



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0040692
(43) 공개일자 2014년04월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 15/89 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-7020795
(22) 출원일자(국제) 2012년01월03일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2013년08월06일
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/020047
(87) 국제공개번호 WO 2012/094298
국제공개일자 2012년07월12일
(30) 우선권주장
61/430,229 2011년01월06일 미국(US)

(71) 출원인
더루우브리콜코오포레이션
미합중국오하이오주44092-2298위클리프시레이크랜드부라바아드29400
(72) 발명자
스미쓰, 올리버
미국 오하이오 44092-2298 위클리프 레이크랜드 블루버드 29400
서튼, 마이클 알.
영국 벨파 더비 디이56 1큐엔 피.오. 박스 88
페플로, 미첼
영국 벨파 더비 디이56 1큐엔 피.오. 박스 88
(74) 대리인
차윤근

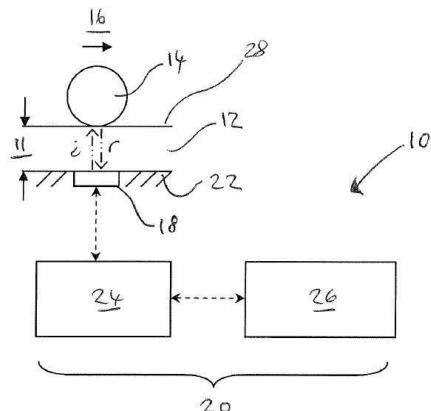
전체 청구항 수 : 총 63 항

(54) 발명의 명칭 **초음파 측정**

(57) 요약

방법 및 장치는 물품(14)과 접촉하여 시간이 지날수록 마모될 수 있는 물품(12)의 두께(11)와 같은 치수의 초음파 측정에 관한 것이다. 초음파 송수신기(18)는 초음파를 물품(12)에 연결시킨다. 외향성 초음파 i는 송수신기(18)로 복귀하는 에코 r을 생성한다. 이로써 두께 값(11)을 수득할 수 있는 비행시간을 계산할 수 있다. 기술된 예에서, 측정은 각 수신된 신호로부터 치수를 추출하기 위해 특정 기간 동안 복수 회 반복한다. 복수의 수신된 신호로부터 추출된 정보는 특정 기간에 걸쳐서 물품(12)의 치수를 나타내는 단일 값을 수득하는데 사용된다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

초음파 측정 방법으로서,

초음파 신호를 물품으로 전송하는 단계,

물품으로부터 초음파 신호를 수신하고, 이 수신된 신호가 물품 경계로부터 전송된 신호의 반사를 포함하는 단계,

상기 전송 및 수신 단계를 특정 기간 동안 복수 회 반복하는 단계,

각 수신된 신호로부터 물품의 치수를 나타내는 정보를 추출하는 단계, 및

복수의 수신된 신호로부터 추출된 정보를 사용하여 특정 기간 동안 물품의 치수를 나타내는 단일 값을 수득하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 각각의 수신된 초음파 신호로부터 추출된 정보로부터 비행시간 값을 측정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 복수의 비행시간 값을 합유하는 세트가 수득되고, 이 세트 중의 각 비행시간 값은 각각 수신된 신호에 대응하는 것인 방법.

청구항 4

제2항 또는 제3항에 있어서, 치수 값을 수득하는 것이 복수의 비행시간 값을 합산하여 복합 비행시간 값을 수득하는 것을 포함하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 치수 값을 수득하는 것이 복합 비행시간 값을 사용하여 물품의 치수 값을 결정하는 것을 포함하는 방법.

청구항 6

제4항 또는 제5항에 있어서, 복합 비행시간 값을 수득하는 것이 통계적 작업을 수행하는 것을 포함하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 통계적 작업이 비행시간 값의 평균을 구하는 것을 포함하는 방법.

청구항 8

제4항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 복합 비행시간 값을 수득하는 것이 복수의 비행시간 부분값 (subvalue)을 수득하는 단계 및 비행시간 부분값을 합산하여 복합 비행시간 값을 수득하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 9

제8항에 있어서, 각 비행시간 부분값이 비행시간 값의 서브세트로부터 수득되는 방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 치수 값을 수득하는 것이 복수의 수신된 신호에서 추출된 정보로부터, 평균 비행시간을 나타내는 복합 비행시간 값을 수득하는 단계 및 이 복합 비행시간 값을 사용하여 물품의

치수 값을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 전송 단계 및 수신 단계가 특정 기간 동안 2 내지 1,000,000회 사이로 반복되는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 전송 단계 및 수신 단계가 특정 기간 동안 2 내지 450,000회 사이로 반복되는 방법.

청구항 13

제11항 또는 제12항에 있어서, 전송 단계 및 수신 단계가 특정 기간 동안 1000 내지 100,000회 사이로 반복되는 방법.

청구항 14

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 특정 기간이 1초, 1초의 일부, 0.2초 및 0.5초 중 하나인 방법.

청구항 15

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 전송 단계 및 수신 단계가 3초의 기간 동안 40,000회 반복되는 방법.

청구항 16

제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 전송 단계 및 수신 단계가 0.2초 기간 동안 3000회 내지 5000회, 예컨대 4005회 반복되는 방법.

청구항 17

제1항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 물품이 금속, 합금, 플라스틱, 콘크리트, 세라믹, 코팅된 물질, 코팅, 복합재, 강철, 알루미늄, 구리, 황동, 주석, 납, 비스무스, 산화알루미늄 및 규산알루미늄을 포함하는 그룹 중에서 선택되는 물질을 포함하는 방법.

청구항 18

제1항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서, 전송 단계 및 수신 단계의 수가 물품이 제조된 물질의 음향 성질에 따라 선택되는 방법.

청구항 19

제1항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서, 추가로 복수의 치수 값을 수득하기 위해 간격을 두고 방법을 반복하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, 물품이 마모되고 이 마모가 복수의 치수 값을 비교하여 평가되는 방법.

청구항 21

제19항에 있어서, 간격이 규칙적인 간격인 방법.

청구항 22

제21항에 있어서, 1초, 1분, 2분, 10분 및 1시간으로 이루어진 그룹 중에서 선택되는 간격에 1회 실시되는 방법.

청구항 23

제1항 내지 제22항 중 어느 한 항에 있어서, 비행시간 값을 측정하는 단계가 반사된 신호의 제로 진폭이 일어난

시간을 확인하는 것을 포함하는 방법.

청구항 24

제23항에 있어서, 제로 진폭이 절편 제로를 포함하는 방법.

청구항 25

제24항에 있어서, 제로가 1차 절편 제로를 포함하는 방법.

청구항 26

제1항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 수신 단계가 전송된 신호의 1차 반사를 수신하는 것을 포함하는 방법.

청구항 27

제1항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서, 수신 단계가 더 고차 반사를 수신하는 것을 포함하는 방법.

청구항 28

제1항 내지 제27항 중 어느 한 항에 있어서, 추가로 물품의 온도를 측정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 29

제28항에 있어서, 온도가 특정 기간 동안 측정되는 방법.

청구항 30

제1항 내지 제29항 중 어느 한 항에 있어서, 방법이 온도에 대하여 값을 보정하기 위해 복합 치수 값을 조정하는 단계를 포함하는(필요한 경우) 방법.

청구항 31

물품의 치수를 측정하는 장치로서, 이 장치가 제1항 내지 제30항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 수행하도록 작동할 수 있는 장치.

청구항 32

제31항에 있어서, 초음파 신호를 물품 내로 전송하도록 작동할 수 있는 초음파 전송기 및 물품으로부터 초음파 신호를 수신하도록 작동할 수 있는 초음파 수신기를 함유하는 장치.

청구항 33

제32항에 있어서, 초음파 전송기 및 초음파 수신기가 함께 초음파 송수신기를 구성하는 장치.

청구항 34

제33항에 있어서, 초음파 송수신기가 1 내지 100MHz 사이의 주파수를 가진 초음파 펄스를 생산하도록 작동할 수 있는 장치.

청구항 35

제34항에 있어서, 초음파 송수신기가 실질적으로 20MHz의 주파수를 가진 초음파 펄스를 생산하도록 작동할 수 있는 장치.

청구항 36

제34항에 있어서, 초음파 송수신기가 실질적으로 10MHz의 주파수를 가진 초음파 펄스를 생산하도록 작동할 수 있는 장치.

청구항 37

제33항 내지 제36항 중 어느 한 항에 있어서, 초음파 송수신기가 압전 변환기 또는 이의 다수(multiple)를 포함하는 장치.

청구항 38

제33항 내지 제37항 중 어느 한 항에 있어서, 전기 신호를 초음파 송수신기로 공급하여 초음파 송수신기가 초음파 신호를 전송하도록 작동할 수 있는 조절 시스템을 포함하는 장치.

청구항 39

제38항에 있어서, 조절 시스템이 추가로 초음파 송수신기로부터 전기 신호를 수신하도록 작동할 수 있고, 이 수신된 전기 신호가 물품의 치수를 나타내는 정보를 함유하는 장치.

청구항 40

제38항 또는 제39항에 있어서, 조절 시스템이 초음파 송수신기가 특정 기간 동안 복수의 초음파 신호를 전송하도록 작동할 수 있는 장치.

청구항 41

제38항 내지 제40항 중 어느 한 항에 있어서, 조절 시스템이 초음파 송수신기로 전압 펄스를 공급하도록 작동할 수 있는 장치.

청구항 42

제41항에 있어서, 조절 시스템이 전압 펄스를 공급하도록 작동할 수 있는 펄스 생성 모듈을 함유하는 장치.

청구항 43

제41항 또는 제42항에 있어서, 전압 펄스가 형상화된 것인 장치.

청구항 44

제43항에 있어서, 전압 펄스가 정사각형 파, 삼각형 파 또는 사인파 또는 여타 다른 파형을 포함하는 장치.

청구항 45

제44항에 있어서, 파(wave)가 1 내지 100MHz 사이의 주파수를 포함하는 장치.

청구항 46

제45항에 있어서, 파가 실질적으로 20MHz의 주파수를 포함하는 장치.

청구항 47

제45항에 있어서, 파가 실질적으로 10MHz의 주파수를 포함하는 장치.

청구항 48

제41항 내지 제47항 중 어느 한 항에 있어서, 전압 펄스가 200V 미만의 피크 진폭을 나타내는 장치.

청구항 49

제48항에 있어서, 전압 펄스가 5 내지 20V 사이의 피크 진폭을 나타내는 장치.

청구항 50

제49항에 있어서, 전압 펄스가 약 10V의 피크 진폭을 나타내는 장치.

청구항 51

제42항 또는 제42항에 종속항인 제42항 내지 제50항 중 어느 한 항에 있어서, 펄스 생성 모듈이 초기 전압 펄스를 생성하도록 작동할 수 있는 펄스 생성기 및 초기 전압 펄스를 증폭시켜 증폭된 펄스를 생성하도록 작동할 수

있는 증폭기를 포함하는 장치.

청구항 52

제51항에 있어서, 펠스 생성 모듈이 추가로 증폭된 펠스로부터 펠스 생성기를 염폐하도록 작동할 수 있는 신호 차단기를 포함하는 장치.

청구항 53

제52항에 있어서, 신호 차단기가 전계 트랜지스터를 포함하는 장치.

청구항 54

제52항 또는 제53항에 있어서, 신호 차단기가 증폭기와 동조화되어 있어, 신호 차단기는 증폭기가 증폭된 펠스를 전송할 때에만 작동할 수 있고, 그렇지 않으면 작동할 수 없는 장치.

청구항 55

제38항 내지 제54항 중 어느 한 항에 있어서, 조절 시스템이 수신된 초음파 신호로부터 물품의 치수를 나타내는 정보를 추출하도록 작동할 수 있고, 복수의 수신된 신호로부터 추출된 정보를 사용하여 특정 기간에 걸쳐서 물품의 치수에 대한 단일 값을 결정하도록 작동할 수 있는 장치.

청구항 56

제55항에 있어서, 조절 시스템이 각 전기 신호에 대해 비행시간 값을 측정하고 이러한 복수의 비행시간 값을 합산하여 복합 비행시간 값을 수득하도록 작동할 수 있는 장치.

청구항 57

제56항에 있어서, 조절 시스템이 복합 비행시간 값을 사용하여 치수 값을 수득하는 장치.

청구항 58

제31항 내지 제57항 중 어느 한 항에 있어서, 장치가 추가로 하나 이상의 온도 센서를 포함하는 장치.

청구항 59

제58항에 있어서, 온도 센서(들)가 하나 이상의 열전대를 함유하는 장치.

청구항 60

궁극적으로 제38항에 종속항인 제58항 또는 제59항에 있어서, 조절 시스템이 온도 센서에 의해 제공된 온도 측정값을 사용하여 치수 값을 보정하도록 작동할 수 있는 장치.

청구항 61

제30항 내지 제60항 중 어느 한 항에 기재된 장치를 함유하는 물품.

청구항 62

후속 도면을 참고로 하여 본원에 실질적으로 기술된 바와 같은 방법.

청구항 63

후속 도면을 참고로 하여 본원에 실질적으로 기술된 바와 같은 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 초음파 측정, 특히 그러나 비배타적으로 치수의 초음파 측정을 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

많은 경우에, 물품 상의 마모 효과를 측정하거나, 또는 유의적인 마모가 막 일어나려는 지점을 찾는 것은 예컨대 효율을 향상시키기 위해 유용할 수 있다. 예를 들어, 사용 시 다른 물품과 상시 접촉하는 물품은 접촉에 의해 마모되기 때문에 시간이 갈수록 치수가 변화할 수 있다. 또한, 마모는 접촉 없이, 예컨대 부식 마모를 통해 일어날 수도 있다. 물품에 대한 마모의 효과를 측정하는 것은 이 물품이 고장나거나 피해를 유발하기 전에 교체될 수 있도록 물품의 예상 수명을 계산하는데 있어서 중요할 수 있다. 마모 효과의 이해는 특히 차량 엔진 부품 또는 베어링과 같은 기계 부품에 중요하다. 또한, 마모 효과의 측정은 윤활제와 같은 관련 성분의 성능을 검사하는 데에도 유용할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003]

현재 출원인에게 알려진 마모를 측정하는 주요 방식에는 2가지가 있다. 첫 번째 마모 측정 방법은 마모 효과로 처리되기 전과 후에, 예컨대 좌표 측정 시스템을 사용하여 당해의 물품의 표면을 분석하는 것을 필요로 한다. 이 방법은 이미 일어난 마모를 필요로 하기 때문에 이상적이지 않다. 또한, 마모가 경시적으로 일어나는 동안 마모 패턴의 변화를 검출하는 것도 불가능하다.

[0004]

마모를 측정하는 다른 방법은 표면층 활성화(SLA) 또는 박층 활성화(TLA)라고도 알려진 방사성뉴클레오타이드 검사(RNT)이다. 이 방법은 물품의 표면층에 방사선처리를 하는 것을 포함한다. 마모가 일어나면, 방사선조사된 금속 원자는 윤활제로 씻겨나가고, 그 후 신틸레이션 계수기를 거쳐 순환한다. 따라서, 검출된 방사선조사된 원자의 수는 마모율을 나타낸다. 이 방법은 금속 원자가 순환하는데 걸리는 시간으로 인한 짧은 시간 지연(1ag)만이 있어, 실시간에 가깝게 마모를 측정할 수 있다. 하지만, 이 방법은 방사선의 사용으로 인해 조절된 실험실 환경에서만 사용될 수 있다. 일부는 제한된 반감기를 가진 방사선동위원소의 제한된 유용성으로 인해 여러 부품의 마모를 동시에 측정하기는 어렵다. 게다가, 제거된 모든 원자가 반드시 순환되는 것은 아니기 때문에, 측정된 마모율과 실제 마모율은 종종 다르다.

과제의 해결 수단

[0005]

본 발명의 제1 관점에 따르면, 초음파 측정 방법으로서,

[0006]

초음파 신호를 물품으로 전송하는 단계,

[0007]

물품으로부터 초음파 신호를 수신하고, 이 수신된 신호가 물품 경계로부터 전송된 신호의 반사를 포함하는 단계,

[0008]

상기 전송 및 수신 단계를 특정 기간 동안 복수 회 반복하는 단계,

[0009]

각 수신된 신호로부터 물품의 치수를 나타내는 정보를 추출하는 단계, 및

[0010]

복수의 수신된 신호로부터 추출된 정보를 사용하여 특정 기간 동안 물품의 치수를 나타내는 단일 값을 수득하는 단계를 포함하는 방법이 제공된다.

[0011]

이 단계들은 반드시 상기 순서대로 일어날 필요는 없고, 임의의 적당한 순서로 실행될 수 있다.

[0012]

단일 값은 물품의 치수에 대한 값일 수 있다. 단일 값은 비행시간 값일 수 있다.

[0013]

물품은 금속, 합금, 플라스틱, 콘크리트, 세라믹, 코팅된 물질 및 복합 물질 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 물품이 금속을 포함하는 경우, 이 금속은 강철, 알루미늄, 구리, 황동, 주석, 납, 비스무스 및 이들의 합금 중에서 선택될 수 있다. 물품은 산화알루미늄 및/또는 규산알루미늄을 포함할 수 있다.

[0014]

방법은 각각 수신된 초음파 신호로부터 추출된 정보로부터 비행시간 값을 측정하는 단계를 포함할 수 있다. 복수의 비행시간 값을 함유하는 세트가 수득될 수 있다. 이 세트 중의 각 비행시간 값은 각각 수신된 신호에 대응할 수 있다.

[0015]

치수 값의 수득은 복수의 비행시간 값을 합하여 복합 비행시간 값을 수득하는 것을 포함할 수 있고, 복합 비행시간 값을 사용하여 물품의 치수 값을 측정하는 것을 포함할 수 있다.

[0016]

복합 비행시간 값의 수득은 통계 작업의 수행, 예컨대 비행시간 값의 평균 구하기, 예컨대 평균값(mean), 중간

값(median) 또는 절삭평균값(trimmed mean)(일반적으로, 평균값) 구하기를 포함할 수 있다.

[0017] 복합 비행시간 값의 수득은 복수의 비행시간 부분값(subvalue)을 수득하는 단계 및 비행시간 부분값을 합하여 복합 비행시간 값을 수득하는 단계를 포함할 수 있다. 각 비행시간 부분값은 비행시간 값의 서브세트로부터 수득할 수 있다.

[0018] 치수 값의 수득은 복수의 수신된 신호에서 추출된 정보로부터, 평균 비행시간 값을 나타내는 복합 비행시간 값을 수득하는 단계를 포함할 수 있고, 이 복합 비행시간 값을 이용하여 물품의 치수에 대한 값을 측정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0019] 전송 단계와 수신 단계는 특정 기간, 즉 2초일 수 있고, 또는 2초의 일부, 예컨대 0.2초 또는 0.5초일 수도 있는 특정 기간 동안 2회 내지 1,000,000회 사이로 반복될 수 있다. 전송 단계와 수신 단계는 특정 기간 동안 2회 내지 450,000회 사이로 반복될 수 있고, 1000회 내지 100,000회 사이로 반복될 수 있다. 이 기간이 3초인 경우, 전송 단계와 수신 단계는 40,000회 반복될 수 있다. 기간이 0.2초이면, 전송 단계와 수신 단계는 4005회 반복될 수 있다.

[0020] 상기 범위는 물품이 금속을 포함하는 경우에 적당할 수 있다. 물품이 비금속을 포함하는 경우에는 전송 단계와 수신 단계의 수는 물질의 음향 성질에 따라 동일하거나, 증가하거나 감소할 수 있다. 예를 들어, 전송 단계와 수신 단계의 수는 절반일 수 있고, 또는 상기 범위의 1/3, 1/4 또는 1/5로 감소할 수 있다.

[0021] 이 방법은 또한 복수의 복합 치수 값을 수득하기 위해 간격을 두고 상기 방법을 반복하는 단계를 포함할 수 있다. 간격은 일정 간격일 수 있고, 예컨대 이 방법은 분당 1회, 또는 2분마다, 10분마다, 시간마다 1회 등으로 반복될 수 있다. 한 양태에 따르면, 이 방법은 측정되는 물품이 마모로 처리되고 이 마모가 복수의 치수 값을 비교하여 평가되는 경우에 이용될 수 있다.

[0022] 비행시간 값을 측정하는 단계는 반사된 신호의 제로 진폭이 일어난 시간을 확인하는 것을 포함할 수 있다. 제로 진폭은 절편 제로, 예컨대 피크 후 제로 진폭을 포함할 수 있다. 제로는 1차 절편 제로를 포함할 수 있다.

[0023] 수신 단계는 전송된 신호의 1차 반사를 수신하는 것을 포함할 수 있다. 이 수신 단계는 그 이상의 반사, 예컨대 2차 반사, 3차 반사 또는 여타 수회의 반사를 수신하는 것을 포함할 수 있다.

[0024] 이 방법은 또한 물품 내의 하나 이상의 온도를 측정하는 단계를 포함할 수 있다. 온도는 특정 기간 동안 측정할 수 있다. 이 방법은 복합 치수 값을 온도에 대하여 보정하기 위해 복합 치수 값을 조정하는 단계를 포함할 수 있다(필요한 경우).

[0025] 본 발명의 제2 관점에 따르면, 본 발명의 제1 관점에 따른 방법을 수행하기 위해 작동할 수 있는, 물품 치수 측정용 장치가 제공된다. 이 장치는 본 발명의 제1 관점에 대하여 앞서 언급한 방법 단계들의 임의의 조합을 임의의 적당한 순서로 수행하도록 작동할 수 있다.

[0026] 장치는 물품에 초음파 신호를 전송하기 위해 작동할 수 있는 초음파 전송기 및 물품으로부터 초음파 신호를 수신하기 위해 작동할 수 있는 초음파 수신기를 포함할 수 있다. 초음파 전송기 및 초음파 수신기는 함께 초음파 송수신기를 구성할 수 있다. 초음파 송수신기는 광대역 초음파 펄스 또는 1MHz 내지 100MHz 사이, 예컨대 2 내지 50MHz, 3 내지 50MHz 또는 5 내지 20MHz 사이의 주파수를 가진 초음파 펄스를 생산하도록 작동할 수 있다. 초음파 송수신기는 실질적으로 20MHz의 주파수를 구성할 수 있다. 초음파 송수신기는 실질적으로 10MHz의 주파수를 구성할 수 있다. 초음파 송수신기는 압전성 변환기(piezoelectric transducer)를 포함할 수 있다.

[0027] 장치는 초음파 송수신기가 초음파 신호를 전송하도록 하기 위해 초음파 송수신기에 전기 신호를 공급하도록 작동할 수 있는 조절 시스템을 포함할 수 있다. 이 조절 시스템은 추가로 초음파 송수신기로부터 전기 시그널을 수신하도록 작동할 수도 있고, 수신된 전기 신호는 물품의 치수를 나타내는 정보를 포함한다.

[0028] 조절 시스템은 초음파 송수신기가 특정 기간 동안 복수의 초음파 신호를 전송하도록 작동할 수 있고, 초음파 송수신기로부터의 복수의 전기 신호를 특정 기간 동안 수신하도록 작동할 수 있다.

[0029] 조절 시스템은 초음파 송수신기에 전압 펄스를 공급하도록 작동할 수 있다. 조절 시스템은 전압 펄스를 공급하도록 작동할 수 있는 펄스 생성 모듈을 포함할 수 있다. 전압 펄스는 형상화될 수 있고, 정사각형 파, 삼각형 파, 또는 사인파, 또는 이의 일부를 포함할 수 있다. 광대역(다중 주파수)파는 또한 송수신기를 여기(excite)시키는데 사용될 수 있다. 이 파는 1MHz 내지 100MHz 사이, 예컨대 2 내지 50MHz, 3 내지 50MHz, 또는 5 내지 20MHz 사이의 주파수를 포함할 수 있다. 이 파는 실질적으로 20MHz의 주파수를 포함할 수 있다. 이 파는 실질적

으로 10MHz의 주파수를 포함할 수 있다.

[0030] 전압 펄스는 200V 미만의 피크 진폭을 보유할 수 있고, 2 내지 100V, 예컨대 5 내지 20V 사이의 피크 진폭을 보유할 수 있다. 전압 펄스는 약 10V의 피크 진폭을 보유할 수 있다.

[0031] 펄스 생성 모듈은 초기 전압 펄스를 생성하도록 작동할 수 있는 펄스 생성기 및 초기 전압 펄스를 증폭시켜 증폭된 펄스를 생성하도록 작동할 수 있는 증폭기를 포함할 수 있다. 펄스 생성 모듈은 추가로 증폭된 펄스로부터 펄스 생성기를 염폐하도록 작동할 수 있는 신호 차단기를 포함할 수 있다. 신호 차단기는 전계효과 트랜지스터를 포함할 수 있다. 신호 차단기는 증폭기와 동조화될 수 있어, 신호 차단기는 증폭기가 증폭된 펄스를 전송할 때에만 작동하고 그렇지 않으면 작동하지 않을 수 있다.

[0032] 초음파 전송기 및 초음파 수신기는 전송기에 의해 제공된 여기로부터 수신기를 분리하기 위해 별도로 구현될 수 있다.

[0033] 조절 시스템은 수신된 초음파 신호로부터 물품의 치수를 나타내는 정보를 추출하도록 작동할 수 있고, 복수의 수신된 신호로부터 추출된 정보를 사용하여 특정 기간 동안 물품의 치수에 대한 단일 값을 측정하도록 작동할 수 있다. 조절 시스템은 각 전기 신호에 대한 비행시간 값을 측정하고 복수의 이러한 비행시간 값은 합하여 복합 비행시간 값을 수득하도록 작동할 수 있다. 조절 시스템은 복합 비행시간 값을 사용하여 치수 값을 수득할 수 있다.

[0034] 장치는 추가로 하나 이상의 열전대를 포함할 수 있는 하나 이상의 온도 센서를 포함할 수 있다. 조절 시스템은 온도 센서에 의해 제공된 온도 측정값을 사용하여 치수 값을 보정하도록 작동할 수 있다.

[0035] 본 발명의 제3 관점에 따르면, 본 발명의 제2 관점에 따르는 장치를 포함하는 물품이 제공된다. 이 물품은 차량과 같은 기계이거나, 차량 부품(예, 엔진 부품)과 같이 기계 내에 포함되어 있을 수 있다.

[0036] 이제, 본 발명은 첨부되는 도면에 대하여 예시적으로만 설명될 것이다:

도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 물품의 치수를 측정하기 위한 장치의 설계도이다.

도 2는 제1 물품(A)과 제2 물품(B)에서의 비행시간 사이의 차이를 개략적으로 예시한다.

도 3은 커패시터 뱅크를 포함하는 시스템에 의해 발생되었을 수 있는 신호와 이상적인 신호를 도식적으로 비교한다.

도 4는 다른 진폭의 2개의 반사 신호를 예시한 것이다.

도 5는 걸보기 두께에 미치는 온도 변화의 효과를 도시한 것이다.

도 6은 물품의 치수를 측정하기 위한 대체 시스템을 개략적으로 도시한 것이다.

도 7은 치수를 측정하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 8은 주파수는 다르지만 동일한 속도로 샘플링된 2개의 초음파를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 먼저, 도 1을 살펴보면, 초음파를 사용하여 물품(12)의 치수를 측정하는 장치(10)가 도시되어 있다.

[0039] 초음파는 사람의 청각을 뛰어넘는 음향 주파수 스펙트럼의 부분을 의미하고, 일반적으로 주파수가 20kHz 초과인 음향을 포함하는 것으로 간주한다. 초음파 펄스는 물질의 성질에 의해 결정되는 속도로 고체를 통해 통과한다. 초음파 펄스는 일반적으로 음향 성질의 변화가 일어날 때 계면 또는 경계로부터 반사된다.

[0040] 경계로부터 반사되는 초음파 신호는 그 경계에 대한 정보를 포함한다. 예를 들어, 경계까지의 거리에 대한 정보는 물품 내로 전송된 초음파 펄스가 물품을 통과하여 경계에 이른 다음, 반사로서 되돌아오는데 걸리는 시간을 측정하여 결정할 수 있다. 이와 같이 측정된 시간으로부터 반사파가 이동한 거리를 계산하는 것이 가능하다(물품이 제조된 물질에서의 음향 속도를 알면). 이 거리는 물품의 치수, 특히 경계까지의 거리를 나타낸다. 경계가 표면인 경우, 치수는 물품의 두께를 나타낸다.

[0041] 이 방법은 도 2에 더욱 분명하게 예시했다. 도 2A는 물품(12)에 결합된 초음파 송수신기(18)를 보여준다. 송수

신기(18)가 적당한 전기 펄스에 의해 여기되면, 송수신기는 초음파 신호 i 를 방출한다. 이 신호는 물품을 통해 일반적으로 송수신기가 고정된 표면의 평면에 법선인 방향으로 전송된다. 신호가 경계, 예컨대 물품의 검사 표면(28)에 도달하면, 이 신호의 적어도 일부는 반사한다. 반사된 신호 r 은 초음파 송수신기(18)에서 검출되고 전기 신호로 변환된다.

[0042] 또한, 도 2A는 전송된 펄스 i 와 반사된 펄스 r 의 시간 경과에 따른 진폭 변동을 그래프(30)로 나타낸 것이다. 반사된 신호는 일반적으로 전송된 신호와 형태가 유사하나, 일부 신호 에너지가 상실(약화로 인해, 그리고 모든 신호가 반드시 반사되는 것은 아니기 때문에)되므로, 진폭은 감소했다.

[0043] 전송된 펄스와 수신된 펄스 사이의 시간(31)은 신호의 '비행시간'이다. 이 비행시간(31)은 신호가 이동한 거리를 나타내고, 이 거리는 물품 두께의 2배와 같다.

[0044] 도 2B는 도 2A와 유사한 상황이지만, 도 2A에 도시된 물품(12)보다 얇은 물품(112)의 상황을 예시한 것이다. 이 예에서, 물품(112)은 약간의 마모를 겪은 후의 물품(12)이다. 도 2B에서 외향성 i 와 반사된 r 펄스 사이의 시간(31)은 이동 거리가 짧기 때문에 도 2A의 해당 시간보다 적다는 것을 알 수 있을 것이다.

[0045] 치수를 측정하는 것, 특히 마모를 표시하기 위해 실시간으로 치수 변화를 측정하는 것의 1가지 단점은 치수 측정이 반드시 어느 정도의 불확실성을 포함한다는 것이다.

[0046] 본원에 사용된, "불확실성"(U라고도 명명됨)이란 용어는 두께의 1회 측정값(X)이 $X \pm U$ 가 샘플의 실제 기본 평균 두께 값에 대해 95% 신뢰구간을 형성할 정도의 값이라는 것을 의미한다. s 는 짧은 시간 기간 동안 일정 온도에서 안정 상태에 있는(마모가 일어나지 않음) 동일 샘플에서 반복적인 두께 측정값의 큰 샘플로부터 수득될 수 있는 표준 편차로 하자. 이 샘플링 절차는 측정값들이 자동상관성이 없는 정도라 가정한다. 그러면, 불확실성은 $1.96 \cdot s$ 로 정의된다.

[0047] 또한, 온도-조정된 두께 측정과 관련이 있는 불확실성은, 샘플링 절차가 온도가 무작위로 선택되고 측정이 독립적이도록 채택된다고 가정하여, 다른 온도에서 마모가 전혀 일어나지 않은 동일 샘플에 대한 측정값 사이의 표준 편차를 기반으로 하여 한정하는 것이 가능하다. 이 불확실성은 보정 방정식의 파라미터의 추정값에 불확실성이 있을 수 있기 때문에 일정 온도 시의 불확실성보다는 클 것이다.

[0048] 이 불확실성은 샘플 제조로 인한 또는 실험 간의 변화를 의도적으로 고려하지 않아서보다는, 오히려 측정 중의 단기간 변화로 인해 특정 시간에 특정 측정과 관련된 불확실성이 있기 때문에, 방법의 반복가능성과는 별개인 것이다.

[0049] 마모 측정의 불확실성은 마모가 일어나기 전과 일어난 후의 동일 샘플에서의 측정값 사이의 차이에 대해 95% 신뢰구간 폭의 $\frac{1}{2}$ 로서 정의되고 $1.96 \cdot s \cdot \sqrt{2}$ 와 같다. 사용된 s 의 값은 적절하게 미처리(raw) 두께 측정값 또는 온도-조정된 두께 측정값을 기반으로 할 수 있다.

[0050] 유용한 마모 표시를 제공하기 위해, 두께의 작은 변화(즉, 작은 마모량)가 검출될 수 있도록 치수를 매우 낮은 불확실성으로 측정할 수 있는 것이 필요하다. 일반적으로, 불확실성이 $1\mu\text{m}$ 미만인 마모, 바람직하게는 10nm 이하인 마모를 검출할 수 있는 것이 바람직하다. 예를 들어, 1초의 시간 기간 동안 측정했을 때 1 내지 5nm 사이의 불확실성이 바람직할 수 있다.

[0051] 이러한 정확도로 거리를 측정하기 위해서는 초음파 펄스의 비행시간을 피코초(picosecond) 내로 측정할 것을 필요로 할 것이다. 이것은 현재 어렵고 비용이 많이 들며, 실험실외 환경에서 비실용적이다.

[0052] 본 발명자들은 비행시간의 매우 정확한 단독 측정으로부터 치수 측정값을 수득하기보다는 복수의 덜 정확한 비행시간 측정값들로부터 불확실성이 낮은 치수 측정값이 수득될 가능성이 있다는 것을 발견했다.

[0053] 도 1에 도시된 장치 (10)은 특정 기간(예컨대, 1초) 동안 꼬리를 물고 비행시간의 다중 값을 측정하도록 작동할 수 있다. 이러한 다중 값을 통계학적으로 합하여 그 특정 기간 동안 물품의 치수 값을 측정하는데 사용되는 복합 비행시간 값을 수득한다.

[0054] 제시된 예에서, 검사되는 물품(12)은 제2 물품(14)과 접촉하고 있고 두 물품 사이의 상대적 움직임(도 1에서 화살표 16으로 표시됨)이 일어난다. 시간이 갈수록 물품 (12)와 (14) 사이의 상대적 움직임은 두 물품에 마모를 유발한다. 오일계 윤활제와 같은 윤활제는 마모 효과를 변경, 특히 줄이기 위해 물품 사이에 제공될 수 있다.

[0055] 장치(10)는 2가지 주요 부품, 즉 초음파 송수신기(18) 및 조절 시스템(20)을 포함한다. 초음파 송수신기는 압전 변환기의 형태로서, 검사 중인 물품(12)에 초음파 펄스를 전송하고 물품(12)으로부터의 초음파 펄스를 수신할

수 있다. 초음파 변환기는 예컨대 물품의 표면(22)에 변환기를 접착시키거나, 또는 물품에 압전 결정을 침착시켜 동일계에서 변환기를 형성시킴으로써, 물품(12)에 물리적으로 연결되어 있다.

[0056] 조절 시스템(20)은 초음파 변환기와 소통하고 있고, 초음파 변환기(18)가 초음파 신호를 방출하도록 작동할 수 있다. 조절 시스템(20)은 또한 변환기에 의해 검출된 초음파 신호를 해석하기 위해 작동할 수 있다.

[0057] 조절 시스템(20)은 펄스 생성 모듈(24)과 조절기 모듈(26)을 포함한다. 펄스 생성 모듈(24)은 조절기 모듈(26)로부터의 명령에 반응하여 초음파 변환기를 여기시키기 위해 전기 펄스를 발생하도록 작동할 수 있다. 전기 펄스에 의해 여기될 때, 초음파 변환기는 초음파 펄스를 방출하도록 유발된다.

[0058] 펄스 생성 모듈(24)은 초음파 변환기에 의해 발생된 전기 신호를 수신하도록 작동할 수 있다. 전기 신호는 초음파가 초음파 변환기에 입사할 때 생성된다. 펄스 생성 모듈은 수신된 전기 신호를 해석 및 분석용 조절기 모듈로 소통하도록 작동할 수 있다.

[0059] 사용 시, 도 1에 도시된 장치는 도 7에 제시된 방법을 실행하여 검사 중인 물품(12)의 치수(11) 값을 측정한다.

[0060] 단계(S1)에서 초음파 펄스는 검사 중인 물품(12)을 통해 전송된다. 특히, 조절기 모듈은 펄스 생성 모듈이 전압 펄스를 발생하게 하고, 결국 초음파 변환기가 초음파 펄스를 발생하도록 한다. 초음파 펄스는 초음파 변환기가 물품에 연결, 이 실시예에서는 영구적으로 연결되어 있기 때문에 물품 내로 전송된다.

[0061] 전송된 초음파 펄스는 이어서 물품의 검사 표면(28)으로부터 반사되고 반사된 펄스는 단계 S2에서 수신된다. 반사된 펄스는 초기 펄스가 전송된 위치와 같은 위치에서 수신되고, 특히 펄스가 발생한 초음파 변환기에서 수신된다. 초음파 펄스는 초음파 송수신기에 의해 전기 신호로 변환되고, 해석을 위한 조절기 모듈로 전송된다. 수신된 초음파 펄스와 변환된 전기 신호는 모두 표면까지의 거리에 대한 정보를 함유한다.

[0062] 단계 S3에서 펄스의 비행시간은 전기 신호로부터 결정된다. 일반적으로, 단독 비행시간 값은 $\pm 1\mu\text{m}$ 의 불확실성으로 측정될 수 있고, 이는 일반적으로 마모 정량 목적에는 너무 큰 불확실성 값이다. 장치(10)에서, 비행시간 값은 조절 시스템, 특히 조절기 모듈에 의해 측정되고 메모리에 저장된다.

[0063] 단계 S4에서, 단계 S1 내지 S3은 충분한 수의 비행시간 값이 수집될 때까지 반복된다. 이 경우에 충분한 이란, 초음파 측정의 가변성에 기초하여 바람직한 불확실성으로 물품의 두께를 나타내는 충분한 데이터 점을 의미한다. 이 수는 보통 사전에 측정되지만, 반드시 그럴 필요는 없다. 반복 횟수는 1보다 큰 임의의 자연수(예컨대, 2, 10, 100, 1000, 10000, 1,000,000 등)일 수 있다. 일반적으로, 수집된 값의 수가 클수록 더 큰 정확성이 달성된다.

[0064] 이 장치(10) 예에서, 조절 시스템은 단계 S1 내지 S3을 소정의 횟수만큼 반복하도록 작동할 수 있다. 조절 시스템은 메모리가 소정의 값과 수가 동일한 비행시간 값의 세트를 포함할 때까지 측정된 복수의 비행시간 값을 메모리에 저장한다.

[0065] 소정의 수의 값들이 수집되었으면, 방법은 단계 S5로 이동한다. 단계 S5에서 복수의 측정된 비행시간 값은 합산해서 복합 비행시간 값을 수득한다. 제시된 방법 예에서, 값들의 정상 분포는 값들을 통계적으로 합산해서 평균 값을 결정하는데 사용된다. 평균값으로부터의 표준 편차는 또한 평균값의 표준 오차를 계산하는데 사용될 수 있다. 복합 비행시간 값이 수득되었으면, 측정된 개별 비행시간 값은 필요하다면 폐기할 수 있다(예컨대, 메모리에서 삭제할 수 있다).

[0066] 단계 S6에서 복합 비행시간 값은 복수의 측정이 일어난 기간 동안 각 초음파 펄스가 이동한 평균 거리를 나타내는 단독 치수 값을 수득하는데 사용된다. 선택된 시간 기간은 극도의 마모 조건에서도 물리적 거리가 크게 변화할 가능성이 없도록(예컨대, 1nm 미만) 충분히 짧은 것이다. 예를 들어, 복수의 측정은 동일한 초 내에 이루어질 수 있다.

[0067] 이러한 방식의 많은 측정 결과를 합산하면 잡음(noise) 효과가 평균 단계에서 말소되기 때문에 검사 중인 치수의 불확실성 값이 더 작아지게 된다.

[0068] 이러한 방법 및 시스템은 물품의 치수, 예컨대 두께를 실시간으로 측정하는데 사용할 수 있다. 본 발명자들은 3초 기간 동안 측정된 약 40,000회의 비행시간 값 세트를 사용하여 10nm 미만(일반적으로 1 내지 5nm 또는 2 내지 3nm)의 불확실성으로 치수를 측정하는 것이 가능하다는 것을 발견했다.

[0069] 다른 치수 값은 도 7에 제시된 방법이 간격을 두고, 예컨대 0.2초마다 1회, 1초마다 1회, 1분마다 1회 또는 10분마다 1회와 같이 규칙적인 간격으로 반복한다면 수득될 수 있다. 복수의 치수 값은 조절기 모듈의 메모리에

저장될 수 있고(또는) 적당하다면 저장 및/또는 분석을 위해 원거리 위치로 전송될 수 있어, 마모율의 변화를 비롯한 시간 경과에 따른 마모율의 정확한 표시를 제공할 수 있다.

[0070] 기술된 시스템과 방법은 견실하여, 실험실뿐만 아니라 현장에서도 사용될 수 있다. 이 시스템은 두께의 극한 변화를 측정할 수 있고, 얇은 방사능 표면층의 마모를 측정하는데 제한되지 않는다. 이 시스템은 초음파 펄스가 전송될 수 있는 임의의 물질, 예컨대 금속, 수지 및 플라스틱에 사용될 수 있다. 게다가, 하나의 시스템(10)에 임의의 수의 초음파 변환기가 제공될 수 있거나, 다중 시스템(10)이 나란히 사용될 수 있어 필요한 경우 복수의 여러 부품에서 다중 측정을 동시에 수행할 수 있게 한다.

[0071] 실제 시스템에서 본원에 기술된 방법을 실행할 때, 본 발명자들은 다수의 요인이 측정 정확성에 영향을 미칠 수 있음을 발견했고, 이에 대해서는 이하에서 더 상세하게 논의한다.

초음파 펄스 생성

[0073] 전송된 초음파 펄스가 진폭이 너무 낮다면, 반사된 복귀 신호는 약화 손실 및 모든 신호가 반드시 반사되는 것은 아니라는 사실로 인해 배경 잡음에 우선하여 검출하는 것이 어려울 수 있다. 저 진폭 전송 펄스는 시스템이 습한 환경(예컨대, 검사 표면에 오일이나 다른 윤활제와 같은 액체가 존재하는 경우)에서 사용된다면 특히 문제 가 있다.

[0074] 일반적으로, 외향성 신호가 강할수록 이에 대응하는 반사 신호도 강하다. 하지만, 본 발명자들은 고 진폭 외향 펄스의 방출이, 특히 반사된 신호가 전술한 시스템 예에서와 같이 초기 펄스를 방출했던 동일 변환기에 의해 검출되는 경우에, 항상 최상의 결과를 제공하는 것은 아니라는 것을 발견했다.

[0075] 전압 펄스의 방출 후, 펄스 생성기는 일반적으로 '휴식' 기간을 경험하고 그 동안 유의적인 잡음이 생긴다. 방출되는 전압 펄스가 높을수록 이 잡음 양도 많아지고 소멸하는데 걸리는 시간도 길어진다. 이 휴식 기간이 너무 크면, 신호가 잡음에서 사라질 가능성성이 있기 때문에 복귀하는 초음파 펄스의 검출이 곤란할 수 있다.

[0076] 따라서, 이러한 정반대의 이유를 고려하여 펄스 생성 모듈의 여기 전압을 선택했다. 본 발명자들은 적당한 전압이 200V 미만, 예컨대 1 내지 100V 범위, 특히 3 내지 20V 범위 내인 것을 발견했다. 이하에 기술된 샘플 시스템은 10V 전압을 사용한다.

[0077] 또한, 본 발명자들은 생성된 전압 펄스(이에 따른 초음파 펄스)가 반복가능한 형상일 때 양호한 결과가 달성된다는 것을 발견했다. 반복가능한 펄스 형상의 사용은 반복적인 비행시간 측정을 간단하게 하고, 복합 비행시간 값에 미치는 잡음의 영향을 감소시키기도 한다. 또한, 펄스 생성이 반복가능하다면(또는 생성 시의 적어도 임의의 변화가 예측가능하고 최소화된다면) 시스템은 온도에 대하여 더욱 쉽게 보정될 수 있다(이하에 더 상세히 설명됨).

[0078] 압전 초음파 변환기는 이 변환기에 전압 펄스를 공급하여 여기시킬 수 있다. 이러한 전압 펄스를 발생시키는 1 가지 방법은 커패시터(capacitor)의 사용이다. 다른 방법은 연산증폭기이다. 이 두 방법은 모두 적당히 반복가능한 펄스를 생산한다. 하지만, 증폭기에 의해 생성된 신호의 형상은 일반적으로 특정 파형을 생성시키는 커패시터에 의해 생성된 신호보다 더욱 조절가능하다. 특히, 증폭기를 사용하면 사인파의 생성이 가능해진다(예컨대, 정사각형파, 삼각형파 또는 사인파로 형상화된 전압 펄스를 생산하여)

[0079] 초음파 변환기는 일반적으로 특정 주파수에서 가장 효과적으로 작용하도록 최적화되어, 이 주파수 작동에서 또는 그 부근에서 사인파 형태의 여기 펄스를 생성하는 것이 더욱 효과적일 수 있다.

[0080] 초음파 펄스 생성의 3번째 고려할 사항은 초음파 송수신기의 주파수(및 이에 따라 초음파 펄스의 주파수)에 관한 것이다. 일반적으로, 저 주파수 신호는 더 양호한 전송 특성(예, 약화 감소)을 나타낸다. 하지만, 본 발명자들은 고주파 신호가 반복가능한 방식으로 분석하기에 더 쉽다는 것을 발견했다(이하에 더 상세하게 논의됨). 적당한 주파수는 1 내지 100MHz 범위, 특히 3 내지 50MHz 범위에서 선택될 수 있다. 전술한 시스템은 10MHz의 주파수를 이용하지만, 30MHz 이하의 주파수, 예컨대 20MHz의 주파수도 양호한 결과를 제공하는 것으로 발견되었다.

비행시간 측정

[0082] 반사된 펄스의 비행시간은 반사된 파의 소정의 특징이 수신되는 시간을 표시하여 측정할 수 있다. 이러한 수신된 시간은 외향성 펄스에서 등가의 특징이 생성된(측정되거나 또는 공지된 것일 수 있음) 시간과 비교하여 비행시간을 측정할 수 있다.

- [0083] 무엇을 기반으로 하든지 특징을 선택하면, 측정은 다수의 실제 고려사항을 필요로 한다. 일반적으로, 비행시간은 전송된 신호의 피크 진폭과 복귀 신호의 피크 진폭 사이의 시간을 측정하여 계산한다. 하지만, 검사 표면과의 상호작용은 반사된 신호의 형상을 왜곡시킬 수 있어, 모의 반사 피크와 비교 시, 측정된 반사 신호의 피크는 예상 위치로부터 이동할 수 있다. 이 현상은 도 3에 도시했고, 여기서, 모의 또는 '이상적' 반사의 경시적인 진폭 변화는 34에서 파선으로 표시되고 이에 중첩되어 실선의 측정된 반사가 비교되어 있다. 측정된 반사의 형상은 잡음으로 인해 이상적 신호에 대해 왜곡되어 있는 것을 볼 수 있을 것이다. 특히, x축에서 측정했을 때 그 피크가 나타나는 시간이 되었을 때 피크 진폭은 변했다.
- [0084] 반사된 피크의 형상 왜곡은 한번의 측정과 그 다음의 측정에서 반드시 일치하지는 않는다(예컨대, 표면 오염물은 경시적으로 분산하거나 증가할 수 있다). 피크간(peak to peak)을 측정할 때, 이러한 진폭 변동은 치수의 물리적 변화에 대응하지 않는 비행시간의 인자된 변화를 도입시켜 부정확성을 초래할 수 있다.
- [0085] 본 발명자들은 제로 진폭의 두 점 사이의 시간을 비교하는 것이 더 나은 접근법이라는 것을 발견했다. 하지만, 이 접근법 역시 도 3 및 4에 예시한 바와 같이 문제가 있다.
- [0086] 논리적 접근법은 반사파의 선두 가장자리를 조사하려는 것일 수 있다. 초기 펄스 생성에 커패시터 뱅크가 사용되었다면, 펄스 방출 후 제로 진폭에 도달하는데 지연이 있는 것이 일반적이고 이것은 최초 반사에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 효과는 반사가 일어난 시간(37)(즉, 전송된 펄스의 출발 시간(35)에 동등한 시간)의 분석을 어렵게 한다. 도 3은 이상적인(잡음 없이) 반사의 출발 시간(37)이 어떻게 모호해질 수 있는지를 (36)에서 상세하게 예시하고 있다. 비행시간이 걸보기 '제로'(38)로 측정되었다면, 시간 이동 오차가 도입된다. 연산 증폭기 시스템이 사용되고 제로 진폭에 도달하는데 지연이 없다면, 선두 가장자리 역치 값이 촉발되었을 때를 측정하는데 있어서 여전히 문제가 있다. 이것은 도 4에 도시했고, 여기서 신호의 배경 잡음은 선두 가장자리가 상승하는 제로 진폭 점의 동정을 어렵게 한다.
- [0087] 두 펄스의 초기(original) 시간 사이를 측정하는데 있어서의 다른 어려움은 데이터 분석에서 파를 동정할 때, 일반적으로 실제 제로점 자체보다 역치값이 조사된다는 것이다. 반사 진폭은 파(wave)에서 파로 변할 수 있기 때문에, 이 방법은 도 4에 예시된 바와 같이 추가 오차를 도입시킬 수 있다. 특히, 피크 진폭이 더 낮은 반사(파선으로 표시)가 역치값에 도달하는데 걸리는 시간은 피크 진폭이 높은 다른 반사(실선으로 표시)보다 더 길어서, 실제 아무것도 존재하지 않는 두 파 사이에 비행시간의 명백한 차이를 도입시킨다.
- [0088] 반사된 파의 선두 가장자리를 모호하게 할 수 있는 잡음으로 인해, 대신 비행시간은 절편 제로(40)로 측정한다. 절편 제로(40)는 파가 진폭 축과 재교차하는 점이다(즉, 펄스의 출발 시간 후 제로 진폭이 되 일정 시간이 있는 점). 본원에 기술된 시스템에 사용된 절편 제로(40)는 1차 절편 제로이거나, 또는 "2차 제로"이지만, 이후의 절편 점들도 바람직한 경우 사용될 수 있다.
- [0089] 이러한 절편점에서 파는 본질적으로 선형이어서, 이 점의 위치는 다른 잡음으로부터의 최소의 방해 하에 축과 교차하기 전과 후에 수득한 측정값으로부터 반복해서 보간(interpolation)할 수 있다. 이 점은 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이 파의 진폭 변화에 의해 본질적으로 영향을 받지 않는다. 또한, 이 점에서는 다시 오차를 추가 할 수 있는 다른 주파수로부터의 신호 내의 "숄더(shoulder)"가 존재하지 않는다.
- [0090] 제로 진폭 축의 어느 면에서든지 실제 측정된 값 사이의 선형 보간을 고려하면, 신호의 주파수가 커질수록 선의 구배가 더 가팔라지고 측정 오차는 더 작아진다. 하지만, 앞서 논한 바와 같이, 신호를 위해 선택한 주파수는 시스템의 다른 요건들, 특히 신호가 전송되어야 하는 물질의 깊이와 균형을 맞출 필요가 있다.
- [0091] 또한, 더 고주파가 사용되는 경우에는 데이터 샘플링 속도를 증가시킬 필요가 있다. 도 8은 주파수는 다르지만 동일한 속도로 샘플링되는 2개의 초음파를 예시한다. 이 도면에서 점선은 고주파 신호를 나타내고, 실선은 저주파 신호를 나타낸다. 제로 축에 절편을 보간할 때, 고주파 선의 구배가 더 가파를지라도 구배를 나타내는 데이터는 더 적다. 이 예에서, 실선은 100MHz에서 샘플링된 10MHz 신호를 나타내고, 점선은 100MHz에서 샘플링된 20MHz 신호를 나타낸다.
- [0092] 신호가 검사 표면으로부터 반사될 때, 이 신호의 일부는 초음파 변환기가 연결된 표면으로부터 검사 표면쪽으로 재반사된다. 재반사된 신호의 일부는 그 다음 2차 반사로서 다시 반사된다. 이론적으로, 이러한 2차 반사(또는 더 고차 반사, 예컨대 3차, 5차 또는 심지어 20차 반사)의 비행시간의 측정은 이러한 반사에 의해 이동한 거리가 커짐으로써 더욱 정확한 결과를 생성할 것이다.
- [0093] 하지만, 반사 차수의 선택은 다시 반사된 신호의 질 및 배경 잡음으로부터 신뢰성있게 구별되는 능력에 대하여

균형을 맞추어야 한다. 실험을 통해 본 발명자들은 고차 반사를 사용하는 편이 나을 것으로 생각할 수 있지만, 최상의 측정은 초음파가 생성된 시간과 1차 반사 사이에서 이루어진 것으로 나타난다는 것을 알아냈다.

[0094] 통계 분석

앞서 논한 바와 같이, 비행시간 측정의 정확성에 영향을 미칠 수 있는 배경 잡음을 비롯하여 다양한 근원에서 유래되는 일련의 오차가 있다. 이러한 오차를 줄이기 위한 몇몇 방식은 앞에서 논했지만, 그럼에도 불구하고 각각의 개별 측정은 초단기 기간의 측정 곤란성으로 인해 정확성이 제한적이다.

[0096] 불확실성이 적은 비행시간 값을 수득하기 위해서는 일련의 측정값('샘플')을 합산하고 여기에 통계 작업을 수행하여 물질의 두께에 대한 복합 값을 알아낸다. 합산되는 샘플이 많을수록 최종 복합값의 불확실성은 적어진다. 취할 수 있는 샘플의 수는 물리적으로 제한적인데, 그 이유는 2차 신호를 전송하기 전에 1차 반사된 신호가 수신될 때까지(아마도 추가 반사가 소멸될 때까지) 기다릴 필요가 있기 때문이다.

[0097] 적당한 샘플 세트는 1초 기간 동안 일정 간격으로 취한 샘플 10,000 내지 80,000개 사이를 포함할 수 있다. 이하에 기술되는 시스템 예는 3초마다 약 40,000개 샘플의 샘플 세트를 수집하도록 작동할 수 있다.

[0098] 이러한 크기의 샘플 세트로부터 평균값(중간값 또는 최빈값(mode)과 대조적으로)의 계산은 계산 집약적이다. 특히, 본 발명자들은 계산 속도 면에서, 단일 큰 데이터 세트에 대한 통계보다는 더 많은 작은 데이터 세트를 수득한 뒤 이 세트에 통계를 수행하는 것이 더 낫다는 것을 발견했다. 그 이유는 큰 데이터 세트의 처리는 일반적으로 데이터를 쓰고 데이터를 판독하는 것을 필요로 하고 이것이 계산 공정을 지연시키는 반면, 작은 데이터 세트는 실시간으로 처리될 수 있기 때문이다. 이 시스템의 한 변형에 따르면, 복수의 수신된 신호에서 유래된 정보를 포함하는 세트는 복수(특히 10개)의 작은 서브세트로 나뉜다. 각 서브세트는 평균을 구해 비행시간 '부분값'을 수득하고, 그 결과 수득되는 부분값은 다시 합산하여 복합 값을 수득한다. 이러한 2단계 통계 분석은 단순히 개별적으로 측정된 비행시간 값의 전체 세트의 평균을 구하는 것보다 더욱 빠르고 효율적으로 계산할 수 있다. 또한, 본 발명자들은 1초 동안 지속적인 샘플링이 1초 기간이 넘게 다중 샘플 세트를 취할 때(예컨대, 0.2초마다 한 샘플 세트 수득)만큼 정확하지 않다는 것을 발견했다. 이것은 온도 변화의 효과가 더 짧은 시간 동안 더 작아질 가능성이 있기 때문이다.

[0099] 각각의 서브세트는 샘플 크기가 2 내지 100,000회의 비행시간 값, 예컨대 2 내지 45,000회, 100 내지 10,000회 또는 3000 내지 5000회 범위인 샘플 크기를 포함할 수 있다. 이하에 기술되는 시스템 예에서, 각 서브세트에서는 4005회 샘플이 채취된다. 이러한 수는 0.2s 내에 채취된 별도의 샘플의 수로서 선택되었다. 이론적으로, 더 작은 서브세트의 수가 많을수록 복합 값을 더욱 빠르게 측정될 수 있게 할 것이다. 하지만, 0.2s 보다 짧은 시간 기간에 걸친 서브세트를 온도에 동시에 연결하기는 어렵다.

[0100] 따라서, 한 시스템 예에 따르면, 4005회의 10개의 서브세트가 연속 10회의 0.2s 기간(0.1초 이격될 수 있다) 동안 수득된다. 비행시간 부분값은 각 서브세트마다 수득된다. 이러한 10회의 부분값은 그 다음 합산하여 3초 기간 동안의 비행시간 값을 생성한다. 이 복합 비행시간 값은 약 40,000회의 개별 측정값으로부터의 데이터를 포함한다.

[0101] 각 서브세트의 평균값을 계산하기 위한 대안적 접근법은 더욱 정확한 단일 파를 생성하기 위해 샘플의 서브세트를 인터리브하는 것일 수 있다(예컨대, 최고 20개의 연속 샘플이 인터리브될 수 있다). 이와 같이 인터리브된 파는 앞서 논한 바와 같이 통계적으로 합산되어 복합 값을 생성할 수 있다.

[0102] 온도 보상

[0103] 온도 변화는 여러 측정 성질을 변화시킨다. 이러한 성질로는 무엇보다도 다음을 포함한다:

[0104] · 물질의 팽창/수축이 측정되어 기록되는 곁보기 두께의 변화

[0105] · 초음파 변환기의 반응 특징들의 변화

[0106] · 접착선의 팽창/수축

[0107] · 접착제와 측정된 물질을 통과하는 음향 속도에 대한 변화.

[0108] · 물질을 통과하는 음향 속도의 변화.

[0109] 상기 효과들은 반복적이고 대부분 온도에 1차적이다. 따라서, 치수값을 수득할 때 온도 변화에 대해 보상하는 것이 가능하다. 이것은 마모가 일어나지 않고 온도가 변동되는 경우 실험 보정(calibration)에 기초한 1차 교정

(correction)을 사용하여 수행할 수 있다. 마모는 아니지만 온도 변화를 겪은 표본을 측정하면 온도와 두께를 관련 짓는 것이 가능하다.

[0110] 도 5는 이러한 보정의 결과를 도시한 것이다. 제시된 그래프에서, 데이터 점은 표본이 마모 처리됨이 없이 가열 및 냉각되는 실험 동안 수집했다. 각 데이터 점은 0.2초 안에 포착된 두께의 4005회 측정 결과이다. 시스템은 분당 100회 수집물로 운영했고, 두께는 온도에 대하여 플로팅했다. 이 점으로부터 선형 관계가 추정되고 적당한 '직선(straight-line)' 기능이 계산되었다(스플라인 기능, 색인 표 또는 다행식과 같은 다른 옵션이 유용하지만). 이 관계는 그 다음 후속 판독값(예, 마모 시험 동안)을 초기 값에 동일시하는데 사용된다. 예를 들어, 측정된 두께는 표준 온도에 대하여 다시 보정할 수 있다.

[0111] 온도 변동은 측정된 두께 값을 유의적으로 변경시킬 수 있다. 따라서, 초음파 두께 측정값과 거의 동시에 정확한 온도 측정값을 획득하여 치수 값이 보정되도록 하는 것이 바람직할 수 있다. 정확하고 반복가능한 온도 판독값을 수득하는 1가지 방식은 초음파 센서 옆에 검사 물품의 표면에 장착된 열전대를 사용하는 것이다. 또한, 물품의 다른 깊이에서 또는 물품과 떨어진 표면(예컨대, 마모를 겪는 표면)과 같이 다른 위치에서의 추가 온도 판독값을 제공하는 것이 유용할 수도 있다.

실제 시스템

[0113] 상기 고려할 사항을 감안하는 초음파 치수 측정 시스템(100)은 도 6에 개략적으로 도시했다. 이 시스템(100)은 장치(10)와 공통된 다수의 특징을 공유한다. 특히, 시스템(100)은 초음파 송수신기(118), 및 펄스 생성 모듈(124)과 조절기 모듈(126)을 포함하는 조절 시스템(120)을 포함한다.

[0114] 초음파 변환기(118)는 접착제와 같이 고정제를 사용하여 검사 중인 물품(도시되지 않음)에 사용 시에 고정된 압전 변환기를 포함한다. 필요하다면, 초음파 변환기는 물품의 표면에 동일계에서 침착되기도 한다. 선택된 고정제는 주로 물품 및 사용 시 경험할 것으로 예상되는 조건에 따라 달라지지만, 사용 시 예상되는 온도 범위에 걸쳐서 초음파 신호의 양호한 전송을 가능하게 할 필요가 있다. 제 위치에 고정 시 센서는 물품에 초음파 신호를 전송하는데 도움을 주기 위해 백킹, 예컨대 에폭시 수지 백킹, 예를 들어 강철 보강 에폭시로 피복될 수 있다. 변환기(118)는 약 10MHz의 주파수를 갖지만, 앞서 논한 바와 같이 다른 주파수도 가능하다.

[0115] 펄스 생성 모듈(124)은 약 10V의 피크 진폭을 가진 전압 펄스를 생성하도록 작동할 수 있다. 펄스 생성 모듈은 펄스 생성기(140), 증폭기(142) 및 신호 차단기(144)를 포함한다. 펄스 생성기는 반복성 형태를 가진 실질적으로 1V의 전압 펄스를 생성하도록 작동할 수 있다. 이 예에서, 펄스는 실질적으로 10MHz의 주파수를 가진 사인파를 포함하고, 펄스 생성기(140)는 필드 프로그램가능 게이트 어레이(FPGA1)와 같은 1차 프로그램가능 요소를 포함한다. 전송될 초기 펄스의 생성뿐만 아니라 FPGA1은 반사된 신호를 수신하도록 작동할 수 있다.

[0116] 증폭기(142)는 FPGA1에 의해 생성된 형상화된 신호를 주파수 변경 없이 약 10V 펄스로 증폭시킬도록 작동할 수 있다. 이러한 고전압 신호가 FPGA1에 의해 수신되면, 이것은 FPGA1을 손상시킬 수 있다. 따라서, 증폭기가 활성화되면, 이 예에서 전계효과 트랜지스터(FET)인 신호 차단기(144)는 동시에 활성화되어, 10V 신호의 어떠한 부분도 FPGA1쪽으로 다시 전송될 수 없도록 할 수 있다. 증폭기가 10V 펄스를 전송하자마자, 신호 차단기(144)는 불활성화되어 반사된 신호가 FPGA1에 의해 검출될 수 있게 한다.

[0117] 조절기 모듈(126)은 제2 필드 프로그램가능 게이트 어레이(FPGA2)와 같은 추가 프로그램가능 요소(146), 프로세서(148) 및 메모리(149)를 포함한다. FPGA2는 검사 중인 물품의 온도를 측정하기 위해 배열된 열전대와 같은 온도 센서(150)로부터 온도 데이터를 수집하도록 작동할 수 있다.

[0118] 프로세서(148)는 프로그램가능한 요소(140) 및 (146) 모두와 신호 통신되고, FPGA1로부터의 신호 데이터와 FPGA2로부터의 온도 데이터를 수신한다. 프로세서는 수신된 신호 데이터 및 온도 데이터를 사용하여 치수 측정값을 생성한다.

[0119] 작동 시, 시스템(100)은 다음과 같은 2 세트의 작동을 프로세서의 조절 하에 실질적으로 동시에 수행한다.

[0120] 첫째, 프로그램가능 요소(140)는 1V 펄스를 50ns 기간 동안 생성한다. 신호 차단기(144)가 활성화되고 증폭기(142)가 1V 펄스를 10V로 증폭시킨다. 그 다음 신호 차단기는 불활성화된다. 10V 신호는 케이블을 통해 초음파 송수신기(118)로 전송된다. 초음파 송수신기는 신호를 초음파 펄스로 변환시키고 검사 중인 물품 내로 펄스를 전송한다. 반사된 초음파 펄스는 이어서 초음파 송수신기에 의해 수신되어 전기 시그널로 변환되고 프로그램가능 요소(140)에 의해 검출된다. 수신된 신호(및 특히 수신된 신호의 형상을 함께 나타내는 별도의 측정값들의 수집물)를 동정하는 데이터는 분석/저장을 위해, 특히 비행시간 값을 수득하기 위해 프로세서로 전송한다. 이러한

한 세트의 작업은 특정 시간 기간 동안 소정의 횟수로 반복하고, 이 예에서는 0.2s 내에 약 4005회 반복된다.

[0121] 초음파 송수신기(118)는 별도로 구현된 초음파 전송기 및 초음파 수신기로 교체될 수 있다. 이것은 신호 차단기(144)를 불필요하게 하도록, 전송기에 의해 제공된 여기로부터 수신기를 분리하는데 도움을 줄 것이다. 이는 도 6에서 송수신기(118)에 과선으로 표시하여 전송기와 별개의 수신기의 사용을 나타낸다.

[0122] 상기 비행시간 데이터의 수집과 동시에, 프로세서는 제2 프로그램가능 요소(146)에 명령하여 온도 센서(150)로부터 온도 데이터를 수집한다. 측정된 온도 값(2회 측정으로 구성됨)은 FPGA1이 소정의 샘플 수를 수집할 때까지 메모리에 저장한다. 이러한 작업은 실질적으로 동시에 개시 및 종료하도록 배열된다.

[0123] 일단 소정의 측정 수에 대한 신호 데이터가 수집되면, 프로세서는 앞서 논한 바와 같이 1차 절편 제로의 위치를 정하여 각 측정값들에 대한 비행시간을 결정한다. 이러한 비행시간 값의 세트는 그 다음 평균을 구하여 단일 비행시간 값으로 만든 뒤, 온도 값을 사용하여 보정한다. 그 다음, 온도 독립적 치수 값을 계산한다. 이 값은 측정 작업이 일어난 0.2s 동안에 검사 중인 물품의 두께를 나타낸다.

[0124] 이 시스템은 상기 작업들을 소정의 횟수로 반복하도록 작동하여 추가 치수 값을 수득할 수 있고, 그 다음 합산하여 장시간의 기간(예, 1s)에 걸쳐 평균을 구한 더욱 정확한 복합 치수 값을 수득한다. 특히, 시스템은 상기 작업을 10회(예컨대 약 0.5초의 간격을 두고) 반복하도록 배열되고, 그 결과 수득되는 10회 치수 값의 평균을 구하여 5초 기간 동안의 복합 치수 값을 수득한다.

[0125] 전체 방법(2차 평균화 단계를 포함해서)은 필요한 만큼 다수 회 반복할 수 있다. 예를 들어, 이 방법은 일정한 간격으로, 예컨대 1분마다, 또는 10분마다 반복하여 복수의 복합 치수 값을 수득할 수 있다. 이러한 복합 치수값, 및 아마도 이들의 각각의 측정 횟수의 기록은 보관되어(메모리(149)에, 또는 다른 아마도 떨어진 위치에서), 경시적인 치수 변화(존재한다면)를 나타내는 기록을 생성할 수 있다.

[0126] 상기 시스템 및 방법은 금속, 플라스틱 또는 복합재와 같은 일정 범위의 물질들에서 치수를 측정하는데 사용될 수 있고, 이 물질의 성질 및 두께는 생성되는 신호 품질에 영향을 미칠 것이다. 일반적으로, 시스템은 또한 물질의 성질에 따라 초기 치수가 3 내지 400mm 또는 3 내지 300mm, 더욱 일반적으로 3 내지 100mm, 또는 3 내지 30mm 범위인 물품의 치수 변화를 측정할 수 있다.

[0127] 이 시스템은 일정 범위의 조건 하에 작동할 수 있고, 특히 실험실에서의 사용에 제한되지 않는다. 예를 들어, 시스템이 자동차 차량 또는 항선과 같은 운반수단일 수 있는 검사 중인 기계에 장착되어 운반수단이 사용되는 동안 치수를 실시간으로 측정하는데 사용될 수 있다.

[0128] 시스템은 다중 초음파 변환기를 포함하여 동일 운반수단에서 다수의 부품이 동시에 측정될 수 있도록 할 수 있다. 이러한 시스템에서 각 초음파 변환기는 각각의 온도 감지 배열을 포함할 수 있지만, 단일 프로세서와 단일 펄스 생성기를 공유할 수도 있다.

[0129] 조절 시스템은 리모트 컨트롤 허브를 갖고 통신할 수 있다(예컨대, 무선 통신). 치수 측정값은 다른 측정 데이터, 예컨대 시간 및 온도 데이터와 함께 무선 전송 장치를 사용하여 조절 시스템에 의해 조절 허브로 전송될 수 있다. 따라서, 시스템에서 획득된 데이터는 원거리 위치에서 실질적으로 실시간으로 분석될 수 있다.

[0130] 다양한 다른 변형이 본 발명의 범위에서 벗어남이 없이 이루어질 수 있다. 예를 들어, 펄스 생성의 다른 수단이 사용될 수 있고, 다른 온도 측정 방법이 사용될 수도 있다. 도 1과 6에 도시된 설계도는 단지 예시적이며 언급된 부품들의 물리적 위치가 반드시 표시된 대로인 것은 아니라는 것을 이해할 것이다. 특히, 제1 프로그램가능 요소(140)는 증폭기 및 신호 차단기를 포함하는 하우징과 분리될 수 있는 제2 프로그램가능 요소(146)를 포함하는 하우징과 함께 구성될 수 있다. 프로세서(148)는 프로그램가능 요소와 같은 하우징에 포함될 수 있거나, 또는 시스템의 나머지로부터 떨어져 있을 수 있다.

[0131] 방법 단계들은 임의의 적당한 순서로 수행될 수 있고 특히 신호들을 통계적으로 합산하는 단계가 방법의 임의의 적합한 단계에서 일어날 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 도 6과 관련하여 앞서 설명한 바와 같이, 신호 정보는 각 수신된 신호에 대하여 비행시간 값이 수득된 후에 합산한다. 대신에, 수신된 전기 신호를 나타내는 비행시간 데이터를 합산한 후, 이 합산된 데이터로부터 복합 비행시간 값을 수득할 수 있다는 것도 알고 있을 것이다. 대안적으로, 복수의 개별 치수 값은 각 반사된 신호마다 하나씩 또는 반사된 신호의 서브세트로 수득될 수도 있다. 이러한 치수 값들은 그 다음 통계적으로 합산하여 복합 치수 값을 생성할 수 있다.

[0132] 적당한 전압, 주파수 및 샘플 세트 크기는 검사되는 물질의 종류, 물질의 두께, 센서 종류 및 작동 온도에 따라 달라질 수 있다는 것도 알고 있을 것이다. 도 6과 관련하여 앞서 설명한 시스템은 강철과 같은 금속에 사용하기

위해 최적화되었다. 하지만, 다른 물질에는 논의된 것보다 더 크거나 더 작은 샘플 크기, 더 높거나 낮은 전압 및 더 높거나 낮은 주파수를 필요로 할 수도 있다. 게다가, 다른 물질들은 온도 변화에 크게 영향을 받지 않을 수 있어, 온도 보정이 항상 필요한 것은 아닐 수 있다.

[0133]

이상의 명세서에서는 특히 중요한 것으로 생각되는 본 발명의 특징들에 대하여 주의를 끌기 위해 노력하지만, 본 출원인은 여기서 특별히 강조된 것인지의 여부에 상관없이 앞서 언급되고(또는) 도면에 도시된 임의의 특허 가능한 특징들 또는 특징들의 조합에 대한 보호를 주장하는 것으로 이해되어야 한다.

부호의 설명

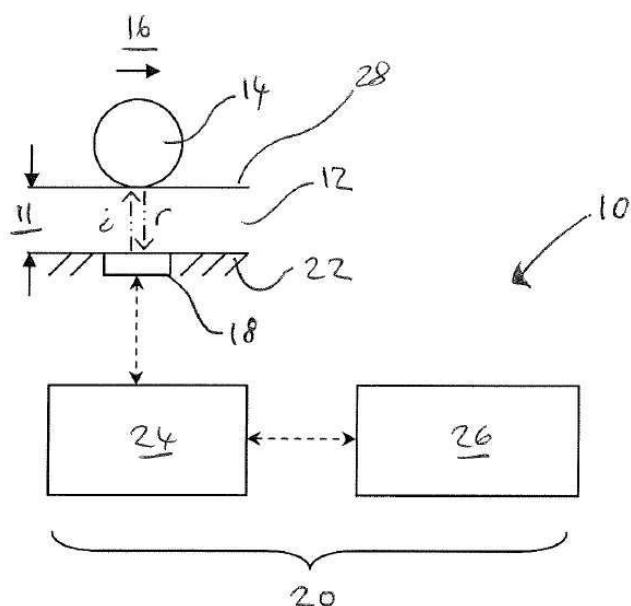
[0134]

10 : 장치, 12 : 검사 중인 물품, 14 : 제2 물품, 18 : 송수신기,

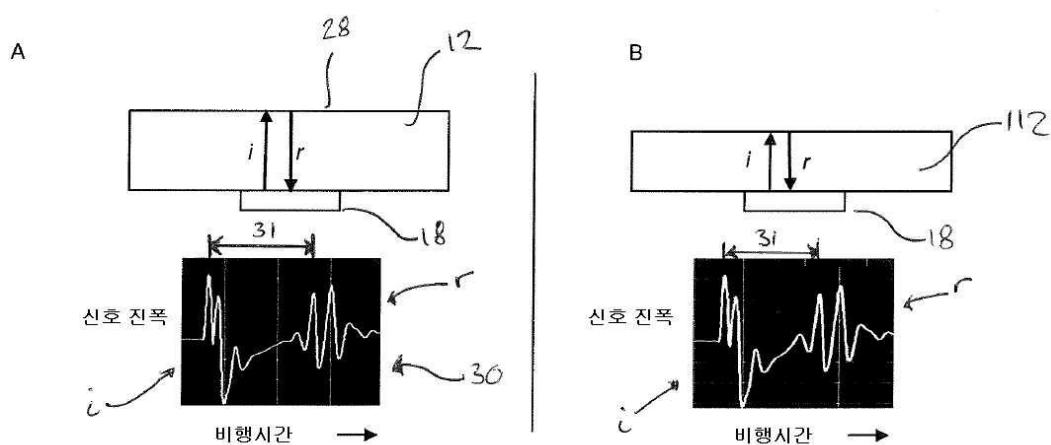
20 : 조절 시스템, 22 : 표면, 24 : 펄스 생성 모듈, 26 : 조절기 모듈

도면

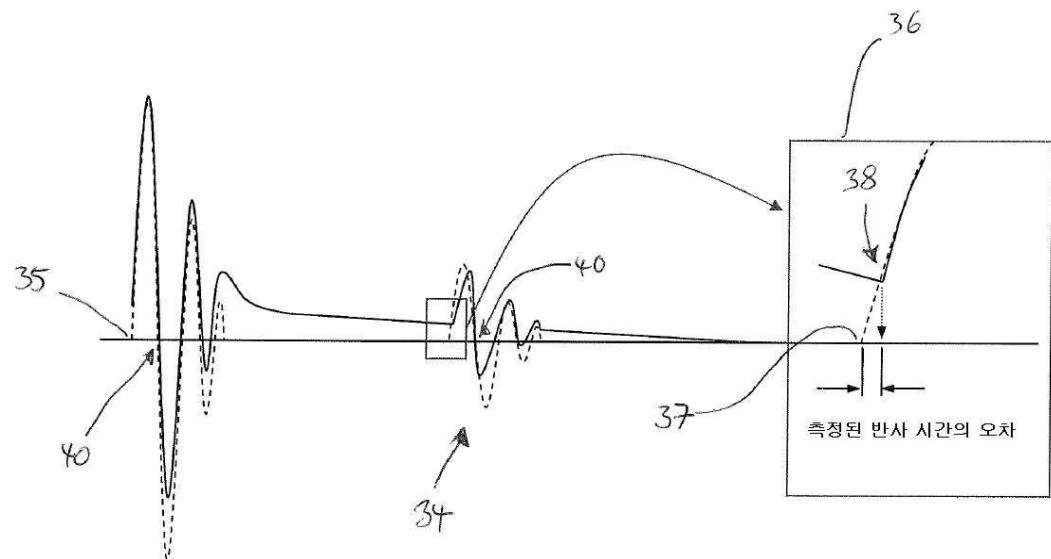
도면1



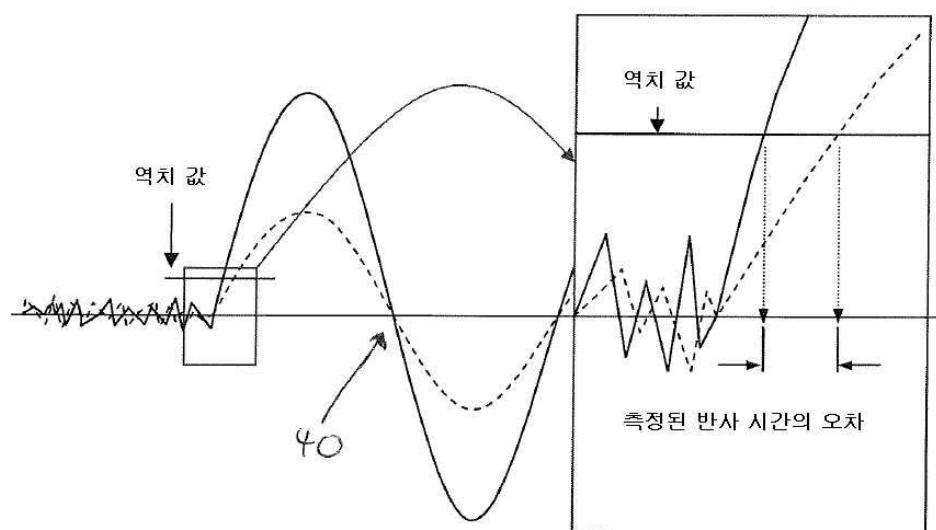
도면2



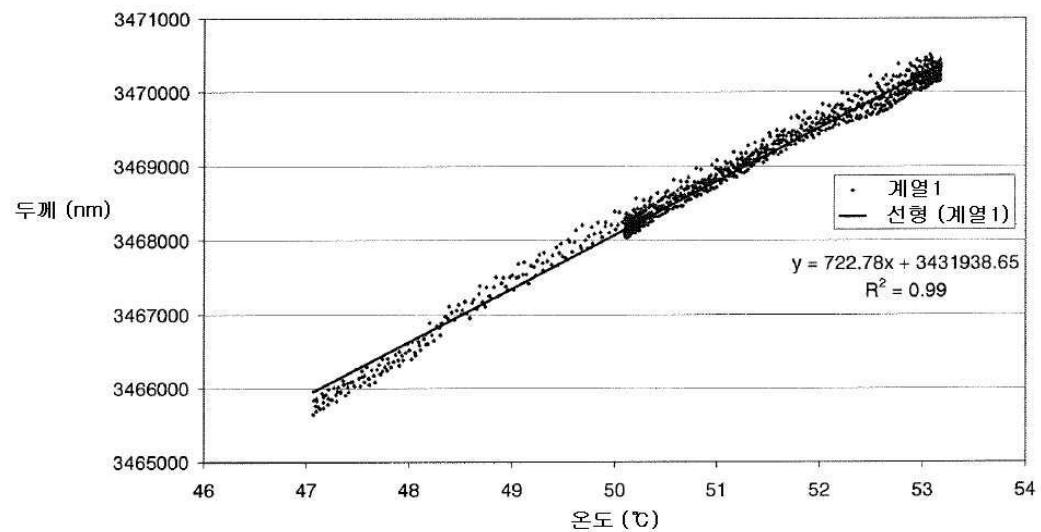
도면3



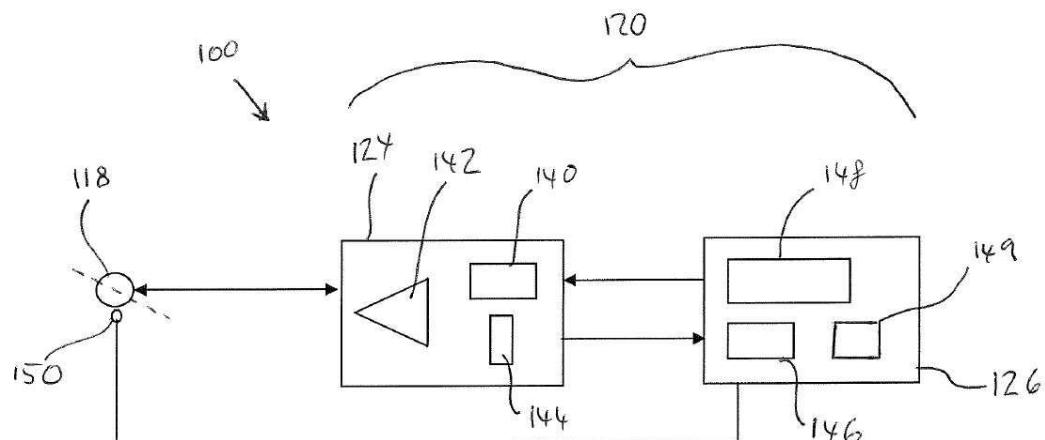
도면4



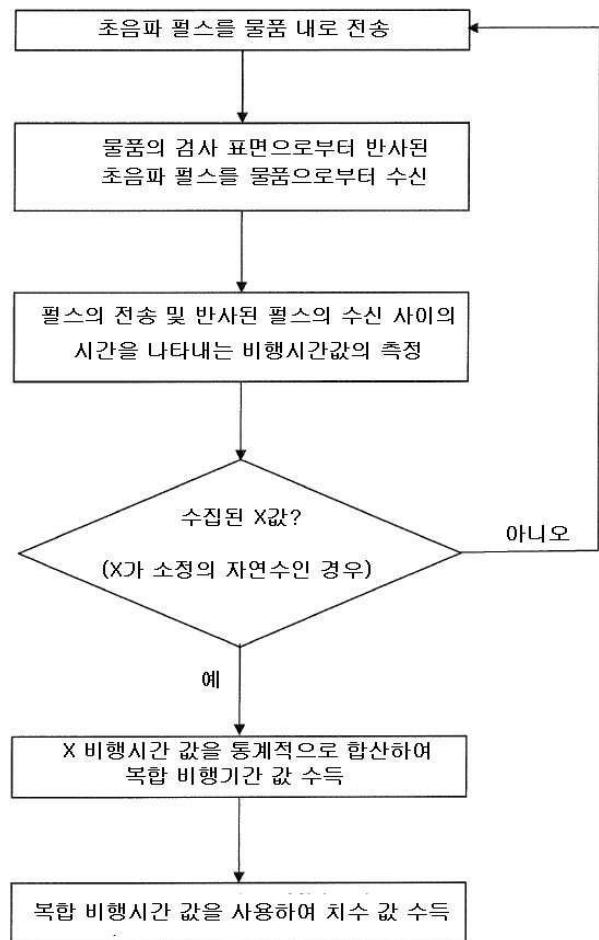
도면5



도면6



도면7



도면8

