



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년03월21일

(11) 등록번호 10-1598557

(24) 등록일자 2016년02월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 21/324 (2006.01) H01L 21/66 (2006.01)

H01L 21/683 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 21/324 (2013.01)

H01L 21/683 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0083574

(22) 출원일자 2015년06월12일

심사청구일자 2015년08월21일

(56) 선행기술조사문헌

KR100395662 B1

KR101371704 B1

KR1020070088551 A

(73) 특허권자

에이피시스템 주식회사

경기도 화성시 동탄면 동탄산단8길 15-5

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

지상현

경기도 용인시 수지구 문정로 55 한성아파트 108동 605호

이성용

경기도 용인시 기흥구 흥덕2로65번길 2-11 201호 (영덕동)

(74) 대리인

남승희

전체 청구항 수 : 총 30 항

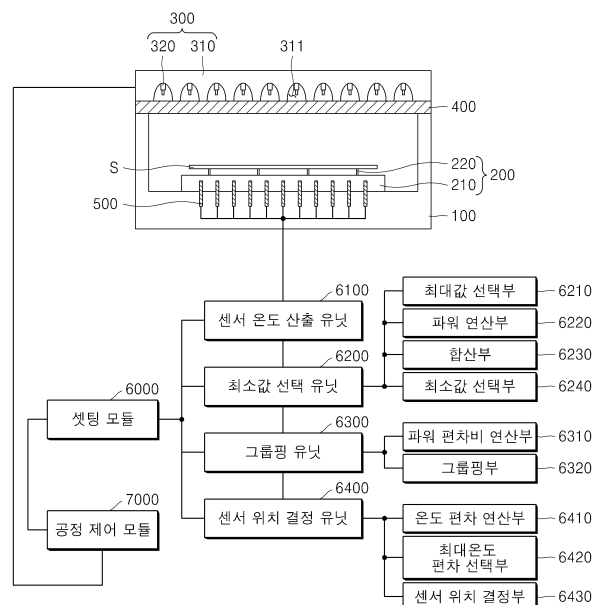
심사관 : 이석주

(54) 발명의 명칭 기관 처리 장치 및 이를 이용한 열처리 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 기관 처리 장치는 일면에 기관이 지지되는 기관 지지부, 기관 지지부와 대향 위치하며, 상호 이격 배치되어, 기관을 향해 광을 조사하여, 상기 기관을 열처리하는 복수의 램프, 상기 기관 지지부 상에서 상호 이격되도록 설치되어, 열처리 공정 시의 기관의 온도를 측정하는 공정 센서 및 공정 센서로부터 측정되는 온도에 (뒷면에 계속)

대표도 - 도1



따라, 복수의 램프의 동작을 제어하는 공정 제어 모듈 및 공정 센서를 상기 기관 지지부에 설치하기 전에, 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 나누어 그룹핑하고, 상기 공정 센서의 설치 위치를 설정하는 셋팅 모듈을 포함하고,

셋팅 모듈은 각기 다른 위치에 가상으로 위치하도록 복수의 가상 센서의 위치를 설정하고, 가상 센서와 램프 사이의 거리, 기관 가열시 기관으로부터 빠져나가는 열 에너지, 상온에서의 기관이 가지고 있는 열 에너지를 고려한 열적 모델을 이용하여, 상기 가상 센서의 온도를 산출하고, 산출된 가상 센서의 온도를 이용하여 상기 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 그룹핑하고, 상기 공정 센서의 설치 위치를 설정한다.

본 발명의 실시형태에 의하면, 복수의 램프를 그룹핑 시간 및 공정 센서의 위치를 최적화하여 결정하는 시간을 단축할 수 있다. 따라서, 기관 처리 장치의 셋팅 시간을 단축할 수 있는 효과가 있다.

또한, 복수의 램프의 그룹핑 및 센서 위치 결정 시에 본 발명에 따른 열적 모델을 기반으로 온도를 산출함으로써, 온도 신뢰성을 확보할 수 있고, 램프의 그룹핑 및 공정 센서의 위치 결정을 최적화할 수 있다.

(52) CPC특허분류

H01L 22/12 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

일면에 기관이 지지되는 기관 지지부;

상기 기관 지지부와 대향 위치하며, 상호 이격 배치되어, 상기 기관을 향해 광을 조사하여, 상기 기관을 열처리 하는 복수의 램프;

상기 기관 지지부 상에서 상호 이격되도록 설치되어, 열처리 공정 시의 기관의 온도를 측정하는 공정 센서; 및

상기 공정 센서로부터 측정되는 온도에 따라, 상기 복수의 램프의 동작을 제어하는 공정 제어 모듈; 및

상기 공정 센서를 상기 기관 지지부에 설치하기 전에, 상기 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 나누어 그룹핑 하고, 상기 공정 센서의 설치 위치를 설정하는 셋팅 모듈;

을 포함하고,

상기 셋팅 모듈은,

각기 다른 위치에 가상으로 위치하도록 복수의 가상 센서의 위치를 설정하고,

상기 가상 센서와 램프 사이의 거리, 기관 가열시 기관으로부터 빠져나가는 열 에너지, 상온에서의 기관이 가지고 있는 열 에너지를 고려한 열적 모델을 이용하여, 상기 가상 센서의 온도를 산출하고, 산출된 가상 센서의 온도를 이용하여 상기 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 그룹핑하고, 상기 공정 센서의 설치 위치를 설정하는 기관 처리 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 셋팅 모듈에서는 상기 가상 센서와, 상기 램프 사이의 거리(r_{ij})와 기관 가열시 기관으로부터 빠져나가는 열 에너지(T_i^4)의 합에서 상온에서의 기관이 가지고 있는 열 에너지(b)를 뺀 열적 모델을 가지는 수학적 2를 이용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하는 기관 처리 장치.

[수학적 2]

$$\lambda \frac{dT_i}{dt} = -T_i^4 + \sum_{j=1}^{n_p} G(r_{ij})p_j + b$$

t: 시간

i: 복수의 센서 중 어느 하나($i=1, \dots, n_i$)

n_i : 센서의 갯수

j: 복수의 램프 중 어느 하나($j=1, \dots, n_p$)

n_p : 램프의 갯수

T_i : 센서의 온도

r_{ij} : 램프와 센서 간의 거리

G: 가중치 상수

P_j : 램프로 인가된 파워

b: 상온 상에서 기관이 가지고 있는 열 에너지

λ : 상수

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 셋팅 모듈에서는 상기 수학적식 2에 기관 상에 형성된 박막의 재료 및 서로 다른 재료의 적층 구조에 따른 조절 인자 n 를 적용한 수학적식 3의 열적 모델을 이용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하는 기관 처리 장치.

[수학적식 3]

$$\eta\lambda \frac{dT_i}{dt} = -T_i^4 + \sum_{j=1}^{n_p} G(n_{ij})p_j + b$$

n : 기관에 형성된 박막의 재료 및 서로 다른 재료가 적층된 구조에 따라 가변되는 상수

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 셋팅 모듈은,

목적 온도 달성을 위한 파워 인가 조건 변경에 따라 상기 수학적식 2 또는 수학적식 3을 이용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하는 센서 온도 산출 유닛;

상기 파워 인가 조건에 따른 상기 가상 센서의 산출 온도와 상기 목적 온도 간의 최대 온도 편차와, 각 램프의 파워와 평균 파워 간의 차이의 합산값이 최소가되는 파워 인가 조건을 선택하는 최소값 선택 유닛;

상기 최소값 선택 유닛에서 선택된 파워 인가 조건을 적용하여, 상기 복수의 램프를 동작시켜, 복수의 램프 각각의 파워 편차비를 산출하고, 상기 복수의 램프 각각의 파워 편차비에 따라, 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 그룹핑하는 그룹핑 유닛;

상기 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 복수의 가상 센서의 위치를 설정하고, 상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라 산출된 상기 복수의 가상 센서 각각의 온도와 목적 온도 간의 최대 온도 편차가 최소가 되는 복수의 가상 센서 각각의 위치를 상기 공정 센서를 설치할 위치로 결정하는 센서 위치 결정 유닛;

을 포함하는 기관 처리 장치.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 최소값 선택 유닛은,

상기 센서 온도 산출 유닛에서 산출된 파워 인가 조건에 따른 복수의 가상 센서 각각의 온도와, 목적 온도 간의 온도 편차를 산출하고, 산출된 온도 편차 중 최대 온도 편차를 선택하는 최대값 선택부;

파워 인가 조건에 따른 각 램프의 파워와 평균 파워 간의 파워 편차를 연산하는 파워 연산부;

파워 인가 조건에 따라 상기 최대값 선택부에서 선택된 최대 온도 편차와 상기 파워 연산부에서 연산된 파워 편차를 합산하는 합산부;

파워 인가 조건에 따라 상기 합산부에서 합산된 복수의 합산값 중, 최소값을 선택하고, 상기 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 선택하는 최소값 선택부;

를 포함하는 기관 처리 장치.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 최소값 선택 유닛에서는 수학적 식 1에 의해 파워 인가 조건의 변경에 따라 최대 온도 편차와, 상기 파워 편차의 합을 합산하여 복수의 합산값을 산출하고,

복수의 합산값 중 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 찾는 기관 처리 장치.

[수학적 식 1]

$$\min_{p_j} \gamma$$

$$\text{subject to } \left\{ \max_{i \in \{1, \dots, n_q\}} |T_k^{sp} - T_i| + \beta \sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j| \right\}$$

$$p_{min} \leq p_j \leq p_{max}$$

T_k^{sp} : 목적 온도

$\bar{p}$: 평균 파워

β : 가중치 상수

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 그룹핑 유닛은,

상기 선택된 파워 인가 조건으로 상기 복수의 램프에 파워를 인가하여, 상기 복수의 램프 각각에 대한 파워 편차비를 산출하는 파워 편차비 연산부;

상기 파워 편차비 연산부에서 연산된 각 램프에 대한 파워 편차비를 상호 비교하여, 복수의 램프로 그룹핑하는 그룹핑부;

를 포함하는 기관 처리 장치.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 파워 편차비 연산부에서는 기준 파워에 대한 각 램프 파워비(a_{j1}), 복수의 램프 파워비(a_{j1})의 평균 파워비($\bar{a}_{j1}$)를 이용하여 수학적 식 5에 의해 각 램프에 대한 파워 편차비(ε_{j1})를 연산하는 기관 처리 장치.

[수학적 식 5]

$$\frac{1}{n_{sp}} \sum_{n_{sp}} \left| \frac{a_{j1} - \bar{a}_{j1}}{\bar{a}_{j1}} \right| = \varepsilon_{j1}$$

n_{sp} : 산출 시점 갯수

a_{j1} : 기준 파워에 대한 램프의 파워비

$\bar{a}_{j1}$: 기준 파워에 대한 램프의 평균 파워비

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 복수의 램프 파워비(a_{j1})의 평균 파워비($\bar{a}_{j1}$)는 수학적 식 6에 의해 산출되는 기관 처리 장치.

[수학식 6]

$$\bar{a}_{ji} = \frac{1}{n_{sp}} \sum_{k=1}^{n_{sp}} \frac{p_j}{p_i}$$

p_i : 기준 파워

k : 산출 시점($k=1, 2, 3, \dots, n_{sp}$)

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 그룹핑부에는 복수의 기준 파워 편차비가 기 설정되고,

상기 파워 편차비 연산부에서 연산된 각 램프에 대한 파워 편차비와 산출된 상기 복수의 파워 편차비를 상호 비교하여, 동일한 기준 파워 편차비에 포함되는 산출 파워 편차비를 가지는 램프를 하나의 램프 그룹으로 그룹핑하는 기관 처리 장치.

청구항 11

청구항 7에 있어서,

상기 센서 위치 결정 유닛은,

상기 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 가상 위치하는 복수의 가상 센서의 위치 변경 조건에 따라, 상기 센서 온도 산출 유닛으로부터 산출된 복수의 가상 센서 각각의 온도와, 목적 온도 간의 온도 편차를 산출하는 온도 편차 연산부;

각 위치 조건 변경 조건에서, 복수의 가상 센서 각각의 온도와 목적 온도 간의 편차 중, 최대 온도 편차를 선택하는 최대 온도 편차 선택부;

상기 복수의 가상 센서의 위치 변경에 따라 선택된 복수의 최대 온도 편차 중, 최소값을 가지는 복수의 가상 센서의 위치 변경 조건을 찾아, 상기 공정 센서의 설치 위치로 결정하는 센서 위치 결정부;

를 포함하는 기관 처리 장치.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 센서 위치 결정 유닛에서는 수학식 7에 의해 복수의 가상 센서의 위치 변경에 따른 복수의 최대 온도 편차 값 중, 최소값을 가지는 복수의 가상 센서의 위치 변경 조건을 찾는 기관 처리 장치.

[수학식 7]

$$\text{Min}_{\substack{k=\{1, \dots, n_{sp}\} \\ i=\{1, \dots, n_i\}}} |T_k^{sp} - T_i|$$

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 기관의 열처리 공정 시에, 상기 공정 제어 모듈은 상기 센서 위치 결정 유닛에 의해 위치 결정되어, 상기 기관 지지부에 설치된 복수의 공정 센서로부터 측정된 온도에 따라, 상기 복수의 램프 그룹으로 인가되는 파워를 제어하는 기관 처리 장치.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 공정 제어 모듈은 PID 제어 유닛과 QILC 제어 유닛을 포함하는 기관 처리 장치.

청구항 15

기관이 지지되는 기관 지지부와 대향 위치되는 복수의 램프, 열처리 공정 시에 상기 기관의 온도를 측정하는 공정 센서를 이용하여 열처리하는 방법으로서,

상기 기관에 대해 열처리 공정을 실시하기 전에, 상기 복수의 램프 및 공정 센서를 사전 셋팅하는 과정;

상기 기관을 열처리하는 과정;

을 포함하고,

상기 셋팅 과정은,

서로 다른 위치에 가상으로 위치하도록 복수의 가상 센서의 위치를 설정하는 과정; 및

복수의 가상 센서의 온도를 산출하는 과정;

을 포함하며,

상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하는데 있어서,

상기 가상 센서와 램프 사이의 거리, 기관 가열시 기관으로부터 빠져나가는 열 에너지, 상온에서의 기관이 가지고 있는 열 에너지를 고려한 열적 모델을 이용하는 열처리 방법.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

복수의 가상의 위치에 각기 설치된 상기 가상 센서의 온도를 산출하는 데 있어서,

상기 가상 센서와, 상기 램프 사이의 거리(r_{ij})와 기관 가열시 기관으로부터 빠져나가는 열 에너지(T_i^4)의 합에서 상온에서의 기관이 가지고 있는 열 에너지(b)를 뺀 열적 모델을 가지는 수학식 2를 이용하는 열처리 방법.

[수학식 2]

$$\lambda \frac{dT_i}{dt} = -T_i^4 + \sum_{j=1}^{n_p} G(r_{ij})p_j + b$$

t: 시간

i: 복수의 센서 중 어느 하나($i=1, \dots, n_i$)

n_i : 센서의 갯수

j: 복수의 램프 중 어느 하나($i=1, \dots, n_p$)

n_p : 램프의 갯수

T_i : 센서의 온도

r_{ij} : 램프와 센서 간의 거리

G: 가중치 상수

P_j : 램프로 인가된 파워

b: 상온 상에서 기관이 가지고 있는 열 에너지

λ : 상수

청구항 17

청구항 16에 있어서,

복수의 가상의 위치에 각기 설치된 상기 가상 센서의 온도를 산출하는 데 있어서,

상기 수학적 2에 기관 상에 형성된 박막의 재료 및 서로 다른 재료의 적층 구조에 따른 조절 인자 n 를 적용한 수학적 3의 열적 모델을 이용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하는 열처리 방법.

[수학적 3]

$$\eta\lambda \frac{dT_i}{dt} = -T_i^4 + \sum_{j=1}^{n_p} G(n_{ij})p_j + b$$

n : 기관에 형성된 박막의 재료 및 서로 다른 재료가 적층된 구조에 따라 가변되는 상수

청구항 18

청구항 17에 있어서,

상기 셋팅 과정은,

목적 온도 달성을 위한 파워 인가 조건 변경에 따라 상기 수학적 2 또는 수학적 3을 이용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하는 과정;

상기 파워 인가 조건에 따른 상기 가상 센서의 산출 온도와 상기 목적 온도 간의 최대 온도 편차와, 각 램프의 파워와 평균 파워 간의 차이의 합산값이 최소가되는 파워 인가 조건을 선택하는 과정;

상기 선택된 파워 인가 조건을 적용하여, 상기 복수의 램프를 동작시켜, 복수의 램프 각각의 파워 편차비를 산출하고, 상기 복수의 램프 각각의 파워 편차비에 따라, 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 그룹핑하는 과정;

상기 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 복수의 가상 센서의 위치를 설정하는 과정;

상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라 산출된 상기 복수의 가상 센서 각각의 온도와 목적 온도 간의 최대 온도 편차가 최소가 되는 복수의 가상 센서 각각의 위치를 상기 공정 센서를 설치할 위치로 결정하는 과정;

을 포함하는 열처리 방법.

청구항 19

청구항 18에 있어서,

상기 셋팅 과정은,

목적 온도 달성을 위한 파워 인가 조건 변경에 따라 상기 수학적 2 또는 수학적 3을 이용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하는 과정;

상기 파워 인가 조건에 따른 상기 가상 센서의 산출 온도와 상기 목적 온도 간의 최대 온도 편차와, 각 램프의 파워와 평균 파워 간의 차이의 합산값이 최소가되는 파워 인가 조건을 선택하는 과정;

상기 선택된 파워 인가 조건을 적용하여, 상기 복수의 램프를 동작시켜, 복수의 램프 각각의 파워 편차비를 산출하고, 상기 복수의 램프 각각의 파워 편차비에 따라, 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 그룹핑하는 과정;

상기 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 복수의 가상 센서의 위치를 설정하는 과정;

상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라 산출된 상기 복수의 가상 센서 각각의 온도와 목적 온도 간의 최대 온도 편차가 최소가 되는 복수의 가상 센서 각각의 위치를 상기 센서를 설치할 위치로 결정하는 과정;

을 포함하는 열처리 방법.

청구항 20

청구항 19에 있어서,

상기 합산값이 최소가되는 파워 인가 조건을 선택하는 과정은,

파워 인가 조건에 따른 복수의 가상 센서 각각의 온도와, 목적 온도 간의 온도 편차를 산출하는 과정;

각 파워 인가 조건에 따라 산출된 복수의 가상 센서 각각의 온도와, 목적 온도 간의 온도 편차 중, 최대 온도 편차를 찾는 과정;

파워 인가 조건에 따른 각 램프의 파워와 평균 파워 간의 파워 편차를 산출하는 과정;

파워 인가 조건에 따른 최대 온도 편차와, 파워 편차를 합산하는 과정;

파워 인가 조건에 따라 산출된 복수의 합산값 중, 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 탐색하는 과정;

을 포함하는 열처리 방법.

청구항 21

청구항 20에 있어서,

최소값을 가지는 파워 인가 조건을 탐색하는 과정에 있어서,

수학식 1에 의해 파워 인가 조건의 변경에 따른 최대 온도 편차와, 파워 편차의 합을 합산하여 복수의 합산값을 산출하는 열처리 방법.

[수학식 1]

$$\min_{p_j} \gamma$$

$$\text{subject to } \left\{ \max_{i \in \{1, \dots, n_0\}} |T_k^{sp} - T_i| + \beta \sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j| \right\}$$

$$p_{min} \leq p_j \leq p_{max}$$

T_k^{sp} : 목적 온도

$\bar{p}$: 평균 파워

β : 가중치 상수

청구항 22

청구항 21에 있어서,

상기 복수의 램프를 복수의 그룹으로 그룹핑 하는 과정은,

상기 선택된 파워 인가 조건으로 상기 복수의 램프에 파워를 인가하는 과정;

상기 복수의 램프 각각에 대한 파워 편차비를 산출하는 과정;

상기 복수의 램프 각각에 대해 산출된 상기 파워 편차비를 상호 비교하여, 복수의 램프로 그룹핑하는 과정;

을 포함하는 열처리 방법.

청구항 23

청구항 22에 있어서,

상기 파워 편차비를 산출하는 과정은,

복수의 램프 중 어느 하나의 램프에 가해진 파워를 기준 파워로 하여, 상기 기준 파워에 대한 각 램프의 파워비를 산출하는 과정;

상기 산출된 복수의 램프에 대한 파워비의 평균값인 평균 파워비를 산출하는 과정;

을 포함하는 열처리 방법.

청구항 24

청구항 23에 있어서,

상기 파워 편차비를 산출하는 과정에 있어서, 수학적 식 5에 의해

상기 기준 파워(p_1)에 대한 각 램프의 파워비(a_{j1})와, 복수의 램프의 파워비(a_{j1})의 평균값인 평균 파워비($\bar{a}_{j1}$)를 이용하여 수학적 식 5에 의해, 기준 파워에 대한 각 램프의 파워 편차비(ϵ_{j1})를 연산하는 열처리 방법.

[수학적 식 5]

$$\frac{1}{n_{sp}} \sum_{n_{sp}} \left| \frac{a_{j1} - \bar{a}_{j1}}{\bar{a}_{j1}} \right| = \epsilon_{j1}$$

n_{sp} : 산출 시점 갯수

a_{j1} : 기준 파워에 대한 램프의 파워비

$\bar{a}_{j1}$: 기준 파워에 대한 램프의 평균 파워비

청구항 25

청구항 24에 있어서,

상기 평균 파워비($\bar{a}_{j1}$)를 산출하는데 있어서, 수학적 식 6에 의해 산출되는 열처리 방법.

[수학적 식 6]

$$\bar{a}_{j1} = \frac{1}{n_{sp}} \sum_{k=1}^{n_{sp}} \frac{p_j}{p_1}$$

p_1 : 기준 파워

k : 산출 시점($k=1, 2, 3, \dots, n_{sp}$)

청구항 26

청구항 25에 있어서,

상기 복수의 램프를 그룹핑하는 데 있어서,

서로 다른 범위의 복수의 기준 파워 편차비를 설정하는 과정;

상기 산출된 각 램프 각각에 대한 파워 편차비(ϵ_{j1})와, 상기 복수의 기준 파워 편차비를 상호 비교하여, 동일한 기준 파워 편차비에 포함되는 산출 파워 편차비(ϵ_{j1})를 가지는 램프를 하나의 램프 그룹으로 그룹핑하는 열처리 방법.

청구항 27

청구항 26에 있어서,

상기 공정 센서의 위치를 결정하는 과정은,

상기 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 가상 위치하도록 복수의 가상 센서의 위치를 설정하는 과정;

상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라, 복수의 가상 센서 각각의 온도를 산출하는 과정;

상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라 산출된 상기 복수의 가상 센서 각각의 온도와, 목적 온도 간의 편차를 산출하는 과정;

각 위치 조건 변경 조건에서, 복수의 가상 센서 각각의 온도와 목적 온도 간의 편차 중, 최대 온도 편차를 선택

하는 과정;

상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라 선택된 최대 온도 편차 중, 최소값을 가지는 위치 조건을 선택하여, 상기 공정 센서의 설치 위치로 결정하는 과정;

을 포함하는 열처리 방법.

청구항 28

청구항 27에 있어서,

상기 공정 센서의 설치 위치를 결정하는 과정에 있어서,

수학식 7에 의해 복수의 가상 센서의 위치 변경에 따라 선택된 복수의 최대 온도 편차값 중, 최소값을 가지는 위치 조건을 선택하는 열처리 방법.

[수학식 7]

$$\text{Min}_{k=\{1, \dots, n_{sp}\}} \max_{i=\{1, \dots, n_{ij}\}} |T_k^{sp} - T_i|$$

청구항 29

청구항 28에 있어서,

상기 기판을 열처리하는 과정에 있어서,

위치 결정되어 설치된 상기 복수의 공정 센서로부터 측정된 온도에 따라, 상기 복수의 램프 그룹으로 인가되는 파워를 제어하는 열처리 방법.

청구항 30

청구항 29에 있어서,

상기 기판을 열처리하는 과정에 있어서,

PID 제어 방법과, QILC 제어 방법으로 제어하는 열처리 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 기판 처리 장치 및 이를 이용한 열처리 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 기판의 균일한 열처리가 가능하며, 기판을 균일하게 열처리하기 위한 제어가 용이한 기판 처리 장치 및 이를 이용한 열처리 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

통상적으로 반도체 소자는 이온 주입, 박막의 증착, 열처리 등의 공정을 수차례 반복함으로써 제조된다. 이 중, 열처리 공정은 처리 대상물에 대한 산화, 주입된 이온의 열확산, 각종 어닐링(annealing) 공정일 수 있다. 여기서 어닐링 공정의 예로는, 불순물 이온을 주입한 후 결정성 회복을 위한 어닐링, 알루미늄(Al) 및 실리콘(Si)의 접촉 특성과 실리콘(Si) 및 실리콘 산화막(SiO₂)의 계면 특성 향상을 위한 어닐링 등이 있고, 실리사이드(Silicide) 형성을 위한 소결(sintering) 등이 있다.

[0003]

또한, LCD, PDP, OLED 등의 디스플레이 장치의 제조에 있어서, 열처리 공정이 수반된다. 예컨대, 산화물(OXIDE) TFT, 이그조(IGZO; Indium Gallium Zinc Oxide) TFT의 제조 시에 열처리를 이용한 소결 공정이 이루어지고, LTPS 열처리를 통한 탈수소화 및 이온 활성화 공정이 있다.

[0004]

상술한 바와 같은 각종 열처리 공정을 수행하는 장치로는 퍼니스(furnace) 및 급속열처리(RTP: Rapid Thermal Process) 장치가 있다. 이 중, 급속열처리 장치는 짧은 시간에 고온의 열로 기판을 처리하여, 목적하는 효과를 이룰 수 있어, 열처리 공정 중에 불순물이 발생되는 부작용을 최소화할 줄일 수 있는 장점이 있다.

- [0005] 급속열처리 장치는 기관의 열처리 공간을 가지는 챔버, 내부에 위치하여 처리 대상물인 기관이 상부에 지지되는 기관 지지대, 기관 지지대와 대향 위치하며, 기관을 열처리하는 열원을 제공하는 복수의 램프, 복수의 램프와 기관 지지대 사이에 위치하여, 복수의 램프로부터 발생된 열 에너지가 기관에 전달되도록 투과시키는 윈도우, 기관 지지대에 설치되어, 기관의 온도를 측정하는 복수의 센서를 포함한다.
- [0006] 복수의 램프는 각각의 기관의 연장 방향으로 리니어하게 연장 형성된 리니어 타입이 아니라, 벌브(Bulb) 타입이다. 이러한 복수의 램프는 제 1 방향 및 상기 제 1 방향과 교차하는 방향으로 나열되어 상호 이격 배치된다. 예컨대, 4각형의 기관 형성과 대응하도록, 복수의 램프가 X 축 방향 및 Y 축 방향으로 나열되도록 상호 이격 배치된다. 그리고 복수의 센서는 기관과 대응하는 형상 및 복수의 램프의 배치 형상에 따라 상호 이격 설치되어, 각각의 위치에서의 기관 온도를 측정한다.
- [0007] 기관에 균일한 열처리를 위해서는 실제 열처리 공정 전에, 복수의 램프의 동작 조건 예컨대, 전력 등의 조건을 최적화할 필요가 있다. 이를 위해, 복수의 램프 각각을 동작시키고, 이때 복수의 센서로 온도를 측정하여, 측정된 기관의 온도 및 전력 변화에 따른 온도 변화 등에 따라, 실제 열처리 공정에서 복수의 램프 각각을 동작시키는 동작 조건을 설정한다.
- [0008] 한편, 디스플레이 산업에서 기관의 크기가 증가할수록 램프 및 센서의 갯수가 늘어나며, 예컨대 8G 이상의 대면적 기관에 열처리를 수행하기 위해서는 400 내지 800 개의 램프가 필요하며, 그만큼 센서의 갯수도 늘어난다.
- [0009] 그런데, 상술한 바와 같이 복수의 램프의 동작 조건을 최적화하기 위해서는 작업자가 일일이 복수의 센서로부터 측정된 온도 및 각 램프의 전력 변화에 따른 온도 변화를 분석해야 하므로, 센서의 갯수가 증가할 수록 복수의 램프의 동작 조건을 최적화하는 시간이 장시간 소요되며, 이에 따라 공정 수율이 감소하는 문제가 발생된다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 한국등록특허 KR 0974013

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 효율적이고, 신속하게 기관의 균일 가열을 위한 제어가 가능한 기관 처리 장치 및 이를 이용한 열처리 방법을 제공한다.
- [0012] 본 발명은 기관 면적 변화에 따라 기관의 균일 가열을 위한 제어가 용이한 기관 처리 장치 및 이를 이용한 열처리 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명에 따른 기관 처리 장치는 일면에 기관이 지지되는 기관 지지부; 상기 기관 지지부와 대향 위치하며, 상호 이격 배치되어, 상기 기관을 향해 광을 조사하여, 상기 기관을 열처리하는 복수의 램프; 상기 기관 지지부 상에서 상호 이격되도록 설치되어, 열처리 공정 시의 기관의 온도를 측정하는 공정 센서; 및 상기 공정 센서로부터 측정되는 온도에 따라, 상기 복수의 램프의 동작을 제어하는 공정 제어 모듈; 및 상기 공정 센서를 상기 기관 지지부에 설치하기 전에, 상기 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 나누어 그룹핑하고, 상기 공정 센서의 설치 위치를 설정하는 셋팅 모듈;을 포함하고, 상기 셋팅 모듈은, 각각 다른 위치에 가상으로 위치하도록 복수의 가상 센서의 위치를 설정하고, 상기 가상 센서와 램프 사이의 의 거리, 기관 가열시 기관으로부터 빠져나가는 열 에너지, 상온에서의 기관이 가지고 있는 열 에너지를 고려한 열적 모델을 이용하여, 상기 가상 센서의 온도를 산출하고, 산출된 가상 센서의 온도를 이용하여 상기 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 그룹핑하고, 상기 공정 센서의 설치 위치를 설정한다.
- [0014] 상기 셋팅 모듈에서는 상기 가상 센서와, 상기 램프 사이의 거리(r_{ij})와 기관 가열시 기관으로부터 빠져나가는 열 에너지(T_i^4)의 합에서 상온에서의 기관이 가지고 있는 열 에너지(b)를 뺀 열적 모델을 가지는 수학적 2를 이

용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출한다.

[0015] [수학식 2]

$$\lambda \frac{dT_i}{dt} = -T_i^4 + \sum_{j=1}^{n_p} G(r_{ij})p_j + b$$

[0016]

[0017] t: 시간

[0018] i: 복수의 센서 중 어느 하나(i=1, ..., n_i)

[0019] n_i: 센서의 갯수

[0020] j: 복수의 램프 중 어느 하나(i=1, ..., n_p)

[0021] n_p: 램프의 갯수

[0022] T_i: 센서의 온도

[0023] r_{ij}: 램프와 센서 간의 거리

[0024] G: 가중치 상수

[0025] P_j: 램프로 인가된 파워

[0026] b: 상온 상에서 기판이 가지고 있는 열 에너지

[0027] λ: 상수

[0028] 상기 셋팅 모듈에서는 상기 수학식 2에 기판 상에 형성된 박막의 재료 및 서로 다른 재료의 적층 구조에 따른 조절 인자 η를 적용한 수학식 3의 열적 모델을 이용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출한다.

[0029] [수학식 3]

$$\eta\lambda \frac{dT_i}{dt} = -T_i^4 + \sum_{j=1}^{n_p} G(r_{ij})p_j + b$$

[0030]

[0031] η: 기판에 형성된 박막의 재료 및 서로 다른 재료가 적층된 구조에 따라 가변되는 상수

[0032] 상기 셋팅 모듈은, 목적 온도 달성을 위한 파워 인가 조건 변경에 따라 상기 수학식 2 또는 수학식 7을 이용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하는 센서 온도 산출 유닛; 상기 파워 인가 조건에 따른 상기 가상 센서의 산출 온도와 상기 목적 온도 간의 최대 온도 편차와, 각 램프의 파워와 평균 파워 간의 차이의 합산값이 최소가 되는 파워 인가 조건을 선택하는 최소값 선택 유닛; 상기 최소값 선택 유닛에서 선택된 파워 인가 조건을 적용하여, 상기 복수의 램프를 동작시켜, 복수의 램프 각각의 파워 편차비를 산출하고, 상기 복수의 램프 각각의 파워 편차비에 따라, 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 그룹핑하는 그룹핑 유닛; 상기 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 복수의 가상 센서의 위치를 설정하고, 상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라 산출된 상기 복수의 가상 센서 각각의 온도와 목적 온도 간의 최대 온도 편차가 최소가 되는 복수의 가상 센서 각각의 위치를 상기 센서를 설치할 위치로 결정하는 센서 위치 결정 유닛;을 포함한다.

[0033] 상기 최소값 선택 유닛은, 상기 온도 산출 유닛에서 산출된 파워 인가 조건에 따른 복수의 가상 센서 각각의 온도와, 목적 온도 간의 온도 편차를 산출하고, 산출된 온도 편차 중 최대 온도 편차를 선택하는 최대값 선택부; 파워 인가 조건에 따른 각 램프의 파워와 평균 파워 간의 파워 편차를 연산하는 파워 연산부; 파워 인가 조건에 따라 상기 최대값 선택부에서 선택된 최대 온도 편차와 상기 파워 연산부에서 연산된 파워 편차를 합산하는 합산부; 파워 인가 조건에 따라 상기 합산부에서 합산된 복수의 상기 합산값 중, 최소값을 선택하고, 상기 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 선택하는 최소값 선택부;를 포함한다.

[0034] 상기 최소값 선택 유닛에서는 수학식 1에 의해 파워 인가 조건의 변경에 따라 최대 온도 편차와, 상기 파워 편차의 합을 합산하여 복수의 합산값을 산출하고,

[0035] 복수의 합산값 중 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 찾는다.

[0036] [수학식 1]

[0037]
$$\min_{p_j} \gamma$$

[0038]
$$\text{subject to } \left\{ \max_{i \in \{1, \dots, n_0\}} |T_k^{sp} - T_i| + \beta \sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j| \right\}$$

[0039] $p_{min} \leq p_j \leq p_{max}$

[0040] T_k^{sp} : 목적 온도

[0041] $\bar{p}$: 평균 파워

[0042] β : 가중치 상수

[0043] 상기 그룹핑 유닛은, 상기 선택된 파워 인가 조건으로 상기 복수의 램프에 파워를 인가하여, 상기 복수의 램프 각각에 대한 파워 편차비를 산출하는 파워 편차비 연산부; 상기 파워 편차비 연산부에서 연산된 각 램프에 대한 파워 편차비를 상호 비교하여, 복수의 램프로 그룹핑하는 그룹핑부;를 포함한다.

[0044] 상기 파워 편차비 연산부에서는 기준 파워에 대한 각 램프 파워비(a_{j1}), 복수의 램프 파워비(a_{j1})의 평균 파워비($\bar{a}_{j1}$)를 이용하여 수학식 5에 의해 각 램프에 대한 파워 편차비(ε_{j1})를 연산한다.

[0045] [수학식 5]

[0046]
$$\frac{1}{n_{sp}} \sum_{n_{sp}} \left| \frac{a_{j1} - \bar{a}_{j1}}{\bar{a}_{j1}} \right| = \varepsilon_{j1}$$

[0047] n_{sp} : 산출 시점 갯수

[0048] a_{j1} : 기준 파워에 대한 램프의 파워비

[0049] $\bar{a}_{j1}$: 기준 파워에 대한 램프의 평균 파워비

[0051] 상기 복수의 램프 파워비(a_{j1})의 평균 파워비($\bar{a}_{j1}$)는 수학식 6에 의해 산출된다.

[0052] [수학식 6]

[0053]
$$\bar{a}_{j1} = \frac{1}{n_{sp}} \sum_{k=1}^{n_{sp}} p_j$$

[0054] p_1 : 기준 파워

[0055] k : 산출 시점($k=1, 2, 3, \dots, n_{sp}$)

[0056] 상기 그룹핑부에는 복수의 기준 파워 편차비가 기 설정되고,

[0057] 상기 파워 편차비 연산부에서 연산된 각 램프에 대한 파워 편차비와 산출된 상기 복수의 파워 편차비를 상호 비교하여, 동일한 기준 파워 편차비에 포함되는 산출 파워 편차비를 가지는 램프를 하나의 램프 그룹으로 그룹핑한다.

[0058] 상기 센서 위치 결정 유닛은, 상기 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 가상 위치하는 복수의 가상 센서의 위치 변경 조건에 따라, 상기 센서 온도 산출 유닛으로부터 산출된 복수의 가상 센서 각각의 온도와, 목적 온도 간의 온도 편차를 산출하는 온도 편차 연산부; 각 위치 조건 변경 조건에서, 복수의 가상 센서 각각의 온도와 목적 온도 간의 편차 중, 최대 온도 편차를 선택하는 최대 온도 편차 선택부; 상기 복수의 가상 센서의 위치 변

경에 따라 선택된 복수의 최대 온도 편차 중, 최소값을 가지는 복수의 가상 센서의 위치 변경 조건을 찾아, 상기 공정 센서의 설치 위치로 결정하는 센서 위치 결정부;를 포함한다.

[0059] 상기 센서 위치 결정 유닛에서는 수학적 7에 의해 복수의 가상 센서의 위치 변경에 따른 복수의 최대 온도 편차 값 중, 최소값을 가지는 복수의 가상 센서의 위치 변경 조건을 찾는다.

[0060] [수학적 7]

$$\text{Min} \max_{\substack{k=\{1, \dots, n_{sp}\} \\ i=\{1, \dots, n_i\}}} |T_k^{sp} - T_i|$$

[0061]

[0062] 상기 기관의 열처리 공정 시에, 상기 공정 제어 모듈은 상기 센서 위치 결정 유닛에 의해 위치 결정되어, 상기 기관 지지부에 설치된 복수의 공정 센서로부터 측정된 온도에 따라, 상기 복수의 램프 그룹으로 인가되는 파워를 제어한다.

[0063] 상기 공정 제어 모듈은 PID 제어 유닛과 QILC 제어 유닛을 포함한다.

[0065] 본 발명은 기관이 지지되는 기관 지지부와 대향 위치되는 복수의 램프, 열처리 공정 시에 상기 기관의 온도를 측정하는 공정 센서를 이용하여 열처리하는 방법으로서, 상기 기관에 대해 열처리 공정을 실시하기 전에, 상기 복수의 램프 및 공정 센서를 사전 셋팅하는 과정; 상기 기관을 열처리하는 과정;을 포함하고, 상기 셋팅 과정은, 서로 다른 위치에 가상으로 위치하도록 복수의 가상 센서의 위치를 설정하는 과정; 및 복수의 가상 센서의 온도를 산출하는 과정;을 포함하며,

[0066] 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하는데 있어서, 상기 가상 센서와 램프 사이의 거리, 기관 가열시 기관으로부터 빠져나가는 열 에너지, 상온에서의 기관이 가지고 있는 열 에너지를 고려한 열적 모델을 이용한다.

[0068] 상기 복수의 가상의 위치에 각기 설치된 가상 센서의 온도를 산출하는 데 있어서, 상기 셋팅 모듈에서는 상기 가상 센서와, 상기 램프 사이의 거리(r_{ij})와 기관 가열시 기관으로부터 빠져나가는 열 에너지(T_i^4)의 합에서 상온에서의 기관이 가지고 있는 열 에너지(b)를 뺀 열적 모델을 가지는 수학적 2를 이용한다.

[0069] [수학적 2]

$$\lambda \frac{dT_i}{dt} = -T_i^4 + \sum_{j=1}^{n_p} G(r_{ij})p_j + b$$

[0070]

[0071] t: 시간

[0072] i: 복수의 센서 중 어느 하나($i=1, \dots, n_i$)

[0073] n_i : 센서의 갯수

[0074] j: 복수의 램프 중 어느 하나($i=1, \dots, n_p$)

[0075] n_p : 램프의 갯수

[0076] T_i : 센서의 온도

[0077] r_{ij} : 램프와 센서 간의 거리

[0078] G: 가중치 상수

[0079] P_j : 램프로 인가된 파워

[0080] b: 상온 상에서 기관이 가지고 있는 열 에너지

[0081] λ : 상수

[0082] 상기 복수의 가상의 위치에 각기 설치된 가상 센서의 온도를 산출하는 데 있어서, 상기 수학적 2에 기관 상에 형성된 박막의 재료 및 서로 다른 재료의 적층 구조에 따른 조절 인자 n 를 적용한 수학적 3의 열적 모델을 이

용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출한다.

[0083] [수학식 3]

$$\eta\lambda \frac{dT_i}{dt} = -T_i^4 + \sum_{j=1}^{n_p} G(n_{ij})p_j + b$$

[0085] η : 기관에 형성된 박막의 재료 및 서로 다른 재료가 적층된 구조에 따라 가변되는 상수

[0086] 상기 셋팅 과정은, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하고, 산출된 상기 복수의 가상 센서 각각의 온도를 이용하여 상기 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 나누어 그룹핑하는 과정; 상기 복수의 가상 센서의 위치를 변경하고, 상기 복수의 가상 센서의 위치 변경에 따른 복수의 램프의 파워에 따라, 상기 복수의 공정 센서가 설치될 위치를 설정하는 과정; 상기 설정된 설치 위치에 위치하도록 상기 복수의 공정 센서를 상기 기관 지지부에 고정 설치하는 과정;

[0087] 을 포함한다.

[0088] 상기 셋팅 과정은, 목적 온도 달성을 위한 파워 인가 조건 변경에 따라 상기 수학식 2 또는 수학식 3을 이용하여, 상기 복수의 가상 센서 각각에서의 온도를 산출하는 과정; 상기 파워 인가 조건에 따른 상기 가상 센서의 산출 온도와 상기 목적 온도 간의 최대 온도 편차와, 각 램프의 파워와 평균 파워 간의 차이의 합산값이 최소가 되는 파워 인가 조건을 선택하는 과정; 상기 선택된 파워 인가 조건을 적용하여, 상기 복수의 램프를 동작시켜, 복수의 램프 각각의 파워 편차비를 산출하고, 상기 복수의 램프 각각의 파워 편차비에 따라, 복수의 램프를 복수의 램프 그룹으로 그룹핑하는 과정; 상기 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 복수의 가상 센서의 위치를 설정하는 과정; 상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라 산출된 상기 복수의 가상 센서 각각의 온도와 목적 온도 간의 최대 온도 편차가 최소가 되는 복수의 가상 센서 각각의 위치를 상기 센서를 설치할 위치로 결정하는 과정;을 포함한다.

[0089] 상기 합산값이 최소가되는 파워 인가 조건을 선택하는 과정은, 파워 인가 조건에 따른 복수의 가상 센서 각각의 온도와, 목적 온도 간의 온도 편차를 산출하는 과정; 각 파워 인가 조건에 따라 산출된 복수의 가상 센서 각각의 온도와, 목적 온도 간의 온도 편차 중, 최대 온도 편차를 찾는 과정; 파워 인가 조건에 따른 각 램프의 파워와 평균 파워 간의 파워 편차를 산출하는 과정; 파워 인가 조건에 따른 최대 온도 편차와, 파워 편차를 합산하는 과정; 파워 인가 조건에 따라 산출된 복수의 합산값 중, 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 탐색하는 과정;

[0090] 을 포함한다.

[0091] 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 탐색하는 과정에 있어서, 수학식 1에 의해 파워 인가 조건의 변경에 따른 최대 온도 편차와, 파워 편차의 합을 합산하여 복수의 합산값을 산출하는 열처리 방법.

[0092] [수학식 1]

$$\begin{aligned} &\min_{p_j} \gamma \\ &\text{subject to } \left\{ \max_{i \in \{1, \dots, n_s\}} |T_k^{sp} - T_i| + \beta \sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j| \right\} \end{aligned}$$

[0095] $p_{min} \leq p_j \leq p_{max}$

[0096] T_k^{sp} : 목적 온도

[0097] $\bar{p}$: 평균 파워

[0098] β : 가중치 상수

[0099] 상기 복수의 램프를 복수의 그룹으로 그룹핑 하는 과정은, 상기 선택된 파워 인가 조건으로 상기 복수의 램프에 파워를 인가하는 과정; 상기 복수의 램프 각각에 대한 파워 편차비를 산출하는 과정; 상기 복수의 램프 각각에 대해 산출된 상기 파워 편차비를 상호 비교하여, 복수의 램프로 그룹핑하는 과정;

[0100] 을 포함한다.

- [0101] 상기 파워 편차비를 산출하는 과정은, 복수의 램프 중 어느 하나의 램프에 가해진 파워를 기준 파워로 하여, 상기 기준 파워에 대한 각 램프의 파워비를 산출하는 과정; 상기 산출된 복수의 램프에 대한 파워비의 평균값인 평균 파워비를 산출하는 과정; 을 포함한다.
- [0103] 상기 파워 편차비를 산출하는 과정에 있어서, 수학적 식 5에 의해 상기 기준 파워(p_1)에 대한 각 램프의 파워비(a_{j1})와, 복수의 램프의 파워비(a_{j1})의 평균값인 평균 파워비($\bar{a}_{j1}$)를 이용하여 수학적 식 5에 의해, 기준 파워에 대한 각 램프의 파워 편차비(ε_{j1})를 연산한다.
- [0104] [수학적 식 5]
- $$\frac{1}{n_{sp}} \sum_{n_{sp}} \left| \frac{a_{j1} - \bar{a}_{j1}}{\bar{a}_{j1}} \right| = \varepsilon_{j1}$$
- [0105]
- [0106] n_{sp} : 산출 시점 갯수
- [0107] a_{j1} : 기준 파워에 대한 램프의 파워비
- [0108] $\bar{a}_{j1}$: 기준 파워에 대한 램프의 평균 파워비
- [0110] 상기 평균 파워비($\bar{a}_{j1}$)를 산출하는데 있어서, 수학적 식 6에 의해 산출된다.
- [0111] [수학적 식 6]
- $$\bar{a}_{j1} = \frac{1}{n_{sp}} \sum_{k=1}^{n_{sp}} \frac{p_j}{p_1}$$
- [0112]
- [0113] p_1 : 기준 파워
- [0114] k : 산출 시점($k=1, 2, 3, \dots, n_{sp}$)
- [0115] 상기 복수의 램프를 그룹핑하는 데 있어서, 서로 다른 범위의 복수의 기준 파워 편차비를 설정하는 과정; 상기 산출된 각 램프 각각에 대한 파워 편차비(ε_{j1})와, 상기 복수의 기준 파워 편차비를 상호 비교하여, 동일한 기준 파워 편차비에 포함되는 산출 파워 편차비(ε_{j1})를 가지는 램프를 하나의 램프 그룹으로 그룹핑한다.
- [0116] 상기 공정 센서의 위치를 결정하는 과정은, 상기 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 가상 위치하도록 복수의 가상 센서의 위치를 설정하는 과정; 상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라, 복수의 가상 센서 각각의 온도를 산출하는 과정; 상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라 산출된 상기 복수의 가상 센서 각각의 온도와, 목적 온도 간의 편차를 산출하는 과정; 각 위치 조건 변경 조건에서, 복수의 가상 센서 각각의 온도와 목적 온도 간의 편차 중, 최대 온도 편차를 선택하는 과정; 상기 복수의 가상 센서의 위치 조건 변경에 따라 선택된 최대 온도 편차 중, 최소값을 가지는 위치 조건을 선택하여, 상기 공정 센서의 설치 위치로 결정하는 과정; 을 포함한다.
- [0117] 상기 공정 센서의 설치 위치를 결정하는 과정에 있어서, 수학적 식 7에 의해 복수의 가상 센서의 위치 변경에 따라 선택된 복수의 최대 온도 편차값 중, 최소값을 가지는 위치 조건을 선택한다.
- [0118] [수학적 식 7]
- $$\text{Min} \max_{\substack{k=\{1, \dots, n_{sp}\} \\ i=\{1, \dots, n_1\}}} |T_k^{sp} - T_i|$$
- [0119]
- [0120] 상기 기판을 열처리하는 과정에 있어서, 상기 위치 결정되어 설치된 복수의 공정 센서로부터 측정된 온도에 따라, 기 복수의 램프 그룹으로 인가되는 파워를 제어한다.
- [0121] 상기 기판을 열처리하는 과정에 있어서, 상기 공정 제어 모듈은 PID 제어 방법과, QILC 제어 방법으로

제어한다.

발명의 효과

- [0122] 본 발명의 실시형태에 의하면, 복수의 램프를 그룹핑 시간 및 공정 센서의 위치를 최적화하여 결정하는 시간을 단축할 수 있다. 따라서, 기관 처리 장치의 셋팅 시간을 단축할 수 있는 효과가 있다.
- [0123] 또한, 복수의 램프의 그룹핑 및 센서 위치 결정 시에 본 발명에 따른 열적 모델을 기반으로 온도를 산출함으로써, 온도 신뢰성을 확보할 수 있고, 램프의 그룹핑 및 공정 센서의 위치 결정을 최적화할 수 있다.
- [0124] 그리고, 막질 재료에 따른 대응이 가능하도록 열적 모델을 도출하고, 이를 이용함으로써, 기관 상에 형성된 박막의 종류에 따라 유연하게 대응할 수 있으며, 박막 종류에 상관없이 열처리 신뢰성이 향상되는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0125] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 기관 처리 장치를 도시한 단면도
- 도 2는 복수의 램프에 대한 제 1 실시예에 따른 배치 구조를 나타낸 도면
- 도 3은 제 2 실시예에 따른 배치 구조를 나타낸 도면
- 도 4는 복수의 램프를 복수의 그룹으로 그룹핑한 상태 및 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 공정 센서를 마련하여, 최적의 위치에 설치된 상태를 예시하는 도면
- 도 5는 복수의 램프를 복수의 그룹으로 그룹핑하기 위해, 복수의 가상 센서가 기관 면적에 대해 균일하게 분포하도록 가상 위치하고 있는 상태를 도시하는 도면
- 도 6은 각 램프로부터의 광의 방사 형태 및 램프와 센서 간의 거리를 설명하기 위한 도면
- 도 7a는 기관 상에 제 1 재료층이 형성된 상태를 도시한 도면
- 도 7b는 기관 상에 제 1 재료층과 제 2 재료층이 적층된 상태를 도시한 도면
- 도 8은 시간 경과에 따른 공정 센서의 온도 변화를 나타낸 그래프
- 도 9는 복수의 램프를 그룹핑하기 위해, 최소 합산값을 가지는 파워 인가 조건을 선출하는 과정을 순서적으로 설명하는 순서도
- 도 10은 각기 다른 파워 인가 조건(제 1 파워 인가 조건, 제 2 파워 인가 조건,...)으로 복수의 램프에 파워를 인가하는 것을 설명하기 위한 표
- 도 11은 각 램프에 대해, 시간 경과에 따른 파워 편차비의 변화를 나타낸 그래프
- 도 12는 시간 경과에 따른 파워 편차비(ε_{ji})를 산출하여 그룹핑하는 방법을 순서적으로 설명하는 순서도이다.
- 도 13은 시간 경과에 따른 파워 편차비(ε_{ji})를 산출하여 그룹핑하는 방법을 예시하여 나타낸 표
- 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 방법으로 공정 센서의 위치 결정 방법을 순서적으로 설명하는 순서도
- 도 15 및 도 16은 공정 센서의 위치 결정을 위해, 가상 센서의 위치를 변경 모습을 예시하여 설명하는 도면
- 도 17은 복수의 위치 조건(제 1 위치 조건, 제 2 위치 조건, 제 3 위치 조건...)에 따른 제 1 내지 제 3 가상 센서의 위치, 각 위치에 따른 온도 편차($T_k^{sp} - T_i$) 및 최대 온도 편차($\max_{i \in \{1, \dots, n_p\}} |T_k^{sp} - T_i|$)가 산출되는 것을 설명하기 위한 표
- 도 18은 PID 제어 방법으로 기관을 열처리하였을 때를 예시하는 도면이고, 도 19는 PID 제어 방법과 Q-ILC 방법으로 기관을 열처리하였을 때를 예시하는 도면

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0126] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예를 더욱 상세히 설명하기로 한다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것

이다. 도면상에서 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다.

- [0127] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 기관 처리 장치를 도시한 단면도이다. 도 2는 복수의 램프에 대한 제 1 실시예에 따른 배치 구조를 나타낸 도면이고, 도 3은 제 2 실시예에 따른 배치 구조를 나타낸 도면이다. 도 4는 복수의 램프를 복수의 그룹으로 그룹핑한 상태 및 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 공정 센서를 마련하여, 최적의 위치에 설치된 상태를 예시하는 도면이다.
- [0128] 도 5 내지 도 17은 실제 열처리 공정을 하기 전에, 기관 처리 장치를 최적하기 위한 셋팅하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 여기서 도 5 내지 도 13은 복수의 램프를 그룹핑하는 방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 14 내지 도 17은 그룹핑된 복수의 램프 그룹과 대응하는 갯수로 공정 센서를 마련하여, 최적의 위치로 공정 센서의 위치를 결정하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 18은 PID 제어 방법으로 기관을 열처리하였을 때를 예시하는 도면이고, 도 19는 PID 제어 방법과 Q-ILC 방법으로 기관을 열처리하였을 때를 예시하는 도면이다.
- [0129] 보다 구체적으로, 도 5는 복수의 램프를 복수의 그룹으로 그룹핑하기 위해, 복수의 가상 센서가 기관 면적에 대해 균일하게 분포하도록 가상 위치하고 있는 상태를 도시하는 도면이다. 도 6은 각 램프로부터의 광의 방사 형태 및 램프와 센서 간의 거리를 설명하기 위한 도면이다. 도 7a는 기관 상에 제 1 재료층이 형성된 상태를 도시한 도면이고, 도 7b는 기관 상에 제 1 재료층과 제 2 재료층이 적층된 상태를 도시한 도면이다.
- [0130] 도 8은 시간 경과에 따른 공정 센서의 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 도 9은 복수의 램프를 그룹핑하기 위해, 최소 합산값을 가지는 파워 인가 조건을 선출하는 과정을 순서적으로 설명하는 순서도이다. 도 10은 각기 다른 파워 인가 조건(제 1 파워 인가 조건, 제 2 파워 인가 조건,...)으로 복수의 램프에 파워를 인가하는 것을 설명하기 위한 표이다. 도 11은 각 램프에 대해, 시간 경과에 따른 파워 편차비의 변화를 나타낸 그래프이다. 도 12는 시간 경과에 따른 파워 편차비(ε_{ji})를 산출하여 그룹핑하는 방법을 순서적으로 설명하는 순서도이다. 도 13은 시간 경과에 따른 파워 편차비(ε_{ji})를 산출하여 그룹핑하는 방법을 예시하여 나타낸 표이다. 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 방법으로 공정 센서의 위치 결정 방법을 순서적으로 설명하는 순서도이다. 도 15 및 도 16은 공정 센서의 위치 결정을 위해, 가상 센서의 위치를 변경 모습을 예시하여 설명하는 도면이다. 도 17은 복수의 위치 조건(제 1 위치 조건, 제 2 위치 조건, 제 3 위치 조건...)에 따른 제 1 내지 제 3 가상 센서의 위치, 각 위치에 따른 온도 편차($T_k^{sp} - T_i$) 및 최대 온도 편차($\max_{i \in \{1, \dots, n_p\}} |T_k^{sp} - T_i|$)가 산출되는 것을 설명하기 위한 표이다.
- [0133] 본 발명의 실시예에 따른 기관 처리 장치는 고온의 열을 발생시키고, 이를 이용하여 기관을 급속으로 열처리하는 일명 급속열처리(RTP: Rapid Thermal Process)이다.
- [0134] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 기관 처리 장치 즉, 급속열처리 장치는 열처리 공간을 가지는 챔버(100), 내부에 위치하여 처리 대상물인 기관(S)이 지지되는 기관 지지부(200), 기관 지지부(200)와 대향 위치하며, 기관(S)을 열처리하는 열원을 제공하는 복수의 램프(320)를 구비하는 가열 블록(300), 가열 블록(300)과 기관 지지부(200) 사이에 위치하여, 복수의 램프(320)로부터 발생된 열 에너지가 기관(S)에 전달되도록 투과시키는 윈도우(400), 기관 지지부(200)에 설치되어, 기관(S)의 열처리 공정 시에 기관(S)의 온도를 측정하는 복수의 공정 센서(500), 공정 센서(500)로부터 측정되는 온도에 따라, 상기 복수의 램프의 동작을 제어하여, 기관(S)을 목적 온도로 가열하는 공정 제어 모듈(7000), 공정 센서(500)를 기관 지지부(200)에 고정 설치하기 전에, 복수의 램프(320)를 복수의 램프 그룹으로 나누어 그룹핑하고, 열처리 공정 시에 기관(S)의 온도를 측정할 공정 센서(500)의 설치 위치를 설정하는 셋팅 모듈(6000)을 포함한다.
- [0136] 실시예에 따른 기관(S)은 LCD, OLED, 태양전지 등에 적용되는 유리(glass) 기관이며, 보다 바람직하게는 대면적의 기관일 수 있다. 즉, 실시예에 따른 기관(S)은 1세대의 270[mm] × 360[mm] 크기부터 최근에는 8세대의 2,200[mm] × 2,500[mm] 크기의 대면적이며, 사각형의 형상이다. 물론 기관의 크기 및 형상은 제조하고자 하는 디스플레이의 장치에 따라 가변 가능하다.
- [0137] 챔버(100)는 처리 대상물인 기관(S)이 열처리되는 내부 공간을 가지는 통 형상으로, 예컨대, 그 횡단면이 사각형인 사각 통 형상이다. 보다 구체적으로, 실시예에 따른 챔버(100)는 상측이 개방 또는 개구된 형상이며, 이후 설명되는 윈도우(400) 및 하우징(310)에 의해 밀폐된다. 그리고 챔버(100)에는 기관(S)이 출입을 위한 출입구가 설치되고, 기관(S)의 이송을 위한 로봇이 설치될 수 있다.
- [0138] 상기에서는 챔버(100)의 형상이 사각 통 형상인 것을 설명하였으나, 이에 한정되지 않고, 기관(S)의 열처리 공

간을 가지는 다양한 형상 예컨대, 원형 또는 다각형의 형상으로 변경 가능하다.

- [0140] 기관 지지부(200)는 챔버(100)의 내부에 위치하며, 실시예에서는 챔버(100) 내 하부에 설치된다. 실시예에 따른 기관 지지부(200)는 판 형상의 베이스(210), 베이스(210)를 상하 방향으로 관통하도록 설치되며, 승하강 가능한 리프트 핀(220)을 포함한다. 리프트 핀(220)의 상부에는 같이 기관(S)이 안착 지지되며, 승하강 또는 회전 수단과 연결될 수 있다.
- [0141] 그리고 공정 센서(500)는 베이스(210)에 삽입 설치되며, 공정 센서(500)의 상부는 베이스(210) 상부면과 이격 설치된다.
- [0143] 실시예에 따른 가열 블록(300)은 챔버(100)의 상측 개구 및 윈도우(400)와 대향 위치하는 하우징(310), 하우징(310)의 연장 방향으로 나열되도록 이격 설치된 복수의 램프(320)를 포함한다.
- [0144] 하우징(310)은 챔버(100)의 상측 개구를 폐쇄 또는 밀폐하도록 챔버(100)의 상측에 설치되어, 외부 환경으로부터 챔버(100)를 보호한다. 그리고 이러한 하우징(310)에는 복수의 램프(320)가 상호 이격되도록 설치되는데, 이를 위해 하우징(310)에는 윈도우(400) 또는 기관 지지부(200)를 향하는 방향이 개구되며, 램프(320)의 수용이 가능한 복수의 장착홈(311)이 마련된다. 즉, 하우징(310)에는 상호 이격되도록 복수의 장착홈(311)이 마련되며, 장착홈(311)은 윈도우(400)를 향하는 방향 예컨대, 하측이 개구된 형상이고, 그 내부에 램프(320)가 장착된다. 실시예에 따른 장착홈(311)은 하측이 개구된 돔 형상이나, 이에 한정되지 않고 램프(320)의 삽입이 가능한 다양한 형상으로 변경이 가능하다.
- [0145] 램프(320) 각각은 상술한 바와 같이, 기관(S)의 열처리를 위한 열을 제공하는 수단으로서, 하우징(310)에 마련된 복수의 장착홈(311)에 설치된다. 이에 복수의 램프(320)로부터 발생된 열은 윈도우(400)를 거쳐 기관(S)으로 전달된다.
- [0146] 실시예에 따른 램프(320)는 예컨대, 필라멘트를 내부에 구비하여 복사열을 투과하는 램프 몸체, 램프 몸체를 고정시키는 램프 지지부, 램프 지지부에 접속되어 외부 전원을 인가받는 램프 소켓을 포함한다. 여기서 램프 몸체는 복사열이 손실없이 투과 가능하도록 유리 또는 퀴츠를 이용하여 제작될 수 있으며, 램프 몸체 내부에는 불활성 가스들(예를 들어, 할로젠, 아르곤)이 충전되는 것이 효과적이다.
- [0147] 복수의 램프(320)는 상호 이격되어 배치되는데, 그 배열 구조 또는 설치 구조는 기관(S)의 형상, 크기 등에 따라 다양하게 변경 가능하다. 또한, 도 2 및 도 3을 참조하면, 복수의 램프(320)는 기관(S)의 상면과 대응하는 위치뿐만 아니라, 기관(S)의 외각에도 설치된다.
- [0148] 예컨대, 기관(S)이 X 축 방향으로 연장된 제 1 변(S10a), X 축 방향으로 연장되며 제 1 변(S10a)과 이격되어 평행하게 위치하는 제 1 변(S10b), X 축 방향과 직교하는 Y 축 방향으로 연장되며, 제 1 변(S10a)의 일단과 제 1 변(S10b)의 일단을 연결하는 제 3 변(S20a), Y 축 방향으로 연장되고, 제 3 변(S20a)과 이격되어 평행하게 위치하여, 제 1 변(S10a)의 타단과 제 3 변(S20a)의 타단을 연결하는 제 4 변(S20b)으로 이루어진 사각형의 형상일 수 있다.
- [0149] 이러한 사각형의 기관(S)을 균일하게 열처리하기 위해, 복수의 램프(320)는 X 축 방향 및 Y 축 방향으로 각각 나열되어 이격 배치된다. 이때, 일부 복수의 램프(320)는 기관(S)의 상면과 대향하도록 위치하고, 다른 일부의 복수의 램프(320)는 기관(S)의 제 1 변(S10a) 내지 제 4 변(S20b) 각각의 외측에 위치하도록 설치된다. 여기서, 기관(S)의 제 1 변 내지 제 4 변(S20b) 각각의 외측에 위치하는 복수의 램프(320)는 기관(S)의 최외각 또는 에지(edge)를 통해 외부로 빠져나가는 열에 의해, 온도가 낮아지는 것을 방지하도록, 기관(S)의 최외각 또는 에지의 온도를 보완하는 역할을 한다.
- [0150] 이하, 도 2 및 도 3을 참조하여, 복수의 램프(320)의 배치 구조에 대해 보다 구체적으로 설명한다.
- [0151] 도 2 및 도 3을 참조하면, X 축 방향으로 복수의 램프(320)들이 나열되어 이격 배치되고, X 축 방향으로 나열된 복수의 램프(320)들이 Y 축 방향으로 나열되도록 배치된다. 설명의 편의를 위하여, X 축 방향으로 나열된 복수의 램프(320)들을 "램프 유닛(32a, 32b)"이라 명명한다.
- [0152] 도 2 및 도 3을 참조하면, X 축 방향으로 나열된 복수의 램프(320)들로 이루어진 램프 유닛(32a, 32b)이 복수개로 마련되어, Y 축 방향으로 나열, 이격 배치된다.
- [0153] 도 2에 도시된 제 1 실시예에 의하면, 복수의 제 1 램프 유닛(32a)과, 복수의 제 2 램프 유닛(32b)을 가지며, 제 1 램프 유닛(32a)과 제 2 램프 유닛(32b)이 Y 축 방향으로 교대 배치되며, 상기 제 1 램프 유닛(32a)과 제 2

램프 유닛(32b)이 지그재그 형상으로 나열되도록 배치된다. 즉, 제 1 램프 유닛(32a)을 구성하는 2개의 램프(320) 사이에 제 2 램프 유닛(32b)을 구성하는 램프(320)가 위치하도록 설치된다. 다른 말로 하면, 제 1 램프 유닛(32a)을 구성하는 각 램프(320)의 X 방향 위치와, 제 2 램프 유닛(32b)을 구성하는 각 램프의 X 방향의 위치가 상이하며, 제 1 램프 유닛(32a)의 램프(320)와 램프(320) 사이에 제 2 램프 유닛(32b)의 램프(320)가 위치한다.

[0154] 복수의 램프(320)의 배치 형태는 도 2에 도시된 제 1 실시예에 한정되지 않고, 기관(S)을 균일하게 가열할 수 있는 다양한 형태로 변경 가능하다. 예컨대 도 3에 도시된 제 2 실시예에서와 같이 Y 방향으로 나열된 복수의 램프 유닛(32a, 320b)에 있어서, 제 1 램프 유닛(32a)을 구성하는 램프(320)와 제 2 램프 유닛(32b)을 구성하는 램프(320)의 위치가 동일할 수도 있다. 다른 말로 하면, 제 1 램프 유닛(32a)을 구성하는 각 램프의 X 방향 위치와, 제 2 램프 유닛(32b)을 구성하는 각 램프(320)의 X 방향의 위치가 동일하다.

[0156] 한편, 기관의 면적이 커질수록 램프의 갯수가 증가되어야 하며, 대면적의 기관을 급속 가열하는 일반적인 RTP 열처리 장치의 경우 400 내지 600개의 램프가 필요하다. 복수의 램프의 파워를 제어하는데 있어서, 400 내지 600개의 각각의 램프를 일일이 제어하는 데는 한계가 있다. 따라서, 복수의 램프에 대해 열적 특성이 유사하거나 동일한 램프들을 하나의 그룹(즉, 램프 그룹)으로 그룹핑하여, 각 그룹별로 파워를 제어한다. 또한, 일반적으로 베이스(210)에 복수의 공정 센서(500)를 설치하는데, 본 발명에서는 그룹핑된 램프 그룹의 갯수와 대응하는 갯수로 공정 센서를 마련하여 설치한다.

[0157] 즉, 본 발명에서는 효율적이고, 신속하게 기관(S)의 균일 가열을 위한 기관 처리 장치를 제공하기 위해, 실제 열처리 공정 전 또는 기관 처리 장치 세팅 시에 복수의 램프(320)를 복수의 그룹(이하, 램프 그룹)으로 그룹핑하고, 램프 그룹 별로 램프(320)의 동작을 제어한다.

[0159] 본 발명에서는 기관(S)이 목적 온도가 되도록 하기 위해, 각 램프(320)별로 인가되는 파워 변화(즉, 파워 변화 패턴) 또는 출력 파워비가 유사한 램프(320)를 하나의 램프 그룹으로 한다. 이에, 복수의 램프는 복수의 램프 그룹으로 나누어지며, 예컨대 도 4에 도시된 바와 같이, 3개의 램프 그룹(제 1 내지 제 3 램프 그룹(320a, 320b, 320c))으로 나누어진다. 복수의 램프를 그룹핑하는 방법은 이하에서 상세하게 설명한다.

[0161] 윈도우(400)는 가열 블록(300)과 공정 챔버(100) 사이에서 챔버(100)의 상측 개구를 폐쇄하도록 설치되어, 복수의 램프(320)에서 발생된 열 에너지를 투과시키면서, 가열 블록(300)과 챔버(100)를 공간적으로 분리하여, 챔버(100) 내로 오염 물질이 유입되는 것을 차단하고, 가열 블록(300) 내부와 챔버(100) 내부의 분위기를 분리한다. 이러한 윈도우(400)는 램프(320)에서 발생하는 열 에너지 즉, 1 내지 4 μm 대역의 파장 에너지를 90% 이상 투과시킨다.

[0163] 공정 센서(500)는 기관 처리 장치의 셋팅이 종료된 후에, 기관 처리 장치를 이용한 열처리 공정 시에 기관(S)의 온도를 측정하는 수단으로서, 셋팅 모듈(6000)에서 설정된 위치에 위치하도록 베이스(210)에 삽입 설치된다. 보다 구체적으로는 베이스(210) 상에서 열처리할 기관(S)의 외측에 위치하지 않고, 기관(S) 영역 내에 위치하도록 설치된다. 그리고 공정 제어 모듈은 공정 센서(500)에서 측정된 온도 데이터를 이용하여 복수의 램프(320)의 동작을 제어한다.

[0164] 이때, 본 발명에서는 효율적이고, 신속하게 기관(S)의 균일 가열을 위한 기관 처리 장치를 제공하기 위해, 본 발명에 따른 방법으로 목적 온도와의 최대 온도 편차를 줄이는 방향으로 공정 센서(500)의 위치를 결정하여 사전 세팅한다. 설치되는 공정 센서(500)의 갯수는 램프 그룹의 갯수와 대응 또는 동일하도록 마련되는 것이 바람직하다. 예컨대, 복수의 램프(320)를 3개의 램프 그룹(320a, 320b, 320c)으로(제 1 내지 제 3 그룹(320a, 320b, 320c))으로 그룹핑하였다면, 공정 센서(500)는 3개(이하, 제 1 내지 제 3 공정 센서(500a, 500b, 500c))가 마련된다. 그리고, 공정 제어 모듈(7000)은 실제 공정 시에, 제 1 내지 제 3 공정 센서(500a, 500b, 500c) 각각에서 측정되는 온도에 따라 복수의 램프(320)의 동작을 제어한다.

[0165] 실시예에 따른 공정 센서(500)는 파장을 측정하는 파이로미터로서, 광감지부(detector)와 광소스(light source)를 포함한다. 광감지부는 기관(S)에서 방출되는 복사광과 광소스에서 기관(S)에 조사되어 반사되어 나오는 반사광을 입력받아 광의 방출 세기(radiant intensity)와 복사율(emissivity)을 통하여 파장을 측정한다. 그리고, 공정 센서(500)에서 측정된 파장은 에너지로 변환 산출되는데, 파장을 에너지로 변환하는 것은 알려진 바와 같이 에너지를 E, 파장을 λ , h는 플랑크(planck) 상수, c는 광속이라 할 때, 에너지 $E = (hc)/\lambda$ 에 의해 변환 산출할 수 있다. 따라서 챔버(100) 내에서 열처리되는 기관(S)에서 발생하는 파장을 측정하여 기관(S) 측정 에너지로 변환 산출할 수 있다. 상기 식에서 에너지와 파장은 서로 반비례 관계를 가짐을 알 수 있다. 또한 참고로

플랑크(planck) 상수인 h 의 값은 6.626×10^{-34} [J/S]이며, 광속 상수인 c 는 3×10^8 [m/s]의 값을 가진다.

[0167] 본 발명의 셋팅 모듈(6000)에서는 복수의 램프(320)로 인가되는 파워에 따른 기관(S)의 온도 분포 또는 기관의 영역 별 온도, 그리고 각 램프(320)에 대한 파워비를 이용하여 그룹핑한다. 따라서, 기관 처리 장치의 셋팅 작업 시에, 기관(S)의 온도 분포 또는 기관(S)의 영역 별 온도를 검출하기 위한 복수개의 센서가 필요하다. 이때, 램프의 갯수가 증가할 수록 많은 양의 센서가 필요하다. 본 발명에서는 셋팅 작업 시에, 실제로 복수개의 센서를 베이스(210) 상에 직접 설치하지 않고, 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 베이스(210) 상에서 각기 다른 위치에 가상으로 위치하도록 복수의 가상 센서(50)의 위치를 설정한다. 그리고, 후술되는 열적 모델을 이용하여, 복수의 가상 센서(50) 각각에서의 온도를 산출한다.

[0168] 이에, 복수의 가상 센서(50) 각각으로부터 측정되는 온도는 다른 말로 하면, 기관(S)의 영역 별 또는 위치별 온도가 된다.

[0169] 예컨대, 가열 블록(300)이 39개의 램프(320)를 포함한다고 할 때, 복수의 램프를 그룹핑 하는 과정에서 225개의 가상 센서를 기관에 대해 균일하게 분포하도록 등 간격으로 가상 위치시킨다.

[0171] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 셋팅 모듈에 대해 상세히 설명한다.

[0172] 셋팅 모듈(6000)은 기관 처리 장치를 이용한 실제 열처리 공정 전에, 신속하고 효율적으로 기관을 균일 열처리 하기 위해, 사전에 최적화시키는 장치이다. 본 발명의 실시예에서는 기관(S)을 목적 온도로 승온 또는 유지시키기 위해, 복수의 램프(320) 각각을 동작시킬 때, 각 램프(320)로 인가되는 출력 파워비가 유사한 램프들끼리 하나의 램프 그룹으로 설정한다.

[0174] 본 발명의 실시예에 따른 셋팅 모듈(6000)은 목적 온도 달성을 위한 파워 인가 조건 변경에 따라 복수의 가상 센서(50a, 50b, 50c) 각각에서의 온도를 산출하는 센서 온도 산출 유닛(6100), 파워 인가 조건에 따른 가상 센서(50)의 산출 온도와 상기 목적 온도 간의 최대 온도 편차와, 각 램프(320)의 파워와 평균 파워 간의 차이의 합산값이 최소가 되는 파워 인가 조건을 선택 또는 선출하는 최소값 선택 유닛(6200), 최소값 선택 유닛(6200)에서 선택된 파워 인가 조건을 적용하여, 복수의 램프(320)를 동작시키고, 복수의 램프(320) 각각의 파워 편차비를 산출하고, 복수의 램프(320) 각각의 파워 편차비에 따라, 복수의 램프(320)를 복수의 램프 그룹으로 그룹핑 하는 그룹핑 유닛(6300), 복수의 램프 그룹(320a, 320b, 320c)과 대응하는 갯수로 복수의 가상 센서(50)의 위치를 설정하고, 상기 복수의 가상 센서(50)의 위치 조건 변경에 따라 산출된 상기 복수의 가상 센서(50) 각각의 온도와 목적 온도 간의 최대 온도 편차가 최소가 되는 복수의 가상 센서(50) 각각의 위치를 공정 센서(500)가 설치될 위치로 결정하는 센서 위치 결정 유닛(6430)을 포함한다.

[0175] 본 발명의 실시예에 따른 최소값 선택 유닛(6200)은 열적 모델을 근거로하여, 열적 특성에 대한 최소-최대 최적화 알고리즘(Multi-Input Multi-Output, MOMO)를 적용한다. 실시예에 따른 최소값 선택 유닛(6200)은 센서 온도 산출 유닛(6100)에서 산출된 파워 인가 조건에 따른 각 가상 센서(50)의 온도와 목적 온도 간의 온도 편차를 산출하고, 산출된 온도 편차 중 최대 온도 편차를 선택 또는 선출하는 최대값 선택부(6210), 파워 인가 조건에 따른 각 램프(320)의 파워와 평균 파워 간의 차이를 연산하는 파워 연산부(6220), 파워 인가 조건에 따라 최대값 선택부(6210)에서 선택된 최대 온도 편차와 파워 연산부(6220)에서 연산된 파워 편차를 합산하는 합산부(6230), 파워 인가 조건에 따라 합산부(6230)에서 합산된 복수의 합산값 중, 최소값을 선택 또는 선출하고, 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 선택하는 최소값 선택부(6240)를 포함한다.

[0176] 이하, 최소값 선택 유닛에서의 최소값 선택 또는 선출 과정 및 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 선택하는 과정을 상세히 설명한다. 이때, 램프가 예컨대 39개, 가상 센서가 225개가 설치된 것을 예를 들어 설명한다(도 5 참조).

[0177] 최소값 선택 유닛에서는 수학적 1을 통해 최소값을 산출하고, 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 선출 또는 선택한다.

수학적 1

[0178] $\min_j \gamma$

$$\text{subject to } \left\{ \max_{i \in \{1, \dots, n_i\}} |T_k^{sp} - T_i| + \beta \sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j| \right\} \leq \gamma$$

$$p_{\min} \leq p_j \leq p_{\max}$$

$$T^4 = \sum_{j=1}^{n_p} G(n_j) p_j + b$$

여기서, T_k^{sp} 는 기관(S)을 열처리하고자 하는 목적 온도를 의미하고, i 는 가상 센서(50)를 의미하며, n_i 는 가상 센서(50)의 총 갯수를 의미하고, 예컨대, 가상 센서(50)의 갯수가 225개이고, 복수의 가상 센서(50)가 순차적으로 1부터 225까지 넘버링되었다고 할 때, i 는 1 내지 225 값을 가진다($i \in \{1, \dots, 225\}$). 그리고 예컨대 i 가 1인 경우, 제 1 가상 센서, i 가 2인 경우, 제 2 가상 센서, i 가 225인 경우 제 225 가상 센서를 의미한다. T_i 는 가상 센서(50)의 온도로서, T_i 에서 i 가 1인 경우, 제 1 가상 센서의 온도, i 가 2인 경우, 제 2 가상 센서의 온도, i 가 225인 경우, 제 225 가상 센서의 온도를 의미한다. 이에, $T_k^{sp} - T_i$ 는 목적 온도(T_k^{sp})와 복수의 가상 센서 중 어느 하나의 가상 센서의 온도 간의 차이값인 온도 편차이며, $\max_{i \in \{1, \dots, n_i\}} |T_k^{sp} - T_i|$ 는 제 1 내지 제 225 가상 센서 각각에서 검출된 각 온도와 목적 온도(T_k^{sp}) 간의 온도 편차 중 최대 온도 편차를 의미한다.

수학식 1에서 j 는 각 램프(320)를 의미하고, n_p 는 램프의 총 갯수이며, 램프(320)의 총 갯수가 39개이고, 각 램프(320)가 1부터 39까지 넘버링되었다고 할 때, j 는 1 내지 39 값을 갖는다. 예컨대, j 가 1인 경우 제 1 램프, j 가 2인 경우 제 2 램프, j 가 39인 경우 제 39 램프를 의미한다. 그리고, P_j 는 램프(320)의 파워값으로서, P_j 에서 j 가 1인 경우 제 1 램프로 출력된 파워, j 가 2인 경우 제 2 램프로 출력된 파워, j 가 39인 경우 제 39 램프로 출력된 파워를 의미하며, 각 램프(320)로 인가되는 파워(P_j)는 기 설정되는 최소 파워($P_{\min}$) 이상, 최대 파워($P_{\max}$) 이하로 조절된다. $\bar{p}$ 는 복수의 램프(320)에 대한 평균 파워로서, 복수의 램프(320) 각각으로 인가된 파워의 합을 램프(320)의 총 갯수(n_p)로 나눈 값이다. 이에, $|\bar{p} - p_j|$ 는 평균 파워($\bar{p}$)와 복수의 램프 중 어느 하나의 램프의 파워(p_j) 간의 파워 편차를 의미하고, $\sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j|$ 는 제 1 내지 제 39 램프의 각 파워(p_j)와 평균 파워($\bar{p}$) 간의 파워 편차를 의미한다. 그리고 β 는 가중치로서, 어느 하나의 수일 수 있으며, β 값이 클 수록 최소값에 미치는 파워 편차의 영향이 크다.

상술한 바와 같이, 목적 온도(T_k^{sp})와 가상 센서(50) 온도(T_i) 간의 온도 편차 $|T_k^{sp} - T_i|$ 를 산출하기 위해서는, 각 가상 센서(50)에서의 온도(T_i)를 검출해야 한다. 이를 위해 본 발명에서는 각 가상 센서(50)에서의 온도를 검출하는데 있어서, 실제 공정 센서(500)를 베이스(210)에 설치하여, 직접 측정하는 것이 아니라, 복수의 가상 위치에 가상 센서(50)의 위치를 설정하고, 본 발명에 따른 열적 모델(수학식 2)을 통한 연산을 통해 산출한다. 따라서, 많은 갯수의 공정 센서(500)를 직접 베이스(210)에 설치하여 셋팅하는 종래에 비해, 셋팅 시간을 단축할 수 있는 효과가 있다.

한편, 기관(S)의 온도는 복수의 램프(320)로부터 기관(S)을 향해 방사되는 광의 열에너지, 기관(S)이 가지고 있는 열 에너지, 복사 열에 의해 기관(S) 외부로 빠져나가는 열 에너지에 따라 달라진다. 즉, 도 6a를 참조하면, 복수의 램프(320)가 상호 이격 설치되어 있고, 복수의 램프(320)와 대향하는 위치에 복수의 공정 센서(500)가 상호 이격 설치되어 있을 때, 복수의 공정 센서(500) 각각에서 측정되는 온도는 복수의 램프(320)와의 이격 거리에 따라 달라진다. 여기서, 공정 센서(500)와 램프(320) 간의 이격 거리는 동일면 상에서의 수평 방향(x-y 방향)에서의 거리를 의미한다.

[0188] 다시 돌아와, 공정 센서(500)에서 측정되는 온도는, 복수의 램프(320) 각각에서 기관(S)을 향해 광이 방사되었을 때, 광의 일부가 중첩되는 영역이 발생되고, 광의 중첩 정도는 복수의 램프(320) 간의 이격 거리에 따라 달라진다. 그리고 공정 센서(500)로부터 측정되는 온도는 상기 공정 센서(500)와 램프(320)와의 이격 거리 및 기관(S)에서의 열 전달 정도에 따라 달라진다.

[0189] 이를 도 6을 참조하여 다시 설명하면, 도 6a의 복수의 공정 센서(500)를 제 1 내지 제 3 공정 센서(500a, 500b, 500c)라고 하고, 복수의 램프(320)를 제 1 내지 제 3 램프(321, 322, 323)라고 할 때, 제 1 공정 센서(500a)에서 측정되는 온도는 제 1 공정 센서(500a)와 인접하여 위치하는 제 1 램프(321)와 제 2 램프(322)로부터 각기 방사되는 광의 영향을 받는다. 제 3 공정 센서(500c)에서 측정되는 온도는 제 3 공정 센서(500c)와 인접하여 위치하는 제 1 램프(321)와 제 2 램프(322)로부터 각기 방사되는 광의 영향을 받는다. 마찬가지로 제 2 공정 센서(500b)에서 측정되는 온도는 제 2 공정 센서(500b)와 인접하여 위치하는 제 2 램프(322) 뿐만 아니라, 그 주위에 위치하고 있는 제 1 램프(321) 및 제 3 램프(323)로부터 각기 방사되는 광의 영향을 받는다. 이는 각 램프(321, 322, 323)로부터 방사되는 광이 기관(S)을 향해 방사형으로 조사되어, 광 조사 면적의 중첩 영역이 발생되고, 또한 광이 기관(S)에 조사되면, 그 열이 기관(S)을 통해 다른 영역으로 전달되기 때문이다.

[0190] 또한, 복수의 램프(320)로부터 기관(S)을 향해 광을 방사하였을 때 발생된 에너지가 모두 기관(S)으로 흡수되어 상기 기관을 가열하는데 사용되지 않고, 일부는 복사 열에 의해 기관(S) 외부로 빠져나간다.

[0191] 따라서, 본 발명에 따른 센서 온도 산출 유닛(6100)에서는 가상 센서(50)의 온도를 검출할 때, 가상 센서(50)와 복수의 램프(320) 간의 이격 거리, 복사에 의해 기관(S)으로부터 빠져나가는 열, 기관(S)이 가지고 있는 상온에서의 열 에너지를 고려하여 산출한다. 즉, 센서 온도 산출 유닛(6100)에서는 복수의 램프(320)로부터 기관(S)을 향해 공급되는 열 에너지, 기관(S)이 가지고 있는 본래의 열 에너지, 복사열에 의해 기관(S)으로부터 빠져나가는 온도, 램프(320)와 가상 센서(50) 간의 거리에 따른 온도 관계를 열적 모델링하고, 이를 이용하여 가상 센서(50)의 온도를 산출한다.

[0192] 센서 온도 산출 유닛(6100)에서 가상 센서(50)의 온도를 산출하는 열적 모델은 수학적 2와 같다. 수학적 2의 열적 모델은 대류에 의한 열전달을 무시한 상태에서, 복수의 램프와 공정 센서를 가지는 테스트 장치를 이용한 복수번의 실험을 통해 도출된 결과다.

수학적 2

$$\lambda \frac{dT_i}{dt} = -T^4 + \sum_{j=1}^{n_p} G(r_{ij})p_j + b$$

[0193]

[0194] 수학적 2에서 t는 시간, T_i 는 가상 센서(50)에서 산출된 온도, λ 는 시간에 따른 공정 센서(500)의 온도의 변화 정도를 결정하는 가중치 또는 변수(상수)이다. b는 상온에서 기관(S) 자체가 가지고 있는 본래의 열 에너지이고, $-T_i^4$ 는 복사열에 의해 기관(S)으로부터 빠져나가는 열 에너지이다.

[0195] $\sum_{j=1}^{n_p} G(r_{ij})p_j + b$ 는 복수의 램프(320)로부터 기관(S)을 향해 공급되는 열 에너지를 의미하는 것으로, j는 복수의 램프(320) 중 어느 하나의 램프(320), i는 가상 센서(50), r_{ij} 는 복수의 램프(320) 중 어느 하나의 램프(320)와 복수의 가상 센서(50) 중 어느 하나의 가상 센서(50) 간의 거리를 의미한다. 여기서, G는 복수의 램프(320)와 복수의 가상 센서(50) 각각의 거리의 가중치 정도를 결정하는 가중치 상수이다.

[0196] 여기서 어느 하나의 램프(320)와 어느 하나의 가상 센서(50) 간의 거리(r_{ij})는 도 6b에 도시된 바와 같이, 원점(0)으로부터 어느 하나의 램프(320)의 거리(r_j)와, 원점(0)으로부터 어느 하나의 가상 센서(50)까지의 거리(r_i)를 통해 어느 하나의 램프(320)와 어느 하나의 가상 센서(50) 간의 거리(r_{ij})를 산출할 수 있다.

[0197] 한편, 단일 박막이 형성된 기관(S)의 열적 특성과, 서로 다른 재료가 적층 형성된 기관(S)의 열적 특성은 서로 상이하다. 예컨대, 도 7a와 같이 복수의 램프(320)를 동작시켜 제 1 재료층(10)이 형성된 기관(S)을 가열할 때의 열적 변화 특성과, 도 7b에 도시된 바와 같이, 제 1 재료층(10) 상에 제 2 재료층(20)이 형성된 기관(S)

을 가열할 때의 열적 변화 특성이 상이하다. 이는, 재료에 따라, 서로 다른 재료의 적층 여부에 따라 램프(320)로부터 방사되는 광의 흡수율이 상이하기 때문이다.

[0198] 따라서, 본 발명에서는 가상 센서(50)의 온도를 산출하는데 있어서, 수학식 2에 막질에 따른 변수인 n 를 적용한 수학식 3을 통해 가상 센서(50)의 온도를 산출하고, 이를 이용하여 복수의 램프(320)를 그룹핑하고, 공정 센서(500)의 위치를 결정할 수도 있다.

수학식 3

[0199]
$$\eta\lambda \frac{dT_i}{dt} = -T_i^4 + \sum_{j=1}^{n_p} G(n_{ij})p_j + b$$

[0200] 여기서, n 는 기관(S) 상에 적층된 박막의 재료, 적층수 등에 따라 달라지는 상수값으로서, 여러 번의 실험을 통해 적층 재료 및 적층수에 따라 n 를 설정할 수 있으며, 열처리하고자 하는 재료 및 적층 재료에 따라 실험을 통해 도출된 n 값을 수학식 3에 적용한다.

[0201] 이하에서는 설명의 편의를 위하여, 가상 센서의 온도를 산출하는데 있어서, 수학식 2를 예시하여 설명한다. 하지만 이하에서 설명되는 가상 센서 온도 산출은 수학식 2에 국한되지 않고, 수학식 3의 적용이 가능하다.

[0203] 한편, 목적 온도(T_k^{sp}) 달성을 위해 복수의 램프(320)를 동작시키면, 도 8에 도시된 바와 같이, 복수의 가상 센서(50) 각각 온도(T_i)는 시간이 경과함에 따라 상승된 후, 시간에 따라 온도가 변하지 않는 또는 변화 폭이 적은 안정화 상태에 접어든다.

[0204] 복수 램프(320)의 그룹핑을 위해 가상 센서(50)의 온도(T_i)를 산출하는데 있어서, 시간의 경과에 따라 온도가 변하는 또는 상승하는 비안정화 구간이 아니라, 안정화 구간에서의 온도를 검출해야 한다. 따라서, 수학식 2를 안정화 구간에 적용하면, 수학식 4로 대체된다.

수학식 4

[0205]
$$T^4 = \sum_{j=1}^{n_p} G(n_{ij})p_j + b$$

[0207] 본 발명에서는 복수의 공정 센서(500)로 온도를 직접 측정하지 않고, 수학식 2 내지 수학식 4와 같은 열적 모델을 통해 각 가상 센서에서의 온도를 산출할 수 있다.

[0208] 그리고, 수학식 2 내지 수학식 4와 같은 열적 모델을 통해 램프(320)로부터 공급되는 에너지($\sum_{j=1}^{n_p} G(n_{ij})p_j$), 복사 열로 빠져 나가는 에너지(T^4), 상온에서 기관(S)이 가지고 있는 열 에너지(b)를 고려하고, 또한 램프(320)로부터 공급되는 에너지에 있어서, 램프(320)와 가상 센서(50) 간의 이격 거리(r_{ij})를 고려하여 모델링을 하였기 때문에, 신뢰성 있는 가상 센서(50)의 온도 값을 산출할 수 있다. 따라서, 장치의 셋팅을 위해 작업자가 직접 복수의 공정 센서(500)에서의 온도를 측정할 때에 비해 시간을 단축하면서, 온도 신뢰성을 확보할 수 있다.

[0210] 수학식 4의 열적 모델에서 산출된 가상 센서(50)의 온도(T_i)는 수학식 1에서 최대 온도 편차를 산출하는 $\max_{i \in \{1, \dots, n_p\}} |T_k^{sp} - T_i|$ 에서 T_i 에 적용된다.

[0211] 이하에서는 도 9 및 도 10를 참조하여, 수학식 1을 이용한 최소값 선출 방법을 설명한다.

[0212] 최소값 선출을 위해서는 복수의 램프(320)로 인가되는 파워(P_j)를 변경하여, 그에 따른 최대 온도 편차와 파워 편차의 합산값을 산출하고, 파워 변경에 따른 복수의 합산값 중 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 선택(또는 선출)한다. 즉, 복수의 램프(320) 각각에 파워를 인가하는 조건인 복수의 파워 인가 조건이 있고, 복수의 파워

인가 조건은 복수의 램프(320) 중 적어도 하나에 인가되는 파워 값이 서로 다르다. 예컨대, 도 10에 도시된 바와 같이 복수의 파워 인가 조건을 제 1 내지 파워 인가 조건, 제 2 파워 인가 조건, 제 3 파워 인가 조건으로 명명한다고 한다고 할 때, 복수의 파워 인가 조건은 복수의 램프 중 적어도 하나에 인가되는 파워가 다르다. 예컨대, 제 1 파워 인가 조건에서의 제 1 내지 제 39 램프 각각으로 인가되는 파워는 제 2 파워 인가 조건에서의 제 1 내지 제 39 램프 각각으로 인가되는 파워가 모두 다르거나, 어느 하나의 램프만 동일하고 나머지 램프에 대해서는 모두 다르거나, 일부의 복수 램프에 대해서는 동일하고 나머지 복수의 램프에 대해서는 동일할 수 있다.

[0213] 그리고, 이렇게 각기 다른 파워 인가 조건에 따라 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$)와 평균 파워($\bar{p}$)와 각 램프

(320)의 파워(p_j) 간을 합산한 합산값($\beta \sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j|$)이 달라지며, 본 발명에서는 복수의 합산값 중 최소값을 가지는 파워 인가 조건을 선택하여 복수의 램프를 그룹핑 하는데 적용한다.

[0214] 도 9을 참조하면, 먼저 복수의 램프(320) 각각에 파워를 인가하며(S100), 예컨대 도 10에 도시된 바와 같은 제 1 파워 인가 조건으로 복수의 램프(320) 각각에 파워를 인가한다. 제 1 파워 인가 조건으로 복수의 램프(320) 각각에 파워가 인가되면 복수의 램프(320)에 인가된 평균 파워($\bar{p}$)를 산출하고(S210), 평균 파워($\bar{p}$)와 복수의

램프(320) 각각의 편차($\sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j|$)를 산출한다(S220).

[0215] 또한, 한편에서는 제 1 파워 인가 조건에 따라 복수의 램프(320)에 인가된 파워에 따른 복수의 가상 센서(50) 각각의 온도(T_i)를 산출한다(S310). 각 가상 센서(50)의 온도(T_i)가 산출되면 목적 온도(T_k^{sp})와 각 가상 센서(50)의 온도(T_i) 간의 온도 편차 $|T_k^{sp} - T_i|$ 를 산출하고, 산출된 복수의 온도 편차 $|T_k^{sp} - T_i|$ 중, 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$)를 탐색, 선택한다(S330).

[0216] 이후, 산출된 평균 파워 $\bar{p}$ 와 복수의 램프(320) 각각의 파워(p_j) 간의 차이값인 파워 편차($\sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j|$)와 $\max |T_k^{sp} - T_i|$ 를 합산한다. 이때, 평균 파워 $\bar{p}$ 와 복수의 램프(320) 각각의 파워 편차 $\sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j|$ 에 가중치 β 를 곱하여 합산한다(S400).

[0218] 다음으로, 제 2 파워 인가 조건으로 복수의 램프(320)에 파워를 인가하여(S100), 상술한 방법과 동일한 과정(S210, S220, S310, S320, S330)을 거쳐 산출된 평균 파워($\bar{p}$)와 복수의 램프(320) 각각의 파워(p_j) 간의 차이

값인 파워 편차($\sum_{j=1}^{n_p} |\bar{p} - p_j|$)와 $\max |T_k^{sp} - T_i|$ 를 합산한다.

[0219] 마찬가지로, 제 3 파워 조건, 제 4 파워 조건……, 제 N 파워 조건으로 복수의 램프(320)에 파워를 인가하여, 복수의 합산값을 산출하고, 복수의 합산값 중 최소 합산값을 가지는 파워 인가 조건을 선택한다(S500).

[0221] 그룹핑 유닛(6300)은 최소값 선택 유닛(6200)에서 선택된 파워 인가 조건을 적용하여, 복수의 램프(320)를 복수의 램프 그룹으로 그룹핑한다. 본 발명의 실시예에 따른 그룹핑 유닛(6300)에서는 각 램프(320)의 파워비를 이용하여 동일 또는 유사한 파워비를 가지는 램프들을 하나의 램프 그룹으로 그룹핑한다. 실시예에 따른 그룹핑 유닛(6300)은 파워가 인가되기 시작하여 파워 및 온도가 가변되는 불안정화 구간에서부터 파워 및 온도가 안정화되는 구간까지 각 램프에 대한 파워 편차비를 산출하는 파워 편차비 연산부(6310), 각 램프(320)에 대한 파워 편차비를 상호 비교하여, 동일 또는 유사한 파워 편차비를 가지는 램프들을 하나의 램프 그룹으로 그룹핑하는 그룹핑부(6230)를 포함한다.

[0222] 이하, 도 11 내지 도 13을 참조하여, 그룹핑 유닛(6300)에서의 그룹핑 과정을 상세히 설명한다. 램프(320)가 예컨대 39개, 가상 센서(50)가 225개가 설치된 것을 예를 들어 설명한다.

[0223] 목적 온도(T_k^{sp})를 달성하기 위해 복수의 램프(320) 각각에 대해 파워를 인가하면, 도 11에 도시된 바와 같이, 시간의 경과에 따라 각 램프(320)에서의 파워가 가변된다. 이때, 일반적으로 각 램프(320)에는 소정 시간까지 출력 파워가 증가하다가, 감소하고 이후 그 변화폭이 작은 안정화 구간으로 접어든다.

[0224] 본 발명의 실시예에 따른 파워 편차비 연산부(6310)에서는 각 램프(320)에 대해 파워 편차비를 산출하는데, 이때 램프(320)로 파워가 인가되는 시점부터 불안정화 구간을 거쳐 안정화 구간에 걸쳐 상기 램프(320)로 인가되는 파워의 편차비를 산출한다. 도 11을 참조하여 설명하면, 시간 경과에 따라 복수의 산출 시점에서 각 램프(320)에 대한 파워 편차비를 산출하는데, 산출 시점을 "K"라 할 때, 산출 시점은 시간 경과에 따라 1, 2, 3, 4, ..., n_{sp} 으로 가변되며, n_{sp} 는 산출 종료 시점이고, 1, 2, 3, 4, ..., n_{sp} 각각에서 산출 시점에서 파워 편차비를 산출한다.

[0225] 파워 편차비 연산부(6310)에서는 수학적식 5을 통해 파워 편차비(ε_{j1})를 산출한다.

수학적식 5

$$\frac{1}{n_{sp}} \sum_{k=1}^{n_{sp}} \left| \frac{\alpha_{j1}(T_k^{sp}) - \bar{\alpha}_{j1}}{\bar{\alpha}_{j1}} \right| = \varepsilon_{j1}$$

$$j = 1, \dots, n_p$$

[0229] 수학적식 5에서, α_{j1} 는 각 램프(320)의 파워비, $\bar{\alpha}_{j1}$ 는 각 램프(320)의 평균 파워비, n_{sp} 는 산출 시점인 k의 갯수이다. 여기서, 각 램프(320)의 평균 파워비($\bar{\alpha}_{j1}$)는 각 램프(320)의 파워비(α_{j1})를 k의 갯수로 나눈 값으로, 이를 수학적식으로 나타내면, 수학적식 6과 같다.

수학적식 6

$$\bar{\alpha}_{j1} = \frac{1}{n_{sp}} \sum_{k=1}^{n_{sp}} \frac{p_j(T_k^{sp})}{p_1(T_k^{sp})}$$

$$j = 1, \dots, n_p$$

[0234] $k = 1, 2, 3, \dots, n$ 각각에서의 각 램프(320)의 파워비(α_{j1})는 기준이 되는 어느 하나의 램프에서의 파워 대비 각 램프(320)의 파워(p_j)에 대한 비율 값이다. 예컨대, 기준이 되는 램프를 제 1 램프라고 할 때, 제 1 램프에서의 파워는 P_1 이 되고, 기준 파워 P_1 와 복수의 램프 각각에 대해 $k = 1, 2, 3, \dots, n_{sp}$ 에서의 파워비를 산출하여 합산하며, 이를 수식으로 나타내면 수학적식 6과 같다.

[0235] 기준이 되는 램프는 상술한 제 1 램프에 한정되지 않고, 복수의 램프 중, 어느 하나의 램프가 되며, 산출시에 기준이되는 램프(320)를 고정하여 각 램프(320)의 파워비를 산출한다.

[0236] 예를 들어, 기준 파워를 제 1 램프의 파워(p_1)로 하고, 제 2 램프의 파워(P_2)의 파워비($\alpha_{2,1}$)를 산출한다고 할 때, 아래의 수식과 같이 풀이된다.

$$\sum_{k=1}^{n_p} \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_2}{p_1} (k=1) + \frac{p_2}{p_1} (k=2) + \dots + \frac{p_2}{p_1} (k=n_{sp}) = \alpha_{2,1}$$

- [0238] 산출된 제 2 램프의 파워비($\alpha_{2 \cdot 1}$)를 수학적 식 6에 적용하여 k의 갯수로 나누면, 제 2 램프의 평균 파워비($\bar{\alpha}_{21}$)가 산출된다.
- [0239] 그리고, 각 램프(320)의 파워비(α_{j1})와, 평균 파워비($\bar{\alpha}_{j1}$)를 수학적 식 5에 적용하면, 도 13에서와 같이, 각 램프(320)에 대한 파워 편차비($\varepsilon_{j \cdot 1}(\varepsilon_{1 \cdot 1}, \varepsilon_{2 \cdot 1}, \varepsilon_{3 \cdot 1}, \dots, \varepsilon_{39 \cdot 1})$)가 산출된다.
- [0240] 그룹핑부(6230)에서는 각 램프(320)에 대한 파워 편차비 즉, $\varepsilon_{1 \cdot 1}, \varepsilon_{2 \cdot 1}, \varepsilon_{3 \cdot 1}, \dots, \varepsilon_{39 \cdot 1}$ 를 상호 비교하여 복수의 램프 그룹으로 그룹핑 한다. 이때, 그룹핑부(6230)에는 복수의 그룹 각각을 결정하는 기준 파워 편차비를 기 설정되고, 각 기준 파워 편차비에 포함된 램프(320)를 해당 램프 그룹으로 결정한다. 예컨대, 제 1 램프 그룹의 기준 파워 편차비(이하, 제 1 기준 파워 편차비)를 0.1 내지 0.3, 제 2 램프 그룹의 기준 파워 편차비(이하, 제 2 기준 파워 편차비)를 0.4 내지 0.6, 제 3 램프 그룹의 기준 파워 편차비(이하, 제 3 기준 파워 편차비)를 0.7 내지 0.9로 한다. 그리고 그룹핑부(6230)에서는 파워 편차비(ε_{j1})가 0.1 내지 0.3 인 램프를 제 1 램프 그룹, 파워 편차비(ε_{j1})가 0.4 내지 0.6 인 램프를 제 2 램프 그룹, 파워 편차비(ε_{j1})가 0.7 내지 0.9 인 램프를 제 3 램프 그룹으로 나눈다.
- [0242] 이하에서는 도 10 내지 도 13를 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 그룹핑부(6230)에서 수학적 식 5 및 수학적 식 6을 이용한 그룹핑 방법을 설명한다.
- [0243] 먼저, 도 9에서 설명한 방법에 의해 최소 합산값을 가지는 파워 인가 조건으로 각 램프를 동작시켜(S410), 각 램프(320)의 평균 파워비($\bar{\alpha}_{j1}$)를 산출한다(S430). 즉, 수학적 식 6에서와 같이, 시간 경과에 따라 복수의 산출 시점($k = 1, 2, 3, \dots, n_{sp}$)에서 각 램프의 파워비(α_{j1})를 산출하고(S420), 파워비(α_{j1})를 k의 갯수(n_{sp})로 나누어, 각 램프(320)의 평균 파워비($\bar{\alpha}_{j1}$)를 산출한다(S430). 그리고, 수학적 식 6에서 산출된 평균 파워비($\bar{\alpha}_{j1}$)를 수학적 식 5에 적용하여 평균 파워비($\bar{\alpha}_{j1}$)와 각 램프(320)의 파워 편차비($\alpha_{j \cdot 1}$) 간의 파워 편차비(ε_{j1})를 산출한다(S440).
- [0244] 그룹핑부(6230)에서는 각 램프(320)에 대한 파워 편차비(ε_{j1})를 상호 비교하여(S450), 복수의 램프 그룹으로 그룹핑 한다(S460). 예컨대, $\varepsilon_{j \cdot 1}$ 가 0.1 내지 0.3의 값을 가지는 제 14 램프, 제 15 램프, 제 19 램프, 제 20 램프, 제 21 램프, 제 25 램프, 제 26 램프가 제 1 그룹이되고, $\varepsilon_{j \cdot 1}$ 가 0.4 내지 0.6의 값을 가지는 제 8 램프, 제 9 램프, 제 10 램프, 제 13 램프, 제 16 램프, 제 24 램프, 제 27 램프, 제 30 내지 제 32 램프가 제 2 그룹이되며, $\varepsilon_{j \cdot 1}$ 가 0.7 내지 0.9의 값을 가지는 제 1 내지 제 7 램프, 제 11 램프, 제 12 램프, 제 17 램프, 제 18 램프, 제 22 램프, 제 23 램프, 제 28 램프, 제 29 램프, 제 33 내지 제 39 램프가 제 3 그룹이 된다.
- [0245] 그룹핑 유닛(6300)에서 복수의 램프(320)의 그룹핑이 종료되면, 센서 위치 결정 유닛(6430)에서는 실제 열처리 공정에서 사용할 공정 센서(500)의 위치를 결정한다.
- [0246] 본 발명에서는 공정 센서(500)의 위치를 결정하는데 있어서, 베이스(210) 상의 좌표 또는 열처리할 기판(S)의 좌표 상에서 가기 다른 위치에 복수의 가상 센서(50)의 위치를 설정하고, 상기 복수의 가상 센서(50)의 위치 변경에 따른 각 가상 센서에서의 온도에 따라 공정 센서(500)를 설치할 위치를 결정한다. 이때, 공정 센서(500)는 램프 그룹과 대응하는 갯수로 마련되므로, 공정 센서(500)의 위치 결정 과정에서의 가상 센서(50)는 램프 그룹과 대응하는 갯수로 설정된다.
- [0247] 보다 구체적으로 복수의 가상 센서(50)의 가상 위치를 변경하면서 목적 온도(T_k^{sp})와 각 가상 센서(50)의 온도(T_i) 간의 온도 편차($|T_k^{sp} - T_i|$) 중, 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$)가 최소가 되는 가상 센서(50)의 위치에 공정 센서(500)를 설치한다.
- [0248] 복수의 가상 센서(50)의 위치를 변경하고, 변경에 따른 가상 센서(50)의 온도를 산출하는데, 복수의 가상 센서(50) 중 하나의 가상 센서(50) 위치가 변경되면, 각 가상 센서(50)에서의 산출 온도, 각 가상 센서(50)의 온도와 목적 온도 간의 온도 편차 중, 최대 온도 편차가 달라진다.
- [0249] 이에, 본 발명에서는 복수의 가상 센서(50)에 대해, 적어도 하나의 위치를 변경하고, 이에 따른 각 가상 센서

(50)의 온도를 산출하고, 이 중 최대 온도 편차를 선택한다. 그리고 복수의 가상 센서(50)에 대한 위치 변경을 복수번 실시하여, 복수의 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$)를 산출하고, 센서 위치 변경에 따른 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$) 중, 최소가되는 센서 위치를 획득한다.

- [0251] 이하에서는 설명의 편의를 위하여, 복수의 가상 센서(50) 중 적어도 하나의 위치가 변경될 때, 이를 위치 조건 변경이라고 정의한다.
- [0252] 본 발명에 따른 센서 위치 결정 유닛(6430)은 위치 조건 변경에 따라 목적 온도와 각 가상 센서(50)의 온도 간의 온도 편차를 온도 편차 연산부(6410), 온도 편차 연산부(6410)에서 산출된 복수의 온도 편차값 중, 최대 온도 편차를 찾는 최대 온도 편차 선택부(6420), 복수의 위치 조건 변경에 따라 산출된 복수의 최대 온도 편차(즉, 최대값) 중, 최소값을 선출하여, 상기 최소값을 가지는 위치 조건을 센서 위치로 결정하는 센서 위치 결정부(6430)를 포함한다.
- [0253] 이하에서는 도 14 내지 도 16를 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 공정 센서(500) 위치 결정 과정을 설명한다. 그리고 복수의 램프(320)가 3개의 램프 그룹으로 그룹핑되어, 3개의 공정 센서(500)의 위치를 결정하는 것을 예를 들어 설명한다.
- [0254] 한편, 기관(S)에 대해 균일한 분포로 복수의 램프(320)가 위치되어 있으므로, 사각형의 기관(S)을 동일한 면적으로 4 등분 했을 때, 복수의 램프(320)의 배치는 도 15 및 도 16에 도시된 바와 같이, 좌표 평면 상에서 제 1 사분면, 제 2 사분면, 제 3 사분면, 제 4 사분면으로 나뉘어진다.
- [0255] 실시예에서는 제 1 내지 제 4 사분면 중, 어느 하나에서 복수의 가상 센서(50)의 위치를 변경함으로써, 최적의 센서 위치를 결정한다. 이하에서는 제 1 내지 제 4 사분면 중 제 1 사분면 상에서 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)의 위치를 변경하면서, 최소값을 가지는 위치 조건을 공정 센서(500a, 500b, 500c)의 위치로 결정한다.
- [0256] 즉, 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)의 각 위치 조건에 따른 목적 온도(T_k^{sp})와 각 가상 센서(50a, 50b, 50c) 간의 온도 편차($|T_k^{sp} - T_i|$) 중, 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$)를 산출하고, 각 위치 조건에 따라 산출된 복수의 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$) 중 최소값을 가지는 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c) 위치를 제 1 내지 제 3 공정 센서(500a, 500b, 500c)의 위치로 결정하며, 이를 수학식으로 나타내면 수학식 7과 같다.

수학식 7

$$\text{Min} \min_{\substack{k=\{1, \dots, n_{sp}\} \\ i=\{1, \dots, n_{sp}\}}} |T_k^{sp} - T_i|$$

- [0257]
- [0259] 가상 센서(50)의 위치는 좌표 평면 상에서 (x_{ia} , y_{ib})로 표현되고, i 는 1, 2, 3 중 어느 하나로서, i 가 1인 경우 제 1 가상 센서(50a), i 가 2인 경우 제 2 가상 센서(50b), i 가 3인 경우 제 3 가상 센서(50c)가 된다. 그리고, a 는 x 축 상에서의 좌표, b 는 y 축 상에서의 좌표이다. 이에, 제 1 가상 센서(50a)의 좌표는 (x_{1a} , y_{1b}), 제 2 가상 센서(50b)의 좌표는 (x_{2a} , y_{2b}), 제 3 가상 센서(50c)의 좌표는 (x_{3a} , y_{3b})로 표현될 수 있다.
- [0260] 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)의 최적의 위치를 결정하기 위해, 복수의 위치 조건으로 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c) 중 적어도 하나의 위치를 변경하며, 각각의 위치 조건을 제 1 위치 조건, 제 2 위치 조건, 제 3 위치 조건 등으로 명명한다. 일 위치 조건 상에서 제 1 가상 센서(50a)의 위치(x_{1a} , y_{1b}), 제 2 가상 센서(50b)의 위치(x_{2a} , y_{2b}), 제 3 가상 센서(50c)의 위치(x_{3a} , y_{3b})가 서로 상이하다(즉, 제 1 내지 제 3 가상 센서의 위치는 a , b 중 적어도 어느 하나가 상이). 그리고 복수의 위치 조건은 서로 제 1 가상 센서(50a)의 위치(x_{1a} , y_{1b}), 제 2 가상 센서(50b)의 위치(x_{2a} , y_{2b}), 제 3 센서(500b)의 위치(x_{3a} , y_{3b}) 중 적어도 어느 하나가 상이하다.

- [0262] 이하, 도 14 내지 도 17을 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 센서 위치 결정 과정을 설명한다.
- [0263] 먼저, 제 1 사분면 상에서 도 15에 도시된 바와 같이, 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)의 위치를 제 1 위치 조건으로 설정한다(S510). 그리고, 앞에서 선택된 파워 인가 조건으로 복수의 램프(320)에 파워를 인가한다. 그리고 수학식 4를 통해 제 1 위치 조건에 따른 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c) 각각의 온도(T_1 , T_2 , T_3)를 산출하고(S520), 산출된 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c) 각각의 온도(T_1 , T_2 , T_3)와 목적 온도(T_k^{sp}) 간의 온도 편차($|T_k^{sp} - T_i|$) 중, 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$)를 선택한다(S540).
- [0264] 그리고, 제 1 위치 조건과 상이한 제 2 위치 조건으로 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)의 위치를 설정하고, 선택된 파워 인가 조건으로 복수의 램프(320)에 파워를 인가한다. 실시예에 따른 제 2 위치 조건에 따른 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c) 각각의 위치는 도 16에 도시된 바와 같이, 제 1 위치 조건에 따른 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c) 각각의 위치와 상이하다. 제 2 위치 조건에 따른 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c) 각각의 위치는, 제 1 위치 조건에 따른 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)의 위치 중 어느 하나 또는 두개가 상이한 위치일 수 있다. 이후, 수학식 4를 통해 제 2 위치 조건에 따른 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c) 각각의 온도(T_1 , T_2 , T_3)를 산출하고(S520), 산출된 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c) 각각의 온도(T_1 , T_2 , T_3)와 목적 온도(T_k^{sp}) 간의 온도 편차($|T_k^{sp} - T_i|$) 중, 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$)를 선택한다(S540).
- [0265] 앞에서 상술한 바와 같은 동일한 과정을 위치 조건을 변경하면서 복수번 실시하고, 복수번 실시하여 산출된 각 위치 조건에 따른 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$) 중, 최소값을 가지는 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)의 위치 조건을 선택한다.
- [0266] 그리고, 선택된 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)의 위치를 공정 센서(500a, 500b, 500c)를 설치할 위치로 결정한다. 이후, 결정된 위치에 제 1 내지 제 3 공정 센서(500a, 500b, 500c)를 설치하여, 기관 처리 장치의 셋팅을 완료한다.
- [0267] 한편, 베이스(210)에는 복수의 램프(320)에 의한 열을 냉각 또는 쿨링시키는 냉각 수단(미도시)이 설치된다. 이에, 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)는 냉각 수단이 설치된 영역 외의 위치하도록 설정되는 것이 바람직하다. 따라서 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c) 각각의 위치 조건은 좌표 평면 상에서 냉각 수단이 설치된 영역 외의 위치값을 갖는다.
- [0268] 물론 이에 한정되지 않고, 냉각 수단의 설치 위치에 상관없이 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)이 위치를 변경하고, 최소값을 각 위치 조건에 따른 최대 온도 편차($\max |T_k^{sp} - T_i|$) 중, 최소값을 가지는 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)의 위치 조건을 선택할 수 있다. 이때, 선택된 제 1 내지 제 3 가상 센서(50a, 50b, 50c)의 위치가, 베이스(210) 상에서, 냉각 수단의 위치인 경우, 냉각 수단의 위치와 중첩되지 않는 위치에서 최소값을 다시 찾아 최적의 위치를 결정할 수도 있다.
- [0270] 여기서 제 1 내지 제 3 공정 센서(500a, 500b, 500c)는 제 1 내지 제 3 램프 그룹의 온도를 각기 검출하는 수단으로서, 제 1 공정 센서(500a)에서 측정되는 온도는 제 1 램프 그룹(320a)의 온도, 제 2 공정 센서(500b)에서 측정되는 온도는 제 2 램프 그룹(320b)의 온도, 제 3 공정 센서(500c)에서 측정되는 온도는 제 3 램프 그룹(320c)의 온도가 된다.
- [0271] 이후, 실제 공정 시에, 설치된 제 1 내지 제 3 공정 센서(500a, 500b, 500c)를 이용하여 복수의 램프 그룹의 파워를 실시간으로 제어하여 기관을 열처리한다.
- [0274] 공정 제어 모듈(7000)에서는 셋팅 모듈(6000)에서 위치 결정되어 설치된 복수의 공정 센서(500)로부터 측정되는 온도에 따라, 그룹핑된 램프 그룹의 온도를 제어한다.
- [0275] 보다 구체적으로 설명하면, 열처리하고자 하는 기관(S)의 열처리 목적 온도를 입력하고, 기관(S)의 온도가 목적 온도가 되도록 복수의 램프(320)의 동작을 제어한다. 이때, 복수의 램프 그룹(320a, 320b, 320c)을 각기 구성하는 램프(320)들은 복수의 공정 센서(500)로부터 검출되는 실시간 온도에 따라 실시간으로 파워가 조절되도록 제어된다. 예컨대, 제 1 내지 제 3 램프 그룹(320a, 320b, 320c)을 각기 구성하는 복수의 램프(320)는 제 1 내지

제 3 공정 센서(500a, 500b, 500c)로부터 각기 검출되는 온도에 의해 실시간으로 제어된다.

[0276] 본 발명에 따른 공정 제어 모듈은 PID(proportional integral differential) 제어기와 시간에 따른 입력 바이어스 신호를 결합하는 Q-ILC(Quadratic criterion-based ILC) 제어기를 포함한다.

[0277] PID 제어기에서의 제어 방법은 입력-출력 쌍(input-output pair)으로 수학적 8 및 수학적 9로 나타낼 수 있다.

수학적 8

[0278]
$$\mathbf{u}_{PID}(t) = \mathbf{u}_{bias} + \mathbf{P}(t) + \mathbf{I}(t) + \mathbf{D}(t)$$

수학적 9

[0279]
$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{k}_c \mathbf{e}(t)$$

[0280]
$$\mathbf{I}(t) = \mathbf{I}(t-1) + \frac{\mathbf{k}_c h}{\tau_i} \mathbf{e}(t)$$

[0281]
$$\mathbf{D}(t) = \frac{\tau_d}{\tau_d + Nh} \mathbf{D}(t-1) - \frac{30 \mathbf{k}_c \tau_d}{\tau_d + 30h} (\mathbf{y}(t) - \mathbf{y}(t-1))$$

[0282] 수학적 9에서 h는 샘플링 주기를 의미한다.

[0283] 통상적인 PID 제어기는 제어 에러, 입력 변화로 이루어진 2차 비용(quadratic cost)이 동시에 최소화 되도록 튜닝되어지는 제어 방법으로서, 수학적 10으로 나타내어진다.

수학적 10

[0284]
$$\min_{\theta} \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^3 w(t) \left(T_k^{sp}(t) - T_i(t) \right)^2 + \mu (u_i(t) - u_i(t-1))^2$$

[0285]
$$\text{subject to } u_{min} \leq u_i(t) \leq u_{max}, i = 1, 2, 3$$

[0286]
$$\text{Eq. (2) with } \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_{n_p} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_3 \end{bmatrix}$$

[0287] 수학적 10에서 A는 보수의 램프 그룹핑 과정에서 결정된 공정 제어 모듈에서의 출력값과 램프 파워 사이에서의 이득 매트릭스(gain matrix)이고, θ 는 PID 제어기의 파라미터 벡터(parametr vector)이며, w(t)는 에러 웨이트(error weight)이다.

[0288] 기관 열처리 공정시에, 상술한 바와 같은 PID 제어기를 이용하여 제어하면 도 18과 같다.

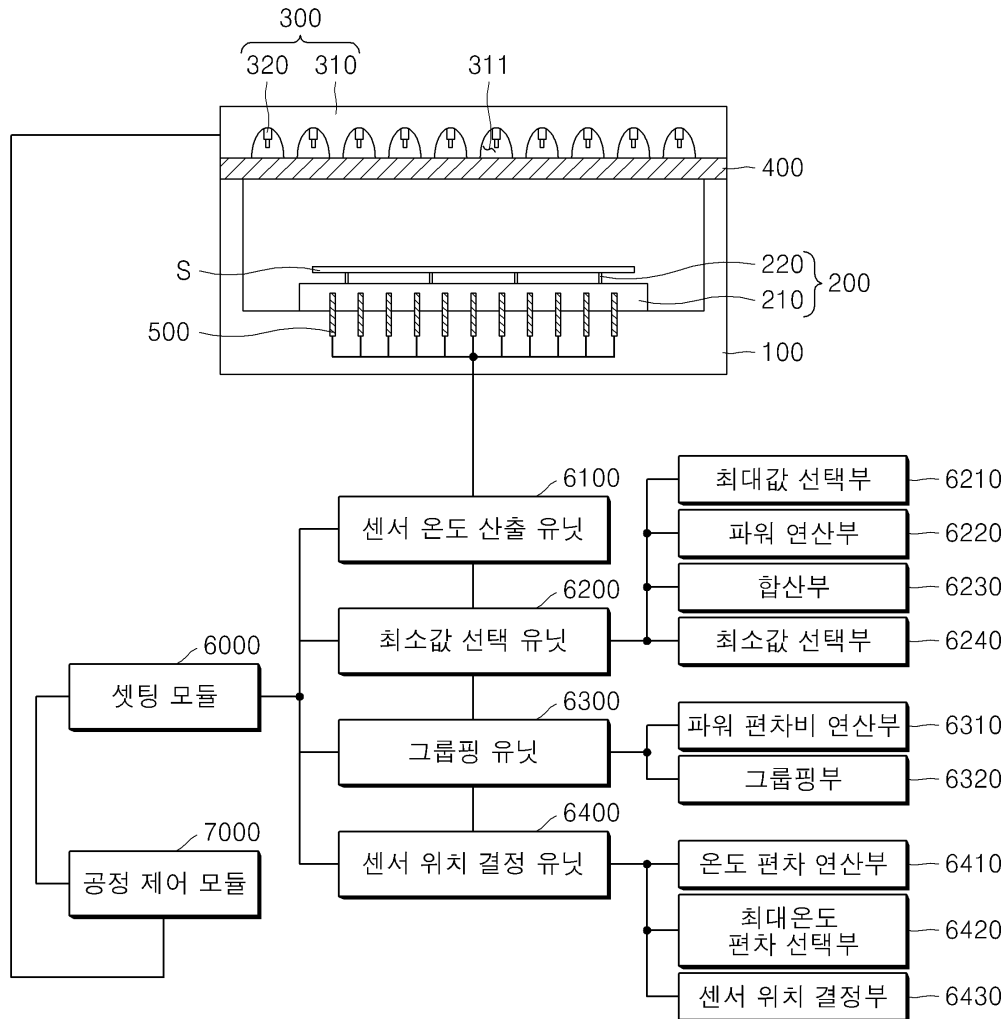
[0289] 도 18을 참조하면, 시간 경과에 따라서, 온도가 상승하고, 소정 시간 이후에는 온도가 약 300도에서 안정화된다. 그런데, 실제 공정 진행(B)을 보면 제어 초기에 레퍼런스(A)에 비해 딜레이(Delay)되는 에러를 보이며(C), 램프 파워가 불안정을 알 수 있다. 램프 파워의 불안정은 램프의 수명을 단축시키는 요인이 된다.

[0291] 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 발명의 공정 제어 모듈에서는 PID 제어 방법과 Q-ILC 제어 방법을 함께 사용하여 기관의 급속 열처리 공정을 제어한다.

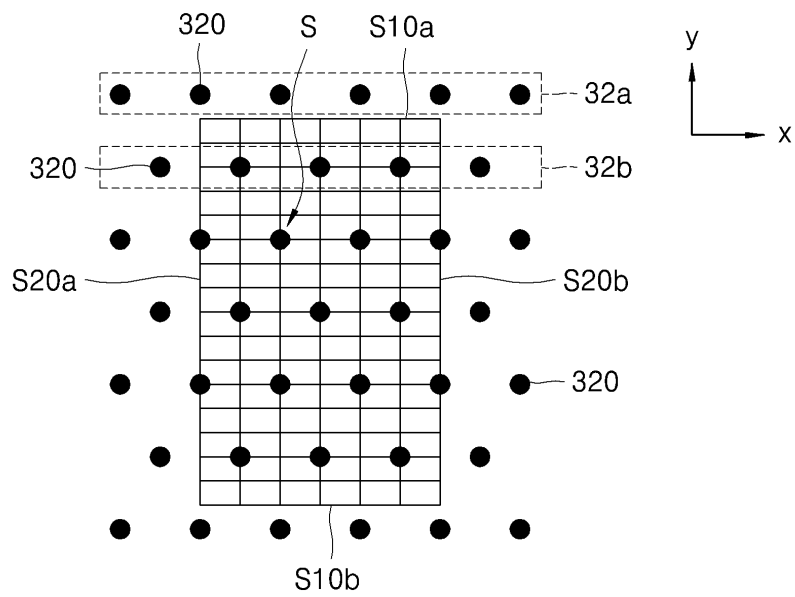
[0292] 트래킹 성능 향상을 위해, 수학적 8의 바이어스 입력 u_{bias} 을 시간을 변수로 둔 $u_{bias}(t)$ 로 하고, Q-ILC 제어 방법을 사용하여, 수학적 2 또는 수학적 3의 열적 모델을 통해 최소값을 정하고, k-1번째 런(run) 후에 k번째 런(run)을 위한 입력 신호(input signal)를 피드포워드(feedforward)하여 보정하면, 수학적 11과 같이 나타내어진다.

도면

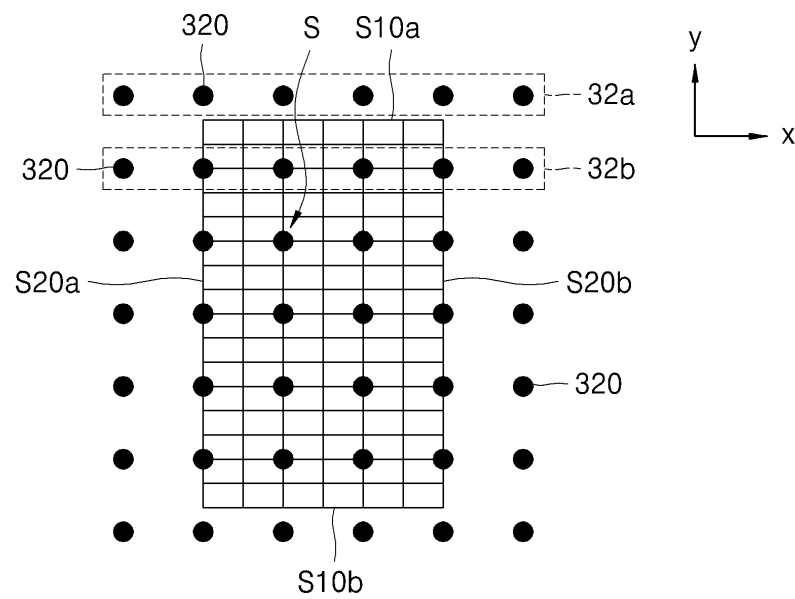
도면1



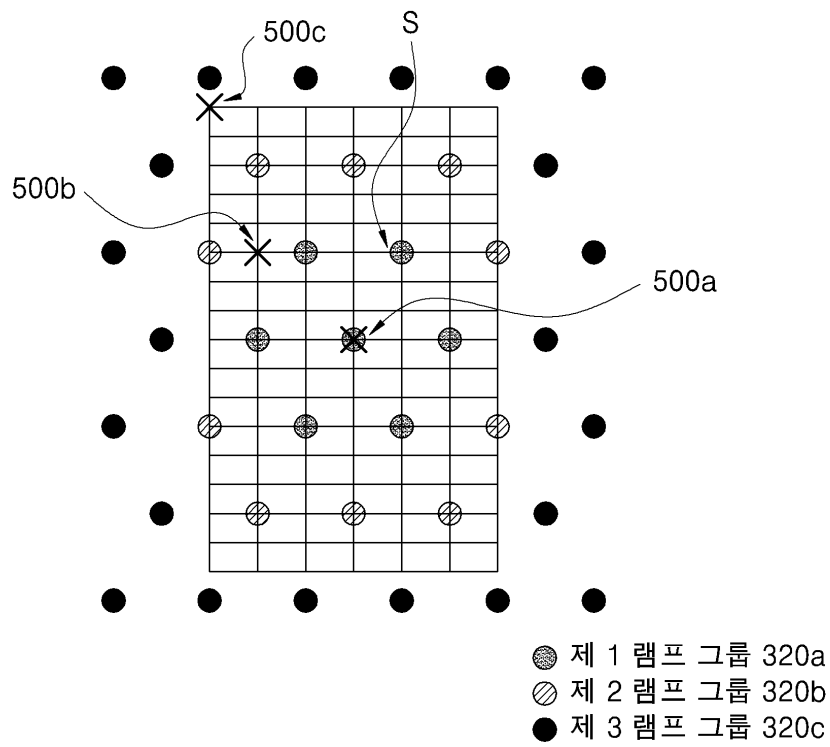
도면2



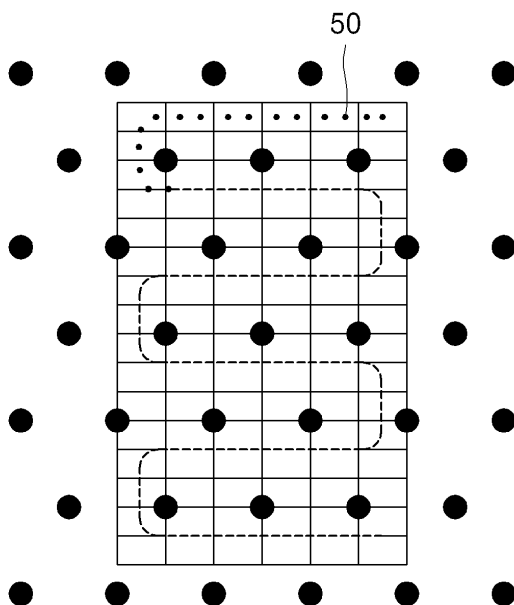
도면3



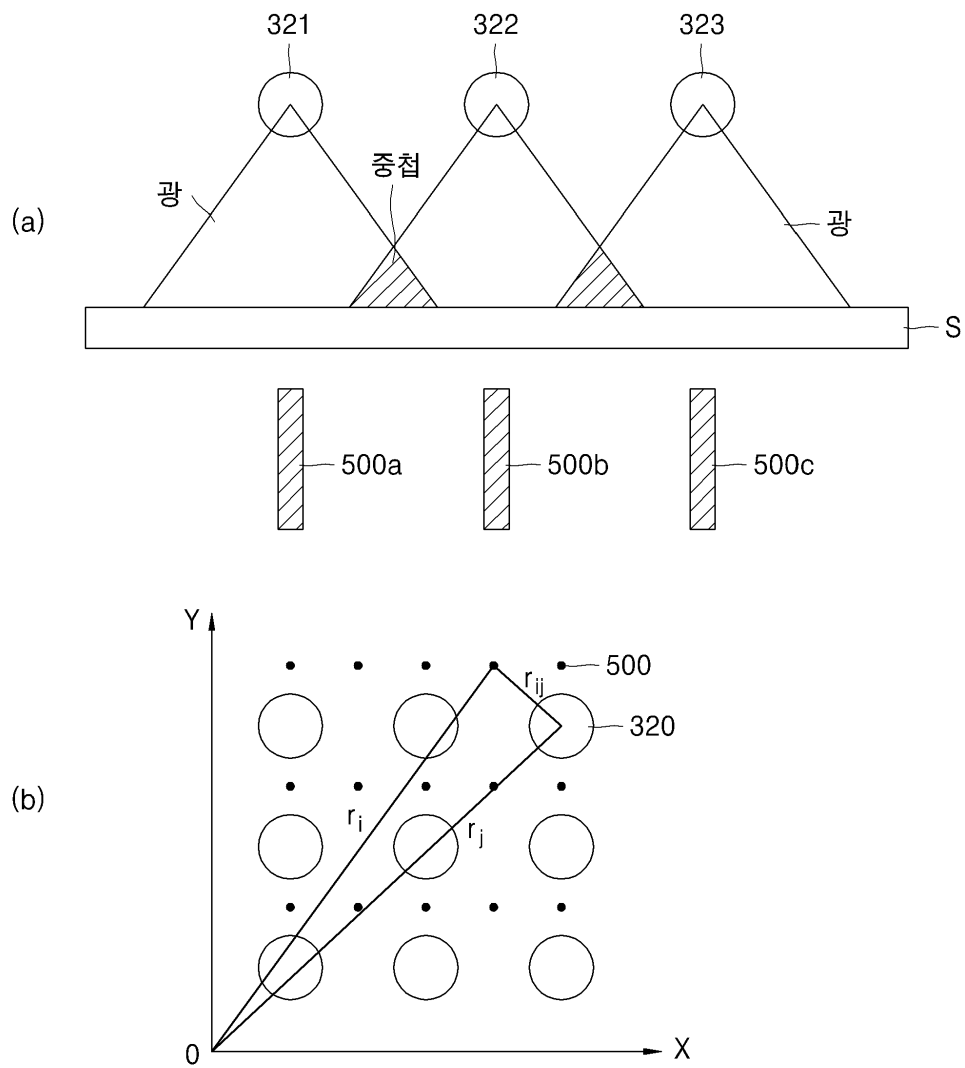
도면4



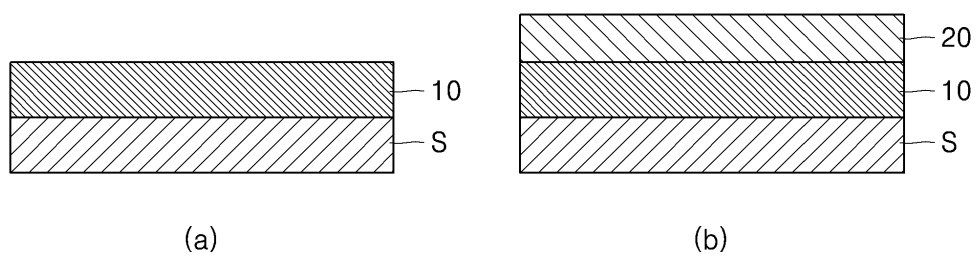
도면5



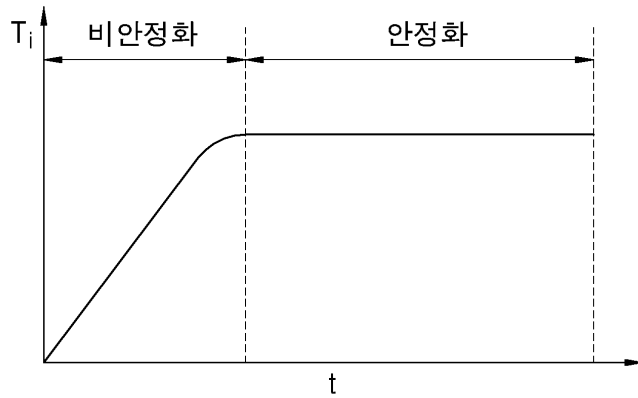
도면6



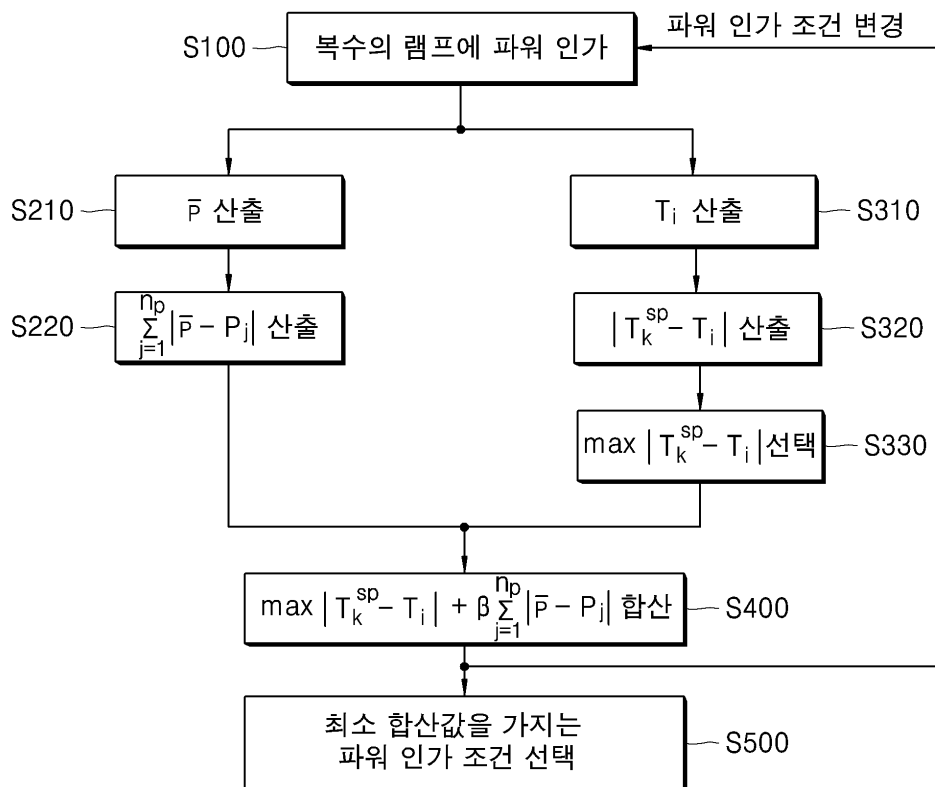
도면7



도면8



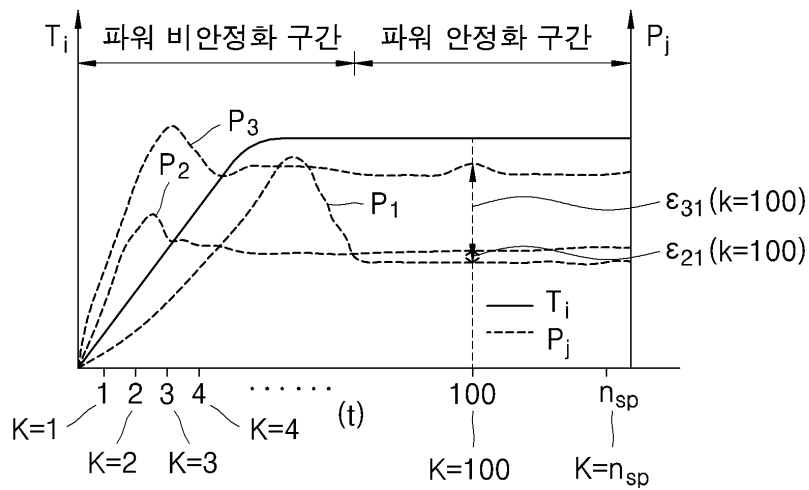
도면9



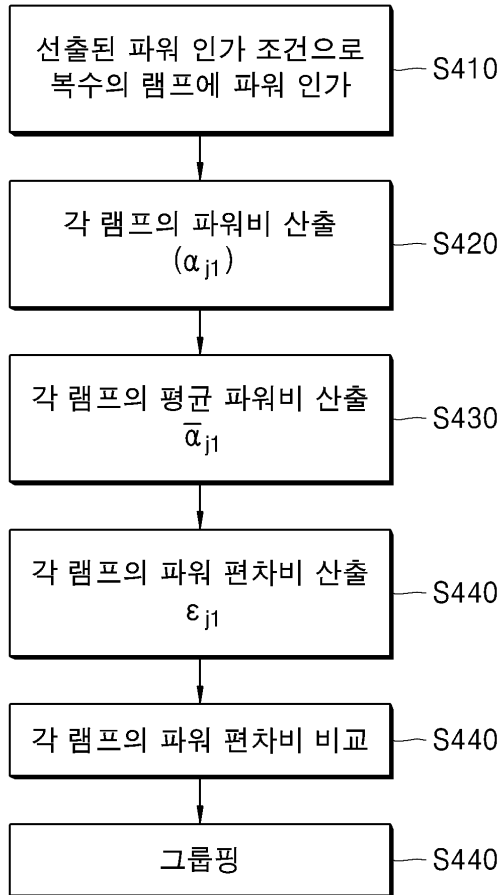
도면10

파워 인가 조건	P_1 (w)	P_2 (w)	P_3 (w)		P_{39} (w)
제 1 파워 인가 조건	P_1	P_2	P_3		P_{39}
제 2 파워 인가 조건	P_1	P_2	P_3		P_{39}
제 3 파워 인가 조건	P_1	P_2	P_3		P_{39}
⋮ ⋮ ⋮					

도면11



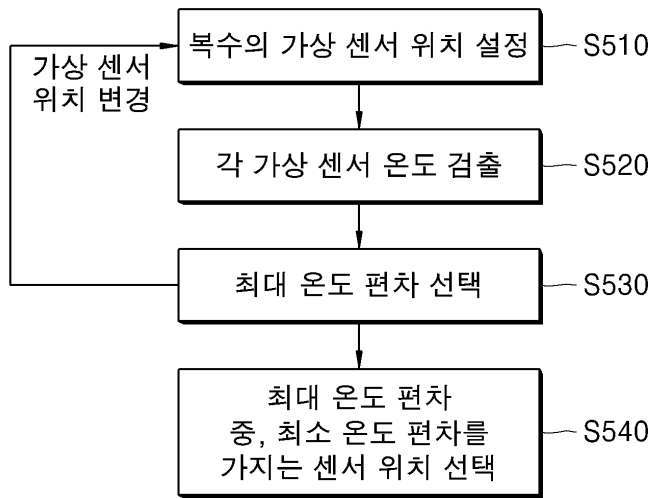
도면12



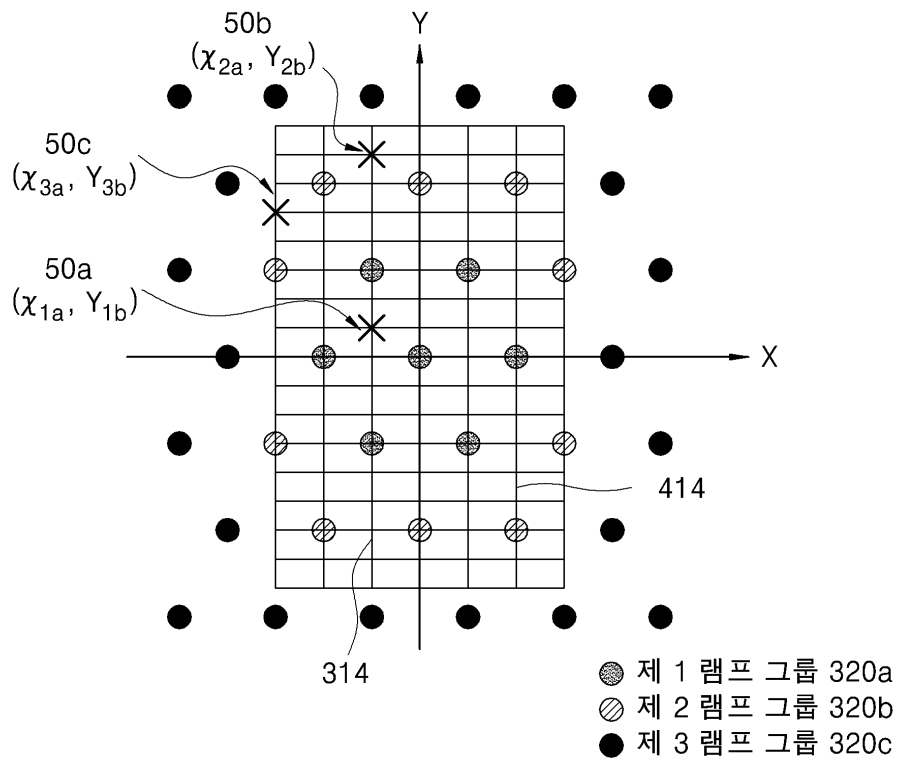
도면13

	K=1	K=2	K=3	...	K=n _{sp}	α_{j+1}	$\tilde{\alpha}_{j+1}$	ε_{j+1}		그룹핑
J=1	p_1/p_1	p_1/p_1	p_1/p_1	...	p_1/p_1	α_{1+1}	$\tilde{\alpha}_{1+1}$	ε_{1+1}	0.7	제 3 램프 그룹
J=2	p_2/p_2	p_2/p_2	p_2/p_2	...	p_2/p_2	α_{2+1}	$\tilde{\alpha}_{2+1}$	ε_{2+1}	0.7	
J=3	p_3/p_3	p_3/p_3	p_3/p_3	...	p_3/p_3	α_{3+1}	$\tilde{\alpha}_{3+1}$	ε_{3+1}	0.9	
J=4	p_4/p_4	p_4/p_4	p_4/p_4	...	p_4/p_4	α_{4+1}	$\tilde{\alpha}_{4+1}$	ε_{4+1}	0.8	
J=5	p_5/p_5	p_5/p_5	p_5/p_5	...	p_5/p_5	α_{5+1}	$\tilde{\alpha}_{5+1}$	ε_{5+1}	0.7	
J=6	p_6/p_6	p_6/p_6	p_6/p_6	...	p_6/p_6	α_{6+1}	$\tilde{\alpha}_{6+1}$	ε_{6+1}	0.8	
J=7	p_7/p_7	p_7/p_7	p_7/p_7	...	p_7/p_7	α_{7+1}	$\tilde{\alpha}_{7+1}$	ε_{7+1}	0.9	
J=8	p_8/p_8	p_8/p_8	p_8/p_8	...	p_8/p_8	α_{8+1}	$\tilde{\alpha}_{8+1}$	ε_{8+1}	0.4	제 2 램프 그룹
J=9	p_9/p_9	p_9/p_9	p_9/p_9	...	p_9/p_9	α_{9+1}	$\tilde{\alpha}_{9+1}$	ε_{9+1}	0.6	
J=10	p_{10}/p_{10}	p_{10}/p_{10}	p_{10}/p_{10}	...	p_{10}/p_{10}	α_{10+1}	$\tilde{\alpha}_{10+1}$	ε_{10+1}	0.4	제 3 램프 그룹
J=11	p_{11}/p_{11}	p_{11}/p_{11}	p_{11}/p_{11}	...	p_{11}/p_{11}	α_{11+1}	$\tilde{\alpha}_{11+1}$	ε_{11+1}	0.8	
J=12	p_{12}/p_{12}	p_{12}/p_{12}	p_{12}/p_{12}	...	p_{12}/p_{12}	α_{12+1}	$\tilde{\alpha}_{12+1}$	ε_{12+1}	0.7	제 2 램프 그룹
J=13	p_{13}/p_{13}	p_{13}/p_{13}	p_{13}/p_{13}	...	p_{13}/p_{13}	α_{13+1}	$\tilde{\alpha}_{13+1}$	ε_{13+1}	0.6	
J=14	p_{14}/p_{14}	p_{14}/p_{14}	p_{14}/p_{14}	...	p_{14}/p_{14}	α_{14+1}	$\tilde{\alpha}_{14+1}$	ε_{14+1}	0.3	제 1 램프 그룹
J=15	p_{14}/p_{15}	p_{14}/p_{15}	p_{14}/p_{15}	...	p_{14}/p_{15}	α_{15+1}	$\tilde{\alpha}_{15+1}$	ε_{15+1}	0.1	
J=16	p_{16}/p_{16}	p_{16}/p_{16}	p_{16}/p_{16}	...	p_{16}/p_{16}	α_{16+1}	$\tilde{\alpha}_{16+1}$	ε_{16+1}	0.4	제 2 램프 그룹
J=17	p_{17}/p_{17}	p_{17}/p_{17}	p_{17}/p_{17}	...	p_{17}/p_{17}	α_{17+1}	$\tilde{\alpha}_{17+1}$	ε_{17+1}	0.7	
J=18	p_{18}/p_{18}	p_{18}/p_{18}	p_{18}/p_{18}	...	p_{18}/p_{18}	α_{18+1}	$\tilde{\alpha}_{18+1}$	ε_{18+1}	0.7	제 3 램프 그룹
J=19	p_{19}/p_{19}	p_{19}/p_{19}	p_{19}/p_{19}	...	p_{19}/p_{19}	α_{19+1}	$\tilde{\alpha}_{19+1}$	ε_{19+1}	0.3	
J=20	p_{20}/p_{20}	p_{20}/p_{20}	p_{20}/p_{20}	...	p_{20}/p_{20}	α_{20+1}	$\tilde{\alpha}_{20+1}$	ε_{20+1}	0.3	제 1 램프 그룹
J=21	p_{21}/p_{21}	p_{21}/p_{21}	p_{21}/p_{21}	...	p_{21}/p_{21}	α_{21+1}	$\tilde{\alpha}_{21+1}$	ε_{21+1}	0.2	
J=22	p_{22}/p_{22}	p_{22}/p_{22}	p_{22}/p_{22}	...	p_{22}/p_{22}	α_{22+1}	$\tilde{\alpha}_{22+1}$	ε_{22+1}	0.9	제 3 램프 그룹
J=23	p_{23}/p_{23}	p_{23}/p_{23}	p_{23}/p_{23}	...	p_{23}/p_{23}	α_{23+1}	$\tilde{\alpha}_{23+1}$	ε_{23+1}	0.8	
J=24	p_{24}/p_{24}	p_{24}/p_{24}	p_{24}/p_{24}	...	p_{24}/p_{24}	α_{24+1}	$\tilde{\alpha}_{24+1}$	ε_{24+1}	0.5	제 2 램프 그룹
J=25	p_{25}/p_{25}	p_{25}/p_{25}	p_{25}/p_{25}	...	p_{25}/p_{25}	α_{25+1}	$\tilde{\alpha}_{25+1}$	ε_{25+1}	0.2	
J=26	p_{26}/p_{26}	p_{26}/p_{26}	p_{26}/p_{26}	...	p_{26}/p_{26}	α_{26+1}	$\tilde{\alpha}_{26+1}$	ε_{26+1}	0.1	제 1 램프 그룹
J=27	p_{27}/p_{27}	p_{27}/p_{27}	p_{27}/p_{27}	...	p_{27}/p_{27}	α_{27+1}	$\tilde{\alpha}_{27+1}$	ε_{27+1}	0.5	
J=28	p_{28}/p_{28}	p_{28}/p_{28}	p_{28}/p_{28}	...	p_{28}/p_{28}	α_{28+1}	$\tilde{\alpha}_{28+1}$	ε_{28+1}	0.7	제 2 램프 그룹
J=29	p_{29}/p_{29}	p_{29}/p_{29}	p_{29}/p_{29}	...	p_{29}/p_{29}	α_{29+1}	$\tilde{\alpha}_{29+1}$	ε_{29+1}	0.8	
J=30	p_{30}/p_{30}	p_{30}/p_{30}	p_{30}/p_{30}	...	p_{30}/p_{30}	α_{30+1}	$\tilde{\alpha}_{30+1}$	ε_{30+1}	0.5	제 3 램프 그룹
J=31	p_{31}/p_{31}	p_{31}/p_{31}	p_{31}/p_{31}	...	p_{31}/p_{31}	α_{31+1}	$\tilde{\alpha}_{31+1}$	ε_{31+1}	0.4	
J=32	p_{32}/p_{32}	p_{32}/p_{32}	p_{32}/p_{32}	...	p_{32}/p_{32}	α_{32+1}	$\tilde{\alpha}_{32+1}$	ε_{32+1}	0.6	제 2 램프 그룹
J=33	p_{33}/p_{33}	p_{33}/p_{33}	p_{33}/p_{33}	...	p_{33}/p_{33}	α_{33+1}	$\tilde{\alpha}_{33+1}$	ε_{33+1}	0.7	
J=34	p_{34}/p_{34}	p_{34}/p_{34}	p_{34}/p_{34}	...	p_{34}/p_{34}	α_{34+1}	$\tilde{\alpha}_{34+1}$	ε_{34+1}	0.7	
J=35	p_{35}/p_{35}	p_{35}/p_{35}	p_{35}/p_{35}	...	p_{35}/p_{35}	α_{35+1}	$\tilde{\alpha}_{35+1}$	ε_{35+1}	0.9	
J=36	p_{36}/p_{36}	p_{36}/p_{36}	p_{36}/p_{36}	...	p_{36}/p_{36}	α_{36+1}	$\tilde{\alpha}_{36+1}$	ε_{36+1}	0.8	
J=37	p_{37}/p_{37}	p_{37}/p_{37}	p_{37}/p_{37}	...	p_{37}/p_{37}	α_{37+1}	$\tilde{\alpha}_{37+1}$	ε_{37+1}	0.7	
J=38	p_{38}/p_{38}	p_{38}/p_{38}	p_{38}/p_{38}	...	p_{38}/p_{38}	α_{38+1}	$\tilde{\alpha}_{38+1}$	ε_{38+1}	0.8	
J=39	p_{39}/p_{39}	p_{39}/p_{39}	p_{39}/p_{39}	...	p_{39}/p_{39}	α_{39+1}	$\tilde{\alpha}_{39+1}$	ε_{39+1}	0.9	

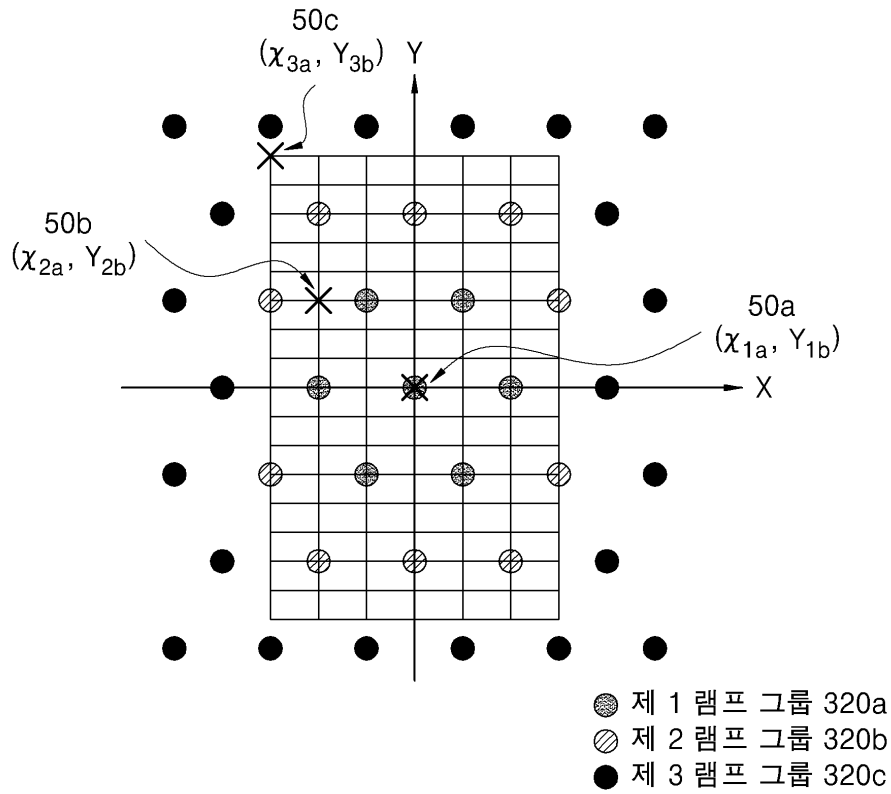
도면14



도면15



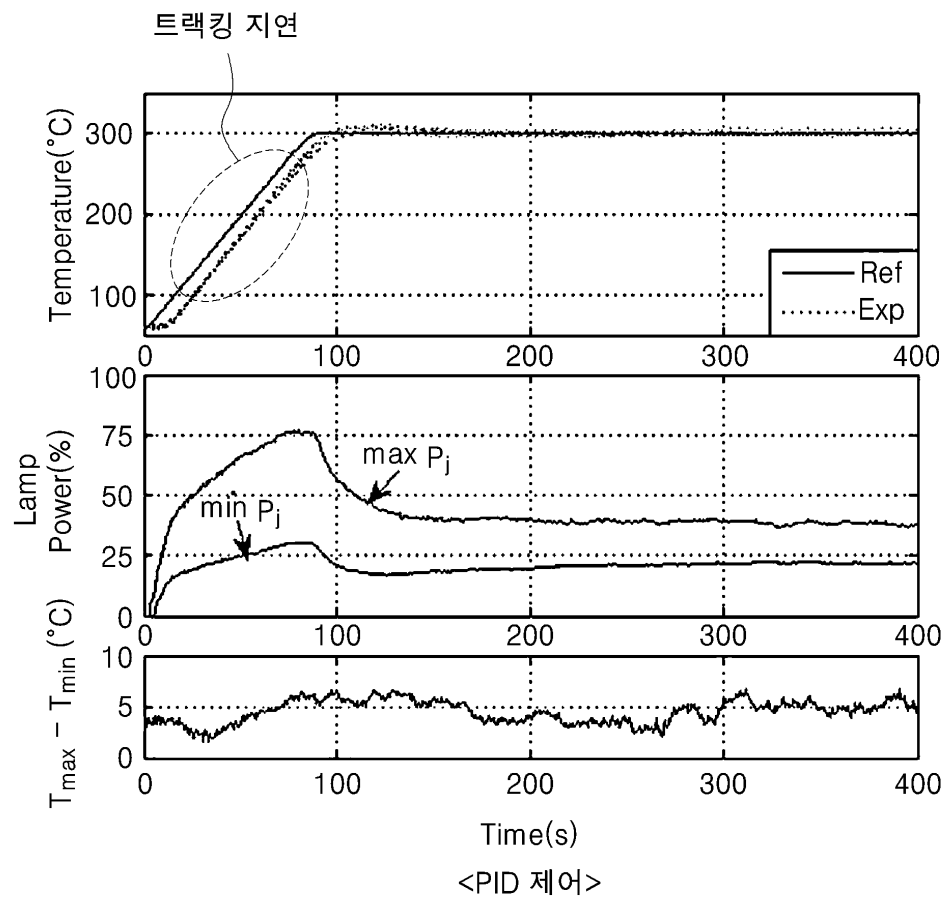
도면16



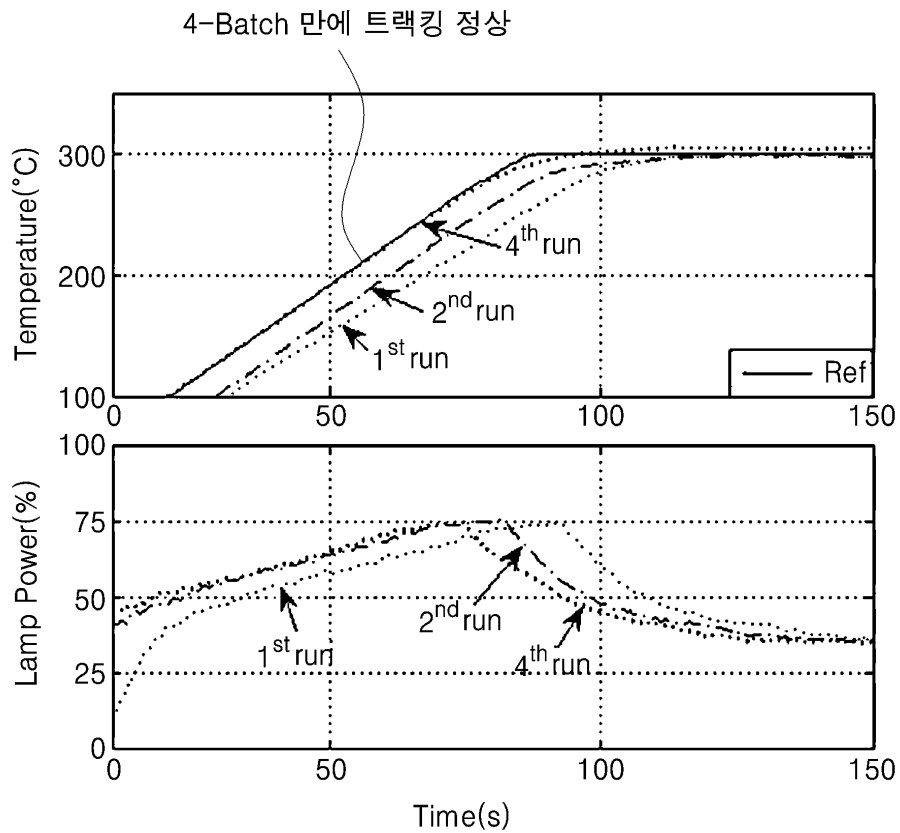
도면17

	제 1 가상 센서 위치	제 2 가상 센서 위치	제 3 가상 센서 위치	$ T_k^{sp} - T_i $	$\max T_k^{sp} - T_i $
제 1 위치 조건	x_{1a}, y_{1b}	x_{1a}, y_{1b}	x_{1a}, y_{1b}	$- T_k^{sp} - T_1 $ $- T_k^{sp} - T_2 $ $- T_k^{sp} - T_3 $	$ T_k^{sp} - T_2 $
제 2 위치 조건	x_{1a}, y_{1b}	x_{1a}, y_{1b}	x_{1a}, y_{1b}	$- T_k^{sp} - T_1 $ $- T_k^{sp} - T_2 $ $- T_k^{sp} - T_3 $	$ T_k^{sp} - T_1 $
제 3 위치 조건	x_{1a}, y_{1b}	x_{1a}, y_{1b}	x_{1a}, y_{1b}	$- T_k^{sp} - T_1 $ $- T_k^{sp} - T_2 $ $- T_k^{sp} - T_3 $	$ T_k^{sp} - T_3 $
⋮					

도면18



도면19



< PID 제어 + QILC 제어 >

【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 18

【변경진】

청구항 18에 있어서

【변경후】

청구항 17에 있어서