



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0098337
(43) 공개일자 2018년09월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C21D 11/00 (2014.01) *C21D 1/26* (2006.01)

(71) 출원인
제이에프이 스틸 가부시키가이샤
일본 도쿄도 지요다구 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고

(52) CPC특허분류
C21D 11/00 (2013.01)
C21D 1/26 (2013.01)

(72) 발명자
오가사하라 도모요시
일본 도쿄도 지요다구 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 지테키자이
산부 나이

(21) 출원번호 10-2018-7021198
(22) 출원일자(국제) 2016년11월02일
심사청구일자 2018년07월23일
(85) 번역문제출일자 2018년07월23일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2016/082552
(87) 국제공개번호 WO 2017/130508
국제공개일자 2017년08월03일

(73) 야마다 고키
일본 도쿄도 지요다구 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 지테키자이
산부 나이

(30) 우선권주장
JP-P-2016-014429 2016년01월28일 일본(JP)

(74) 대리인
특허법인코리아나

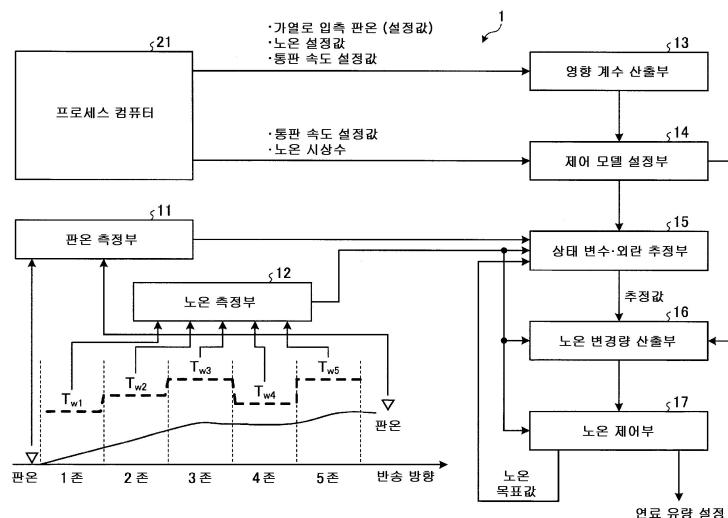
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 강판의 온도 제어 장치 및 온도 제어 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시형태인 강판의 온도 제어 장치 (1) 에서는, 상태 변수 · 외란 추정부 (15) 가, 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 동시에 추정하고, 노온 변경량 산출부 (16) 가, 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 사용하여, 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 목표값과 실적값의 편차의 제곱합이 최소가 되도록, 제약 조건하에서 각 가열존의 노온 변경량을 산출하고, 노온 제어부 (17) 가, 산출된 노온 변경량을 달성할 수 있도록 각 가열존에 있어서의 사용 연료 유량을 제어한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
C21D 9/56 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

강판의 반송 방향을 따라 배치된 복수의 가열존을 갖는 가열로의 입측 및 출측에 있어서의 강판의 온도를 측정하는 판온 측정부와,

각 가열존의 노온을 측정하는 노온 측정부와,

상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도의 설정값과 각 가열존의 노온 및 통판 속도의 설정값을 입력으로 하는 상기 가열로 내에 있어서의 강판의 온도를 계산 가능한 승온 모델식을 사용하여, 상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도 변화에 따른 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수와 각 가열존의 노온의 변화에 따른 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수를 산출하는 영향 계수 산출부와,

상기 영향 계수 산출부에 의해 산출된 영향 계수, 각 가열존의 노온 변경의 영향이 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 나타날 때까지의 강판의 이송 시간, 각 가열존의 노온 변경 지령값이 출력되고 나서 노온이 실제로 변화될 때까지의 시상수, 및 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 인가되는 미지의 온도 외란을 나타내는 변수를 사용하여, 노온 변경 지령값을 입력, 각 가열존의 노온 및 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도를 출력으로 하는 제어 모델을 설정하는 제어 모델 설정부와,

상기 판온 측정부에 의해 측정된 상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도의 실적값과 설정값의 편차, 상기 판온 측정부에 의해 측정된 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 실적값과 설정값의 편차, 상기 노온 측정부에 의해 측정된 각 가열존의 노온의 실적값과 초기 설정값의 편차를 입력으로 하여, 상기 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 동시에 추정하는 상태 변수·외란 추정부와,

상기 상태 변수·외란 추정부에 의해 추정된 상기 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 사용하여, 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 목표값과 실적값의 편차의 제곱합이 최소가 되도록, 제약 조건하에서 각 가열존의 노온 변경량을 산출하는 노온 변경량 산출부와,

상기 노온 변경량 산출부에 의해 산출된 노온 변경량을 달성할 수 있도록 각 가열존에 있어서의 사용 연료 유량을 제어하는 노온 제어부를 구비하는 것을 특징으로 하는 강판의 온도 제어 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 노온 변경량 산출부는, 상기 제약 조건으로서, 적어도 노온의 상하한값에 관한 제약 조건, 단위 시간당 노온 변경량에 관한 제약 조건, 연료 유량의 상하한값에 관한 제약 조건, 및 단위 시간당 연료 유량 변경량에 관한 조건 중 어느 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 강판의 온도 제어 장치.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 영향 계수 산출부, 상기 제어 모델 설정부, 상기 상태 변수·외란 추정부, 및 상기 노온 변경량 산출부는, 실조업상에서 상정할 수 있는 복수의 통판 속도의 설정값마다 처리를 실행하고, 상기 노온 제어부는, 실적의 통판 속도에 가까운 통판 속도의 설정값으로부터 구해진 노온 변경량을 달성할 수 있도록 각 가열존에 있어서의 사용 연료 유량을 제어하는 것을 특징으로 하는 강판의 온도 제어 장치.

청구항 4

강판의 반송 방향을 따라 배치된 복수의 가열존을 갖는 가열로의 입측 및 출측에 있어서의 강판의 온도를 측정하는 판온 측정 스텝과,

각 가열존의 노온을 측정하는 노온 측정 스텝과,

상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도의 설정값과 각 가열존의 노온 및 통판 속도의 설정값을 입력으로 하는 상기 가열로 내에 있어서의 강판의 온도를 계산 가능한 승온 모델식을 사용하여, 상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도 변화에 따른 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수와 각 가열존의 노온의 변화에 따른 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수를 산출하는 영향 계수 산출 스텝과,

상기 영향 계수 산출 스텝에 있어서 산출된 영향 계수, 각 가열존의 노온 변경의 영향이 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 나타날 때까지의 강판의 이송 시간, 각 가열존의 노온 변경 지령값이 출력되고 나서 노온이 실제로 변화될 때까지의 시상수, 및 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 인가되는 미지의 온도 외란을 나타내는 변수를 사용하여, 노온 변경 지령값을 입력, 각 가열존의 노온 및 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도를 출력으로 하는 제어 모델을 설정하는 제어 모델 설정 스텝과,

상기 판온 측정 스텝에 있어서 측정된 상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도의 실적값과 설정값의 편차, 상기 판온 측정 스텝에 있어서 측정된 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 실적값과 설정값의 편차, 상기 노온 측정 스텝에 있어서 측정된 각 가열존의 노온의 실적값과 초기 설정값의 편차를 입력으로 하여, 상기 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 동시에 추정하는 상태 변수·외란 추정 스텝과,

상기 상태 변수·외란 추정 스텝에 있어서 추정된 상기 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 사용하여, 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 목표값과 실적값의 편차의 제곱합이 최소가 되도록, 제약 조건하에서 각 가열존의 노온 변경량을 산출하는 노온 변경량 산출 스텝과,

상기 노온 변경량 산출 스텝에 있어서 산출된 노온 변경량을 달성할 수 있도록 각 가열존에 있어서의 사용 연료 유량을 제어하는 노온 제어 스텝을 포함하는 것을 특징으로 하는 강판의 온도 제어 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 강판의 온도 제어 장치 및 온도 제어 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 강판의 연속 어닐링 설비는, 가열로, 균열로, 및 냉각로 등에 의해 구성되며, 설비의 입측에서는, 판 두께나 판 폭 등의 사이즈나 규격, 어닐링 조건이 상이한 선행재의 미단부(尾端部)와 후행재의 선단부를 용접하여 하나의 강판으로서 연속적으로 처리가 실시된다. 여기서, 가열로에서는 용접부의 전후에서 각 가열존의 노온 설정값을 전환함으로써, 각각의 어닐링 조건에 적합하도록 가열 처리하는 것이 목표이다. 그리고 최종적으로, 설비의 출측에서는, 강판은 코일 단위로 절단되어 출하되거나, 다음 공정으로 반송된다.

[0003] 가열로에서는, 라디언트 투브를 사용한 복사 가열에 의해 강판을 승온시키는 것이 일반적이지만, 용접부를 경계로 하여 강판의 사이즈 등이 상이한 상황에서는, 그 전후에서 가열 조건이 동일해지기 때문에 강판의 온도에 변동이 발생한다. 또, 라디언트 투브의 제어에 필요로 하는 시상수(time constant)가 크기 때문에, 통상적인 피드백 제어에서는, 응답이 느리고, 강판의 온도의 변동 기간이 길어진다. 이 때문에, 예를 들어 특허문현 1, 2에 기재되어 있는 바와 같이, 강판의 사이즈나 규격의 변경 등의 정보에 기초하여 피드포워드 제어를 실시하고, 노온이나 연료 유량을 단기간에 크게 변경함으로써 응답을 빠르게 하는 것이 실시되고 있다.

[0004] 구체적으로는, 특허문현 1에는, 사전에 강판의 방사율을 적외선 연속 측정해 두고, 버너 바로 아래에 도달하는 타이밍에서 방사율 변동으로부터 예측되는 강판의 온도 변동을 없애도록 연료 유량을 연속적으로 설정하는 방법이 기재되어 있다. 또, 특허문현 2에는, 강판의 온도, 판 두께, 라인 속도, 및 연료 유량의 동적인 모델을 사용하여, 강판의 온도의 목표값에 최소한의 어긋남으로 추종하는 강판의 온도 및 연료 유량의 시계열 데이터를 사전에 산출하여 연료 유량을 제어하는 방법이 기재되어 있다.

[0005] 이와 같은 피드포워드 제어는, 사전에 얻어진 정보에 기초하여 모델에 따라서 노온이나 연료 유량을 설정하지만, 강판의 온도의 측정값에 기초한 제어는 아니기 때문에, 모델 오차에서 기인하여 제어 편차가 발생한다. 이 때문에, 그 제어 계인은 모델 오차에 따라 설정할 필요가 있다. 이와 같은 배경에서, 특허문현 3에는, 강판의 온도의 기준값을 향해 추이하는 강판의 판온(板溫)의 응답 궤도를 어느 파라미터를 사용하여 지정하고, 그것을 달성할 수 있도록 판 두께나 판 폭 등의 강판의 시방서에 관련되는 변수를 사용한 동적인

모델에 기초하여 노온을 결정하는 방법이 기재되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 일본 특허 공보 제5510787호

(특허문헌 0002) 일본 공개특허공보 소64-28329호

(특허문헌 0003) 일본 공개특허공보 평3-236422호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 특허문헌 1, 2에 기재된 방법은, 강판의 온도의 응답성을 향상시킨다는 의미에서는 유효하게 동작한다고 생각된다. 그러나, 특허문헌 1, 2에 기재된 방법에 의하면, 어느 측정 가능한 외란 요소가 들어갔을 때에 강판의 온도의 목표값을 달성하는 가열로의 노온이나 연료 유량을 오차가 있는 모델을 사용하여 산출하기 때문에, 외란 요소가 없는 정상(定常) 상태로 제어 편차(정상 편차)가 나타난다. 한편, 특허문헌 3에 기재된 방법은, 가열로의 출측에서의 강판의 온도의 실적값을 일정 주기로 수집하고, 축차적으로 강판의 온도의 응답 궤도를 설정해 가지고, 판 두께나 판 폭 등의 선행재와 후행재의 차이를 모델상에서 고려하여 장래의 강판의 온도를 예측하면서 적절한 노온 설정값을 계산해 감으로써, 정상 편차 없이 응답성이 좋은 제어를 실현하는 것이다.

그러나, 특허문헌 3에 기재된 방법에서는, 어느 타이밍에서 가열로의 입측에 있어서 강판의 장입 온도에 변동이 있는 경우, 모델 오차가 커진다. 또, 가열로의 출측에서의 강판의 온도의 측정값에만 기초하는 피드백 제어에서는 응답성이 열화된다.

[0008] 이상으로부터, 피드포워드 제어를 사용한 응답성의 향상과 피드백 제어를 사용한 정상 편차의 제거라는 2개의 제어 지표를 동시에 만족하는 강판의 온도 제어 방법이 요망되고 있었다. 이것들은, 개별적으로 설계하는 것도 가능하지만, 피드포워드 제어의 조작량은, 적절히 설계나 조정이 되어 있지 않은 경우에는 피드백 제어에 있어서 외란 요소가 되기 때문에, 양자의 비간섭 설계가 과제가 된다.

[0009] 본 발명은, 상기 과제를 감안하여 이루어진 것으로서, 그 목적은, 양호한 응답성 및 추종성으로 가열로에 있어서의 강판의 온도를 제어 가능한 강판의 온도 제어 장치 및 온도 제어 방법을 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명에 관련된 강판의 온도 제어 장치는, 강판의 반송 방향을 따라 배치된 복수의 가열존을 갖는 가열로의 입측 및 출측에 있어서의 강판의 온도를 측정하는 판온 측정부와, 각 가열존의 노온을 측정하는 노온 측정부와, 상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도의 설정값과 각 가열존의 노온 및 통판 속도의 설정값을 입력으로 하는 상기 가열로 내에 있어서의 강판의 온도를 계산 가능한 승온 모델식을 사용하여, 상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도 변화에 따른 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수와 각 가열존의 노온의 변화에 따른 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수를 산출하는 영향 계수 산출부와, 상기 영향 계수 산출부에 의해 산출된 영향 계수, 각 가열존의 노온 변경의 영향이 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 나타날 때까지의 강판의 이송 시간, 각 가열존의 노온 변경 지령값이 출력되고 나서 노온이 실제로 변화될 때까지의 시상수, 및 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 인가되는 미지의 온도 외란을 나타내는 변수를 사용하여, 노온 변경 지령값을 입력, 각 가열존의 노온 및 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도를 출력으로 하는 제어 모델을 설정하는 제어 모델 설정부와, 상기 판온 측정부에 의해 측정된 상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도의 실적값과 설정값의 편차, 상기 판온 측정부에 의해 측정된 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 실적값과 설정값의 편차, 상기 노온 측정부에 의해 측정된 각 가열존의 노온의 실적값과 초기 설정값의 편차를 입력으로 하여, 상기 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 동시에 추정하는 상태 변수·외란 추정부와, 상기 상태 변수·외란 추정부에 의해 추정된 상기 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 사용하여, 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 목표값과 실적값의 편차의 제곱합이 최소가 되도록, 제약 조건하에서 각 가열존의 노온 변경량을 산출하는 노온 변경량 산출부와, 상기 노온 변경량 산출부에 의해 산출된 노온 변경량을 달성할 수 있도록 각 가열존에

있어서의 사용 연료 유량을 제어하는 노온 제어부를 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 본 발명에 관련된 강판의 온도 제어 장치는, 상기 발명에 있어서, 상기 노온 변경량 산출부는, 상기 제약 조건으로서, 적어도 노온의 상하한값에 관한 제약 조건, 단위 시간당 노온 변경량에 관한 제약 조건, 연료 유량의 상하한값에 관한 제약 조건, 및 단위 시간당 연료 유량 변경량에 관한 조건 중 어느 것을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 본 발명에 관련된 강판의 온도 제어 장치는, 상기 발명에 있어서, 상기 영향 계수 산출부, 상기 제어 모델 설정부, 상기 상태 변수·외란 추정부, 및 상기 노온 변경량 산출부는, 실조업상에서 상정할 수 있는 복수의 통판 속도의 설정값마다 처리를 실행하고, 상기 노온 제어부는, 실적의 통판 속도에 가까운 통판 속도의 설정값으로부터 구해진 노온 변경량을 달성할 수 있도록 각 가열존에 있어서의 사용 연료 유량을 제어하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 본 발명에 관련된 강판의 온도 제어 방법은, 강판의 반송 방향을 따라 배치된 복수의 가열존을 갖는 가열로의 입측 및 출측에 있어서의 강판의 온도를 측정하는 판온 측정 스텝과, 각 가열존의 노온을 측정하는 노온 측정 스텝과, 상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도의 설정값과 각 가열존의 노온 및 통판 속도의 설정값을 입력으로 하는 상기 가열로 내에 있어서의 강판의 온도를 계산 가능한 승온 모델식을 사용하여, 상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도 변화에 따른 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수를 산출하는 영향 계수 산출 스텝과, 상기 영향 계수 산출 스텝에 있어서 산출된 영향 계수, 각 가열존의 노온 변경의 영향이 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 나타날 때까지의 강판의 이송 시간, 각 가열존의 노온 변경 지령값이 출력되고 나서 노온이 실제로 변화될 때까지의 시상수, 및 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 인가되는 미지의 온도 외란을 나타내는 변수를 사용하여, 노온 변경 지령값을 입력, 각 가열존의 노온 및 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도를 출력으로 하는 제어 모델을 설정하는 제어 모델 설정 스텝과, 상기 판온 측정 스텝에 있어서 측정된 상기 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도의 실적값과 설정값의 편차, 상기 판온 측정 스텝에 있어서 측정된 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 실적값과 설정값의 편차, 상기 노온 측정 스텝에 있어서 측정된 각 가열존의 노온의 실적값과 초기 설정값의 편차를 입력으로 하여, 상기 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 동시에 추정하는 상태 변수·외란 추정 스텝과, 상기 상태 변수·외란 추정 스텝에 있어서 추정된 상기 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 사용하여, 상기 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 목표값과 실적값의 편차의 제곱합이 최소가 되도록, 제약 조건하에서 각 가열존의 노온 변경량을 산출하는 노온 변경량 산출 스텝과, 상기 노온 변경량 산출 스텝에 있어서 산출된 노온 변경량을 달성할 수 있도록 각 가열존에 있어서의 사용 연료 유량을 제어하는 노온 제어 스텝을 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0014] 본 발명에 관련된 강판의 온도 제어 장치 및 온도 제어 방법에 의하면, 양호한 응답성 및 추종성으로 가열로에 있어서의 강판의 온도를 제어할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1 은, 본 발명의 일 실시형태인 강판의 온도 제어 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

도 2 는, 종래의 강판의 온도 제어 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

도 3 은, 가열로의 입측 및 출측에 있어서의 강판의 온도에 대해 부여하는 외란을 나타내는 도면이다.

도 4 는, 본 발명법에 있어서의 각 가열존의 노온 및 가열로의 출측에서의 강판의 온도의 응답을 나타내는 도면이다.

도 5 는, 종래법에 있어서의 각 가열존의 노온 및 가열로의 출측에서의 강판의 온도의 응답을 나타내는 도면이다.

도 6 은, 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 대한 외란을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하, 도면을 참조하여, 본 발명의 일 실시형태인 강판의 온도 제어 장치의 구성 및 그 동작에 대해 설명한다.

[0017] 도 1 은, 본 발명의 일 실시형태인 강판의 온도 제어 장치의 구성을 나타내는 블록도이다. 도 1 에 나타내는 바와 같이, 본 발명의 일 실시형태인 강판의 온도 제어 장치 (1) 는, 강판의 반송 방향을 따라 배치된 n (≥ 1) 개 (본 실시형태에서는 5 개) 의 가열존을 구비하는 가열로에 있어서의 강판의 온도를 제어하는 장치이다.

[0018] 본 발명의 일 실시형태인 강판의 온도 제어 장치 (1) 는, 판온 측정부 (11), 노온 측정부 (12), 영향 계수 산출부 (13), 제어 모델 설정부 (14), 상태 변수·외란 추정부 (15), 노온 변경량 산출부 (16), 및 노온 제어부 (17) 를 주된 구성 요소로서 구비하고 있다.

[0019] 판온 측정부 (11) 는, 가열로의 입측 및 출측에 있어서의 강판의 온도 (판온) 를 소정 주기마다 측정하고, 판온을 나타내는 전기 신호를 상태 변수·외란 추정부 (15) 에 출력한다.

[0020] 노온 측정부 (12) 는, 가열로 내의 각 가열존의 온도 (노온) 의 실적값을 소정 주기마다 측정하고, 측정된 각 가열존의 노온을 나타내는 전기 신호를 상태 변수·외란 추정부 (15), 노온 변경량 산출부 (16), 및 노온 제어부 (17) 에 출력한다.

[0021] 영향 계수 산출부 (13) 는, 강판의 어닐링 지령을 받는 것에 따라 프로세스 컴퓨터 (21) 로부터 출력되는 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도의 설정값과 각 가열존의 노온 설정값 및 통관 속도 설정값을 취득한다. 영향 계수 산출부 (13) 는, 프로세스 컴퓨터 (21) 로부터 취득한 정보를 사용하여, 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도 변화에 따른 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수, 및 각 가열존에 있어서의 강판의 온도 변화에 따른 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수를 산출한다. 그리고, 영향 계수 산출부 (13) 는, 이들 영향 계수를 나타내는 전기 신호를 제어 모델 설정부 (14) 에 출력한다. 여기서, 이들 영향 계수의 산출 방법에 대해 설명한다.

[0022] 이제, 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도의 설정값을 T_{in} , 통관 속도의 설정값을 V_s , 각 가열존의 노온 설정값을 T_{wi} ($i = 1 \sim 5$) 로 했을 때의 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 (T_s) 를 $T_s = f(T_{in}, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5})$ 로 나타낸다. 여기서, 함수 (f) 는, 이하에 나타내는 수학식 (1) 에 기초하는 가열로에 있어서의 강판의 승온 모델식이다. 수치 계산상, 수학식 (1) 은, 적당한 시간 스텝 (Δt) 으로 이산화 (離散化) 하여 차분 계산하게 된다. 수학식 (1) 중, ρ 는 강판의 비열 [kcal/kg/K], C 는 강판의 비중 [kg/m^3], h 는 강판의 판 두께 [m], T_s 는 강판의 온도 [$^\circ\text{C}$], T_w 는 노온 [$^\circ\text{C}$], ϕ_{cg} 는 총괄 열전달 계수 [-], σ 는 스텐관 볼쓰만 상수 ($= 1.3565e^{-11} [\text{kcal/sec/m}^2/\text{K}^4]$), t 는 시간 [sec] 을 나타내고 있다.

수학식 1

$$\rho \cdot C \cdot h \cdot \frac{\partial T_s(t)}{\partial t} = 2\phi_{cg}\sigma((T_w + 273.15)^4 - (T_s + 273.15)^4) \quad \dots(1)$$

[0023]

[0024] 영향 계수 산출부 (13) 는, 프로세스 컴퓨터 (21) 로부터 취득한 정보를 사용하고, 이하에 나타내는 수학식 (2) ~ (7) 을 사용하여 영향 계수를 계산한다. 여기서, 수학식 (2) 는, 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도 변화에 따른 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수를 나타내며, 수학식 (2) 중의 d_1 은, 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도 변동량을 나타내는 변수이다. 또, 수학식 (3) ~ (7) 은, 각 가열존에 있어서의 강판의 온도 변화에 따른 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 변화를 나타내는 영향 계수를 나타내고 있다.

수학식 2

$$\frac{\partial T_s}{\partial d_1} \cong \frac{f(T_{in} + \Delta d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5}) - f(T_{in}, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5})}{\Delta d_1} \quad \dots(2)$$

[0025]

수학식 3

$$\frac{\partial T_s}{\partial T_{w_1}} \cong \frac{f(T_{in}, V_s, T_{w_1} + \Delta T, T_{w_2}, T_{w_3}, T_{w_4}, T_{w_5}) - f(T_{in}, V_s, T_{w_1}, T_{w_2}, T_{w_3}, T_{w_4}, T_{w_5})}{\Delta T} \dots (3)$$

[0026]

수학식 4

$$\frac{\partial T_s}{\partial T_{w_2}} \cong \frac{f(T_{in}, V_s, T_{w_1}, T_{w_2} + \Delta T, T_{w_3}, T_{w_4}, T_{w_5}) - f(T_{in}, V_s, T_{w_1}, T_{w_2}, T_{w_3}, T_{w_4}, T_{w_5})}{\Delta T} \dots (4)$$

[0027]

수학식 5

$$\frac{\partial T_s}{\partial T_{w_3}} \cong \frac{f(T_{in}, V_s, T_{w_1}, T_{w_2}, T_{w_3} + \Delta T, T_{w_4}, T_{w_5}) - f(T_{in}, V_s, T_{w_1}, T_{w_2}, T_{w_3}, T_{w_4}, T_{w_5})}{\Delta T} \dots (5)$$

[0028]

수학식 6

$$\frac{\partial T_s}{\partial T_{w_4}} \cong \frac{f(T_{in}, V_s, T_{w_1}, T_{w_2}, T_{w_3}, T_{w_4} + \Delta T, T_{w_5}) - f(T_{in}, V_s, T_{w_1}, T_{w_2}, T_{w_3}, T_{w_4}, T_{w_5})}{\Delta T} \dots (6)$$

[0029]

수학식 7

$$\frac{\partial T_s}{\partial T_{w_5}} \cong \frac{f(T_{in}, V_s, T_{w_1}, T_{w_2}, T_{w_3}, T_{w_4}, T_{w_5} + \Delta T) - f(T_{in}, V_s, T_{w_1}, T_{w_2}, T_{w_3}, T_{w_4}, T_{w_5})}{\Delta T} \dots (7)$$

[0030]

[0031] 제어 모델 설정부 (14) 는, 프로세스 컴퓨터 (21) 로부터 각 가열존의 통관 속도 설정값 및 노온의 시상수를 취득한다. 제어 모델 설정부 (14) 는, 프로세스 컴퓨터 (21) 로부터 취득한 정보를 사용하여, 상태 변수 · 외란 추정부 (15) 및 노온 변경량 산출부 (16) 에서 필요하게 되는 제어 모델식을 계산하고, 계산된 제어 모델식의 파라미터를 나타내는 전기 신호를 상태 변수 · 외란 추정부 (15) 및 노온 변경량 산출부 (16) 에 출력한다. 여기서, 제어 모델식의 계산 방법에 대해 설명한다.

[0032] 이제 i 번째의 가열존의 입측 위치로부터 가열로의 출측 위치까지 강판을 이송하기 위해서 이송 시간 (L_i [s]) (= i 번째의 가열존의 입측 위치로부터 가열로출측까지의 거리/통관 속도 설정값) 이 필요하다고 하면, 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 (T_s) 는, 수학식 (2) ~ (7) 에 나타낸 영향 계수를 사용하여 이하에 나타내는 수학식 (8) 과 같이 나타난다. 여기서, 수학식 (8) 중, ΔT_{wi} 는, 각 가열존의 노온 실적값과 노온 설정값의 차분값이며, 노온 변동량을 나타내고 있다. 또, s 는 라플라스 연산자이다.

수학식 8

$$\left. \begin{aligned} T_s = & \left(\frac{\partial T_s}{\partial T_{w_1}} \Delta T_{w_1} + \frac{\partial T_s}{\partial d_1} d_1 \right) e^{-L_1 s} + \frac{\partial T_s}{\partial T_{w_2}} \Delta T_{w_2} e^{-L_2 s} + \frac{\partial T_s}{\partial T_{w_3}} \Delta T_{w_3} e^{-L_3 s} + \\ & \frac{\partial T_s}{\partial T_{w_4}} \Delta T_{w_4} e^{-L_4 s} + \frac{\partial T_s}{\partial T_{w_5}} \Delta T_{w_5} e^{-L_5 s} \end{aligned} \right\} \dots(8)$$

[0033]

[0034] 또, 노온 지령값으로부터 노온 실적값까지는 피드백 제어계가 구축되어 있고, 노온 제어계는 이하의 수학식 (9)에 나타내는 동특성 (動特性)으로 근사할 수 있는 것으로 한다. 여기서, 수학식 (9) 중, $\Delta T_{w_i}^{\text{ref}}$ 는 각 가열존의 노온 목표값을 나타내고, T_i 는 각 가열존의 노온 지령값으로부터 노온 실적값까지의 시상수이다.

수학식 9

$$\frac{\Delta T_{w_i}}{\Delta T_{w_i}^{\text{ref}}} = \frac{1}{T_i s + 1}, i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad \dots(9)$$

[0035]

[0036] 또, 수학식 (8)에 있어서의 이송 시간 요소 $e^{-L_i s}$ 가, 이하의 수학식 (10)에 나타내는 바와 같이 Pade 근사에 의해 선형화할 수 있다고 한다. 또한, 수학식 (10)은 3 차식으로 했지만, 수학식의 차수는 설계자가 임의로 설정할 수 있다. 그리고, 수학식 (10)을 상태 공간 표현으로 나타내면, 이하에 나타내는 수학식 (11)과 같이 된다. 여기서, 수학식 (11)에 있어서, x_1, x_2, x_3 은 내부의 상태 변수이며, 임의의 실현이 생각되기 때문에 물리적인 의미는 갖지 않는다.

수학식 10

$$\frac{Y}{U} = e^{-L_i s} \approx \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} + d_0 \quad \dots(10)$$

[0037]

수학식 11

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u \\ y = & [b_0 \ b_1 \ b_2] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + d_0 u \end{aligned} \right\} \dots(11)$$

[0038]

[0039] 수학식 (8)과 수학식 (11)을 합하여 생각하면, 각 가열존의 노온 변동량 (ΔT_{w_i}) 및 가열로의 입출력에 있어서의 강판의 온도 변동량 (d_1)으로부터 관온 변동량 (T_{s_i})에 대한 상태 공간 표현은, 이하에 나타내는 수학식 (12), (13)과 같이 나타난다. 여기서, 수학식 (12)는 1 번째의 가열존에 관한 수학식을 나타내고, 수학식 (13)은 2 ~ 5 번째의 가열존에 관한 수학식을 나타내고 있다. 또, T_{s_i} 는, 수학식 (8)식의 제 i 행을 나타내는 관온 변동량을 나타내고 있다.

수학식 12

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_{10} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -a_{10} & -a_{11} & -a_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{10} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \left(\frac{\partial T_s}{\partial T_{w_1}} \Delta T_{w_1} + \frac{\partial T_s}{\partial d_1} d_1 \right) \quad \cdots(12)$$

$$T_{s_i} = [b_{i0} \ b_{i1} \ b_{i2}] \begin{bmatrix} x_{i0} \\ x_{i1} \\ x_{i2} \end{bmatrix} + d_{i0} \left(\frac{\partial T_s}{\partial T_{w_i}} \Delta T_{w_i} + \frac{\partial T_s}{\partial d_1} d_1 \right)$$

[0040]

수학식 13

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_{i0} \\ x_{i1} \\ x_{i2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -a_{i0} & -a_{i1} & -a_{i2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i0} \\ x_{i1} \\ x_{i2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \left(\frac{\partial T_s}{\partial T_{w_i}} \Delta T_{w_i} \right) \quad \cdots(13)$$

$$T_{s_i} = [b_{i0} \ b_{i1} \ b_{i2}] \begin{bmatrix} x_{i0} \\ x_{i1} \\ x_{i2} \end{bmatrix} + d_{i0} \left(\frac{\partial T_s}{\partial T_{w_i}} \Delta T_{w_i} \right)$$

[0041]

[0042] 또, 수학식 (9)에 나타내는 노온 제어계의 동특성식의 상태 공간 표현은 이하에 나타내는 수학식 (14)와 같이 나타난다.

수학식 14

$$\frac{d\Delta T_{w_i}}{dt} = -\frac{1}{T_i} \Delta T_{w_i} + \frac{1}{T_i} \Delta T_{w_i}^{ref}, i=1,2,3,4,5 \quad \cdots(14)$$

[0043]

[0044] 이 노온 제어계의 관측 가능한 출력으로는, 각 가열존의 노온 변동량 (ΔT_{w_i})과 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도 (T_s)이다. 여기서, 강판의 온도 (T_s)에 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 대한 외란을 나타내는 미지의 변수 (d_2)를 도입하면, 강판의 온도 (T_s)는 이하에 나타내는 수학식 (15)와 같이 나타난다.

그리고, 수학식 (16)에 나타내는 바와 같이 강판의 입측에 있어서의 강판의 온도 변동량 (d_1)의 시간 미분이 0이라고 가정하면, 수학식 (12) ~ (16)으로부터 이하의 수학식 (17)에 나타내는 상태 공간 표현이 얻어진다.

수학식 15

$$T_s = T_{s_1} + T_{s_2} + T_{s_3} + T_{s_4} + T_{s_5} + d_2 \quad \cdots(15)$$

[0045]

수학식 16

$$\frac{d}{dt} d_1 = 0 \quad \cdots(16)$$

[0046]

수학식 17

$$\left. \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu + Ed_2 \\ y = Cx + Fd_2 \end{array} \right\} \cdots(17)$$

여기서, $x = \begin{bmatrix} \Delta T_{w_1} \\ \vdots \\ \Delta T_{w_5} \\ x_{010} \\ x_{011} \\ x_{012} \\ \vdots \\ x_{052} \\ d_1 \end{bmatrix}$

 $y = \begin{bmatrix} \Delta T_{w_1} \\ \vdots \\ \Delta T_{w_5} \\ T_s \end{bmatrix}$
 $u = \begin{bmatrix} \Delta T_{w_1}^{ref} \\ \vdots \\ \Delta T_{w_5}^{ref} \end{bmatrix}$

A: 21×21의 행렬
B: 21×5의 행렬
E: 21×1의 행렬
C: 6×20의 행렬
F: 6×1의 행렬

[0047]

[0048] 그래서, 제어 모델 설정부 (14) 는, 수학식 (17) 중의 행렬 A ~ F 를 제어 주기로 이산화한 것 (이후, 연속 시간 표현과 이산 시간 표현을 동일한 기호로 기재한다) 을 제어 모델식의 파라미터로 하여 상태 변수 · 외란 추정부 (15) 및 노온 변경량 산출부 (16) 에 출력한다.

[0049] 상태 변수 · 외란 추정부 (15) 는, 옵저버나 칼만 필터 등의 추정 수법에 의해 제어 모델 설정부 (14) 에 의해 계산된 제어 모델식의 상태 변수 및 외란 변수를 제어 주기마다 추정하고, 그 추정값을 나타내는 전기 신호를 노온 변경량 산출부 (16) 에 출력한다. 옵저버에 의한 추정에서는, 상태 변수 · 외란 추정부 (15) 는, 수학식 (17) 을 이하에 나타내는 수학식 (18) 과 같이 변형한다. 그리고, 상태 변수 · 외란 추정부 (15) 는, 이 계 (系) 에 대해 옵저버를 설계한다. 이것은, 상태 추정값을 x' , 외란 추정값을 d_2' 로 하여, 관측값 (y) 과 모델 예측값의 편차에 옵저버 계인 (L) 을 곱한 것으로 상태량과 외란의 추정값을 갱신하는 이하에 나타내는 수학식 (19) 이다. 여기서, 수학식 (19) 에 있어서, $u(k)$ 는 노온 제어부 (17) 로부터 입력되는 각 가열존의 노온 목표값을 나타내고 있다. 옵저버 계인에 대해서는, 계가 안정되도록 설계하는 수법이 잘 알려져 있다 (예를 들어 시스템 제어 이론 입문 (짓쿄 출판, 1979년)).

수학식 18

$$\left. \begin{array}{l} \begin{bmatrix} x(k+1) \\ d_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & E \\ 0_{1 \times 21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ d_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0_{1 \times 5} \end{bmatrix} u(k) \\ y(k) = [C \quad F] \begin{bmatrix} x(k) \\ d_2(k) \end{bmatrix} \end{array} \right\} \cdots(18)$$

[0050]

수학식 19

$$\begin{bmatrix} x'(k+1) \\ d'_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & E \\ 0_{1 \times 21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'(k) \\ d'_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0_{1 \times 5} \end{bmatrix} u(k) + L(y(k)) - [C \quad F] \begin{bmatrix} x'(k) \\ d'_2(k) \end{bmatrix} \quad \cdots(19)$$

[0051]

[0052]

노온 변경량 산출부 (16) 는, 상태 변수 · 외란 추정부 (15)로부터 출력된 상태 변수 및 외란 변수의 추정값을 사용하여, 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 목표값과 실적값의 편차의 제곱합이 최소가 되는, 바꾸어 말하면, 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 목표값으로부터의 변동량이 최소가 되는 노온 변경량을 산출한다. 이것은, 목적 함수를 제약 조건하에서 최소화하는 문제에 귀착할 수 있다. 구체적으로는, 제어 모델식으로서 수학식 (18) 이 이미 얻어지고 있지만, 노온 목표값의 변화량 제약을 취급하기 위해서 이하에 나타내는 수학식 (20) 과 같이 입력을 변형한다. 그리고, 노온 변경량 산출부 (16) 는, 이 제어 모델식을 사용하여 판온 변동량 (T_s^2) 이 최소가 되는 노온 변경량 ($\Delta u(k)$) 을 산출한다. 이것은, 이하의 수학식 (21)에 나타내는 평가 함수를 최소로 하는 노온 변경량 ($\Delta u(k)$) 의 시계열 데이터를 구하는 최적화 문제이다.

수학식 20

$$\left. \begin{array}{l} \begin{bmatrix} x(k+1) \\ d(k+1) \\ u(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & E & B \\ O_{1 \times 21} & I_{1 \times 1} & O_{1 \times 5} \\ O_{5 \times 21} & O_{5 \times 1} & I_{5 \times 5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ d(k) \\ u(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_{n \times 5} \\ O_{1 \times 5} \\ I_{5 \times 5} \end{bmatrix} \Delta u(k) \\ y(k) = [C \quad F \quad O_{6 \times 5}] \begin{bmatrix} x(k) \\ d(k) \\ u(k) \end{bmatrix} \end{array} \right\} \cdots(20)$$

[0053]

수학식 21

$$\min_{\Delta u(0), \Delta u(1), \dots, \Delta u(N)} J = \sum_{k=0}^{N-1} (x(k)^T Q x(k) + \Delta u(k)^T R \Delta u(k)) \quad \cdots(21)$$

[0054]

[0055] 여기서, 상태 변수 및 외란 변수의 초기값으로는, 상태 변수 · 외란 추정부 (15)로부터 출력된 값을 사용한다. 또, 수학식 (21)에 있어서, $x(k)^T$ 는 벡터의 전치 (轉置) 를 나타내고 있다. 또, 수학식 (21) 중의 N 은 예측 기간이며, 현시각으로부터 장래 N 제어 주기를 평가하는 것을 의미한다. 그리고, $Q = c^T c$ (c 는 $[C \quad F \quad O_{6 \times 5}]$ 행렬의 강판 온도에 대응하는 최종행) 로 설정함으로써, 가열로의 입측 및 출측에 있어서의 외란을 포함한 강판의 온도 변동을 최소화하는 평가 함수가 된다.

[0056]

또, 제약 조건으로는, 노온의 상하한값에 관한 제약 조건, 단위 시간당 노온 변경량에 관한 제약 조건, 연료 유량의 상하한값에 관한 제약 조건, 및 단위 시간당 연료 유량 변경량에 관한 조건을 예시할 수 있다. 또한, 연료 유량과 노온 목표값 ($u(k)$) 의 관계를 구해 두고 그것을 제약에 포함시키는 것이나, 노온 목표값 ($u(k)$) 에 제약을 가하는 것도 가능하다. 이와 같이, 조업상의 제약 조건을 포함시키는 것이 가능하다. 그리고, 노온 변경량 산출부 (16) 는, 여기서 구한 노온 변경량 ($\Delta u(k)$) 의 시계열 데이터 중, 최초의 시각의 노온 변경량 ($\Delta u(0)$) 을 노온 제어부 (17) 에 출력한다.

[0057]

노온 제어부 (17) 는, 노온 변경량 ($\Delta u(0)$) 을 현시각의 노온 목표에 가산하고, 그것을 달성할 수 있도록 각 가열존에 있어서의 연료 유량의 사용량을 설정한다. 또한, 영향 계수 산출부 (13), 제어 모델 설정부 (14), 상태 변수 · 외란 추정부 (15), 및 노온 변경량 산출부 (16) 는, 실조업상에서 상정할 수 있는 복수의 통관 속도의 설정값마다 처리를 실행하고, 노온 제어부 (17) 는, 실적의 통관 속도에 가까운 통관 속도의 설정값으로부터

구해진 노온 변경량을 달성할 수 있도록 각 가열존에 있어서의 사용 연료 유량을 제어하는 것이 바람직하다.

[0058] 이상의 설명으로부터 분명한 바와 같이, 본 발명의 일 실시형태인 강판의 온도 제어 장치 (1) 에서는, 상태 변수·외란 추정부 (15) 가, 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 동시에 추정하고, 노온 변경량 산출부 (16) 가, 제어 모델의 상태 변수 및 온도 외란 변수의 값을 사용하여, 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 목표값과 실적값의 편차의 제곱합이 최소가 되도록, 제약 조건하에서 각 가열존의 노온 변경량을 산출하고, 노온 제어부 (17) 가, 산출된 노온 변경량을 달성할 수 있도록 각 가열존에 있어서의 사용 연료 유량을 제어한다. 이로써, 양호한 응답성 및 추종성으로 가열로에 있어서의 강판의 온도를 제어할 수 있다.

[0059] 실시예

[0060] 본 발명법의 유효성을 시뮬레이션에 의해 검증하였다. 각 가열존의 설정값을 이하의 표 1에 나타내고, 강판의 설정값을 이하의 표 2에 나타낸다. 또, 본 발명법의 제약 조건으로서, 노온 목표 변화량 [$^{\circ}\text{C}/\text{s}$] 을 전체 가열존에서 $\pm 1.0 ^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 이내로 하였다. 또, 평가 함수의 예측 기간 (N) 은 30으로 하였다. 이에 대해, 비교를 위한 종래법의 실시 구성을 도 2에 나타낸다. 도 2에 나타내는 바와 같이, 종래법의 실시 구성을, 가열로의 입측에 있어서의 온도 외란에 의한 판온 변동은 피드포워드 (FF) 제어 (FF 보정)로 억제하고, 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도의 실적에 의한 제어 편차는 PID 제어 (피드백 (FB) 보정)에 의해 억제하는 구성이다. 이 양자의 제어는 독립적으로 설계되어 있고, 서로의 노온 보정값의 정보의 교환은 없는 점이 본 발명법과 상이하다. 피드포워드 제어는, 영향 계수를 사용하여 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도에 대한 외란이 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 부여하는 영향을 제거하는 노온 변경량을 산출한다. 그리고, 본 발명법과 종래법에서 외란이 인가되었을 때의 응답을 비교하고 싶으므로, 가열로의 입측 및 출측에 있어서의 강판의 온도에 대해 도 3에 나타내는 외란을 부여하였다.

표 1

(표1)

	설비 길이	노온 (초기 설정값) [$^{\circ}\text{C}$]	노온 제어 시상수 [sec]
1 존	20.4	746	30
2 존	5.1	1061	30
3 존	5.1	1056	30
4 존	5.1	1061	30
5 존	5.1	1054	30

[0061]

표 2

(표2)

	단위	값
판 두께	mm	2.0
통판 속도	m/sec	1.0
총괄 열전달 계수	-	1.00
제어 주기	sec	5.0

[0062]

[0063] 본 발명법에 있어서의 각 가열존 (1 ~ 5Z) 의 노온 및 가열로의 출측에서의 강판의 온도의 응답을 도 4(a), (b), 종래법에 있어서의 각 가열존 (1 ~ 5Z) 의 노온 및 가열로의 출측에서의 강판의 온도의 응답을 도 5(a), (b) 에 나타낸다. 도 4(a), (b) 에 나타내는 바와 같이, 본 발명법에서는 적어도 60 sec 경과한 부근에서 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도가 목표값 (0°C) 에 수속하고 있는 것에 대해, 도 5(a), (b) 에 나타내는 바와 같이, 종래법에서는 100 sec 이상 경과해도 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도가 제어 편차를 남긴 상태로 되어 있다. 이와 같이 본 발명법에서는, 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도가 목표값에 수속할 때까지의 시간이 짧고, 제어 편차를 제거할 수 있는 것이 확인되었다.

[0064] 양자의 차이는, 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도에 대해 외란이 들어갔을 때의 노온의 변경량의 방향성이다. 즉, 종래법에서는, 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도가 목표값보다 낮은 경우여도, 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도에 대해 정(正)의 외란이 들어갔을 때에는 노온을 낮추려 간다. 그러나, 이것은, 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도로부터 보았을 때에 역동작이기 때문에, 노온 변동이 발생하고, 수속까지 시간을 필요로 하고 있다. 이에 대해, 본 발명법에서는, 가열로의 입측에 있어서의 강판의 온도에 대해 정의 외란이 들어갔다고 해도, 현재의 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도가 목표값보다 낮은 경우에는, 노온을 낮추려 가지 않고, 최종적으로 정상 편차를 제거할 수 있는 조건을 향해 노온을 제어하고 있다. 이것은, 도 6 에 나타내는 바와 같이 제어 주기마다 가열로의 출측에 있어서의 강판의 온도에 대한 외란을 추정하고, 적절한 조작량을 최적 계산하고 있는 효과라고 할 수 있다.

[0065] 이상, 본 발명자들에 의해 이루어진 발명을 적용한 실시형태에 대해 설명하였지만, 본 실시형태에 의한 본 발명의 개시의 일부를 이루는 기술(記述) 및 도면에 의해 본 발명은 한정되는 일은 없다. 즉, 본 실시형태에 기초하여 당업자 등에 의해 이루어지는 다른 실시형태, 실시예, 및 운용 기술 등은 모두 본 발명의 범주에 포함된다.

산업상 이용가능성

[0066] 본 발명에 의하면, 양호한 응답성 및 추종성으로 가열로에 있어서의 강판의 온도를 제어 가능한 강판의 온도 제어 장치 및 온도 제어 방법을 제공할 수 있다.

부호의 설명

[0068] 1 : 강판의 온도 제어 장치

11 : 판온 측정부

12 : 노온 측정부

13 : 영향 계수 산출부

14 : 제어 모델 설정부

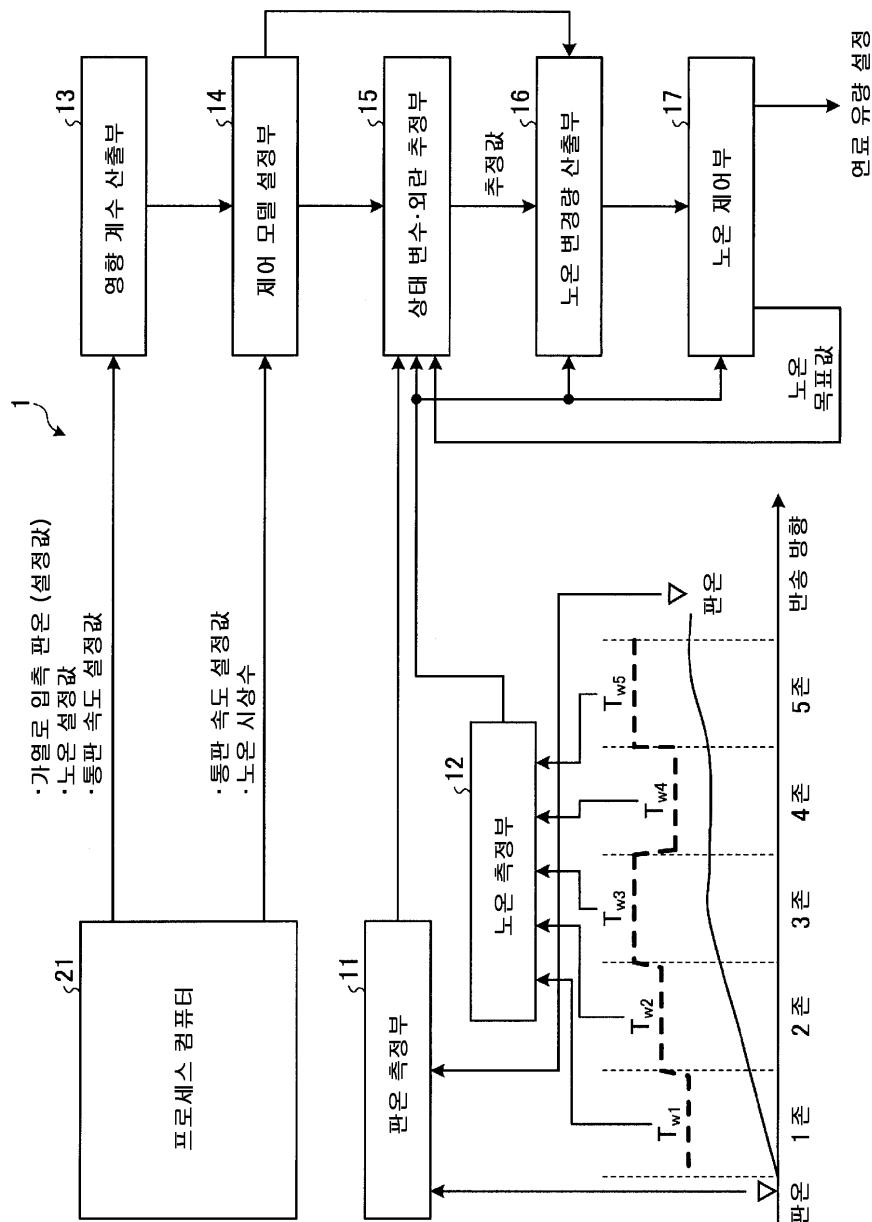
15 : 상태 변수 · 외란 추정부

16 : 노온 변경량 산출부

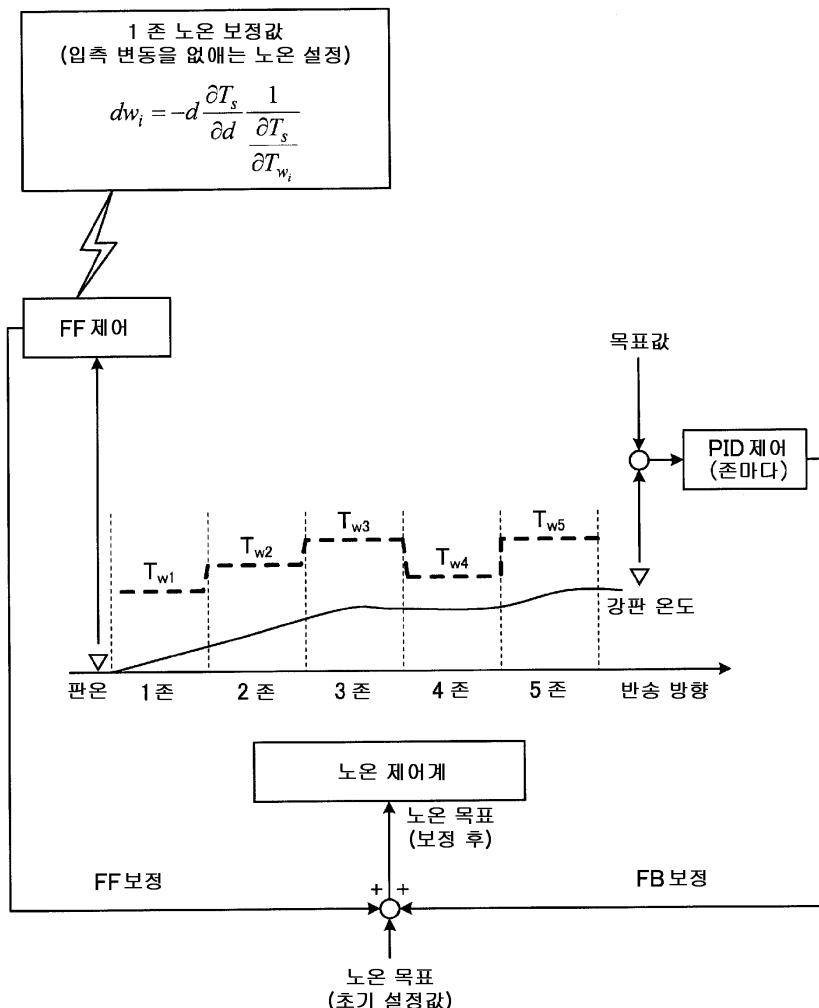
17 : 노온 제어부

도면

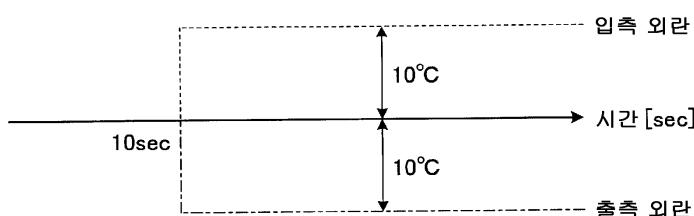
도면1



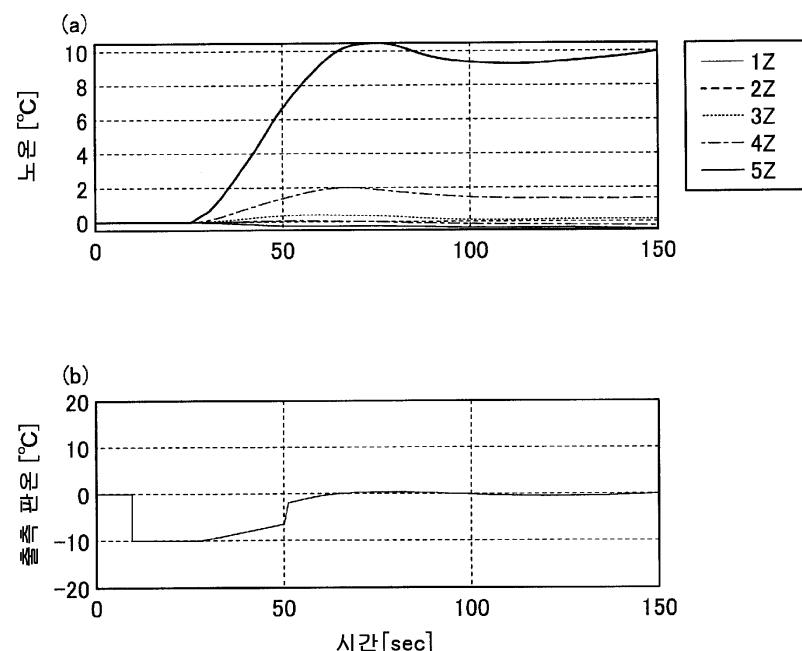
도면2



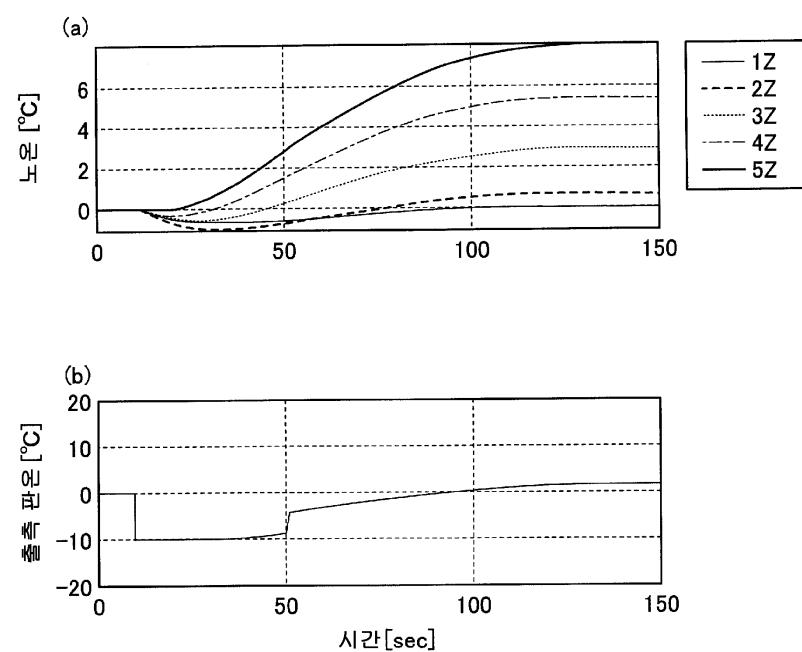
도면3



도면4



도면5



도면6

