



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년08월01일

(11) 등록번호 10-2691172

(24) 등록일자 2024년07월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01F 1/36 (2006.01) G01F 1/38 (2006.01)

G01F 15/00 (2006.01) G05D 7/06 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01F 1/363 (2013.01)

G01F 1/383 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-7024225

(22) 출원일자(국제) 2018년11월20일

심사청구일자 2021년09월27일

(85) 번역문제출일자 2020년08월21일

(65) 공개번호 10-2020-0115555

(43) 공개일자 2020년10월07일

(86) 국제출원번호 PCT/US2018/062127

(87) 국제공개번호 WO 2019/152089

국제공개일자 2019년08월08일

(30) 우선권주장

62/624,059 2018년01월30일 미국(US)

16/195,432 2018년11월19일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP05248916 A\*

JP2004157719 A\*

JP2014098560 A\*

KR1020160051743 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

일리노이즈 툴 워크스 인코포레이티드

미국 일리노이즈주 60025 글렌뷰 할렘 애비뉴 155

(72) 발명자

를 존

미국 일리노이즈주 60025 글렌뷰 할렘 애비뉴 155

일리노이즈 툴 워크스 인코포레이티드 내

키호 앤서니

미국 일리노이즈주 60025 글렌뷰 할렘 애비뉴 155

일리노이즈 툴 워크스 인코포레이티드 내

바나레스 버윈

미국 일리노이즈주 60025 글렌뷰 할렘 애비뉴 155

일리노이즈 툴 워크스 인코포레이티드 내

(74) 대리인

김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 21 항

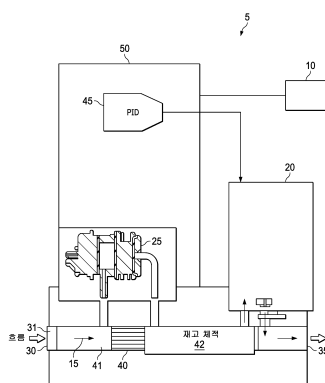
심사관 : 김윤선

(54) 발명의 명칭 절대압 및 차압 변환기를 지닌 질량 유량 제어기

## (57) 요약

예시적인 질량 유량 제어기는 제1 공동 및 제2 공동을 포함하는 유로, 층류 요소, 및 제1 공동과 유체 연통되는 제3 공동의 절대압에 노출되는 절대압 변환기와, 제3 공동과 제2 공동 간의 차압에 노출되는 차압 변환기를 포함하는 압력 변환기 조립체를 포함한다. 질량 유량 제어기는 또한 층류 요소 하류에 위치하고 압력 변환기 조립체에 의해 감지되는 압력에 따라 활성화되는 흐름 제어 밸브도 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*G01F 15/003* (2013.01)

*G01F 15/005* (2013.01)

*G05D 7/0635* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

질량 유량 제어기로서,

질량 유량 제어기를 관통하고, 제1 공동 및 제2 공동을 포함하는 유로;

제1 공동 및 제2 공동에 인접한 층류 요소로서, 제1 공동은 층류 요소의 상류에 위치하고, 제2 공동은 층류 요소의 하류에 위치하는 것인 층류 요소;

결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체로서,

제1 공동과 유체 연통되는 제3 공동,

절대압 멤브레인을 갖고 제3 공동의 절대압에 노출되는 절대압 변환기, 및

제1 차압 멤브레인 및 제2 차압 멤브레인을 갖고 제3 공동과 제2 공동 간의 차압에 노출되는 차압 변환기

를 포함하는 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체; 및

유로를 통과하는 유체의 유량을 제어하도록 구성되고, 층류 요소와 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체의 하류에 위치하는 흐름 제어 밸브 조립체

를 포함하는 질량 유량 제어기.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 유입 오리피스 블럭을 더 포함하는 질량 유량 제어기.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 유입 오리피스 블럭은 0.010 인치 내지 0.070 인치의 유입구 직경을 포함하는 것인 질량 유량 제어기.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, PID 제어기를 더 포함하는 질량 유량 제어기.

#### 청구항 5

제4항에 있어서, PID 제어기는 절대압, 차압, 유체 특성 및 층류 요소의 특징에 관한 정보를 층류 요소를 통과하는 질량 유량을 나타내는 신호로 변환하도록; 층류 요소를 통과하는 원하는 유량을 나타내는 셋포인트 신호를 수신하도록; 그리고 층류 요소를 통과하는 질량 유량을 나타내는 신호가 수신된 셋포인트 신호와 매칭되게 밸브 구동 신호를 제어하도록 구성되는 것인 질량 유량 제어기.

#### 청구항 6

제5항에 있어서, 셋포인트 신호의 원하는 유량은 10 % 이하인 것인 질량 유량 제어기.

#### 청구항 7

제5항에 있어서, 유로는 유출구를 더 포함하고, 유출구는 2 psia를 초과하는 압력을 포함하는 것인 질량 유량 제어기.

#### 청구항 8

제1항에 있어서, 회로 기판을 더 포함하는 질량 유량 제어기.

## 청구항 9

제1항에 있어서, 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체는 흐름 제어 밸브 조립체 상류의 절대압 및 차압을 감지하도록 구성되는 것인 질량 유량 제어기.

## 청구항 10

제1항에 있어서, 제3 공동은 유체로 충전되는 것인 질량 유량 제어기.

## 청구항 11

유체 유량 제어 방법으로서,

질량 유량 제어기를 마련하는 단계로서, 질량 유량 제어기는

질량 유량 제어기를 관통하고, 제1 공동 및 제2 공동을 포함하는 유로,

제1 공동 및 제2 공동에 인접한 층류 요소로서, 제1 공동은 층류 요소의 상류에 위치하고, 제2 공동은 층류 요소의 하류에 위치하는 것인 층류 요소,

결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체로서,

제1 공동과 유체 연통되는 제3 공동,

절대압 멤브레인을 갖고 제3 공동의 절대압에 노출되는 절대압 변환기, 및

제1 차압 멤브레인 및 제2 차압 멤브레인을 갖고 제3 공동과 제2 공동 간의 차압에 노출되는 차압 변환기

를 포함하는 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체, 및

제어 밸브를 포함하고, 유로를 통과하는 유체의 유량을 제어하도록 구성되고, 층류 요소와 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체의 하류에 위치하는 흐름 제어 밸브 조립체

를 포함하는 것인 질량 유량 제어기를 마련하는 단계;

유로를 통해 유체를 흐르게 하는 단계; 및

제어 밸브를 활성화시키는 단계

를 포함하는 유체 유량 제어 방법.

## 청구항 12

제11항에 있어서, 질량 유량 제어기는 유입구를 더 포함하고, 이 유입구 내에 유입 오리피스 블록이 배치되는 것인 유체 유량 제어 방법.

## 청구항 13

제11항에 있어서, 유입 오리피스 블록은 0.010 인치 내지 0.070 인치의 유입구 직경을 포함하는 것인 유체 유량 제어 방법

## 청구항 14

제11항에 있어서, PID 제어기를 더 포함하는 유체 유량 제어 방법.

## 청구항 15

제14항에 있어서, PID 제어기는 절대압, 차압, 유체 특성 및 층류 요소의 특징에 관한 정보를, 층류 요소를 통과하는 질량 유량을 나타내는 신호로 변환하고; 층류 요소를 통과하는 원하는 유량을 나타내는 셋포인트 신호를 수신하며; 층류 요소를 통과하는 질량 유량을 나타내는 신호가 수신된 셋포인트 신호와 매칭되게 밸브 구동 신호를 제어하는 것인 유체 유량 제어 방법.

## 청구항 16

제15항에 있어서, 셋포인트 신호의 원하는 유량은 10 % 이하인 것인 유체 유량 제어 방법.

#### 청구항 17

제15항에 있어서, 유로는 유출구를 더 포함하고, 유출구는 2 psia를 초과하는 압력을 포함하는 것인 유체 유량 제어 방법.

#### 청구항 18

제11항에 있어서, 회로 기판을 더 포함하는 유체 유량 제어 방법.

#### 청구항 19

제11항에 있어서, 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체는 흐름 제어 밸브 조립체 상류의 절대압 및 차압을 감지하는 것인 유체 유량 제어 방법.

#### 청구항 20

제11항에 있어서, 제3 공동은 유체로 충전되는 것인 유체 유량 제어 방법.

#### 청구항 21

제11항에 있어서, 상기 유체는 반도체 공정에서 사용되는 유체인 것인 유체 유량 제어 방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 교차 참조

[0002] 본 출원은 발명의 명칭이 “절대압 및 차압 변환기를 지닌 질량 유량 제어기” 인, 2018년 1월 30일자로 출원된 미국 가특허출원 제62/624,059호에 대한 우선권을 주장하며, 상기 미국 가특허출원의 전체 내용은 모든 목적으로 참조에 의해 여기에 포함된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 발명은 일반적으로 유체의 질량 유량을 제어하는 방법 및 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 가스 및 기타 압축성 유체를 위한 질량 유량 제어기 및 질량 유량계의 작동에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0005] 여러 산업 프로세스는 다양한 공정 유체의 정밀 제어를 요구한다. 예컨대, 반도체 산업에서 질량 유량계와 관련 제어기는 공정 챔버에 유입되는 공정 유체의 양을 정밀하게 측정하고 제어할 수 있다. 이들 디바이스에서는 질량 유량을 측정하기 위해, 열, 초음파 전파 시간, 코리올리 및 압력 기반 기술을 포함하는 광범위한 기술이 사용될 수 있다.

[0006] 압력 기반 질량 유량계는 측정 대상 유동에 반응하여 압력 강하를 형성하기 위해 정해진 유량 제한부를 사용하고, 온도 측정값, 결과적인 압력 강하 및 (압축성 유체의 경우) 절대압과 함께 유체 특성 및 유량 제한부에 관한 정보를 이용하여 질량 유량을 계산한다.

[0007] 반도체 공정(예컨대, 에칭)이 거의 제로의 유출구 압력(예컨대, 약 2 psia 미만의 “고진공(hard vacuum)” 이라고 함)으로 작동할 수 있지만, 화학적 기상 증착과 같은 특정 반도체 공정은 이따금 제어 밸브 하류의 대기압 이상에 도달하는 압력에 의해 큰 배압 이상을 경험할 수 있다. 이러한 큰 하류의 압력 변화는 압력 기반 질량 유량 제어기에서 하류 층류 요소를 지닌 절대압 센서의 사용을 필요로 할 수 있다. 추가로, 거의 제로의 유출구 압력에서 대기압의 유출구 압력으로의 증가 변동은 하류 유량 센서를 지닌 디바이스에서 유량 제한기의 저유량 압력 강하를 50배 이상 감소시킬 수 있다. 이에 따라, 이러한 전이는 잠재적으로 50배 이상 감소되는 결과적인 유량 센서 신호를 유도할 수 있다. 감소된 유량 센서 신호는 또한 유량 센서 신호 대 노이즈 비 및 안정성이 악화되게 하며, 이로 인해 셋포인트가 낮을 경우에 거의 제로의 유출구 압력을 초과하는 작동 조건에 있어서 불량한 반복성 및 정확성을 초래할 수 있다.

## 발명의 내용

- [0008] 실시예에서는, 질량 유량 제어기가 제공된다. 예시적인 질량 유량 제어기는 질량 유량 제어기를 관통하는 유로를 포함하며, 이 유로는 제1 공동 및 제2 공동을 포함한다. 질량 유량 제어기는 제1 공동 및 제2 공동에 인접한 층류 요소를 더 포함하고; 제1 공동은 층류 요소 상류에 위치하고, 제2 공동은 층류 요소 하류에 위치한다. 질량 유량 제어기는 추가로 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체를 포함하고, 이 변환기는 제1 공동과 유체 연통되는 제3 공동, 절대압 멤브레인을 갖고 제3 공동에서 절대압에 노출되는 절대압 변환기 및 제1 차압 멤브레인 및 제2 차압 멤브레인을 갖고 제3 공동과 제2 공동 사이에서 차압에 노출되는 차압 변환기를 포함한다. 질량 유량 제어기는 유로를 통과하는 유체의 유량을 제어하도록 구성되는 흐름 제어 밸브 조립체도 또한 포함하고; 흐름 제어 밸브 조립체는 층류 요소와 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체의 하류에 위치한다,
- [0009] 추가로 또는 대안으로서, 질량 유량 제어기는 아래의 피쳐(feature)들 중 하나 이상을 개별적으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 질량 유량 제어기는 유입 오리피스 블럭을 더 포함할 수 있다. 유입 오리피스 블럭은 약 0.010 인치 내지 약 0.070 인치의 유입구 직경을 포함할 수 있다. 질량 유량 제어기는 PID 제어기를 더 포함할 수 있다. PID 제어기는 절대압, 차압, 유체 특성 및 층류 요소의 특징에 관한 정보를 층류 요소를 통과하는 질량 유량을 나타내는 신호로 변환하도록; 층류 요소를 통과하는 원하는 유량을 나타내는 셋포인트 신호를 수신하도록; 그리고 층류 요소를 통과하는 질량 유량을 나타내는 신호가 실질적으로 수신된 셋포인트 신호와 매칭되게 밸브 구동 신호를 제어하도록 구성될 수 있다. 셋포인트 신호의 원하는 유량은 10 % 이하일 수 있다. 유로는 유출구를 더 포함할 수 있고, 유출구는 2 psia를 초과하는 압력을 포함한다. 질량 유량 제어기는 회로 기판을 더 포함할 수 있다. 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체는 흐름 제어 밸브 조립체 상류의 절대압 및 차압을 감지하도록 구성될 수 있다. 제3 공동은 유체로 충전될 수 있다.
- [0010] 실시예에서는, 유량 제어 방법이 제공된다. 예시적인 방법은 제1 공동 및 제2 공동과, 제1 공동 및 제2 공동에 인접한 층류 요소를 포함하고, 질량 유량 제어기를 관통하는 유로를 포함하는 질량 유량 제어기를 마련하는 단계를 포함하고, 제1 공동은 층류 요소의 상류에 위치하고, 제2 공동은 층류 요소 하류에 위치하며, 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체는 제1 공동과 유체 연통되는 제3 공동, 절대압 멤브레인을 갖고 제3 공동의 절대압에 노출되는 절대압 변환기 및 제1 차압 멤브레인 및 제2 차압 멤브레인을 갖고, 제3 공동과 제2 공동 간의 차압에 노출되는 차압 압력 변환기, 그리고 제어 밸브를 포함하고 유로를 통과하는 유체의 유량을 제어하도록 구성되는 흐름 제어 밸브 조립체를 포함하며, 흐름 제어 밸브 조립체는 층류 요소와 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체 하류에 위치한다. 상기 방법은 유체가 유로를 통해 흐르게 하는 단계; 및 제어 밸브를 활성화시키는 단계를 더 포함한다.
- [0011] 추가로 또는 대안으로서, 상기 방법은 아래의 피쳐들 중 하나 이상을 개별적으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 질량 유량 제어기는 유입 오리피스 블럭을 더 포함할 수 있다. 유입 오리피스 블럭은 약 0.010 인치 내지 약 0.070 인치의 유입구 직경을 포함할 수 있다. 질량 유량 제어기는 PID 제어기를 더 포함할 수 있다. PID 제어기는 절대압, 차압, 유체 특성 및 층류 요소의 특징에 관한 정보를 층류 요소를 통과하는 질량 유량을 나타내는 신호로 변환하도록; 층류 요소를 통과하는 원하는 유량을 나타내는 셋포인트 신호를 수신하도록; 그리고 층류 요소를 통과하는 질량 유량을 나타내는 신호가 실질적으로 수신된 셋포인트 신호와 매칭되게 밸브 구동 신호를 제어하도록 구성될 수 있다. 셋포인트 신호의 원하는 유량은 10 % 이하일 수 있다. 유로는 유출구를 더 포함할 수 있고, 유출구는 2 psia를 초과하는 압력을 포함한다. 질량 유량 제어기는 회로 기판을 더 포함할 수 있다. 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체는 흐름 제어 밸브 조립체 상류의 절대압 및 차압을 감지할 수 있다. 제3 공동은 유체로 충전될 수 있다. 유체는 반도체 공정에서 사용될 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

- [0012] 본 개시의 예시적인 예가, 참조에 의해 여기에 포함되는 첨부도면을 참고로 하여 아래에서 상세히 설명된다.
- 도 1은 본 개시의 특정 실시예에 따른, 밸브 상류에 유량 센서를 지닌 압력 기반 질량 유량 제어기의 개략도이다.
- 도 2는 본 개시의 특정 실시예에 따른, 유입 오리피스 블럭의 유입 오리피스의 크기를 정하는 데 이용될 수 있는 예시적인 물리적 기호 모델이다.
- 도 3은 본 개시의 특정 실시예에 따른 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체의 개략도이다.
- 도 4는 본 개시의 특정 실시예에 따른, 밸브 상류에 유량 센서를 지닌 압력 기반 질량 유량 제어기의 다른 실시

예의 개략도이다.

도시한 도면은 단지 예시적인 것일뿐, 상이한 예에서 구현될 수 있는 환경, 구조, 설계 또는 공정에 관한 임의의 제한을 주장하거나 의미하는 것으로 의도되지 않는다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 본 발명은 일반적으로 유체의 질량 유량을 제어하는 방법 및 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 가스 및 기타 압축성 유체를 위한 질량 유량 제어기 및 질량 유량계의 작동에 관한 것이다.
- [0014] 달리 나타내지 않는 한, 본 명세서와 관련 청구범위에서 사용되는 구성요소의 양, 분자량과 같은 특성, 반응 조건 등을 나타내는 모든 숫자는 “약”이라는 용어에 의해 모든 경우에 수정될 수 있는 것으로 이해되어야만 한다. 따라서, 반대로 나타내지 않는 한, 아래의 명세서와 첨부된 청구범위에서 기술되는 숫자 파라미터는 본 발명의 예에 의해 얻고자 하는 원하는 특성에 따라 변할 수 있는 근사치이다. 최소한으로 그리고 청구범위의 범주에 대한 균등론의 적용을 제한하려는 시도가 아니라, 각각의 수치 파라미터는 적어도 보고된 유효숫자의 개수를 고려하여 그리고 통상적인 반올림 기법을 적용함으로써 해석되어야만 한다. “약”이라는 용어가 수치 리스트 앞에 있는 경우에 “약”은 수치 리스트의 각각의 수치를 수정한다는 점에 유념해야만 한다. 더욱이, 소정 범위의 수치 목록에서 열거된 일부 하한은 열거된 일부 상한보다 클 수 있다. 당업자라면, 선택된 부분 집합이 선택된 하한을 초과하는 상한의 선택을 요구할 것이라는 점을 이해할 것이다.
- [0015] 여기에서는, 흐를 수 있는 임의의 상태인 임의의 타입의 물질을 설명하기 위해 “유체”라는 용어가 사용된다. 여기에서는, 이상 기체 또는 비이상 기체, 증기 및 초임계 유체와 같이, 밀도가 실질적으로 절대압에 좌우되는 임의의 유체를 설명하기 위해 “가스”라는 용어가 사용된다. 여기에서는, 밀도가 실질적으로 절대압에 좌우되지 않는 임의의 유체를 설명하기 위해 “액체”라는 용어가 사용된다.
- [0016] 압력 기반 질량 유량 제어기(이후, “MFC”)와 질량 유량계(이후, “MFM”)가 가스 흐름을 제어하는 데 사용되는 경우 통상적으로, 흐름 제한기의 상류와 하류 모두에서의 절대압을 계산할 수 있도록 제어 밸브 하류의 적절한 위치에 배치된 소정 형태의 흐름 제한기 및 2개 이상의 절대압 변환기를 활용할 수 있다. 예컨대, 여러 압력 기반 MFM은, 속도 수두(가스를 제한기에서의 그 속도를 가속하는 데 필요한 압력 강하)보다는 그 층류 특징에 의해 그 성능이 주로 결정되는 층류 요소로 알려진 타입의 흐름 제한기를 사용한다. 첫번째 순서로, 층류 요소를 통과하는 이상 기체의 유량은 수식 1과 같이 계산할 수 있다.
- [0017]  $Q_s = K \cdot (P_i^2 - P_o^2)$  [수식 1]
- [0018] 수식 1에서,
- [0019]  $Q_s$ 는 질량 유량이고,
- [0020]  $K$ 는 가스의 온도, 점성 및 압축성과 층류 요소의 형상에 종속되는 값이며,
- [0021]  $P_i$ 는 층류 요소 상류의 유입구에서의 절대압이고,
- [0022]  $P_o$ 는 층류 요소 하류의 유출구에서의 절대압이다.
- [0023] 그러나, 전술한 바와 같이 일부 반도체 공정에서, 거의 제로의 유출구 압력(예컨대, 약 2 psia 미만)에서 대기 유출구 압력으로의 증가 변동은 제어 밸브 하류의 유량 센서를 지닌 디바이스에서 유량 센서의 저유량 압력 강하를 50배 이상 변경할 수 있다. 이에 따라, 이러한 전이는 잠재적으로 50배 이상 감소되는 결과적인 유량 센서 신호를 유도할 수 있다. 감소된 유량 센서 신호는 또한 유량 센서 신호 대 노이즈 비 및 안정성이 악화되게 하며, 이로 인해 셋포인트가 낮을 경우에 거의 제로의 유출구 압력을 초과하는 작동 조건에 있어서 불량한 반복성 및 정확성을 초래할 수 있다.
- [0024] 유량 센서가 제어 밸브 상류에 위치하는 경우, 계량 정확도 및 디바이스 총 유량 범위는 제어 밸브 하류의 압력에 영향을 받지 않게 될 수 있다. 예컨대, 현재의 MFC 구성에 있어서  $P_i$  및  $P_o$  압력이 각각 7.0 psia 및 0.1 psia인 경우에 100 sccm의 총  $N_2$  기준 유량을 갖는 MFC를 위한  $K$ 를 풀면, 대략 2.0412의  $K$ 가 얻어진다. 1 sccm  $N_2$  유량 및 언급된 0.1 psia의  $P_o$ 에서 발생하는  $P_i$ 를 풀기 위해 이  $K$ 값을 사용하면, 0.707 psia의  $P_i$ 가 얻어지며, 이 값은 0.607 psia의 차압에 해당한다. 이러한 차압은 절대압 센서에 의해 일상적으로 측정되는 약 0.01 psid의 최소 분해능 차압을 훨씬 벗어난다. 이에 따라, MFC가 거의 제로의 유출구 압력(예컨대, 약 2 psia 미만)으로 작동되는 경우에 MFC에 대한 상당히 낮은 에러값이 획득될 수 있어야만 한다. 그러나,  $P_o$ 가 대략



14.7 psia(화학 기상 증착과 같은 특정 반도체 공정에서 일반적으로 발생하는 통상의 값)로 증가되면, 이 동일한 디바이스에서 1 sccm N<sub>2</sub> 유량을 갖는 데 요구되는 대응하는 Pi는 대략 14.7167 psia에 상응할 것이다. 이것은 단지 0.0167 psia만 차이가 날 뿐이며, 이는 통상의 절대압 변환기에 의해 얻을 수 있는 최소 정확도에 매우 근접한다. 이와 같이, 제어 밸브 하류에 증류 요소와 절대압 센서를 갖는 이러한 MFC는 유출구 압력이 고진공보다 훨씬 높은 낮은 셋포인트에서 효율적으로 작동하지 않을 수 있다. 예컨대, 유량 센서 신호 대 노이즈 비와 안정성이 악화될 수 있다.

[0025] 그러나, 절대 유량 센서와 증류 요소가 제어 밸브 상류에 위치하는 경우, 제어 밸브 하류에서의 변화는 상류 절대 유량 센서에 영향을 주지 않을 수 있다. 더욱이, 상류 압력은 통상적으로 통상의 반도체 처리 환경에서의 공칭 유입 압력의 +/- 10% 이내로 유지된다. 추가로, 상류 압력 위치와 하류 압력 위치 사이의 압력차가 작은 환경에서 보다 우수한 정확도를 제공하기 위해, 절대압 변환기들 중 하나가 차압 변환기로 대체될 수 있다. 이와 같이, 상이한 차압 변환기를 사용함으로써, 수식 1은 이제 아래와 같이 정정될 수 있다.

[0026]  $Q_s = K * (2P_i - \Delta P) \Delta P$  [수식 2]

[0027]  $Q_s = K * (2P_o + \Delta P) \Delta P$  [수식 3]

[0028] 상기 수식에서,

[0029]  $\Delta P = P_i - P_o$

[0030] 수식 2는, 절대압 변환기가 증류 요소의 상류에 위치하는 실시예에서 이용될 수 있다. 수식 3은, 절대압 변환기가 증류 요소의 하류에 위치하는 실시예에서 이용될 수 있다. 35 psia의 통상의 Pi에서의 100 sccm N<sub>2</sub> 유량 및 총 유량에서의 0.86 psid의 ΔP를 대입하여 수식 2를 풀면 K는 1.6818이 된다. K가 알려진 경우, 수식 2는 Pi가 30, 35 및 40 psia인 경우에 1 sccm으로 하여 ΔP를 풀 수 있다. 결과적인 값은 30 psia 유입 압력에서의 0.0099 psid, 35 psia 유입 압력에서의 0.0085 psid, 및 40 psia에서의 0.0074 psid의 압력 강하이다. 이와 같이, 통상의 상류 유입 압력 변화에 의한 차압의 변화는 하류 증류 요소와 관련 하류 압력 변화의 경우보다 제어 밸브 상류의 증류 요소의 경우가 훨씬 적을 수 있다. 더욱이, 차압 변환기는 통상의 차압 정확도가 0.0005 psid가 되도록 선택될 수 있으며, 이에 의해 절대압 변환기에 의해 현재 이용 가능한 것보다 훨씬 높은 정확도를 제공할 수 있다. 이에 따라, 제어 밸브 하류의 2개의 절대압 변환기와 함께 흐름 제한기를 사용하는 것과 대조적으로, 제어 밸브 상류의 흐름 제한기와 절대압 변환기와 함께 차압 변환기를 사용함으로써, 유입 압력이 변할 때 원하는 낮은 셋포인트에서의 유량 추정치를 더욱 반복할 수 있다.

[0031] 아래의 설명은 주로 가스 유량계에 적용되지만, 액체 유량계가 절대압에 상대적으로 영향을 받지 않고, 이에 따라 단지 차압 변환기만을 사용하여 적절히 기능하더라도, 여기에 개시된 결합형 절대압 변환기 및 차압 변환기는 액체 유량 제어기에서도 또한 유용할 수 있다.

[0032] 도 1은 본 개시의 특정 실시예에 따른, 밸브 상류에 유량 센서를 지닌 압력 기반 MFC(5)의 개략도이다. MFC(5)는 유체 유량의 변화가 유체 유량이 계산될 수 있는 증류 요소와 같은 흐름 제한기의 상류 및/또는 하류에서 유체 압력의 변화를 생성한다는 원리에 따라 작동한다.

[0033] 도시한 실시예에서, MFC(5)는 전원 커넥터(10), 유로(15), 흐름 제어 밸브 조립체(20) 및 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)의 적어도 하나의 실시예를 포함한다. MFC(5)는 유체를 디바이스에 도입하기 위한 유입 포트(30)와 유체가 (예컨대, 처리 챔버로) 빠져나가는 유출 포트(35)를 더 포함한다. 몇몇 실시예에서, 유입 포트(30)는 유입 포트(30) 내에 배치되고, 유입 포트를 통과하는 유체 흐름의 적어도 일부를 차단하는 유입 오리피스 블럭(31)을 더 포함할 수 있다. 유체는 유입 포트(30)를 통해 MFC(5)에 진입하고, 유로(15)를 따라 MFC(5) 내에서 흐를 수 있다. 몇몇 실시예에서, 유로(15)는 일정한 온도로 유지될 수 있다. 흐름 제어 밸브 조립체(20)는 유로(15)를 따라 유출 포트(35)에 근접하게 그리고 증류 요소(40)와 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25) 모두의 하류에 위치 설정된다. 흐름 제어 밸브 조립체(20)는 MFC(5)를 통과하는 유체의 양을 제어하도록 조정 가능한 비례 제어 밸브(예컨대, 솔레노이드 또는 피에조 제어 밸브)를 포함할 수 있다. 흐름 제어 밸브 조립체(20)는 흐름 제어 밸브 조립체(20)를 통과하는 흐름을 제어하기에 충분한 임의의 원하는 유량으로 제어 밸브를 활성화시킨다. 더욱이, 활성화 속도는, 제어 밸브가 연속적으로 또는 계단식으로 활성화될 수 있도록 프로 그래밍 및 조정 가능할 수 있다.

[0034] 유입 오리피스 블럭(31)은, MFC(5)가 거의 제로 압력이고 흐름 제어 밸브 조립체(20)가 폐쇄된 경우에, 예컨대 60 psia 유입 압력이 유입 포트(30)에 적용될 때 또는 MFC(5)가, 예컨대 60 psia인 경우에 거의 제로의 압력이



유입 포트(30)에 적용되고 흐름 제어 밸브 조립체(20)가 폐쇄될 때, (아래 도 3에 예시한 바와 같이) 차압 변환기에 걸친 압력 강하가 10 psid를 초과할 수 없는 것을 보장하도록 크기가 정해진 유입구를 포함할 수 있다. 도 1은 유입 오리피스 블럭(31)의 사용을 도시하고 있지만, 다른 흐름 제한 디바이스가 압력 스파이크로부터 차압 변환기를 보호하기 위해 사용될 수 있다. 유출구(35)에서의 과도한 압력 스파이크는 아래에서 설명하는 PID 제어기(45)에 의해 구현되는 펌웨어 체크에 의해 완화될 수 있다. 이러한 펌웨어 체크는 압력 강하가 10 psid를 초과할 때마다 흐름 제어 밸브 조립체(20)의 밸브를 폐쇄하는 데 이용될 수 있다.

[0035] 유입 오리피스의 크기를 정하는 것은 유체 흐름을 제어하는 2개의 주요 미분 방정식을 풀어야만 한다.

[0036] 1 질량 보존.

[0037] 2. 유체 흐름의 운동량 보존.

[0038] 해법은 Matlab의 Simscape 물리적 모델링 패키지와 같은 가용 도구를 사용하여 물리적 기호 모델을 구성함으로써 얻을 수 있다. 도 2는 유입 오리피스의 크기를 정하는 데 사용될 수 있는 예시적인 물리적 기호 모델이다. 다양한 기계 구성요소를 위한 통상의 값을 입력한 다음, MFC(5)에서 사용될 수 있는 다양한 가스를 순환시킴으로써, 아래의 표 1에 나타난 바와 같이, 공칭 N<sub>2</sub> 유량으로 작동하도록 구성된 MFC를 위한 아래의 오리피스 크기를 얻었다.

[0039] 표 1에 제시한 결과는 단지 이 MFC(5)의 기계 구성요소의 경우만을 나타낸다는 점에 주목해야만 한다. Matlab Simscape 모델을 업데이트하여 이러한 다양한 기계적 구성요소를 반영하면 입구 오리피스 크기가 달라질 것이다.

표 1

60 psi 압력 과도로 인한 dp 센서 손상을 방지하기 위한 통상의 유입 오리피스 치수	
N2 유량 (sccm)	유입 오리피스 직경 (인치)
30	0.010
100	0.011
1000	0.021
10000	0.063

[0040]

[0041] 유입 오리피스는 통상의 기계 시동(예컨대, MFC 충전) 또는 가동 정지(예컨대, MFC 배기) 중에 차압 변환기에 대한 영구 기계 손상을 방지하는 데 사용될 수 있다. 유입 오리피스 블럭(31)의 예시적인 유입구는 약 0.010 인치 내지 약 0.070 인치의 직경을 포함한다.

[0042] 계속해서 도 1을 참고하면, MFC(5)는 흐름 제어 밸브 조립체(20)의 상류에 충류 요소(40)를 더 포함한다. 흐름 제어 밸브 조립체(20) 상류에 충류 요소(40)를 지니고 저범위 차압 변환기와 함께 사용하도록 구성된 MFC는 충류 요소가 흐름 제어 밸브 조립체 상류에 있지만, 유사하게 넓은 유출 압력 범위에 걸쳐 작동하도록 구성된 대응하는 압력 기반 MFC보다 훨씬 낮은 압력으로 작동할 수 있다. 충류 요소(40)는 작은 흐름 채널 내에서 충류를 보장하도록 구성될 수 있고, 이에 따라 유체 내에서의 전단력으로 인한 압력 강하를 형성할 수 있다. 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)는 흐름 제어 밸브 조립체(20) 상류의 유로(15)에 커플링될 수 있다. 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)는 (아래 도 3에 예시된) 적어도 하나의 절대압 변환기와 적어도 하나의 차압 변환기를 포함한다. 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)는 충류 요소(40)에 걸친 절대압뿐만 아니라 차압도 결정한다. 이와 같이, 충류 요소(40)는 유로(15)를, 개별 공동을 포함하는 2개 부분으로 분기시킨다. 충류 요소(40)의 상류에는 유로(15)의 제1 부분이 있고, 제1 공동은 공급 체적(41)이라고 한다. 공급 체적(41)은 MFC(5)의 유입구(30) 내로 공급되는 유체 체적을 포함하고, 상기 유체 체적은 충류 요소(40)를 통해 전파되지 않았다. 충류 요소(40)의 하류에는 유로(15)의 제2 부분, 재고 체적(42)이라고 하고, 흐름 제어 밸브 조립체(20)로의 흐름이 출발하는 제2 공동이 배치된다. 재고 체적(42)은 충류 요소(40)를 통해 전파된 유체의 체적을

포함한다. 공급 체적(41)과 재고 체적(42) 모두의 공동은 매체 고립될 수 있고, 실리콘 오일이나 원하는 바에 따라 다른 적절한 액체로 충전될 수 있다. 공급 체적(41) 내의 유체 체적은, 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25) 상류의 유체 체적이 유체 흐름에서의 의도적인 변화에 응답하거나 유입 오리피스 블럭(31) 상류의 압력 변화에 기인하는, MFC(5) 내에서의 압력 천이를 늦추는 데 기여할 수 있기 때문에 재고 체적(42)에 비해 최대화될 수 있다. 재고 체적(42) 내의 유체 체적은, 증가된 유체 체적이 압력 천이에 대한 MFC(5)의 감도에 영향을 줄 수 있기 때문에 공급 체적(41)에 대한 재고 체적(42) 내의 유체 체적을 증가시키는 것이 몇몇 어플리케이션에서 성능에 악영향을 줄 수 있으므로, 공급 채널(41) 내의 유체 체적에 비해 최소화될 수 있다. 이와 같이, 공급 체적(41)이라고 하는 상류 공동은 층류 요소(40)와 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25) 하류의 재고 체적(42)에 비해 크고/크거나 보다 큰 유체 체적을 갖도록 구성될 수 있다.

[0043] 도 1을 계속해서 참고하면, MFC(5)는 논리, 회로, 메모리 및 하나 이상의 처리 요소(프로세서)를 포함할 수 있는 비례-적분-미분(이후, “PID”) 제어기(45)를 더 포함한다. 이 특정 예에서는 PID 제어기가 예시되지만, PID 제어기는 당업자에게 이미 자명한 여러 가능한 밸브 제어기들 중 하나라는 점을 이해해야만 한다. 예컨대, 몇몇 실시예에서 PID 제어기(45)는 리드-래그 제어기(lead-lag controller), 예컨대 전체 내용이 참조에 의해 여기에 포함되는 미국 특허 제6,962,164호에 기술된 바와 같은) 게인-리드-래그 제어기(gain-lead-lag controller), 또는 애플리케이션에 충분한 임의의 다른 제어기로 대체될 수 있다. 제어기는 하드웨어나 펌웨어로서 구현될 수 있다. PID 제어기(45)는 원하는 질량 유량을 나타내는 셋포인트에 따라 흐름 제어 밸브 조립체(20) 내에서 밸브의 위치를 제어하도록 구성된다. 예컨대, 일실시예에서 PID 제어기(45)는 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)로부터의 절대압 및 차압을 그리고 층류 요소(40)를 통과하는 원하는 유량을 나타내는 셋포인트 신호를 수신한다. PID 제어기(45)는 절대압, 차압, 및 유체 특성과 층류 요소(40)의 특징 모두에 관한 정보를 층류 요소(40)를 통과하는 질량 유량을 나타내는 신호로 변환하기 위해 수신된 정보를 이용한다. 예컨대, 일실시예에서 PID 제어기(45)는 압력 강하를 체적 유량 - 주어진 온도 및 압력에서 밀도 교정을 이용하여 질량 유량으로 변환될 수 있음 - 과 연관 짓기 위해 수식 1을 이용하도록 구성된다. PID 제어기(45)는 그 후에 층류 요소(40)를 통과하는 질량 유량을 나타내는 신호가 실질적으로 수신된 셋포인트 신호와 매칭되도록 흐름 제어 밸브 조립체(20)를 제어하는 밸브 구동 신호를 생성할 수 있다. 예컨대, 일실시예에서 제어 밸브 구동 신호는 유체의 원하는 질량 유량을 나타내는 셋포인트 신호와, 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)를 사용하여 PID 제어기(45)에 의해 결정되는 실제 유량에 관련된 피드백 신호 간의 차이인 에러 신호에 기초하여 생성된다. 몇몇 예에서, 셋포인트 신호의 원하는 유량은 10 % 이하이다. 몇몇 예에서, 유출 압력은 약 2 psia를 상회할 수 있다.

[0044] 일실시예에서, 회로 기판(50)이 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)의 배면에 부착될 수 있다. 특정 실시예에서, 회로 기판(50)은 플래시 메모리와 유동 케이블 커넥터를 포함할 수 있다. 회로 기판(50)은 또한 임의의 변환기 전용 밸런스 또는 다른 트림 레지스터(trim resistor)를 장착할 위치를 제공할 수도 있다. 몇몇 실시예에서, 회로 기판(50)은, 제한하는 것은 아니지만 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)를 위한 교정 데이터와 같은 데이터를 저장하도록 구성된 메모리 구성요소를 가질 수 있다. 회로 기판(50)은 측정된 압력에 대한 증력 또는 가속 효과를 위한 자동 교정을 가능하게 하는 하나 이상의 가속도계를 포함할 수 있다. 회로 기판(50)은 또한 절대압 변환기 및 차압 변환기뿐만 아니라 다른 구성요소의 출력 신호를 증폭시키도록 구성되는 계측 증폭기(instrumentation amplifier)나 다른 증폭기도 포함할 수 있다. 회로 기판(50)은 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25) 내에 포함되는 절대압 및 차압 변환기와 전기 접속을 제공하는, 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)로부터의 핀에 의해 지지될 수 있다. 몇몇 실시예에서, 회로 기판(50)은 임의의 절대압 및 차압 변환기 장착 나사 헤드 주위에 클리어런스를 제공하는 하나 이상의 노치 또는 구멍을 포함할 수 있다.

[0045] 도 3은 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)의 개략도를 예시한다. 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)는 공급 체적(41)과 유체 연통되는 변환기 조립체 공동(105)이라고 하는 하나의 공동을 갖는 본체(100)를 포함한다. 몇몇 실시예에서, 변환기 조립체 공동(105)은 절대압 센서를 차압 센서의 상류측에 연결하는 조립체(25)에 의해 형성된다. 추가로, 차압 센서의 하류 측에는 다른 소형 공동이 마련된다. 하류의 소형 공동은 하류 차압 변환기의 용접 캡핑에 의해 형성되는 공동이다. 결합형 압력 센서의 상류 부분과 하류 부분의 체적도 또한 공급 체적과 재고 체적에 기여한다. 변환기 조립체 공동(105)은 압력 포트(110)를 통해 층류 요소[예컨대, 도 1에 예시한 층류 요소(40)] 상류의 압력에 노출될 수 있다. 일례로서, 일실시예에서 압력 포트(110)는 본체(100)의 페이스에 정밀 기계 가공된 시일이다. 절대압 멤브레인(115)과 상류 차압 멤브레인(120)이 변환기 조립체 공동(105)에 인접한다. 절대압 멤브레인(115)은 절대압 변환기(125)의 구성요소이다. 상류 차압 멤브레인(120)은 차압 변환기(130)의 구성요소이며, 차압 변환기는 압력 포트(140)를 통해 층류 요소[예컨대, 도 1에 도시한 층류 요소(40)] 하류의 압력에 노출되는 하류 차압 멤브레인(135)을 더 포함한다. 절대압 멤브레인(115), 상류 차압 멤브레인(120) 및 하류 차압 멤브레인(135)은 가요성의 과형 금속 다이어프램을 포함할 수 있다. 변환기

조립체 공동(105)은 매체 격리될 수 있고 실리콘 오일이나 다른 적절한 액체로 충전될 수 있다. 절대압 변환기(125)는 변환기 조립체 공동(105)의 절대압을 알릴 수 있다. 일실시예에서, 절대압 변환기(125)는 압전 저항 반도체 압력 센서를 포함할 수 있지만, 다른 기술이 사용될 수도 있다. 개시된 실시예에서, 차압 변환기(130)는 증류 요소 양 측부의 차압을 알린다. 일실시예에서, 차압 변환기(130)는 압전 저항 반도체 압력 센서를 포함할 수 있지만, 다른 기술이 사용될 수도 있다.

[0046] 일실시예에서, 절대압 멤브레인(115), 상류 차압 멤브레인(120) 및 하류 차압 멤브레인(135)은 고순도 스테인리스강이나 Hastelloy<sup>®</sup> (Haynes International사(社)의 등록 상표)과 같은 임의의 적절한 금속 또는 다른 적절한 재료로 제조된 얇은 가요성의 다이어프램을 포함할 수 있다. 얇은 금속 다이어프램은 정밀하게 특정된 프로파일(예컨대,  $\pm 0.15$  mm로 특정된 프로파일)을 갖도록 제조될 수 있고 절대압 변환기(125)나 차압 변환기(130)의 페이스로부터 약간 돌출하도록 위치 설정될 수 있다.

[0047] 예시된 실시예에서, 압력 포트(110, 140)들은 병렬 배치(co-location)된다. 포트(110, 140)들을 병렬 배치하는 것은, 속도 수두가 압력 강하에 상당히 기여할 수 있고, 포트 위치에서의 적은 변화가 감지된 압력의 상당한 변화를 일으킬 수 있는 고유량 어플리케이션을 위한 바람직한 실시예일 수 있다.

[0048] 도 4는 MFC - 전체적으로 305로 나타냄 - 의 변형예를 예시한다. MFC(305)는 도 1의 MFC(5)와 거의 유사하다; 그러나, 도 1의 결합형 절대압 및 차압 변환기 조립체(25)는 차압 변환기 조립체(310)로 대체되었으며, 차압 변환기 조립체는 도 3의 상류 차압 멤브레인(120), 하류 차압 멤브레인(135) 및 차압 변환기(130)와 유사한 상류 차압 멤브레인, 하류 차압 멤브레인, 및 차압 변환기를 포함한다. 그러나, 이 특정 실시예에서는 절대압 변환기와 차압 변환기가 병렬 배치되지 않는다. 대신, 절대압 변환기는 차압 변환기 조립체(310)와 별개로 증류 요소(40) 상류의 위치에, 예컨대 공급 체적(41)과 유체 연통되는 위치(315)에; 또는 대안으로서 증류 요소(40) 하류의 위치에, 예컨대 재고 체적(42)과 유체 연통되는 위치(320)에, 위치 설정될 수 있다.

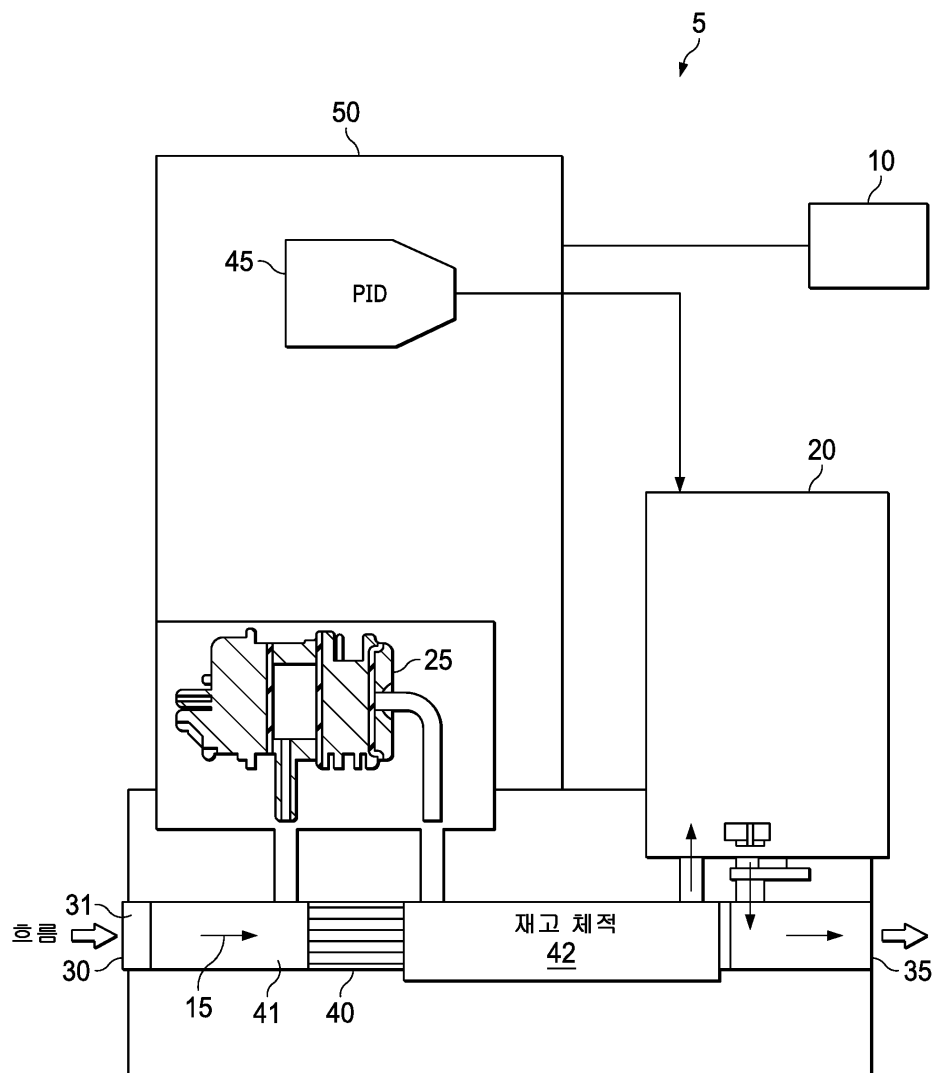
[0049] 절대압 변환기를 증류 요소(40)의 상류, 즉 위치(315)에 위치 설정하거나 도 1에 예시한 절대압 변환기와 동일 위치에 배치함으로써, 몇몇 어플리케이션에서 재고 체적(42)의 체적을 최소화하는 것에 의해 성능을 향상시킬 수 있다. 이와 같이, 상류 절대압 변환기 위치는 MFC(5), 특정 실시예에서는 MFC(305)의 바람직한 위치이다; 그러나, 증류 요소(40) 하류, 예컨대 위치(320)에 절대압 변환기를 위치 설정함으로써 대부분의 용례를 위해 충분한 MFC가 제공된다.

[0050] 여기에 개시한 예를 포함하는 하나 이상의 예시적인 예가 제시된다. 명확성을 위해 본 출원에서는 물리적 구현예의 모든 피처가 설명되거나 도시되지는 않는다. 따라서, 개시된 시스템 및 방법은 언급한 목적이나 장점뿐만 아니라 상기 시스템 및 방법에서 고유한 목적이나 장점도 또한 달성하도록 적절히 조정된다. 앞서 개시한 특정 예들은 단지 예시적일 뿐이며, 본 개시의 교시는 상이하지만 이 교시의 이점을 갖는 당업자에게 명백한 균등한 방식으로 수정되고 실시될 수 있다. 더욱이, 아래의 청구범위에 기술된 것 이외에 여기에 제시된 구성 또는 설계의 상세로 제한되는 것으로 의도되지 않는다. 따라서, 앞서 개시된 특정 예시적인 예들은 변경, 조합, 또는 수정될 수 있고, 상기한 모든 변형은 본 개시의 범위 내에 속하는 것으로 간주된다는 점이 자명하다. 여기에서 예시적으로 개시된 시스템 및 방법은 여기에 상세히 개시되지 않고/않거나 여기에 개시된 임의의 선택적인 요소인 임의의 요소 없이 적절히 실시될 수 있다.

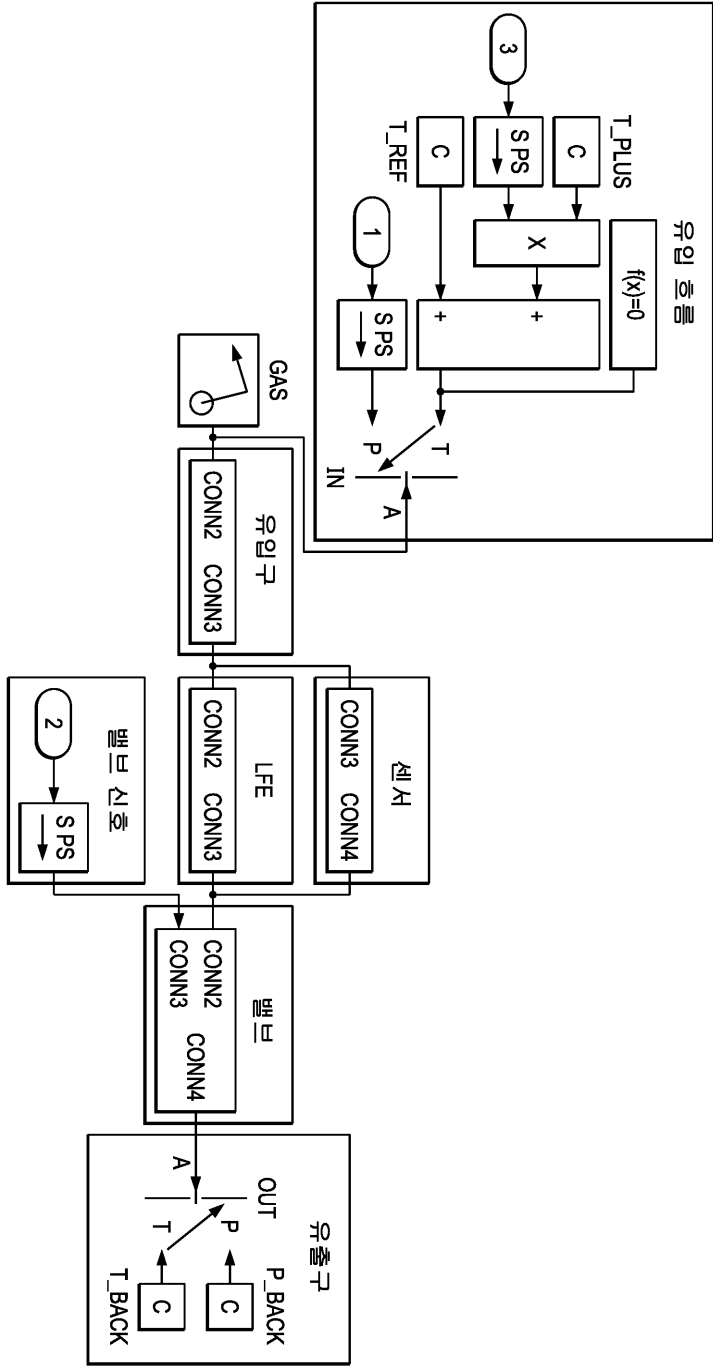
[0051] 본 개시 및 그 장점이 상세히 설명되었지만, 아래의 청구범위에 의해 규정되는 본 개시의 사상 및 범위를 벗어나는 일 없이 다양한 변화, 대체 및 변경이 이루어질 수 있다는 점을 이해해야만 한다.

도면

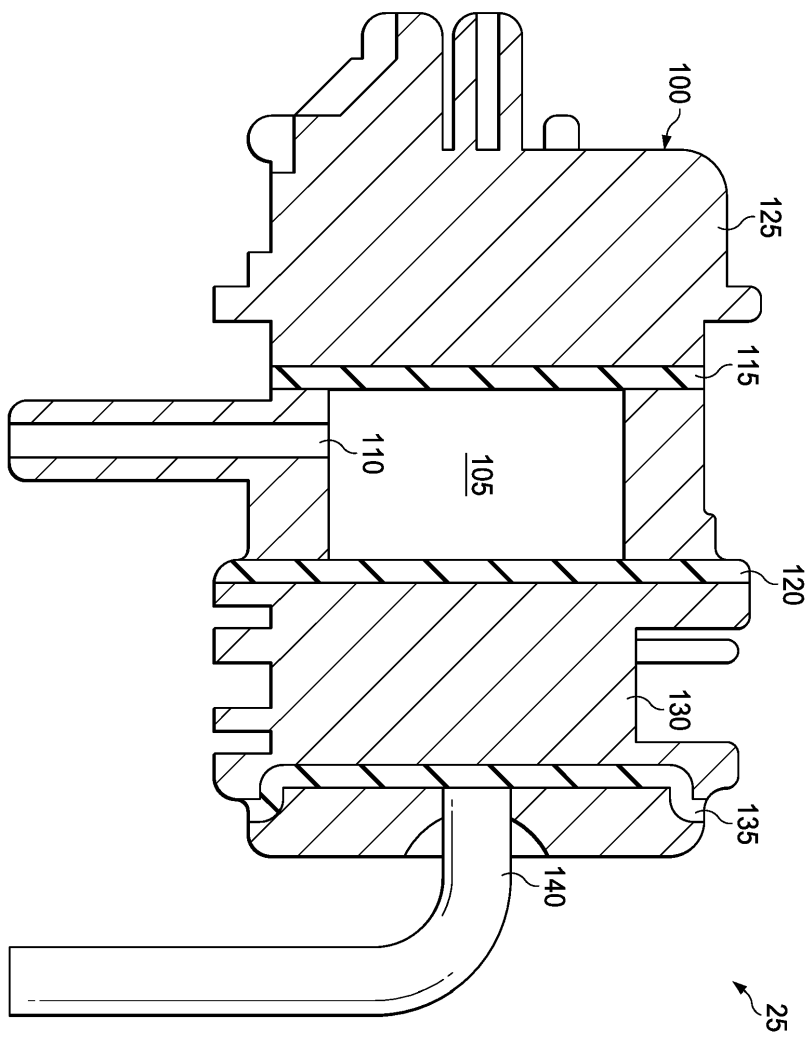
도면1



도면2



도면3



도면4

