(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0133605
(43) 공개일자 2024년09월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05D 11/13 (2006.01) *G05B 13/04* (2006.01)
H01L 21/67 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G05D 11/138 (2013.01)
G05B 13/048 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0025209
(22) 출원일자 2024년02월21일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
JP-P-2023-029849 2023년02월28일 일본(JP)

(71) 출원인
가부시키가이샤 호리바 에스텍
일본 교토후 교토시 미나미쿠 가미토바 호코타테 쵸 11반지 5
(72) 발명자
다키지리 고타로
일본 교토후 교토시 미나미쿠 가미토바 호코타테 쵸 11반지 5 가부시키가이샤 호리바 에스텍 내
(74) 대리인
특허법인태평양

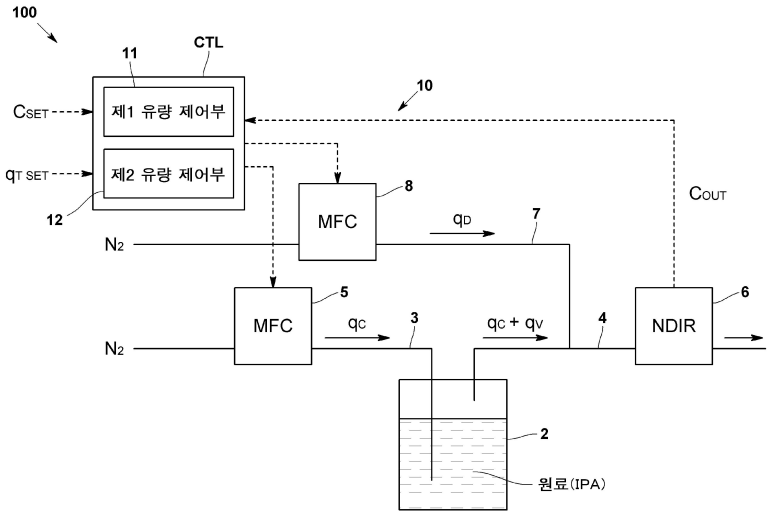
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **농도 제어 장치, 원료 기화 시스템, 농도 제어 방법, 및 농도 제어 프로그램을 격납한 기록 매체**

(57) 요 약

본 발명은 고속이고 또한 오버 슛을 억제한 농도 제어를 가능하게 하는 것으로, 기화 탱크(2) 내에 수용된 액체 또는 고체의 원료에 캐리어 가스를 도입하여 기화시키고, 그것에 의해서 생긴 원료 가스를 공급하는 원료 기화 시스템(100)에 이용되는 농도 제어 장치(10)로서, 캐리어 가스의 유량을 제어하는 유량 제어 기기(5)와, 원료 가스의 농도를 측정하는 농도 측정부(6)와, 원료 가스의 목표 농도값과 농도 측정부(6)의 측정 농도값에 기초하여, 모델 예측 제어에 의해 유량 제어 기기(5)에 입력하는 유량 조작량을 제어하는 유량 제어부(11)를 구비한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
H01L 21/67017 (2013.01)
H01L 21/67253 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

기화 탱크 내에 수용된 액체 또는 고체의 원료에 캐리어 가스를 도입하여 기화시키고, 그것에 의해서 생긴 원료 가스를 공급하는 원료 기화 시스템에 이용되는 농도 제어 장치로서,

상기 캐리어 가스의 유량을 제어하는 유량 제어 기기와,

상기 원료 가스의 농도를 측정하는 농도 측정부와,

상기 원료 가스의 목표 농도값과 상기 농도 측정부의 측정 농도값에 기초하여, 모델 예측 제어에 의해 상기 유량 제어 기기에 입력하는 유량 조작량을 제어하는 유량 제어부를 구비하는, 농도 제어 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 유량 제어부는 상기 모델 예측 제어의 예측 모델로서, 상기 원료 가스가 상기 원료 가스 도출로에 마련된 상기 농도 측정부로의 도달 시간에 기초한 데드 타임을 포함하는 모델을 이용하는 것인, 농도 제어 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 유량 제어부는 상기 모델 예측 제어의 예측 모델에 포함되는 시스템의 시정수보다도 상기 원료 가스의 농도에 관한 참조 궤도의 시정수를 크게 하고 있는, 농도 제어 장치.

청구항 4

액체 또는 고체의 원료가 수용되는 기화 탱크와,

상기 기화 탱크에 캐리어 가스를 공급하는 캐리어 가스 공급로와,

상기 기화 탱크로부터 상기 원료가 기화된 원료 가스를 도출하는 원료 가스 도출로와,

청구항 1에 기재된 농도 제어 장치를 구비하는, 원료 기화 시스템.

청구항 5

기화 탱크 내에 수용된 액체 또는 고체의 원료에 캐리어 가스를 도입하여 기화시키고, 그것에 의해서 생긴 원료 가스를 공급하는 원료 기화 시스템에 이용되는 농도 제어 방법으로서,

상기 캐리어 가스의 유량을 유량 제어 기기에 의해 제어하고,

상기 원료 가스의 농도를 농도 측정부에 의해 측정하고,

상기 원료 가스의 목표 농도값과 상기 농도 측정부의 측정 농도값에 기초하여, 모델 예측 제어에 의해 상기 유량 제어 기기에 입력하는 유량 조작량을 제어하는, 농도 제어 방법.

청구항 6

기화 탱크 내에 수용된 액체 또는 고체의 원료에 캐리어 가스를 도입하여 기화시키고, 그것에 의해서 생긴 원료 가스를 공급하는 원료 기화 시스템에 있어서 상기 원료 가스의 농도를 제어하는 것으로, 상기 캐리어 가스의 유량을 제어하는 유량 제어 기기와, 상기 원료 가스의 농도를 측정하는 농도 측정부를 구비하는 농도 제어 장치에 이용되는 농도 제어 프로그램을 저장한 기록 매체로서,

상기 원료 가스의 목표 농도값과 상기 농도 측정부의 측정 농도값에 기초하여, 모델 예측 제어에 의해 상기 유량 제어 기기에 입력하는 유량 조작량을 제어하는 유량 제어부로서의 기능을 컴퓨터에 구비시키는, 기록 매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 농도 제어 장치, 원료 기화 시스템, 농도 제어 방법, 및 농도 제어 프로그램을 격납한 기록 매체에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 반도체 제조 프로세스의 세정 공정에서는, 웨이퍼의 건조시에 발생하는 워터 마크의 저감이 과제가 되고 있다. 또, 건조 공정에서는, 이소프로필 알코올(IPA)을 질소 등의 캐리어 가스와 함께 웨이퍼에 분사하여 건조시키고 있고, 근래에는 그 농도 관리가 중요해지고 있다. 또, 농도 관리에는, 원료가 수용된 기화 탱크의 온도나 질소 등의 캐리어 가스의 유량을 일정하게 제어하고 있지만, 프로세스의 재현성의 요구가 높아짐에 따라, 리얼 타임의 농도의 관리가 중요해지고 있다.

[0003] 여기서, 종래의 원료 기화 시스템에서는, 특허 문헌 1에 나타내는 것처럼, 예를 들면 비분산 적외 흡수 분광법(NDIR)을 이용한 분석계에 의해서 IPA의 농도를 측정하고, PID 제어에 의해 캐리어 가스의 유량을 제어하는 것이 생각되고 있다.

[0004] 그렇지만, 배관 중의 가스 치환에 의한 응답의 데드 타임 등에 의해, 원하는 응답 시간을 충족하기 위한 PID의 조정이 필요하고, 실현 가능한 응답 성능의 판단이 어려워, PID의 조정 공수 등의 증가가 문제가 되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 특허 문헌 1: 일본 특허 제4034344호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 이에, 본 발명은 상술한 문제를 해결할 수 있도록 이루어진 것으로, 응답 성능을 향상하면서 제어 파라미터의 조정 공수를 삭감하는 것을 과제로 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 즉, 본 발명에 따른 농도 제어 장치는, 기화 탱크 내에 수용된 액체 또는 고체의 원료에 캐리어 가스를 도입하여 기화시키고, 그것에 의해서 생긴 원료 가스를 공급하는 원료 기화 시스템에 이용되는 농도 제어 장치로서, 상기 캐리어 가스의 유량을 제어하는 유량 제어 기기와, 상기 원료 가스의 농도를 측정하는 농도 측정부와, 상기 원료 가스의 목표 농도값과 상기 농도 측정부의 측정 농도값에 기초하여, 모델 예측 제어에 의해 상기 유량 제어 기기에 입력하는 유량 조작량을 제어하는 유량 제어부를 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0008] 이러한 농도 제어 장치이면, 모델 예측 제어에 의해 유량 제어 기기에 입력하는 유량 조작량을 제어하고 있으므로, 종래의 PID 제어에 비해, 응답 성능을 향상시킬 수 있다. 또, 모델 예측 제어에서는, 1회의 제어 대상의 식별 실험을 행하면 되고, PID 제어에 있어서의 파라미터의 최적화가 불필요해져, 큰 폭으로 조정 공수를 단축할 수 있다.

[0009] 상기 유량 제어부는 상기 모델 예측 제어의 예측 모델로서, 상기 원료 가스가 상기 원료 가스 도출로에 마련된 상기 농도 측정부로의 도달 시간에 기초한 데드 타임을 포함하는 모델을 이용하는 것인 것이 바람직하다.

[0010] 이 구성이면, 원료 가스 도출로의 가스 치환에 의한 응답의 데드 타임을 고려한 모델 예측 제어에 의해, 고속이고 또한 오버 슛을 억제한 농도 제어가 가능해진다.

[0011] 상기 유량 제어부는 상기 모델 예측 제어의 예측 모델에 포함되는 시스템의 시정수보다도 상기 원료 가스의 농도에 관한 참조 궤도의 시정수를 크게 하는 것이 바람직하다.

[0012] 이 구성이면, 참조 궤도의 시정수를 제어 대상의 시정수보다도 크게 하고 있으므로, 참조 궤도에 대해서 제어 대상의 예측 궤도를 일치시키도록 유량 조작량을 제어할 수 있다.

[0013] 또, 본 발명에 따른 원료 기화 시스템은, 액체 또는 고체의 원료가 수용되는 기화 탱크와, 상기 기화 탱크에 캐리어 가스를 공급하는 캐리어 가스 공급로와, 상기 기화 탱크로부터 상기 원료가 기화된 원료 가스를 도출하는 원료 가스 도출로와, 상술한 농도 제어 장치를 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 또, 본 발명에 따른 농도 제어 방법은 기화 탱크 내에 수용된 액체 또는 고체의 원료에 캐리어 가스를 도입하여 기화시키고, 그것에 의해서 생긴 원료 가스를 공급하는 원료 기화 시스템에 이용되는 농도 제어 방법으로서, 상기 캐리어 가스의 유량을 유량 제어 기기에 의해 제어하고, 상기 원료 가스의 농도를 농도 측정부에 의해 측정하고, 상기 원료 가스의 목표 농도값과 상기 농도 측정부의 측정 농도값에 기초하여, 모델 예측 제어에 의해 상기 유량 제어 기기에 입력하는 유량 조작량을 제어하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 또한, 본 발명에 따른 농도 제어 프로그램은, 기화 탱크 내에 수용된 액체 또는 고체의 원료에 캐리어 가스를 도입하여 기화시키고, 그것에 의해서 생긴 원료 가스를 공급하는 원료 기화 시스템에 있어서 상기 원료 가스의 농도를 제어하는 것으로, 상기 캐리어 가스의 유량을 제어하는 유량 제어 기기와, 상기 원료 가스의 농도를 측정하는 농도 측정부를 구비하는 농도 제어 장치에 이용되는 농도 제어 프로그램으로서, 상기 원료 가스의 목표 농도값과 상기 농도 측정부의 측정 농도값에 기초하여, 모델 예측 제어에 의해 상기 유량 제어 기기에 입력하는 유량 조작량을 제어하는 유량 제어부로서의 기능을 컴퓨터에 구비시키는 것을 특징으로 한다.

[0016] 또한, 농도 제어 프로그램은 전자적으로 배포되는 것이어도 되고, CD, DVD 또는 플래쉬 메모리 등의 프로그램 기록 매체에 기록된 것이어도 된다.

발명의 효과

[0017] 이와 같이 본 발명에 의하면, 응답 성능을 향상하면서 제어 파라미터의 조정 공수를 삭감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시 형태에 따른 원료 기화 시스템의 구성을 모식적으로 나타내는 도면이다.

도 2는 동 실시 형태의 모델 예측 제어의 구조를 나타내는 도면이다.

도 3는 캐리어 가스를 스텝 모양으로 흘렸을 경우의 원료 가스(IPA)의 농도의 응답 결과를 나타내는 도면이다.

도 4는 종래의 PID 제어에 의해 농도 제어를 행하는 제어 블록도이다.

도 5는 종래의 PID 제어에 의한 농도 제어의 실험 결과를 나타내는 도면이다.

도 6은 종래의 PID 제어에 있어서 PID 파라미터를 조정한 후의 실험 결과를 나타내는 도면이다.

도 7은 동 실시 형태의 MPC에 의한 농도 제어를 행하는 알고리즘을 나타내는 도면이다.

도 8은 동 실시 형태의 MPC에 의한 농도 제어의 실험 결과를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하에, 본 발명에 따른 농도 제어 장치를 설치한 원료 기화 시스템의 일 실시 형태에 대해서, 도면을 참조하여 설명한다. 또한, 이하에 나타내는 어느 도면에 대해서도, 알기 쉽게 하기 위해서, 적절히 생략하거나 또는 과장하여 모식적으로 그려져 있다. 동일한 구성요소에 대해서는, 동일한 부호를 부여하고 설명을 적절히 생략한다.

[0020] <1. 원료 기화 시스템(100)의 기본 구성>

[0021] 본 실시 형태의 원료 기화 시스템(100)은, 예를 들면 건조 공정 등의 반도체 제조 프로세스를 행하는 반도체 제조 장치에 이용되는 것으로, 예를 들면 건조 공정을 행하는 챔버에 농도 제어된 원료 가스를 공급하는 것이다.

[0022] 구체적으로 원료 기화 시스템(100)은, 도 1에 나타내는 것처럼, 예를 들면 이소프로필 알코올(IPA) 등의 액체 또는 고체의 원료가 수용되는 기화 탱크(2)와, 기화 탱크(2)에 예를 들면 질소(N_2) 등의 캐리어 가스를 공급하는 캐리어 가스 공급로(3)와, 기화 탱크(2)로부터 원료가 기화된 원료 가스를 도출하는 원료 가스 도출로(4)와, 캐리어 가스 공급로(3)에 마련된 제1 유량 제어 기기(5)와, 원료 가스 도출로(4)에 마련된 농도 측정부(6)를 구비하고 있다.

[0023] 여기서, 제1 유량 제어 기기(5)는 유량 센서와, 유체 제어 밸브를 가지는 매스 플로우 컨트롤러이다. 유량 센서는 차압식의 것이나 열식의 것 등을 생각할 수 있다. 또, 유체 제어 밸브는 유량 센서의 측정 유량값과, 후술한 제1 유량 제어부(11)에 의해 출력되는 유량 조작량 $q_{C\ SET}$에 기초하여, 밸브 제어부(도시하지 않음)에 의해 그 밸브 열림 정도가 제어된다.

[0024] 또, 농도 측정부(6)는 비분산 적외 흡수 분광법(NDIR)을 이용한 것이다. 구체적으로 농도 측정부(6)는 원료 가스가 도입되는 측정 셀과, 해당 측정 셀에 적외광을 조사하는 적외광원과, 측정 셀을 통과한 적외광을 검출하는 적외선 검출기와, 적외선 검출기에 의해 검출된 광 강도 신호에 기초하여 원료 가스의 농도를 산출하는 농도 연산부를 가지고 있다.

[0025] 또한, 제1 유량 제어 기기(5), 농도 측정부(6) 및 후술하는 제1 유량 제어부(11)에 의해, 본 발명에 따른 농도 제어 장치(10)가 구성된다.

[0026] 본 실시 형태에서는, 원료 가스 도출로(4)에 원료 가스를 희석하기 위한 희석 가스를 공급하는 희석 가스 공급로(7)가 접속되어 있고, 해당 희석 가스 공급로(7)에는, 희석 가스의 유량을 제어하는 제2 유량 제어 기기(8)가 마련되어 있다.

[0027] 여기서, 제2 유량 제어 기기(8)는 유량 센서와, 유체 제어 밸브를 가지는 매스 플로우 컨트롤러이다. 유량 센서는 차압식의 것이나 열식의 것 등을 생각할 수 있다. 또, 유체 제어 밸브는 유량 센서의 측정 유량값과, 후술하는 제2 유량 제어부(12)에 의해 출력되는 유량 조작량 $q_{D\ SET}$에 기초하여, 밸브 제어부(도시하지 않음)에 의해 그 밸브 열림 정도가 제어된다.

[0028] 그리고, 원료 기화 시스템(100)은 농도 측정부(6)에 의해 측정된 원료 가스의 측정 농도값 C_{OUT} 및 목표 농도값 C_{SET}에 기초하여, 제1 유량 제어 기기(5)를 제어하여, 원료 가스의 농도, 즉, 측정 농도값 C_{OUT}를 제어하는 제어 장치(CTL)를 가지고 있다. 또, 본 실시 형태의 제어 장치(CTL)는, 기화 탱크(2)에 공급하는 캐리어 가스의 유량 q_C와, 희석 가스 공급로(7)로부터 원료 가스 도출로(4)에 공급하는 희석 가스의 유량 q_D의 합계 유량 (q_C+q_D)이 일정해지도록 제어한다.

[0029] <2. 제어 장치(CTL)의 구체적 구성>

[0030] 본 실시 형태의 제어 장치(CTL)는 CPU, 메모리, A/D 컨버터, D/A 컨버터, 각종 입출력 기기를 구비한 이른바 컴퓨터이다. 그리고, 메모리에 격납되어 있는 농도 제어 프로그램이 실행되어, 각종 기기가 협동함으로써, 제1 유량 제어 기기(5)의 동작을 제어하는 제1 유량 제어부(11)와, 제2 유량 제어 기기(8)의 동작을 제어하는 제2 유량 제어부(12)로서의 기능을 발휘한다.

[0031] 제1 유량 제어부(11)는 원료 가스의 목표 농도값 C_{SET}와 농도 측정부(6)의 측정 농도값 C_{OUT}에 기초하여, 모델 예측 제어(Model Predictive Controller : MPC)에 의해 제1 유량 제어 기기(5)에 입력하는 유량 조작량 $q_{C\ SET}$를 제어하는 것이다.

[0032] 여기서, 모델 예측 제어는, 도 2에 나타내는 것처럼, 각 시각에서 미래의 응답을 예측하면서 최적화를 행하는 제어 수법이며, 제1 유량 제어부(11)의 내부에 예측 모델(제어 대상 모델)을 가짐으로써, 제어 대상의 현 시각으로부터 어느 유한 구간에 걸친 미래의 행동을 예측하는 것이다.

[0033] 도 2에 있어서, 목표 지령 r(t)는 원료 가스의 목표 농도값 C_{SET}이고, 제어 입력 u(t)는 제1 유량 제어 기기(5)에 입력되는 유량 조작량 $q_{C\ SET}$이고, 제어 출력 y(t)는 농도 측정부(6)에 의해 측정되는 원료 가스의 측정 농도값 C_{OUT}이다. 이 제어 대상으로부터 측정된 측정 농도값 C_{OUT}를 제1 유량 제어부(11)의 내부에 있어서의 예측 모델에 적용하여, 최적화기에 의해 현재의 시각부터 소정의 시각에 있어서의 추종 오차를 최소화하도록 새로운 제어 입력 u(t)를 결정한다.

[0034] 여기서, 제1 유량 제어부(11)는 모델 예측 제어의 예측 모델로서, 원료 가스가 원료 가스 도출로(4)에 마련된 농도 측정부(6)로의 도달 시간에 기초한 데드 타임을 포함하는 모델을 이용하고 있다. 이 데드 타임은 기화 탱크(2)로부터 농도 측정부(6)까지의 원료 가스 도출로(4)에 있어서의 가스 치환에 수반하는 응답의 데드 타임이다. 데드 타임의 상세는 후술한다.

[0035] 또, 제1 유량 제어부(11)는 모델 예측 제어의 예측 모델에 포함되는 시스템(전달 함수)의 시정수보다도 원료 가

스의 농도에 관한 참조 궤도의 시정수를 크게 하고 있다. 시스템(전달 함수)의 시정수 및 참조 궤도의 시정수의 상세는 후술한다.

[0036] 제2 유량 제어부(12)는 캐리어 가스의 유량 q_C와 희석 가스의 유량 q_D의 합계 유량 (q_C+q_D)이 일정해지도록, 제2 유량 제어 기기(8)에 입력하는 유량 조작량 $q_{D\ SET}$를 제어하는 것이다. 구체적으로 제2 유량 제어부(12)는 캐리어 가스 및 희석 가스의 총 유량 설정값 $q_{T\ SET}$와 제1 유량 제어 기기(5)의 유량 조작량 $q_{C\ SET}$의 차분 ($q_{T\ SET}-q_{C\ SET}$)을 제2 유량 제어 기기(8)의 유량 조작량 $q_{D\ SET}$(희석 가스의 설정 유량값)로 한다.

[0037] 이하, 종래의 PID 제어에 의한 농도 제어와, 본 실시 형태의 제어 장치(CTL)의 MPC에 의한 농도 제어의 상세에 대하여 설명한다.

[0038] <3. 제어 대상에 대해>

[0039] 제어 대상은, 도 1에 나타내는 것이며, 제어하고 싶은 물리량은, 농도 측정부(6)에 의해 측정되는 측정 농도값 C_{OUT}와 총 유량 q_T(캐리어 가스의 유량 q_C와 희석 가스의 유량 q_D의 합계 유량)이다.

[0040] 여기서, 유량 제어에는, 매스 플로우 컨트롤러를 이용하고 있고, 매스 플로우 컨트롤러의 유량의 응답 성능은, 농도 출력의 응답보다 충분히 고속인 응답성을 가지고 있다.

[0041] 원료 가스(IPA)의 측정 농도값 C_{OUT}는 농도 측정부(6)(NDIR)에 의해서 측정되고, 이하의 식으로 나타낼 수 있다. 조작량으로서 캐리어 가스의 유량 q_C를 이용하지만, 그 유량이 분모에 있기 때문에, 측정 농도값 C_{OUT}는 비선형성을 가진 특성이 된다. 또한, 이하의 식에 있어서, q_V는 원료 가스의 유량이다.

[0042] [수 1]

$$c_{OUT} = \frac{q_V}{q_C + q_V + q_D} \times 100$$

[0043]

[0044] 도 3에 측정 농도값 C_{OUT}의 응답 결과를 나타내고 있다. 여기에서는, 농도 제어는 행하지 않고, 캐리어 가스를 스텝 모양으로 흘렸을 경우의 측정 농도값 C_{OUT}이다. 캐리어 가스의 유량은, 실제의 운용 조건에 가까운 200sccm으로 하고 있다.

[0045] 이 실험 결과로부터 식별을 행하여, 이하의 전달 함수 P(s)를 구한다. 이 전달 함수 P(s)에는, 데드 타임이 약 1초 포함되어 있고, 이 데드 타임이 농도 제어의 응답 조정을 곤란하게 하고 있다.

[0046] [수 2]

$$P(s) = \frac{0.055 \cdot s + 1}{1.84 \cdot s^2 + 1.75 \cdot s + 1} 0.0069 e^{-s}$$

[0047]

[0048] 이 전달 함수 P(s)는, 도 3에 나타내는 응답 결과에 기초하여, 이하의 일반식의 각 계수 a_1, b_1, b_2, L을 연산함으로써 구한다. 또한, 계수 L은 데드 타임을 나타내는 것이다. 또, q_C는 도 3에 있어서의 캐리어 가스의 유량, q_V는 도 3에 있어서의 원료 가스의 유량, q_D는 도 3에 있어서의 희석 가스의 유량이다.

[0049] [수 3]

$$P(s) = \frac{a_1 \cdot s + 1}{b_2 \cdot s^2 + b_1 \cdot s + 1} \frac{q_V}{q_C + q_V + q_D} e^{-sL} q_C$$

[0050]

[0051] <4. PID 제어에 의한 농도 제어>

[0052] 목표 설정으로서 원료 가스의 목표 농도값 C_{SET}와 총 유량 설정값 $q_{T\ SET}$의 2개의 설정이 제어 장치(CTL)에 입력된다. 응답에 대해서는 원료 가스의 측정 농도값 C_{OUT} 및 총 유량 q_T를 10초 이내에 수렴시켜, 가능한 한 오버 슛

을 억제하고자 한다.

[0053] 도 4에 PID 제어계의 블록선도를 나타내고 있다. 종래 방법에서는 제어 장치(CTL)가 PID 제어를 행하는 것이며, 캐리어 가스의 유량 목표값, 즉, 유량 조작량 $q_{C\,SET}$를 연산하여 원료 가스의 측정 농도값 C_{OUT}를 제어한다.

[0054] 총 유량 설정값 $q_{T\,SET}$는, 이하의 식에 나타내는 캐리어 가스의 유량 목표값, 즉, 유량 조작량 $q_{C\,SET}$와 희석 가스의 유량 목표값, 즉, 유량 조작량 $q_{D\,SET}$의 총합이 된다. 따라서 본 제어계의 총 유량 제어는 $q_{T\,SET}$와 $q_{C\,SET}$의 차분을 희석 유량 설정값, 즉, 유량 조작량 $q_{D\,SET}$로 설정하는 구성으로 되어 있다.

[0055] [수 4]

[0056] $$q_{T\,SET} = q_{C\,SET} + q_{D\,SET}$$

[0057] 종래 방법의 PID 제어에 의한 실험 결과를 도 5에 나타내고 있다. 여기에서는, 원료 가스의 목표 농도값(농도 설정값) C_{SET}를 1%, 목표 합계 유량값(총 유량 설정값) $q_{T\,SET}$를 2000sccm으로 하여, 스텝 응답의 실험을 행했다.

[0058] PID 파라미터를 조정한 결과, 총 유량에 대해서는 설정으로부터 2초 정도로 안정되어 있다. 그러나, 농도 출력에는 15초 정도의 수렴 시간이 되었다.

[0059] 또한 응답을 10초에 도달하도록, PID의 조정을 행했다. 도 6에 그 결과를 나타낸다. PID 제어에서는, 응답 시간을 10초로 조정하려고 하면, 오버 슛이 커지게 되는 결과가 되었다. 이것은, 제어 대상에 데드 타임이 포함되어 있는 것이 원인이라고 생각할 수 있다.

[0060] <5. MPC에 의한 농도 제어>

[0061] 다음으로 MPC에 의한 농도 제어에 대해 설명한다. 또한, 총 유량 q_T의 제어에 대해서는, 종래의 PID 제어와 마찬가지이다.

[0062] 도 7에 제1 유량 제어부(11)의 MPC의 알고리즘을 나타내고 있다. 여기서, k는 샘플링 주기 T_s로 이산화된 시간을 나타내는 것으로 한다.

[0063] 예측 호라이즌 점수(장래를 예측하는 시간)를 H_P라고 하면, 참조 궤도 $c_{reftraj}(k+i|k)(i=1,\cdots,H_P)$는 이상적인 궤도를 나타내고, 그 응답 시간을 시정수 T_{ref}에 의해서 결정한다.

[0064] [수 5]

[0065] $$c_{reftraj}(k+i|k) = c_{OUT}(k)e^{-\frac{i\cdot T_s}{T_{ref}}} + c_{SET}\left(1 - e^{-\frac{i\cdot T_s}{T_{ref}}}\right)$$

[0066] 조작량 $\Delta q_{C\,SET}$를 주었을 경우의 예측 궤도 $\hat{c}_{OUT}(k+i|k)$(윗 첨부된 기호 ^는, 예측값을 나타냄)는, 현재의 조작량 하에서의 자유 응답 $c_{free}(k+i|k)$와, 상기의 수 2로부터 계산되는 단위 스텝 응답 S(i)로부터 이하의 식으로 나타내진다.

[0067] [수 6]

[0068] $$\hat{c}_{out}(k+i|k) = c_{free}(k+i|k) + S(i)\Delta q_{C\,SET}$$

[0069] 참조 궤도 $c_{reftraj}(k+i|k)$와 예측 궤도 $\hat{c}_{OUT}(k+i|k)$가 예측 호라이즌의 최종 n점에서 일치하도록 샘플링 주기 T_s 마다 $\Delta q_{C\,SET}$를 정하고, 다음의 샘플링 주기의 $q_{C\,SET}$를 결정한다.

[0070] [수 7]

[0071] $$q_{C\,SET}(k) = q_{C\,SET}(k-1) + \Delta q_{C\,SET}$$

[0072] 다음으로, MPC의 실장을 행하고 농도 제어의 실험을 행했다. 예측 궤도의 시정수, 예측 호라이즌, 데이터 구간은, 이하로 했다.

[0073] 샘플링 주기 T_S [s] : 0.1

[0074] 예측 궤도의 시정수 T_{ref} [s] : 2

[0075] 예측 호라이즌 점수 H_P [s] : 5

[0076] 데이터 구간 n : 5

[0077] 또, 원료 가스의 목표 농도값(농도 설정값) C_{SET}를 1%, 목표 합계 유량값(총 유량 설정값) $q_{T\,SET}$를 2000sccm으로 실험을 행했다.

[0078] 그 실험 결과를 도 8에 나타낸다. 이 도 8로부터 알 수 있는 것처럼, MPC에 의한 농도 제어에 의해서, 농도 제어의 수렴 시간이 약 10초가 되고 오버 슛이 억제되어 있다. 또 총 유량도 1초 정도에서 수렴되어 있어 종래 방법보다도 수렴 시간이 단축되어 있다.

[0079] <6. 본 실시 형태의 효과>

[0080] 이와 같이 본 실시 형태에 있어서의 원료 기화 시스템(100)에 의하면, 모델 예측 제어에 의해 제1 유량 제어 기기(5)에 입력하는 유량 조작량 $q_{C\,SET}$를 제어하고 있으므로, 종래의 PID 제어에 비해, 응답 성능을 향상시킬 수 있다. 또, 모델 예측 제어에서는, 1회의 제어 대상의 식별 실험을 행하면 되고, PID 제어에 있어서의 파라미터의 최적화가 불필요해져, 큰 폭으로 조정 공수를 단축할 수 있다.

[0081] 또, 모델 예측 제어의 예측 모델로서, 원료 가스가 원료 가스 도출로(4)에 마련된 농도 측정부(6)로의 도달 시간에 기초한 데드 타임을 포함하는 모델을 이용하고 있으므로, 원료 가스 도출로(4)의 가스 치환에 의한 응답의 데드 타임을 고려한 모델 예측 제어에 의해, 고속이고 또한 오버 슛을 억제한 농도 제어가 가능해진다.

[0082] 또한, 모델 예측 제어의 예측 모델에 포함되는 시스템의 시정수보다도 원료 가스의 농도에 관한 참조 궤도의 시정수를 크게 하고 있으므로, 참조 궤도에 대해서 제어 대상의 예측 궤도를 일치시키도록 유량 조작량을 제어할 수 있다.

[0083] <7. 그 외의 실시 형태>

[0084] 예를 들면, 상기 실시 형태의 원료는 이소프로필 알코올 등의 액체 원료였지만, 고체의 원료여도 된다.

[0085] 또, 기화 방식은 버블링 외에, 가열 방식 등의 그 외의 기화 방식이어도 된다.

[0086] 또한, 상기 실시 형태에서는, 캐리어 가스의 유량과 희석 가스의 유량의 합계 유량을 일정하게 제어하는 것이었지만, 그 합계 유량을 일정하게 제어하지 않는 구성으로 해도 된다.

[0087] 이에 더하여, 상기 실시 형태에서는, 희석 가스 공급로를 가지고 있고, 원료 가스를 희석하는 구성으로 하고 있지만, 희석 가스 공급로를 갖지 않는 구성으로 해도 된다.

[0088] 또한, 모델 예측 제어의 예측 모델에 포함되는 시스템의 시정수와, 원료 가스의 농도에 관한 참조 궤도의 시정수를 동일하게 해도 된다.

[0089] 더 나아가, 상기 실시 형태의 농도 제어 장치는, 반도체 제조 장치의 챔버에 원료 가스를 공급하는 것이었지만, 그 외의 챔버에 원료 가스를 공급하는 것이어도 된다.

[0090] 또, 상기 실시 형태의 농도 제어 장치는, 원료 기화 시스템에 설치한 것이었지만, 원료 기화 시스템과는 다른 장치(모듈)로 한 것이어도 된다.

[0091] 그 외, 본 발명의 취지에 반하지 않는 한에 있어서 다양한 실시 형태의 변형이나 조합을 행해도 상관없다.

부호의 설명

[0092] 100 · · · 원료 기화 시스템

10 · · · 농도 제어 장치

2 · · · 기화 탱크

3 · · · 캐리어 가스 공급로

4 · · · 원료 가스 도출로

5 · · · 제1 매스 플로우 컨트롤러(제1 유량 제어 기기)

6 · · · 농도 측정부

7 · · · 희석 가스 공급로

8 · · · 제2 매스 플로우 컨트롤러(제2 유량 제어 기기)

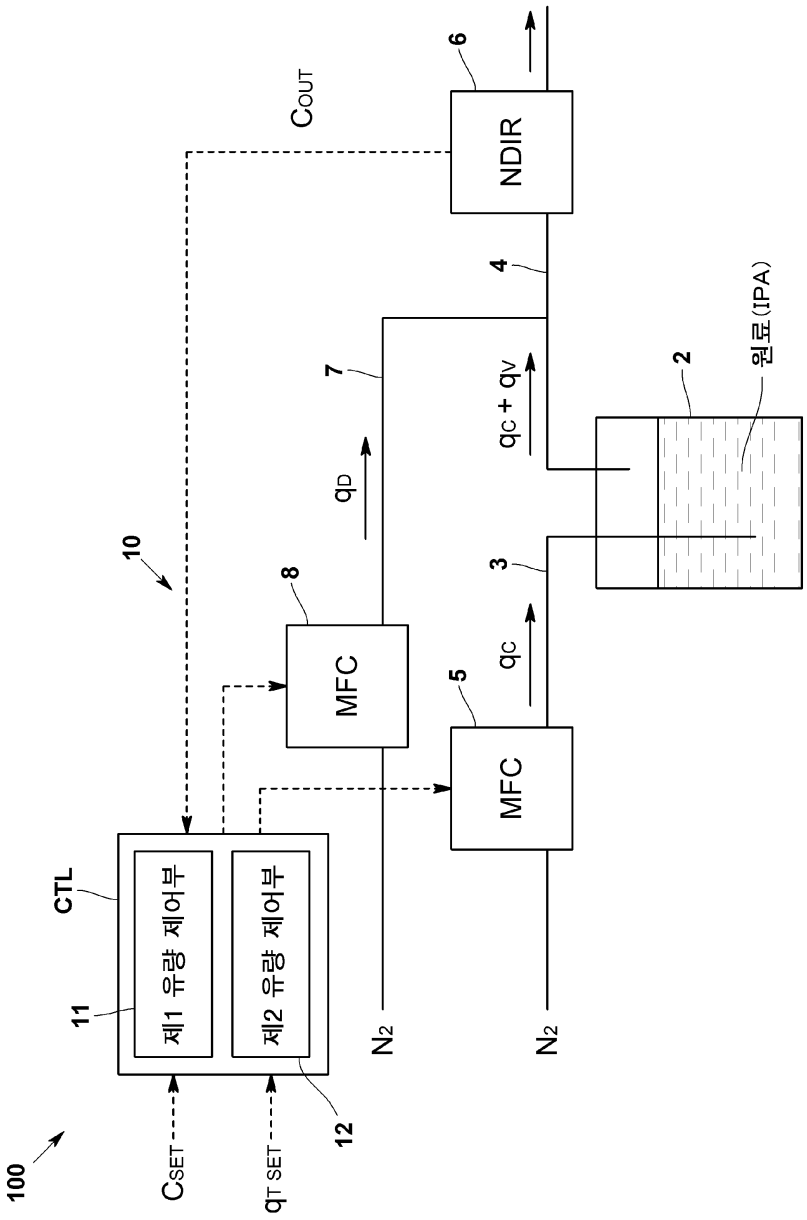
CTL · · · 제어 장치

11 · · · 제1 유량 제어부

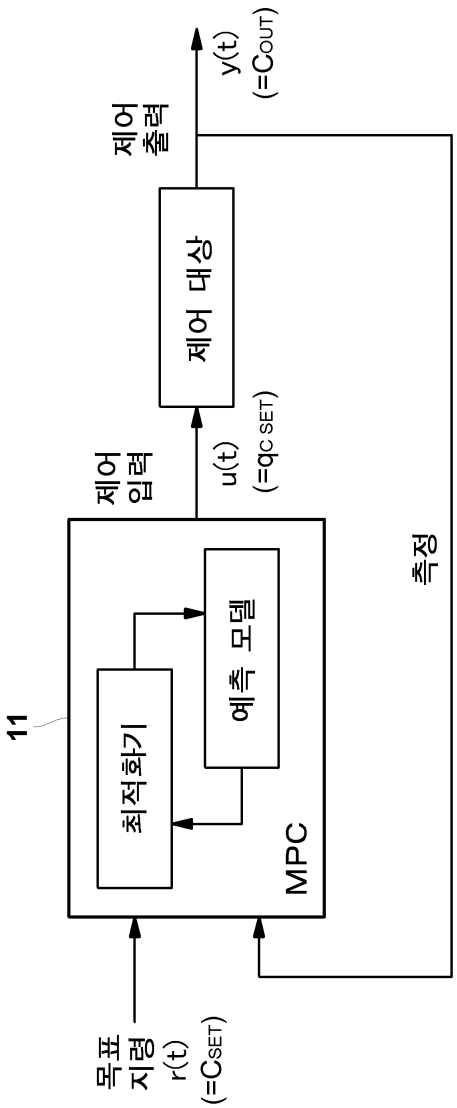
12 · · · 제2 유량 제어부

도면

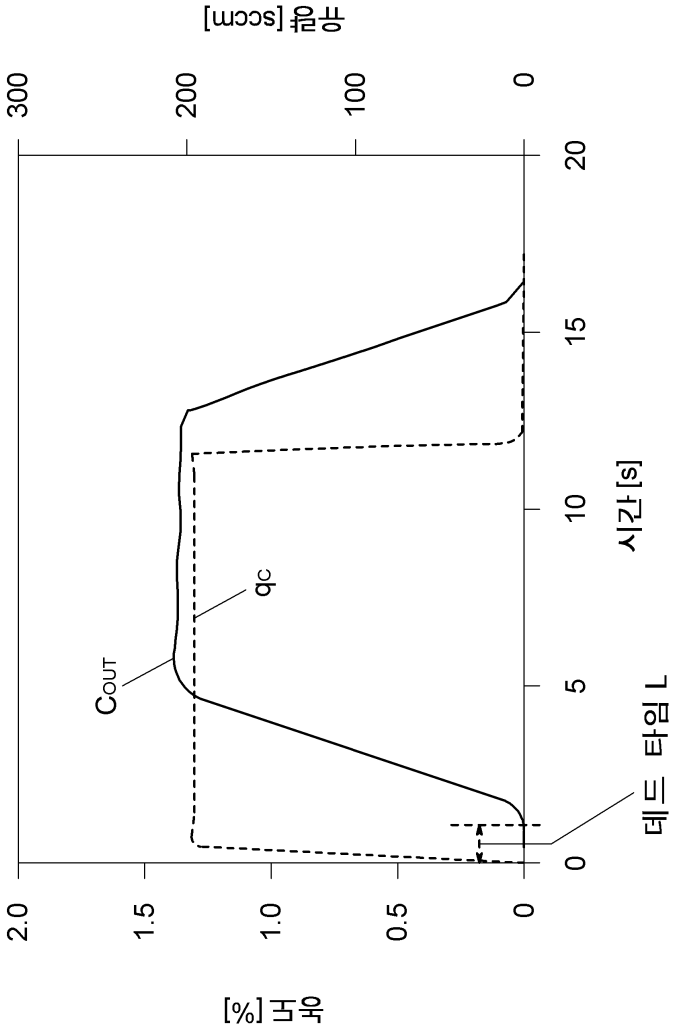
도면1


100
10
CTL
11
제1 유량 제어부
제2 유량 제어부
12
CSET
qT SET
N2
N2
MFC
MFC
8
5
qc
qD
7
3
qc + qv
2
원료(IPA)
4
NDIR
6
COUT

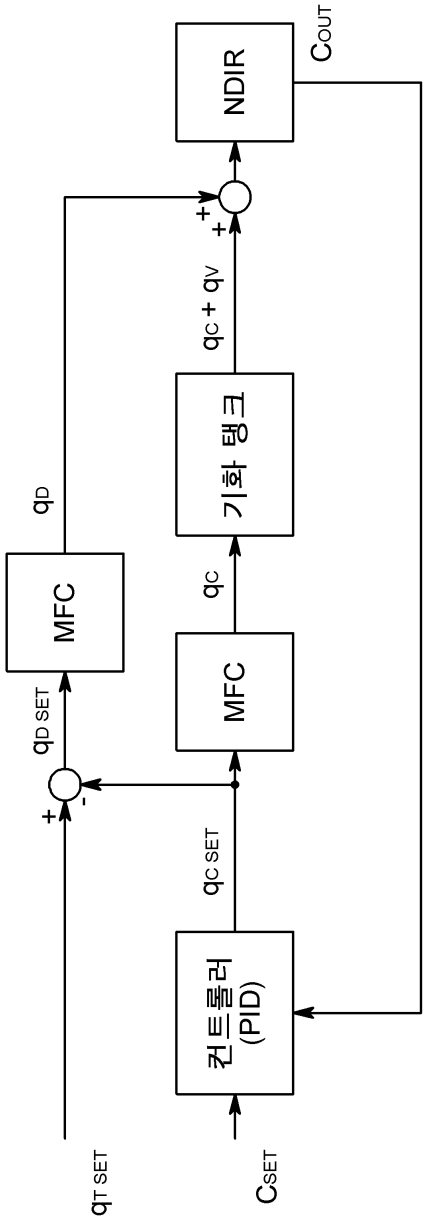
도면2


11
MPC
최적화기
예측 모델
제어 입력
u(t)
(=qc SET)
제어 대상
제어 출력
y(t)
(=COUT)
측정
목표 지령
r(t)
(=CSET)

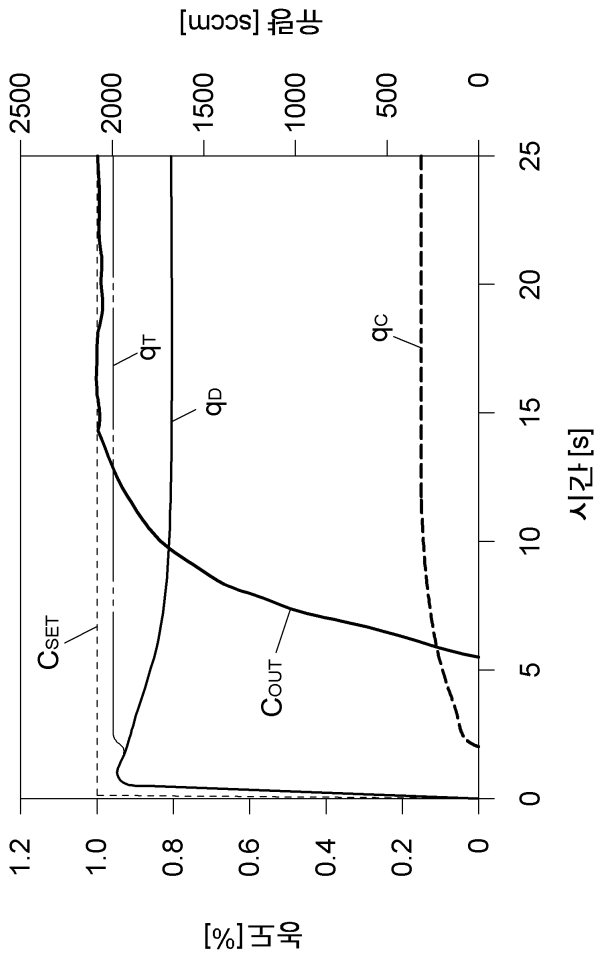
도면3



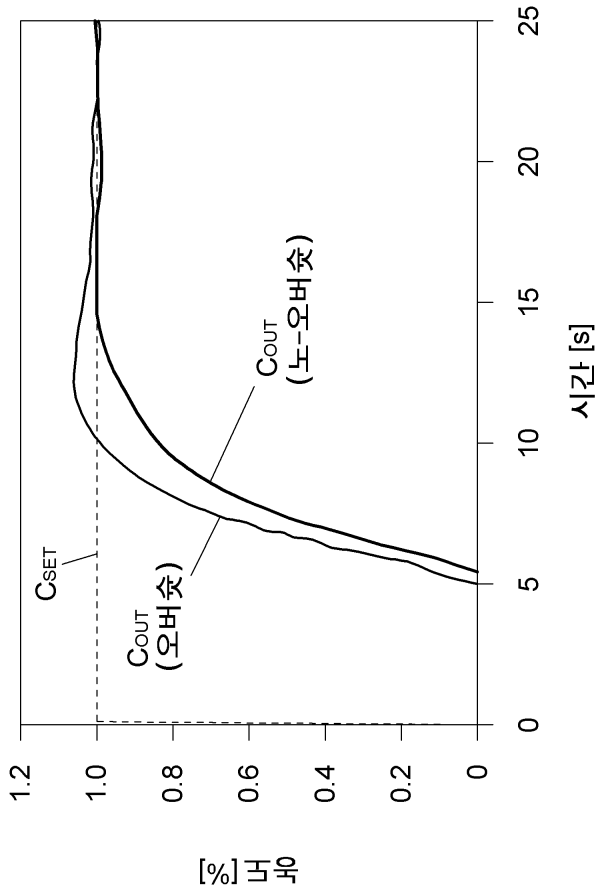
도면4


NDIR
COUT
+
+
qC + qV
기화 탱크
qC
MFC
qD
MFC
qD SET
+
-
qC SET
컨트롤러
(PID)
qT SET
CSET

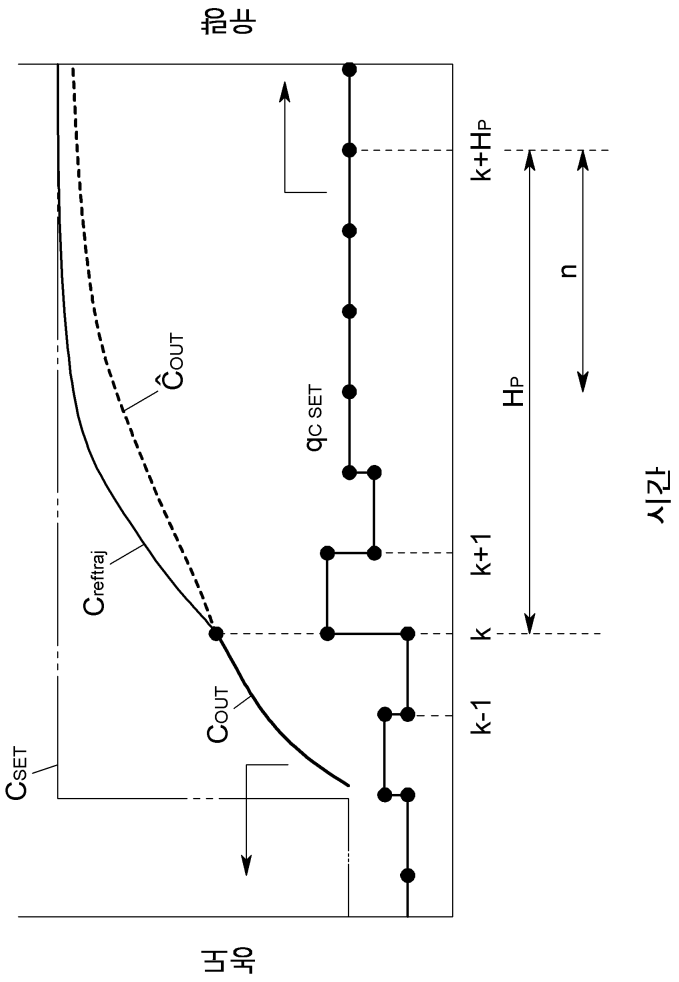
도면5


유량 [sccm]
2500
2000
1500
1000
500
0
25
20
15
10
5
0
시간 [s]
qC
qT
qD
CSET
COUT
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
농도 [%]

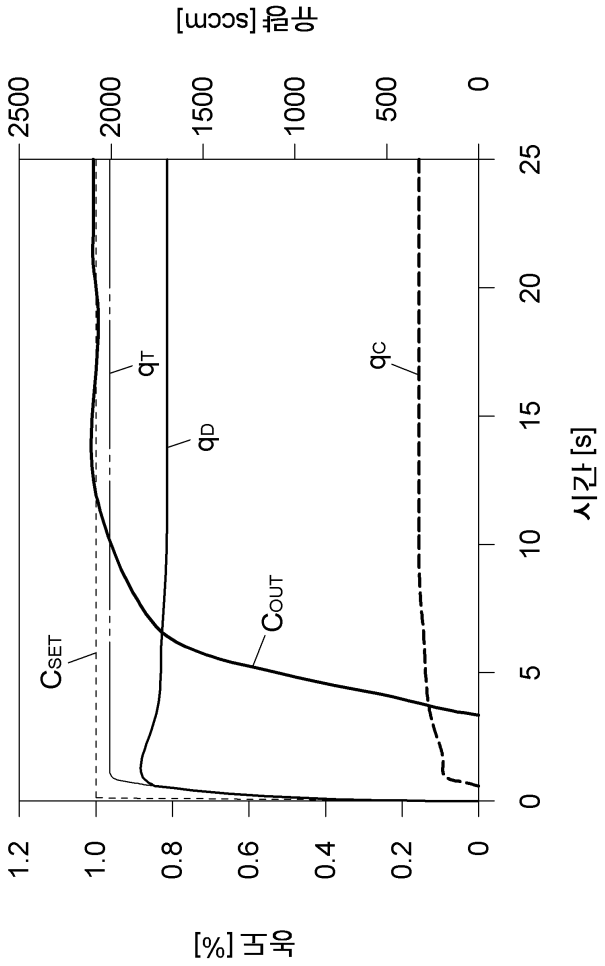
도면6



도면7



도면8


유량 [sccm]
2500
2000
1500
1000
500
0
25
20
15
10
5
0
시간 [s]
qT
qD
qC
CSET
COUT
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
농도 [%]