



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0053229
(43) 공개일자 2025년04월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05D 23/19 (2006.01) G05B 11/42 (2006.01)
H05B 1/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G05D 23/1902 (2013.01)
G05B 11/42 (2024.01)
(21) 출원번호 10-2025-7012095(분할)
(22) 출원일자(국제) 2021년09월02일
심사청구일자 없음
(62) 원출원 특허 10-2023-7011417
원출원일자(국제) 2021년09월02일
심사청구일자 2024년05월02일
(85) 번역문제출일자 2025년04월14일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/048884
(87) 국제공개번호 WO 2022/051509
국제공개일자 2022년03월10일
(30) 우선권주장
63/074,520 2020년09월04일 미국(US)

(71) 출원인
와틀로 일렉트릭 매뉴팩처어링 컴파니
미국 미주리 63146 세인트 루이스 랙랜드 로드
12001
(72) 발명자
오펜라브스키, 앤드류
미국 미주리 63146 세인트 루이스 랙랜드 로드
12001
칸트, 제레미
미국 미네소타 55987 위노나 웨스트 브로드웨이
409
(74) 대리인
이강욱, 김성훈

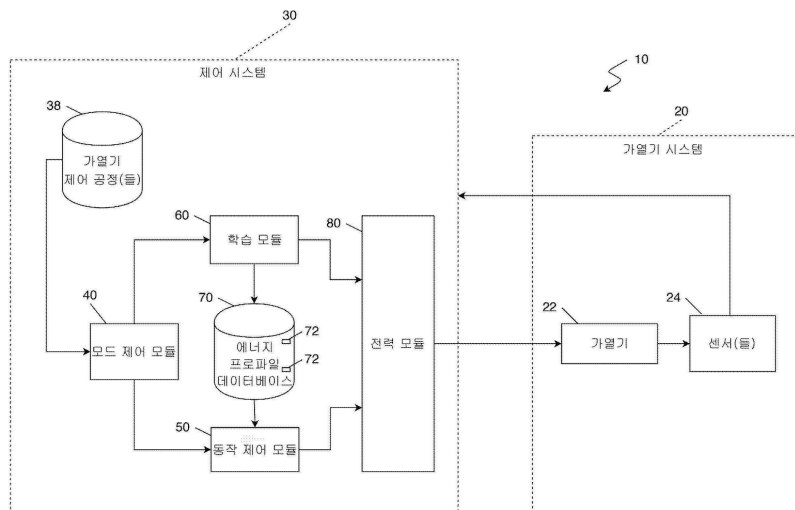
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 에너지 제어를 이용하여 전기 가열기를 제어하는 방법 및 시스템

(57) 요약

전기 가열기의 피가열 공정을 제어하는 방법은 가열기의 목표 온도를 나타내는 설정점 변수를 얻는 단계를 포함한다. 이 방법은, 설정점 변수에 기초하여 가열기에 대한 에너지 프로파일을 식별하는 단계를 포함한다. 에너지 프로파일은, 피가열 공정의 온도를 목표 온도에 도달시키도록 가열기에 인가될 초기 전기 에너지의 정의된 크기를 제공한다. 이 방법은 피가열 공정의 성능 특성을 나타내는 공정 변수를 얻는 단계를 포함한다. 이 방법은 에너지 프로파일과 공정 변수 중 적어도 하나에 기초하여 전기 에너지를 가열기에 제공하는 단계를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H05B 1/0227 (2013.01)

H05B 1/0288 (2013.01)

(72) 발명자

네스, 키이스

미국 미주리 63146 세인트 루이스 랙랜드 로드
12001

린들리, 제이콥

미국 미주리 63146 세인트 루이스 랙랜드 로드
12001

명세서

청구범위

청구항 1

가열기의 피가열 공정을 제어하는 방법으로서,

상기 가열기의 목표 온도를 나타내는 설정점 변수를 얻는 단계;

상기 설정점 변수에 기초하여 상기 가열기에 대한 에너지 프로파일을 식별하는 단계 - 상기 에너지 프로파일은 상기 피가열 공정의 온도를 상기 목표 온도에 도달시키도록 상기 가열기에 공급될 초기 전기 에너지의 정의된 크기를 제공함; 및

상기 가열기가 상기 목표 온도에 도달하는지 여부에 기초하여, 상기 가열기를 에너지 기반 제어 모드와 온도 제어 모드 중 하나에서 동작시키는 단계를 포함하고,

상기 에너지 기반 제어 모드는 개루프 제어이고 상기 온도 제어 모드는 폐루프 제어인 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 가열기의 온도가 상기 목표 온도 아래일 때 상기 가열기는 에너지 기반 제어 모드에서 동작하고, 상기 가열기의 온도가 상기 목표 온도에 도달할 때 상기 가열기는 온도 제어 모드에서 동작하는 것을 특징으로 하는,

방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 온도가 상기 목표 온도의 온도 접근 대역 내에 있는지 여부에 기초하여 상기 에너지 기반 제어 모드에서 상기 가열기에 상이한 전기 에너지가 제공되는 것을 특징으로 하는,

방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 온도 접근 대역은 상기 목표 온도의 온도 임계치 공차인 것을 특징으로 하는,

방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 가열기의 온도가 상기 목표 온도의 온도 접근 대역 밖에 있을 때 상기 가열기에 상기 초기 전기 에너지의 정의된 크기가 제공되는 것을 특징으로 하는,

방법.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 가열기의 온도가 상기 온도 접근 대역 내에 있을 때 상기 가열기에 상기 식별된 에너지 프로파일과 연관된 전기 에너지의 정상 상태 크기가 제공되는 것을 특징으로 하는,

방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 전기 에너지의 정상 상태 크기는 상기 초기 전기 에너지의 정의된 크기보다 작은 것을 특징으로 하는,

방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 전기 에너지는 자연 시상수(natural time constant) 또는 비례 적분 제어(proportional-integral control)에 기초하여 정상 상태 전기 에너지로 감소되는 것을 특징으로 하는,

방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 가열기의 온도가 상기 목표 온도에 도달할 때 상기 가열기의 동작을 상기 에너지 기반 제어 모드에서 상기 온도 제어 모드로 전환하는 단계를 더 포함하는,

방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 가열기가 상기 온도 제어 모드에서 동작할 때 상기 가열기의 온도와 상기 목표 온도 간의 차이를 감소시키기 위해 필요한 전기 에너지의 레벨을 결정하는 단계를 더 포함하는,

방법.

청구항 11

가열기를 제어하기 위한 시스템으로서,

목표 온도를 얻도록 구성된 모드 제어 모듈; 및

제어 모드 선택 모듈을 포함하는 동작 제어 모듈 - 상기 제어 모드 선택 모듈은 상기 목표 온도 및 공정 변수에 기초하여 동작 제어 모드를 에너지 기반 제어 모드 또는 온도 제어 모드 중 하나로 설정하도록 구성됨 - ,

상기 에너지 기반 제어 모드 또는 온도 제어 모드는 상기 가열기의 온도가 상기 목표 온도에 도달하는지 여부에 기초하여 선택되며, 상기 에너지 기반 제어 모드는 개루프 제어이고 상기 온도 제어 모드는 폐루프 제어인 것을 특징으로 하는,

시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 동작 제어 모듈은 상기 가열기의 온도가 상기 목표 온도 아래일 때 상기 가열기를 상기 에너지 기반 제어 모드에서 동작시키도록 구성되고, 상기 가열기의 온도가 상기 목표 온도에 도달할 때 상기 가열기를 상기 온도 제어 모드에서 동작시키도록 구성되는 것을 특징으로 하는,

시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 동작 제어 모듈은 상기 온도가 상기 목표 온도의 온도 접근 대역 내에 있는지 여부에 기초하여, 상기 가열기가 상기 에너지 기반 제어 모드에서 동작할 때 상기 가열기에 상이한 전기 에너지를 제공하도록 구성되는 것을 특징으로 하는,

시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 온도 접근 대역은 상기 목표 온도의 온도 임계치 공차인 것을 특징으로 하는,

시스템.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 동작 제어 모듈은 상기 가열기의 온도가 상기 목표 온도의 온도 접근 대역 밖에 있을 때 상기 가열기에 초기 전기 에너지의 정의된 크기를 포함하는 에너지 프로파일을 제공하도록 구성되는 것을 특징으로 하는,

시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 동작 제어 모듈은 상기 가열기의 온도가 상기 온도 접근 대역 내에 있을 때 상기 가열기에 상기 에너지 프로파일과 연관된 전기 에너지의 정상 상태 크기를 제공하도록 구성되는 것을 특징으로 하는,

시스템.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 전기 에너지의 정상 상태 크기는 상기 가열기의 초기 전기 에너지의 정의된 크기보다 작은 것을 특징으로 하는,

시스템.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 동작 제어 모듈은 자연 기상수 또는 비례 적분 제어에 기초하여 상기 전기 에너지를 정상 상태 전기 에너지로 감소시키도록 구성되는 것을 특징으로 하는,

시스템.

청구항 19

제11항에 있어서,

상기 동작 제어 모듈은 상기 가열기의 온도가 상기 목표 온도에 도달할 때 상기 가열기의 동작을 상기 에너지 기반 제어 모드에서 상기 온도 제어 모드로 전환하도록 구성되는 것을 특징으로 하는,

시스템.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 동작 제어 모듈은 상기 가열기가 상기 온도 제어 모드에서 동작할 때 상기 가열기의 온도와 상기 목표 온도 간의 차이를 감소시키기 위해 필요한 전기 에너지의 레벨을 결정하도록 구성되는 것을 특징으로 하는,

시스템.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본원은 2020년 9월 4일자로 출원된 미국 가특허출원번호 제63/074,520호에 대한 우선권과 이점을 주장한다. 상술한 출원의 개시내용은 본원에 참고로 원용된다.
- [0002] 본 출원은 2023년 4월 3일자로 국내 단계에 진입한 한국 출원 제10-2023-7011417호의 분할 출원으로서, 그 전체가 참조로 원용된다.
- [0003] 본 개시내용은 전기 가열기의 열적 성능을 제어하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0004] 이 섹션의 설명은 단지 본 개시내용에 관련된 배경 정보를 제공할 뿐이며, 종래 기술을 구성하지 않을 수 있다.
- [0005] 산업 공정용 열적 시스템은 통상적으로 가열기 시스템 및 가열기 시스템의 동작을 모니터링하고 제어하는 제어 시스템을 포함한다. 제어 시스템은 가열기 시스템의 온도를 목표 온도로 제어하도록 구성된 온도 비례 적분 미분(Proportional-Integral-Derivative; PID) 제어 시스템일 수 있다. 그러나, 온도 PID 제어기는, 일단 온도 센서가 측정된 온도의 변화를 검출하면 열적 시스템 변화에 반응한다. 이와 같이, 온도 PID 제어기가 열적 부하 변화와 같은 열적 시스템 변화에 신속하고 시기 적절하게 반응하는 것이 어려울 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 섹션은 본 개시내용의 대략적인 개요를 제공하며, 전체 범위 또는 모든 특징부의 포괄적인 개시내용이 아니다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 개시내용은 가열기의 피가열 공정(heated process)을 제어하는 방법을 제공한다. 이 방법은 가열기의 목표 온도를 나타내는 설정점 변수를 얻는 단계를 포함한다. 이 방법은 설정점 변수에 기초하여 가열기에 대한 에너지 프로파일을 식별하는 단계를 포함하고, 에너지 프로파일은, 피가열 공정의 온도가 목표 온도에 도달시키도록 가열기에 인가될 초기 전기 에너지의 정의된 크기를 제공한다. 이 방법은 피가열 공정의 성능 특성을 나타내는 공정 변수를 얻는 단계를 포함한다. 이 방법은 에너지 프로파일과 공정 변수 중 적어도 하나에 기초하여 전기 에너지를 가열기에 제공하는 단계를 포함한다.
- [0008] 일부 형태에서, 전기 에너지를 가열기에 제공하는 단계는 초기 전기 에너지의 정의된 크기를 가열기에 제공하는 단계를 더 포함한다. 일부 형태에서, 전기 에너지를 가열기에 제공하는 단계는, 가열기의 온도가 가열기의 목표 온도의 온도 접근 대역 내에 있음을 나타내는 공정 변수에 응답하여 가열기로의 전기 에너지를 감소시키는 단계를 더 포함하고, 성능 특성은 가열기의 온도를 포함한다. 일부 형태에서, 전기 에너지는 자연 시상수에 기초하여 정상 상태(steady state) 전력으로 감소된다. 일부 형태에서, 전기 에너지는 비례 적분 제어에 기초하여 정상 상태 전력으로 감소된다.
- [0009] 일부 형태에서, 상기 방법은 가열기의 온도가 설정점 변수 미만인지를 결정하는 단계를 더 포함한다. 가열기의 온도가 설정점 변수 미만임에 응답하여, 가열기에 제공되는 전기 에너지는 식별된 에너지 프로파일에 기초하며, 그리고 상기 전기 에너지는 초기 전기 에너지의 정의된 크기와 같다. 가열기의 온도가 설정점 변수 초과임에 응답하여, 상기 방법은, 가열기로의 전기 에너지를 턴오프하는 단계, 및 가열기의 성능 특성을 나타내는 공정 변수를 얻는 단계를 더 포함하고, 성능 특성은 가열기의 온도를 포함한다. 일부 형태에서, 가열기의 온도가 설정점 변수 초과임에 응답하여, 상기 방법은, 가열기의 온도가 설정점 변수에 접근함에 응답하여 가열기로의 전기 에너지를 정상 상태 전력까지 증가시키는 단계를 더 포함한다. 일부 형태에서, 전기 에너지는 자연 시상수에 기초하여 제로로부터 정상 상태 전력까지 증가된다. 일부 형태에서, 전기 에너지는 비례 적분 제어에 기초하여 제

로부터 정상 상태 전력까지 증가된다.

- [0010] 일부 형태에서, 상기 방법은 가열기의 온도가 설정점 변수와 동일한지를 결정하는 단계를 더 포함한다. 일부 형태에서, 상기 방법은, 가열기의 온도를 설정점 변수에서 유지하기 위한 온도 제어 모델에 기초하여 가열기로의 전기 에너지를 제어하는 단계를 더 포함한다. 일부 형태에서, 성능 특성은 가열기의 전압, 가열기의 전류, 및 가열기의 온도 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0011] 본 개시내용은 가열기를 제어하는 시스템을 제공한다. 상기 시스템은 비일시적 컴퓨터-판독가능 매체에 저장된 명령어를 실행하도록 구성된 프로세서를 포함한다. 상기 명령어는, 가열기의 목표 온도와 가열기의 온도를 얻는 것, 목표 온도와 온도에 기초하여 가열기를 에너지 기반 제어 모드와 온도 제어 모드 중 하나에서 제어하는 것, 및 에너지 기반 제어 모드 동안, 목표 온도에 기초하여 가열기에 대한 에너지 프로파일을 식별하는 것을 포함하고, 에너지 프로파일은, 온도를 목표 온도에 도달시키도록 가열기에 인가될 초기 전기 에너지의 정의된 크기를 제공한다. 방법은, 에너지 기반 제어 모드 동안, 에너지 프로파일에 기초하여 전기 에너지를 가열기에 제공하는 단계, 및 온도 제어 모드 동안, 온도에 기초하여 전기 에너지를 가열기에 선택적으로 제공하는 단계를 포함한다.
- [0012] 일 형태에서, 에너지 기반 제어 모드 동안 에너지 프로파일에 기초하여 전기 에너지를 가열기에 제공하는 명령어는, 초기 전기 에너지의 정의된 크기를 가열기에 제공하는 것, 가열기의 온도가 가열기의 목표 온도의 온도 접근 대역 내에 있는지를 결정하는 것, 가열기의 온도가 가열기의 목표 온도의 온도 접근 대역 내에 있음에 응답하여 가열기에 제공되는 전기 에너지를 정상 전력까지 감소시키는 것을 더 포함한다. 일 형태에서, 온도 제어 모드 동안 온도에 기초하여 전기 에너지를 가열기에 선택적으로 제공하는 명령어는, 가열기로의 전기 에너지를 턴오프하는 것, 가열기의 온도가 가열기의 목표 온도의 온도 접근 대역 내에 있는지를 결정하는 것, 및 가열기의 온도가 가열기의 목표 온도의 온도 접근 대역 내에 있음에 응답하여 가열기에 제공되는 전기 에너지를 정상 상태 전력까지 증가시키는 것을 더 포함한다.
- [0013] 일 형태에서, 상기 명령어는, 가열기의 온도가 목표 온도와 동일한지를 결정하고 가열기의 온도가 목표 온도와 동일함에 응답하여 가열기의 온도를 유지하기 위한 온도 제어 모델에 기초하여 가열기에 제공되는 전기 에너지를 제어하는 것을 더 포함한다.
- [0014] 본 개시내용은 가열기의 에너지 프로파일을 학습하는 방법을 제공한다. 이 방법은 가열기의 목표 온도를 나타내는 설정점 변수를 얻는 단계 및 가열기에 전기 에너지를 제공하는 단계를 포함하며, 전기 에너지는 교정 크기를 갖는다. 이 방법은 가열기의 온도를 나타내는 공정 변수를 얻는 단계를 포함한다. 공정 변수가 가열기의 온도가 목표 온도와 같음을 나타내는 경우, 상기 방법은, 가열기의 응답 시간을 결정하는 단계, 응답 시간에 기초하여 이득 값을 선택적으로 조정하는 단계, 및 제어기의 이득 값 및 설정점 변수에 기초하여 에너지 프로파일을 생성하는 단계를 포함하고, 에너지 프로파일은 설정점 변수를 전기 에너지의 미리 결정된 값과 상관짓는다 (correlates).
- [0015] 일 형태에서, 에너지 프로파일은, 가열기의 온도가 목표 온도의 온도 접근 대역 내에 있음에 응답하여 가열기에 인가되는 정상 상태 전력을 추가로 정의한다. 일 형태에서, 방법은 수학적 모델에 기초하여 목표 온도의 온도 접근 대역을 정의하는 단계를 더 포함한다. 일 형태에서, 에너지 프로파일은, 가열기의 온도를 목표 온도에 도달시키도록 가열기에 전기 에너지의 미리 결정된 값을 제공하기 위한 지속시간을 추가로 정의한다. 일 형태에서, 응답 시간에 기초하여 이득 값을 선택적으로 조정하는 단계는, 응답 시간이 임계 응답 시간 미만임에 응답하여 지글러-니콜스 튜닝 루틴(Ziegler-Nichols tuning routine)에 기초하여 이득 값을 조정하는 단계를 더 포함한다. 일 형태에서, 에너지 프로파일은 교정 크기에 추가로 기초한다. 일 형태에서, 방법은 공정 변수가 가열기의 온도가 목표 온도와 같음을 나타낼 때 교정 크기를 선택적으로 조정하는 단계를 더 포함한다.
- [0016] 적용가능한 추가 영역은 본원에 제공된 설명으로부터 명백해질 것이다. 설명과 특정 예는 단지 예시를 위한 것이며 본 개시내용의 범위를 제한하려는 것이 아님을 이해해야 한다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 본 개시내용이 잘 이해될 수 있도록, 첨부 도면을 참조하여 예로서 제공된 개시내용의 다양한 형태가 이제 설명될 것이다.

도 1은 본 개시내용에 따른 에너지 제어 시스템 및 가열기 시스템을 갖는 열적 시스템의 블록도이다.

도 2는 본 개시내용에 따른 에너지 제어 시스템의 동작 제어 모듈의 블록도이다.

도 3은 본 개시내용에 따른 에너지 제어 시스템의 학습 모듈의 블록도이다.

도 4는 본 개시내용에 따른 제1 형태의 가열기 온도를 제어하기 위한 흐름도이다.

도 5는 본 개시내용에 따른 제2 형태의 가열기 온도를 제어하기 위한 다른 흐름도이다.

도 6은 본 개시내용에 따른 열적 시스템의 에너지 프로파일을 학습하기 위한 흐름도이다.

본원에 설명된 도면은 단지 예시를 위한 것이며 어떠한 방식으로든 본 개시내용의 범위를 제한하려는 의도가 아니다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 다음 설명은 본질적으로 예시일 뿐이며 본 개시내용, 활용(application), 또는 사용을 제한하려는 의도가 아니다. 도면 전체에 걸쳐 대응하는 참조 번호는 동일하거나 대응하는 부분 및 기능부를 나타낸다는 것을 이해해야 한다.
- [0019] 도 1을 참조해 보면, 열적 시스템(10)은 가열기(22)를 갖는 가열기 시스템(20) 및 원하는 열 반응을 제공하도록 구성된 제어 시스템(30)을 포함하여 도시되어 있다. 일 형태에서, 제어 시스템(30)은 가열기 시스템(20)의 동작, 더욱 구체적으로는 가열기(22)를 제어하도록 구성된다.
- [0020] 열적 시스템(10)은 가열되는 부하의 열적 특성을 제어하기 위한 다양한 유형의 산업 공정의 일부일 수 있다. 예를 들어, 열적 시스템(10)은 가열기 시스템(20)이 웨이퍼(예를 들어, 부하)를 가열하기 위한 받침대 가열기(pedestal heater)를 포함하는 반도체 공정의 일부일 수 있다. 이 예에서, 제어 시스템(30)은 받침대 가열기의 에너지 프로파일을 제어하도록 구성될 수 있으며, 이는 상이한 제어에 기초하여 가변할 수 있다. 예를 들어, 제어는, 열적 시스템(10)에 의해 제어가능한 다른 파라미터들 중에서, 받침대 가열기에 제공되는 전력, 열적 시스템(10)의 동작 모드(예를 들어, 가열기 시스템(20)을 제어하도록 정의된 다른 동작 모드들 중에서, 사용자로부터의 입력에 기초하여 가열기(22)로의 전력을 제어하는 수동 모드, 받침대 가열기의 온도를 점진적으로 증가시키는 콜드-스타트 모드, 받침대 가열기를 목표 온도로 유지하기 위한 정상 상태 모드), 및/또는 받침대 가열기가 멀티존 가열기인 경우 받침대 가열기의 상이한 존들의 동작 상태를 포함할 수 있지만, 이에 제한되지 않는다. 또한, 상기 제어는, 다른 인자들 중에서, 가열되는 웨이퍼의 유형, 받침대 가열기를 갖는 공정 챔버로 주입되는 가스, 및/또는 웨이퍼를 받침대 가열기에 고정하기 위한 챔버 내의 압력 차이를 포함할 수 있지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0021] 다른 일례로, 열적 시스템(10)은 도관 네트워크를 통해 흐르는 유체를 가열하기 위해 반도체 공정의 저감 시스템에서 사용될 수 있다. 일 형태에서, 가열기 시스템(20)은 내부의 유체를 가열하기 위해 도관 주위를 감싸는 다수의 가요성 가열기를 포함할 수 있다. 또 다른 일례로, 열적 시스템(10)은, 도관을 통해 흐르거나 용기 내에 제공된 유체(예를 들어, 가스 및/또는 액체)를 직접 가열하기 위해 가열기 시스템(20)의 일부로서 카트리지 가열기를 사용할 수 있다.
- [0022] 열적 시스템(10)의 특정 활용이 본원에 제공되지만, 본 개시내용은 부하를 가열하기 위한 열적 시스템을 갖는 다른 산업 공정에 적용될 수 있다. 또한, 가열기 시스템(20)의 가열기(22)는 본원에 제공된 예에 한정되지 않아야 하며, 가열기(22)는, 저항성 가열 요소를 갖는 가열기들 중에서, 적층형 가열기, 카트리지 가열기, 튜브형 가열기, 폴리머 가열기, 가요성 가열기를 포함할 수 있다.
- [0023] 가열기 시스템(20)은, 특히, 가열기(22)의 온도, 전압, 전류, 전력, 및/또는 저항과 같은 가열기(22)의 성능 특성(즉, 공정 변수)을 측정하기 위한 하나 이상의 센서(24)를 포함할 수 있지만, 이러한 예들에 제한되지 않는다. 이에 따라, 하나 이상의 센서(24)는 특히, 열전대(thermocouple), 저항 온도 검출기, 적외선 카메라, 전류 센서, 및/또는 전압 센서를 포함할 수 있다.
- [0024] 일 변형예에서, 가열기(22)는 성능 특성을 생성하는 하나 이상의 센서(24) 대신 또는 이에 더하여 성능 특성을 생성할 수 있다. 일례로, 가열기 시스템(20)은 2-와이어 가열기 시스템일 수 있으며, 여기서 가열기(22)는 열을 생성하도록 동작가능하고, 가열기(22)의 성능 특성을 측정하기 위한 센서로서 동작한다. 보다 구체적으로, 가열기(22)는, 저항성 가열 요소의 저항에 기초하여 저항성 가열 요소의 평균 온도를 측정하기 위한 센서로서 동작하는 하나 이상의 저항성 가열 요소를 포함할 수 있다. 예시적인 2-와이어 가열기 시스템은 미국 특허 제 7,196,295호에 개시되어 있으며, 이 특허는 본원과 공동으로 소유되며, 이의 전문은 참조로 본원에 참고로 인용된다. 2-와이어 시스템에서, 열적 시스템은, 가열기 설계를 전력, 저항, 전압 및 전류를 하나 이상의 파라미터

(예를 들어, 전력, 저항, 전압, 및 전류)를 제한하면서 다른 것을 제어하는 맞춤형 피드백 제어 시스템에 통합하는 제어와 병합하는 적응형 열적 시스템이다. 일 형태에서, 제어 시스템(30)은, 저항성 가열 요소에 전달되는 전류, 전압, 및 전력 중 적어도 하나를 모니터링하여 저항성 가열 요소의 저항 및 이에 따라 온도를 결정하도록 구성된다.

[0025] 또 다른 변형예에서, 2-와이어 가열기로서, 가열기(22)는 가열기(22)의 온도를 측정하기 위한 온도 감지 전원 핀을 포함하도록 구성된다. 전원 핀을 열전대로서 사용하여 저항성 가열 요소의 온도를 측정하는 것은 미국 특허 제10,728,956호에 개시되어 있으며, 이 특허는 본원과 함께 공동 소유되며, 이의 전문은 본원에 참고로 인용된다. 일반적으로, 가열기(22)의 저항성 가열 요소와 제어 시스템(30)은 제1 접합부 및 제2 접합부를 정의하는 제1 전원 핀 및 제2 전원 핀을 통해 각각 연결된다. 제1 및 제2 전원 핀은 가열기(22)의 저항성 발열 요소의 온도를 측정하기 위한 열전대 감지 핀으로서 기능한다. 제1 및 제2 전원 핀과 통신하는 제어 시스템(30)은 제1 및 제2 접합부에서 전압 변화를 측정하도록 구성될 수 있다. 더 구체적으로, 제어 시스템(30)은, 접합부에서 밀리볼트(mV) 변화를 측정할 수 있고, 이어서 이러한 전압 변화를 사용하여 저항성 가열 요소의 온도를 계산한다.

[0026] 제어 시스템(30)은 가열기 시스템(20)을 제어하기 위한 출력 제어를 정의하는 에너지 프로파일에 기초하여 가열기 시스템(20)을 제어하도록 구성된다. 출력 제어는 특히 입력 전력의 백분율(예를 들어, 입력 전력의 75%) 및/또는 실제 전압 레벨과 같은 다양한 적절한 형태로 제공될 수 있다. 또한, 제어 시스템(30)은 가열기 시스템(20)을 제어하는 데 이용되는 하나 이상의 에너지 프로파일을 정의하도록 구성된다.

[0027] 일 형태에서, 제어 시스템(30)은, 가열기 제어 공정 데이터베이스(38), 모드 제어 모듈(40), 동작 제어 모듈(50), 학습 모듈(60), 에너지 프로파일 데이터베이스(70), 및 전력 모듈(80)을 포함한다. 본원에 기술된 기능을 수행하기 위해, 제어 시스템(30)은, 랜덤 액세스 메모리(RAM) 회로 및/또는 판독 전용 메모리(ROM) 회로와 같은 하나 이상의 비일시적 컴퓨터-판독가능 매체에 저장된 기계-판독가능 명령어를 실행하도록 구성된 하나 이상의 프로세서 회로를 포함하는 마이크로컨트롤러에 의해 구현될 수 있다. 가열기 제어 공정 데이터베이스(38), 모드 제어 모듈(40), 동작 제어 모듈(50), 학습 모듈(60), 에너지 프로파일 데이터베이스(70), 및 전력 모듈(80)이 제어 시스템(30)의 일부로서 도시되어 있지만, 이러한 구성요소들 중 어느 하나라도 제어 시스템(30)에 통신가능하게 결합된 별도의 제어기(들)에 위치할 수 있다는 점을 이해해야 한다.

[0028] 일부 형태에서, 제어 시스템(30)은, 가열기 제어 공정 데이터베이스(38)에 저장된, 제어 시스템(30)에 의해 실행될 때 가열기(22)의 열적 성능을 제어하는 하나 이상의 정의된 제어 공정을 포함한다. 주어진 제어 공정은, 기타 파라미터들 중에서, 가열기(22)에 대한 하나 이상의 목표 온도, 목표 온도(들)의 시간 및 지속시간을 나타내는 공정 타임라인, 및/또는 제어 시스템(30)에 대한 제어 모드를 정의할 수 있다. 일 형태에서, 사용자는 인간 기계 인터페이스(Human Machine Interface; HMI)와 같은 외부 장치를 통해 수행될 제어 공정을 선택할 수 있다.

[0029] 일부 형태에서, 모드 제어 모듈(40)은 목표 온도를 얻고 제어 시스템(30)의 제어 모드를 설정하도록 구성된다. 일례로, 모드 제어 모듈(40)은, 에너지 제어 모드를 학습 모듈(60)에 의해 제공되는 에너지 프로파일 학습 모드 및/또는 동작 제어 모듈(50)에 의해 제공되는 동작 제어 모드로 설정하도록 구성된다. 일 형태에서, 에너지 제어 모드는 외부 장치를 통해 사용자에게 의해 설정된다. 예를 들어, 사용자는, 사용자에게 의해 설정되고/되거나 미리 저장된 제어 공정에서 정의된 하나 이상의 파라미터에 기초하여 하나 이상의 에너지 프로파일을 정의하도록 제어 시스템(30)이 에너지 프로파일 학습 모드에서 동작하게 할 수 있다. 다른 형태로, 에너지 제어 모드는 제어 시스템(30)에 의해 실행되는 제어 공정에 기초하여 자동으로 설정된다. 예를 들어, 제어 공정은 제어 모드, 목표 온도(들), 및 가열기를 목표 온도(들)에서 제어하기 위한 타임라인을 식별하도록 구성된다. 또 다른 일례로, 에너지 제어 모드는, 일단 학습 모듈(60)이 에너지 프로파일 학습 루틴을 완료하면 동작 제어 모드로 자동으로 설정되며, 이에 대해서는 도 3 내지 도 6을 참조하여 더 상세히 후술한다.

[0030] 일부 형태에서, 동작 제어 모듈(50)은, 목표 온도 및 가열기 시스템(20)의 측정가능한 성능 특성(예를 들어, 하나 이상의 센서(24)로부터의 온도 측정)을 나타내는 공정 변수에 기초하여 제어 공정(들)을 수행하여 출력 제어를 결정하도록 구성된다. 동작 제어 모듈(50)의 기능은 도 2 및 도 4 내지 도 5를 참조하여 더 상세히 후술한다.

[0031] 일부 형태에서, 학습 모듈(60)은 에너지 프로파일 데이터베이스(70)에 하나 이상의 에너지 프로파일(72)을 생성 및 저장하도록 구성된다. 일부 형태에서, 에너지 프로파일(72)은, 가열기(22)의 온도를 목표 온도에 도달시키도록 목표 온도를 가열기(22)에 인가될 초기 전력 및/또는 에너지의 정의된 크기에 상관짓는다. 에너지 프로파일(72)은, 또한, 가열기(22)의 목표 온도로의 천이 제어를 제공하기 위해 가열기(22)의 정의된 온도가 가열기(2

2)의 목표 온도의 온도 접근 대역 내에 있음에 응답하여 가열기(22)에 인가되는 정상 상태 전압을 정의할 수 있고, 이에 따라 목표 온도의 오버슈트를 감소시키거나 억제할 수 있다. 일부 형태에서, 온도 접근 대역(예를 들어, 온도 임계치 공차로서 표현되는 목표 온도로부터의 편차)은 각각의 에너지 프로파일(72) 중에서 고유하다. 한 변형예에서, 온도 접근 대역은 각각의 에너지 프로파일(72)에 대해 동일하다. 일부 형태에서, 온도 접근 대역은 특히 사용자, 수학적 모델, 및/또는 학습 루틴에 의해 정의된다. 다른 일 형태에서, 에너지 프로파일(72)의 온도 접근 대역은 열적 시스템(10)의 다양한 조건에 기초하여 동적으로 업데이트될 수 있다.

[0032] 예시적인 활용에서, 선택된 제어 공정을 수행하기 위해 동작 제어 모드 및 학습 모드 모두가 선택될 수 있다. 이러한 활용에서, 동작 제어 모듈(50)은 가열기(22)의 열적 성능을 제어하기 위해 아래에 제공되는 바와 같이 가열기(22)를 동작시키고, 학습 모듈(60)은 수행되는 제어 공정을 위한 에너지 프로파일(72)을 정의하도록 구성된다. 이에 따라, 정의된 에너지 프로파일(72)은 열적 시스템(10)을 갖는 산업 공정의 알려지거나 알려지지 않은 파라미터들을 고려한다. 예를 들어, 반도체 공정에서, 알려진 파라미터와 알려지지 않은 파라미터는 부하(예를 들어, 웨이퍼)의 질량, 유체/분말의 삽입/제거, 및/또는 밸브/도어의 개폐를 포함할 수 있다.

[0033] 전력 모듈(80)은 동작 제어 모듈(50)과 학습 모듈(60) 중 어느 하나로부터의 출력 제어에 기초하여 가열기 시스템(20)에 제공되는 전기 에너지를 제어하도록 구성된다. 일 형태에서, 전력 모듈(80)은, 전원(도시되지 않음)에 전기적으로 결합되고, 전원으로부터의 전력을 선택된 전력 레벨로 조정하고 조정된 전력을 가열기(22)에 인가하기 위한 전력 조정기 회로(도시되지 않음)를 포함할 수 있다. 미리 정의된 알고리즘 및/또는 테이블을 사용하여, 전력 모듈(80)은 출력 제어에 기초하여 가열기 시스템(20)에 대한 전력 레벨을 선택하도록 구성된다.

[0034] 도 2를 참조하면, 동작 제어 모듈(50)의 예시적인 블록도가 도시되어 있다. 일부 형태에서, 동작 제어 모듈(50)은 제어 모드 선택 모듈(52), 온도 제어 루프 모듈(54), 및 에너지 기반 제어 모듈(56)을 포함한다. 제어 모드 선택 모듈(52)은, 목표 온도 및 하나 이상의 센서(24)로부터의 공정 변수에 기초하여 동작 제어 모드를 에너지 기반 제어 모드 또는 온도 제어 모드 중 하나로서 설정하도록 구성된다. 일 형태에서, 제어 모드 선택 모듈(52)은, 목표 온도가 가열기의 측정 온도보다 높을 때 동작 제어 모드를 에너지 기반 제어 모드로 설정하고 이에 따라 에너지 기반 제어 모듈(56)에 의해 제어된다. 반면, 목표 온도가 가열기(22)의 측정 온도 이하인 경우, 제어 모드 선택 모듈(52)은 동작 제어 모드를 온도 제어 모드로 설정하고 이에 따라 온도 제어 루프 모듈(54)에 의해 제어된다. 일 변형예에서, 제어 모드 선택 모듈(52)은, 측정된 온도가 정의된 편차(예를 들어, 10℃, 15℃, 또는 다른 적절한 값의 편차)만큼 목표 온도보다 낮을 때 동작 제어 모드를 에너지 기반 제어 모드로 설정한다. 그렇지 않은 경우에는, 측정된 온도가 정의된 편차만큼 목표 온도보다 높을 때 온도 제어 모드가 선택된다.

[0035] 에너지 기반 제어 모드 동안, 에너지 기반 제어 모듈(56)은 목표 온도 및/또는 제어 공정에 대한 정의된 에너지 프로파일 및 목표 온도에 기초하여 가열기(22)를 제어하도록 구성된다. 보다 구체적으로, 가열기(22)의 온도가 목표 온도의 온도 접근 대역 밖에 있을 때, 에너지 기반 제어 모듈(56)은 목표 온도에 기초하여 초기 전력 및/또는 에너지의 정의된 크기를 가열기(22)에 제공하도록 구성된다.

[0036] 일례로, 에너지 기반 제어 모듈(56)은, 수행되고 있는 제어 공정, 목표 온도(예를 들어, 목표 온도 200℃), 및/또는 가열기의 측정된 온도에 기초하여 데이터베이스(70)에 저장된 에너지 프로파일(72) 중에서 에너지 프로파일(72)을 식별한다. 식별된 에너지 프로파일(72)은, 가열기(22)의 현재 온도를 목표 온도에 도달시키도록 가열기(22)에 인가될 초기 전기 에너지 및/또는 전력의 정의된 크기를 제공한다(예를 들어, 식별된 에너지 프로파일(72)은, 현재 측정된 온도로부터 200℃의 목표 온도에 도달하기 위해 12,500와트-초(Ws)의 전기 에너지가 가열기(22)에 인가될 필요가 있음을 나타낸다). 후속하여, 에너지 기반 제어 모듈(56)은 초기 전기 에너지 및/또는 전력의 정의된 크기가 가열기(22)에 제공되도록 전력 모듈(80)에 출력 제어를 제공한다.

[0037] 초기 전기 에너지 및/또는 전력의 정의된 크기는 가열기(22)의 온도가 온도 접근 대역 내에 있을 때까지 가열기(22)에 제공된다. 일례로, 에너지 기반 제어 모듈(56)은 온도가 온도 접근 대역 내에 있는지를 결정하기 위해 가열기(22)의 온도를 모니터링한다. 일단 공정 변수에 의해 표시되는 바와 같이 가열기(22)의 온도가 온도 접근 대역 내에 있으면, 에너지 기반 제어 모듈(56)은 식별된 에너지 프로파일(72)에 연관된 전력의 정상 상태 크기를 가열기(22)에 제공한다(예를 들어, 식별된 에너지 프로파일(72)은 전력의 정상 상태 크기가 200℃에서 1,500와트임을 나타낸다). 전력의 정상 상태 크기는 자연 시상수, 오버슈트 크기, 응답 시간, 및/또는 에너지 기반 제어 모듈(56)의 정상 상태 오류에 기초할 수 있다. 일부 형태에서, 전력의 정상 상태 크기는 에너지 기반 제어 모듈(56)에 의해 구현되는 비례 적분(PI) 제어 루틴에 기초할 수 있다.

[0038] 일단 가열기(22)의 온도가 목표 온도에 도달하면, 동작 제어 모듈(50)은 온도 제어 모드로 천이한다. 온도 제어

모드 동안, 온도 제어 루프 모듈(54)은 목표 온도 및 가열기(22)의 온도와 같은 공정 변수에 기초하여 가열기(22)를 제어하도록 구성된다. 예를 들어, 일 형태에서, 온도 제어 루프 모듈(54)은, 가열기(22)의 온도를 모니터링하고 실제 온도와 목표 온도 사이의 차이를 결정하는 PID 제어를 수행한다. 이어서, 온도 제어 루프 모듈(54)은 가열기(22)의 실제 온도와 목표 온도 간의 차이를 감소시키는 데 필요한 전기 에너지의 레벨을 출력 제어로서 결정한다.

[0039] 제어 시스템(30)은, 에너지 기반 제어 모드(개루프 제어 루틴)와 온도 제어 모드(폐루프 제어 루틴) 중에서 동작 제어 모드를 선택적으로 지정함으로써, 가열기(22)의 응답 시간을 감소시켜 목표 온도에 도달하고 가변하는 목표 온도들 간에 천이한다. 또한, 일 형태에서, 동작 제어 모듈(50)은 상이한 동작 조건들에 대해 상이한 동작 제어 모드를 선택하도록 구성된다. 예를 들어, 가열기 시스템(20)의 온도가 안정적이면, 동작 제어 모듈(50)은 온도 제어 모드를 선택하여 온도를 목표 온도로 유지한다. 동적 상태 동안, 동작 제어 모듈(50)은 가열기 시스템(20)의 온도를 모니터링하면서 응답을 최적화하도록 에너지 기반 제어를 선택한다.

[0040] 도 3을 참조하면, 학습 모듈(60)의 예시적인 블록도가 도시되어 있다. 일부 형태에서, 학습 모듈(60)은 파라미터 모듈(62), 응답 시간 모듈(64), 온도 결정 모듈(66), 에너지 프로파일 생성기 모듈(68), 및 파라미터 조정 모듈(69)을 포함한다. PID 제어 모듈에 의해 구현될 수 있는 학습 모듈(60)은, 모드 제어 모듈(40)이 제어 시스템(30)을 에너지 프로파일 학습 모드로 설정할 때 에너지 프로파일 학습 루틴을 실행하도록 구성된다.

[0041] 학습 모듈(60)은 에너지 프로파일(72)을 정의하기 위해 주기적으로 에너지 프로파일 학습 루틴을 실행할 수 있다. 일부 형태에서, 학습 모듈(60)은, 동작 제어 모듈(50)에 의해 실행되는 동작 제어 루틴과 함께 에너지 프로파일 학습 루틴을 실행할 수 있고, 이에 따라 제어 시스템(30)이 열적 시스템(10)의 다른 상태들 중에서 에너지 소비, 가열기 또는 센서 고장, 열 전달의 변화와 같은 열적 시스템(10)의 다양한 상태를 식별할 수 있게 한다.

[0042] 일부 형태에서, 학습 모듈(60)은 에너지 프로파일 학습 루틴을 실행하는 동안 설정점/목표 온도의 범위에 대한 에너지 프로파일(72)을 생성하도록 구성된다(예를 들어, 학습 모듈(60)은 종료점을 포함하여 -10°C 내지 250°C 의 복수의 목표 온도에 대한 에너지 프로파일(72)을 생성하도록 구성된다). 일부 형태에서, 에너지 프로파일(72)은, 목표 온도를 가열기(22)에 인가될 초기 전기 에너지 및/또는 전력의 정의된 크기 및/또는 가열기의 온도를 목표 온도에 도달시키도록 전기 에너지를 제공하기 위한 지속시간과 상관짓는다. 에너지 프로파일(72)은, 또한, 가열기(22)의 온도가 가열기(22)의 목표 온도의 온도 접근 대역 내에 있음을 나타내는 공정 변수에 응답하여 가열기(22)에 인가되는 전기 에너지의 정상 상태 전압 크기를 정의할 수 있다. 일부 형태에서, 에너지 프로파일 학습 루틴 동안, 각각의 에너지 프로파일(72)에 대한 온도 접근 대역은, 또한, 예를 들어, 특히 사용자, 수학적 모델, 및/또는 학습 루틴에 의해 정의된다.

[0043] 에너지 프로파일 학습 루틴 동안, 파라미터 모듈(62)은, 가열기(22)의 목표 온도(예를 들어, 200°C)를 나타내는 설정점 변수를 얻도록 구성되고, 전력 모듈(80)이 교정 크기(예를 들어, 10,500 Ws)를 갖는 전기 에너지를 가열기(22)에 출력하도록 출력 제어를 제공한다. 또한, 파라미터 모듈(62)은, 에너지 프로파일 학습 루틴 동안 가열기(22)를 평가 및 제어하기 위한 일련의 이득 값을 지정하도록 구성된다(즉, 파라미터 모듈(62)은 학습 모듈(60)의 비례 이득 값, 적분 이득 값, 및/또는 미분 이득 값 중 적어도 하나를 정의한다). 이득 값들의 세트는, 예를 들어, 지글러-니콜스 튜닝 방법을 사용하여 결정될 수 있다.

[0044] 전기 에너지가 가열기(22)에 제공되는 동안, 온도 결정 모듈(66)은 가열기(22)의 성능 특성에 기초하여 가열기의 온도를 공정 변수로서 결정하도록 구성된다. 또한, 전기 에너지가 가열기(22)에 제공되는 동안, 응답 시간 모듈(64)은 활성화되고 경과 시간에 비례하여 해당 값을 증분하도록 구성된다. 가열기(22)의 온도가 목표 온도와 같을 때, 응답 시간 모듈(64)은 가열기(22)의 응답 시간을 결정하도록 구성된다. 본원에서 사용되는 바와 같이, "가열기(22)의 응답 시간"은 가열기(22)가 설정점 변수를 얻은 후 목표 온도에 도달하는 데 필요한 시간량을 가리킨다. 일부 형태에서, 가열기(22)의 응답 시간은 학습 모듈(60)의 이득 값들(예를 들어, 비례 이득 값, 적분 이득 값, 및/또는 미분 이득 값)에 기초할 수 있다.

[0045] 에너지 프로파일 생성기 모듈(68)은 가열기(22)의 이득 값, 목표 온도, 교정 크기, 및 응답 시간에 기초하여 에너지 프로파일(72)을 생성하도록 구성된다. 일례로, 가열기(22)의 응답 시간이 가열기(22)를 제어하기에 충분하다고 결정되면(즉, 응답 시간이 임계값 미만인 경우), 에너지 프로파일 생성 모듈(68)은 해당하는 목표 온도에 대한 에너지 프로파일(72)을 생성하고, 에너지 프로파일(72)은 교정 크기 및 이득 값을 특정 목표 온도에 상관짓는다. 또한, 가열기(22)의 응답 시간이 가열기(22)를 제어하기에 충분한 것으로 결정되면, 에너지 프로파일 생성기 모듈(68)은, 또한, 정상 상태 크기를 특정 목표 온도에 상관지을 수 있으며, 여기서 정상 상태 크기는 이득 값에 의해 표시되는 바와 같이 자연 시상수에 기초한다.

- [0046] 다른 일례로, 가열기(22)의 응답 시간이 가열기(22)를 제어하기에 불충분하다고 결정되면(즉, 응답 시간이 임계 값보다 큰 경우), 파라미터 조정 모듈(69)은 가열기(22)의 응답 시간을 감소시키도록 교정 크기와 이득 값 중 적어도 하나를 조정할 수 있다. 일부 형태에서, 파라미터 조정 모듈(69)은 지글러-니콜스 튜닝 방법에 기초하여 이득 값을 선택적으로 조정할 수 있다. 일부 형태에서, 파라미터 조정 모듈(69)은 가열기(22)의 응답 시간을 감소시키도록 교정 크기를 증가시킬 수 있다. 파라미터 조정 모듈(69)은, 가열기(22)의 응답 시간이 가열기(22)를 제어하기에 충분하다고 결정될 때까지 교정 크기와 이득 값 중 적어도 하나를 반복적으로 조정할 수 있다.
- [0047] 일 형태에서, 본 개시내용의 학습 모듈(60)은 반드시 사용자 입력을 필요로 하지 않을 수 있는 반복적인 동적 상태에 대한 가열기 시스템(20)의 응답을 개선할 수 있다. 예를 들어, 학습 모듈(60)은, 기계 학습 루틴을 수행하여 동적 상태의 발생 및 심각도를 예측할 수 있고 제어 모드 및 제어 설정을 확인하여 제어 시스템 응답을 개선할 수 있다. 이에 따라, 제어 시스템(30)은 열적 시스템(10)의 구성요소가 점진적으로 변화에 따라 성능을 개선 및/또는 유지할 수 있다. 또한, 제어 시스템(30)에 의해 수집되고 결정된 데이터는 추가 분석을 위해 사용자에게 제공될 수 있다.
- [0048] 도 4를 참조해 보면, 동작 제어 모드 동안 가열기 시스템(20)의 온도를 제어하기 위한 예시적인 루틴(400)을 예시하는 흐름도가 도시되어 있다. 참조번호(404)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 목표 온도를 나타내는 설정점 변수를 얻는다. 일 형태에서, 설정점 변수는 수행될 제어 공정에 제공된다. 다른 일 형태에서, 설정점 변수는 사용자에게 의해 수동으로 입력된다. 참조번호(408)에서, 제어 시스템(30)은 설정점 변수에 기초하여 가열기(22)에 대한 에너지 프로파일(72)을 식별한다. 설정점 변수에 더하여, 에너지 프로파일(72)은 제어 공정 및 가열기(22)의 현재 온도에 기초하여 선택될 수 있다. 참조번호(412)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 성능 특성(들)을 나타내는 공정 변수를 얻는다. 참조번호(416)에서, 제어 시스템(30)은 에너지 프로파일(72)과 성능 특성 중 적어도 하나에 기초하여 가열기(22)에 전기 에너지를 제공한다.
- [0049] 도 5를 참조해 보면, 동작 제어 모드 동안 가열기 시스템(20)의 온도를 제어하기 위한 다른 예시적인 루틴(500)을 예시하는 흐름도가 도시되어 있다. 참조번호(504)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 목표 온도를 나타내는 설정점 변수가 가열기(22)의 온도보다 높은지를 결정한다. 그러하다면(if so), 루틴(500)은 참조번호(508)로 진행한다. 그렇지 않은 경우에, 가열기(22)의 목표 온도가 가열기(22)의 온도보다 낮으면, 루틴(500)은 참조번호(524)로 진행한다.
- [0050] 참조번호(508)에서, 제어 시스템(30)은 목표 온도에 대한 에너지 프로파일(72)에 의해 제공되는 전기 에너지 및/또는 전력의 정의된 크기를 갖는 전기 에너지를 제공한다. 참조번호(512)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 온도를 공정 변수로서 얻는다. 참조번호(516)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 온도가 에너지 프로파일(72)에 의해 표시된 온도 접근 대역 내에 있는지를 결정한다. 그러하다면, 루틴(500)은 참조번호(520)로 진행한다. 그렇지 않은 경우에, 가열기(22)의 온도가 온도 접근 대역 내에 있지 않으면, 루틴(500)은 참조번호(508)로 진행한다. 참조번호(520)에서, 제어 시스템(30)은 전력의 크기를 에너지 프로파일(72)에 의해 표시된 전력의 정상 상태 크기로 감소시킨 다음 참조번호(540)로 진행한다.
- [0051] 참조번호(524)에서 그리고 가열기(22)의 목표 온도가 참조번호(508)에서 가열기(22)의 온도보다 낮음을 나타내는 설정값 변수에 응답하여, 제어 시스템(30)은 가열기(22)에 전기 에너지를 제공하는 것을 중단한다. 참조번호(528)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 온도를 공정 변수로서 얻는다. 참조번호(532)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 온도가 에너지 프로파일(72)에 의해 표시된 바와 같이 온도 접근 대역 내에 있는지를 결정한다. 그러하다면, 루틴(500)은 참조번호(536)로 진행한다. 그렇지 않은 경우에, 가열기(22)의 온도가 온도 접근 대역 내에 있지 않으면, 루틴(500)은 참조번호(528)로 진행한다. 참조번호(536)에서, 제어 시스템(30)은, 전력의 크기를 에너지 프로파일(72)에 의해 표시된 바와 같이 전력의 정상 상태 크기로 증가시키고(예를 들어, 전력의 크기는 비례 적분 제어 및/또는 자연 시상수에 기초하여 0에서 정상 상태 전력으로 증가되고) 이어서 참조번호(540)로 진행한다.
- [0052] 참조번호(540)에서, 제어 시스템(30)은 위에서 제공된 바와 같이 목표 온도에서 가열기의 온도를 제어하기 위해 펄스 온도 제어를 수행한다. 참조번호(544)에서, 제어 시스템(30)은 새로운 목표 온도가 이용가능한지를 결정한다. 그러하다면, 루틴(500)은 참조번호(504)로 진행한다. 그렇지 않으면, 루틴(500)은 새로운 목표 온도가 이용가능할 때까지 참조번호(544)에서 유지된다.
- [0053] 도 6을 참조해 보면, 에너지 프로파일 학습 모드 동안 제어 시스템(30)에 의해 실행되는 학습 루틴(600)의 흐름도가 도시되어 있다. 참조번호(604)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 목표 온도를 나타내는 설정점 변수를 얻는다. 참조번호(606)에서, 제어 시스템(30)은 이득 값들의 초기 세트 및 특정 목표 온도에 대한 교정 크기를

정의한다. 참조번호(608)에서, 제어 시스템(30)은 교정 크기를 갖는 전기 에너지를 가열기(22)에 제공한다. 참조번호(612)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 온도를 공정 변수로서 얻는다. 참조번호(616)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 온도가 목표 온도와 동일한지를 결정한다. 그러하다면, 루틴(600)은 참조번호(620)으로 진행한다. 가열기(22)의 온도가 참조번호(616)에서 목표 온도와 같지 않다면, 루틴(600)은 참조번호(608)로 진행한다.

[0054] 참조번호(620)에서, 제어 시스템(30)은 가열기(22)의 응답 시간을 결정한다. 참조번호(624)에서, 제어 시스템(30)은 응답 시간이 임계 응답 시간 미만인지를 결정한다. 그러하다면, 루틴(600)은, 제어 시스템(30)이 이득 값 및 전기 에너지의 크기에 기초하여 특정 목표 온도에 대한 에너지 프로파일(72)을 생성하는 참조번호(632)로 진행한다. 가열기(22)의 응답 시간이 참조번호(624)에서 임계 응답 시간보다 길면, 루틴(600)은 참조번호(628)로 진행하고, 여기서 제어 시스템(30)은 이득 값들 중 적어도 하나를 (예를 들어, 지글러-니콜스 튜닝 방법을 사용하여) 조정하고 교정 크기를 조정한 다음 참조번호(608)로 진행한다.

[0055] 루틴(400, 500 및 600)은 예시적인 제어 루틴이고, 다른 적절한 제어 루틴이 본 개시내용의 제어 시스템의 동작을 수행하는 데 사용될 수 있다는 점을 쉽게 이해해야 한다.

[0056] 본원에서 달리 명시하지 않는 한, 기계적/열적 속성, 조성 백분율, 치수 및/또는 공차, 또는 기타 특성을 나타내는 모든 수치는 본 개시내용의 범위를 설명할 때 "약" 또는 "대략"이라는 단어에 의해 수정되는 바와 같이 것으로 이해되어야 한다. 이러한 수정은 산업 관행, 재료, 제조 및 조립 공차, 테스트 능력을 포함한 다양한 이유로 바람직하다.

[0057] 요소들 간의 공간적 및 기능적 관계는, "연결된", "계합된", "결합된", "인접하는", "옆에", "위에", "상부에", "아래에", 및 "배치된"을 포함하는 다양한 용어를 사용하여 기술된다. "직접적"이라고 명시적으로 기재하지 않는 한, 본원에서 제1 요소와 제2 요소 간의 관계를 기술할 때, 그 관계는, 제1 요소와 제2 요소 사이에 다른 개재 요소가 존재하지 않는 직접적인 관계일 수 있고, 또한, 제1 요소와 제2 요소 사이에 하나 이상의 개재 요소가 (공간적으로 또는 기능적으로) 존재하는 간접적 관계일 수 있다. 본원에서 사용되는 바와 같이, A, B, 및 C 중 적어도 하나라는 어구는, 비배타적 논리 OR를 사용하여 논리(A OR B OR C)를 의미하는 것으로 해석되어야 하며, "A 중 적어도 하나, B 중 적어도 하나, 및 C 중 적어도 하나"를 의미하는 것으로 해석되어서는 안 된다.

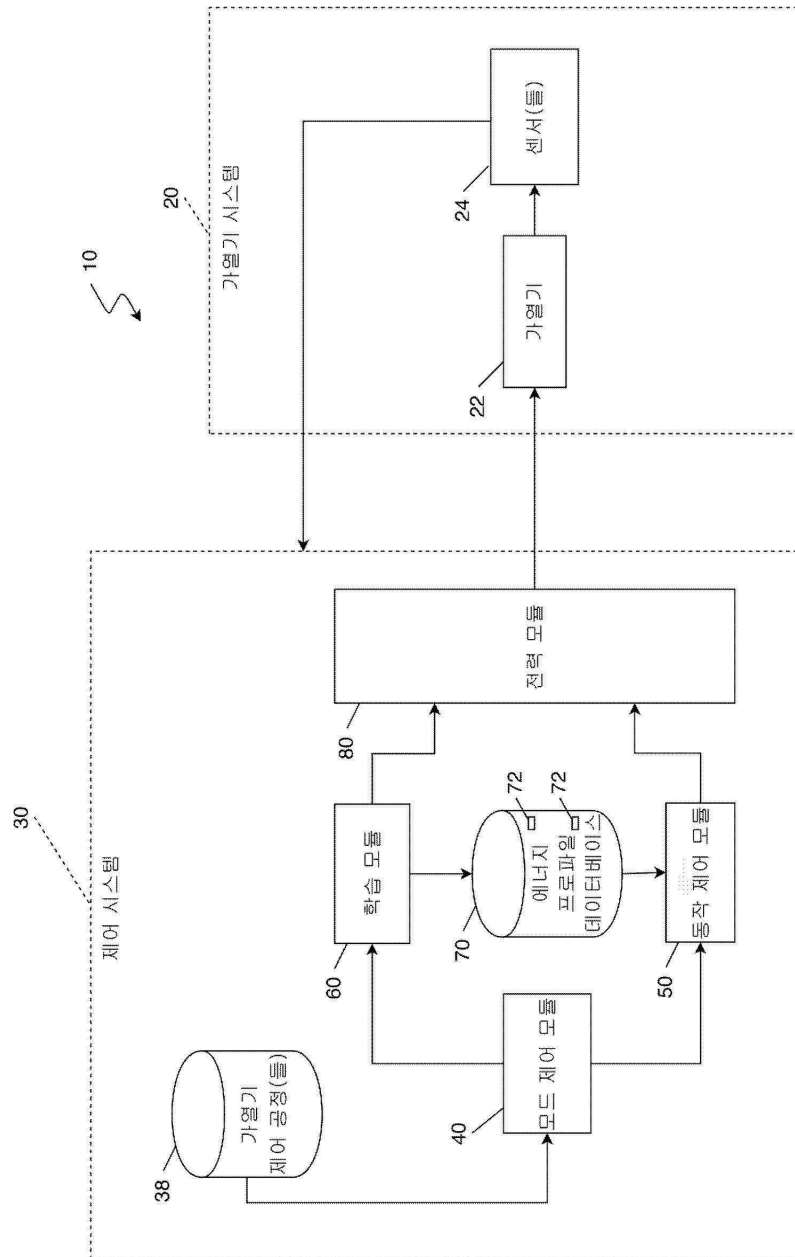
[0058] 본원에서, "모듈"이라는 용어는 "회로"라는 용어로 대체될 수 있다. "모듈"이라는 용어는, 주문형 집적 회로(Application Specific Integrated Circuit; ASIC); 디지털, 아날로그, 또는 혼합된 아날로그/디지털 이산 회로; 디지털, 아날로그, 또는 혼합된 아날로그/디지털 집적 회로; 조합 논리 회로; 필드 프로그래머블 게이트 어레이(field programmable gate array; FPGA); 코드를 실행하는 프로세서 회로(공유형, 전용형, 또는 그룹); 프로세서 회로에 의해 실행되는 코드를 저장하는 메모리 회로(공유형, 전용형, 또는 그룹); 설명된 기능을 제공하는 다른 적절한 하드웨어 구성요소; 또는 시스템-온-칩에서와 같이 상술한 예들 중 일부 또는 전부의 조합을 가리킬 수 있거나, 이의 일부일 수 있거나, 이를 포함할 수 있다.

[0059] 코드라는 용어는, 소프트웨어, 펌웨어, 및/또는 마이크로코드를 포함할 수 있고, 프로그램, 루틴, 함수, 클래스, 데이터 구조, 및/또는 객체를 지칭할 수 있다. 메모리 회로라는 용어는 컴퓨터-판독가능 매체라는 용어의 하위 집합이다. 컴퓨터-판독가능 매체라는 용어는, 본원에서 사용되는 바와 같이, (반송파와 같은) 매체를 통해 전파되는 일시적인 전기 신호 또는 전자기 신호를 포함하지 않으며, 따라서 컴퓨터-판독가능 매체라는 용어는 유형적이고 비일시적인 것으로 간주될 수 있다.

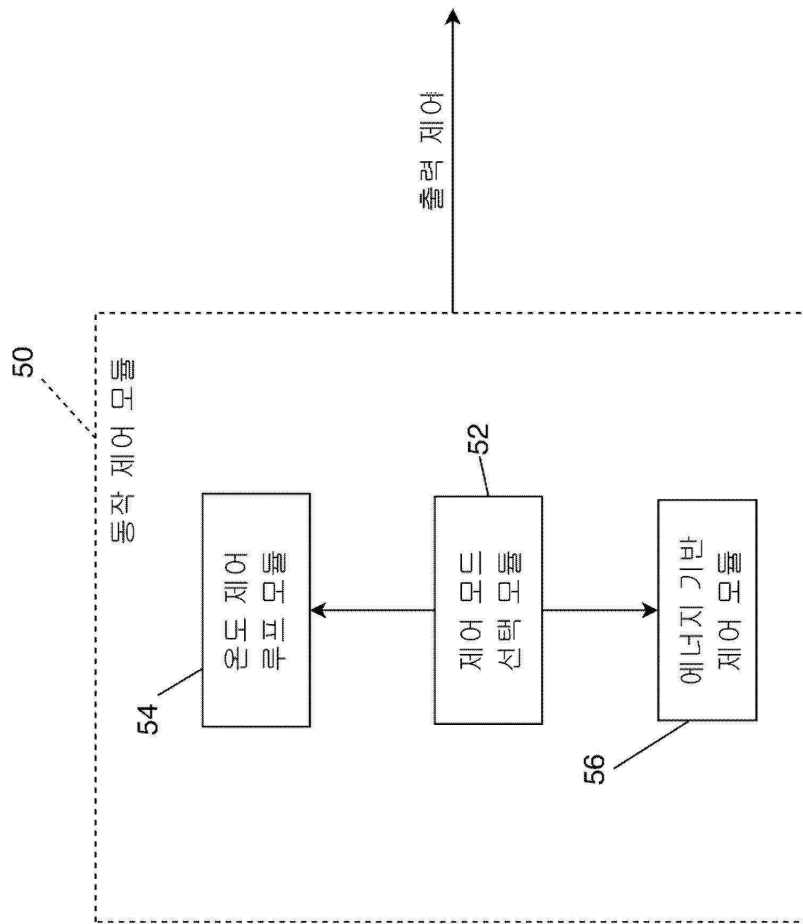
[0060] 본 개시내용의 설명은 사실상 단지 예시적인 것이며, 따라서 개시내용의 요지를 벗어나지 않는 변형예는 본 개시내용의 범위 내에 있는 것으로 의도된다. 이러한 변형예는 본 개시내용의 사상 및 범위에서 벗어나는 것으로 간주되어서는 안 된다.

도면

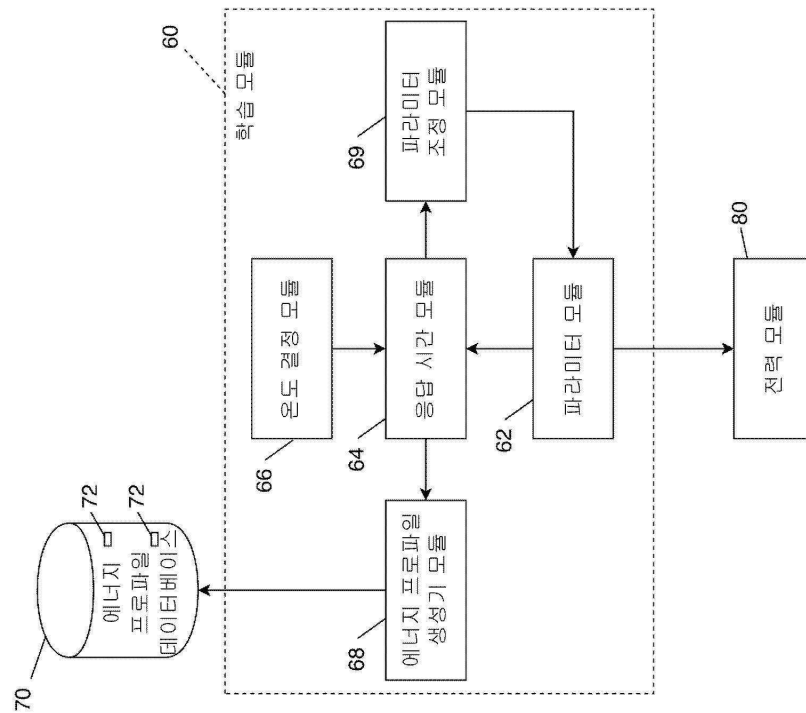
도면1



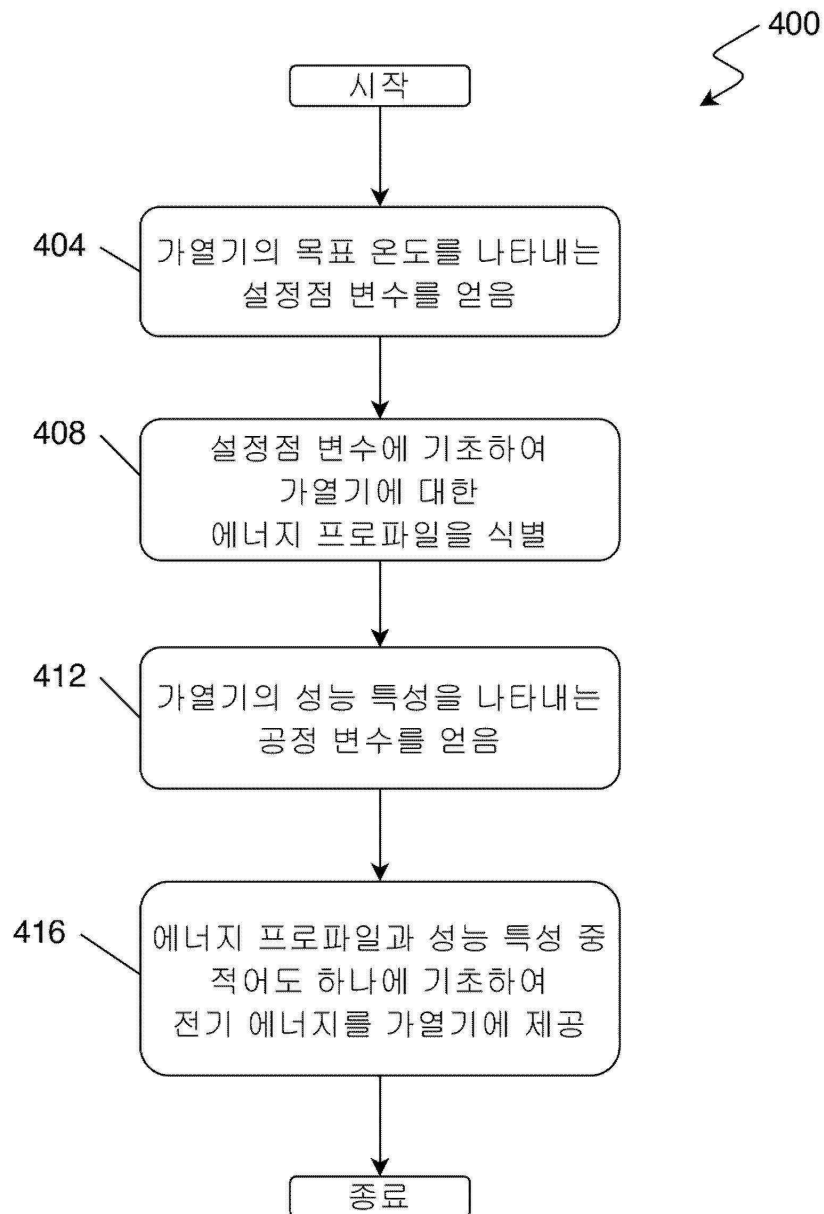
도면2



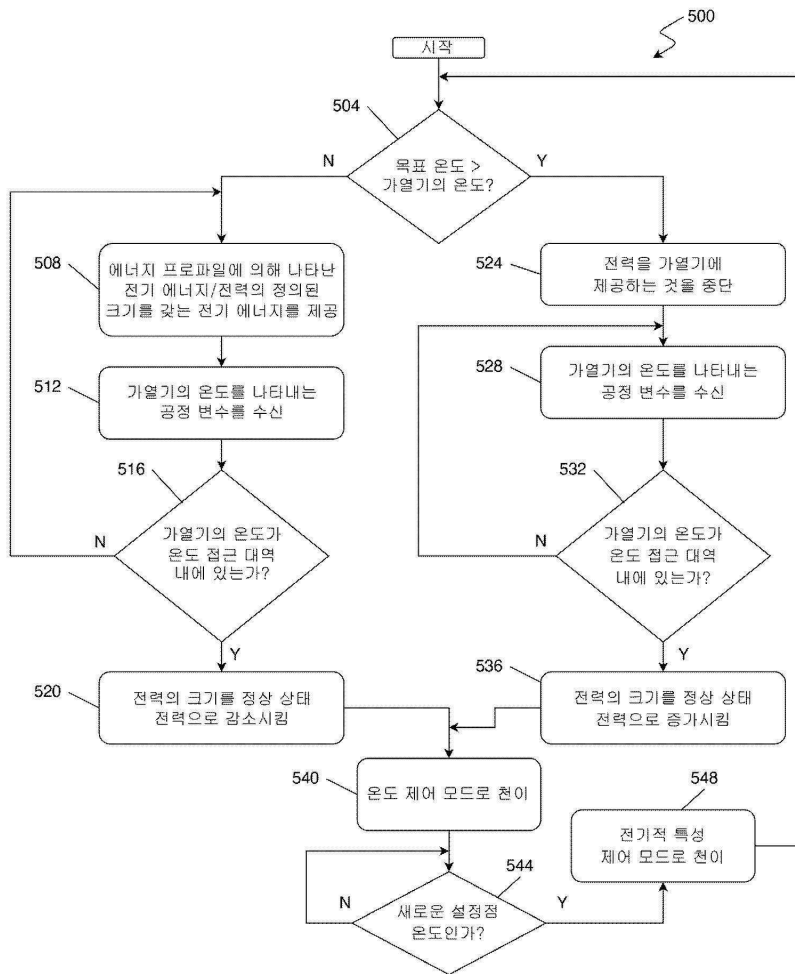
도면3



도면4



도면5



도면6

