

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl. (11) 공개번호 10-2006-0078411
G01N 27/72 (2006.01) (43) 공개일자 2006년07월05일

(21) 출원번호 10-2004-0118017
(22) 출원일자 2004년12월31일

(71) 출원인 재단법인서울대학교산학협력재단
서울특별시 관악구 봉천동 산 4-2

(72) 발명자 김운영
서울특별시 서초구 방배3동 임광아파트 3동 1004호
박찬일
경기 군포시 광정동 삼성장미아파트 1131-901
조승현
경기 안산시 상록구 본오3동 1139-1 204호

(74) 대리인 김동진
정상빈

심사청구 : 있음

(54) 테일 패치를 이용한 자기변형 트랜스듀서와, 이를 이용한탄성과 측정 장치

요약

본 발명은 소정의 단면을 시험체에 비틀림과를 발생시키고, 시험체에 진행하는 비틀림과를 수신하는 자기변형 트랜스듀서에 관한 것이다.

본 발명에 따른 자기변형 트랜스듀서는, 시험체의 소정의 위치에 부착되는 강자성체 패치와, 상기 강자성체 패치 둘레에 배치되는 원통형 절연체와, 상기 절연체의 둘레에 감겨진 코일을 포함하는데, 상기 코일에 전류가 공급되면 상기 패치가 자기변형 효과에 의하여 상기 시험체에 비틀림과를 발생되며, 상기 강자성체 패치는, 상기 시험체의 축방향과 비스듬하게 부착되고 상기 자기변형 효과에 의한 비틀림과를 상기 시험체에 전달하는 스트립부와, 상기 스트립부의 양단에 상기 축방향과 수직인 방향으로 형성되고 상기 코일에 전류가 공급될 때 상기 스트립부로 자속을 집중시키는 테일부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도

도 6

색인어

자기변형, 역 자기변형, 변형률, 자기장, 자속, 트랜스듀서

명세서

도면의 간단한 설명

- 도 1은 봉 부재에 전파되는 비틀림파의 주파수 대 균속도 곡선을 도시한 그래프.
- 도 2는 종래의 자기변형 트랜스듀서의 예를 나타낸 도면.
- 도 3a 및 도 3b는 도 2의 트랜스듀서를 이용하여 측정된 신호를 나타내는 그래프.
- 도 4는 종래의 사각형 패치를 이용한 트랜스듀서의 예를 나타낸 도면.
- 도 5a 및 도 5b는 도 4의 트랜스듀서를 이용하여 측정된 신호를 나타내는 그래프.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 트랜스듀서의 구성을 도시한 도면이다.
- 도 7a 내지 도 7c는 본 발명의 일 실시예에 따른 테일 패치의 형상을 도시한 도면이다.
- 도 8은 테일 패치를 봉에 부착한 형태를 도시한 도면이다.
- 도 9는 도 6의 트랜스듀서에 바이어스 자기장을 가하는 경우를 도시한 도면이다.
- 도 10은 도 9를 사시도로 표현한 도면이다.
- 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 장치 구성도이다.
- 도 12a는 사각형 패치를 이용한 트랜스듀서에 의하여 형성되는 자기장을 나타낸 도면이다.
- 도 12b는 본 발명의 테일 패치를 이용한 트랜스듀서에 의하여 형성되는 자기장을 나타낸 도면이다.
- 도 13a는 사각형 패치를 이용한 트랜스듀서에서 측정되는 신호를 나타낸 그래프이다.
- 도 13b는 본 발명의 테일 패치를 이용한 트랜스듀서에서 측정되는 신호를 나타낸 그래프이다.

(도면의 주요부분에 대한 부호 설명)

- 2 : 시험체 3 : 구동 코일
- 4 : 제1 절연체 5 : 바이어스 코일
- 6 : 제2 절연체 8 : 크랙
- 50 : 테일 패치 51 : 스트립부
- 52, 53 : 테일 54, 55 : 연결부
- 100, 110 : 트랜스듀서 200 : 바이어스 전류 발생기
- 300 : 초음파 발생기 400 : 함수 발생기
- 500 : 오실로스코프 600 : 컴퓨터
- 1000 : 비틀림파 가진 및 측정을 위한 시험 장치

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 자기변형 및 역 자기변형 현상을 이용하여 시험체를 가진하고 상기 시험체로부터 전달되는 신호를 수신하는 자기변형 트랜스듀서에 관한 것으로, 보다 자세하게는 소정의 단면을 가지는 축이나 보에 비틀림파를 발생시키고, 시험체에 전달되는 비틀림파를 측정하는 장치에 관한 것이다.

자기변형, 즉 마그네토스트릭션(magnetostriction)이란 강자성 재료가 자기장 아래 놓일 때 기계적인 변형이 발생하는 현상을 말하며 주울 효과(Joule effect)라고도 한다. 이것의 역현상으로 재료에 응력이 작용할 때 재료 내부의 자기적 상태가 변화하는 현상을 역자기변형 현상(inverse magnetostrictive effect) 또는 빌라리 효과(Villari effect)라고 한다.

이러한 자기변형 효과를 이용한 트랜스듀서는 측정하고자 하는 대상과 기계적인 접촉 없이 측정물의 변형을 측정할 수 있기 때문에 접촉식 센서의 적용이 불가능한 여러 분야에 응용되고 있다. 자기변형 효과를 이용하면 비접촉으로도 탄성 초음파를 발생시킬 수 있을 뿐만 아니라, 전통적인 압전 효과를 이용한 방식보다 크기가 큰 초음파를 발생시킬 수 있다. 봉 및 배관과 같은 도파체에서 발생시킬 수 있는 초음파로는 종파, 횡파 및 비틀림파(torsional wave) 등이 있다.

이 중 비틀림파의 첫 번째 모드에서는 주파수 성분에 따라 속도 차이가 생기는 분산 현상(dispersion)이 거의 일어나지 않는다. 따라서, 첫 번째 모드의 비틀림파를 이용하면 봉이나 배관에 존재하는 구조적인 특징을 효과적으로 측정할 수 있다.

일반적으로 강자성체로는 철, 니켈, 코발트 등이 있으며 이 중 본 실시예에 사용되는 니켈은 연질자성재료로 자화곡선의 상승이 빠르고 히스테리시스가 적어 자기장이 제거된 후 원래의 형상으로 빨리 돌아오는 성질을 가지고 있다.

도 1에는 봉부재에 전파되는 비틀림파의 주파수 대 군속도(group velocity) 곡선이 도시된다. 상기 봉부재는 두께(t)가 1mm, 외경(d0)이 25mm, 밀도(ρ)가 2800kg/m³, 탄성계수(E)가 73GPa인 알루미늄 배관이다.

도 1에 도시된 것과 같이, 군속도 곡선 중 첫 번째 모드(first branch)는 주파수 성분마다 속도 차이가 발생하는 분산현상(dispersion)이 거의 나타나지 않는다. 따라서, 예를 들어, 원거리 탐상을 위해 비틀림파를 이용하여 비파괴 검사를 수행한다면, 발생시킨 파동이 반사되어 돌아올 때 그 파형이 유지되므로 배관 등의 결함 진단에 매우 유용할 수 있을 것이다.

도 2에 도시된 것과 같이, 종래의 자기변형 트랜스듀서는, 시험체(2) 둘레에 길이방향에 수직하게 감기는 얇은 니켈 스트립(strip)(1), 상기 니켈 스트립 둘레에 설치되는 절연체(4) 및 상기 절연체 둘레에 감기는 코일(3)을 포함하여 구성된다.

종래의 자기변형 트랜스듀서를 사용하여 시험체(2)의 결함을 진단할 때에는, 니켈 스트립(1)을 원형 배관의 둘레에 감아서 붙인 후, 영구자석(미도시) 등을 이용하여 상기 니켈 스트립(1)을 원주 방향으로 자화(magnetization)시킨다. 자화된 니켈 스트립(1) 주위에 코일(3)로 자기장을 부가하여 탄성파를 발생 및 측정한다. 코일(3)에 의해 니켈 스트립(1)에 자기장이 인가되면 봉부재에는 비틀림파가 발생하게 된다. 발생된 비틀림파는 시험체(2)를 따라 전파되다가 봉부재의 단부 또는 구조적인 결함이 있는 곳에서 반사되어 돌아오게 된다. 되돌아온 비틀림파에 의해 상기 스트립(1)이 부착된 위치에는 자기장에 변화가 발생한다.

도 3a 및 도 3b에는 도 2에 나타낸 방식에 의해 발생된 탄성파(특히, 비틀림파)를 이용한 경우에 측정된 신호를 나타내는 그래프가 도시되어 있다. 도 3a는 상기 코일의 입력전류로 3A를 사용한 경우이고, 도 3b는 입력전류로 6A를 사용한 경우이다.

도 3a 및 도 3b에 도시된 것과 같이, 종래의 방식에서는 트랜스듀서의 입력전류에 의해 트랜스듀서에서 발생하는 파형이 자기장의 세기에 매우 민감하게 변하기 때문에 큰 출력의 비틀림파를 보내기 어렵다. 만약 코일에서 발생하는 교류 성분의 자기장의 세기가 커지면 니켈의 잔류 자화량에 의한 자기장의 세기가 상대적으로 작아져 도 3b에서처럼 의도와 다르게 비틀림파 외에 종파도 발생하여 신호가 복잡해져서 비틀림파의 구별에 어렵다.

즉, 이러한 종래의 트랜스듀서는 시험체(2)의 원주 방향으로의 상기 니켈 스트립(1)의 예자화(pre-magnetization)량과, 코일 내에서 축 방향으로의 자기장의 세기가 적절하지 않으면 비틀림파 이외에 다른 유형의 파가 발생된다. 또한, 상기 니켈 스트립(1)은 연질자성재료(soft magnetic material)이므로 긴 시간에 걸쳐 사용하기 위해서는 다시 예자화를 해주어야 하는 번거로움이 있다.

이와 같은 문제점을 개선하기 위하여, 본 발명의 발명자는 한국소음공학회논문집(제14권, 제2호, pp. 144~149, 2004년)에 "자기변형 트랜스듀서를 이용한 유도 비틀림파의 발생 및 배관의 이상 진단"이라는 제목(저자: 김윤영 외 3명)으로 논문을 발표한 바가 있다.

상기 논문에서는 제시한 방법은 도 4에서 도시하는 바와 같이, 축 방향에 대하여 45도로 비스듬히 부착된 사각형의 니켈 패치(9)를 부착하는 방법을 제시한다. 이와 같이, 상기 패치(1)를 시험체(2)에 45도 각도를 이루면서 부착함으로써 발생하는 탄성파는 상기 종래기술과 달리 비틀림파(torsional wave)가 된다. 발생된 비틀림파는 상기 시험체(2)를 따라 진행하게 되고 상기 시험체(2)의 타 단부 또는 결합 부분에서 반사되어 되돌아온다.

상기 패치(1)를 둘러싸고 있는 솔레노이드 코일(3)에 전류가 입력될 때, 유도된 자속(magnetic flux) 또한 패치(9)를 따라서 비스듬히 생성된다. 이 때, 상기 패치(9)는 자기변형에 의하여 주로 자기장 방향을 변형함으로써 비틀림파가 생성된다. 이러한 패치(9)를 포함한 트랜스듀서(10)는 예자화(pre-magnetization) 또는 심지어 바이어스(bias) 자기장 없이도 비틀림파를 생성할 수 있기 때문에 매우 효율적이다.

도 5a 및 도 5b에는, 상기 논문에서 제시한 방법에 따라서, 25mm×3mm의 크기를 갖는 사각형 패치(1)를 이용하여 실험한 결과 그래프를 나타내었다. 도 5a에 도시된 그래프는 도 4의 코일(3)에 4.75A를, 도 5b에 도시된 그래프는 상기 코일(3)에 8.44A의 전류를 파워 앰프를 통해 가해준 결과를 나타낸다. 도 5a 및 도 5b의 결과를 도 3a 및 도 3b의 결과와 비교하면, 상기 논문에서 제시된 방법은 인가 전압을 향상시키더라도 비틀림파 외의 다른 파가 발생하지 않음을 알 수 있다. 예를 들어 만약, 비틀림파를 결합 검출에 사용하면 발생시킨 펄스의 왜곡이 없기 때문에 결합의 정확한 위치를 추정할 수 있을 것이다.

상기 논문에서 제시한 방법이 충분히 효율적인 방법이라는 하지만, 이에 한 걸음 더 나아가 작은 입력 신호에도 상당한 크기의 출력을 나타내고 신호대잡음비가 향상된 트랜스듀서를 개발할 필요가 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상기와 같은 필요성을 감안하여 창안된 것으로, 시험체에 대해 응력을 발생시키는 부분에 자속을 집중시킬 수 있는 트랜스듀서를 제공하는 것을 목적으로 한다.

또한 본 발명은 상기와 같은 자속 집중을 통하여 트랜스듀서의 민감도 및 신호대잡음비를 향상시키는 것을 목적으로 한다.

발명의 구성 및 작용

상기한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 자기변형 트랜스듀서는, 시험체의 소정의 위치에 부착되는 강자성체 패치와, 상기 강자성체 패치 둘레에 배치되는 원통형 절연체와, 상기 절연체의 둘레에 감겨진 코일을 포함하는데, 상기 코일에 전류가 공급되면 상기 패치가 자기변형 효과에 의하여 상기 시험체에 비틀림파를 발생되며, 상기 강자성체 패치는, 상기 시험체의 축방향과 비스듬하게 부착되고 상기 자기변형 효과에 의한 비틀림파를 상기 시험체에 전달하는 스트립부와, 상기 스트립부의 양단에 상기 축방향과 수직인 방향으로 형성되고 상기 코일에 전류가 공급될 때 상기 스트립부로 자속을 집중시키는 테일부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

그리고, 상기 강자성체 패치는, 상기 스트립부 및 상기 테일부와 각각 연결되고 상기 시험체의 축방향과 평행한 방향으로 형성되는 연결부를 더 포함하는 것이 바람직하다.

상기 강자성체 패치는, 상기 시험체의 원주 방향을 따라서 일정 간격으로 복수개가 부착되는 것이 바람직하다.

또한, 상기 시험체는, 소정의 길이를 갖는 봉부재인 것이 바람직하다.

상기 트랜스듀서는, 상기 코일 및 상기 절연체를 소정의 이격을 가지고 감싸는 외부 절연체와, 상기 외부 절연체의 둘레에 감겨진 바이어스 코일을 더 포함하는 것이 바람직하다.

한편, 상기한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 이상 진단 장치는, 시험체의 소정의 위치에 부착되는 강자성체 패치와, 상기 강자성체 패치 둘레에 배치되는 원통형 절연체와, 상기 절연체의 둘레에 감겨진 코일과, 상기 코일에 전류를 공급하는 장치와, 상기 코일에 전류가 공급될 때 발생하는 비틀림파가 상기 시험체의 결합 부분에서 반사되는 신호를 측정하는

장치를 포함하는데, 상기 강자성체 패치는, 상기 시험체의 축방향과 비스듬하게 부착되고 상기 자기변형 효과에 의한 비틀림과를 상기 시험체에 전달하는 스트립부와, 상기 스트립부의 양단에 상기 축방향과 수직인 방향으로 형성되고 상기 코일에 전류가 공급될 때 상기 스트립부로 자속을 집중시키는 테일부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

본 발명에서는, 특별하게 디자인된 강자성체 패치를 이용하여 비틀림과를 생성하고 측정하는 새로운 자기변형 트랜스듀서를 제안하고자 한다. 제안된 자기변형 트랜스듀서는 상기 논문에서 제시한 시험체와 같이 일정 각도(예를 들어, 45도) 경사 방향으로 부착된 사각형 패치(이하 "사각형 패치"라 함) 대신에 테일을 갖는 강자성체 패치(이하 "테일 패치(tailed patch)"라 함)를 사용한다.

이러한 테일 패치의 경우에도 시험체에 부착되는 부분은 종래와 같이 패치 중심부의 사각형 부분(이하 "스트립부"라 함)만 이고, 테일은 단지 주변에 통과되는 자기장을 집중시키기 위한 용도로서 사용되기 때문에 시험체에 부착 시키지 않는다. 이와 같이 테일의 사용을 통하여 자속을 중앙의 스트립부로 집중시킴으로써, 트랜스듀서의 민감도가 상당히 향상되는 효과가 발생한다. 뿐만 아니라 부가적으로 다른 파 모드에 대한 비틀림과의 비율, 즉 신호대잡음비도 증가한다. 본 발명에 따른 실험을 통하여, 본 발명에 따른 테일 패치를 포함한 트랜스듀서를 이용하면 매우 안정적이고 효율적인 방법으로 비틀림과를 생성하고 측정할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 트랜스듀서(100)의 구성을 도시한 도면이다. 트랜스듀서(100)는 중심의 스트립부가 보(beam), 봉부재 등과 같은 시험체(2)의 일면에 부착된 테일 패치(50)와, 테일 패치(50) 및 시험체(2)를 소정의 이격률 가지고 감싸는 제1 절연체(4)와, 제1 절연체(4)의 외주면에 감겨지며 구동 전류가 흐를 때 구동 자기장을 발생시키는 구동 코일(3)을 포함하여 구성될 수 있다. 테일 패치(50)는 철, 니켈, 코발트 등의 강자성체로 제작될 수 있다.

구동 코일(3)에 가변 전류가 흐르면, 자기 유도 현상에 의하여 상기 제1 절연체(4)의 내부를 통과하는 자속이 발생한다. 이러한 자속은 테일 패치(50)의 양단의 테일부분에 흡수되어 자속 누설이 종래에 비하여 감소된다. 테일부분에 흡수된 자속은 테일 패치(50)의 중앙, 즉 스트립부를 따라서 흐르게 된다. 테일 패치를 사용할 경우, 기존의 사각형 패치에 비하여 스트립부에 걸리는 자기장이 훨씬 크다. 따라서 더 큰 자기변형을 일으키게 되어 트랜스듀서의 민감도가 현저히 증가한다.

도 7a 내지 도 7d는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 각도를 갖는 테일 패치의 형상을 상세히 도시한 도면이다. 비틀림과를 발생시키기 위해서는 상기 스트립부가 상기 시험체의 축방향과 실질적으로 45도를 이루면서 부착되는 것이 바람직하다. 다만, 비등방성 시험체의 경우 상기 스트립부를 다른 각도로 부착하는 것이 바람직할 수도 있다. 만약 일반적인 형태의 탄성과를 발생시키고자 한다면 목적에 맞게 부착각도를 변경할 수도 있다.

이중 도 7a는 테일 패치의 스트립부의 각도(θ)를 시험체의 축방향과 45도로 한 경우를 도시한 것이다.

테일 패치(50)는 봉부재와 같은 시험체에 상기 시험체의 축방향과 비스듬하게 부착되고 자기변형에 의하여 비틀림과를 상기 시험체에 전달하는 스트립부(51)와, 상기 시험체에 부착되지 않지만, 상기 스트립부(51)의 양단에 상기 시험체의 축과 수직인 방향으로 위치하여 자속을 흡수하여 상기 스트립부(51)에 자속을 집중시키는 테일부(52, 53)를 포함하며, 상기 스트립부(51)와 테일부(52, 53)를 각각 연결하고 상기 시험체의 축방향과 평행한 방향으로 형성되는 연결부(54, 55)를 더 포함할 수 있다. 이러한 연결부(54, 55)는 테일부(52, 53)에 의하여 흡수된 자속이 스트립부(51)를 통과할 때, 자속이 급격하게 방향 전환이 되지 않도록 완충하는 역할을 한다. 이와 같은 테일 패치(50)는 전체적으로 "N" 형을 이루므로, N형 패치(N-shaped patch)라고도 명명할 수 있다.

한편, 도 7b는 도 7a에서 θ 를 0으로 한 경우의 테일 패치(60)를 나타낸 것이고, 도 7c는 도 7a에서 θ 를 90도로 한 경우의 테일 패치(70)를 나타낸 것이다. 도 7b의 경우에는 중앙의 스트립부(51)가 축과 평행하게 되므로, 자기변형에 의하여 가해지는 파는 종파를 발생시키고자 하는 경우에 적합하며, 도 7c의 경우, 비틀림과를 발생시키는데 적절하지 않으나 특정 목적을 갖는 경우 사용될 수 있다. θ 를 0도에서 90도 사이 중 특정한 값을 취해야만 큰 신호를 발생, 측정할 수 있다. 이에, 본 발명에서는 도 7d와 같이 다양한 형태(다양한 θ)를 갖는 테일 패치(50)에 관하여 비틀림과가 잘 발생하는 각도를 찾는 실험을 수행하였는데, 그 결과 일반적으로 30도에서 60도 사이일 때 대체적으로 비틀림과가 잘 발생됨을 확인하였다.

도 8은 테일 패치(50)를 시험체(2)에 부착한 형태를 도시한 도면이다. 여기서, 테일 패치(50)의 스트립부(51)는 시험체(2)의 표면에 밀착되어야 하지만, 그 이외의 부분(52, 53, 54, 55)은 시험체(2)에 밀착될 필요가 없으며, 제1 절연체(4)의 내부에 포함될 수 있으면 된다.

여기서, 스트립부(51)를 시험체에 밀착시키는 방법으로는 에폭시 수지 등의 접착제를 사용하여 접착하는 방법, 시험체(2)의 표면의 테일 패치(50)를 강한 접착력을 갖는 테이프(tape)로 수회 테이핑(taping)하는 방법 등이 사용될 수 있다. 그리고, 정해진 입력 전류를 이용하여 가진하는 비틀림파의 세기를 보다 강하게 하기 위해서 이러한 테일 패치(50)는 시험체(2)의 원주를 따라서 복수개가 부착될 수도 있다.

도 9는 도 6의 트랜스듀서에 바이어스(bias) 자기장을 가하는 경우를 도시한 도면이다. 본 발명에서는, 다른 파에 비하여 상대적으로 높은 효율을 나타내는 비틀림파를 이용할 뿐만 아니라, 테일(52, 53)을 이용하여 자속을 집중시키는 기술을 이용함으로써 바이어스 자기장 없이도 충분히 시험체를 가진하고 반사되는 파형을 측정할 수 있다. 그러나, 만일 보다 큰 가진 및 신호 측정이 필요한 경우에는 도 9와 같이 바이어스 자기장을 부가적으로 가할 수 있다.

이를 위하여 트랜스듀서(110)는 도 6과 같은 구성 이외에, 구동 코일(3) 및 제1 절연체(4)를 소정의 이격을 가지고 감싸는 제2 절연체(6)와, 제2 절연체(6)의 외주면에 감겨지며 바이어스 전류가 흐를 때 바이어스 자기장을 발생시키는 바이어스 코일(5)을 더 포함하여 구성될 수 있다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 트랜스듀서 및 시험체의 구성을 사시도로 표현한 도면이다. 트랜스듀서(110)는 시험체(2)의 소정의 위치에 설치되고, 시험체(2)의 양단은 지지대(8a, 8b)에 의하여 지지될 수 있다.

본 발명에 따른 테일 패치(50)를 갖는 트랜스듀서의 성능을 테스트하기 위하여, 몇 가지 실험이 수행되었다. 도 4와 같은 형상에 25mm×2mm의 크기를 갖는 사각형 패치(9)를 시험체(2)의 축과 45도로 부착한 비교 실험예와, 본 발명에 따른 테일 패치(50)(중앙의 스트립부(51)의 크기가 상기 사각형 패치와 동일하며, θ 는 45도임)를 시험체(2)에 부착한 본 실험예를 비교하고자 한다.

각각의 패치(9, 50)는 니켈로 만들어졌으며, 상기 시험체(2)로는 길이 2m, 외경 25mm, 두께 2mm인 알루미늄 파이프를 사용하였다. 그리고, 지름 0.3 mm의 에나멜선으로 된 구동 코일(3)은 내경 26 mm, 외경 28 mm를 갖는 제1 절연체(4)에 280회 감겨져 있고, 지름 0.7 mm의 에나멜선으로 된 바이어스 코일(5)은 내경 40 mm, 외경 50 mm의 제2 절연체(5)에 2000회 감겨져 있다.

도 11은 도 10의 본 실험예의 구성에 실험에 필요한 각종 장치를 연결한 비틀림파 가진 및 측정을 위한 시험 장치(1000)의 구성도이다. 구동 전류가 구동 코일(3)에 입력될 때 시험체(2)에 비틀림파가 전달되는데, 이 때 가진을 위한 입력 전류 신호는 3A의 피크를 갖는 변조된 가우시안 펄스(Gaussian pulse)가 사용되며, 바이어스 전류는 0.5A가 사용된다. 그리고, 가진 신호의 중심주파수는 72kHz이다.

이러한 본 발명에 따른 비틀림파 가진 및 측정을 위한 시험 장치(1000)는 트랜스듀서(100, 110), 바이어스 발생기(200), 초음파 발생기(300), 함수 발생기(400), 오실로스코프(500), 및 컴퓨터(600)를 포함하여 구성될 수 있다.

함수 발생기(function generator; 400)는 사용자가 원하는 형태의 파형(waveform)을 생성한다. 생성된 파형은 초음파 장치(300)로 입력된다.

초음파 장치(300)는 트랜스듀서(110)와 연결되며 트랜스듀서(110)에 상기 함수 발생기(400)에서 생성된 파형의 구동 전류를 증폭, 인가하여 자기 변형에 따른 비틀림파를 발생시킨다. 또한 시험체(2)의 크랙, 시험체(2)의 양단 등에서 돌아오는 상기 비틀림파의 반사파에 의해 유도되는 전압 신호를 수신하고 이를 증폭한다.

이와 같이 증폭되어 발생하는 전류 신호의 파형 및, 수신되어 증폭된 전압 신호는 오실로스코프(500)로도 입력될 수 있는데, 오실로스코프(500)는 상기 입력된 파형을 사용자가 확인할 수 있게 한다.

그리고, 컴퓨터(600)는 사용자의 명령에 따라 다른 전기 장치(200, 300, 400, 500)를 제어하고, 오실로스코프(500)로부터 저장된 신호 파형을 전송 받아 이를 분석한다.

한편, 바이어스 전류 발생기(200)는 트랜스듀서(110)의 바이어스 코일(5)에 바이어스 전류를 흘림으로써 트랜스듀서(110)에 바이어스 자기장을 형성시킬 수 있다. 만약, 도 6과 같이 바이어스를 사용하지 않는 경우라면 바이어스 전류 발생기(200)는 생략될 수 있다.

본 발명의 실시예에서 초음파 장치(30)로는 Ritec 社(Ritec Inc.)의 'RAM-5000'을 사용하였다. RAM-5000은 슈퍼 헤테로다인(super heterodyne) 방식의 범용 고효율 초음파 장치로서 그 주요 제원은 표 1에 나타내는 바와 같다.

[표 1]

항목	제원
주파수 대역	20 kHz ~ 20 MHz
최대 출력	5 kW
정규 출력 임피던스	50 Ω
수신부 입력 임피던스	50 Ω
수신부 출력 임피던스	50 Ω
최대 펄스 폭	200 μsec
수신부 증폭 이득	20 dB ~ 100 dB

도 12a는 사각형 패치(9)를 이용한 트랜스듀서에 의하여 형성되는 자기장을 나타낸 도면이고, 도 12b는 본 발명의 테일 패치(50)를 이용한 트랜스듀서에 의하여 형성되는 자기장을 나타낸 도면이다.

도 12a 및 도 12b를 비교하면, 테일 패치(50)의 중심, 즉 스트립부(51)에서 사각형 패치(9)에 비하여 더 많은 자속 밀도를 갖는다는 것을 쉽게 관찰할 수가 있다. 전술한 실험에 따르면 테일 패치(50)의 자속 밀도는 사각형 패치에 비하여 3.7배(사각형 패치의 경우 0.04032 Wb/m²이고, 테일 패치의 경우 0.1506 Wb/m²임)나 됨을 알 수 있었다. 따라서, 테일 패치(50)의 테일부(52, 53)는 자속을 모으고 패치의 중심부에 이를 집중시키는 역할을 한다고 해석된다. 더 많은 자속은 자기변형에 의해 테일 패치(50)에 더 큰 변형을 가져오기 때문에, 테일 패치(50)의 사용을 통하여 트랜스듀서(100, 110)의 민감도, 즉 가진 비틀림파의 크기를 증가시킬 수 있는 것이다.

뿐만 아니라, 도 12b에서 스트립부(51)를 흐르는 자속(평균적 방향: 44.75°)은, 도 12a의 사각형 패치(9)를 흐르는 자속(평균적 방향: 39.09°)과 비교할 때, 상대적으로 스트립부(51)와 평행한 방향으로 흐른다는 것을 알 수 있다. 이는, 본 발명의 테일 패치(50)가 종래의 사각형 패치(9)와 달리 테일부(52, 53)를 더 구비하기 때문이다. 이러한 효과는 스트립부(51)의 양단과 테일부(52, 53)를 연결하고 시험체(2)의 축방향과 평행한 연결부(54, 55)가 더 구비될 때 더욱 현저하다.

한편, 본 발명에서 이용하는 자기변형 효과 및 역 자기변형 효과는 다음의 수학적 식 1로 정량화 하여 표현할 수 있다.

$$\text{수학적 식 1}$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E^H} + q^* H$$

$$B = \mu^0 H + q\sigma$$

여기서, 여기서, ϵ 는 변형률, σ 는 재료에 가해지는 응력(stress), E^H 는 일정한 자기장이 걸려있을 때의 탄성계수, μ^0 는 일정한 응력이 작용할 때의 투자율, B 는 자속 밀도(magnetic flux density), 그리고, H 는 자석을 이용해 외부에서 걸어주는 자기장의 세기(magnetic intensity)를 각각 의미한다.

그리고, q 와 q^* 는 각각 빌라리 효과와 주울 효과를 나타내는 계수로 그 정의는 다음의 수학적 식 2와 같다.

수학식 2

$$q = \left. \frac{dB}{d\sigma} \right)_H$$

$$q^* = \left. \frac{d\varepsilon}{dH} \right)_\sigma$$

수학식 1에서 보면, 패치에 가해지는 자속 밀도가 클수록 자기변형에 의한 보다 큰 변형이 발생하며, 응력 또는 변형이 클수록 역 자기변형으로 유도되는 자기장의 세기도 커진다는 것을 알 수 있다. 따라서, 도 12a와 같이 종래의 사각형 패치(9)를 이용하는 것보다 도 12b의 테일 패치(50)를 이용하는 경우에 보다 큰 비틀림과를 가할 수 있으며, 이에 따라서 반사되는 파에 의하여 역 자기유도되는 자기장의 세기도 커짐을 알 수 있다.

상기 역 자기변형에 의해 유도되는 자기장의 변화는 수학식 3과 같이 단순히 구동 코일(3)의 양단에 발생하는 전압 V(t)로부터 측정될 수 있다.

수학식 3

$$V(t) = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

도 13a 및 도 13b는 상기 비교 실시예와 본 발명의 실시예에서, 각각 측정되는 전압 V(t)를 나타낸 그래프이다. 도 13a 및 도 13b를 비교하면 일견으로도 양 전압, 즉 측정된 양 신호간에 상당히 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

도 13b에서 A는 트랜스듀서(110)에서 발생된 비틀림과가 도 11의 L1 거리만큼 진행한 후 시험체(2)의 제1 말단에서 반사되어 측정된 신호를 나타내고, B는 상기 발생된 비틀림과가 도 11의 L2 거리만큼 진행한 후 시험체(2)의 제2 말단에서 반사되어 측정된 신호를 나타낸다. 그리고, C는 상기 제1 말단에서 반사된 신호가 다시 제2 말단에서 반사된 것과, 상기 제2 말단에서 반사된 신호가 다시 제1 말단에서 반사된 것이 중첩되어 트랜스듀서(110)에서 측정된 신호를 나타낸다. 그리고, D는 이후 다시 제1 말단에서 반사되어 측정되는 신호이다. 이와 같이 한번의 비틀림과 가진에 의하여도 다수의 신호가 측정됨을 알 수 있다.

도 13a 및 도 13b의 측정 결과는 다음의 표 2에서 정리하였다.

[표 2]

	비틀림과의 최대 진폭(T)	다른 파의 최대 진폭(L)	T/L 비(SNR 비)
테일 패치	0.0557	0.0051	10.92
사각형 패치	0.00435	0.0011	3.954

표 2를 보면, 테일 패치(50)를 사용하는 경우에 비틀림과의 크기는 사각형 패치(9)를 사용하는 경우에 비하여 약 12.8배가 된다. 여기서, 측정된 신호가 비틀림과라는 사실은, 해석적으로 계산된 파 속도를 실험적 파 속도와 비교함으로써 확인할 수 있다.

뿐만 아니라, 비틀림과 이외의 다른 파를 노이즈로 간주한다면, 신호대잡음비는 비틀림과의 최대 진폭을 다른 파의 최대 진폭을 나눔으로써 계산될 수 있다. 테일 패치(50)를 사용한 경우 신호대잡음비는 10.92로서, 사각형 패치(9)를 사용한 경우에 비하여 약 4배만큼 향상되었다.

이상의 결과로부터 볼 때, 테일 패치(50)를 이용한 트랜스듀서(100, 110)는 기존의 사각형 패치(9)를 이용한 트랜스듀서(10)를 이용하는 것에 비하여, 민감도 및 신호대잡음비 면에서 월등히 향상됨을 확인할 수 있다.

이러한 본 발명에 따른 트랜스듀서(10)는, 시험체(2)의 구조를 파악하거나 시험체(2)의 결함을 찾아내는 데 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야 한다.

발명의 효과

본 발명에 따르면, 자기변형 트랜스듀서의 민감도 및 신호대잡음비를 향상시킬 수 있다.

또한 본 발명에 따른 트랜스듀서를 이용하면, 비틀림파를 이용하여 효율적으로 시험체의 구조를 파악할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

시험체의 소정의 위치에 부착되는 강자성체 패치와, 상기 강자성체 패치 둘레에 배치되는 원통형 절연체와, 상기 절연체의 둘레에 감겨진 코일을 포함하는 트랜스듀서에 있어서,

상기 코일에 전류가 공급되면 상기 패치가 자기변형 효과에 의하여 상기 시험체에 비틀림파를 발생되며,

상기 강자성체 패치는, 상기 시험체의 축방향과 비스듬하게 부착되고 상기 자기변형 효과에 의한 비틀림파를 상기 시험체에 전달하는 스트립부와, 상기 스트립부의 양단에 상기 축방향과 수직인 방향으로 형성되고 상기 코일에 전류가 공급될 때 상기 스트립부로 자속을 집중시키는 테일부를 포함하는 것을 특징으로 하는 자기변형 트랜스듀서.

청구항 2.

제1항에 있어서,

상기 스트립부는 상기 시험체의 축방향과 소정의 각도로 부착되는 것을 특징으로 하는 자기변형 트랜스듀서.

청구항 3.

제1항에 있어서, 상기 강자성체 패치는

상기 스트립부 및 상기 테일부와 각각 연결되고 상기 시험체의 축방향과 평행한 방향으로 형성되는 연결부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 자기변형 트랜스듀서.

청구항 4.

제1항에 있어서, 상기 강자성체 패치는

상기 시험체의 원주 방향을 따라서 일정 간격으로 복수개가 부착되는 것을 특징으로 하는 자기변형 트랜스듀서.

청구항 5.

제1항에 있어서, 상기 시험체는

소정의 길이를 갖는 봉부재인 것을 특징으로 하는 자기변형 트랜스듀서.

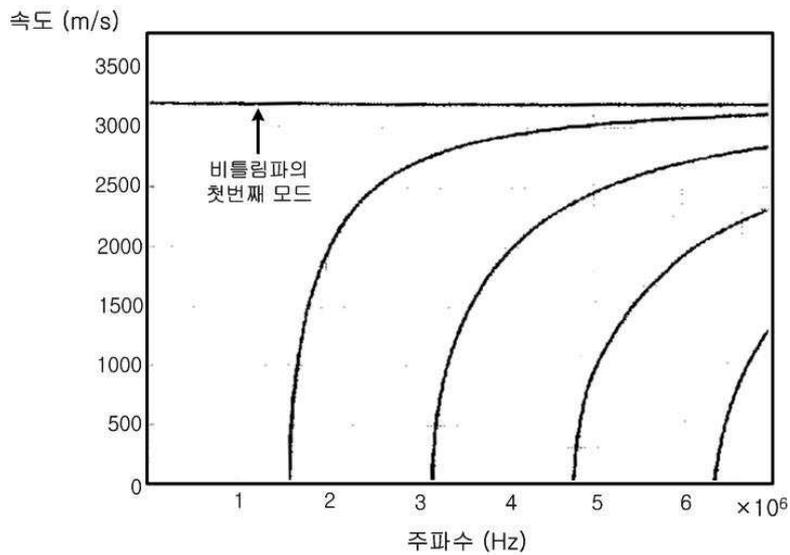
청구항 6.

제1항에 있어서, 상기 트랜스듀서는

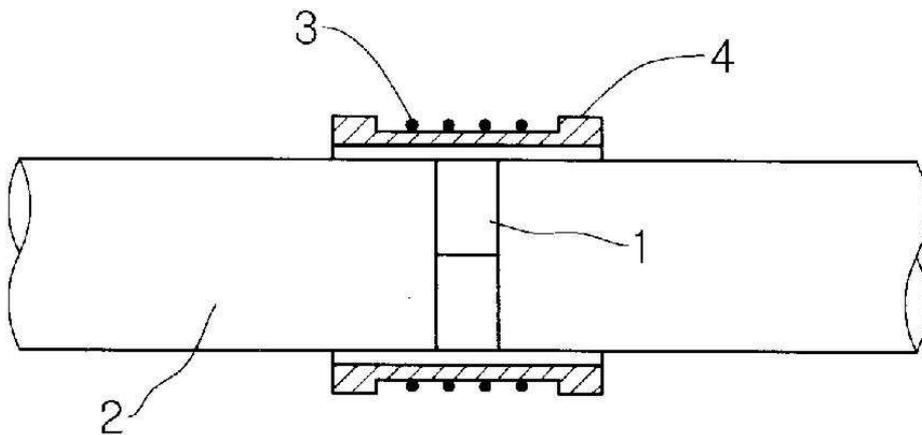
상기 코일 및 상기 절연체를 소정의 이격을 가지고 감싸는 외부 절연체와, 상기 외부 절연체의 둘레에 감겨진 바이어스 코일을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 자기변형 트랜스듀서.

도면

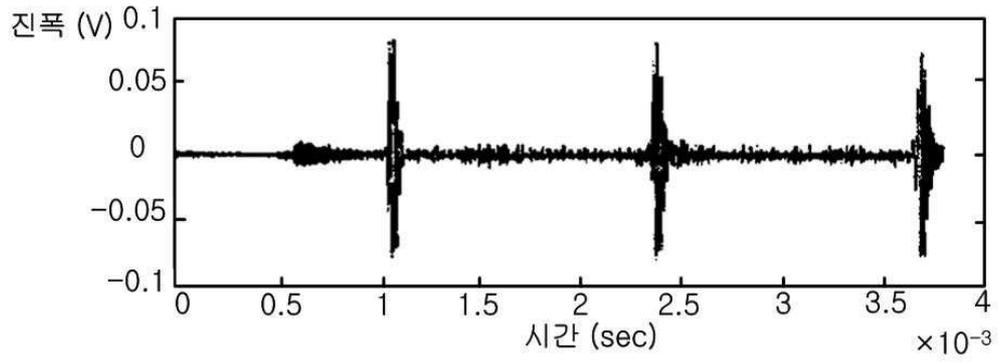
도면1



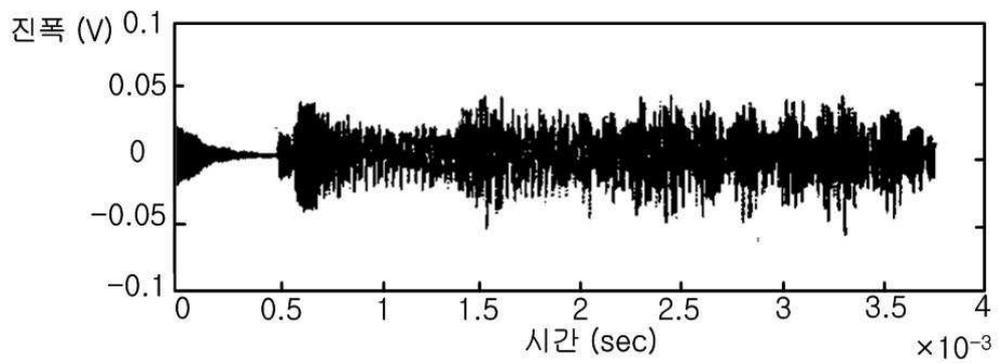
도면2



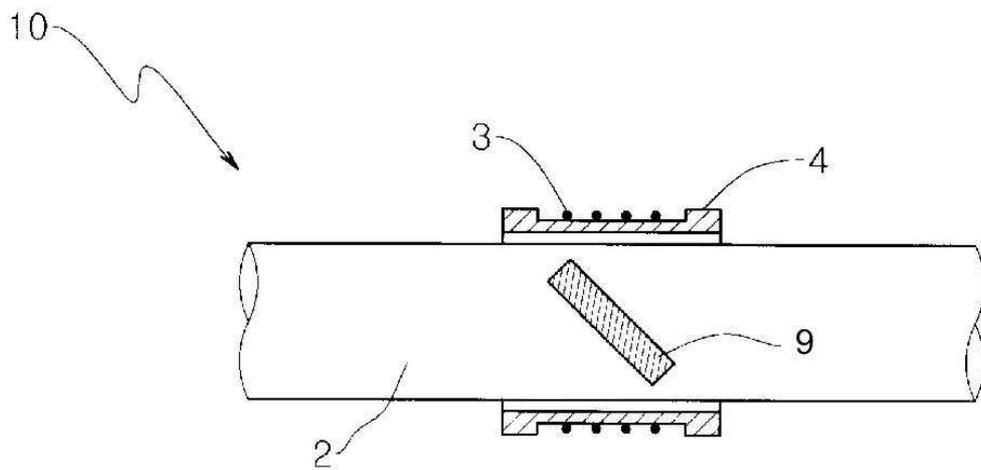
도면3a



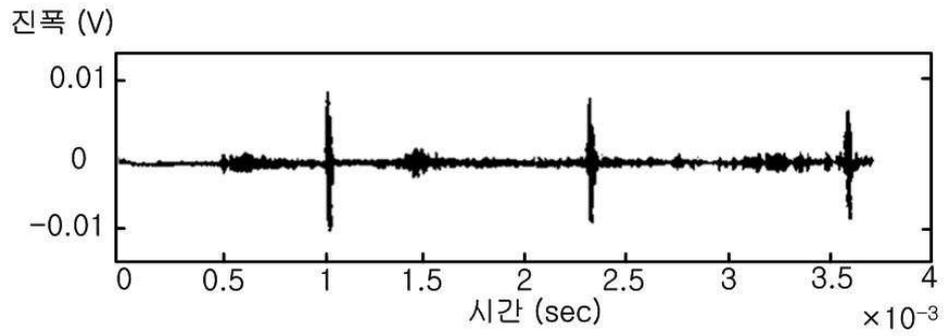
도면3b



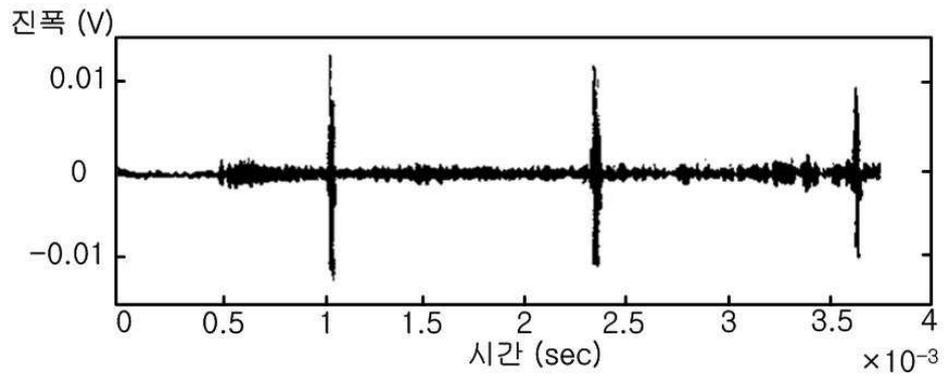
도면4



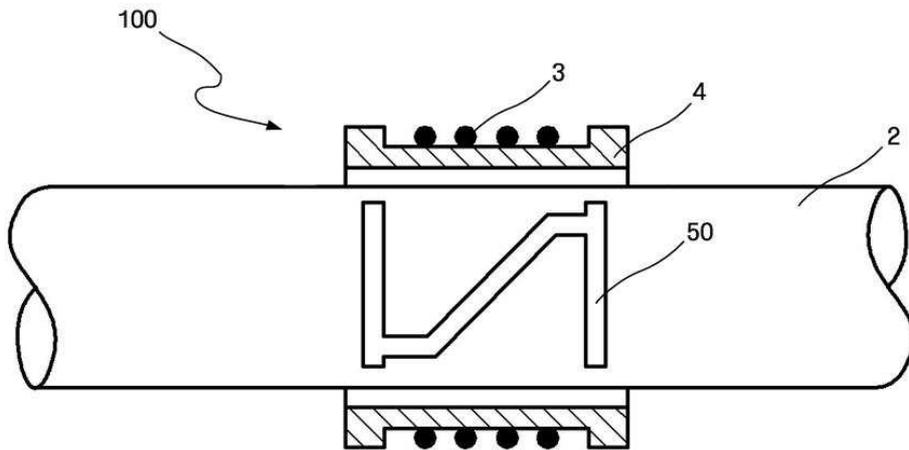
도면5a



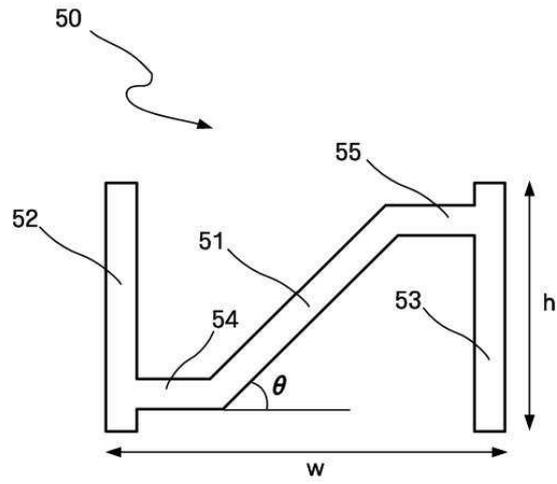
도면5b



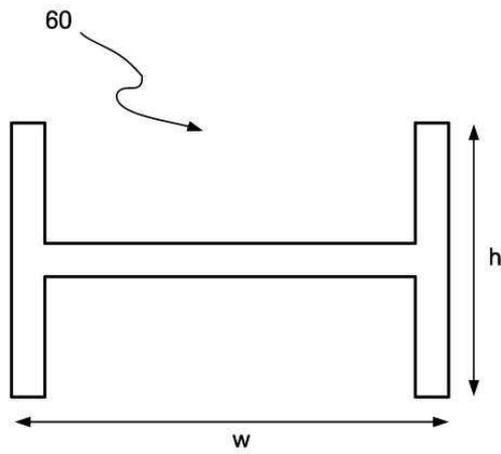
도면6



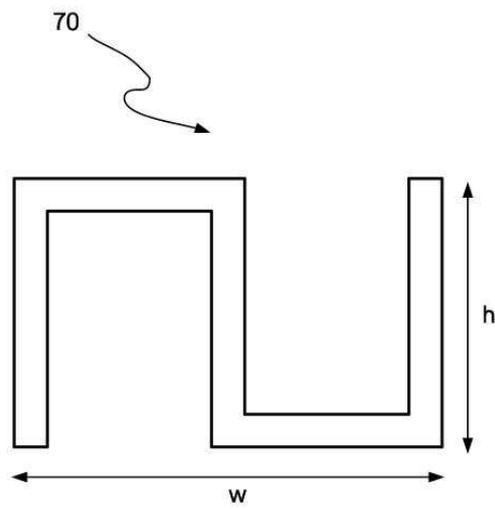
도면7a



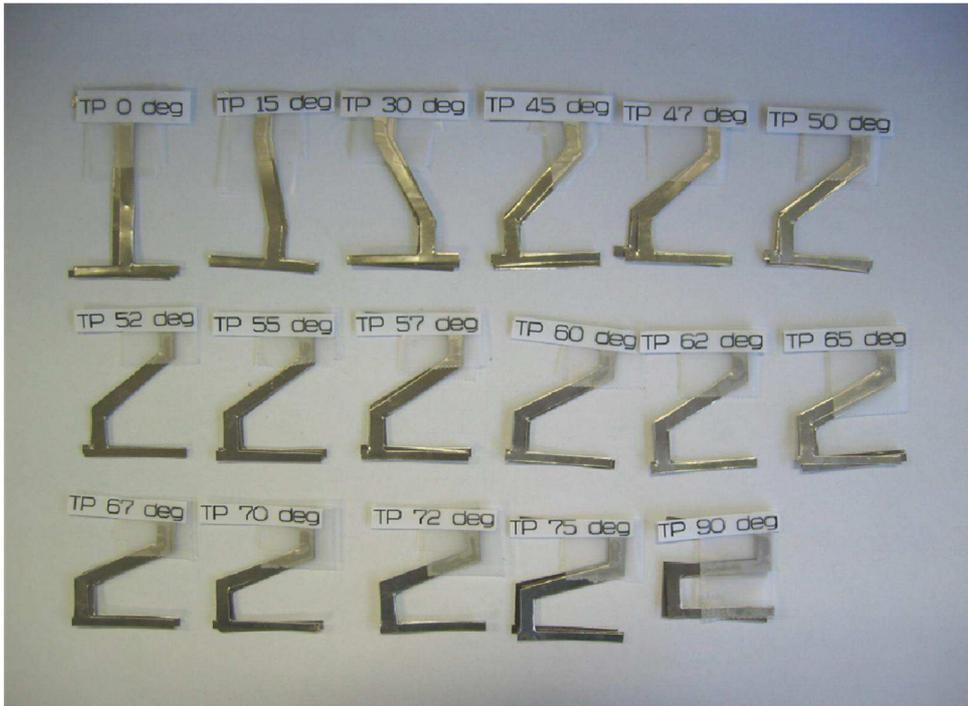
도면7b



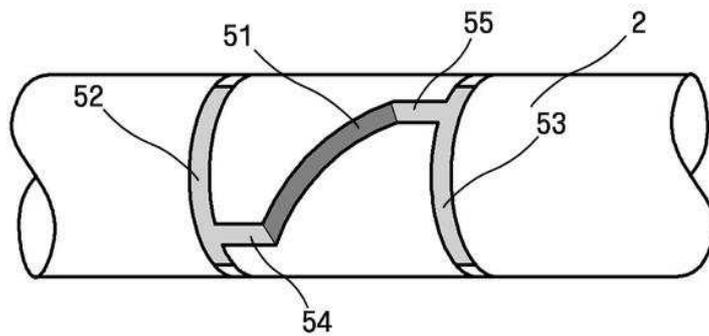
도면7c



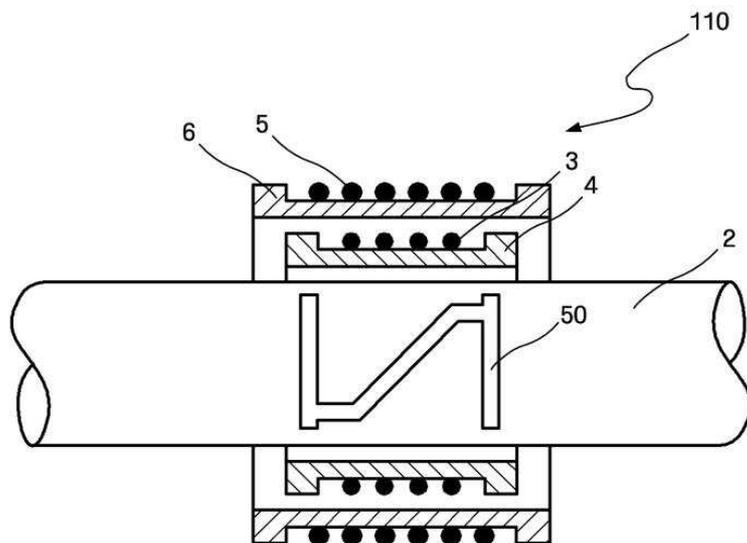
도면7d



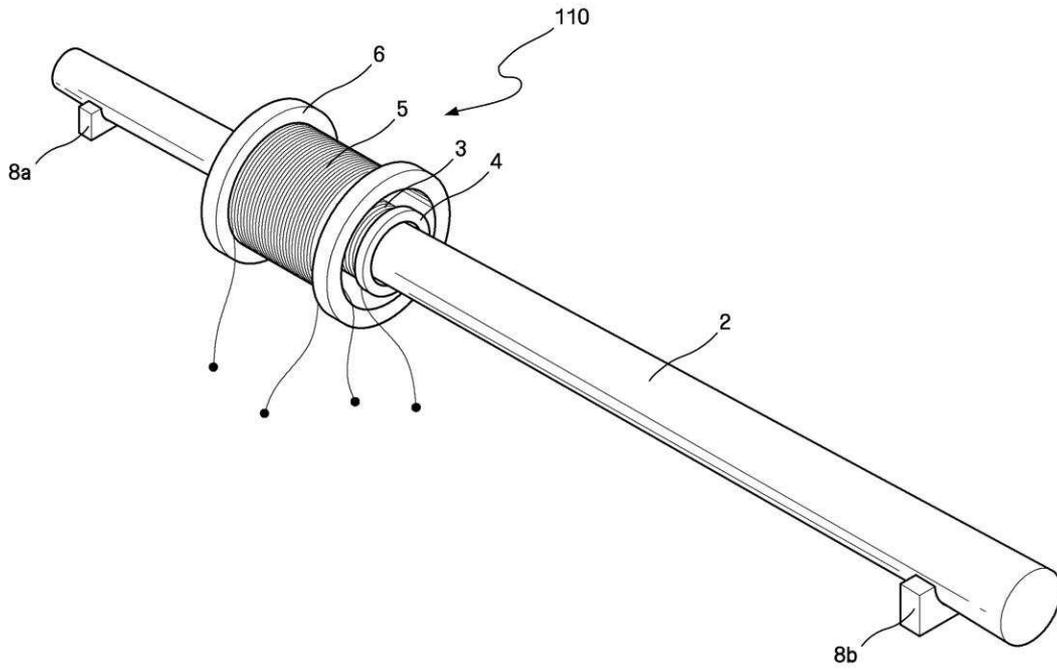
도면8



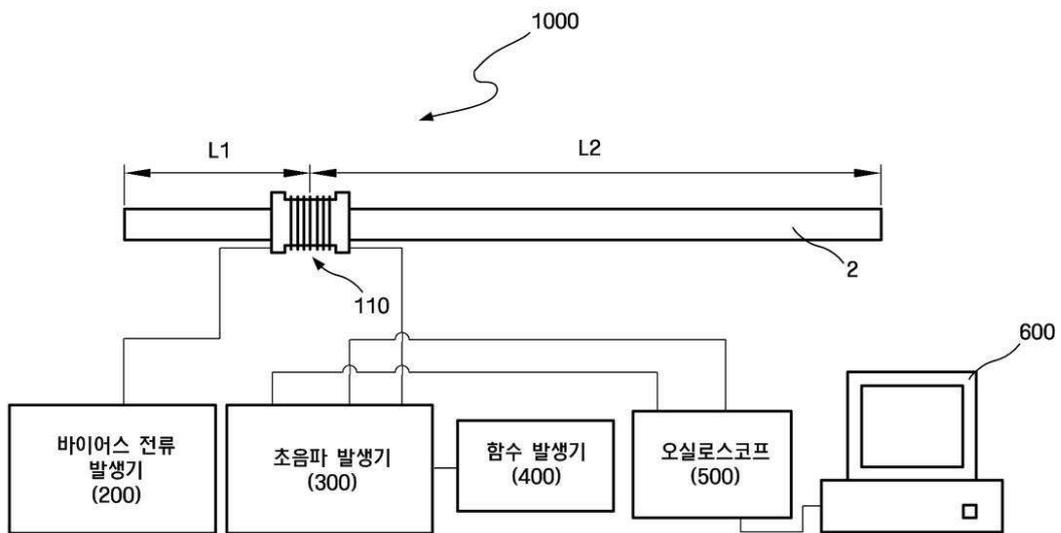
도면9



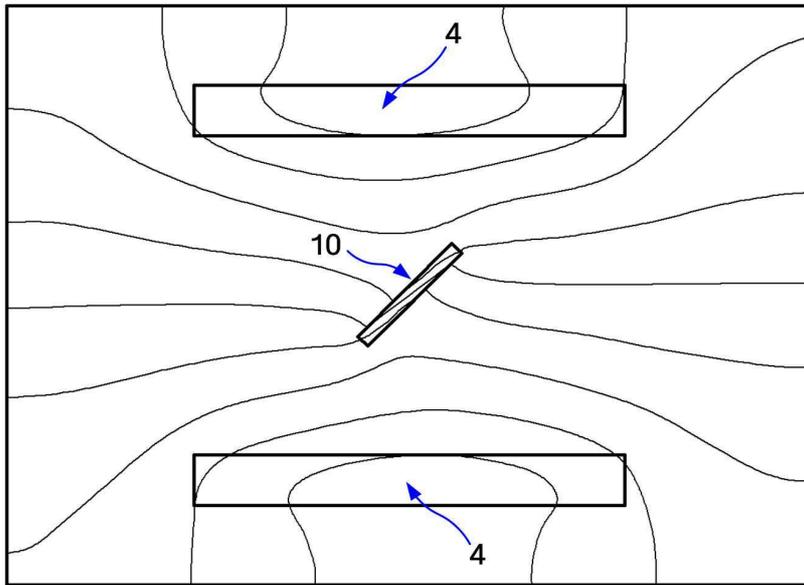
도면10



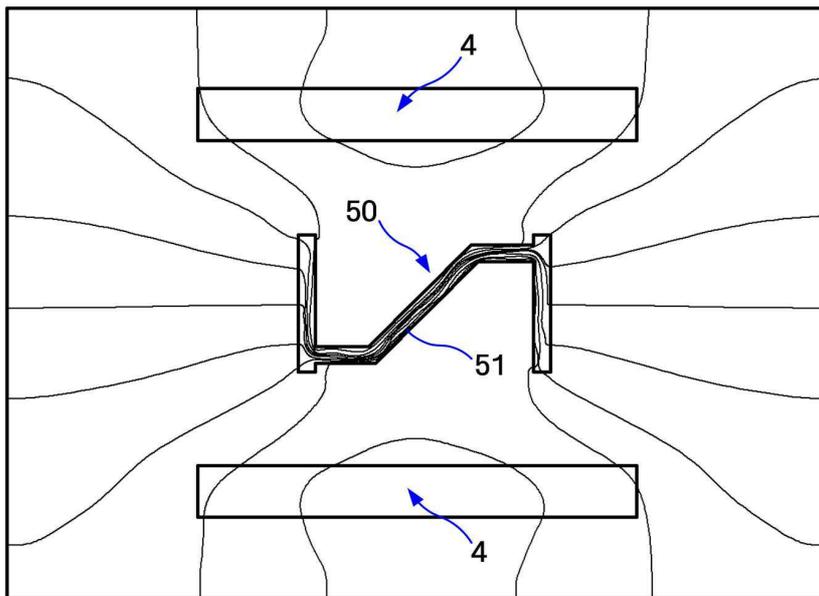
도면11



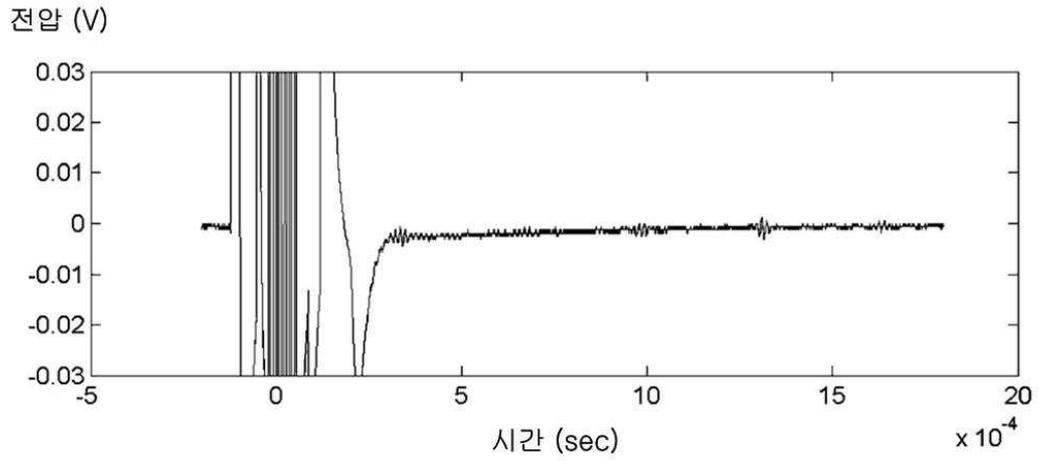
도면12a



도면12b



도면13a



도면13b

