



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년01월10일
(11) 등록번호 10-2065262
(24) 등록일자 2020년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01K 15/00 (2006.01) G01F 1/32 (2006.01)
G01K 13/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01K 15/005 (2013.01)
G01F 1/32 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0090193
(22) 출원일자 2018년08월02일
심사청구일자 2018년08월02일
(65) 공개번호 10-2019-0016906
(43) 공개일자 2019년02월19일
(30) 우선권주장
JP-P-2017-154667 2017년08월09일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2685854 B2*
JP10030949 A
JP3570836 B2
JP2002148084 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
가부시키키가이샤 오바루
일본국 도쿄도 신쥬쿠구 가미오치아이 3초메 10반 8고
(72) 발명자
다카하시 요시히로
일본국 도쿄도 신쥬쿠구 가미오치아이 3초메 10반 8고 가부시키키가이샤 오바루 내
다나부 요시미네
일본국 도쿄도 신쥬쿠구 가미오치아이 3초메 10반 8고 가부시키키가이샤 오바루 내
(74) 대리인
강일우

전체 청구항 수 : 총 4 항

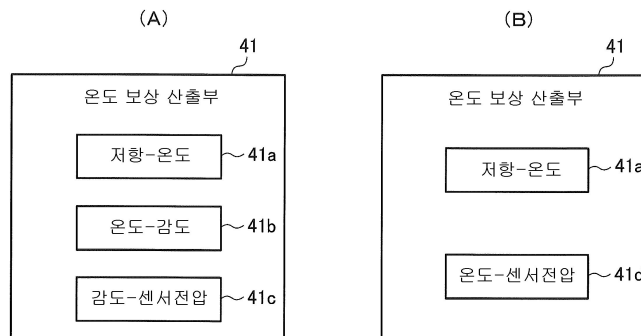
심사관 : 홍정훈

(54) 발명의 명칭 **감온 소자의 구동 방법, 구동 장치, 및 와류 유량계**

(57) 요약

온도가 변화되어도 센서의 감도를 자동적으로 유지하기 위한 감온 소자의 구동 방법, 구동 장치, 및 와류 유량계를 제공한다. 온도의 변화에 의해 저항값이 변화되는 감온 소자의 온도 특성에 의한 출력 변화를 보상하는 감온 소자의 구동 방법이다. 감온 소자의 저항값을 구하는 저항값 산출 단계와, 구한 저항값으로부터, 주위 온도 또는 피측정 유체의 온도가 변화되어도 감온 소자의 온도 변화에 대한 출력 변화가 일정해지는 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류를 구하는 온도 보상 산출 단계와, 구한 구동 전압 또는 구동 전류를 감온 소자에 출력하는 구동 전압 또는 구동 전류 제어 단계를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01K 13/02 (2013.01)

G01K 2013/026 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

온도의 변화에 의해 저항값이 변화되는 감온 소자의 온도 특성에 의한 출력 변화를 보상하는 감온 소자의 구동 방법으로서,

상기 감온 소자의 저항값을 구하는 저항값 산출 단계와,

상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류를 구하는 온도 보상 산출 단계와,

상기 구한 구동 전압 또는 구동 전류를 상기 감온 소자에 출력하는 구동 전압 또는 구동 전류 제어 단계를 포함하고,

상기 온도 보상 산출 단계가,

상기 구한 저항값에 기초하여 상기 감온 소자의 온도를 구하는 온도 산출 단계와,

상기 구한 온도에 기초하여 상기 감온 소자의 감도를 구하는 감도 산출 단계와,

주위 온도 또는 피측정 유체의 온도가 변화되어도 상기 감온 소자의 감도를 온도 변화의 전후로 일정하게 유지하기 위한 상기 감온 소자의 감도와 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류와의 관계에 기초하여, 상기 감도 산출 단계에서 구한 감도로부터 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류의 보상 계수를 구하는 보상 계수 산출 단계와,

상기 구한 보상 계수에 기초하여 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류를 구하는 구동 전압 또는 구동 전류 산출 단계를 갖는 것을 특징으로 하는 감온 소자의 구동 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 감온 소자가 감온 소자 센서인 것을 특징으로 하는 감온 소자의 구동 방법.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 기재된 감온 소자의 구동 방법을 실시하는 것을 특징으로 하는 와류 유량계.

청구항 4

온도의 변화에 의해 저항값이 변화되는 감온 소자의 온도 특성에 의한 출력 변화를 보상하는 감온 소자의 구동 장치로서,

상기 감온 소자의 저항값을 구하는 저항값 산출부와,

상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류를 구하는 온도 보상 산출부와,

상기 구한 구동 전압 또는 구동 전류를 상기 감온 소자에 출력하는 구동 전압 또는 구동 전류 제어부를 갖고,

상기 온도 보상 산출부가,

상기 구한 저항값에 기초하여 상기 감온 소자의 온도를 구하고,

상기 구한 온도에 기초하여 상기 감온 소자의 감도를 구하고,

주위 온도 또는 피측정 유체의 온도가 변화되어도 상기 감온 소자의 감도를 온도 변화의 전후로 일정하게 유지

하기 위한 상기 감온 소자의 감도와 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류와의 관계에 기초하여, 상기 구한 감도로부터 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류의 보상 계수를 구하고,

상기 구한 보상 계수에 기초하여 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류를 구하는 것을 특징으로 하는 감온 소자의 구동 장치.

청구항 5

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 감온(感溫) 소자의 구동 방법, 구동 장치, 및 와류 유량계에 관한 것으로, 보다 상세하게는 온도의 변화에 의해 저항값이 변화되는 감온 소자의 온도 특성에 의한 출력 변화를 보상하는 감온 소자의 구동 방법, 구동 장치, 및 와류 유량계에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 와류 유량계는, 카르만 와류(Karman vortex)를 발생시키는 와류 발생체(블러프 바디(bluff body)라고도 한다), 카르만 와류를 검출하는 센서(그 일례로서 감온 소자), 및 센서에서 검출한 신호를 처리하는 변환기로 구성된다. 와류 발생체는, 예를 들어 삼각 기둥 형상으로 형성되고, 측정관 내에서 유체의 흐름에 직각으로 놓여진다. 센서(감온 소자)에서는, 와류 발생체에 발생하는 카르만 와류에 의해서 발생한 차압(差壓)을 유속의 변화로 취하여, 검출할 수 있다.

[0003] 카르만 와류에서 발생하는 주파수(와류 주파수라고도 한다)는 유속에 비례한다. 변환기에서는, 검출한 와류 주파수로부터 측정관 내의 유속을 구하고, 이 유속에 측정관의 단면적을 곱하여 유량을 구하고 있다.

[0004] 또한, 변환기에서는, 와류 주파수를 검출할 때, 센서로부터 출력된 신호를 대역 통과 필터(band-pass filter)에 통과시켜서 노이즈를 제거한다. 예를 들어, 특허문헌 1에는, 통과시키는 대역 통과 필터를 선택하는 기술이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 2001-153698호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 그런데, 주위 온도 또는 피측정 유체의 온도가 낮은 경우에는, 센서의 감도(상세하게는, 온도 변화에 대한 출력 변화의 크기)가 저하된다. 센서의 감도가 저하된 경우, 필터 후의 신호 파형의 진폭이 작아지고, 적절한 대역 통과 필터를 선택할 수 없다. 이 때문에, 이 신호 파형을 펄스화하면, 노이즈를 신호로서 펄스화하거나 반대로 신호를 노이즈로서 펄스화하지 않기 때문에, 트리거 파형은 간격이나 진폭이 고르지 않게 되고, 출력 펄스에는 노이즈가 섞인다.

[0007] 드물게, 주위 온도 또는 피측정 유체의 온도가 낮아지고, 출력 펄스에 노이즈가 섞일 것 같은 경우, 센서의 감도를 높이기 위해, 작업자는 와류 유량계의 설치 현장에서 센서의 구동 전압을 수동으로 조정할 필요가 있다.

[0008] 그러나 공업 계기인 와류 유량계는 위험 장소[방폭(防爆) 기기를 필요로 한다]에 설치되는 경우가 많고, 센서의 구동 전압을 조정하기 어려우며, 또한 그 조정 중에는 센서에 의한 계측을 중단해야 한다고 하는 문제가 있다.

[0009] 본 발명은 상술과 같은 실정을 감안하여 이루어진 것으로, 온도가 변화되어도 센서의 감도를 자동적으로 유지하기 위한 감온 소자의 구동 방법, 구동 장치, 및 와류 유량계를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 제1 기술 수단은, 온도의 변화에 의해 저항값이 변화되는 감온 소자의 온도 특성에 의한 출력 변화를 보상하는 감온 소자의 구동 방법으로서, 상기 감온 소자의 저항값을 구하는 저항값 산출 단계와, 상기 구한 저항값으로부터, 주위 온도 또는 피측정 유체의 온도가 변화되어도 상기 감온 소자의 온도 변화에 대한 출력 변화가 일정해지는 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류를 구하는 온도 보상 산출 단계와, 상기 구한 구동 전압 또는 구동 전류를 상기 감온 소자에 출력하는 구동 전압 또는 구동 전류 제어 단계를 포함하는 것을 특징으로 한 것이다.
- [0011] 제2 기술 수단은, 상기 온도 보상 산출 단계가, 상기 구한 저항값에 기초하여 상기 감온 소자의 온도를 구하는 온도 산출 단계와, 상기 구한 온도에 기초하여 상기 감온 소자의 감도를 구하는 감도 산출 단계와, 주위 온도 또는 피측정 유체의 온도가 변화되어도 상기 감온 소자의 감도를 온도 변화의 전후로 일정하게 유지하기 위한 상기 감온 소자의 감도와 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류와의 관계에 기초하여, 상기 감도 산출 단계에서 구한 감도로부터 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류의 보상 계수를 구하는 보상 계수 산출 단계와, 상기 구한 보상 계수에 기초하여 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류를 구하는 구동 전압 또는 구동 전류 산출 단계를 갖는 것을 특징으로 한 것이다.
- [0012] 제3 기술 수단은 상기 감온 소자가 감온 소자 센서인 것을 특징으로 한 것이다.
- [0013] 제4 기술 수단은, 온도의 변화에 의해 저항값이 변화되는 감온 소자의 온도 특성에 의한 출력 변화를 보상하는 감온 소자의 구동 장치로서, 상기 감온 소자의 저항값을 구하는 저항값 산출부와, 상기 구한 저항값으로부터, 주위 온도 또는 피측정 유체의 온도가 변화되어도 상기 감온 소자의 온도 변화에 대한 출력 변화가 일정해지는 상기 감온 소자의 구동 전압 또는 구동 전류를 구하는 온도 보상 산출부와, 상기 구한 구동 전압 또는 구동 전류를 상기 감온 소자에 출력하는 구동 전압 또는 구동 전류 제어부를 갖는 것을 특징으로 한 것이다.
- [0014] 제5 기술 수단은 상술의 감온 소자의 구동 방법을 실시하는 것을 특징으로 하는 와류 유량계다.

발명의 효과

- [0015] 본 발명에 의하면, 온도 변화에 대한 출력 변화를 일정하게 하는 구동 전압(구동 전류)을, 감온 소자의 저항값으로부터 구하여 감온 소자에 출력하므로, 온도가 변화되어도 감온 소자의 감도를 자동적으로 유지할 수 있다. 그 결과, 감온 소자의 감도를 조정하기 위해, 작업자가 와류 유량계의 설치 현장에 나가지 않아도 되고, 또한 감온 소자에 의한 계측을 중단할 필요도 없다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 관한 와류 유량계의 검출기를 나타내는 도면이다.
 도 2는 도 1의 검출기에 의한 카르만 와류의 검출 원리를 설명하는 도면이다.
 도 3은 도 1의 와류 유량계의 구성도이다.
 도 4는 도 3의 온도 보상 산출부의 구성도이다.
 도 5는 센서 온도와 파고치(波高値) 변화 비율과의 관계, 및 센서 온도와 센서 구동 전압과의 관계를 설명하는 도면이다.
 도 6은 본 실시예의 파형 데이터를 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 이하, 첨부 도면을 참조하면서 본 발명의 감온 소자의 구동 방법, 구동 장치, 및 와류 유량계의 적합한 실시형태에 대해 설명한다.
- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 관한 와류 유량계의 검출기를 나타내는 도면이며, 예를 들어 플랜지형의 검출기(1)를 나타내고 있다. 도 2는 도 1의 검출기에 의한 카르만 와류의 검출 원리를 설명하는 도면이다.
- [0019] 검출기(1)는, 예를 들어 삼각 기둥 형상으로 형성된 와류 발생체(3)를 갖고, 와류 발생체(3)의 측면이 피측정 유체의 흐름(도 2의 화살표 방향)에 직각이 되도록, 원통 형상의 측정관(2) 내에 설치되어 있다. 측정관(2)의 상면에는 센서 하우징(4)이 설치되고, 예를 들어 볼트 등의 체결 부재로 측정관(2)에 고정된다. 센서 하우징

(4)의 상방에는, 장착통(5)을 통해 단자 박스(6)가 설치되어 있다.

- [0020] 또한, 검출기(1)에는 바이패스 유로가 설치되어 있다. 이 바이패스 유로는 도 2에 나타내는 바와 같이, 와류 발생체(3)의 상류 측에 개방[바이어스 유입구(11)]되고, 센서 하우징(4)을 경유하여 와류 발생체(3)의 하류 측에 개방[바이어스 유출구(14)]되어 있다. 센서 하우징(4)에는, 예를 들어 니들 밸브(12a, 12b), 필터(13), 한 쌍의 감온 소자 센서(7)가 수납되어 있다. 또한, 도 2에서는 검출 원리의 설명을 용이하게 하기 위해, 니들 밸브(12a, 12b)나 필터(13)를 센서 하우징(4)의 외부에 배치한 도면을 나타내고 있다.
- [0021] 한 쌍의 감온 소자 센서(7)는, 도 3에서 후술하는 바와 같이, 브릿지 회로의 2변(邊)을 구성하고, 정전류 회로로부터의 미약한 전류에 의해 가열되어 있다. 또한, 감온 소자 센서는, 예를 들어 서미스터(thermistor), 열전대, 측온 저항체, 반도체 온도 센서 등을 말한다.
- [0022] 유체가 측정관(2) 내를 흐르면, 와류 발생체(3)의 하류에는 유속에 비례한 카르만 와류가 발생하고, 와류 발생체(3)의 양측에는, 카르만 와류에 의한 교호(交互)의 압력 변동이 발생한다. 바이패스 유로에는 카르만 와류에 동기한 교번(交番)적인 유속 변화가 발생하고, 감온 소자 센서(7)의 표면에는 미약한 온도 변화가 발생한 이것에 의해, 감온 소자 센서(7)에서는, 와류 발생체(3)에 발생하는 변동 압력에 대응한 신호(와류 신호라고도 한다)가 검출되고, 단자 박스(6)를 경유하여 도 3에서 후술하는 변환기(10)에 출력된다. 보다 구체적으로는, 한 쌍의 감온 소자 센서(7)의 저항값이 교대로 변화되므로, 변환기(10)에서는, 카르만 와류에 동기한 교번 전류를 검출할 수 있다. 또한, 변환기를 검출기로부터 분리한 변환기 분리형의 예로 설명하지만, 변환기 일체형이라도 좋다.
- [0023] 도 3은 와류 유량계의 구성도이다.
- [0024] 변환기(10)는, 유량 지시계(16), 제어부(15), 통신 I/F(17), 앰프부(18), 필터부(19) 등을 가지며, 이들은 버스로 접속된다. 유량 지시계(16)에는, 변환기(10)에서 구한 피측정 유체의 유량 등이 표시된다.
- [0025] 제어부(15)는 통신 I/F(17)를 통해 검출기(1)나 외부 기기와 통신 가능하다. 또한, 제어부(15)는, 예를 들어 1개 또는 복수개의 CPU(Central Processing Unit) 등으로 이루어지고, 예를 들어 ROM에 저장되어 있는 각종 프로그램이나 데이터를 RAM에 로딩하고, 이 로딩한 RAM 내의 프로그램을 실행한다. 이에 의해, 와류 유량계의 동작을 제어할 수 있다.
- [0026] 앰프부(18)는, 예를 들어 정전류 회로(20), 증폭기(21), 출력 회로(22), 센서 전압 제어 회로(23) 등을 갖는다. 정전류 회로(20)는 검출기(1)의 감온 소자 센서(7)에 전류를 공급하고 있다. 증폭기(21)는 감온 소자 센서(7)로부터 출력된 와류 신호를 증폭한다. 이 증폭된 와류 신호는 필터부(19)에 출력된다.
- [0027] 필터부(19)는, 가변 BPF(26), 콤퍼레이터(27)를 갖고 있다. 가변 BPF(26)는, 증폭기(21)에서 증폭된 와류 신호를 통과시키고, 이 와류 신호에 포함되는 불필요한 주파수 대역의 신호를 제거한다. 콤퍼레이터(27)는 가변 BPF(26)를 통과한 필터 후 파형을 펄스화한다. 펄스화된 트리거 파형은 앰프부(18)의 출력 회로(22)에 출력된다.
- [0028] 유량에 비례한 펄스 출력이 얻어지면, 카르만 와류에서 발생하는 주파수(와류 주파수라고도 한다)를 검출할 수 있다. 와류 주파수는 유속에 비례하고, 그 관계식은 이하와 같이 된다.
- [0029] $f=St \cdot V/d$
- [0030] f 는 와류 주파수, V 는 유체의 평균 유속, d 는 와류 발생체의 폭, St 는 스트로우홀 수(Strouhal number)(상수)이다. 이 스트로우홀 수는 레이놀즈 수(흐름 상태를 결정하는 수치)에 의해 변화되지만, 광범위한 레이놀즈 수에 있어서 거의 일정해진다.
- [0031] 따라서 스트로우홀 수가 일정한 범위에서는, 와류 주파수(f)는 평균 유속(V)에 비례한다는 것을 알 수 있다. 또한, 와류 발생체의 폭(d)은 이미 알려져 있기 때문에, 와류 주파수(f)를 검출하면 측정관 내의 평균 유속(V)을 구할 수 있다. 여기서, 출력 회로(22)에서는, 이 평균 유속(V)에 측정관의 단면적을 곱하여 유량을 구하고 있고, 유량 지시계(16) 등에 출력한다.
- [0032] 또한, 상기의 제어부(15)는, 저항값 산출부(40), 온도 보상 산출부(41), 구동 전압·전류 제어부(42)를 갖고 있다.
- [0033] 저항값 산출부(40)는 감온 소자 센서(7)의 저항값을 구하고 있다. 상세하게는, 정전류 회로(20)에는, 감온 소자 센서(7)에 발생된 전류나 전압을 검출하는 전류 검출기나 전압 검출기, A/D 컨버터가 설치되어 있고, 저항값 산

출부(40)는 A/D 컨버터에서 디지털 변환된 전류치 및 전압치로부터 감온 소자 센서(7)의 저항값을 구하고 있다. 저항값 산출부(40)의 연산 결과는 온도 보상 산출부(41)에 출력되고, 온도 보상 산출부(41)에서는, 감온 소자 센서(7)의 온도 특성에 의한 출력 변화를 보상하고 있다. 또한, 전류치 및 전압치로부터 감온 소자 센서(7)의 저항값을 구하는 예로 설명했지만, 다른 수법으로 감온 소자 센서(7)의 저항값을 구해도 좋다.

[0034] 도 4는 도 3의 온도 보상 산출부의 구성도이다. 온도 보상 산출부(41)는, 주위 온도 또는 피측정 유체의 온도가 변화되어도 감온 소자 센서의 온도 변화에 대한 출력 변화의 크기를 일정하게 하기 위해, 도 3의 저항값 산출부(40)에서 구한 센서 저항값으로부터 감온 소자 센서(7)의 구동 전압을 구하고 있다.

[0035] 먼저, 온도 보상 산출부(41)는, 저항값 산출부(40)에서 구한 센서 저항값과 도 4(A)에 나타내는 저항-온도 특성(41a)으로부터 감온 소자 센서의 온도(T)를 구하고 있다.

[0036] 감온 소자 센서는, 반도체의 온도 계수를 이용하여 온도를 검출할 수 있는 소자이며, 온도에 의해 저항값이 변화된다. 감온 소자 센서의 저항-온도 특성은 수학적 식 1로 나타나는 것이 알려져 있다.

수학적 식 1

[0037]
$$R = R_0 \exp \left\{ B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\}$$

[0038] T는 센서의 온도(K), R은 센서 저항값(Ω), B는 감온 소자 상수(센서 고유의 값이다), T₀는 기준 온도, R₀는 기준 온도일 때의 센서 저항값이며, 수학적 식 1에 나타내는 바와 같이, 저항값은 온도가 높아짐에 따라 지수함수적으로 작아진다.

[0039] 또한, 수학적 식 1은 수학적 식 2와 같이 변형할 수 있고, 이 수학적 식 2를 T에 대해 정리하면, 수학적 식 3으로 나타난다. 이 수학적 식 2가 저항-온도 특성(41a)에 상당하고, 도 3의 저항값 산출부(40)에서 센서 저항값(R)을 구하면, 수학적 식 3으로부터 센서의 온도(T)를 구할 수 있다.

수학적 식 2

[0040]
$$\frac{R}{R_0} = \exp \left\{ B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\}$$

수학적 식 3

[0041]
$$T = \left\{ \frac{\ln (R/R_0)}{B} + \frac{1}{T_0} \right\}^{-1}$$

[0042] 다음에, 온도 보상 산출부(41)는, 구한 센서의 온도(T)와 도 4(A)에 나타내는 온도-감도 특성(41b)으로부터 감온 소자 센서의 감도를 구하고 있다.

[0043] 감온 소자 센서에 전류를 흘리면, 주울의 법칙에 따라서 발열(자기 발열이라고도 한다)되지만, 센서의 저항값은 온도에 대응하여 변화되므로, 센서의 감도를 구하는 경우에는 자기 발열을 고려할 필요가 있다. 충분한 시간이 경과한 평형 상태에 있어서의 주위 온도와의 온도차(t)는, 후술의 자기 발열에 의한 온도에 상당하고, 센서에 흘리는 전류(I), 소정의 비례 상수(방열 계수, 열저항이라고도 한다)(Θ)에 의해서 수학적 식 4로 나타난다.

수학적 식 4

[0044]
$$t = \Theta \cdot RI^2$$

[0045] 여기서, 카르만 와류의 발생에 의해 감온 소자 센서에 발생된 온도 변화(ΔT)는, 자기 발열한 센서와 유체와의 온도차에 의한 강제 대류로 발생된 것이라고 생각할 수 있다. 이 때의 센서의 저항 변화(ΔR)는 수학적 5로 나타난다.

수학적 5

[0046]
$$\Delta R = \left| \frac{dR}{dT} \right| \Delta T$$

[0047] dR/dT 는 센서의 온도 계수이며, 센서의 온도에 의해 결정된다. 이 센서의 온도 계수(dR/dT)는, 수학적 1을 T 로 미분하여 수학적 6으로 나타난다.

수학적 6

[0048]
$$\frac{dR}{dT} = - \frac{B}{T^2} \cdot R$$

[0049] 따라서, 온도 계수(dR/dT)는 부(負)의 특성을 갖고, 그 절대치는 온도가 낮을수록 커진다.

[0050] 한편, 유체에 접촉하는 것에 의한 센서의 온도 변화를 생각하면, 열전달율(h)은 수학적 7로 나타난다.

수학적 7

[0051]
$$h = \frac{Q}{A(T_w - T_a)}$$

[0052] Q 는 열 이동량(W), A 는 전파(傳搬) 면적(m^2), T_w 는 센서의 온도(K), T_a 는 피측정 유체의 온도(K)이다.

[0053] 감온 소자 센서의 주위 온도와 유체의 온도가 동일한 경우, $T_w - T_a$ 는 자기 발열에 의한 온도(t)가 되고, 수학적 7은 $Q = A \cdot t \cdot h$ 로 된다. 또한, 센서의 열용량(C)으로 하면, $Q = C \Delta T$ 이므로, 센서의 온도 변화(ΔT)는 수학적 8로 나타난다.

수학적 8

[0054]
$$\Delta T = \frac{Q}{C} = \frac{At}{C} h$$

[0055] 또한, 상기의 열전달율(h)은, 누셀트 수(Nusselt number)(Nu)를 이용하면, 유체의 열전도율(k), 대표 길이(L)로서 수학적 9로 나타난다.

수학적 9

[0056]
$$h = Nu \frac{k}{L}$$

[0057] 감온 소자 센서가 평판이며, 센서 부근의 흐름이 센서에 대해서 평행한 층류라고 가정하면, 누셀트 수 $Nu = 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3}$ 이다. Re 는 레이놀즈 수이며($Re = \rho v L / \mu$, ρ 는 유체의 밀도, v 는 유체의 속도, μ 는 유체의 점성 계수), $Re \leq 3.2 \times 10^5$ 이다. 또한, Pr 는 프란틀 수(Prandtl number)이며, 유체에 고유의 물성치이다.

[0058] 수학적 8의 h 에 수학적 9를 대입하고, 수학적 9의 Nu 에 상기 누셀트 수(Nu)를 대입하면, 수학적 10으로 나타난

다.

수학식 10

$$\Delta T = \frac{At}{C} \cdot 0.664 \left(\frac{\rho vL}{\mu} \right)^{1/2} P_r^{1/3} \cdot \frac{k}{L}$$

[0059]

[0060] 이 수학식 10 중, A, C, L, μ , Pr, k는 상수로 간주할 수 있으므로, 계수(α)로 정리하면, 수학식 11로 나타난다.

수학식 11

$$\Delta T = \alpha \cdot t \cdot (\rho v)^{1/2}$$

[0061]

[0062] 그리고 수학식 5의 dR/dT 에 수학식 6을, 수학식 5의 ΔT 에 수학식 11을, 수학식 11의 t에 수학식 4를 각각 대입하면, 수학식 12로 나타난다.

수학식 12

$$\Delta R = \frac{B}{T^2} \cdot R \cdot \alpha \cdot \Theta \cdot RI^2 \cdot (\rho v)^{1/2}$$

[0063]

[0064] 이상 기체(理想 氣體)의 상태 방정식 $PV=nR\tau$ (P는 압력, V는 체적, n는 물질량(몰수), R은 기체 정수, τ 는 기체의 온도)에 있어서, 물질량(n)은 w/M (w는 질량, M는 기체의 평균 분자량)이며, 밀도 $\rho=w/V=PM/R\tau$ 가 된다.

[0065] 기체의 온도(τ)를 일정하다고 간주하면, 밀도(ρ)는 압력(P)에 비례한다. 따라서, 이 비례 상수(즉, $M/R\tau$)와 상기 α , Θ , B를 계수(β)로 정리하면, 감온 소자 센서의 저항 변화(ΔR)는 수학식 13으로 나타난다.

수학식 13

$$\Delta R = \beta \cdot \frac{R^2 I^2 (Pv)^{1/2}}{T^2}$$

[0066]

[0067] 이 센서의 저항 변화(ΔR)는, 센서에 흘리는 전류(I)로부터 전압으로 변환되어 도 3에서 설명한 증폭기에서 증폭된다. 증폭기의 게인(gain)(G)으로 하면, 출력되는 와류 신호의 파고치(진폭치라고도 한다)(ΔV)는, $\Delta V=G \cdot I \cdot \Delta R$ 이기 때문에, 이 ΔR 에 수학식 13을 대입하면, 수학식 14로 나타난다.

수학식 14

$$\Delta V = G \cdot \beta \cdot \frac{R^2 I^3 (Pv)^{1/2}}{T^2}$$

[0068]

[0069] 그리고 유속이 일정한 조건 하에서, 온도나 압력 등이 변화된 경우, 즉 와류 신호의 파고치가 ΔV_0 로부터 ΔV 로 변화된 경우(센서 저항값, 센서 전류, 센서의 온도, 압력이 각각 R_0 , I_0 , T_0 , P_0 로부터 R, I, T, P로 변화된 경우), 와류 신호의 파고치의 변화 비율(진폭비라고도 하고, 센서의 감도에 상당한다)(m)은, $m=\Delta V_0/V$ 이므로 수학식 15로 나타난다. 이와 같이, 와류 신호의 파고치의 변화 비율은, 감온 소자 센서의 와류 검출 원리로부터 이론적으로 도출할 수 있다는 것을 알 수 있다.

수학식 15

[0070]
$$m = \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 \left(\frac{I_0}{I} \right)^3 \left(\frac{T_0}{T} \right)^{-2} \left(\frac{P_0}{P} \right)^{1/2}$$

[0071] 보다 상세하게는, 압력도 일정한 조건 하에서, 센서 전압이 각각 V_0 로부터 V 로 변화된 경우, $I=V/R$ 이므로, 수학식 15는 수학식 16으로 나타난다.

수학식 16

[0072]
$$m = \left(\frac{V_0}{V} \right)^3 \left(\frac{R_0}{R} \right)^{-1} \left(\frac{T_0}{T} \right)^{-2}$$

[0073] 따라서, 수학식 16의 R/R_0 에 수학식 2를 대입하면, 수학식 17로 나타나므로, 와류 신호의 파고치의 변화 비율 (m)은, 온도에 의해서 변화되고(즉, 후술의 온도에 의한 파고치의 변화 비율의 항을 갖고), 센서 구동 전압의 제어에 의해서 조정할 수 있음을 알 수 있다.

수학식 17

[0074]
$$m = \left(\frac{V}{V_0} \right)^3 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-2} \exp \left\{ -B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\}$$

[0075] 이 온도에 의한 파고치의 변화 비율을 구한다. T_0 를 약 20°C 로 하여 전압을 일정하게 한 경우, 와류 신호의 파고치를 세로축, 온도를 가로축으로 하여 수학식 17을 그래프로 하면, $-40^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 의 범위에서는 거의 직선이였다. 여기서 계산을 간략화하기 위해, 온도에 의한 파고치의 변화 비율을 1차식으로 근사한다. 전압 일정으로 하여 수학식 17을 T 로 미분하면, 수학식 18로 나타난다.

수학식 18

[0076]
$$\frac{dm}{dT} = T_0^2 \left(\frac{2}{T^3} - \frac{B}{T^4} \right) \exp \left\{ -B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\}$$

[0077] $T=T_0$ 로 하여 T_0 부근의 기울기를 구하면, 수학식 19로 나타난다.

수학식 19

[0078]
$$\frac{dm}{dT} \Big|_{T=T_0} = \frac{2}{T_0} - \frac{B}{T_0^2}$$

[0079] 따라서 T_0 부근에 있어서의 파고치의 변화 비율(m)의 1차식 근사(직선)는, 온도($T-T_0$)가 최악으로 되어도 $m=1$ 을 유지한다고 상정하면 수학식 20으로 나타나고, 이를 온도에 의한 파고치의 변화 비율로 간주한다. 상기 수학식 19가 온도-감도 특성(41b)에 상당하고, 센서의 온도를 구하면, 수학식 17로부터 감온 소자 센서의 감도를 구할 수 있다.

수학식 20

$$m = \left(\frac{2}{T_0} - \frac{B}{T_0^2} \right) (T - T_0) + 1$$

[0080]

[0081]

계속하여, 온도 보상 산출부(41)는, 센서의 온도가 변화되어도 감도를 온도 변화의 전후로 일정(m=1)하게 유지하기 위한, 도 4(A)에 나타내는 감도-센서 전압 특성(41c)에 기초하여, 구한 센서의 감도로부터 센서 구동 전압의 보상 계수를 구하고 있다. 또한, 도 4(A)에 나타낸 온도-감도 특성(41b) 및 감도-센서 전압 특성(41c) 대신에, 도 4(B)에 나타내는 바와 같이, 온도-센서 전압 특성(41d)을 이용해도 좋다.

[0082]

계산을 간략화하기 위해, 수학식 17 중 온도에 의한 파고치의 변화 비율의 항을 수학식 20으로 치환하면 수학식 21로 나타난다. 이것이 감도-센서 전압 특성(41c)이며, 센서의 감도를 구하면, 수학식 21로부터 센서 구동 전압을 구할 수 있다.

수학식 21

$$m = \left(\frac{V}{V_0} \right)^3 \left\{ \left(\frac{2}{T_0} - \frac{B}{T_0^2} \right) (T - T_0) + 1 \right\}$$

[0083]

[0084]

그리고 와류 신호의 파고치의 변화 비율이 일정해지는 조건을 구하기 위해서, m=1로 하여, 온도 보상에 의한 센서 전압의 변화 비율 V/V₀에 대해서 수학식 21을 변형하면, 수학식 22로 나타난다.

수학식 22

$$\frac{V}{V_0} = \left\{ \left(\frac{2}{T_0} - \frac{B}{T_0^2} \right) (T - T_0) + 1 \right\}^{-1/3} = V_{adj}$$

[0085]

[0086]

온도 보상 산출부(41)는, 이 온도 보상에 의한 센서 전압의 변화 비율 V/V₀를 전압 보상 계수 V_{adj}로서 구동 전압·전류 제어부(42)에 출력한다. 구동 전압·전류 제어부(42)는 센서 구동 전압(V)을 V₀×V_{adj}로 설정할 수 있다.

[0087]

이 V₀를, 주위 온도가 상온(예를 들어 20℃)시의 센서 전압이라고 하면, 센서 온도(T)가 상온보다 낮아진 경우, 구동 전압·전류 제어부(42)는 센서 구동 전압(V)을 V₀×V_{adj}로 설정하고, 센서 전압 제어 회로(23)에 출력하고 있다.

[0088]

센서 전압 제어 회로(23)는, 구동 전압·전류 제어부(42)에서 설정된 센서 구동 전압(V)을 D/A 컨버터에서 아날로그 변환하여 감온 소자 센서(7)에 출력한다. 이에 의해, 센서의 감도는 일정하게 유지된다.

[0089]

또한, 상기에서는, 구한 센서의 저항값, 센서 온도, 센서의 감도를 각 식에 대입하여 센서 온도, 센서의 감도, 센서 전압을 각각 구하는 예를 들어 설명했지만, 저항-온도 특성의 테이블, 온도-감도 특성의 테이블, 감도-센서 전압의 테이블, 또는 온도-센서 전압의 테이블을 이용하는 것도 가능하다.

[0090]

도 5는 센서 온도와 파고치의 변화 비율과의 관계, 및 센서 온도와 센서 구동 전압과의 관계를 설명하는 도면이며, 도 6은 본 실시예의 파형 데이터(신호 전압의 시간 경과)를 설명하는 도면이다.

[0091]

센서 온도가 약 20℃를 하회했음에도 불구하고, 센서 구동 전압을 변경하지 않았던 경우(비교예로 칭한다)에는, 와류 신호의 파고치의 변화 비율은, 도 5에 파선으로 나타내는 바와 같이 0.8을 크게 하회하므로 센서의 감도도 크게 저하된다.

[0092]

이에 비해, 본 실시예에서는, 센서 온도가 약 20℃를 하회한 경우, 도 5에 1점쇄선으로 나타내는 바와 같이, 센

서 구동 전압을 예를 들어 $V_0 \times V_{adj}$ 로 높이고 있으므로, 와류 신호의 파고치의 변화 비율은 도 5에 실선으로 나타내는 바와 같이 약 20℃의 시점과 동등 이상으로 되고, 센서의 감도는 양호해진다. 이 경우, 도 6(A)에 나타내는 바와 같이 안정된 신호 전압이 얻어지고, 필터 후 파형의 피크 간격이나 진폭치가 고르게 되기 때문에, 이 파형을 펄스화하면, 트리거 파형은, 도 6(B)에 나타내는 바와 같이 안정된 펄스가 얻어져서 간격이나 진폭이 고르게 되고, 출력 펄스에는 노이즈가 섞이지 않게 된다.

[0093] 또한, 도 5의 □ 표시는, 본 실시예에 의한 파고치의 변화 비율의 실측치이며, 센서 온도가 -20℃에서 85℃의 범위에서는, 도 5에 실선으로 나타낸 이론치에 거의 일치한다. 또한, 도 5의 ○ 표시는, 본 실시예에 의한 센서 구동 전압의 실측치이며, 도 5에 1점쇄선으로 나타낸 이론치에 거의 일치한다.

[0094] 이와 같이, 감도를 온도 변화의 전후로 일정하게 유지하기 위한 센서 구동 전압을, 센서 저항값으로부터 구하여 감온 소자 센서에 출력하므로, 온도가 변화되어도 센서의 감도를 자동적으로 유지할 수 있다. 그 결과, 센서의 감도를 조정하기 위해, 작업자가 와류 유량계의 설치 현장에 나가지 않아도 되고, 또한, 센서에 의한 계측을 중단할 필요도 없다.

[0095] 또한, 감온 소자 센서의 전압과 전류를 계측하고 있고, 센서의 이상(예를 들어 단선이나 단락)도 검출 가능하게 된다.

[0096] 또한, 상기 실시예에서는 감온 소자의 구동 전압을 구하는 예로 설명했지만, 감온 소자의 구동 전류를 구하는 것도 가능하다.

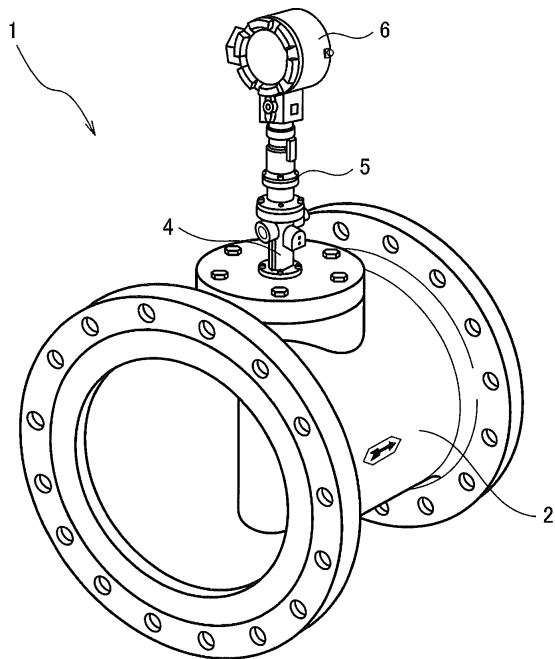
부호의 설명

- [0097]
- 1: 검출기
 - 2: 측정관
 - 3: 와류 발생체
 - 4: 센서 하우징
 - 5: 장착통
 - 6: 단자 박스
 - 7: 감온 소자 센서
 - 10: 변환기
 - 11: 바이어스 유입구
 - 12a, 12b: 니들 밸브
 - 13: 필터
 - 14: 바이어스 유출구
 - 15: 제어부
 - 16: 유량 지시계
 - 17: 통신 I/F
 - 18: 앰프부
 - 19: 필터부
 - 20: 정전류 회로
 - 21: 증폭기
 - 22: 출력 회로
 - 23: 센서 전압 제어 회로

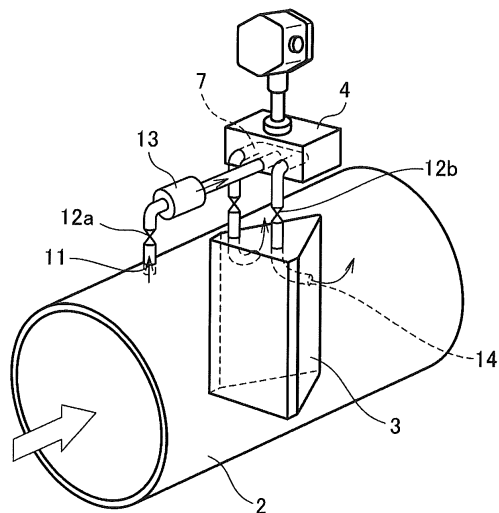
- 26: 가변 BPF
- 27: 콤퍼레이터
- 40: 저항값 산출부
- 41: 온도 보상 산출부
- 41a: 저항-온도 특성
- 41b: 온도-감도 특성
- 41c: 감도-센서 전압 특성
- 41d: 온도-센서 전압 특성
- 42: 구동 전압·전류 제어부

도면

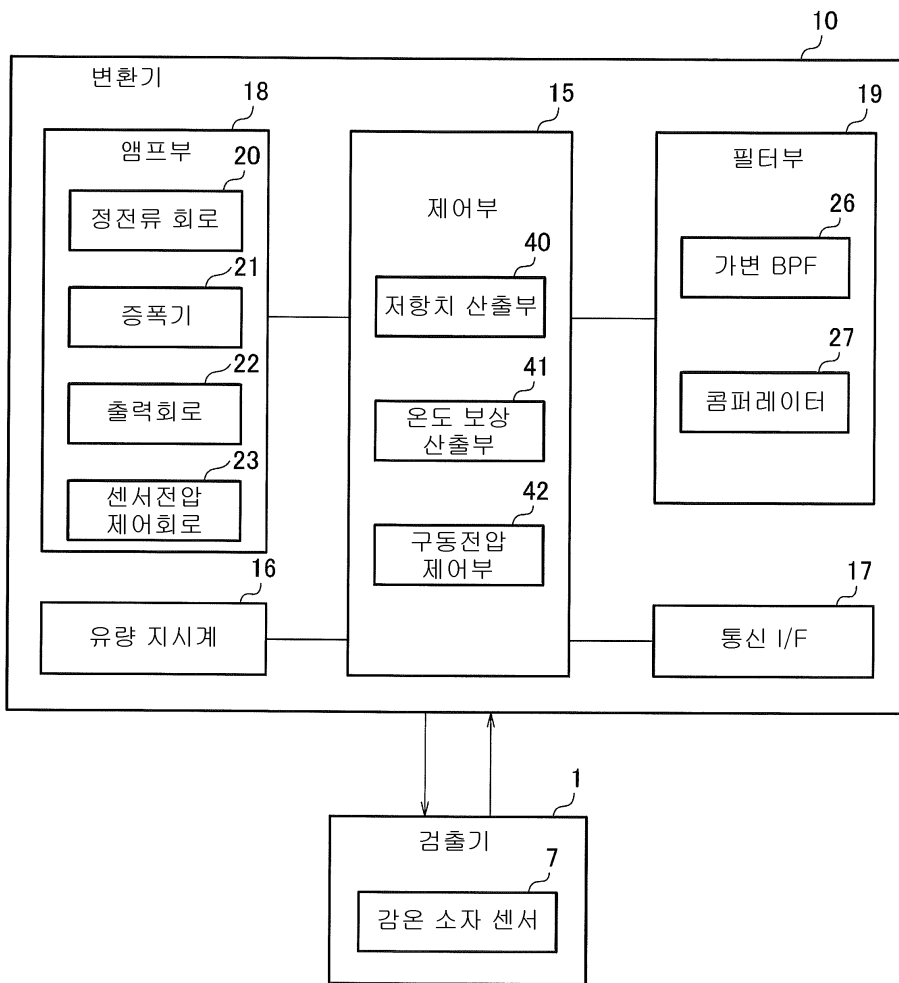
도면1



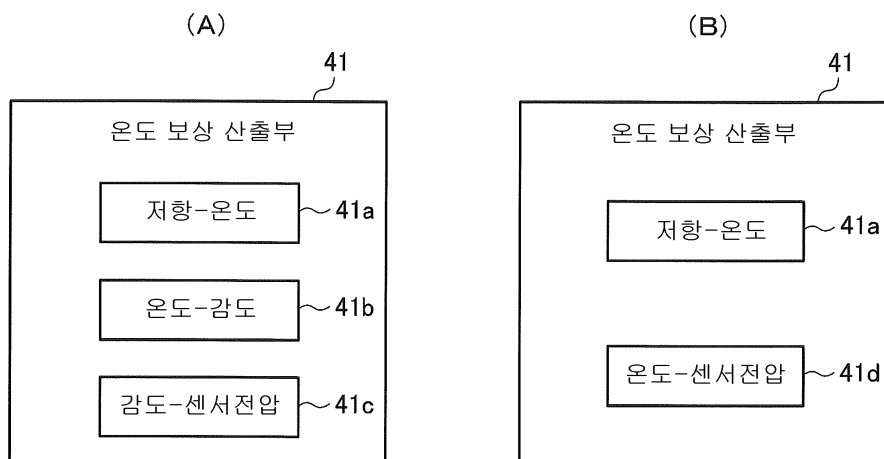
도면2



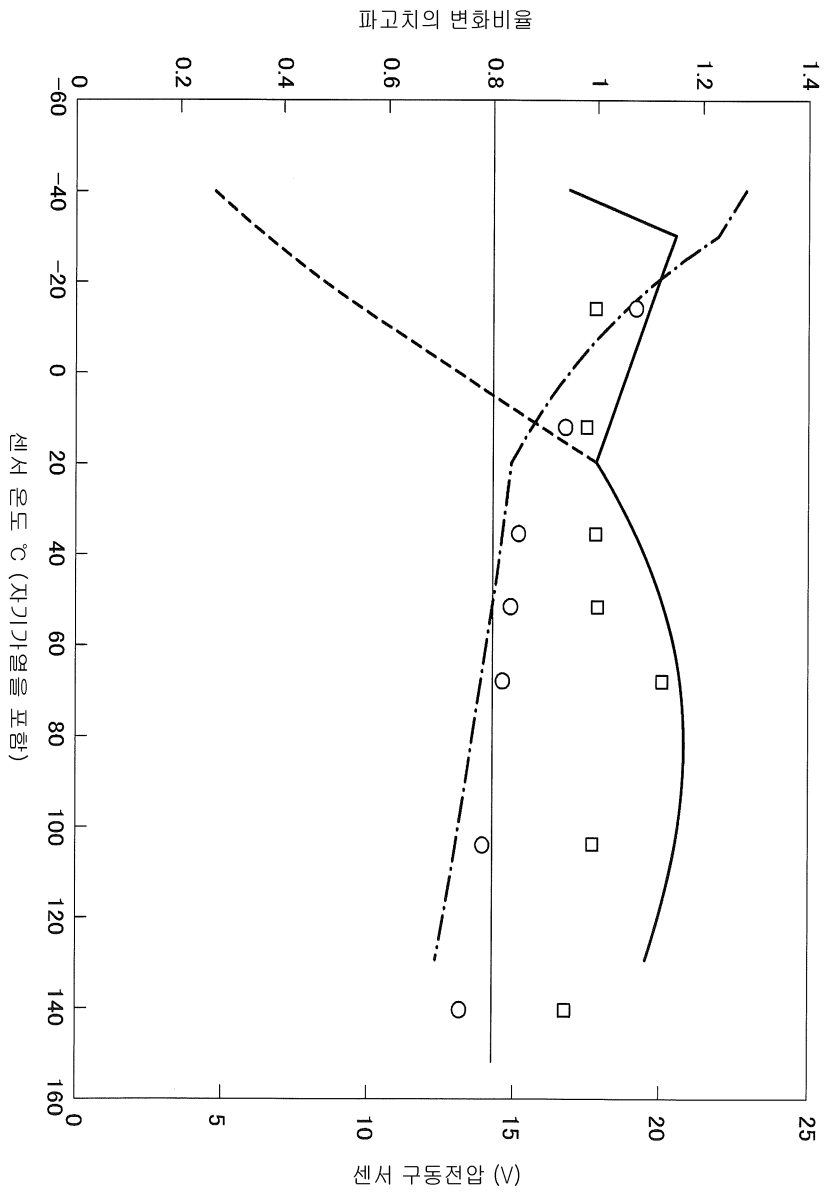
도면3



도면4

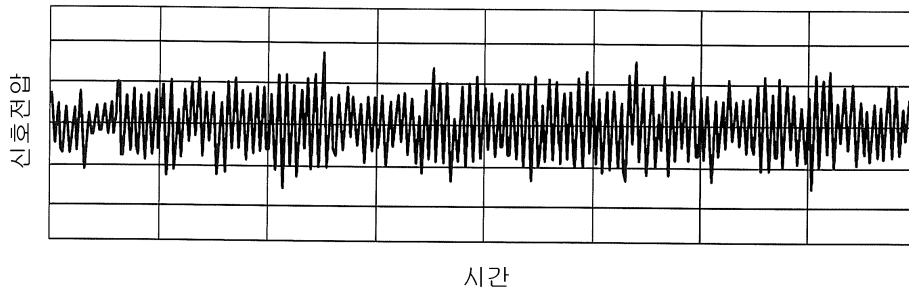


도면5



도면6

(A)



(B)

