



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년01월20일
(11) 등록번호 10-2755306
(24) 등록일자 2025년01월10일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05D 7/06 (2006.01) G01F 1/36 (2006.01)
G01F 1/50 (2006.01) G01F 5/00 (2006.01)
G05D 11/13 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G05D 7/0652 (2013.01)
G01F 1/36 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-7034798
- (22) 출원일자(국제) 2019년04월24일
심사청구일자 2022년02월24일
- (85) 번역문제출일자 2020년12월02일
- (65) 공개번호 10-2021-0006937
- (43) 공개일자 2021년01월19일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2019/028904
- (87) 국제공개번호 WO 2019/217078
국제공개일자 2019년11월14일
- (30) 우선권주장
15/973,190 2018년05월07일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2004517396 A*
JP2009533756 A*
JP2013030636 A*
US20170370763 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
엠케이에스 인스트루먼트 인코포레이티드
미국, 매사추세츠 01810, 앤도버, 스위트 201, 테크 드라이브 2
- (72) 발명자
딩, 준후아
미국 메사추세츠주 01719 박스버러 임마누엘 드라이브 67
엘'바씨, 마이클
미국 메사추세츠주 01564 스틸링 켄달 힐 로드 113
쿨, 웨인
미국 뉴햄프셔주 03087 윈드햄 노스랜드 로드 11
- (74) 대리인
특허법인 광장리앤코

전체 청구항 수 : 총 32 항

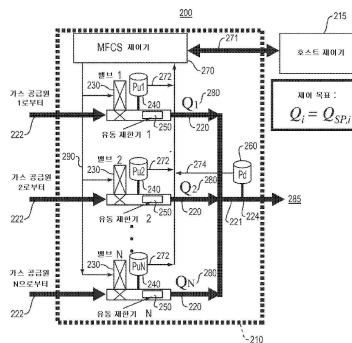
심사관 : 심유석

(54) 발명의 명칭 다채널 질량 유량 및 유량비 제어 시스템을 위한 방법 및 장치

(57) 요약

질량 유량 제어 시스템, 질량 유량비 제어 시스템, 및 질량 유량 및 유량비 제어 시스템을 포함하는 유체 제어 시스템, 및 대응하는 유체 제어 방법이 제공된다. 이들 시스템은 여러 개의 유동 채널에 대해 하나의 공유 압력 센서가 사용될 수 있게 해주고, 상기 공유 압력 센서로 검출된 유체 압력에 기초하여 질량 유량을 정확하게 결정할 수 있는 제어기를 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01F 1/50 (2013.01)

G01F 5/005 (2013.01)

G05D 11/139 (2013.01)

G05D 7/0664 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

유체 제어 시스템으로서,

복수의 유동 채널 - 각 유동 채널은 유동 제한기, 유동 조절 밸브, 및 상기 유동 제한기와 유동 조절 밸브 사이의 채널 압력 센서를 포함함 -;

각 유동 채널에 대해 상기 복수의 유동 채널에 유체를 전달하거나 상기 복수의 유동 채널로부터 유체를 전달받는 공유 유동 채널 - 상기 유동 제한기는 상기 채널 압력 센서와 공유 유동 채널 사이에 있음 -;

상기 공유 유동 채널에 있고 공유 유동 채널 압력을 검출하도록 구성된 공유 압력 센서; 및

채널 압력 및 공유 유동 채널 압력에 근거하여 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하고, 유동 채널의 상기 유동 조절 밸브를 제어하여 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 제어하는 제어기를 포함하고,

상기 제어기는 (1) 상기 복수의 유동 채널의 상기 채널 압력 센서의 반대편에서 상기 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 채널 압력, (2) 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량, 및 (3) 상기 공유 유동 채널을 통과하는 총 질량 유량을 재귀적으로 결정하는, 유체 제어 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 유동 채널의 각 유동 채널은 온도 센서를 더 포함하는, 유체 제어 시스템.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제어기는 유동 채널을 통해 흐르는 유체의 특성, 상기 유동 제한기의 특성, 및 유동 제한기와 공유 압력 센서 사이의 유동 채널 특성에 근거하여, 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하는, 유체 제어 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 유동 채널 특성은 상기 유동 제한기로부터 공유 압력 센서까지의 유동 채널의 부피와 길이인, 유체 제어 시스템.

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제어기는 (i) 상기 유동 채널의 채널 압력 센서의 반대편에서 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 유동 채널 압력을 가정하고 - 상기 채널 압력 센서는 검출된 유동 채널 압력을 제공함 -, (ii) 상기 채널 압력 센서의 반대편에서 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 유동 채널 압력 및 유동 채널에 대한 검출된 유동 채널 압력에 근거하여 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하고, (iii) 상기 복수의 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량에 기초하여 총 질량 유량을 결정하며, (iv) 단계 (iii) 에서 결정된 총 질량 유량을 사용하여, 유동 채널의 채널 압력 센서의 반대편에서 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 유동 채널 압력을 계산하며, 그리고 단계 (ii) 내지 단계 (iv)를 반복함으로써, 복수의 유동 채널의 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하는, 유체 제어 시스템.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 공유 유동 채널은 상기 복수의 유동 채널의 하류에 있는, 유체 제어 시스템.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 공유 유동 채널은 상기 복수의 유동 채널의 상류에 있는, 유체 제어 시스템.

청구항 9

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 유체 제어 시스템은 복수의 제2 유동 채널을 더 포함하고, 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널은 유동 제한기, 유동 조절 밸브, 및 상기 유동 제한기와 유동 조절 밸브 사이의 채널 압력 센서를 포함하고,

상기 공유 유동 채널은 상기 복수의 유동 채널로부터 유체를 상기 복수의 제2 유동 채널에 전달하며,

상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널에 대해, 상기 유동 제한기는 상기 채널 압력 센서와 공유 유동 채널 사이에 있고,

상기 제어기는 추가적으로 채널 압력 및 공유 유동 채널 압력에 근거하여 상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하고, 유동 채널의 상기 유동 조절 밸브를 제어하여 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 제어하는, 유체 제어 시스템.

청구항 10

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제어기는, 식 (1): $P_{d,i} = f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i)$ (1)을 사용하여, 상기 공유 유동 채널의 상류에 있는 i -번째 유동 채널의 채널 압력 센서의 반대편에서 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 유동 채널 압력을 계산하고, 여기서, f_{Pd} 는 상기 공유 압력 센서로 검출되는 하류 압력(P_d), 공유 유동 채널을 통과하는 총 유량(Q_t), 및 유동 제한기로부터 공유 압력 센서까지의 i -번째 유동 채널의 부피(V_i)와 길이(L_i)의 함수인, 유체 제어 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

f_{Pd} 는 경험적인 데이터 및/또는 실험에 의해 얻어지는, 유체 제어 시스템.

청구항 12

제10항에 있어서,

f_{Pd} 는 식 (2): $f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i) = k_{i,1} \cdot P_d + k_{i,2} \cdot Q_t + k_{i,3} \cdot V_i + k_{i,4} \cdot L_i$ (2)에 의해 제공되며, 여기서, $k_{i,1}$, $k_{i,2}$, $k_{i,3}$ 및 $k_{i,4}$ 는 경험적으로 또는 실험적으로 얻어지는 선형 계수인, 유체 제어 시스템.

청구항 13

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제어기는 식 (6): $P_{u,j} = f_{Pu}(P_u, Q_t, V_j, L_j)$ (6)을 사용하여, j -번째 유동 채널의 채널 압력 센서의 반대편에서 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 유동 채널 압력을 계산하고, 여기서, f_{Pu} 는 공유 압력 센서로 검출되는 상류 압력(P_u), 공유 유동 채널을 통과하는 총 유량(Q_t), 및 유동 제한기로부터 공유 압력 센서까지의 j -

번째 유동 채널의 부피(V_j)와 길이(L_j)의 함수인, 유체 제어 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

f_{Pu} 는 경험적인 데이터 및/또는 실험에 의해 얻어지는, 유체 제어 시스템.

청구항 15

제13항에 있어서,

f_{Pu} 는 식 $f_{Pu}(P_u, Q_t, V_j, L_j) = k_{j,1} \cdot P_u + k_{j,2} \cdot Q_t + k_{j,3} \cdot V_j + k_{j,4} \cdot L_j$ (7)에 의해 제공되며, 여기서, $k_{j,1}$,

$k_{j,2}$, $k_{j,3}$ 및 $k_{j,4}$ 는 경험적으로 또는 실험적으로 얻어지는 선형 계수인, 유체 제어 시스템.

청구항 16

제9항에 있어서,

상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널은 온도 센서를 더 포함하는, 유체 제어 시스템.

청구항 17

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 복수의 유동 채널은 통합형 시스템의 일부분인, 유체 제어 시스템.

청구항 18

제9항에 있어서,

상기 복수의 유동 채널 및 복수의 제2 유동 채널은 통합형 시스템의 일부분인, 유체 제어 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 공유 압력 센서는 상기 통합형 시스템의 일부분이 아닌, 유체 제어 시스템.

청구항 20

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 유체는 가스인, 유체 제어 시스템.

청구항 21

유체 제어 방법으로서,

복수의 유동 채널을 통해 유체를 흐르게 하는 단계 - 각 유동 채널은 유동 제한기와 유동 조절 밸브를 포함함 -;

공유 유동 채널을 통해 상기 복수의 유동 채널에 유체를 흐르게 하거나, 상기 공유 유동 채널을 통해 상기 복수의 유동 채널로부터 유체를 흐르게 하는 단계;

상기 공유 유동 채널에서 공유 유동 채널 압력을 검출하는 단계;

유동 조절 밸브와 유동 제한기 사이에서 각 유동 채널에 대한 유동 채널 압력을 검출하는 단계;

상기 유동 채널 압력과 공유 유동 채널 압력에 근거하여 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하는 단계; 및

상기 유동 채널의 유동 조절 밸브를 제어하여 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 제어하는 단계를 포함하고,

(1) 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량, (2) 상기 복수의 유동 채널의 상기 검출된 채널 압력의 검출 위치의 반대편에서 상기 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 채널 압력, 및 (3) 상기 공유 유동 채널을 통과하는 총 질량 유량이 재귀적으로 결정되는, 유체 제어 방법.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 유동 조절 밸브와 유동 제한기 사이에서 각 유동 채널에 대한 유동 채널 온도를 검출하는 단계를 더 포함하는, 유체 제어 방법.

청구항 23

제21항 또는 제22항에 있어서,

각 유동 채널을 통과하는 질량 유량은, 유동 채널을 통해 흐르는 유체의 특성, 상기 유동 제한기의 특성, 및 상기 유동 제한기와 공유 유동 채널 압력이 검출되는 곳 사이의 유동 채널 특성에 근거하여 결정되는, 유체 제어 방법.

청구항 24

삭제

청구항 25

제21항 또는 제22항에 있어서,

상기 복수의 유동 채널의 유동 채널을 통과하는 질량 유량의 결정은, (i) 상기 유동 채널의 상기 검출된 유동 채널 압력의 검출 위치의 반대편에서 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 유동 채널 압력을 가정하고, (ii) 상기 검출된 유동 채널 압력의 검출 위치의 반대편에서 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 유동 채널 압력 및 유동 채널에 대한 상기 검출된 유동 채널 압력에 근거하여 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하고, (iii) 상기 복수의 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량에 기초하여 총 질량 유량을 결정하며, (iv) 단계 (iii)에서 결정된 총 질량 유량을 사용하여, 유동 채널의 상기 검출된 유동 채널 압력의 검출 위치의 반대편에서 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 유동 채널 압력을 계산하며, 그리고 단계 (ii) 내지 단계 (iv)를 반복하는 것을 포함하는, 유체 제어 방법.

청구항 26

제21항 또는 제22항에 있어서,

상기 복수의 유동 채널로부터 상기 공유 유동 채널을 통해 복수의 제2 유동 채널 안으로 유체를 흐르게 하는 단계 - 상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널은 유동 제한기와 유동 조절 밸브를 포함함 -;

유동 조절 밸브와 유동 제한기 사이에서 상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널에 대한 유동 채널 압력과 유동 채널 온도를 검출하는 단계; 및

상기 유동 채널 압력과 공유 유동 채널 압력에 근거하여 상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하는 단계를 더 포함하는, 유체 제어 방법.

청구항 27

제21항 또는 제22항에 있어서,

식 (1): $P_{d,i} = f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i)$ (1)을 사용하여, 상기 공유 유동 채널의 상류에 있는 i -번째 유동 채널의 검출된 유동 채널 압력의 검출 위치의 반대편에서 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 유동 채널 압력을 계산하는 단계를 더 포함하고, 여기서, f_{Pd} 는 상기 검출된 공유 유동 채널 압력(P_d), 공유 유동 채널을 통과하는 총 유량(Q_t), 및 유동 제한기로부터 상기 검출된 공유 유동 채널 압력의 검출 위치까지의 i -번째 유동 채널의 부피(V_i)와 길이(L_i)의 함수인, 유체 제어 방법.

청구항 28

제27항에 있어서,

f_{Pd} 는 경험적인 데이터 및/또는 실험에 의해 얻어지는, 유체 제어 방법.

청구항 29

제27항에 있어서,

f_{Pd} 는 식 (2): $f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i) = k_{i,1} \cdot P_d + k_{i,2} \cdot Q_t + k_{i,3} \cdot V_i + k_{i,4} \cdot L_i$ (2)에 의해 제공되며, 여기서, $k_{i,1}$, $k_{i,2}$, $k_{i,3}$ 및 $k_{i,4}$ 는 경험적으로 또는 실험적으로 얻어지는 선형 계수인, 유체 제어 방법.

청구항 30

제21항 또는 제22항에 있어서,

식 (6): $P_{u,j} = f_{Pu}(P_u, Q_t, V_j, L_j)$ (6)을 사용하여, 상기 공유 유동 채널의 하류에 있는 j -번째 유동 채널의 상기 검출된 유동 채널 압력의 검출 위치의 반대편에서 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 유동 채널 압력을 계산하는 단계를 더 포함하고, 여기서, f_{Pu} 는 상기 검출된 공유 유동 채널 압력(P_u), 공유 유동 채널을 통과하는 총 유량(Q_t), 및 유동 제한기로부터 상기 검출된 공유 유동 채널 압력의 검출 위치까지의 j -번째 유동 채널의 부피(V_j)와 길이(L_j)의 함수인, 유체 제어 방법.

청구항 31

제30항에 있어서,

f_{Pu} 는 경험적인 데이터 및/또는 실험에 의해 얻어지는, 유체 제어 방법.

청구항 32

제30항에 있어서,

f_{Pu} 는 식 (7) $f_{Pu}(P_u, Q_t, V_j, L_j) = k_{j,1} \cdot P_u + k_{j,2} \cdot Q_t + k_{j,3} \cdot V_j + k_{j,4} \cdot L_j$ (7)에 의해 제공되며, 여기서, $k_{j,1}$, $k_{j,2}$, $k_{j,3}$ 및 $k_{j,4}$ 는 경험적으로 또는 실험적으로 얻어지는 선형 계수인, 유체 제어 방법.

청구항 33

제26항에 있어서,

유동 조절 밸브와 유동 제한기 사이에서 상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널에 대한 유동 채널 온도를 검출하는 단계를 더 포함하는, 유체 제어 방법.

청구항 34

제21항 또는 제22항에 있어서,

상기 유체는 가스인, 유체 제어 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 출원은 2018년 5월 7일에 출원된 미국 출원 15/973,190의 계속 출원이다. 이 출원의 전체 교시 내용은 본원에 참조로 관련되어 있다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 다채널 질량 유량 제어 시스템(multiple channel mass flow control system)을 사용해 여러 개의 채널을 통과하는 유체의 유동을 제어하여, 여러 개의 채널로부터 공유 유동 채널 안으로 들어가는 유체를 원하는 비율로 조합할 수 있다. 다채널 질량 유량비 제어 시스템(multiple channel mass flow ratio control system)을 사용하여, 공유 유동 채널로부터 여러 개의 채널 안으로 들어가는 유동을 원하는 질량 유량비로 제어한다. 이러한 시스템은 예컨대 반도체 제조 시스템 및 다른 재료 처리 시스템에 사용된다.
- [0003] 반도체 제조 공정은 여러 개의 처리 단계에서 여러 가지 상이한 가스 및 가스 혼합물을 다양한 양으로 전달하는 것을 포함할 수 있다. 일반적으로, 가스는 처리 시설 내의 탱크에 저장되며, 가스 계량 시스템을 사용하여, 계량된 양의 가스를 탱크로부터 화학적 증기 증착 반응기, 진공 스퍼터링 기계, 플라즈마 에칭기 등과 같은 처리 기구에 전달한다. 전형적으로, 밸브, 압력 조절기, 질량 유량 제어 시스템(mass flow control system; MFCS), 질량 유량비 제어 시스템(mass flow ratio control system; FRCS)과 같은 구성 요소는 가스 계량 시스템 또는 상기 가스 계량 시스템으로부터 처리 도구로 가는 유동로에 포함된다.
- [0004] 반도체 제조 용례와 같은 어떤 용례에서는, 공간이 전형적으로 매우 제한되고, 시스템은 유연할 필요가 있으며 (예컨대, 추가 유동 채널이 기존의 MFCS 또는 FRCS에 쉽게 추가되거나 그로부터 제거될 수 있거나 또는 그 내부에서 교환될 수 있는 것이 바람직함), 또한 높은 정밀도가 요구된다. 또한, 저렴하고 덜 복잡한 시스템이 일반적으로 바람직하다.

발명의 내용

- [0005] 다채널 질량 유량 제어 시스템, 다채널 질량 유량비 제어 시스템, 및 다채널 질량 유량 및 유량비 제어 시스템을 포함하는 유체 제어 시스템 및 대응하는 유체 제어 방법이 제공된다. 이들 시스템 및 방법은 기존의 대응하는 시스템 보다 공간 효율적이고 유연하며 비용 효과적이고 또한 더 간단한 유체 제어를 가능하게 한다.
- [0006] 유체 제어 시스템의 일 실시형태는, 복수의 유동 채널 - 각 유동 채널은 유동 제한기, 유동 조절 밸브, 및 상기 유동 제한기와 유동 조절 밸브 사이의 채널 압력 센서를 포함함 - ; 각 유동 채널에 대해 상기 복수의 유동 채널에 또는 그로부터 유체를 전달하는 공유 유동 채널 - 유동 제한기는 상기 채널 압력 센서와 공유 유동 채널 사이에 있음 -; 공유 유동 채널에 있고 공유 유동 채널 압력을 검출하도록 구성된 공유 압력 센서; 및 상기 채널 압력 및 공유 유동 채널 압력에 근거하여 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하고, 유동 채널의 상기 유동 조절 밸브를 제어하여 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 제어하는 제어기를 포함한다.
- [0007] 복수의 유동 채널의 각 유동 채널은 온도 센서를 포함할 수 있다.
- [0008] 제어기는 유동 채널을 통해 흐르는 유체의 특성, 상기 유동 제한기의 특성, 및 유동 제한기와 공유 압력 센서 사이의 유동 채널 특성에 근거하여, 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정할 수 있다. 유동 채널 특성은 상기 유동 제한기로부터 공유 압력 센서까지의 유동 채널의 부피와 길이일 수 있다.
- [0009] 제어기는 (1) 상기 복수의 유동 채널의 채널 압력 센서의 반대편이고 상기 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 채널 압력, (2) 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량, 및 (3) 상기 공유 채널을 통과하는 총 질량 유량을 재귀적으로 결정할 수 있다.
- [0010] 제어기는 (i) 상기 유동 채널의 채널 압력 센서의 반대편이고 유동 제한기에 인접하는 유동 채널 압력을 가정하고 - 상기 채널 압력 센서는 검출된 유동 채널 압력을 제공함 -, (ii) 상기 채널 압력 센서의 반대편이고 유동 제한기에 인접하는 유동 채널 압력 및 유동 채널에 대한 검출된 유동 채널 압력에 근거하여 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하고, (iii) 상기 복수의 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량에 기초하여 총 질량 유량을 결정하며, (iv) 단계 (iii)에서 결정된 총 질량 유량을 사용하여, 유동 채널의 채널 압력 센서의 반대편이고 유동 제한기에 인접하는 유동 채널 압력을 계산하며, 그리고 단계 (ii) 내지 단계 (iv)를 반복함으로써, 복수의 유동 채널의 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정할 수 있다.
- [0011] 공유 유동 채널은 상기 복수의 유동 채널의 하류에 있을 수 있다.
- [0012] 공유 유동 채널은 또한 상기 복수의 유동 채널의 상류에 있을 수 있다.
- [0013] 추가 실시형태에서, 유체 제어 시스템은 복수의 제2 유동 채널을 더 포함하고, 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널은 유동 제한기, 유동 조절 밸브, 및 상기 유동 제한기와 상기 유동 조절 밸브 사이의 채널 압력 센서를 포

합하고, 상기 공유 유동 제한기는 상기 복수의 유동 채널로부터 상기 복수의 제2 유동 채널에 유체를 전달하며, 상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널에 대해, 상기 유동 제한기는 상기 채널 압력 센서와 공유 유동 채널 사이에 있고, 상기 제어기는 추가적으로 채널 압력 및 공유 유동 채널 압력에 근거하여 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하고 유동 채널의 상기 유동 조절 밸브를 제어하여 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 제어한다.

- [0014] 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널은 온도 센서를 더 포함할 수 있다.
- [0015] 복수의 유동 채널은 통합형 시스템의 일부분일 수 있다.
- [0016] 복수의 유동 채널 및 복수의 제2 유동 채널은 통합형 시스템의 일부분일 수 있다.
- [0017] 공유 압력 센서는 상기 통합형 시스템의 일부분일 필요는 없다(즉, 공유 압력 센서는 외부에 있을 수 있음).
- [0018] 유체는 액체 또는 가스일 수 있지만, 전형적으로 유체는 가스이다.
- [0019] 다른 실시형태는 유체 제어 방법이다. 상기 유체 제어 방법은 복수의 유동 채널을 통해 유체를 흐르게 하는 단계 - 각 유동 채널은 유동 제한기와 유동 조절 밸브를 포함함 -; 공유 유동 채널을 통해 상기 복수의 유동 채널에 또는 그로부터 유체를 흐르게 하는 단계; 상기 공유 유동 채널에서 공유 유동 채널 압력을 검출하는 단계; 유동 조절 밸브와 유동 제한기 사이에서 각 유동 채널에 대한 유동 채널 압력을 검출하는 단계; 상기 유동 채널 압력과 공유 유동 채널 압력에 근거하여 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하는 단계; 및 상기 유동 채널의 유동 조절 밸브를 제어하여 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 제어하는 단계를 포함한다.
- [0020] 유체 제어 방법은 상기 유동 조절 밸브와 유동 제한기 사이에서 각 유동 채널에 대한 유동 채널 온도를 검출하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0021] 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량은, 유동 채널을 통해 흐르는 유체의 특성, 상기 유동 제한기의 특성, 및 상기 유동 제한기와 공유 유동 채널 압력이 검출되는 곳 사이의 유동 채널 특성에 근거하여 결정될 수 있다.
- [0022] 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량, 상기 복수의 유동 채널의 채널 압력 센서의 반대편이고 유동 제한기에 인접하는 위치에 대한 채널 압력, 및 공유 채널을 통과하는 총 질량 유량이 재귀적으로 결정될 수 있다.
- [0023] 복수의 유동 채널의 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하는 단계는, (i) 상기 유동 채널의 채널 압력 센서의 반대편이고 유동 제한기에 인접하는 유동 채널 압력을 가정하고, (ii) 상기 채널 압력 센서의 반대편이고 유동 제한기에 인접하는 유동 채널 압력 및 유동 채널에 대한 검출된 유동 채널 압력에 근거하여 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하고, (iii) 상기 복수의 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량에 기초하여 총 질량 유량을 결정하며, (iv) 단계 (iii)에서 결정된 총 질량 유량을 사용하여, 유동 채널의 채널 압력 센서의 반대편이고 유동 제한기에 인접하는 유동 채널 압력을 계산하며, 그리고 단계 (ii) 내지 단계 (iv)를 반복하는 것을 포함할 수 있다.
- [0024] 유체 제어 방법은, 복수의 유동 채널로부터 공유 채널을 통해 복수의 제2 유동 채널 안으로 유체를 흐르게 하는 단계 - 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널은 유동 제한기와 유동 조절 밸브를 포함함 -; 상기 유동 조절 밸브와 유동 제한기 사이에서 상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널에 대한 유동 채널 압력과 유동 채널 온도를 검출하는 단계; 및 상기 유동 채널 압력과 공유 유동 채널 압력에 근거하여 상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0025] 유체 제어 방법은 유동 조절 밸브와 유동 제한기 사이에서 상기 복수의 제2 유동 채널의 각 유동 채널에 대한 유동 채널 온도를 검출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0026] 유체 제어 방법으로 제어되는 유체는 액체 또는 가스일 수 있고, 전형적으로 가스이다.
- [0027] 전술한 내용은 첨부 도면에 도시되어 있는 바와 같은 본 발명의 예시적인 실시형태에 대한 이하의 상세한 설명으로부터 명백할 것이며, 도면들에서 유사한 참조 부호는 상이한 도면 전체에 걸쳐 동일한 부분을 나타낸다. 도면은 척도에 따를 필요는 없고, 대신에, 본 발명의 실시형태를 도시하는 것에 강조가 주어진다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 종래 기술의 단일 채널 질량 유량 제어 시스템의 개략도이다.
- 도 2는 여러 개의 채널에 의해 공유되는 내부 하류 압력 센서를 포함하는 다채널 질량 유량 제어 시스템의 개략

도이다.

도 3은 여러 개의 채널에 의해 공유되는 외부 하류 압력 센서를 포함하는 다채널 질량 유량 제어 시스템의 개략도이다.

도 4는 여러 개의 채널에 의해 공유되는 내부 상류 압력 센서를 포함하는 다채널 질량 유량비 제어 시스템의 개략도이다.

도 5는 여러 개의 채널에 의해 공유되는 외부 상류 압력 센서를 포함하는 다채널 질량 유량비 제어 시스템의 개략도이다.

도 6은 여러 개의 채널 중의 일부 채널의 하류에 그리고 다른 채널의 상류에 있고 여러 개의 채널에 의해 공유되는 하나의 압력 센서를 포함하는 통합형 다채널 질량 유량 및 유량비 제어 시스템의 개략도이다.

도 7은 입구 밸브를 제어하여 질량 유량을 다채널 질량 유량 제어 시스템에 대한 유량 설정점으로 조절하는 것을 도시하는 흐름도이다.

도 8은 출구 밸브를 제어하여 질량 유량을 다채널 질량비 제어 시스템에 대한 유량 설정점으로 조절하는 것을 도시하는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하, 본 발명의 예시적인 실시형태를 설명한다.
- [0030] 질량 유량 제어 시스템, 질량 유량비 제어 시스템, 및 질량 유량 및 유량비 제어 시스템을 포함하는 유체 제어 시스템, 및 유체 제어를 위한 상응하는 방법들이 제공된다. 이하에서 설명하는 바와 같이, 여기서 제공되는 시스템은 종래 기술의 시스템과 비교하여 상당한 이점을 지니고 있다.
- [0031] 도 1은 호스트 제어기(105)와 통합형 질량 유량 제어 시스템(110)을 포함하는 종래 기술의 단일 채널 질량 유량 제어 시스템(100)을 나타낸다. 통합형 질량 유량 제어 시스템(110)은, 상류 위치(122)로부터 하류 위치(124)로 유동 채널 내의 가스 유동을 허용하도록 구성된 유동 채널(120), 상기 유동 채널 내의 가스 유동을 조절하도록 구성된 밸브(130), 내부(즉, 통합형 시스템의 내부)의 상류 압력 센서(140), 유동 제한기(150), 하류 압력 센서(160), 및 질량 유량 제어 시스템(MFCS) 제어기(170)를 포함한다. 상기 유동 제한기(150)는 압력 강하를 일으키는데, 즉 상류 압력 센서(140)로 검출되는 압력이 하류 압력 센서(160)로 검출되는 압력 보다 높다. 상기 MFCS 제어기(170)는 (예컨대, 질량 유량 제어 설정점을 수신하기 위해) 호스트 제어기(105)와 연통하고(171) 또한 압력 신호는 통합형 질량 유량 제어 시스템(110)을 통과하는 질량 유량(180)(Q_1)을 계산하기 위한 기초를 제공하는 상류 압력 신호(172) 및 하류 압력 신호(174)를 수신한다. 계산된 질량 유량(180) 및 원하는 질량 유량 설정점에 기초하여, 상기 MFCS 제어기(170)는 밸브(130)를 제어하여(190) 질량 유량(180)을 원하는 질량 유량으로 조절한다.
- [0032] 중요하게도, 종래 기술의 질량 유량 제어 시스템에서, 각 유동 채널은 유동 제한기 근처에서 2개의 연관된 압력 센서(즉, 상류 압력 센서(140) 및 하류 압력 센서(174))를 가지고 있어, 유동 제한기(150)를 가로지르는 압력 강하의 정확한 검출 및 따라서 질량 유량의 정확한 결정을 가능하게 한다.
- [0033] 대조적으로, 여기서 제공되는 유체 제어 시스템 및 방법은 하나의 압력 센서(즉, 질량 유량 제어 시스템 내의 하류 압력 센서 또는 질량 유량비 제어 시스템 내의 상류 압력 센서)가 유동 제한기로부터 거리를 두도록 허용하여 단일의 MFCS 제어기로 작동될 수 있으며, 이는 여러 가지 큰 이점을 준다. 압력 센서가 거리를 둘 수 있기 때문에, 상기 압력 센서는 여러 개의 채널에 의해 공유될 수 있다. 단일의 MFCS 제어기의 사용 및 공유 압력 센서의 사용은 더 비용 효율적이고 또한 유체 제어 시스템을 더 공간 효율적으로 되게 하며, 후자는 반도체 산업과 같은 특정한 산업에서의 적용에 특히 중요하다. 또한, 단일의 MFCS 제어기와 조합될 때, 공유 압력 센서는, 유체 제어 시스템 내에서, 압력 센서와 MFCS 제어기 사이 그리고 MFCS 제어기와 호스트 제어기 사이의 통신의 복잡성을 크게 단순화시킬 수 있다. 또한, 공유 압력 센서는 보정을 단순화시키고 개선할 수 있고, 다채널 시스템을 더 유연하게 해주며, 또한 공유 압력 센서로서 더 높은 정확도의 더 큰 압력 센서의 사용을 가능하게 하고, 이로써, 비용 증가 없이 유체 제어 시스템의 전체적인 정확도가 개선될 수 있다.
- [0034] 도 2는 다채널 질량 유량 제어 시스템(200)을 도시하며, 상기 제어 시스템은 호스트 제어기(215)와 연통하는 통합형 다채널 질량 유량 제어 서브시스템(210)을 포함한다. 여기서 도시되어 있는 바와 같이, 상기 시스템(200)은 복수의 유동 채널(220)을 가지며(도시의 용이를 위해, 첫번째, 두번째 및 N-번째 유동 채널만 나타나

있음), 이들 유동 채널은 동일할 수 있지만(예컨대, 동일한 직경과 동일한 길이를 가짐), 더 전형적으로는 상이하다(예컨대, 상이한 길이를 가짐). 상기 유동 채널(220)들은 연결되어 공유 유동 채널(221)을 형성한다. 각 유동 채널(220)은 유동 채널의 상류 위치(222)와 하류 위치(224) 사이에서 공유 유동 채널(221)을 따르는 유동 채널 내의 유체 유동을 허용하도록 구성되고, 상기 공유 유동 채널에서는 하류 압력이 검출된다. 각 유동 채널은, 각각의 유동 채널 내의 유체 유동을 조절하도록 구성된 밸브(230)를 더 가진다. 상기 밸브들은 동일하거나 다를 수 있다. 각 유동 채널(220)은 상류 압력 센서(240)와 유동 제한기(250)를 더 가진다. 내부의 공유 하류 압력 센서(260)는 위치(224)에서 공유 유동 채널(221) 내의 유체 압력을 검출한다. 상기 MFCS 제어기(270)는 (예컨대, 일 세트의 질량 유량 제어 설정점을 수신하기 위해) 호스트 제어기(215)와 연통하고(271), 각 상류 압력 센서(240)로부터 상류 압력 신호(272)를 수신하고 하류 압력 센서(260)로부터 하류 압력 신호(274)를 수신하도록 구성된다. 상기 예에서, 상기 MFCS 제어기(270)와 상기 하류 압력 센서(260) 모두는 통합형 시스템(210)의 일부분이다. 그러나, 대안적인 실시형태에서, 질량 유량 제어 시스템 제어기(270) 및/또는 하류 압력 센서(260)는 외부에 있을 수 있다. 또한, 대안적인 실시형태에서, 하나 보다 많은 MFCS 제어기(270)가 사용될 수 있고, 내부 및/또는 외부에 있을 수 있는데, 하지만, 추가의 MFCS 제어기는 비용, 공간 요건 및 시스템 내의 제어기와 센서 사이의 통신의 복잡성을 증가시키므로, 전형적으로, 하나의 MFCS 제어기(270)가 사용된다. 상기 MFCS 제어기(270)는 각 밸브(230)를 독립적으로 제어할 수 있도록 구성되어 각 유동 채널(220)을 통과하는 각각의 질량 유량(280)을 제어하고 그리하여 공유 유동 채널(221)을 통과하는 총 질량 유량(285)을 제어한다. 이와 관련하여, 상기 제어기는 밸브 제어 신호(290)를 각 밸브(230)에 보내도록 구성된다.

[0035] 하류 압력 센서(260)는 각 유동 제한기(250)로부터 거리를 두고 있다. 각 유동 채널(220)을 통과하는 유체 유량을 정확히 측정할 수 있도록, 각 유동 제한기의 양측에 있고 그에 인접하는 유체의 유체 압력들이 알려질 필요가 있다.

[0036] 일반적으로, 주어진 유동 채널(i)에 대해, 유동 제한기에 인접하는 유체 압력을 검출하는 각각의 내부 압력 센서(예컨대, 상류 압력 센서(240))는 주어진 유동 채널에 대한 상기 요구되는 두 개의 압력값 중의 하나를 제공하며, 예컨대, i -번째 유동 채널의 상류 압력($P_{u,i}$)을 제공한다. 제한기에 인접하는 위치에서의 i -번째 유동 채널의 하류 압력($P_{d,i}$)은 다음 식으로 추정될 수 있다:

[0037]
$$P_{d,i} = f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i) \quad (1)$$

[0038] 여기서, f_{Pd} 는 공유 유동 채널을 따른 한 위치에서 거리를 둔 하류 압력 센서(예컨대, 공유 유동 채널(221)을 따른 위치(224)에 있는 압력 센서(260))로 검출되는 공유 하류 압력(P_d), 장치를 통과하는 총 유량(Q_t)(즉, 공유 유동 채널을 통과하는 유량) 및 유동 제한기로부터 제 2 위치의 공유 압력 센서까지의 i -번째 유동 채널의 부피(V_i)와 길이(L_i)의 함수이다.

[0039] 함수 f_{Pd} 는 경험적인 데이터 또는 실험에 의해 예컨대 다음과 같은 선형 표현으로 얻어질 수 있다:

[0040]
$$f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i) = k_{i,1} \cdot P_d + k_{i,2} \cdot Q_t + k_{i,3} \cdot V_i + k_{i,4} \cdot L_i \quad (2)$$

[0041] 여기서, $k_{i,1}$, $k_{i,2}$, $k_{i,3}$ 및 $k_{i,4}$ 는 경험적으로 또는 실험적으로 얻어지는 선형 계수이다.

[0042] 해당 기술 분야에서 알려져 있는 바와 같이, i -번째 채널의 유동 제한기를 통과하는 유량(Q_i)는, 유동 제한기의 상류 및 하류 압력($P_{u,i}$ 및 $P_{d,i}$)(즉, 유동 제한기에 바로 인접하는 압력), 제한기를 통과하는 유동로의 단면(A_i) 및 비열비(γ) 및 분자량(M)과 같은 가스 특성의 함수로 표현될 수 있다:

[0043]
$$Q_i = f_Q(P_{u,i}, P_{d,i}, A_i, \gamma, M) \quad (3)$$

[0044] 함수 f_Q 는 경험적인 데이터 또는 실험으로 얻어질 수 있다.

[0045] 유동 제한기로서 유동 노즐인 경우에, 다음의 식이 사용될 수 있다:

$$Q_i = C_i \cdot A_i \cdot P_{u,i} \cdot \left(\frac{R \cdot T}{M} \frac{2\gamma}{\gamma-1}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{P_{d,i}}{P_{u,i}}\right)^{1/\gamma} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_{d,i}}{P_{u,i}}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}\right]^{1/2} \quad (4)$$

[0047] 여기서, C_i 는 i -번째 유동 제한기의 배출 계수이며, R 은 일반 기체 상수이고, T 는 가스 온도이다.

[0048] 유동 제한기로서 파이프인 경우에, 다음의 식이 사용될 수 있다:

$$Q_i = \frac{\pi \cdot d_i^4}{128 \mu \cdot L_i} \frac{(P_{u,i} + P_{d,i})}{2} (P_{u,i} - P_{d,i}) \quad (5)$$

[0050] 여기서, d_i 는 i -번째 파이프의 직경이고, L_i 는 i -번째 파이프의 길이이며, μ 는 가스 점도이다.

[0051] 다른 유동 제한기와 이러한 유동 제한기를 통과하는 질량 유량을 나타내는 대응하는 식이 사용될 수 있고 해당 기술 분야에 알려져 있다(예컨대, 미국 기계학회 "ASME MFC-3M-2004 Measurement of Fluid Flow in Pipes Using Orifice, Nozzle, and Venturi"(2004) 참조).

[0052] 장치를 통과하는 총 유량(Q_t)은 모든 개별 채널 유량(Q_i)($i = 1, 2, \dots, M$)을 합하여 계산된다. Q_t 의 계산은 하류 압력($P_{d,i}$)에 종속되기 때문에, Q_i , $P_{d,i}$ 및 Q_t 를 결정하기 위해서는 재귀적인 계산이 필요하다. 예컨대, 먼저 초기 $P_{d,i}$ 값을 가정하고, 초기 유량(Q_i)은 전술한 바와 같이 결정된다. 그런 다음에, 모든 Q_i 를 합하여 총 유량(Q_t)을 결정한다. 그런 다음에, 상기 총 유량(Q_t)을 사용하여, $P_{d,i}$ 및 Q_i 를 재계산할 수 있다. 이러한 재귀적인 계산은, 값들이 설정된 수렴 임계값 내에 수렴할 때까지 반복된다.

[0053] 계산된 질량 유량(Q_t)에 기초하여, 상기 MFCS 제어기는 피드백 제어법을 사용하여 각 유동 채널의 밸브를 원하는 질량 유량 설정점으로 제어할 수 있다.

[0054] 도 2에 도시되어 있는 다채널 질량 유량 제어 시스템에서, 공유 하류 압력 센서(260)는 내부 센서이며 통합형 시스템의 일부분이다. 상기 하류 압력 센서는 도 3에 도시되어 있는 바와 같이 외부에 있을 수도 있다.

[0055] 도 3은 다채널 질량 유량 제어 시스템(300)을 도시하며, 상기 제어 시스템은 호스트 제어기(315)와 연통하는 통합형 다채널 질량 유량 제어 서브시스템(310)을 포함한다. 여기서 도시되어 있는 바와 같이, 상기 시스템(300)은 복수의 유동 채널(320)을 가지며(도시의 용이를 위해, 첫번째, 두번째 및 N -번째 유동 채널만 나타나 있음), 이들 유동 채널은 동일할 수 있지만(예컨대, 동일한 직경과 동일한 길이를 가짐), 더 전형적으로는 상이하다(예컨대, 상이한 길이를 가짐). 상기 유동 채널(320)들은 연결되어 공유 유동 채널(321)을 형성한다. 각 유동 채널(320)은 유동 채널의 상류 위치(322)와 하류 위치(324) 사이에서 공유 유동 채널(321)을 따르는 유동 채널 내의 유체 유동을 허용하도록 구성되고, 상기 공유 유동 채널에서 하류 압력이 검출된다. 각 유동 채널은, 각각의 유동 채널 내의 유체 유동을 조절하도록 구성된 밸브(330)를 더 가진다. 상기 밸브들은 동일하거나 다를 수 있다. 각 유동 채널(320)은 상류 압력 센서(340)와 유동 제한기(350)를 더 가진다. 외부의 공유 하류 압력 센서(360)는 위치(324)에서 공유 유동 채널(321) 내의 유체 압력을 검출한다. MFCS 제어기(370)는 (예컨대, 일 세트의 질량 유량 제어 설정점을 수신하기 위해) 호스트 제어기(315)와 연통하고(371), 각 상류 압력 센서(340)로부터 상류 압력 신호(372)를 수신하고 하류 압력 센서(360)로부터 하류 압력 신호(374)를 수신하도록 구성된다. 상기 예에서, 상기 MFCS 제어기(370)는 통합형 시스템(310)의 일부분이다. 그러나, 대안적인 실시형태에서, MFCS 제어기(370)는 외부에 있을 수 있다. 또한, 대안적인 실시형태에서, 하나 보다 많은 MFCS 제어기(370)가 사용될 수 있고, 내부 및/또는 외부에 있을 수 있는데, 하지만, 추가의 MFCS 제어기는 비용, 공간 요건 및 시스템 내의 제어기와 센서 사이의 통신의 복잡성을 증가시키므로, 전형적으로, 하나의 MFCS 제어기(370)가 사용된다. 상기 MFCS 제어기(370)는 각 밸브(330)를 독립적으로 제어할 수 있도록 구성되어, 각 유동 채널(320)을 통과하는 각각의 질량 유량(380)을 제어하고 그리하여 공유 유동 채널(321)을 통과하는 총 질량 유량(385)을 제어한다. 이와 관련하여, 상기 제어기는 밸브 제어 신호(390)를 각 밸브(330)에 보내도록 구성된다. 상기 제어기는 추가적으로 위의 식 (1) 및 (2)를 사용하여 유동 제한기에 인접한 위치에서 i -번째 유동 채널의 하류 압력($P_{d,i}$)을 추정하도록 구성된다. 계산된 하류 압력으로 상기 MFCS 제어기는 식 (3) 및/또는 (4) 또는 (5)에 따라 유동 채널에서의 질량 유량을 더 추정할 수 있다.

[0056] 도 4는 다채널 질량 유량비 제어 시스템(405)과 다채널 질량 유량 제어 시스템(407)을 포함하는 유체 제어 시스

템(400)을 도시하며, 다채널 질량 유량 제어 시스템은 시스템(405)에 대한 유체 입력을 제공한다. 상기 통합형 질량 유량비 제어 시스템(405)은 호스트 제어기(415)와 연통하도록 구성되고, 여기서 도시되어 있는 바와 같이, 복수의 유동 채널(420)을 가지며(도시의 용이를 위해, 첫번째, 두번째 및 N-번째 유동 채널만 나타나 있음), 이들 유동 채널은 동일할 수 있지만(예컨대, 동일한 직경과 동일한 길이를 가짐), 더 전형적으로는 상이하다(예컨대, 상이한 길이를 가짐). 상기 유동 채널(420)들은 연결되어 공유 유동 채널(421)을 형성한다. 각 유동 채널(420)은 유동 채널의 상류 위치(424)와 하류 위치(422) 사이에서 공유 유동 채널(421)을 따르는 유동 채널 내의 유체 유동을 허용하도록 구성되고, 상기 공유 유동 채널에서 공유 상류 압력이 검출된다. 각 유동 채널(420)은, 각각의 유동 채널 내의 유체 유동을 조절하도록 구성된 밸브(430)를 더 가진다. 상기 밸브들은 동일하거나 다를 수 있다. 각 유동 채널(420)은 하류 압력 센서(440)와 유동 제한기(450)를 더 가진다. 내부의 공유 상류 압력 센서(460)는 위치(424)에서 공유 유동 채널(421) 내의 유체 압력을 검출한다. 다채널 유량비(MCFR) 제어기(470)는 (예컨대, 질량 유량 제어 설정점을 수신하기 위해) 호스트 제어기(415)와 연통하고(471), 각 하류 압력 센서(440)로부터 하류 압력 신호(472)를 수신하고 공유 상류 압력 센서(460)로부터 공유 상류 압력 신호(474)를 수신하도록 구성된다. 상기 예에서, 상기 MCFR 제어기(470)는 통합형 시스템(405)의 일 부분이다. 그러나, 대안적인 실시형태에서, MCFR 제어기(470)는 외부에 있을 수 있다. 또한, 대안적인 실시형태에서, 하나 보다 많은 MCFR 제어기(470)가 사용될 수 있고, 내부 및/또는 외부에 있을 수 있는데, 하지만, 추가의 MCFR 제어기는 비용, 공간 요건 및 시스템 내의 제어기와 센서 사이의 통신의 복잡성을 증가시키므로, 전형적으로, 하나의 MCFR 제어기(470)가 사용된다. 상기 MCFR 제어기(470)는, 각 밸브(430)를 제어할 수 있도록 구성되어, 각 유동 채널(420)을 통과하는 각각의 질량 유량(480)을 제어하고, 알려진 피드백 제어법(예컨대, PID 제어법)을 통해 총 입력 유량(485)에 대한 목표 유량비 설정점을 얻는다. 이와 관련하여, 상기 제어기는 밸브 제어 신호(490)를 각 밸브(430)에 보내도록 구성된다. 상기 공유 상류 압력 센서(460)는 각 유동 제한기(450)로부터 거리를 두고 있다. 각 유동 채널(420)을 통과하는 유체 유량을 정확히 측정할 수 있도록, 각 유동 제한기(450)의 양측에 있고 그에 인접하는 유체의 유체 압력들이 알려질 필요가 있다.

[0057] 일반적으로, 주어진 유동 채널(j)에 대해, 유동 제한기에 인접하는 유체 압력을 검출하는 각각의 내부 압력 센서(예컨대, 하류 압력 센서(440))는 주어진 유동 채널에 대한 상기 요구되는 두 개의 압력값 중의 하나를 제공하며, 예컨대, j -번째 유동 채널의 하류 압력($P_{d,j}$)을 제공한다. 유동 제한기에 인접하는 위치에서의 j -번째 유동 채널의 상류 압력($P_{u,j}$)은 다음 식으로 추정될 수 있다:

$$P_{u,j} = f_{Pu}(P_w, Q_t, V_j, L_j) \quad (6)$$

[0058] 여기서, f_{Pu} 는 공유 유동 채널을 따른 상류 위치에서 거리를 둔 상류 압력 센서(예컨대, 유동 제한기(450)에 대해 공유 유동 채널(421)을 따른 상류 위치(424)에 있는 압력 센서(460))로 검출되는 공유 상류 압력(P_u), 장치를 통과하는 총 유량(Q)(즉, 공유 유동 채널, 예컨대, 채널(421)을 통과하는 유량), 및 유동 제한기로부터 상류 위치의 공유 압력 센서까지의 j -번째 유동 채널의 부피(V_j)와 길이(L_j)의 함수이다.

[0060] 함수 f_{Pu} 는 경험적인 데이터 또는 실험에 의해 예컨대 다음과 같은 선형 표현으로 얻어질 수 있다:

$$f_{Pu}(P_w, Q_t, V_j, L_j) = k_{j,1} \cdot P_u + k_{j,2} \cdot Q_t + k_{j,3} \cdot V_j + k_{j,4} \cdot L_j \quad (7)$$

[0062] 여기서, $k_{j,1}$, $k_{j,2}$, $k_{j,3}$ 및 $k_{j,4}$ 는 경험적으로 또는 실험적으로 얻어지는 선형 계수이다. 계산된 압력으로, 상기 MFCS 제어기는 위의 식 (3) 및/또는 (4) 또는 (5)에 따라 유동 채널에서의 질량 유량을 더 추정할 수 있다.

[0063] 도 4에 더 도시되어 있는 바와 같이, 통합형 다채널 질량 유량비 제어 시스템(405)은 종래 기술의 공지된 다채널 질량 유량 제어 시스템(407)과 조합될 수 있지만, 그의 유체 입력을 유체 공급원(여기서는 나타나 있지 않음)으로부터 직접 받을 수도 있다. 다채널 질량 제어 시스템(407)은, 예컨대 도 1에 도시되어 있는 바와 같은, 종래 기술의 공지된 다수의 질량 유량 제어 시스템(491)을 포함할 수 있고, 상기 질량 유량 제어 시스템은, 복수의 채널(492)로부터 나오는 유동이 공유 유동 채널(421) 안으로 합쳐지도록 구성된다. 각 질량 유량 제어 시스템(491)은 공급원(493)으로부터 유체를 받는다.

[0064] 도 4의 통합형 다채널 질량 유량비 제어 시스템(405)에서, 공유 상류 압력 센서(460)는 내부 센서이고, 통합형

시스템의 일부분이다. 상기 상류 압력 센서는 도 5에 도시되어 있는 바와 같이 외부에 있을 수도 있다.

[0065] 도 5는 통합형 다채널 질량 유량비 제어 시스템(505)과 시스템(505)에 대한 유체 입력을 제공하는 다채널 질량 유량 제어 시스템(507)을 포함하는 유체 제어 시스템(500)을 도시한다. 통합형 질량 유량비 제어 시스템(505)은 호스트 제어기(515)와 연통하도록 구성되고, 여기서 도시되어 있는 바와 같이, 복수의 유동 채널(520)을 가지며(도시의 용이를 위해, 첫번째, 두번째 및 N-번째 유동 채널만 나타나 있음), 이들 유동 채널은 동일할 수 있지만(예컨대, 동일한 직경과 동일한 길이를 가짐), 더 전형적으로는 상이하다(예컨대, 상이한 길이를 가짐). 유동 채널(520)들은 연결되어 공유 입력 유동 채널(521)을 형성한다. 각 유동 채널(520)은 유동 채널의 상류 위치(524)와 하류 위치(522) 사이에서 공유 유동 채널(521)을 따르는 유동 채널 내의 유체 유동을 허용하도록 구성되고, 공유 유동 채널에서 공유 상류 압력이 검출된다. 각 유동 채널(520)은, 각각의 유동 채널 내의 유체 유동을 조절하도록 구성된 밸브(530)를 더 가진다. 상기 밸브들은 동일하거나 다를 수 있다. 각 유동 채널(520)은 하류 압력 센서(540)와 유동 제한기(550)를 더 가진다. 외부의 공유 상류 압력 센서(560)는 위치(524)에서 공유 유동 채널(521) 내의 유체 압력을 검출한다. MCFR 제어기(570)는 (예컨대, 질량 유량비 제어 설정점을 수신하기 위해) 호스트 제어기(515)와 연통하고(571), 각 하류 압력 센서(540)로부터 하류 압력 신호(572)를 수신하고 공유 상류 압력 센서(560)로부터 공유 상류 압력 신호(574)를 수신하도록 구성된다. 상기 예에서, MCFR 제어기(570)는 통합형 시스템(505)의 일부분이다. 그러나, 대안적인 실시형태에서, MCFR 제어기(570)는 외부에 있을 수 있다. 또한, 대안적인 실시형태에서, 하나 보다 많은 MCFR 제어기(570)가 사용될 수 있고, 내부 및/또는 외부에 있을 수 있는데, 하지만, 추가의 MFCS 제어기는 비용, 공간 요건 및 시스템 내의 제어기와 센서 사이의 통신의 복잡성을 증가시키므로, 전형적으로, 하나의 MCFR 제어기(570)가 사용된다. 상기 MCFR 제어기(570)는, 각 밸브(530)를 제어할 수 있도록 구성되어, 각 유동 채널(520)을 통과하는 각각의 질량 유량(580)을 제어하고, 알려진 피드백 제어법(예컨대, PID 제어법)을 통해 총 입력 유량(585)에 대한 목표 유량비 설정점을 얻는다. 이와 관련하여, 제어기는 밸브 제어 신호(590)를 각 밸브(530)에 보내도록 구성된다. 제어기는 추가적으로 위의 식 (6) 및/또는 (7)를 사용하여 유동 제한기에 인접한 위치에서 i-번째 유동 채널의 상류 압력($P_{u,i}$)을 추정하도록 구성된다. 계산된 상류 압력으로, 상기 MCFR 제어기는 식 (3) 및/또는 (4) 또는 (5)에 따라 유동 채널에서의 질량 유량을 더 추정할 수 있고 또한 각 유동 채널에 대한 대응하는 유량비를 더 계산할 수 있다.

[0066] 도 5에 더 도시되어 있는 바와 같이, 통합형 다채널 질량 유량비 제어 시스템(505)은 종래 기술의 공지된 다채널 질량 유량 제어 시스템(507)과 조합될 수 있지만, 그의 유체 입력을 유체 공급원(여기서는 나타나 있지 않음)으로부터 직접 받을 수도 있다. 다채널 질량 유량 제어 시스템(507)은, 예컨대 도 1에 도시되어 있는 바와 같은, 종래 기술의 공지된 다수의 질량 유량 제어 시스템(591)을 포함할 수 있고, 상기 질량 유량 제어 시스템은, 복수의 채널(592)로부터 나오는 유동이 공유 유동 채널(521) 안으로 합쳐지도록 구성된다. 각 질량 유량 제어 시스템(591)은 공급원(593)으로부터 유체를 받는다.

[0067] 여기서 설명되는 다채널 질량 유량 제어 시스템(예컨대, 도 2의 시스템(200))은 여기서 설명되는 다채널 질량 유량비 제어 시스템(예컨대, 도 4의 시스템(405))과 조합되어, 다채널 질량 유량 및 유량비 제어 시스템을 형성할 수 있다. 조합 구조에서, 이들 시스템은 단지 하나의 공유 압력 센서를 필요로 하며, 상기 공유 압력 센서는 질량 유량 제어 시스템을 위한 공유 하류 압력 센서 및 질량 유량비 제어 시스템을 위한 공유 상류 압력 센서로서 작용한다. 또한, 조합형 시스템은 MCFR 제어기와 MFCS 제어기 모두로서 작용하는 단지 하나의 제어기를 필요로 한다.

[0068] 도 6은 통합형 다채널 질량 유량 및 유량비 제어 시스템(600)을 도시한다. 상기 통합형 질량 유량비 제어 시스템(600)은 호스트 제어기(615)와 연통하도록 구성되고, 여기서 도시되어 있는 바와 같이, 복수의 유동 채널(620)을 가지며(질량 유량 제어 측을 위한 제1 세트의 N개의 유동 채널(즉, 복수의 제1 유동 채널) 및 질량 유량비 제어 측을 위한 제2 세트의 M개의 채널(즉, 복수의 제2 유동 채널)로 분할되고, 도시의 용이를 위해, 각 측의 첫번째, 두번째 및 N-번째 또는 M-번째 유동 채널만 나타나 있음), 이들 유동 채널은 동일할 수 있지만(예컨대, 동일한 직경과 동일한 길이를 가짐), 더 전형적으로는 상이하다(예컨대, 상이한 길이를 가짐). 유동 채널(620)들은 연결되어 공유 유동 채널(621)을 형성한다. 각 유동 채널(620)은 유동 채널의 제1 위치(622)와 제2 위치(624) 사이에서 공유 유동 채널(621)을 따르는 유동 채널 내의 유체 유동을 허용하도록 구성되고, 상기 공유 유동 채널에서 공유 압력이 검출된다. 각 유동 채널(620)은, 각각의 유동 채널 내의 유체 유동을 조절하도록 구성된 밸브(상류 밸브(630) 또는 하류 밸브(631))를 더 가진다. 상기 밸브들은 동일하거나 다를 수 있다. 각 유동 채널(620)은 압력 센서(시스템의 질량 유량 제어부를 위한 상류 압력 센서(640) 및 시스템의 질량 유량비 부부를 위한 하류 압력 센서(641)) 및 유동 제한기(650)를 더 갖는다. 내부의 공유 압력 센서(660)는 위치

(624)에서 공유 유동 채널(621) 내의 유체 압력을 검출한다. 제어기(670)는 (예컨대, 일 세트의 질량 유량 및 질량 유량비 제어 설정점을 수신하기 위해) 호스트 제어기(615)와 연통하고(671), 각 압력 센서(640) 및 각 압력 센서(641)로부터 압력 신호(672)를 수신하고 공유 압력 센서(660)로부터 공유 압력 신호(674)를 수신하도록 구성된다. 상기 예에서, 상기 제어기(670)는 통합형 시스템(600)의 일부이다. 그러나, 대안적인 실시형태에서, 제어기(670)는 외부에 있을 수 있다. 또한, 대안적인 실시형태에서, 하나 보다 많은 제어기(670)가 사용될 수 있고, 내부 및/또는 외부에 있을 수 있는데, 하지만, 추가의 제어기는 비용, 공간 요건 및 시스템 내의 제어기와 센서 사이의 통신의 복잡성을 증가시키므로, 전형적으로, 하나의 제어기(670)가 사용된다. 상기 제어기(670)는, 각 밸브(630, 631)를 독립적으로 제어할 수 있도록 구성되어, 각 유동 채널(620)을 통과하는 각각의 질량 유량(680)을 제어하고 또한 각 유동 채널(622)을 통과하는 각각의 질량 유량(687)을 제어하며 그리하여 공유 유동 채널(621)을 통과하는 총 질량 유량(685)을 제어한다. 이와 관련하여, 제어기는 밸브 제어 신호(690)를 각 밸브(630)에 보내도록 구성된다. 제어기는 추가적으로 위의 식 (1) 및/또는 (2)를 사용하여 유동 제한기(650)에 인접한 위치에서 (질량 유량 제어부에 대응하는 제1 세트의 채널 중의) i -번째 유동 채널의 하류 압력($P_{d,i}$)를 추정하고 위의 식 (6) 및/또는 (7)를 사용하여 유동 제한기에 인접한 위치에서 (질량 유량비 제어부에 대응하는 제2 세트의 채널 중의) i -번째 유동 채널의 상류 압력($P_{u,i}$)을 추정하도록 구성된다. 검출된 상류 및 하류 압력뿐만 아니라 계산된 하류 및 상류 압력 각각으로, 제어기는 식 (3) 및/또는 (4) 또는 (5)에 따라 유동 채널에서의 질량 유량을 더 추정할 수 있다.

- [0069] 단지 하나의 공유 압력 센서를 (예컨대, 도 6에 도시되어 있는 바와 같은 다채널 질량 유량 및 유량비 제어 시스템의 일부로서) 사용하는 것이 특히 유리한데, 예를 들면, 자기 보정(self-calibration)과 교차 검증(cross-validation)을 가능하게 하기 때문이다.
- [0070] 자기 보정 방법의 일 예는 다음과 같은 단계들을 포함한다:
- [0071] (1) 모든 상류 (입구) 밸브(630)를 폐쇄하고 모든 하류 (출구) 밸브(631)를 개방하는 단계;
- [0072] (2) 유동 채널 내의 시스템 압력을 회수하고(예컨대, 개방된 하류 밸브(631)를 갖는 유동 채널 중의 하나 이상에 하나 이상의 펌프를 직접 또는 간접적으로 연결하여) 공유 압력 센서의 기록을 모니터링하는 단계;
- [0073] (3) 시스템 압력이 미리 결정된 저압 임계값으로 떨어지면 모든 하류 밸브(631)를 폐쇄하는 단계;
- [0074] (4) (예컨대, 도 6에 나타나 있는 바와 같은 가스 공급원(1)으로부터) i -번째 입구 질량 유동 채널에 대한 질량 유량 설정점을 제공하고, 제어기가 i -번째 상류 밸브(630)를 개방하고 제어하여, 질량 유량(압력식 유량 센서에 의해 Q_m 으로서 측정됨)을 유량 설정점으로 조절함;
- [0075] (5) 공유 압력 센서로 시스템 내의 압력을 측정하고 가스 온도를 측정하는 단계;
- [0076] (6) 압력 상승률 방법(즉, $Q_a = V \cdot T_{stp} \cdot [d(P/T)/dt]$)으로 실제 질량 유량(Q_a)을 계산하는 단계, 여기서, V 는 i -번째 상류 밸브(630)와 모든 다른 하류 밸브 사이의 총 시스템 부피임(모든 다른 밸브는 폐쇄되어 있다고 가정함);
- [0077] (7) i -번째 상류 밸브(630)를 폐쇄하고 모든 하류 밸브를 개방하여 시스템 압력을 회수하는 단계;
- [0078] (8) i -번째 유동 채널의 전체 유량 범위(주어진 용례를 위해 고려됨)를 커버하는 상이한 유량 설정점으로 단계 (3) 내지 단계 (7)을 반복하는 단계;
- [0079] (9) 실제 유량 측정치(Q_a) 및 측정 유량(Q_m)을 i -번째 입구 유동 채널에 대한 보정 데이터로서 저장하는 단계;
- [0080] (10) 모든 입구 유동 채널이 보정될 때까지 다음 입구 유동 채널에 대해 단계 (1) 내지 단계 (9)를 반복하는 단계;
- [0081] (11) 모든 상류 밸브(630) 및 하류 밸브(631)를 폐쇄하는 단계;
- [0082] (12) j -번째 하류 (출구) 밸브(631)를 개방하는 단계;
- [0083] (13) k -번째 입구 유동 채널에 대한 유량 설정점을 제공하고 질량 유량을 안정화시키는 단계;
- [0084] (14) k -번째 입구 유동 채널에 의한 측정 유량을 Q_a 로서 저장하고 j -번째 출구 유동 채널에 의한 측정 유량을 Q_m 으로서 저장하는 단계;

- [0085] (15) k -번째 출구 유동 채널의 전체 유량 범위를 커버하는 j -번째 입구 유동 채널에 대해 상이한 유량 설정점으로 단계 (11) 내지 단계 (14)를 반복하는 단계;
- [0086] (16) 실제 유량 측정치(Q_a) 및 측정 유량(Q_m)을 j -번째 출구 유동 채널에 대한 보정 데이터로서 저장하는 단계;
- [0087] (17) 모든 출구 유동 채널이 보정될 때까지 다음 입구 유동 채널에 대해 단계 (11) 내지 단계 (16)을 반복하는 단계.
- [0088] 교차 검증의 일 예는 다음과 같은 단계들을 포함한다:
- [0089] (1) 모든 상류 밸브(630) 및 하류 밸브(631)를 폐쇄하는 단계;
- [0090] (2) i -번째 입구 유동 채널에 대한 유량 설정점을 제공하고 j -번째 하류 밸브를 개방하는 단계;
- [0091] (3) i -번째 입구 유량 측정치와 j -번째 출구 유량 측정치 사이의 유량차를 비교하는 단계;
- [0092] (4) 유량차가 미리 결정된 유량 오차 임계값 보다 높으면, i -번째 입구 또는 j -번째 출구 유량 측정치는 정확하지 않음;
- [0093] (5) 모든 입구 및 출구 유동 채널에 대해 단계 (1) 내지 단계 (4)를 반복하는 단계.
- [0094] 유체 제어 시스템은 통합형 시스템일 수 있는데, 즉, 시스템의 요소들이 하나의 하우징 또는 인클로저(enclosure) 내에 포함된다. 전형적으로, 여기서 설명되는 유체 제어 시스템의 경우, 하우징은 적어도 유체 입력 및 출력을 제공하고 신호의 입력과 출력을 허용한다. 이는 더 큰 시스템 내에서 통합형 시스템의 포함을 허용한다.
- [0095] 복수의 유동 채널의 각 유동 채널은 개별적인 통합형 시스템의 일부분일 수 있고, 또는 유동 채널의 일부 또는 전부가 통합형 시스템의 일부분일 수 있다. 전형적으로, 통합형 시스템의 일부분인 각 유동 채널의 경우, 하나의 밸브, 하나의 유동 제한기, 및 상기 밸브와 상기 유동 제한기 사이에 위치되는 하나의 유체 압력 센서들이 또한 상기 통합형 시스템의 일부분이고, 선택적으로, 온도 센서도 통합형 시스템의 일부분이다.
- [0096] 통합형 유체 제어 시스템에서, 통합형 시스템의 하나 이상의 유동 채널은, 통합형 시스템의 입구로부터 통합형 시스템의 출구로 가는 유체 유동을 허용한다.
- [0097] 유체 제어 시스템은 하나 이상의 제어기를 가질 수 있는데, 하지만, 전형적으로, 상기 시스템은, 예컨대 도 2 내지 6에 도시되어 있는 바와 같이, 통합 가능한 하나의 제어기를 갖는다. 상기 제어기는 또한 외부에 있을 수 있다. 외부 제어기를 사용하여, 여기서 제공되는 복수의 통합형 시스템을 제어할 수 있다. 예컨대, 복수의 통합형 시스템(각 통합형 시스템은 단지 하나의 밸브, 하나의 유동 제한기, 상기 밸브와 상기 유동 제한기 사이에 있는 하나의 압력 센서 및 하나의 선택적인 온도 센서를 포함함)은 외부 제어기로 제어될 수 있다. 이러한 전체적인 유체 제어 시스템 구성은 큰 유연성을 허용한다. 예컨대, 외부 제어기와 외부 공유 압력 센서를 갖는, 적용 장소에 있는 기존의 유체 제어 시스템은 쉽게 변경되어, 전체 시스템으로부터 통합형 시스템을 추가하거나 제거하거나 또는 교환할 수 있다.
- [0098] 제공된 유체 제어 시스템 및 여기서 제공된 유체 제어 방법에 상용화된 제어기가 사용될 수 있다. 그러나, 제어기 및 통신 시스템은 여기서 제공되는 바와 같은 유체 제어 시스템의 작동을 허용하도록 구성되어야 한다.
- [0099] 또한, 해당 기술 분야에 알려져 있는 바와 같이, 상용화된 밸브, 압력 센서, 유동 채널 및 통신 시스템이 특정한 적용 요건에 따라 선택될 수 있다.
- [0100] 유체 제어 시스템은 복수의 유동 채널(예컨대, 적어도 2개의, 적어도 5개의, 또는 적어도 8개의 유동 채널)을 갖는다. 전형적으로, 모든 유동 채널이 (예컨대, 작동 중에 유체 연결을 허용하기 위해) 연결되어 공유 유동 채널을 형성한다. 모든 유동 채널이 하나의 공유 유동 채널에 연결되는 통합형 유체 제어 시스템이 예컨대 도 2(시스템(200)), 도 3(시스템(300)), 도 4(시스템(405)), 도 5(시스템(505)) 및 도 6(시스템(600))에 도시되어 있다.
- [0101] 전형적으로, 밸브와 유동 제한기 사이에 있는 유동 채널 압력 센서가 유동 제한기에 가능한 가까운 위치에서 채널 내의 유체 압력을 검출하는 것이 바람직한데, 즉, 압력이 검출되는 위치와 유동 제한기(또는 더 구체적으로는, 유체가 유동 제한기에 들어가거나 나가는 위치) 사이의 거리는 실제로 가능한 한 짧은 것이 바람직하다. 그러나, 상기 거리는 더 클 수 있는데, 그렇게 되면, 유량 측정이 덜 정확하게 된다. 전형적으로, 상기 거리는 유체가 흐르는 파이프의 직경 보다 작다. 제공되는 유체 제어 시스템은, 시스템의 유동 채널과 연관된 유동 제

한기로부터 거리를 둔 위치에서 공유 유동 채널 내의 유체 압력을 검출하도록 구성된 공유 압력 센서를 더 가진다. 다채널 시스템에서, 상기 압력 센서는 공유 유동 채널 안에 또는 그를 따라 설치될 수 있다. 예컨대 도 3 및 도 5에 도시되어 있는 바와 같이, 거리를 둔 공유 압력 센서의 사용은 압력 센서가 통합형 다채널 시스템의 외부에 있는 것을 허용한다. 그러나, 정확한 유량 측정 및 제어를 위해서는, 각 채널에 대한 유동 제한기를 가로지르는 압력 강하를 결정하는 것이 필요하다. 전형적으로, 공유 압력이 검출되는 위치와 각 유동 제한기(또는 더 구체적으로는, 유체가 유동 제한기에 들어가거나 나가는 위치) 사이의 거리는 실제로 가능한 한 짧은 것이 바람직하다. 여기서 제공되는 유체 제어 시스템은, 각 유동 제한기까지의 거리가 주어진 유동 채널의 채널 압력 센서와 그의 유동 제한기 사이의 거리 보다 훨씬 더 클 수 있게 해준다. 예컨대, 상기 거리는 유체가 흐르는 파이프의 직경 보다 클 수 있다.

[0102] 제공되는 유체 제어 시스템에는 상용화된 종래 기술의 공지된 유동 제한기가 사용될 수 있다. 적절한 유동 제한기는 노즐, 오리피스, 층류 요소 및 다공성 매체를 포함하지만 이에 한정되지 않는다.

[0103] 유체 제어 시스템의 유동 채널은 온도 센서를 포함할 수 있다. 전형적으로, 각 유동 채널은, 유동 채널의 밸브와 유동 제한기 사이의 위치에서 유체 온도를 검출하는 온도 센서를 갖는다. 이는 복수의 유동 채널의 유동 채널을 통해 흐르는 유체(일반적으로, 가스)가 상이한 온도로 있는 용례에서 특히 중요하다. 그러나, 복수의(및/또는 제2 복수의) 유동 채널 중 수개의 또는 모든 유동 채널이 동일한 온도로 있을 때는, 더 적은 수의 온도 센서가 필요할 수 있다. 예컨대, 유동 채널을 통해 흐르는 가스를 포함하는 수개의 또는 모든 유동 채널이 동일한 온도로 유지될 수 있고, 유동 채널(또는 심지어 전체 통합형 시스템)이 유지되는 온도를 측정하는 하나 이상의(하지만 유동 채널 당 하나 보다 적은) 온도 센서가 사용될 수 있다.

[0104] 추가 실시형태에서, 유체 제어 방법이 제공된다. 상기 유체 제어 방법은 여기서 설명된 유체 제어 시스템 중의 어느 것이라도 사용할 수 있다.

[0105] 추가 실시형태에서, 다채널 질량 유량 제어 시스템(예컨대, 도 2 및 3에 도시되어 있는 것과 같은) 및 대응하는 유체 제어 방법은 입구 밸브(예컨대, 밸브(230) 또는 밸브(330))의 독립적인 제어를 허용하여, 복수의 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 질량 유량 설정점으로 조절한다. 도 7은 그러한 제어를 가능하게 하는 방법의 예시적인 흐름도를 나타낸다. 상기 방법은, 호스트 제어기(전형적으로 모든 유동 채널(예컨대, 215 또는 315)에 의해 공유됨)로부터 주어지는 유량 설정점(전형적으로, 복수의 유동 채널의 각 유동 채널에 대한 것임)을 업데이트하거나 수신하는 단계 710을 포함한다. 상기 방법은 모든 상류 압력(예컨대, 압력 센서(240 또는 340)로 측정됨), 공유 하류 압력(예컨대, 위치(224 또는 324)에서 공유 압력 센서(260 또는 360)로 측정됨) 및 모든 온도(복수의 유동 채널의 개별 유동 채널이 상이한 온도로 있는 경우에, 전형적으로 각 유동 채널은 온도 센서를 포함하고, 상기 온도 센서는 통상적으로 유동 채널의 밸브와 유동 제한기 사이의 유체 온도를 검출하고, 아니면, 수개의 유동 채널이 동일한 온도로 있는 경우에는, 더 적은 수의 유동 채널이 필요할 수 있고, 또한 실시형태에서, 온도 센서는 외부에 있을 수 있음)를 측정하는 단계 720을 더 포함한다. 단계 720에서 측정된 정보로, 각 채널에 대한 질량 유량이 전술한 바와 같이 계산될 수 있다. 또한, 계산된 질량 유량으로, 모든 하류 압력이 계산될 수 있다(단계 740 참조). 단계 730 및 740은 설정된 수렴 임계값에 수렴할 때까지 반복된다(단계 750 참조). 단계 730 및 740(따라서 단계 750)은 전형적으로 제어기(예컨대, 215 또는 315)로 수행되며, 상기 제어기는 측정된 정보를 수신하고 위에서 상세히 설명된 계산을 수행한다. 단계 760에서, 측정된 유량이 제어기에 공급되어 모든 입구 밸브 제어 신호를 발생시키며, 상기 제어 신호에 근거하여, 제어기는 단계 770에서 입구 밸브를 제어하여 유량을 설정점으로 조절하게 된다.

[0106] 추가 실시형태에서, 다채널 질량비 제어 시스템(예컨대, 도 4 및 5에 도시되어 있는 것과 같은) 및 대응하는 유체 제어 방법은 출구 밸브(예컨대, 밸브(430) 또는 밸브(530))의 독립적인 제어를 허용하여, 복수의 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 질량 유량 설정점으로 조절한다. 도 8은 그러한 제어를 가능하게 하는 방법의 예시적인 흐름도를 나타낸다. 상기 방법은, 호스트 제어기(전형적으로 모든 유동 채널(예컨대, 405 또는 505)에 의해 공유됨)로부터 주어지는 유량비 설정점(전형적으로, 복수의 유동 채널의 각 유동 채널에 대한 것임)을 업데이트하거나 수신하는 단계 810을 포함한다. 상기 방법은 모든 하류 압력(예컨대, 압력 센서(440 또는 540)로 측정됨), 공유 상류 압력(예컨대, 위치(424 또는 524)에서 공유 압력 센서(460 또는 560)로 측정됨) 및 모든 온도(복수의 유동 채널의 개별 유동 채널이 상이한 온도로 있는 경우에, 전형적으로 각 유동 채널은 온도 센서를 포함하고, 상기 온도 센서는 통상적으로 유동 채널의 밸브와 유동 제한기 사이의 유체 온도를 검출하고, 아니면, 수개의 유동 채널이 동일한 온도로 있는 경우에는, 더 적은 수의 유동 채널이 필요할 수 있고, 또한 실시형태에서, 예컨대, 전체 통합형 시스템이 주어진 온도로 유지될 때, 온도 센서는 외부에 있을 수 있음)를 측정하는 단계 820을 더 포함한다. 단계 820에서 측정된 정보로, 각 채널에 대한 질량 유량이 전술

한 바와 같이 계산될 수 있다. 또한, 계산된 질량 유량으로, 모든 상류 압력이 계산될 수 있다(단계 840 참조). 단계 830 및 840은 설정된 수렴 임계값에 수렴할 때까지 반복된다(단계 850 참조). 단계 830 및 840(따라서 그리고 단계 850)은 전형적으로 제어기(예컨대, 405 또는 505)로 수행되며, 상기 제어기는 측정된 정보를 수신하고 위에서 상세히 설명된 계산을 수행한다. 단계 860에서, 측정된 유량이 제어기에 공급되어 모든 출구 밸브 제어 신호를 발생시키며, 상기 제어 신호에 근거하여, 제어기는 단계 870에서 출구 밸브를 제어하여 유량을 목표 유량비 설정점으로 조절하게 된다.

[0107] 추가 실시형태에서, 다채널 질량 유량 및 유량비 제어 시스템(예컨대, 도 6에 도시되어 있는 것과 같은) 및 대응하는 유체 제어 방법은 입구 밸브(예컨대, 밸브(630)) 및 출구 밸브(예컨대, 밸브(631))의 독립적인 제어를 허용하여, 복수의 유동 채널의 각 유동 채널을 통과하는 질량 유량을 질량 유량 설정점으로 조절한다. 시스템의 질량 유량 제어부는 도 7의 흐름도로 도시되어 있는 바와 같은 방법을 사용할 수 있고, 시스템의 질량 유량비 제어부는 도 8의 흐름도로 도시되어 있는 바와 같은 방법을 사용할 수 있다. 이러한 시스템들에서, 공유 압력은 질량 유량 제어부에 대한 하류 압력 및 질량 유량 제어 시스템에 대한 상류 압력이다.

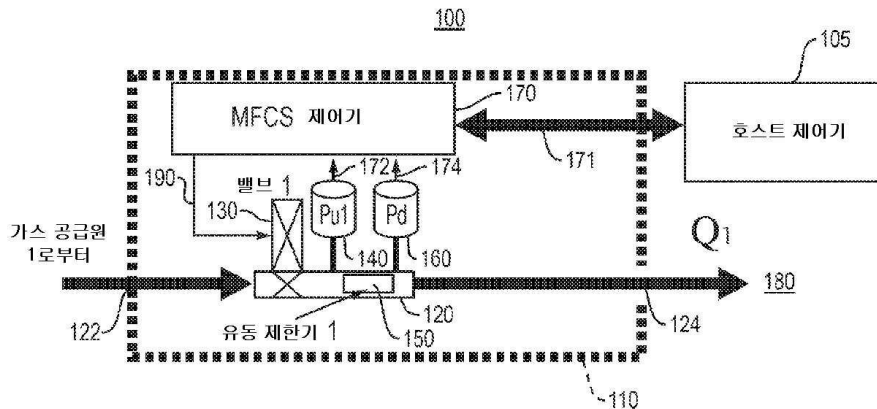
[0108] 본 출원의 유체 제어 시스템은 단지 하드웨어일 수 있지만, 일반적으로, 본 출원의 유체 제어 방법은 데이터 프로세서, 관련 메모리 및 입출력 장치를 포함하는 하드웨어 시스템에서 소프트웨어(전형적으로, 제어기에서 실행되는 소프트웨어)로 실행된다. (예컨대, 여기서 설명되는 계산 및 방법 단계에 대응하는 루틴을 포함하는, 여기서 설명되는 제어기의) 프로세서 루틴 및 데이터는 컴퓨터 프로그램 제품으로서 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장될 수 있다.

[0109] 여기서 인용된 모든 특허, 공개된 출원 및 참고 문헌의 교시는 전체적으로 참조로 관련되어 있다.

[0110] 본 발명을 그의 예시적인 실시형태를 참조로 특별히 나타내고 설명했지만, 당업자는, 형태 및 상세에 있어서의 다양한 변경이 첨부된 청구 범위에 포함되는 본 발명의 범위에서 벗어남이 없이 여기서 이루어질 수 있음을 이해할 것이다.

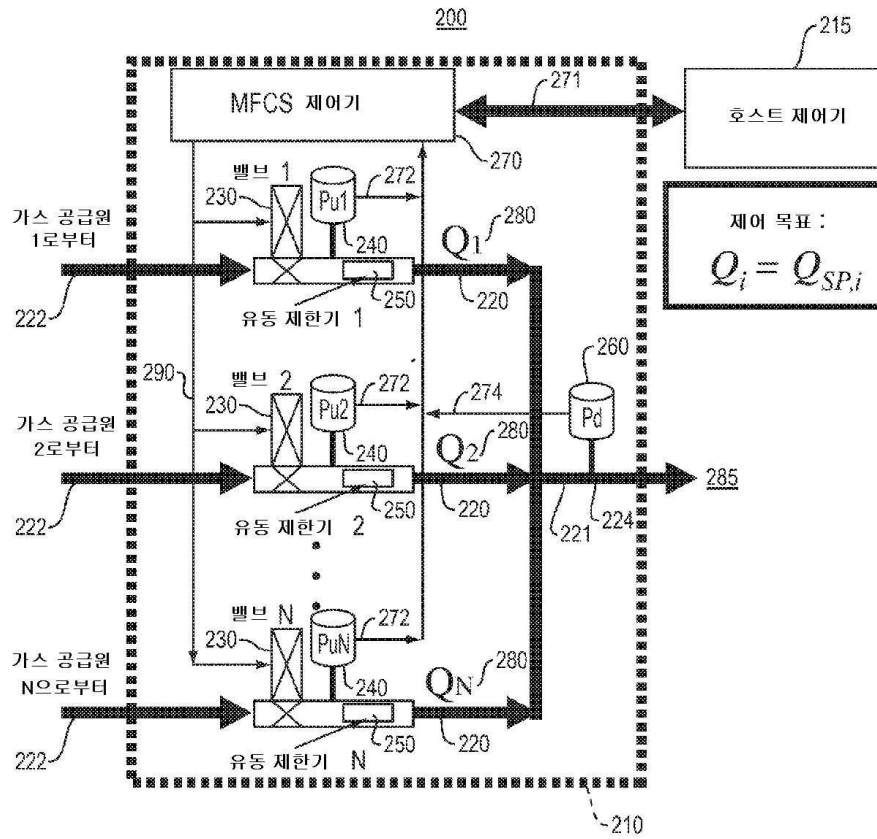
도면

도면1

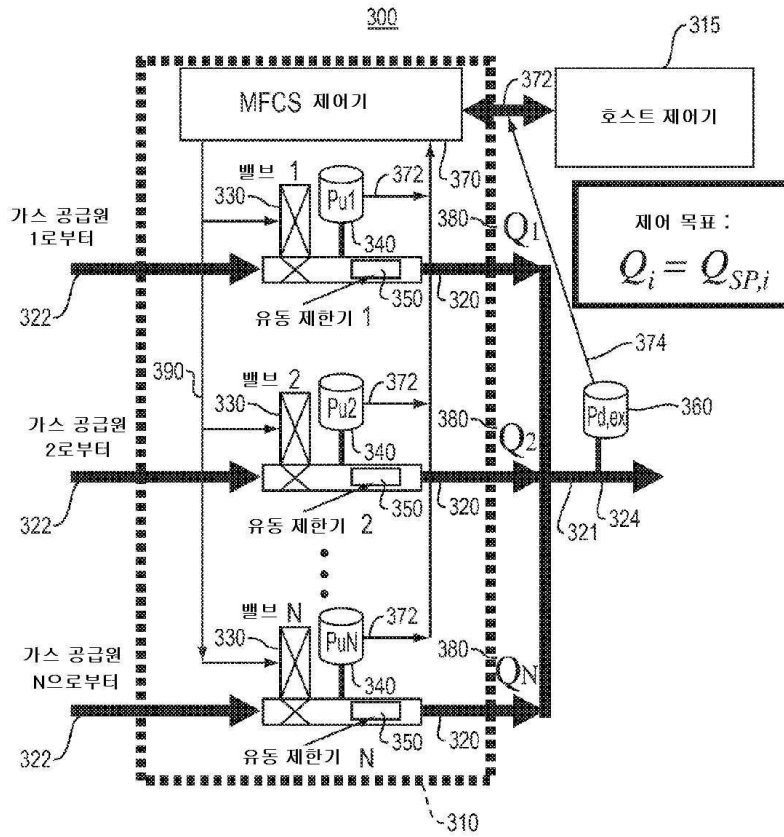


(종래 기술)

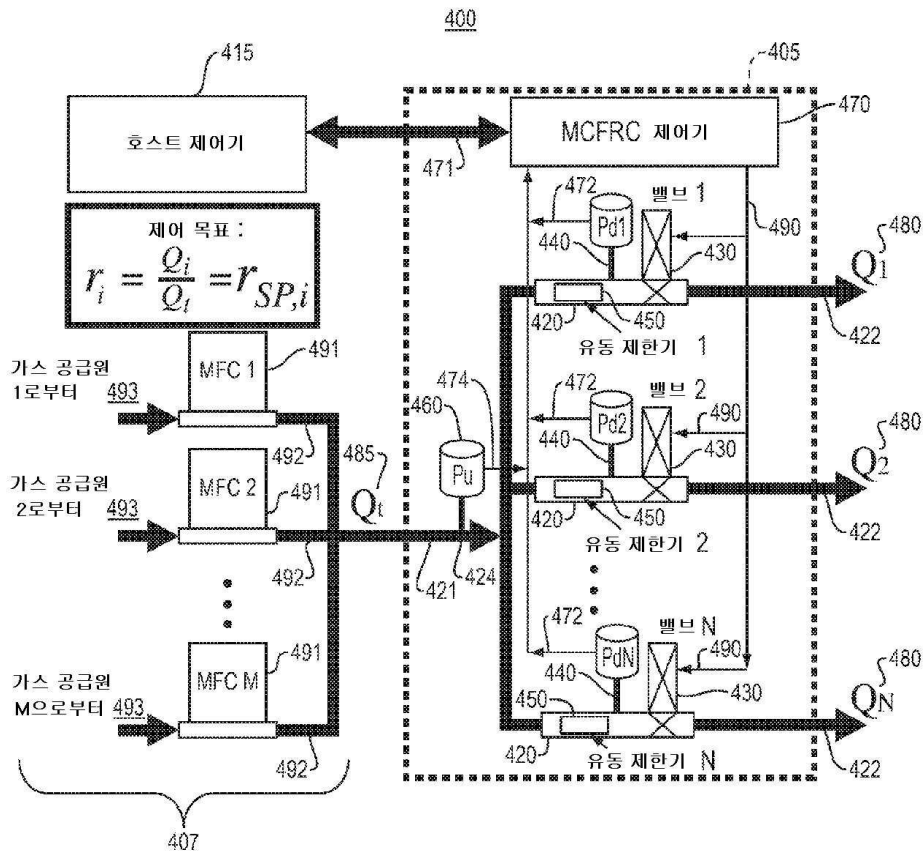
도면2



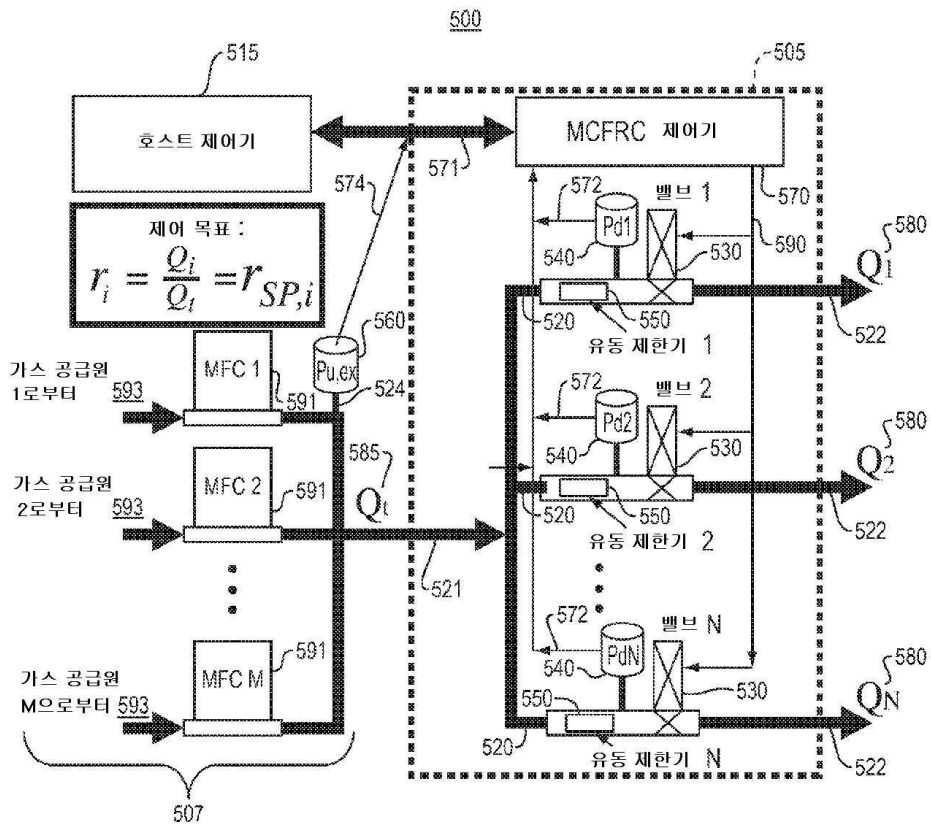
도면3



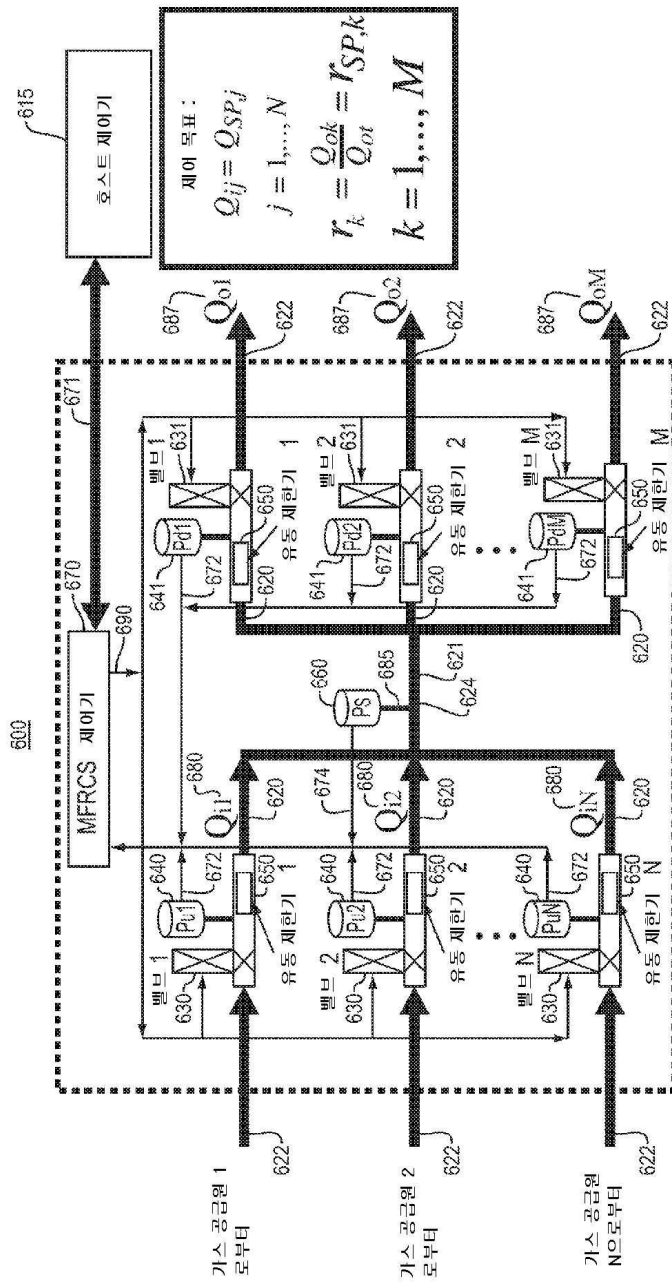
도면4



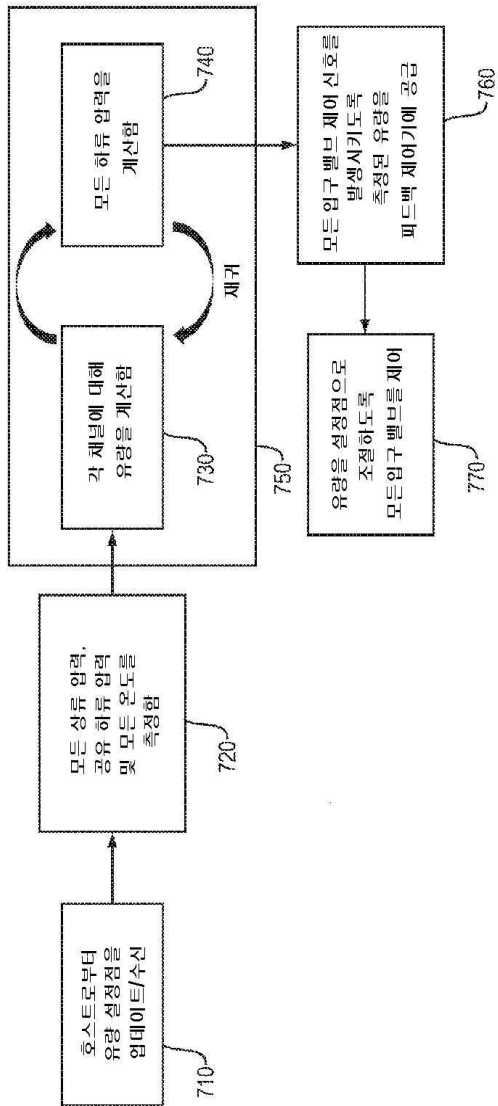
도면5



도면6



도면7



도면8

