있다. 원주방향의 ODSCC(No.6)와 같이 보빈코일에 의한 유도전류의 인가방향이 원주방향 ODSCC의 길이방향과 일치하더라도, 전자기장의 왜곡을 가시화할 수 있음을 알 수 있다.

[0061] 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 소구경 배관의 결함 탐상 방법을 순차적으로 도시한 흐름도이다. 도 10은 도 1 내지 도 4에 도시된 센서모듈을 사용한 것으로, 이하의 설명에서는 도 1 내지 도 4와 연관지어 설명하기로 한다.

[0062] 도 10을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 결함 탐상 방법은 센서모듈에 전원을 인가하고, 소구경 배관의 내부에 축 방향을 따라 센서부를 이동시키는 단계(S100), 소구경 배관을 이동하면서 내부 자기장 변화를 검출하는 단계(S200) 및 소구경 배관의 결함 부위의 자기장 분포를 측정하는 단계(S300)를 포함할 수 있다.

[0063] 구체적으로, 소구경 배관(60)의 내부에 센서모듈(100)을 삽입한다. 이어서, 코일부(45)에 교류전류를 인가하고, 센서부(33)에 직류전원을 인가한다. 이때, 센서부(33)의 제1 입력스위치부(75)에 구비된 스위치 소자들 중 어느 하나와, 제2 입력스위치부(85)에 구비된 스위치 소자들 중 어느 하나를 턴온시켜 행방향으로 배열된 복수의 홀센서를 구동시킨다. 예를 들면, 도 2의 스위치SWa3과 스위치SWb3을 턴온시켜 3번째 행방향의 홀센서를 구동시킨다. 이러한 상태에서 센서모듈(100)을 소구경 배관(60) 내부에서 축방향을 따라 이동시킨다.(S100)

[0064] 이어서, 축방향을 따라서 이동하는 센서모듈(100)을 통해 소구경 배관(60) 내부에서의 자기장을 검출한다.(S200) 이때, 자기장 변화가 발생된 영역에서 결함(65)이 있는 것으로 예상할 수 있다.

[0065] 이어서, 자기장 변화가 발생된 영역에 센서모듈(100)을 위치시키고 자기장 분포를 측정한다.(S300) 자기장 분포를 측정하는 방법은 제1 및 제2 입력스위치부(75, 85)를 순차적으로 온/오프 시키면서 홀센서들에서 출력된 신호를 수신하여 이를 정량화함으로써 자기장 분포를 가시화한다.

[0066] 상기에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 일 실시 예에 따른 소구경 배관 결함 탐상 장치 및 방법은 자기센서가 원주면에 배열된 센서부와 센서부 외주면에 감겨진 보빈코일 이루어진 센서모듈을 이용하여 소구경 배관을 정밀하게 검사할 수 있다. 본 발명에 따른 소구경 배관 결함 탐상 장치 및 방법은 공간분해능이 향상되며, 빠른 속도로 배관의 결함을 검출할 수 있다.

부호의 설명

[0067] 22a 내지 22d: 홀센서

33: 센서부

45: 코일부

60: 소구경 배관

65: 결함

75: 제1 입력스위치부

85: 제2 입력스위치부

100: 센서모듈

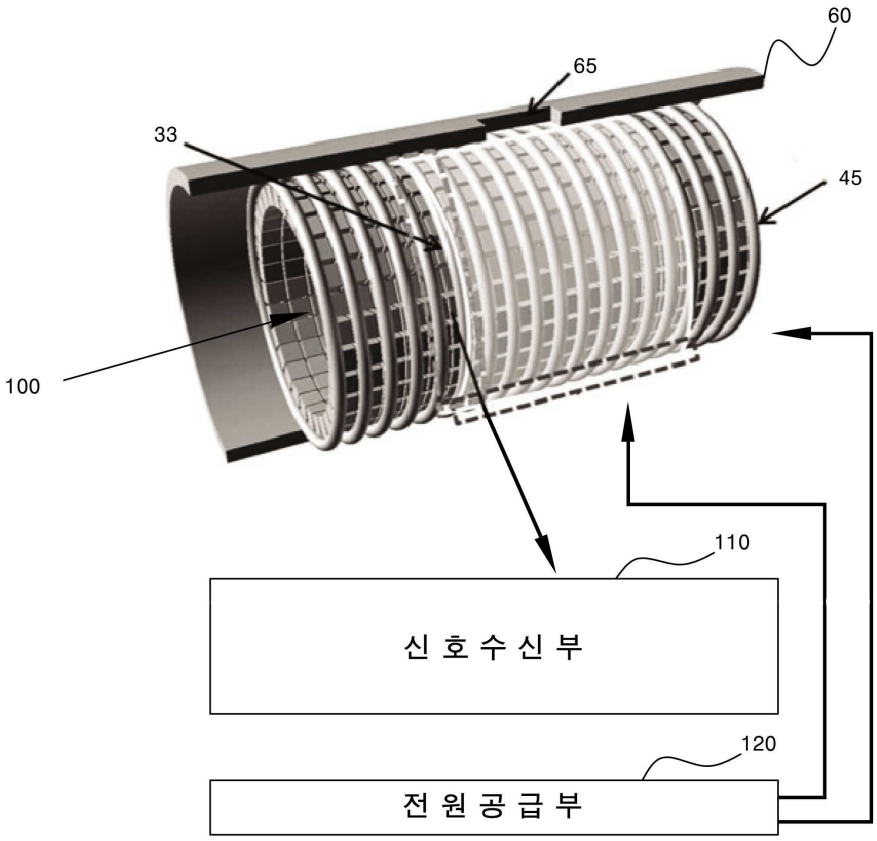
110: 신호수신부

120: 전원공급부

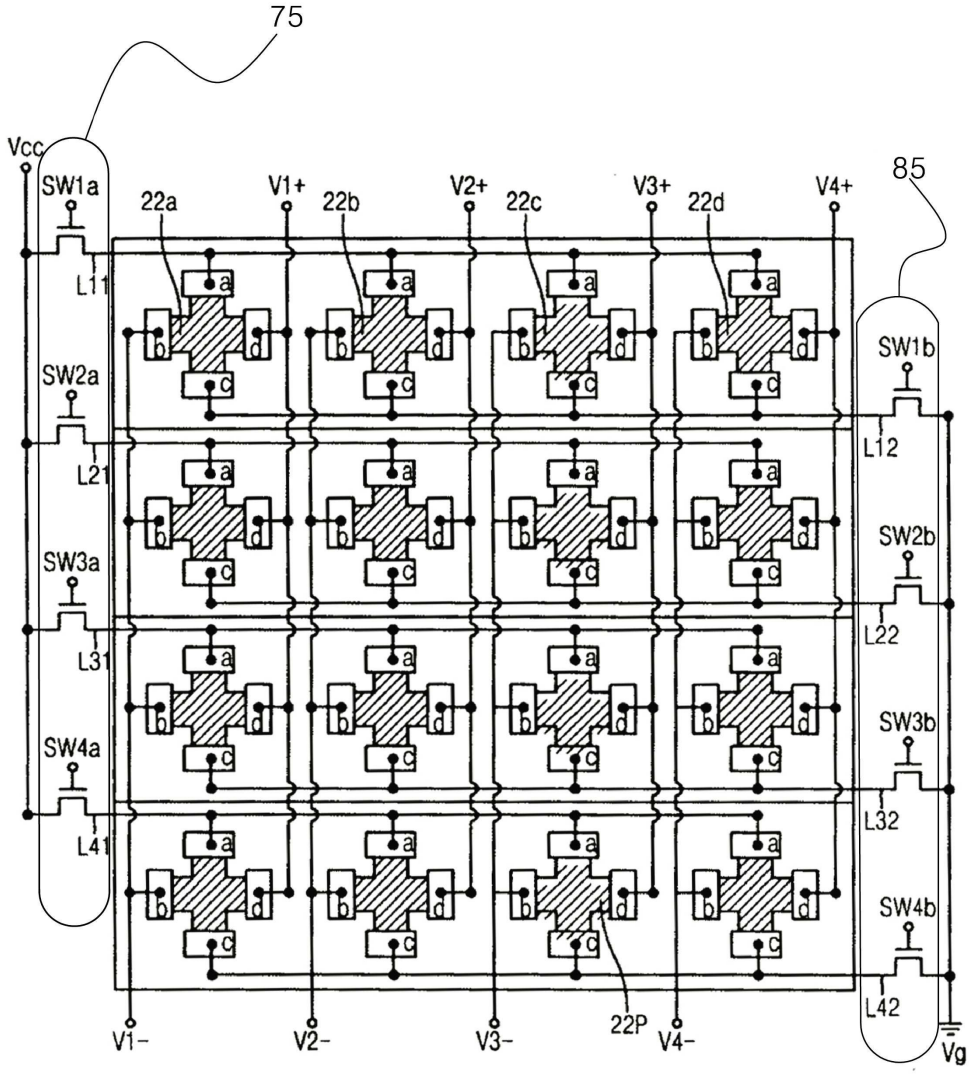
200: 기판

도면

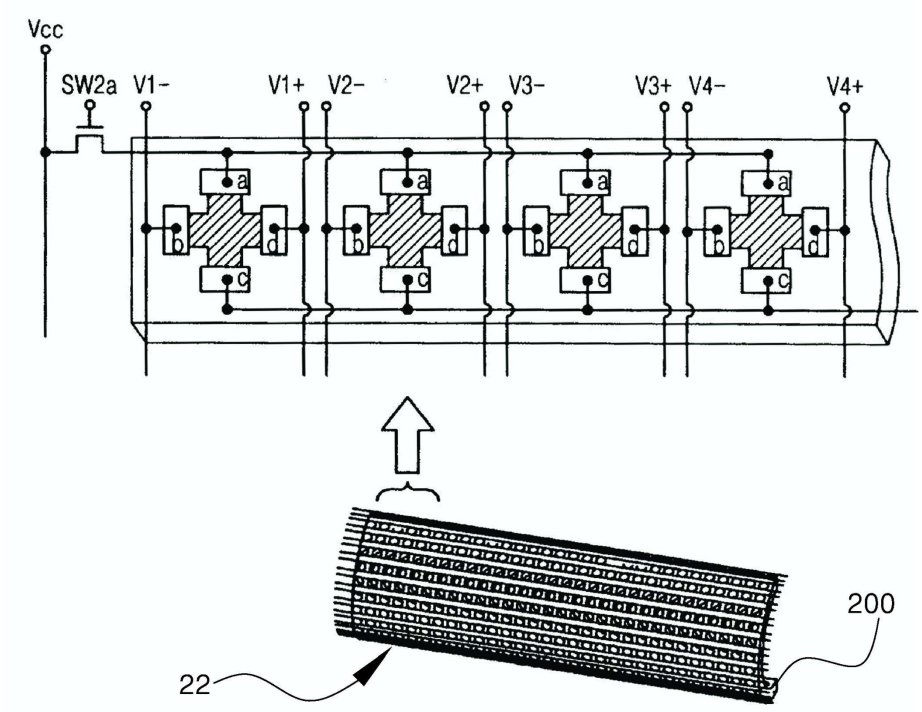
도면1



도면2


75
85
Vcc
SW1a
SW2a
SW3a
SW4a
L11
L21
L31
L41
22a
22b
22c
22d
V1+
V2+
V3+
V4+
V1-
V2-
V3-
V4-
22P
SW1b
SW2b
SW3b
SW4b
L12
L22
L32
L42
Vg

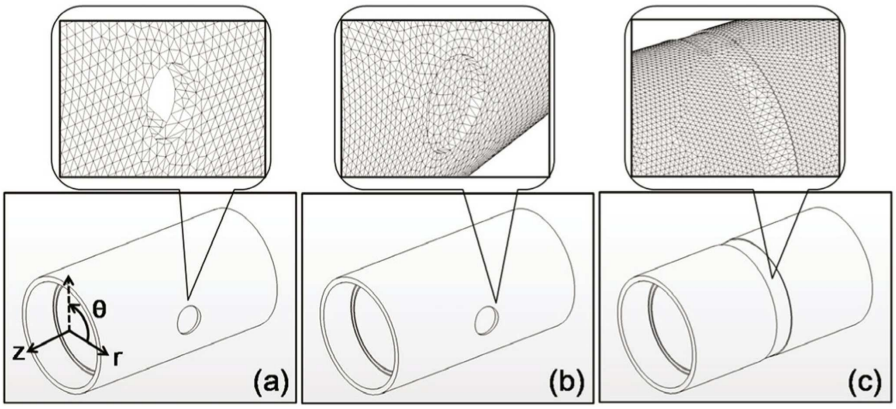
도면3



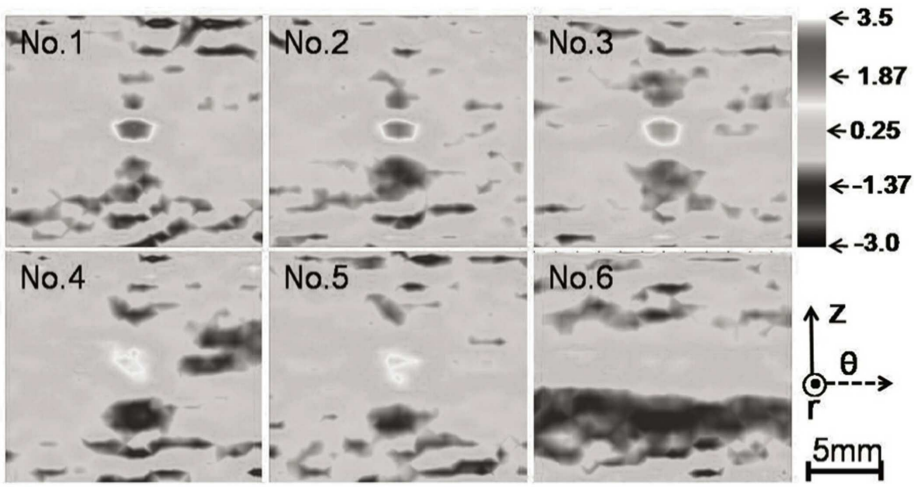
도면4



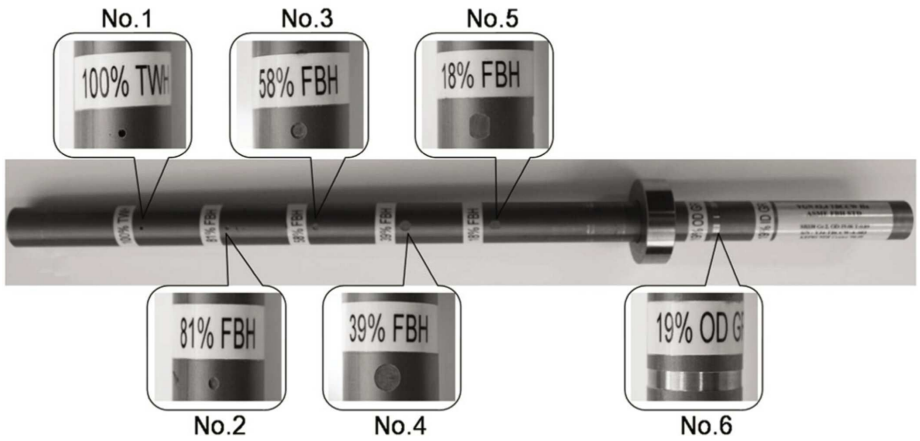
도면5


θ
z
r
(a)
(b)
(c)

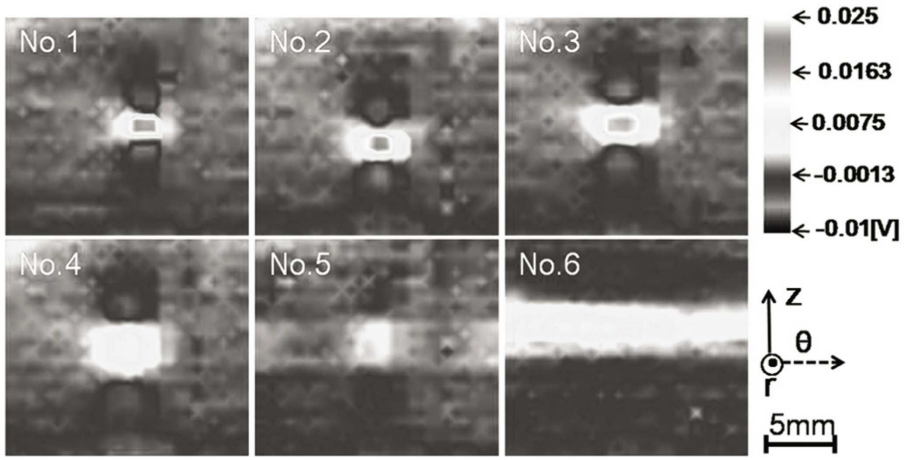
도면6


No.1
No.2
No.3
No.4
No.5
No.6
3.5
1.87
0.25
-1.37
-3.0
z
θ
r
5mm

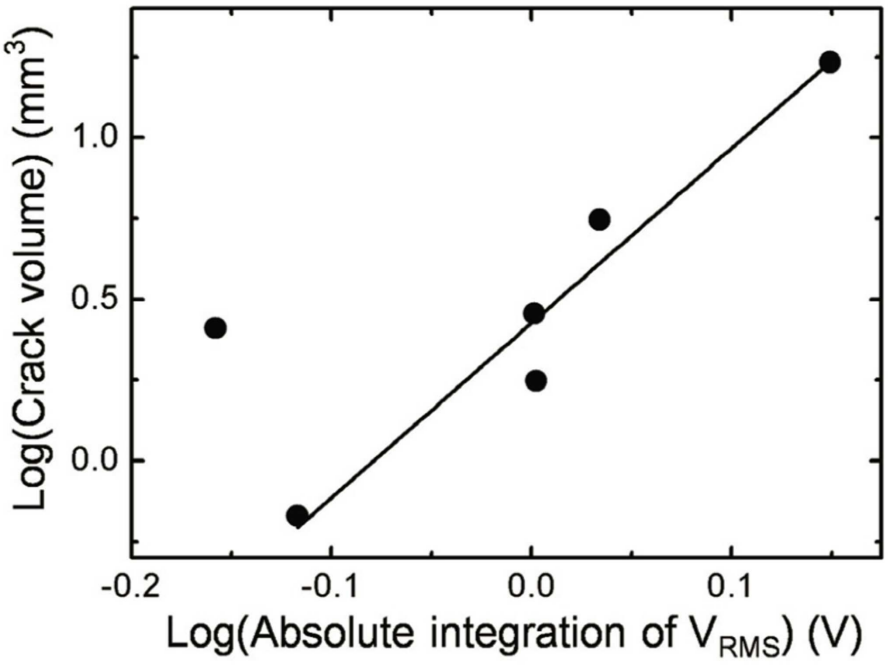
도면7


No.1
No.3
No.5
100% TW
58% FBH
18% FBH
81% FBH
39% FBH
19% OD
No.2
No.4
No.6

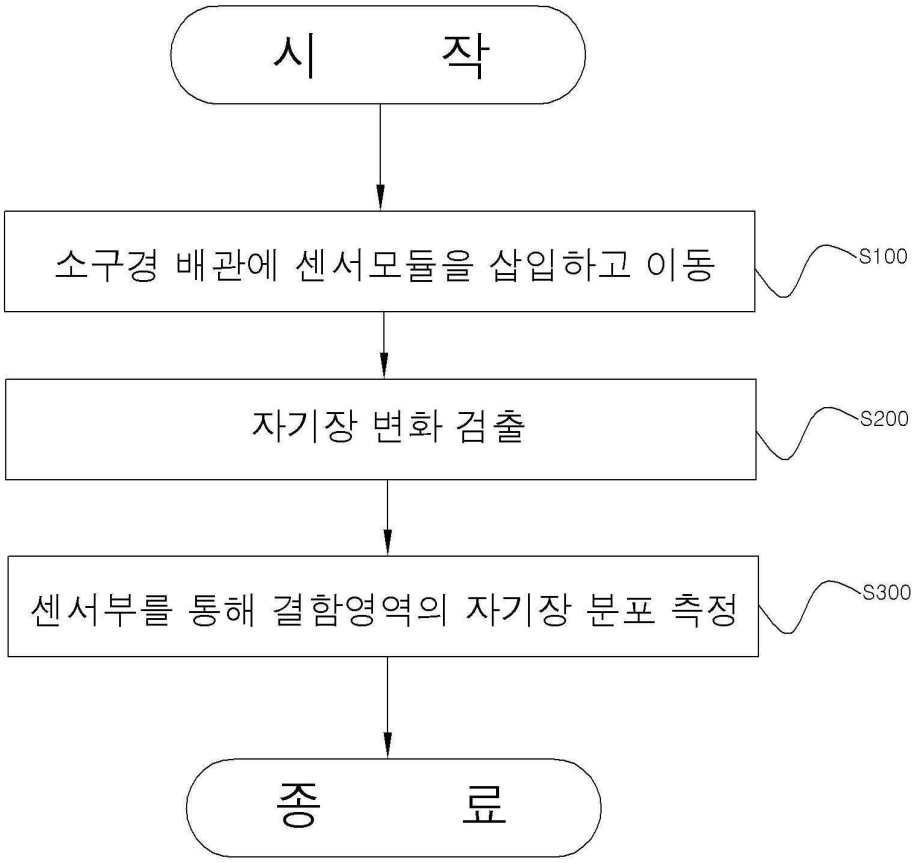
도면8


No.1
No.2
No.3
No.4
No.5
No.6
0.025
0.0163
0.0075
-0.0013
-0.01[V]
z
θ
r
5mm

도면9


Log(Crack volume) (mm3)
1.0
0.5
0.0
-0.2
-0.1
0.0
0.1
Log(Absolute integration of VRMS) (V)

도면10


시 작
소구경 배관에 센서모듈을 삽입하고 이동
S100
자기장 변화 검출
S200
센서부를 통해 결함영역의 자기장 분포 측정
S300
종 료