



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년03월16일
(11) 등록번호 10-1119998
(24) 등록일자 2012년02월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01F 1/66 (2006.01) G01H 3/00 (2006.01)
G01N 29/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0034707(분할)
(22) 출원일자 2011년04월14일
심사청구일자 2011년04월14일
(65) 공개번호 10-2011-0042278
(43) 공개일자 2011년04월26일
(62) 원출원 특허 10-2009-0007246
원출원일자 2009년01월30일
심사청구일자 2009년01월30일
(56) 선행기술조사문헌
JP08261809 A*
US20020050176 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
박준관
인천 남구 도화2동 281-8
(주)플루엔타코리아
대전광역시 유성구 테크노2로 4 (관평동)
(72) 발명자
김진오
서울특별시 금천구 독산동 1133 진도아파트
201-1608
김태언
서울특별시 금천구 가산동 770 두산아파트 106동
203호
박준관
인천 남구 도화2동 281-8
(74) 대리인
특허법인이룸

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 김명찬

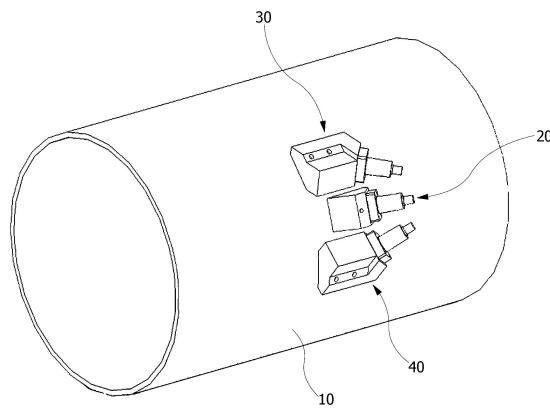
(54) 발명의 명칭 **다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서**

(57) 요약

본 발명은 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서에 관한 것이다. 본 발명은 원형 파이프의 중심을 통과하는 초음파를 이용하여 상기 원형 파이프 내를 흐르는 유체의 양을 측정하는 중심 송신트랜스듀서와 중심 수신트랜스듀서; 및 상기 원형 파이프의 중심에서 벗어나는 경로를 가진 초음파를 이용하여 상기 원형 파이프 내를 흐르는 유체의 양을 측정하는 비중심(非中心) 송신트랜스듀서와 비중심(非中心) 수신트랜스듀서를 구비하고, 상기 비중심(非中心) 송신트랜스듀서 및 상기 비중심(非中心) 수신트랜스듀서는 각각 복수 개 구비되는 것을 특징으로 하는 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서를 제공한다.

따라서, 본 발명에 의하면 원형 파이프 내부를 흐르는 유체의 양을 정확하게 측정할 수 있고, 트랜스듀서의 설치가 용이하다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

원형 파이프의 중심을 통과하는 초음파를 이용하여 상기 원형 파이프 내를 흐르는 유체의 양을 측정하는 중심(中心) 송신트랜스듀서와 중심(中心) 수신트랜스듀서; 및

상기 원형 파이프의 중심에서 벗어나는 경로를 가진 초음파를 이용하여 상기 원형 파이프 내를 흐르는 유체의 양을 측정하는 비중심(非中心) 송신트랜스듀서와 비중심(非中心) 수신트랜스듀서를 구비하고,

상기 비중심(非中心) 송신트랜스듀서 및 상기 비중심(非中心) 수신트랜스듀서는 각각 복수 개 구비되며,

상기 비중심(非中心) 송신트랜스듀서 및 상기 비중심(非中心) 수신트랜스듀서는 상기 원형 파이프에 접하는 접촉면이 바닥면에 대해 기울어지게 가공된 웨지; 및

상기 웨지에 설치되는 압전 진동자;를 포함하고,

상기 압전 진동자에서 발생된 초음파는 상기 접촉면을 통해서 상기 원형 파이프로 전달되며,

상기 접촉면의 상기 바닥면에 대한 경사각은 상기 웨지로부터 상기 원형 파이프에 초음파가 입사되는 웨지 입사

각(θ)과 동일한 것을 특징으로 하는 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 비중심(非中心) 송신트랜스듀서에서 발생된 초음파는 상기 중심 송신트랜스듀서에서 발생된 초음파에 평행하게 이동하는 것을 특징으로 하는 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 비중심(非中心) 송신트랜스듀서 및 이에 대응되는 상기 비중심(非中心) 수신트랜스듀서는, 상기 원형 파이프의 단면을 기준으로 반원의 범위 내에 장착되는 것을 특징으로 하는 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 복수 개의 비중심(非中心) 송신트랜스듀서는 상기 중심 송신트랜스듀서를 기준으로 각각 대칭되도록 장착되는 것을 특징으로 하는 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서.

청구항 5

제1항에 있어서,

제트 패스(Z-path)법을 이용하여 유량이 측정되는 것을 특징으로 하는 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서.

청구항 6

삭제

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 웨지 입사각은 상기 원형 파이프의 종류 및 상기 원형 파이프 내부를 흐르는 유체의 종류 중 적어도 어느 하나에 따라 달라지는 것을 특징으로 하는 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 파이프 내에 흐르는 유량을 측정하기 위한 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 원형 파이프 내에 흐르는 유체의 양을 다회선을 이용해서 보다 정확하게 측정할 수 있는 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 초음파란 '사람이 들을 수 없는 주파수대의 소리'로 일반적으로 정의되며 기체, 액체는 물론이고 고체 중에서 잘 전파되는 특성을 가지고 있다. 초음파에 대한 과학적 연구는 제1차 세계대전 말에 프랑스의 물리학자 P.랑주뱅이 잠수함을 탐지하는데 초음파를 사용하려 한 것이 처음이었다.

[0003] 초음파는 본질적으로는 가청범위의 음파와 성질이 같으나, 주파수가 높고 파장이 짧기 때문에 상당히 강한 진동이 생기므로 일반적인 음파에서는 볼 수 없는 성질을 가지고 있다. 초음파는 진로가 방향성을 가지는 짧은 펄스(Pulse)인데, 박쥐는 초음파를 이용해서 어두운 밤에 가느다란 물체까지 식별할 수 있다. 이러한 초음파의 특성을 이용하여 유량을 측정하는 것이 초음파 유량계이다.

[0004] 수도관 같은 관로에서 유량을 측정하는 기술에는 여러 가지 방식이 있다. 축류익차 방식은 구조가 단순하고 저렴하여 널리 사용되어 왔다. 전자기 방식은 측정 정확도가 우수하여 정확성을 요하는 곳에 사용되어 왔다. 그런데 축류익차는 관로 내부에 설치되어야 하고 전자기 유량계는 관로중간에 단관 형태로 플랜지 접합해야 하므로, 설치할 때에 단수를 해야 하고 설치 후에 점검이나 수리를 하기 위해서는 가동을 수도관의 가동을 중단해야한다는 문제가 있다.

[0005] 한편, 초음파를 이용한 유량계는 도 1(a)에 도시된 침습형 초음파 트랜스듀서와 도 2(b)에 도시된 외벽부착식(clamp-on type) 초음파 트랜스듀서의 두 가지로 나눌 수 있다.

[0006] 침습형 초음파 트랜스듀서는 유체와 직접 접하여 초음파를 송신 또는 수신한다. 트랜스 듀서와 유체사이에 관벽이나 다른 소재가 없어야 하기 때문에 관 벽에 구멍을 내어야하는 설치의 어려움이 있고, 부식성 유체의 유량 측정이 불가능한 문제점이 있다.

[0007] 반면에 외벽부착식 초음파 트랜스듀서는 관벽에 손쉽게 설치하여 유량을 측정할 수 있다는 장점이 있으나, 측정 오차가 2 % 이상이고, 측정하고자 하는 전단에 곡관, 밸브 등 유동의 장애요인이 있으면 10 % 까지 오차가 발생할 수 있다. 따라서, 누수여부를 확정할 수 있을 정도의 정확한 측정에 사용하기에는 부적절하다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기와 같은 문제를 해소하기 위하여 안출한 것으로, 유량을 정확하게 측정할 수 있고, 손쉽게 설치, 유지 및 관리를 할 수 있도록 하는 데에 목적이 있다. 또한 본 발명은 부식성 유체, 고온 또는 저온 유체의 유량을 측정할 수 있는 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서를 제공하는데에 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 원형 파이프의 중심을 통과하는 초음파를 이용하여 상기 원형 파이프 내를 흐르는 유체의 양을 측정하는 중심 송신트랜스듀서와 중심 수신트랜스듀서; 및 상기 원형 파이프의 중심에서 벗어나는 경로를 가진 초음파를 이용하여 상기 원형 파이프 내를 흐르는 유체의 양을 측정하는 비중심 송신트랜스듀서와 비중심 수신트랜스듀서를 구비하고, 상기 비중심 송신트랜스듀서 및 상기 비중심 수신트랜스듀서는 각각 복수 개 구비되는 것을 특징으로 하는 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서를 제공한다.

[0010] 또한, 상기 비중심 송신트랜스듀서에서 발생된 초음파는 상기 중심 송신트랜스듀서에서 발생된 초음파에 평행하게 이동하는 것이 가능하다.

- [0011] 상기 비중심 송신트랜스듀서 및 이에 대응되는 상기 비중심 수신트랜스듀서는, 상기 원형 파이프의 단면을 기준으로 반원의 범위 내에 장착될 수 있다.
- [0012] 나아가 상기 복수 개의 비중심 송신트랜스듀서는 상기 중심 송신트랜스듀서를 기준으로 각각 대칭되도록 장착되는 것이 가능하다.
- [0013] 특히, 제트 패스(Z-path)법을 이용하여 유량이 측정되는 것이 바람직하다.
- [0014] 한편, 상기 비중심 송신트랜스듀서 및 상기 비중심 수신트랜스듀서는 상기 원형 파이프에 접하는 접촉면이 바닥면에 대해 기울어지게 가공된 웨지; 및 상기 웨지에 설치되는 압전 진동자;를 포함할 수 있다.
- [0015] 물론, 상기 접촉면의 상기 바닥면에 대한 경사각은 상기 웨지로부터 상기 원형 파이프에 초음파가 입사되는 웨지 입사각(θ)과 동일한 것이 가능하며, 상기 웨지 입사각은 상기 원형 파이프의 종류 및 상기 원형 파이프 내부를 흐르는 유체의 종류 중 적어도 어느 하나에 따라 달라질 수 있다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명에 따르면, 다회선을 이용해서 파이프 내의 유체의 양을 보다 정확하게 측정하여, 누수여부를 확정할 수 있을 정도의 정확한 측정을 할 수 있다. 특히, 파이프 내에 유동에 와류 등의 유동교란이 형성된 경우에도 정밀하게 유량을 측정할 수 있다.
- [0017] 또한, 유체에 직접 접촉하는 방식으로 설치될 필요가 없기 때문에 부식성 유체, 고온 또는 저온의 유체의 유량을 측정할 수 있으며, 초음파 트랜스듀서의 설치가 용이하다. 즉, 파이프의 벽에 일시적으로 부착하여 사용할 수도 있고, 영구적으로 부착해놓을 수도 있다. 따라서, 사용 중 점검이나 수리가 용이하다.
- [0018] 본 발명에 따르면, 합리적인 유수율 관리 및 신속한 누수지역을 탐지 할 수 있고, 설치 시 공간적 제약을 최소화 할 수 있으며, 대구경 원형 파이프에도 손쉽게 설치가 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 종래 기술에 따른 초음파 트랜스듀서를 도시한 도면.
- 도 2는 본 발명에 따른 초음파 트랜스듀서의 개념도.
- 도 3은 본 발명에 따른 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서가 원형 파이프에 설치된 상태를 도시한 사시도.
- 도 4는 본 발명에 따른 중심 송신트랜스듀서를 도시한 분해사시도.
- 도 5는 도 3의 단면도.
- 도 6은 도 5에서 웨지 입사각을 설명하기 위한 개념도.
- 도 7은 본 발명에 따른 비중심 송신트랜스듀서를 도시한 분해사시도.
- 도 8은 도 7의 경사각을 설명하기 위한 개념도.
- 도 9는 Z-path법을 설명한 개념도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 이하 상기의 목적을 구체적으로 실현할 수 있는 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 설명한다.
- [0021] 도 2는 본 발명에 따른 초음파 트랜스듀서의 개념도이다. 이하, 도 2를 참조해서 설명한다.
- [0022] 도 2(a)의 단선 방식은 종래 기술에서 사용되던 방식이다. 그러나 본 발명에서는 중심 송신트랜스듀서와 중심 수신트랜스듀서 이외에도 별도로 비중심 송신트랜스듀서와 비중심 수신트랜스듀서를 구비하여 도 2(b)의 다회선 방식을 사용한다. 즉, 초음파가 단회선이 아니라 다회선으로 전송되고 수신된다. 이러한 다회선 방식은 파이프 내부를 흐르는 유체에 대해 단선방식에 비해서 다양한 수치를 측정할 수 있어 유량 측정의 정확도를 높일 수 있다. 예를 들어, 도 2(b)에 도시된 바와 같이 3회선을 사용하는 경우 각각의 회선에서 측정된 값으로 계산된 파이프 내의 유량 추정치를 평균을 내는 등의 다양한 계산 처리를 통해서 보다 정확한 유량을 측정할 수 있다. 이

때, 'C'는 원형 파이프의 중심을 의미한다.

- [0023] 다회선이라 함은 단선과 달리 복수 개의 회선을 의미하는 것이 가능하고, 특히 Top-Middle-Bottom 3 path(TMB 3 회선)을 포함하는 것이 가능하다.
- [0024] 한편, 다회선을 사용하는 경우에 파이프 내부를 통과하는 유체의 프로파일을 보다 정확하게 측정할 수 있다. 파이프 내부를 통과하는 유체는 파이프의 중심에서 내측면으로 갈수록 저항 등의 다양한 요인에 의해서 속도가 변화하기 때문에 다회선의 경우에는 단회선에 비해서 유체에 대해서 보다 많은 정보를 획득할 수 있다.
- [0025] 도 3은 본 발명에 따른 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서가 원형 파이프에 설치된 상태를 도시한 사시도이다. 다만, 도 3에서는 설명의 편의상 송신트랜스듀서만을 도시하고, 이에 대응되는 수신트랜스듀서는 도시하지 않았으나, 송신트랜스듀서와 수신트랜스듀서는 구성이 대부분 동일하고, 설치방식도 동일하여 설명의 편의상 생략한다. 또한, 본 실시예에서는 비중심 트랜스듀서를 두 개만 도시하였으나, 유량 측정의 정확성을 높이기 위해 세 개 이상을 설치하는 것도 가능하다.
- [0026] 나아가, 본 발명에서는 송신트랜스듀서와 수신트랜스듀서라고 표현하였으나, 송신트랜스듀서와 수신트랜스듀서가 각각 송수신 기능이 모두 이루어질 수 있는 쌍방향트랜스듀서인 것이 가능하다. 이러한 경우에도 본 발명에서 설명되는 방식과 동일하게 장착되어, 작용한다.
- [0027] 이하, 도 3을 참조해서 설명한다.
- [0028] 본 발명에 따른 다회선 외벽부착식 초음파 트랜스듀서는 원형 파이프(10)의 중심을 통과하는 초음파를 이용하여 상기 원형 파이프(10) 내를 흐르는 유체의 양을 측정하는 중심 송신트랜스듀서(20)와 중심 수신트랜스듀서(120)를 포함한다.
- [0029] 또한, 본 발명은 상기 원형 파이프(10)의 중심에서 벗어나는 경로를 가진 초음파를 이용하여 상기 원형 파이프(10) 내를 흐르는 유체의 양을 측정하는 비중심 송신트랜스듀서(30,40)와 비중심 수신트랜스듀서(130,140)를 구비한다.
- [0030] 특히, 상기 비중심 송신트랜스듀서(30,40)는 제1비중심 송신트랜스듀서(30) 및 제2비중심 송신트랜스듀서를 포함하고, 상기 비중심 수신트랜스듀서(130,140)는 제1비중심 수신트랜스듀서(130) 및 제2비중심 수신트랜스듀서(140)를 포함한다. 다만, 상기 비중심 수신트랜스듀서(130,140)는 도 5에 도시된다.
- [0031] 즉, 본 발명은 상기 비중심 송신트랜스듀서(30,40) 및 상기 비중심 수신트랜스듀서(130,140)는 각각 복수 개 구비되어, 상기 중심 송신트랜스듀서(20)와 상기 중심 수신트랜스듀서(120)와는 다른 경로를 이용한 추가적인 트랜스듀서가 구비된다.
- [0032] 도 4는 본 발명에 따른 중심 송신트랜스듀서를 도시한 분해사시도이다. 한편, 중심 수신트랜스듀서도 중심 송신트랜스듀서와 동일한 형상으로 이루어지므로 자세한 설명을 생략한다. 이하, 도 4를 참조해서 설명한다.
- [0033] 본 발명에 따른 중심 송신트랜스듀서(20)는 베이스(22)에 압전 진동자(24)가 설치되고, 상기 압전 진동자(24)에는 BNC커넥터 연결부(26)가 장착된다. 그리고, 상기 BNC커넥터 연결부(26)에는 BNC커넥터(28)이 장착되는 구조로 이루어진다.
- [0034] 이때, 상기 베이스(22)는 썩기 모양으로 이루어지고, 플라스틱 재질로 이루어지는 것이 가능하다. 특히, 상기 베이스(22)는 Engineering Plastic PEEK-1000 (PolyEtherEtherKetone)로 이루어지는 것이 가능하다. 상기 베이스(22)는 바닥면이 평평한 평면으로 이루어지고, 평평한 바닥면이 상기 원형 파이프(10)에 접촉된다.
- [0035] 한편, 상기 압전 진동자(24)는 종파(두께방향 진동)를 발생하는 원형의 압전 세라믹 진동자를 포함하고, 1 MHz이며 종파형인 것이 가능하다.
- [0036] 도 5는 도 3의 단면도이며, 초음파가 통과하는 경로가 굵은 실선으로 도시된다. 이하, 도 5를 참조해서 설명한다.
- [0037] 초음파 트랜스듀서가 관의 외벽에 3회선으로 설치되었을 때 즉, 비중심 송신트랜스듀서가 두 개 설치되는 경우에는 도5에 도시된 바와 같이 초음파가 전파된다.
- [0038] 본 발명에서 상기 비중심 송신트랜스듀서(30,40)에서 발생된 초음파는 상기 중심 송신트랜스듀서(20)에서 발생된 초음파에 평행하게 이동한다. 다시 말해서, 상기 제1비중심 송신트랜스듀서(30)에서 송신되어 상기 제1비중심 수신트랜스듀서(130)에서 수신되는 초음파의 경로와, 상기 중심 송신트랜스듀서(20)에서 송신되어 상기 중심

수신트랜스듀서(120)에서 수신되는 초음파의 경로는 서로 평행하다. 이러한 특징은 상기 제2비중심 송신트랜스듀서(40)에서도 동일하다.

[0039] 특히, 상기 중심 송신트랜스듀서(20)에서 송신된 초음파는 상기 제1비중심 송신트랜스듀서(30)에서 송신된 초음파 및 상기 제2비중심 송신트랜스듀서(40)에서 송신된 초음파와 서로 교차하지 않는다.

[0040] 본 발명에서 상기 비중심 송신트랜스듀서(30,40) 및 이에 대응되는 상기 비중심 수신트랜스듀서(130,140)는 상기 원형 파이프(10)의 단면을 기준으로 반원의 범위 내에 장착된다. 다시 말해서, 상기 제1비중심 송신트랜스듀서(30)와 상기 제1비중심 수신트랜스듀서(130)는 상기 중심 송신트랜스듀서(20)와 상기 중심 수신트랜스듀서(120)를 잇는 선에 의해서 분할되는 반원 상에 위치한다. 이러한 특징은 상기 제2비중심 송신트랜스듀서(40) 및 상기 제2비중심 수신트랜스듀서(140)에서도 동일하다.

[0041] 본 발명에서, 상기 복수 개의 비중심 송신트랜스듀서(30,40)는 상기 중심 송신트랜스듀서(20)를 기준으로 각각 대칭되도록 장착된다. 다시 말해서, 상기 제1비중심 송신트랜스듀서(30)와 상기 제2비중심 송신트랜스듀서(40)는 상기 중심 송신트랜스듀서(20)를 기준으로 서로 대칭하는 위치에 장착되는 것이 가능하다.

[0042] 도 6은 도 5에서 웨지 입사각을 설명하기 위한 개념도이다. 이하, 제1비중심 송신트랜스듀서가 장착되는 위치를 중심으로 웨지 입사각을 산출하는 방법에 대해서 설명한다.

[0043] 관의 바깥 지름을 d 라 하고, 관의 두께를 t 라 하자. 중심으로부터 반지름의 1/2 거리 ($\theta_l = 30^\circ$) 이내에서, 파동의 굴절 투과가 가능한 위치를 선정한다. 즉, 제1비중심 송신트랜스듀서(30)가 장착될 위치를 선정한다.

[0044] 그리고, 스넬(Snell)의 법칙을 이용하여, 유체 쪽 굴절각로부터 관 벽 안쪽 입사각(θ_x)를 산출한다. 즉,

$$\frac{\sin\theta_l}{c_l} = \frac{\sin\theta_x}{c_t}, \quad (c_l : \text{유체에서 파동 전파속도}, c_t : \text{관 벽에서 파동 전파 속도}) \text{를 이용한다.}$$

[0045] 이어서, 삼각형의 sine공식을 이용하여, 관 벽 바깥쪽 굴절각(θ_p)를 산출한다. 즉,

$$\frac{\sin(180-\theta_x)}{d/2} = \frac{\sin\theta_p}{d/2-t} \text{을 이용한다.}$$

[0046] 이때, 관 벽 바깥쪽 투과지점 위치에 해당하는 각(θ_o)를 삼각함수 공식에 의해서 산출할 수 있다. θ_o 를 이용하면 상기 제1비중심 송신트랜스듀서(30)와 상기 제1비중심 수신트랜스듀서(130)를 견고하게 고정할 수 있다.

[0047] 스넬의 법칙을 이용하여, 관 벽 바깥쪽 굴절각(θ_p)로부터 웨지 입사각 (θ_w)을 산출한다.

$$\frac{\sin\theta_p}{c_t} = \frac{\sin\theta_w}{c_w} \quad (c_w : \text{웨이에서 파동 전파속도}) \text{에 의해서 산출할 수 있다.}$$

[0048] 이렇게 산출한 상기 웨지 입사각(θ_w)에 따라 웨지의 접촉면이 경사지도록 가공하는 것이 가능하다.

[0049] 산술한 바와 같이 상기 웨지 입사각(θ_w)은 상기 원형 파이프의 종류 및 상기 원형 파이프 내부를 흐르는 유체의 종류 중 적어도 어느 하나에 따라 달라지는 것을 알 수 있다.

[0050] 예를 들어, 앞에서 설명한 관의 바깥 지름을 $d=114.3$ mm 라 하고, 관의 두께를 $t= 2.9$ mm 라 하자. 관 내의 유체가 물, 관의 재질이 스텐레스강(STS 304), 트랜스듀서 웨지 재질이 플라스틱(PEEK 1000) 일 때에 앞에 식에 대입해 계산한다.

[0051] 그러면, $\theta_I = 27^\circ$ 이고, $c_l = 1500$ m/s, $c_t = 3281.3$ m/s임을 알 수 있다.

[0052]
$$\theta_x = \left(\frac{c_t}{c_l} \sin \theta_I \right) = \sin^{-1}(0.9931) = 83.3^\circ$$

이고,

[0052]
$$\theta_p = \sin^{-1} \left(\frac{d-2t}{d} \sin(180-\theta_x) \right) = \sin^{-1}(0.9428) = 70.5^\circ$$
 이다.

[0053] 또한, $\theta_0 = \theta_I - \theta_x + \theta_p = 27.0^\circ - 83.3^\circ + 70.5^\circ = 14.2^\circ$ 로 계산된다.

[0054]
$$\theta_w = \sin^{-1} \left(\frac{c_w}{c_t} \sin \theta_p \right) = \sin^{-1}(0.7504) = 48.6^\circ$$

따라서, 로 계산된다.

[0055] 한편, 상기 유체쪽 굴절각(θ_I)은 30° 이하인 것이 바람직하다. 왜냐하면, 스넬의 법칙을 이용하여 웨지를 통하여 입사하는 각도를 계산하였을 때, 원형 파이프의 중심에서 이루는 각도가 30° 를 넘어가게 되면 초음파가 관 벽에서 유체로 투과할 수 없기 때문이다.

[0056] 도 7은 본 발명에 따른 비중심 송신트랜스듀서를 도시한 분해사시도이다. 특히, 도 7은 제1비중심 송신트랜스듀서만을 도시한 것으로 제1비중심 수신트랜스듀서, 제2비중심 송신트랜스듀서 및 제2비중심 수신트랜스듀서와 동일한 유사한 형상으로 이루어진다. 이하, 도 7을 참조해서 설명한다.

[0057] 본 발명에 따른 제1비중심 송신트랜스듀서(30)는 웨지(32)에 압전 진동자(34)가 설치되고, 상기 압전 진동자(34)에는 BNC커넥터 연결부(36)가 장착된다. 그리고, 상기 BNC커넥터 연결부(36)에는 BNC커넥터(38)이 장착되는 구조로 이루어진다.

[0058] 상기 제1비중심 송신트랜스듀서(30)는 상기 웨지(32)만이 상기 중심 송신트랜스듀서(20)와 차이를 가지므로, 차이점을 중심으로 설명한다.

[0059] 상기 웨지(32)는 대략 썸brero 모양으로 이루어지고, 플라스틱 재질로 이루어지는 것이 가능하다. 상기 웨지(22)는 Engineering Plastic PEEK-1000 (PolyEtherEtherKetone)로 이루어지는 것이 가능하다.

[0060] 특히, 상기 웨지(32)는 상기 원형 파이프(10)에 접하는 접촉면(32b)이 바닥면(32a)에 대해 기울어지게 가공된다. 상기 베이스(22)와는 달리 상기 바닥면(32a)이 아닌 상기 접촉면(32b)에서 상기 원형 파이프(10)에 접촉되어 고정된다. 상기 압전 진동자(34)에서 발생된 초음파는 상기 바닥면(32a)이 아닌 상기 접촉면(32b)을 통해서 상기 원형 파이프(10)에 전달되기 때문이다.

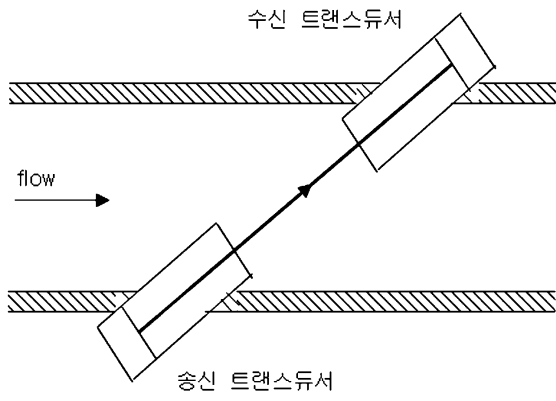
[0061] 이때, 상기 접촉면(32b)의 상기 바닥면(32a)에 대한 경사각은 상기 웨지로부터 상기 원형 파이프에 초음파가 입사되는 웨지 입사각(θ_w)과 동일한 것이 바람직하다. 이에 대해서는 도 8을 참조해서 설명한다.

[0062] 한편, 비중심 트랜스듀서를 원형 파이프에 견고하게 장착하고, 초음파가 일정한 각도로 원형 파이프에 입사하도록 하기 위해 상기 웨지(32)의 일측에 고정용 지그 구멍(미도시)를 형성하는 것도 가능하다.

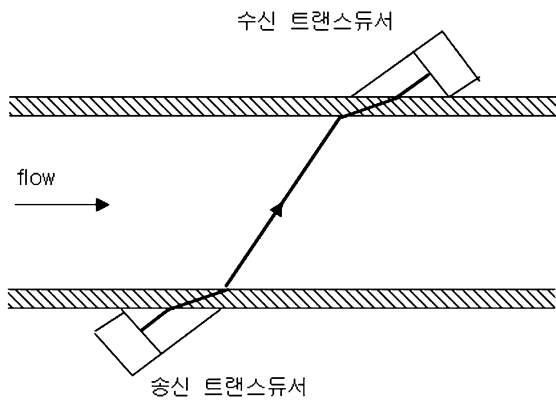
[0063] 도 8은 도 7의 경사각을 설명하기 위한 개념도이다. 이하, 도 8을 참조해서 설명한다.

도면

도면1

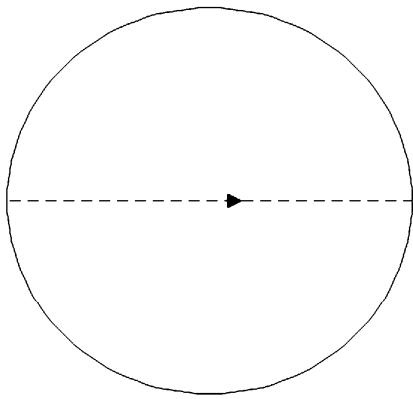


(a)

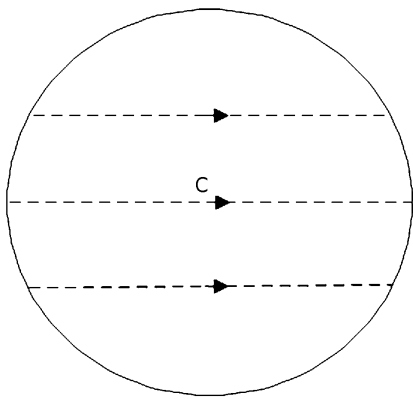


(b)

도면2

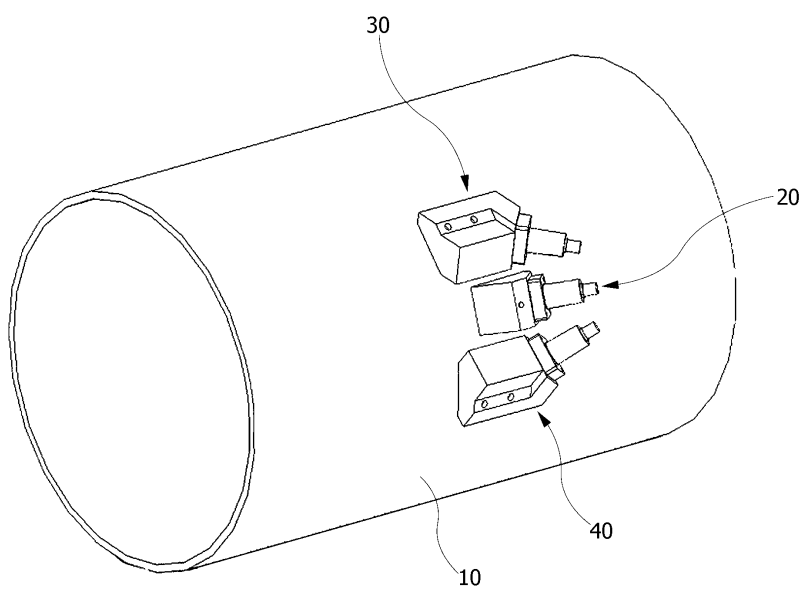


(a)

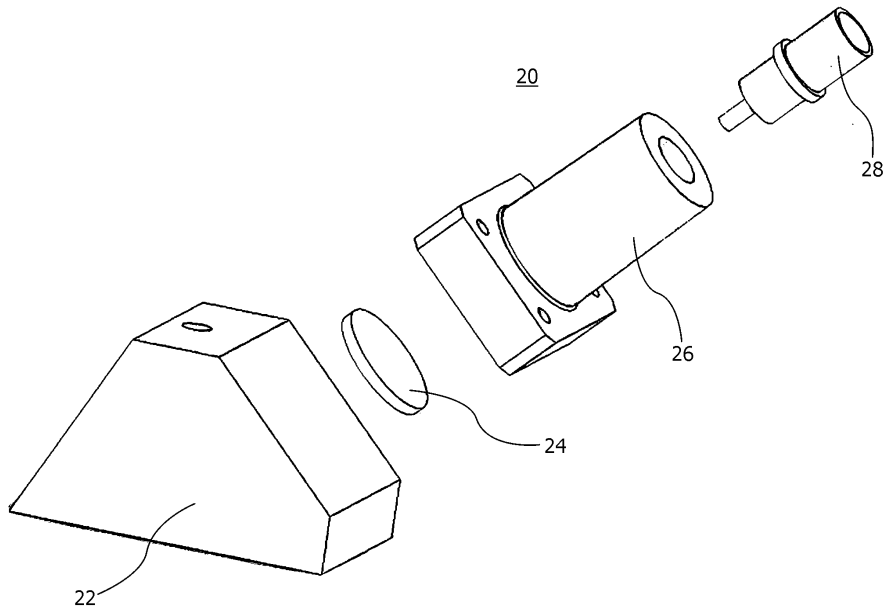


(b)

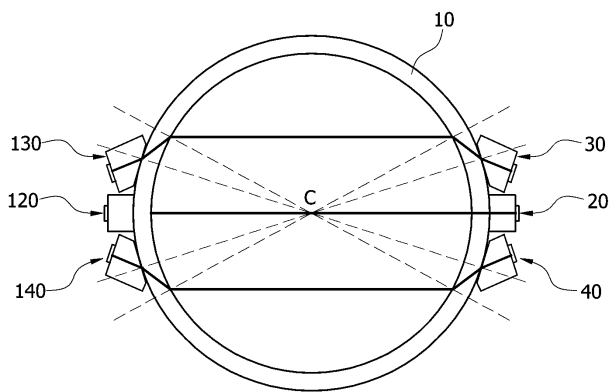
도면3



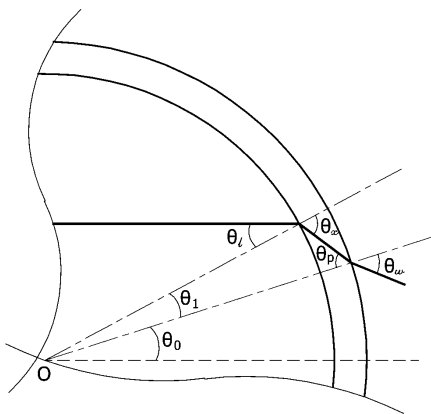
도면4



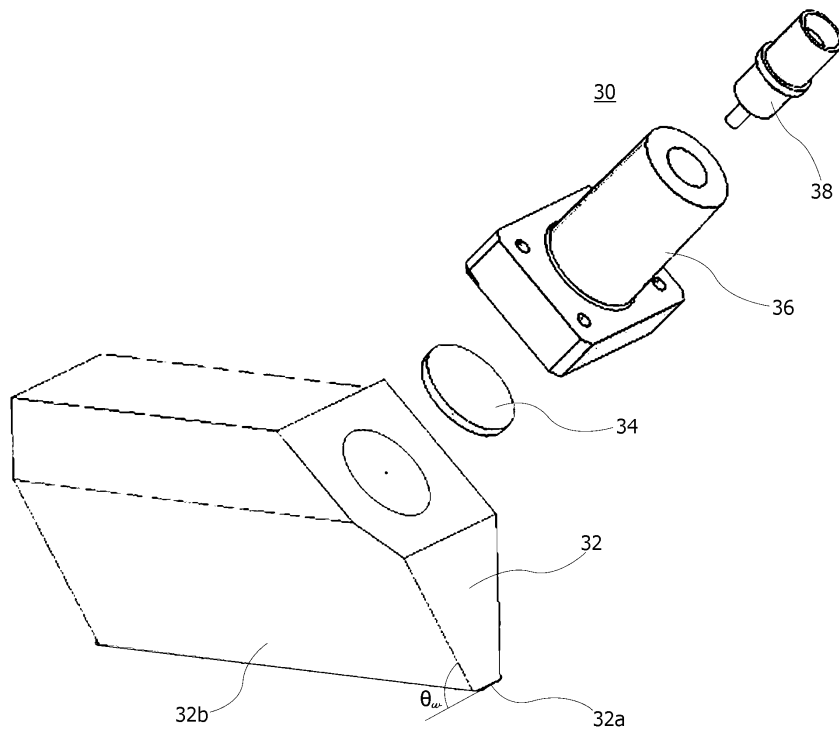
도면5



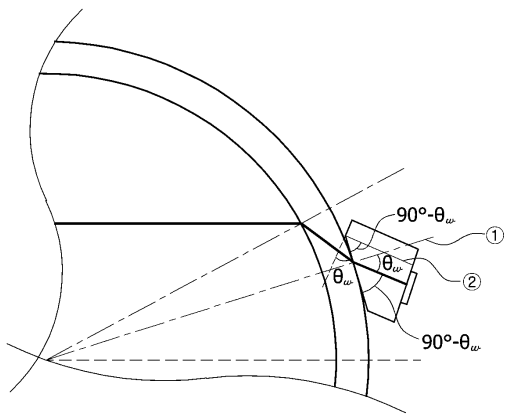
도면6



도면7



도면8



도면9

