



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0155687
(43) 공개일자 2024년10월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05B 13/04 (2006.01) B21J 9/20 (2006.01)
G05B 13/02 (2006.01) G06F 30/23 (2020.01)
G06N 3/092 (2023.01)
(52) CPC특허분류
G05B 13/041 (2013.01)
B21J 9/20 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0071207
(22) 출원일자 2023년06월01일
심사청구일자 2023년06월01일

(71) 출원인
대한민국(방위사업청장)
경기도 과천시 관문로 47 (중앙동)
(72) 발명자
김낙수
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동)
아담살(AS)관 603호
정호영
서울특별시 마포구 백범로25길 82-17, 301호(염리동, 리앤리빌 염리1)
(뒤편에 계속)
(74) 대리인
특허법인 천지

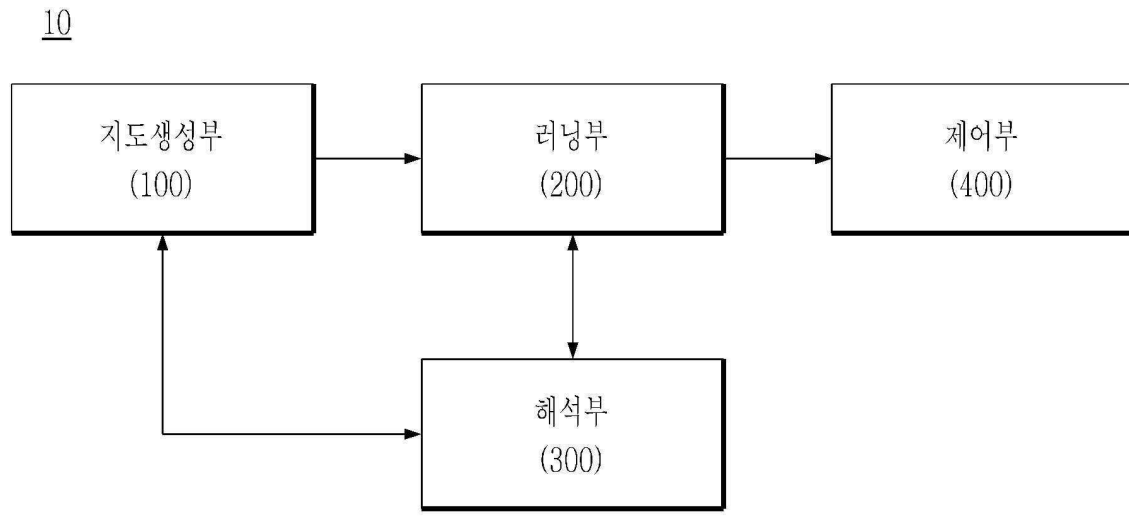
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 강화 학습 기반의 가공 지도를 이용한 단조 공정의 제어변수를 최적화하기 위한 장치 및 이를 위한 방법

(57) 요약

제어변수를 최적화하기 위한 방법은 지도생성부가 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 생성하는 단계와, 러닝부가 강화 학습(Reinforcement Learning)에 따라 상기 공정지도를 이용하여 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량인 동작을 학습하는 단계와, 제어부가 상기 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량을 적용하여 공정을 제어하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



- (52) CPC특허분류
G05B 13/0265 (2013.01)
G06F 30/23 (2020.01)
G06N 3/092 (2023.01)

권혁준

경기도 성남시 분당구 판교로319번길 6 (삼평동)

김지윤

경기도 성남시 분당구 판교로319번길 6 (삼평동)

- (72) 발명자

박준희

서울특별시 은평구 통일로78가길 27, 401호(불광동)

손인수

경기도 성남시 분당구 판교로319번길 6 (삼평동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2100404
과제번호	KRIT-CT-21-004-04
부처명	방위사업청
과제관리(전문)기관명	국방기술진흥연구소
연구사업명	복합형 회전익용 터보샤프트엔진(가스발생기) 로터 조립체 운용 안정성 확보 기술
연구과제명	베어링 소재부품 M50 국산화 기술
기여율	1/1
과제수행기관명	한화에어로스페이스(주)
연구기간	2021.12.06 ~ 2024.12.05

명세서

청구범위

청구항 1

제어변수를 최적화하기 위한 방법에 있어서,

지도생성부가 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 생성하는 단계;

러닝부가 강화 학습(Reinforcement Learning)에 따라 상기 공정지도를 이용하여 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량인 동작을 학습하는 단계; 및

제어부가 상기 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량을 적용하여 공정을 제어하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 학습하는 단계는

상기 러닝부가 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 보상의 총합을 나타내는 품질기대치에 따라 공정 변수의 변화량인 동작을 선택하는 단계;

해석부가 상기 공정 변수의 변화량에 상응하는 유동불안정성의 감소량을 나타내는 보상을 도출하는 단계; 및

상기 러닝부가 상기 도출된 보상을 기초로 보상의 총합이 최대가 되도록 상기 품질기대치를 갱신하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 보상을 도출하는 단계는

상기 해석부가 상기 선택된 동작에 따라 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 수행하여 소재의 온도, 변형률 및 변형률 속도를 도출하는 단계;

상기 해석부가 상기 온도, 변형률 및 변형률 속도를 상기 공정지도에 매핑하여 유동불안정성을 도출하는 단계;

상기 해석부가 도출된 유동불안정성을 기초로 유동불안정성의 감소량을 도출하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 유동불안정성의 감소량을 도출하는 단계는

상기 해석부가

수학식

$$R(s, a) = \Delta \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \xi_{i,n}$$

에 따라 상기 유동불안정성의 감소량을 도출하며,
 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고,
 상기 s는 공정 변수인 상태이고,
 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고,
 상기 i는 스텝의 인덱스이고,
 상기 n은 소재의 절점의 인덱스이고,
 상기 ξ 는 유동불안정성인 것을 특징으로 하는
 제어변수를 최적화하기 위한 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,
 상기 품질기대치를 갱신하는 단계는
 상기 러닝부가
 수학식

$$Q(s_{t+1}, a_{t+1}) = Q(s_t, a_t) + \alpha [R(s_{t+1}, a_{t+1}) + \gamma \cdot \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)]$$

에 따라 품질기대치를 갱신하며,
 상기 Q는 품질기대치이고,
 상기 s는 공정 변수인 상태이고,
 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고,
 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고,
 상기 t는 이터레이션의 인덱스이고,
 상기 α 는 학습율이고,
 $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되고,
 상기 γ 는 할인계수이며,
 $0 \leq \gamma \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되는 것을 특징으로 하는
 제어변수를 최적화하기 위한 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,
 상기 3차원의 공정지도를 생성하는 단계는
 상기 지도생성부가 소재에 대한 열간 압축시험의 결과에 따라 소재의 온도에 따른 변형률을 나타내는 2차원 공

정지도를 생성하는 단계; 및

상기 지도생성부가 상기 2차원 공정지도를 적층하여 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 생성하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 방법.

청구항 7

제어변수를 최적화하기 위한 방법에 있어서,

러닝부가 임의의 공정 변수를 나타내는 상태에서 보상의 총합을 나타내는 품질기대치에 따라 공정 변수의 변화량인 동작을 선택하는 단계;

해석부가 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 이용하여 상기 선택된 동작에 상응하는 유동불안정성의 감소량인 보상을 도출하는 단계;

상기 러닝부가 상기 도출된 보상을 기초로 상기 보상의 총합이 최대가 되도록 상기 품질기대치를 갱신하는 단계; 및

제어부가 임의의 공정 변수를 나타내는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되도록 하는 공정 변수의 변화량인 동작이 학습되면, 상기 유동불안정성의 감소량이 최대가 되도록 하는 공정 변수의 변화량에 따라 공정을 제어하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 보상을 도출하는 단계는

상기 해석부가 공정 변수의 변화량에 따라 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 수행하여 소재의 온도, 변형률 및 변형률 속도를 도출하는 단계;

상기 해석부가 상기 온도, 변형률 및 변형률 속도를 상기 공정지도에 매핑하여 유동불안정성을 도출하는 단계;

상기 해석부가 도출된 유동불안정성을 기초로 유동불안정성의 감소량을 도출하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 유동불안정성의 감소량을 도출하는 단계는

상기 해석부가

수학식

$$R(s, a) = \Delta \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \xi_{i,n}$$

에 따라 상기 유동불안정성의 감소량인 보상을 도출하며,

상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고,

상기 s는 공정 변수인 상태이고,

상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고,
 상기 i는 스텝의 인덱스이고,
 상기 n은 절점의 인덱스이고,
 상기 ξ 는 유동불안정성인 것을 특징으로 하는
 제어변수를 최적화하기 위한 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,
 상기 품질기대치를 갱신하는 단계는
 상기 러닝부가
 수학적식

$$Q(s_{t+1}, a_{t+1}) = Q(s_t, a_t) + \alpha [R(s_{t+1}, a_{t+1}) + \gamma \cdot \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)]$$

에 따라 품질기대치를 갱신하며,
 상기 Q는 품질기대치이고,
 상기 s는 공정 변수인 상태이고,
 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고,
 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고,
 상기 t는 이터레이션의 인덱스이고,
 상기 α 는 학습율이고,
 $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되고,
 상기 γ 는 할인계수이며,
 $0 \leq \gamma \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되는 것을 특징으로 하는
 제어변수를 최적화하기 위한 방법.

청구항 11

제어변수를 최적화하기 위한 장치에 있어서,
 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 생성하는 지도생성부;
 강화 학습(Reinforcement Learning)에 따라 상기 공정지도를 이용하여 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량인 동작을 학습하는 러닝부; 및
 상기 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량을 적용하여 공정을 제어하는 제어부;
 를 포함하는 것을 특징으로 하는
 제어변수를 최적화하기 위한 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 러닝부가 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 보상의 총합을 나타내는 품질기대치에 따라 공정 변수의 변화량인 동작을 선택하면,

상기 공정 변수의 변화량에 상응하는 유동불안정성의 감소량을 나타내는 보상을 도출하는 해석부;
를 더 포함하며,

상기 러닝부는

상기 도출된 보상을 기초로 보상의 총합이 최대가 되도록 상기 품질기대치를 갱신하는 것을 특징으로 하는 제어변수를 최적화하기 위한 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 해석부는

상기 선택된 동작에 따라 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 수행하여 소재의 온도, 변형률 및 변형률 속도를 도출하고,

상기 온도, 변형률 및 변형률 속도를 상기 공정지도에 매핑하여 유동불안정성을 도출하고,

도출된 유동불안정성을 기초로 유동불안정성의 감소량을 도출하는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 해석부는

수학식

$$R(s, a) = \Delta \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \xi_{i,n}$$

에 따라 상기 유동불안정성의 감소량을 도출하며,

상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고,

상기 s는 공정 변수인 상태이고,

상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고,

상기 i는 스텝의 인덱스이고,

상기 n은 절점의 인덱스이고,

상기 ξ 는 유동불안정성인 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 장치.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 러닝부는

수학식

$$Q(s_{t+1}, a_{t+1}) = Q(s_t, a_t) + \alpha [R(s_{t+1}, a_{t+1}) + \gamma \cdot \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)]$$

에 따라 품질기대치를 갱신하며,

상기 Q는 품질기대치이고,

상기 s는 공정 변수인 상태이고,

상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고,

상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고,

상기 t는 이터레이션의 인덱스이고,

상기 α 는 학습율이고,

$0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되고,

상기 γ 는 할인계수이며,

$0 \leq \gamma \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 장치.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 지도생성부는

소재에 대한 열간 압축시험의 결과에 따라 소재의 온도에 따른 변형률을 나타내는 2차원 공정지도를 생성하고,

상기 2차원 공정지도를 적층하여 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 생성하는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 장치.

청구항 17

제어변수를 최적화하기 위한 장치에 있어서,

소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 이용하여 동작에 상응하는 유동불안정성의 감소량인 보상을 도출하는 해석부;

임의의 공정 변수를 나타내는 상태에서 보상의 총합을 나타내는 품질기대치에 따라 공정 변수의 변화량인 동작을 선택하고, 상기 해석부가 선택된 동작에 따라 보상을 도출하면, 도출된 보상을 기초로 상기 보상의 총합이 최대가 되도록 상기 품질기대치를 갱신하는 러닝부; 및

상기 러닝부에 의해 임의의 공정 변수를 나타내는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되도록 하는 공정 변수의 변화량인 동작이 학습되면, 상기 유동불안정성의 감소량이 최대가 되도록 하는 공정 변수의 변화량에 따라 공정을 제어하는 제어부;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 장치.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 해석부는

공정 변수의 변화량에 따라 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 수행하여 소재의 온도, 변형률 및 변형률 속도를 도출하고,

상기 온도, 변형률 및 변형률 속도를 상기 공정지도에 매핑하여 유동불안정성을 도출하고,

도출된 유동불안정성을 기초로 유동불안정성의 감소량을 도출하는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 장치.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 해석부는

수학식

$$R(s, a) = \Delta \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \xi_{i,n}$$

에 따라 상기 유동불안정성의 감소량인 보상을 도출하며,

상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고,

상기 s는 공정 변수인 상태이고,

상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고,

상기 i는 스텝의 인덱스이고,

상기 n은 절점의 인덱스이고,

상기 ξ 는 유동불안정성인 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 장치.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 러닝부는

수학식

$$Q(s_{t+1}, a_{t+1}) = Q(s_t, a_t) + \alpha [R(s_{t+1}, a_{t+1}) + \gamma \cdot \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)]$$

에 따라 품질기대치를 갱신하며,

상기 Q는 품질기대치이고,

상기 s는 공정 변수인 상태이고,

상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고,

상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고,

상기 t는 이터레이션의 인덱스이고,

상기 α 는 학습율이고,

$0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되고,

상기 γ 는 할인계수이며,

$0 \leq \gamma \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되는 것을 특징으로 하는

제어변수를 최적화하기 위한 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 제어변수를 최적화하기 위한 기술에 관한 것으로, 보다 상세하게는 강화 학습을 기반의 가공 지도를 이용한 단조 공정의 제어변수를 최적화하기 위한 장치 및 이를 위한 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 강화 학습(Reinforcement learning)은 기계 학습의 한 영역이다. 행동심리학에서 영감을 받았으며, 어떤 환경 안에서 정의된 에이전트가 현재의 상태를 인식하여, 선택 가능한 행동들 중 보상을 최대화하는 행동 혹은 행동 순서를 선택하는 방법이다. 이러한 문제는 매우 포괄적이기 때문에 게임 이론, 제어이론, 운용 과학, 정보이론, 시뮬레이션 기반 최적화, 다중 에이전트 시스템, 떼 지능(Swarm Intelligence; SI), 통계학, 유전 알고리즘 등의 분야에서도 연구된다. 운용 과학과 제어이론에서 강화 학습이 연구되는 분야는 "근사 동적 계획법"이라고 불린다. 또한 최적화 제어 이론에서도 유사한 문제를 연구하지만, 대부분의 연구가 최적해의 존재와 특성에 초점을 맞춘다는 점에서 학습과 근사의 측면에서 접근하는 강화 학습과는 다르다. 경제학과 게임 이론 분야에서 강화 학습은 어떻게 제한된 합리성 하에서 평형이 일어날 수 있는지를 설명하는 데에 사용되기도 한다.

[0003] 단조 공정은 일반적으로 다이에 고정시켜 망치로 때리거나 압력을 가하는 등의 고압을 이용해 잉곳이나 판형의 금속을 성형하는 과정이다. 재료는 용이성을 위해 단조 전에 가열하는 과정을 거칠 수 있다. 그러나 과정 전반에 고체가 존재한다. 주방용 칼이나 여타 같은 단조를 통해 만드는 가장 대표적인 제품 중 하나이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제2019-0037472호 (2019년04월08일 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 강화 학습을 기반의 가공 지도를 이용한 단조 공정의 제어변수를 최적화하기 위한 장치 및 이를 위한 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 제어변수를 최적화하기 위한 방법은 지도생성부가 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 생성하는 단계와, 러닝부가 강화 학습(Reinforcement Learning)에 따라 상기 공정지도를 이용하여 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량인 동작을 학습하는 단계와, 제어부가 상기 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량을 적용하여 공정을 제어하는 단계를 포함한다.

[0007] 상기 학습하는 단계는 상기 러닝부가 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 보상의 총합을 나타내는 품질기대치에 따라 공정 변수의 변화량인 동작을 선택하는 단계와, 해석부가 상기 공정 변수의 변화량에 상응하는 유동불안정성의 감소량을 나타내는 보상을 도출하는 단계와, 상기 러닝부가 상기 도출된 보상을 기초로 보상의 총합이 최대가 되도록 상기 품질기대치를 갱신하는 단계를 포함한다.

[0008] 상기 보상을 도출하는 단계는 상기 해석부가 상기 선택된 동작에 따라 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이

션을 수행하여 소재의 온도, 변형률 및 변형률 속도를 도출하는 단계와, 상기 해석부가 상기 온도, 변형률 및 변형률 속도를 상기 공정지도에 매핑하여 유동불안정성을 도출하는 단계와, 상기 해석부가 도출된 유동불안정성을 기초로 유동불안정성의 감소량을 도출하는 단계를 포함한다.

[0009] 상기 유동불안정성의 감소량을 도출하는 단계는 상기 해석부가 수학식

$$R(s, a) = \Delta \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \xi_{i,n}$$

[0010] 에 따라 상기 유동불안정성의 감소량을 도출하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 여기서, 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고, 상기 s는 공정 변수인 상태이고, 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고, 상기 i는 스텝의 인덱스이고, 상기 n은 소재의 절점의 인덱스이고, 상기 ξ 는 유동불안정성인 것을 특징으로 한다.

[0013] 상기 품질기대치를 갱신하는 단계는 상기 러닝부가 수학식

$$Q(s_{t+1}, a_{t+1}) = Q(s_t, a_t) + \alpha [R(s_{t+1}, a_{t+1}) + \gamma \cdot \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)]$$

[0015] 에 따라 품질기대치를 갱신하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 여기서, 상기 Q는 품질기대치이고, 상기 s는 공정 변수인 상태이고, 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고, 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고, 상기 t는 이터레이션의 인덱스이고, 상기 α 는 학습율이고, $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되고, 상기 γ 는 할인계수이며, $0 \leq \gamma \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되는 것을 특징으로 한다.

[0017] 상기 3차원의 공정지도를 생성하는 단계는 상기 지도생성부가 소재에 대한 열간 압축시험의 결과에 따라 소재의 온도에 따른 변형률을 나타내는 2차원 공정지도를 생성하는 단계와, 상기 지도생성부가 상기 2차원 공정지도를 적층하여 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 생성하는 단계를 포함한다.

[0018] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 제어변수를 최적화하기 위한 방법은 러닝부가 임의의 공정 변수를 나타내는 상태에서 보상의 총합을 나타내는 품질기대치에 따라 공정 변수의 변화량인 동작을 선택하는 단계와, 해석부가 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 이용하여 상기 선택된 동작에 상응하는 유동불안정성의 감소량인 보상을 도출하는 단계와, 상기 러닝부가 상기 도출된 보상을 기초로 상기 보상의 총합이 최대가 되도록 상기 품질기대치를 갱신하는 단계와, 제어부가 임의의 공정 변수를 나타내는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되도록 하는 공정 변수의 변화량인 동작이 학습되면, 상기 유동불안정성의 감소량이 최대가 되도록 하는 공정 변수의 변화량에 따라 공정을 제어하는 단계를 포함한다.

[0019] 상기 보상을 도출하는 단계는 상기 해석부가 공정 변수의 변화량에 따라 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 수행하여 소재의 온도, 변형률 및 변형률 속도를 도출하는 단계와, 상기 해석부가 상기 온도, 변형률 및 변형률 속도를 상기 공정지도에 매핑하여 유동불안정성을 도출하는 단계와, 상기 해석부가 도출된 유동불안정성을 기초로 유동불안정성의 감소량을 도출하는 단계를 포함한다.

[0020] 상기 유동불안정성의 감소량을 도출하는 단계는 상기 해석부가 수학식

$$R(s, a) = \Delta \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \xi_{i,n}$$

[0022] 에 따라 상기 유동불안정성의 감소량인 보상을 도출하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 여기서, 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고, 상기 s는 공정 변수인 상태이고, 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고, 상기 i는 스텝의 인덱스이고, 상기 n은 절점의 인덱스이고, 상기 ξ 는 유동불안정성인 것을

특징으로 한다.

[0024] 상기 품질기대치를 갱신하는 단계는 상기 러닝부가 수학적식

$$Q(s_{t+1}, a_{t+1})$$

[0025] $= Q(s_t, a_t) + \alpha [R(s_{t+1}, a_{t+1}) + \gamma \cdot \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)]$

[0026] 에 따라 품질기대치를 갱신하는 것을 특징으로 한다.

[0027] 여기서, 상기 Q는 품질기대치이고, 상기 s는 공정 변수인 상태이고, 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고, 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고, 상기 t는 이터레이션의 인덱스이고, 상기 α 는 학습율이고, $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되고, 상기 γ 는 할인계수이며, $0 \leq \gamma \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되는 것을 특징으로 한다.

[0028] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 제어변수를 최적화하기 위한 장치는 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 생성하는 지도생성부와, 강화 학습(Reinforcement Learning)에 따라 상기 공정지도를 이용하여 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량인 동작을 학습하는 러닝부와, 상기 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량을 적용하여 공정을 제어하는 제어부를 포함한다.

[0029] 상기 장치는 상기 러닝부가 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 보상의 총합을 나타내는 품질기대치에 따라 공정 변수의 변화량인 동작을 선택하면, 상기 공정 변수의 변화량에 상응하는 유동불안정성의 감소량을 나타내는 보상을 도출하는 해석부를 더 포함한다.

[0030] 이때, 상기 러닝부는 상기 도출된 보상을 기초로 보상의 총합이 최대가 되도록 상기 품질기대치를 갱신하는 것을 특징으로 한다.

[0031] 상기 해석부는 상기 선택된 동작에 따라 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 수행하여 소재의 온도, 변형률 및 변형률 속도를 도출하고, 상기 온도, 변형률 및 변형률 속도를 상기 공정지도에 매핑하여 유동불안정성을 도출하고, 도출된 유동불안정성을 기초로 유동불안정성의 감소량을 도출하는 것을 특징으로 한다.

[0032] 상기 해석부는 수학적식

$$R(s, a) = \Delta \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \xi_{i,n}$$

[0033] 에 따라 상기 유동불안정성의 감소량을 도출하는 것을 특징으로 한다.

[0035] 여기서, 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고, 상기 s는 공정 변수인 상태이고, 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고, 상기 i는 스텝의 인덱스이고, 상기 n은 절점의 인덱스이고, 상기 ξ 는 유동불안정성인 것을 특징으로 한다.

[0036] 상기 러닝부는 수학적식

$$Q(s_{t+1}, a_{t+1})$$

[0037] $= Q(s_t, a_t) + \alpha [R(s_{t+1}, a_{t+1}) + \gamma \cdot \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)]$

[0038] 에 따라 품질기대치를 갱신하는 것을 특징으로 한다.

[0039] 여기서, 상기 Q는 품질기대치이고, 상기 s는 공정 변수인 상태이고, 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고, 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고, 상기 t는 이터레이션의 인덱스이고, 상기 α 는 학습율이고, $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되고, 상기 γ 는 할인계수이며, $0 \leq \gamma \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되는 것을 특징으로 한다.

[0040] 상기 지도생성부는 소재에 대한 열간 압축시험의 결과에 따라 소재의 온도에 따른 변형률을 나타내는 2차원 공정지도를 생성하고, 상기 2차원 공정지도를 적층하여 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0041] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 제어변수를 최적화하기 위한 장치는 소재의 온도, 변형률, 변형률 속도에 따른 유동불안정성을 나타내는 3차원의 공정지도를 이용하여 동작에 상응하는 유동불안정성의 감소량인 보상을 도출하는 해석부와, 임의의 공정 변수를 나타내는 상태에서 보상의 총합을 나타내는 품질기대치에 따라 공정 변수의 변화량인 동작을 선택하고, 상기 해석부가 선택된 동작에 따라 보상을 도출하면, 도출된 보상을 기초로 상기 보상의 총합이 최대가 되도록 상기 품질기대치를 갱신하는 러닝부와, 상기 러닝부에 의해 임의의 공정 변수를 나타내는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되도록 하는 공정 변수의 변화량인 동작이 학습되면, 상기 유동불안정성의 감소량이 최대가 되도록 하는 공정 변수의 변화량에 따라 공정을 제어하는 제어부를 포함한다.

[0042] 상기 해석부는 공정 변수의 변화량에 따라 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 수행하여 소재의 온도, 변형률 및 변형률 속도를 도출하고, 상기 온도, 변형률 및 변형률 속도를 상기 공정지도에 매핑하여 유동불안정성을 도출하고, 도출된 유동불안정성을 기초로 유동불안정성의 감소량을 도출하는 것을 특징으로 한다.

[0043] 상기 해석부는 수학적식

$$R(s, a) = \Delta \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \xi_{i,n}$$

[0044] 에 따라 상기 유동불안정성의 감소량인 보상을 도출하는 것을 특징으로 한다.

[0046] 여기서, 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고, 상기 s는 공정 변수인 상태이고, 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고, 상기 i는 스텝의 인덱스이고, 상기 n은 절점의 인덱스이고, 상기 ξ 는 유동불안정성인 것을 특징으로 한다.

[0047] 상기 러닝부는 수학적식

$$Q(s_{t+1}, a_{t+1}) = Q(s_t, a_t) + \alpha [R(s_{t+1}, a_{t+1}) + \gamma \cdot \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)]$$

[0048] 에 따라 품질기대치를 갱신하는 것을 특징으로 한다.

[0050] 여기서, 상기 Q는 품질기대치이고, 상기 s는 공정 변수인 상태이고, 상기 a는 공정 변수의 변화량인 동작이고, 상기 R은 유동불안정성의 감소량인 보상이고, 상기 t는 이터레이션의 인덱스이고, 상기 α 는 학습율이고, $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되고, 상기 γ 는 할인계수이며, $0 \leq \gamma \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0051] 본 발명에 따라 공정지도를 활용하여 강화 학습을 수행함으로써, 단조 공정에서의 최적의 공정 변수를 검출할 수 있다. 이에 따라 결함을 방지하고 가공 효율을 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0052] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 강화 학습 기반의 가공 지도를 이용한 단조 공정의 제어변수를 최적화하기 위한 장치의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 강화 학습 기반의 가공 지도를 이용한 단조 공정의 제어변수를 최적화하기 위한 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3 내지 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 가공 지도를 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 5 내지 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 통해 유동불안정성을

도출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 컴퓨팅 장치를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0053] 본 발명의 상세한 설명에 앞서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 실시예에 불과할 뿐, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0054] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명한다. 이때, 첨부된 도면에서 동일한 구성 요소는 가능한 동일한 부호로 나타내고 있음을 유의해야 한다. 또한, 본 발명의 요지를 흐리게 할 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 상세한 설명은 생략할 것이다. 마찬가지로의 이유로 첨부 도면에 있어서 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 또는 개략적으로 도시되었으며, 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니다.
- [0055] 또한, 이하에서 설명되는 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념으로 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0056] 먼저, 본 발명의 실시예에 따른 시공간 신경망 기반 이상행동 데이터 세트를 구축을 위한 레이블링 장치에 대해서 설명하기로 한다. 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 시공간 신경망 기반 이상행동 데이터 세트를 구축을 위한 레이블링 장치의 구성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0057] 먼저, 본 발명의 실시예에 따른 강화 학습 기반의 가공 지도를 이용한 단조 공정의 제어변수를 최적화하기 위한 장치의 구성에 대해서 설명하기로 한다. 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 강화 학습 기반의 가공 지도를 이용한 단조 공정의 제어변수를 최적화하기 위한 장치의 구성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0058] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 강화 학습 기반의 가공 지도를 이용한 단조 공정의 제어변수를 최적화하기 위한 장치(10, 이하, '공정제어장치'로 칭함)는 지도생성부(100), 러닝부(200), 해석부(300) 및 제어부(400)를 포함한다.
- [0059] 지도생성부(100)는 소재에 대한 3차원의 공정지도를 마련한다. 지도생성부(100)는 소재에 대한 열간 압축시험에 따라 도출된 소재의 유동응력의 변형률(True strain)별 응력(True stress)을 기초로 소재의 온도(temperature)에 따른 변형률(strain)을 나타내는 2차원 공정지도를 생성하고, 2차원의 공정지도를 적층하여 3차원의 공정지도를 생성한다. 이러한 3차원의 공정지도는 온도(temperature), 변형률(strain), 변형률 속도(strain rate)에 따른 유동불안정성을 나타낸다.
- [0060] 러닝부(200) 및 해석부(300)는 강화 학습(RL: Reinforcement Learning)을 통해 최적의 공정 변수를 도출하기 위한 것이다. 여기서, 강화 학습(RL)은 Q-Learning이 될 수 있다. 러닝부(200)는 임의의 상태 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_T\}$ 에서 Q(Quality)값에 따라 동작 $A = \{a_0, a_1, \dots, a_T\}$ 을 선택한다. 여기서, 상태는 공정 변수를 나타낸다. 또한, 공정 변수는 단조 공정에서 단조 공정의 대상인 재료의 온도(T: Temperature) 및 스트로크 속도(v: Stroke speed)를 나타낸다. 동작은 공정 변수의 변화량을 나타낸다. 즉, 동작은 온도(T)의 변화량 및 스트로크 속도(v)의 변화량을 나타낸다. 또한, Q값을 '품질기대치'라고 칭하기로 한다. 이러한 품질기대치를 도출하는 함수를 가치함수라고 칭하기로 한다. 행동가치함수에 대해서는 아래에서 더 상세하게 설명될 것이다. 여기서, 품질기대치는 선택된 행동에 따라 이후에 얻을 수 있는 모든 보상의 총합에 대한 기댓값이라고 할 수 있다. 품질기대치는 현재의 상태에서 선택된 동작에 따른 보상과 선택된 동작에 따라 변경된 상태에서 선택할 수 있는 동작에 따른 보상을 포함하는 보상의 총합이다.
- [0061] 해석부(300)는 러닝부(200)가 선택한 동작, 즉, 공정 변수의 변화량에 따라 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 수행하여 동작, 즉, 공정 변수의 변화량에 따라 단조 공정에서 소재의 온도(temperature), 변형률(strain), 변형률 속도(strain rate)를 도출한다. 해석부(300)는 S150 단계에서 공정지도를 통해 보상, 즉, 유동불안정성의 감소량을 계산한다. 즉, 도 11에 도시된 바와 같이, 해석부(300)는 앞서 도출된 온도(temperature), 변형률(strain) 및 변형률 속도(strain rate)를 공정지도에 매핑(M)함으로써 유동불안정성을 도출할 수 있다. 이때, 소재의 절점(p) 별로 온도(temperature), 변형률(strain) 및 변형률 속도(strain rate)

e)를 공정지도에 매핑한다. 그리고 해석부(300)는 매핑된 유동불안정성에 따라 유동불안정성의 감소량인 보상을 도출한다.

[0062] 보상이 산출되면, 러닝부(200)는 상태를 갱신하고, 갱신된 상태 및 보상에 따라 품질기대치를 갱신한다. 이때, 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량인 동작을 가지도록 품질기대치를 갱신한다. 러닝부(200) 및 해석부(300)는 소정의 조건이 만족할 때까지 지속적으로 품질기대치를 갱신한다. 이에 따라, 임의의 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량인 동작을 선택하도록 행동가치함수를 도출한다.

[0063] 제어부(400)는 학습된 바에 따라 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량인 동작을 선택하여 단조 공정을 제어한다.

[0064] 다음으로, 본 발명의 실시예에 따른 강화 학습 기반의 가공 지도를 이용한 단조 공정의 제어변수를 최적화하기 위한 방법에 대해서 설명하기로 한다. 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 강화 학습 기반의 가공 지도를 이용한 단조 공정의 제어변수를 최적화하기 위한 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 3 내지 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 가공 지도를 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 5 내지 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 유한요소해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 통해 유동불안정성을 도출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0065] 도 2를 참조하면, 지도생성부(100)는 S110 단계에서 소재에 대한 3차원의 공정지도를 마련한다. 이를 위하여, 지도생성부(100)는 도 3에 도시된 바와 같이, 소재에 대한 열간 압축시험에 따라 소재의 유동응력이 도출되면, 지도생성부(100)는 도출된 유동응력의 변형률(True strain)별 응력(True stress)을 기초로 도 4에 도시된 바와 같이, 소재의 온도(temperature)에 따른 변형률(strain)을 나타내는 2차원 공정지도를 생성한다. 그런 다음, 지도생성부(100)는 도 5에 도시된 바와 같이, 2차원의 공정지도를 적층하여 3차원의 공정지도를 생성한다. 이러한 3차원의 공정지도는 온도(temperature), 변형률(strain), 변형률 속도(strain rate)에 따른 유동불안정성을 나타낸다.

[0066] 다음으로, 러닝부(200)는 S120 단계에서 강화 학습(RL: Reinforcement Learning)을 위해 강화학습모델(RLM)의 상태 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_T\}$ 을 초기화한다. 여기서, 강화 학습(RL)은 Q-Learning이 될 수 있다. 또한, 상태는 공정 변수를 나타낸다. 또한, 공정 변수는 단조 공정에서 단조 공정의 대상인 재료의 온도(T: Temperature) 및 스트로크 속도(v: Stroke speed)를 나타낸다.

[0067] 그런 다음, 러닝부(200)는 S130 단계에서 Q(Quality)값에 따라 동작 $A = \{a_0, a_1, \dots, a_T\}$ 을 선택한다. 여기서, 동작은 공정 변수의 변화량을 나타낸다. 즉, 동작은 온도(T)의 변화량 및 스트로크 속도(v)의 변화량을 나타낸다. 또한, Q값을 '품질기대치'라고 칭하기로 한다. 여기서, 품질기대치는 선택된 행동에 따라 이후에 얻을 수 있는 모든 보상의 총합에 대한 기댓값이라고 할 수 있다. 품질기대치는 현재의 상태에서 선택된 동작에 따른 보상과 선택된 동작에 따라 변경된 상태에서 선택할 수 있는 동작에 따른 보상을 포함하는 보상의 총합이다. 다른 말로, 품질기대치(Q)는 선택된 행동이 미래의 보상을 얻는 데 얼마나 유용한지를 나타낸다. 이러한 품질기대치는 다음의 수학적 식 1의 가치함수에 의해 정의된다.

수학적 식 1

$$Q(s_{t+1}, a_{t+1})$$

$$= Q(s_t, a_t) + \alpha [R(s_{t+1}, a_{t+1}) + \gamma \cdot \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)]$$

[0068]

[0069] 여기서, Q는 품질기대치이다. s는 공정 변수인 상태를 나타내고, a는 공정 변수의 변화량인 동작을 나타낸다. 또한, R은 보상을 나타낸다. 본 발명의 실시예에서 보상은 유동불안정성의 감소량을 나타낸다. 그리고 t는 이터레이션(iteration)의 인덱스이다.

[0070] α 는 학습률이고, $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되는 값이다. 이러한 학습률은 품질기대치에 대한 갱신 절차의 수렴 속도를 제어하기 위한 하이퍼파라미터이다. 예를 들어 $\alpha = 0$ 이면, 수학적 식 1의 두 번째 항을 소거하여 새로운 값을 학습하지 않으며, $\alpha = 1$ 일 때는 첫 번째 항을 소거하여 가장 최근의 정보만을 고려한다.

- [0071] γ 는 할인계수이며, $0 \leq \gamma \leq 1$ 의 범위에서 미리 설정되는 값이다. 이러한 할인 계수는 에이전트가 현재 보상 대비 미래 보상의 중요도를 결정한다. $\gamma=0$ 이면, 미래 보상을 나타내는 항을 소거하여 현재 보상의 비중을 높이며, $\gamma=1$ 이면, 미래 보상을 나타내는 항을 유지하여 미래의 보상을 비중을 높인다.
- [0072] 그런 다음, 해석부(300)는 S140 단계에서 러닝부(200)가 선택한 동작, 즉, 공정 변수의 변화량에 따라 유한요소 해석을 기반으로 하는 시뮬레이션을 수행하여 동작, 즉, 공정 변수의 변화량에 따라 단조 공정에서 소재의 온도(temperature), 변형률(strain), 변형률 속도(strain rate)를 도출한다.
- [0073] 예컨대, 해석부(300)는 공정 변수의 변화량에 따라 유한요소해석을 기반으로 공정(case 1, case 2, case 3)의 각 스텝(step) 및 각 절점(point, p1 내지 p8) 별로 시뮬레이션을 수행한다. 여기서, 스텝(step)은 기록을 위해 공정이 완료될 때까지의 과정을 소정의 시간 단위로 구분한 것이다. 이러한 화면 예가 도 6에 도시되었다. 이러한 유한요소해석 기반의 시뮬레이션의 결과에 따라, 소재의 온도(temperature), 변형률(strain), 변형률 속도(strain rate)가 도출된다. 도 7 내지 도 9는 각 공정(case 1, case 2, case 3)에 대응하는 유한요소해석에 따른 소재의 온도(temperature), 변형률(strain), 변형률 속도(strain rate)를 나타낸다.
- [0074] 이어서, 해석부(300)는 S150 단계에서 공정지도를 통해 보상, 즉, 유동불안정성의 감소량을 계산한다. 즉, 도 10에 도시된 바와 같이, 해석부(300)는 앞서 도출된 온도(temperature), 변형률(strain) 및 변형률 속도(strain rate)를 공정지도에 매핑(M)함으로써 유동불안정성을 도출할 수 있다. 이때, 소재의 절점(p) 별로 온도(temperature), 변형률(strain) 및 변형률 속도(strain rate)를 공정지도에 매핑한다. 그리고 해석부(300)는 다음의 수학식 2에 따라 상태 및 동작에 따른 보상을 도출할 수 있다. 즉, 해석부(300)는 다음의 수학식 2에 따라 상태 및 동작에 따른 유동불안정성의 감소량을 도출한다.

수학식 2

[0075]
$$R(s, a) = \Delta \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \xi_{i,n}$$

- [0076] 여기서, R은 보상을 나타내며, 유동불안정성의 감소량을 의미한다. s는 상태이고, a는 동작을 나타낸다. 또한, i는 스텝의 인덱스이고, n은 소재의 절점의 인덱스이다. 그리고 $\xi_{i,n}$ 는 유동불안정성을 나타낸다. 이에 따라, $\xi_{i,n}$ 는 상태 i에서, 절점 n에서의 유동불안정성을 나타낸다. 전술한 바와 같이, 스텝(step)은 기록을 위해 공정이 완료될 때까지의 과정을 소정의 시간 단위로 구분한 것이다.
- [0077] 보상이 산출되면, 러닝부(200)는 S160 단계에서 동작에 따른 상태를 갱신하고, S170 단계에서 갱신된 상태 및 보상에 따라 품질기대치를 갱신한다. 이때, 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량인 동작을 가지도록 품질기대치를 갱신한다. 이러한 품질기대치는 앞서 수학식 1에 따라 갱신된다.
- [0078] 다음으로, 러닝부(200)는 S180 단계에서 학습 종료 조건을 만족하는지 여부를 판단한다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 학습 종료 조건은 소정의 이터레이션(iteration) 횟수가 될 수 있다. 여기서, 1 이터레이션(iteration)은 전술한 S130 단계 내지 S170 단계를 의미한다. 다른 실시예에 따르면, 학습 종료 조건은 유동불안정성이 초기 상태에서의 유동불안정성 대비 소정 비율(예컨대, 80%)로 감소된 경우가 될 수 있다.
- [0079] S180 단계의 판단 결과, 학습 종료 조건이 만족되지 않으면, 전술한 S130 단계 내지 S180 단계를 반복한다. 반면, 학습 종료 조건이 만족되면, 제어부(400)는 최적화된 상태 및 동작, 즉, 임의의 공정 변수를 가지는 상태에서 유동불안정성의 감소량이 최대가 되는 공정 변수의 변화량인 동작에 따라 단조 공정을 제어한다.
- [0081] 도 11는 본 발명의 실시예에 따른 컴퓨팅 장치를 나타내는 도면이다. 도 11의 컴퓨팅 장치(TN100)는 본 명세서에서 기술된 장치, 예컨대, 공정제어장치(10)가 될 수 있다.
- [0082] 도 11의 실시예에서, 컴퓨팅 장치(TN100)는 적어도 하나의 프로세서(TN110), 송수신 장치(TN120), 및 메모리(TN130)를 포함할 수 있다. 또한, 컴퓨팅 장치(TN100)는 저장 장치(TN140), 입력 인터페이스 장치(TN150), 출력

인터페이스 장치(TN160) 등을 더 포함할 수 있다. 컴퓨팅 장치(TN100)에 포함된 구성 요소들은 버스(bus)(TN170)에 의해 연결되어 서로 통신을 수행할 수 있다.

[0083] 프로세서(TN110)는 메모리(TN130) 및 저장 장치(TN140) 중에서 적어도 하나에 저장된 프로그램 명령(program command)을 실행할 수 있다. 프로세서(TN110)는 중앙 처리 장치(CPU: central processing unit), 그래픽 처리 장치(GPU: graphics processing unit), 또는 본 발명의 실시예에 따른 방법들이 수행되는 전용의 프로세서를 의미할 수 있다. 프로세서(TN110)는 본 발명의 실시예와 관련하여 기술된 절차, 기능, 및 방법 등을 구현하도록 구성될 수 있다. 프로세서(TN110)는 컴퓨팅 장치(TN100)의 각 구성 요소를 제어할 수 있다.

[0084] 메모리(TN130) 및 저장 장치(TN140) 각각은 프로세서(TN110)의 동작과 관련된 다양한 정보를 저장할 수 있다. 메모리(TN130) 및 저장 장치(TN140) 각각은 휘발성 저장 매체 및 비휘발성 저장 매체 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다. 예를 들어, 메모리(TN130)는 읽기 전용 메모리(ROM: read only memory) 및 랜덤 액세스 메모리(RAM: random access memory) 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다.

[0085] 송수신 장치(TN120)는 유선 신호 또는 무선 신호를 송신 또는 수신할 수 있다. 송수신 장치(TN120)는 네트워크에 연결되어 통신을 수행할 수 있다.

[0087] 한편, 전술한 본 발명의 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터수단을 통하여 관독 가능한 프로그램 형태로 구현되어 컴퓨터로 관독 가능한 기록매체에 기록될 수 있다. 여기서, 기록매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 예컨대 기록매체는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광 기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media) 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치를 포함한다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 와이어뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 와이어를 포함할 수 있다. 이러한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0088] 이상 본 발명을 몇 가지 바람직한 실시예를 사용하여 설명하였으나, 이들 실시예는 예시적인 것이며 한정적인 것이 아니다. 이와 같이, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 지닌 자라면 본 발명의 사상과 첨부된 특허청구범위에 제시된 권리범위에서 벗어나지 않으면서 균등론에 따라 다양한 변화와 수정을 가할 수 있음을 이해할 것이다.

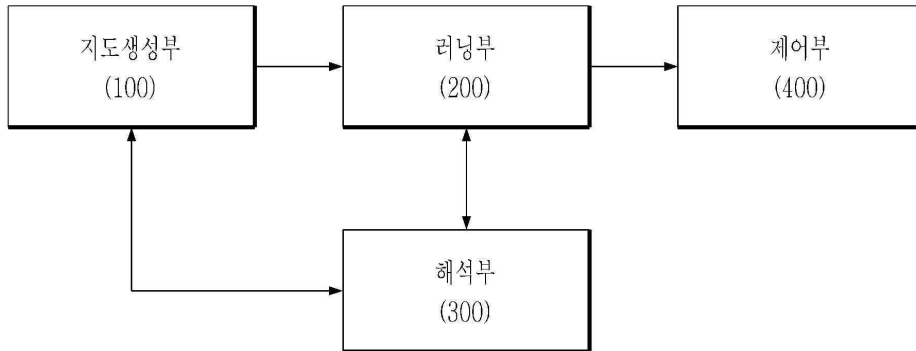
부호의 설명

- [0089] 10: 공정제어장치
- 100: 지도생성부
- 200: 러닝부
- 300: 해석부
- 400: 제어부

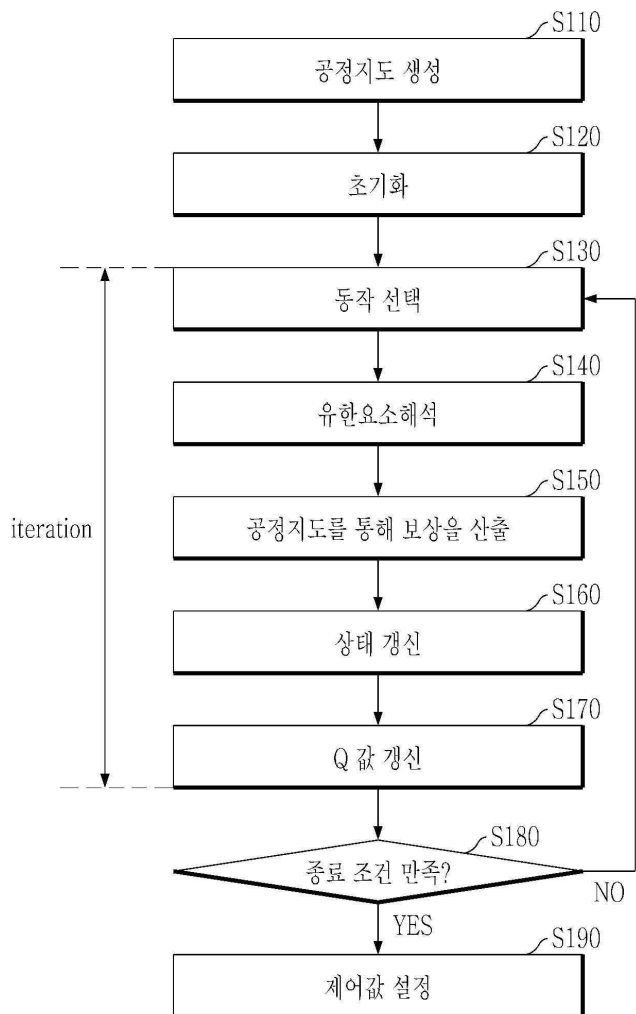
도면

도면1

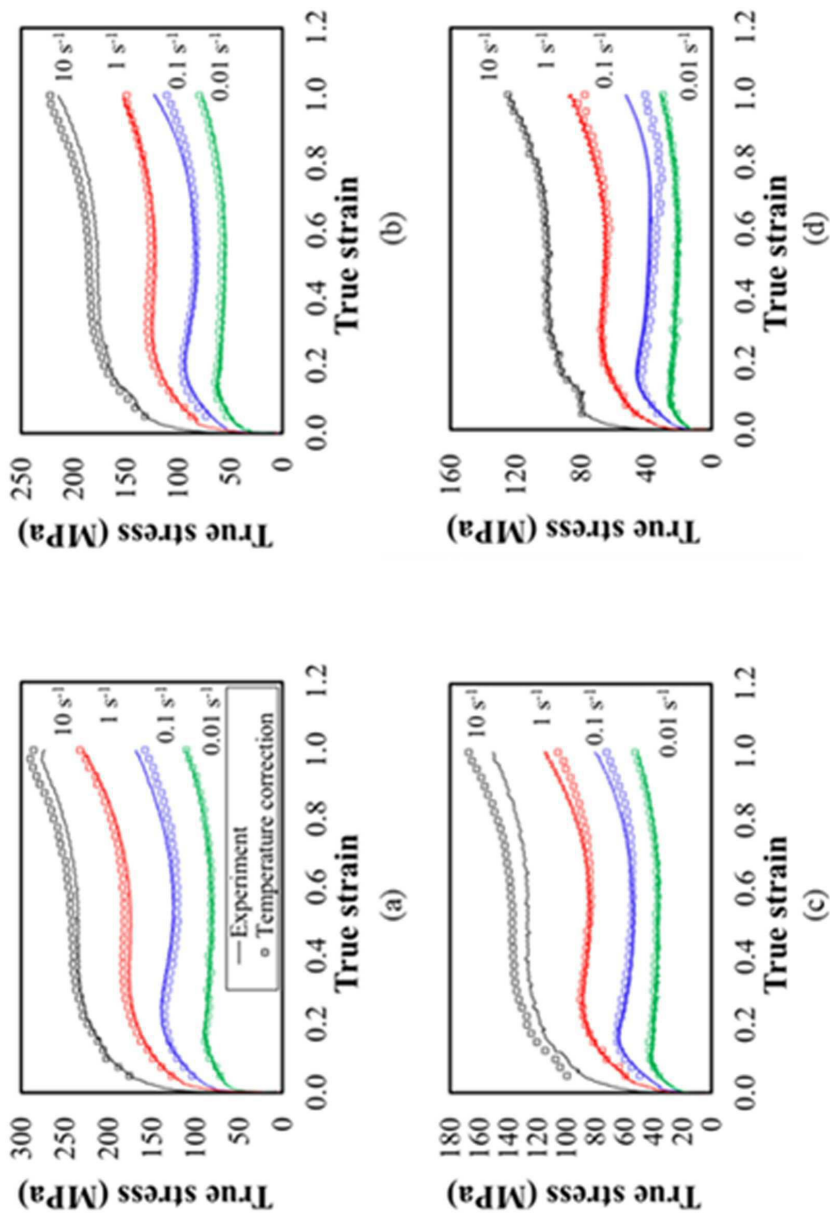
10



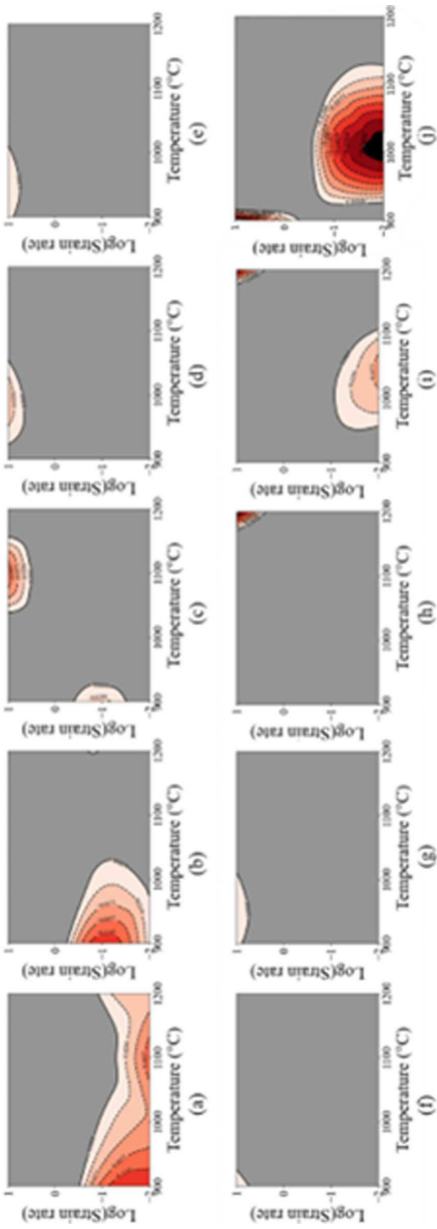
도면2



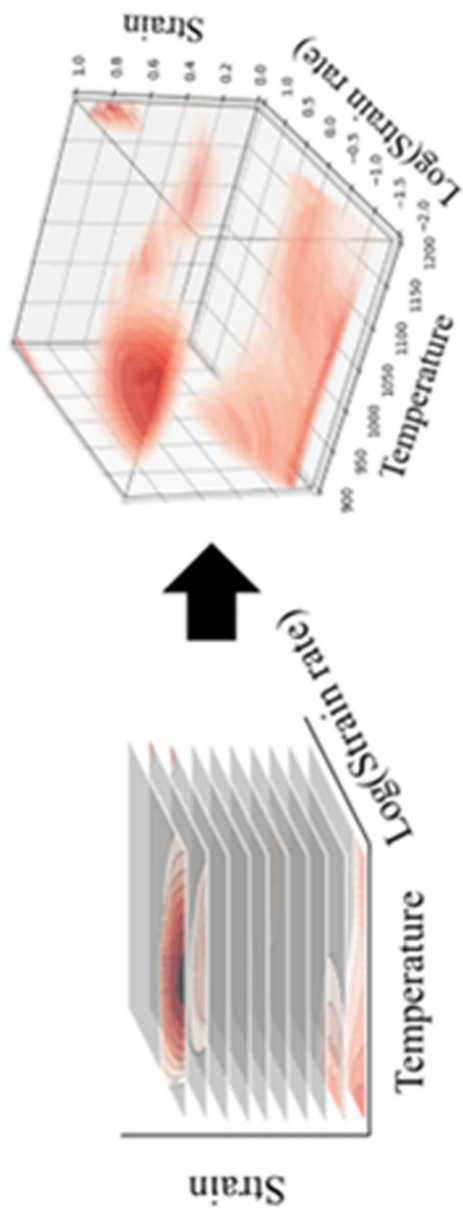
도면3



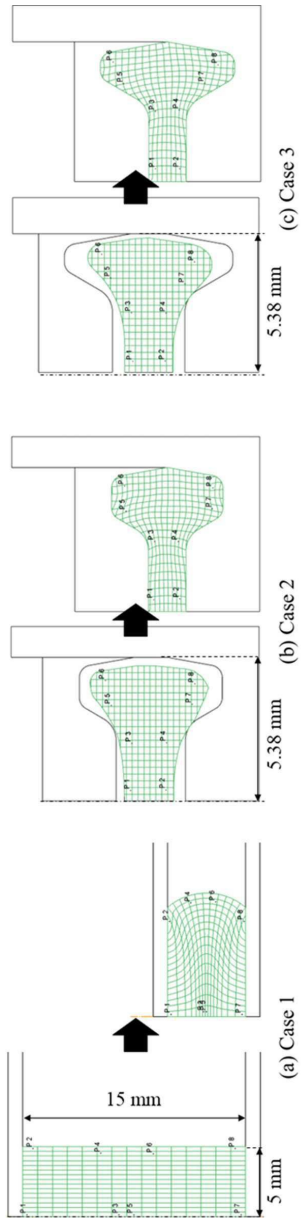
도면4



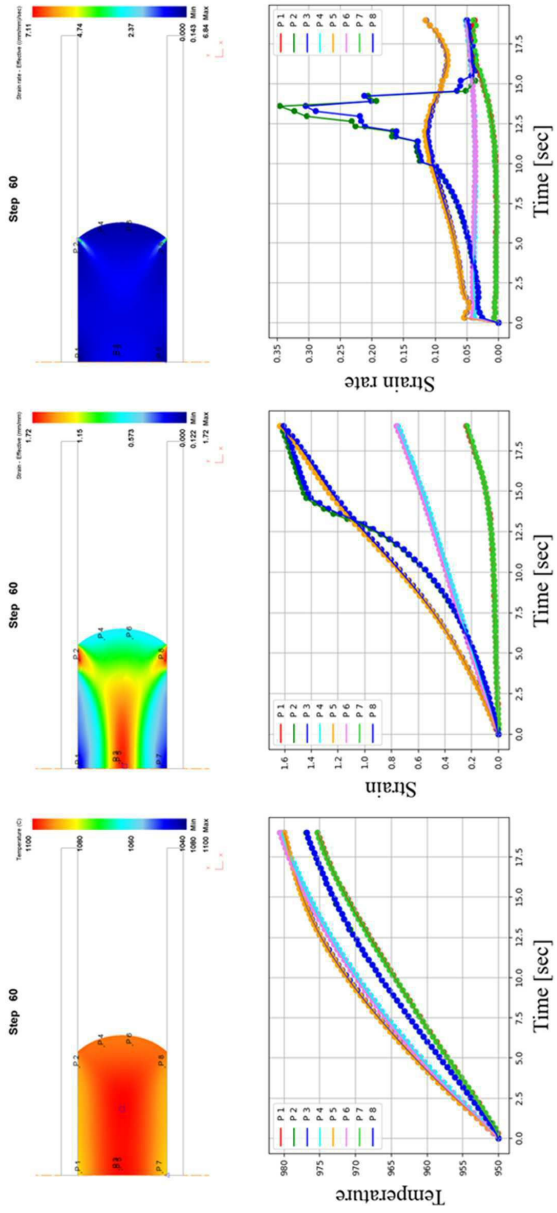
도면5



도면6

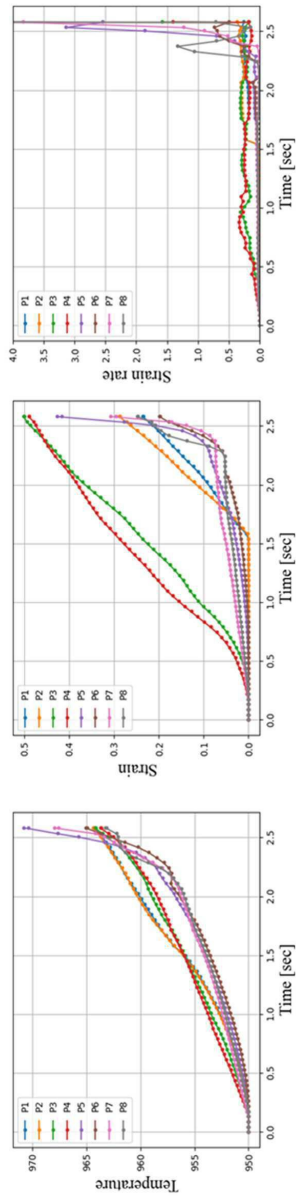
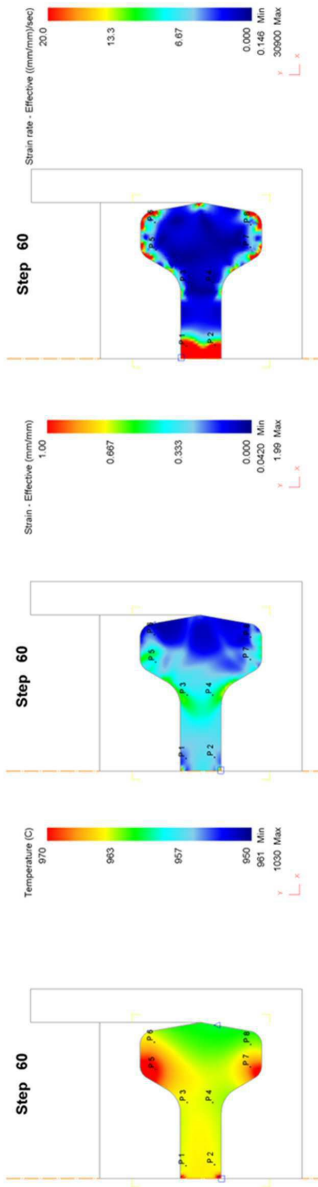


도면7



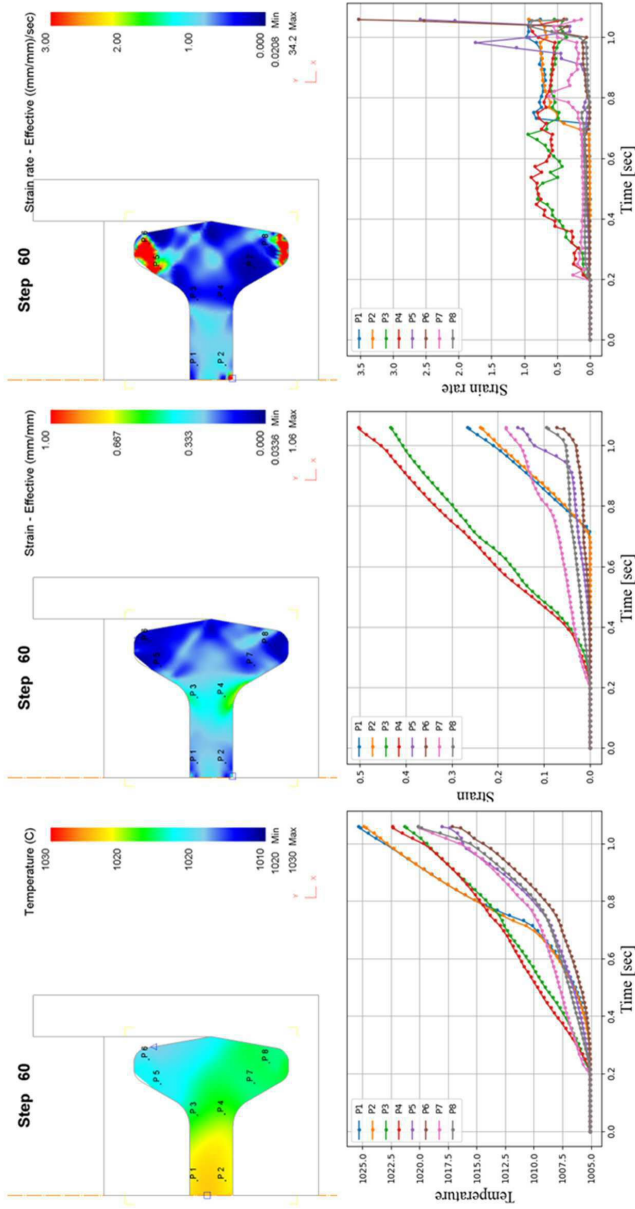
(a) Case 1

도면8



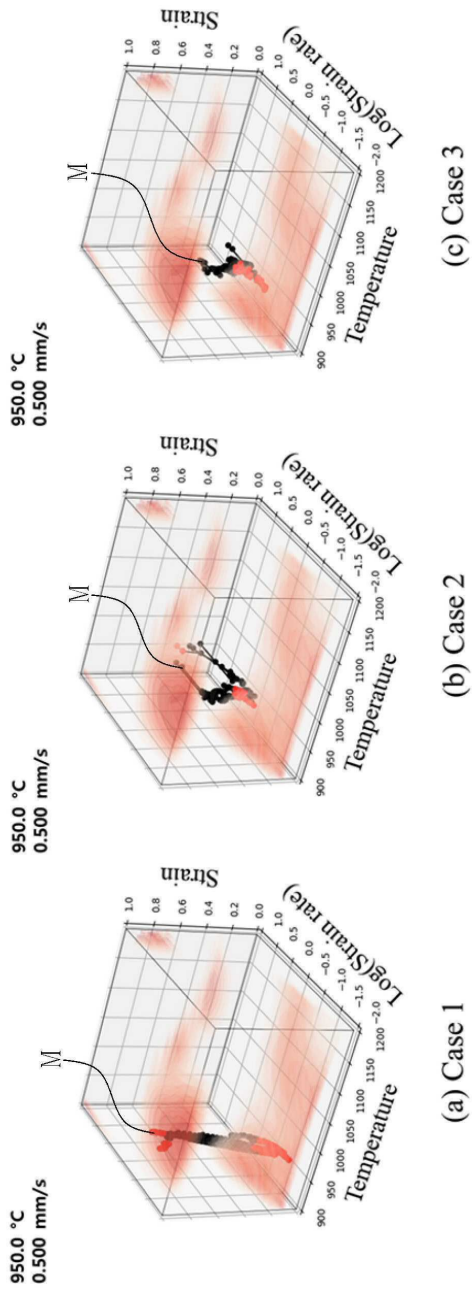
(b) Case 2

도면9



(c) Case 3

도면10



도면11

