(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0120416
(43) 공개일자 2022년08월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G06F 30/17* (2020.01) *G06F 30/12* (2020.01)
*G06F 30/27* (2020.01) *G06N 3/08* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*G06F 30/17* (2020.01)
*G06F 30/12* (2020.01)
(21) 출원번호 10-2021-0083171
(22) 출원일자 2021년06월25일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
1020210023417 2021년02월22일 대한민국(KR)

(71) 출원인
**서강대학교산학협력단**
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
**김낙수**
서울특별시 서초구 효령로77길 20, 현대ESA아파트 1301호
**이승로**
인천광역시 미추홀구 미추로 20번길 6 (숭의동)
(74) 대리인
**특허법인 천지**

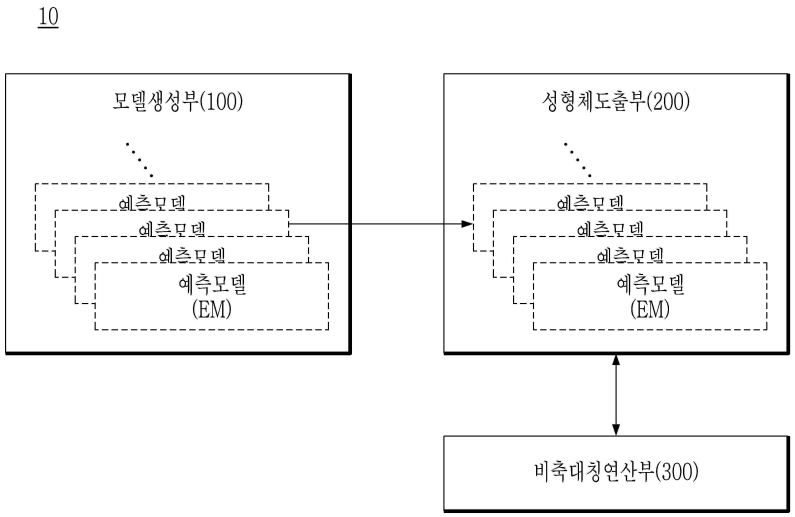
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위한 장치 및 이를 위한 방법**

## (57) 요 약

예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위한 방법은 단조형상생성부가 단조형상을 생성하는 단계와, 레이블설정부가 상기 단조형상에 대응하는 복수의 후보 예비성형체를 생성하는 단계와, 상기 레이블설정부가 상기 단조형상에 대응하는 상기 복수의 후보 예비성형체 중 어느 하나를 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선택하는 단계와, 학습부가 상기 단조형상과, 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 학습데이터로 이용하여 예비성형체의 형상을 예측하는 예측모델을 학습시키는 단계를 포함한다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
*G06F 30/27* (2020.01)
*G06N 3/08* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711107134
과제번호 2019R1F1A1060567
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명 인공지능 기술을 활용한 난성형재 단조품의 예비성형체 설계방법 연구
기 여 율 1/2
과제수행기관명 서강대학교
연구기간 2020.03.01 ~ 2021.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415169604
과제번호 20013060
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원
연구사업명 소재부품기술개발(R&D)
연구과제명 성형 가공 중소중견기업 애로기술 해결 지원을 위한 SOGANG 플랫폼 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 서강대학교산학협력단
연구기간 2020.08.01 ~ 2021.02.28

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위한 방법에 있어서,

단조형상생성부가 단조형상을 생성하는 단계;

레이블설정부가 상기 단조형상에 대응하는 복수의 후보 예비성형체를 생성하는 단계;

상기 레이블설정부가 상기 단조형상에 대응하는 상기 복수의 후보 예비성형체 중 어느 하나를 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선택하는 단계; 및

학습부가 상기 단조형상과, 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 학습데이터로 이용하여 예비성형체의 형상을 예측하는 예측모델을 학습시키는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 예비성형체로 선택하는 단계는

상기 레이블설정부가 상기 복수의 예비성형체 후보에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출하는 단계; 및

상기 레이블설정부가 유한요소해석의 결과에 따라 복수의 예비성형체 후보 중 하나를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선정하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 유한요소해석의 결과에 따라 복수의 예비성형체 후보 중 하나를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선정하는 단계는

상기 레이블설정부가 상기 복수의 예비성형체 후보 중 금형 충전율에 따라 미충진 결함이 있는 예비성형체 후보를 특정하고, 특정된 예비성형체 후보를 제외시키는 단계;

상기 레이블설정부가 상기 복수의 예비성형체 후보 중 겹침 결함이 있는 예비성형체 후보를 제외시키는 단계; 및

상기 레이블설정부가 상기 미충진 결함 및 상기 겹침 결함이 없는 복수의 예비성형체 후보 중 가장 낮은 단조하중을 기록한 예비성형체 후보를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선정하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 단조형상을 생성하는 단계는

상기 단조형상생성부가 지면에 수직인 회전축에서 상기 회전축과 수직인 바닥면을 나타내는 바닥선을 따라 기설정된 반지름만큼 이격된 위치에 모선을 설정하는 단계;

상기 단조형상생성부가 상기 회전축과 상기 모선 사이의 바닥선을 따라 제어점을 할당하는 단계;

상기 단조형상생성부가 미리 설정된 복수의 높이 레벨을 조합하여 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점의 바닥선으로부터 수직 방향의 높이를 설정하는 단계;

상기 단조형상생성부가 상기 높이가 설정된 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점을 연결하여 연결선을 생성하는 단계;

상기 단조형상생성부가 상기 회전축, 상기 연결선, 상기 모선 및 상기 바닥선을 상기 회전축에 따라 회전시켜 단조 형상을 생성하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 5**

제1항에 있어서,

상기 복수의 후보 예비성형체를 생성하는 단계는

상기 레이블설정부가 지면에 수직인 회전축과 수직인 기준선을 따라 대응하는 단조형상과 동일한 반지름만큼 이격된 위치에 모선을 설정하는 단계;

상기 레이블설정부가 상기 회전축과 상기 모선 사이의 기준선을 따라 복수개의 제어점을 할당하는 단계;

상기 레이블설정부가 미리 설정된 복수의 높이 레벨을 조합하여 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점의 기준선으로부터 수직 방향의 높이를 설정하는 단계;

상기 레이블설정부가 상기 높이가 설정된 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점을 연결하여 연결선을 생성하는 단계;

상기 레이블설정부가 미리 설정된 복수의 높이 레벨 중 어느 하나를 선택하여 바닥선과 기준선 간의 높이를 설정하는 단계;

상기 레이블설정부가 상기 회전축, 상기 연결선, 상기 모선 및 상기 바닥선을 회전축에 따라 회전시켜 후보 예비성형체를 생성하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 6**

제5항에 있어서,

상기 바닥선과 기준선 간의 높이를 설정하는 단계는

상기 레이블설정부가

상기 회전축, 상기 연결선, 상기 모선 및 상기 바닥선의 회전에 의해 생성되는 후보 예비성형체의 부피와, 후보 예비성형체에 대응하는 단조형상의 부피가 일치하도록 상기 바닥선과 상기 기준선 간의 높이를 설정하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 7**

제1항에 있어서,

상기 예측모델을 학습시키는 단계는

학습부가 복수의 단조형상과 상기 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 마련하는 단계;

상기 학습부가 복수의 학습데이터를 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계; 및

상기 학습데이터그룹 별로 해당 학습데이터 그룹에 속하는 학습데이터를 이용하여 학습을 수행함으로써 복수의 예측모델을 생성하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 8**

예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위한 방법에 있어서,

단조형상생성부가 단조형상을 생성하는 단계;

레이블설정부가 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 생성하는 단계; 및

학습부가 상기 단조형상과, 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 학습데이터로 이용하여 예비성형체의 형상을 예측하는 예측모델을 학습시키는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 9**

제8항에 있어서,

상기 예측모델을 학습시키는 단계는

학습부가 복수의 단조형상과 상기 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 마련하는 단계;

상기 학습부가 복수의 학습데이터를 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계; 및

상기 학습데이터그룹 별로 해당 학습데이터 그룹에 속하는 학습데이터를 이용하여 학습을 수행함으로써 복수의 예측모델을 생성하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계는

상기 복수의 단조형상을 단조형상의 복수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 기준으로 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 11**

제9항에 있어서,

상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계는

학습부가 회전축에서 가까운 순서의 소정 수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 나타내는 제1 조건과, 모선에 가까운 순서의 소정 수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 나타내는 제2 조건을 마련하는 단계; 및

상기 학습부가 상기 제1 조건 또는 상기 제2 조건을 만족하는지 여부에 따라 상기 복수의 단조형상을 상기 복수

의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 12**

제9항에 있어서,

상기 복수의 예측모델을 생성하는 단계는

상기 학습부가 어느 하나의 학습데이터그룹에 속하는 학습데이터의 단조형상 및 레이블 예비성형체를 복셀화하여 행렬 형식의 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 단계;

예측모델이 상기 단조형상행렬에 대해 복수의 계층 간 학습이 완료되지 않은 가중치가 적용되는 복수의 연산을 통해 예비성형체의 형상을 예측한 행렬 표현인 예측형상행렬을 도출하는 단계;

상기 학습부가 손실함수를 통해 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실을 산출하는 단계;

상기 손실이 최소가 되도록 상기 예측모델의 가중치를 수정하는 최적화를 수행하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 13**

제12항에 있어서,

상기 손실을 산출하는 단계는

상기 학습부가

손실함수

$$E(y_i, \hat{y}_i) = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \log(\hat{y}_i) + (1-y_i)\log(1-\hat{y}_i)$$

를 통해 상기 손실을 산출하고,

상기 $E(y_i, \hat{y}_i)$는 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실이고,

상기 $y_i$는 단조형상행렬에 대응하는 레이블인 레이블 예비성형체행렬이고,

상기 $\hat{y}_i$는 입력된 단조형상행렬로부터 도출된 예측형상행렬인 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 14**

제12항에 있어서,

상기 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 단계는

상기 학습부가

메쉬 파일인 단조형상 및 레이블 예비성형체에서 가장 긴 변을 1 복셀로 매핑하고, 메쉬 파일이 어느 하나에 복셀에서 차지하는 부피에 따라 해당 복셀을 0 또는 1의 값을 할당함으로써 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 방법.

**청구항 15**

예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위한 장치에 있어서,

단조형상을 생성하는 단조형상생성부;

상기 단조형상에 대응하는 복수의 후보 예비성형체를 생성하고,

상기 단조형상에 대응하는 상기 복수의 후보 예비성형체 중 어느 하나를 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선택하는 레이블설정부; 및

상기 단조형상과, 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 학습데이터로 이용하여 예비성형체의 형상을 예측하는 예측모델을 학습시키는 학습부;

를 포함하는 것을 특징으로 하는

모델을 학습시키기 위한 장치.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 학습 모델(deep learning model)을 학습(deep learning)시키는 기술에 관한 것으로, 보다 상세하게는 예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위한 장치 및 이를 위한 방법에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 단조는 금형의 직선운동을 통해 원하는 소재의 형상을 만드는 가공 방법을 말한다. 소재의 유동에 따라 얻을 수 있는 형상이 한정적이므로 일반적으로 여러 단계를 거쳐서 단조를 하며, 최종 제품 이전 단조 형상을 예비성형체라고 한다. 예비성형체의 설계는 최종 형상 단조 시 미충진, 겹침 등의 단조 결함을 방지하고, 단조 하중을 감소시키므로 금형 수명을 향상시킬 수 있다. 하지만, 예비성형체의 설계는 주로 경험자의 시행오차에 의한 방법으로 진행되었으며, 엔지니어의 경험에 많이 의존적이다.

### *선행기술문헌*

#### *특허문헌*

[0003] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제2014-0126306호 (2014.10.30. 공개)

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0004] 본 발명의 목적은 예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위해 학습데이터를 생성하고, 이를 이용하여 예측 모델을 생성하는 장치 및 이를 위한 방법을 제공함에 있다.

### *과제의 해결 수단*

[0005] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위한 방법은 단조형상생성부가 단조형상을 생성하는 단계와, 레이블설정부가 상기 단조형상에 대응하는 복수의 후보 예비성형체를 생성하는 단계와, 상기 레이블설정부가 상기 단조형상에 대응하는 상기 복수의 후보 예비성형체 중 어느 하나를 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선택하는 단계와, 학습부가 상기 단조형상과, 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 학습데이터로 이용하여 예비성형체의 형상을 예측하는 예측모델을 학습시키는 단계를 포함한다.

[0006] 상기 예비성형체로 선택하는 단계는 상기 레이블설정부가 상기 복수의 예비성형체 후보에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출하는 단계와, 상기 레이블설정부가 유한요소해

석의 결과에 따라 복수의 예비성형체 후보 중 하나를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선정하는 단계를 포함한다.

[0007] 상기 유한요소해석의 결과에 따라 복수의 예비성형체 후보 중 하나를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선정하는 단계는 상기 레이블설정부가 상기 복수의 예비성형체 후보 중 금형 충전율에 따라 미충진 결함이 있는 예비성형체 후보를 특정하고, 특정된 예비성형체 후보를 제외시키는 단계와, 상기 레이블설정부가 상기 복수의 예비성형체 후보 중 겹침 결함이 있는 예비성형체 후보를 제외시키는 단계와, 상기 레이블설정부가 상기 미충진 결함 및 상기 겹침 결함이 없는 복수의 예비성형체 후보 중 가장 낮은 단조 하중을 기록한 예비성형체 후보를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선정하는 단계를 포함한다.

[0008] 상기 단조형상을 생성하는 단계는 상기 단조형상생성부가 지면에 수직인 회전축에서 상기 회전축과 수직인 바닥면을 나타내는 바닥선을 따라 기 설정된 반지름만큼 이격된 위치에 모선을 설정하는 단계와, 상기 단조형상생성부가 상기 회전축과 상기 모선 사이의 바닥선을 따라 제어점을 할당하는 단계와, 상기 단조형상생성부가 미리 설정된 복수의 높이 레벨을 조합하여 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점의 바닥선으로부터 수직 방향의 높이를 설정하는 단계와, 상기 단조형상생성부가 상기 높이가 설정된 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점을 연결하여 연결선을 생성하는 단계와, 상기 단조형상생성부가 상기 회전축, 상기 연결선, 상기 모선 및 상기 바닥선을 상기 회전축에 따라 회전시켜 단조 형상을 생성하는 단계를 포함한다.

[0009] 상기 복수의 후보 예비성형체를 생성하는 단계는 상기 레이블설정부가 지면에 수직인 회전축과 수직인 기준선을 따라 대응하는 단조형상과 동일한 반지름만큼 이격된 위치에 모선을 설정하는 단계와, 상기 레이블설정부가 상기 회전축과 상기 모선 사이의 기준선을 따라 복수개의 제어점을 할당하는 단계와, 상기 레이블설정부가 미리 설정된 복수의 높이 레벨을 조합하여 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점의 기준선으로부터 수직 방향의 높이를 설정하는 단계와, 상기 레이블설정부가 상기 높이가 설정된 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점을 연결하여 연결선을 생성하는 단계와, 상기 레이블설정부가 미리 설정된 복수의 높이 레벨 중 어느 하나를 선택하여 바닥선과 기준선 간의 높이를 설정하는 단계와, 상기 레이블설정부가 상기 회전축, 상기 연결선, 상기 모선 및 상기 바닥선을 회전축에 따라 회전시켜 후보 예비성형체를 생성하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 바닥선과 기준선 간의 높이를 설정하는 단계는 상기 레이블설정부가 상기 회전축, 상기 연결선, 상기 모선 및 상기 바닥선의 회전에 의해 생성되는 후보 예비성형체의 부피와, 후보 예비성형체에 대응하는 단조형상의 부피가 일치하도록 상기 바닥선과 상기 기준선 간의 높이를 설정하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기 예측모델을 학습시키는 단계는 학습부가 복수의 단조형상과 상기 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 마련하는 단계와, 상기 학습부가 복수의 학습데이터를 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계와, 상기 학습데이터그룹 별로 해당 학습데이터 그룹에 속하는 학습데이터를 이용하여 학습을 수행함으로써 복수의 예측모델을 생성하는 단계를 포함한다.

[0012] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위한 방법은 단조형상생성부가 단조형상을 생성하는 단계와, 레이블설정부가 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 생성하는 단계와, 학습부가 상기 단조형상과, 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 학습데이터로 이용하여 예비성형체의 형상을 예측하는 예측모델을 학습시키는 단계를 포함한다.

[0013] 상기 예측모델을 학습시키는 단계는 학습부가 복수의 단조형상과 상기 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 마련하는 단계와, 상기 학습부가 복수의 학습데이터를 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계와, 상기 학습데이터그룹 별로 해당 학습데이터 그룹에 속하는 학습데이터를 이용하여 학습을 수행함으로써 복수의 예측모델을 생성하는 단계를 포함한다.

[0014] 상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계는 상기 복수의 단조형상을 단조형상의 복수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 기준으로 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계는 학습부가 회전축에서 가까운 순서의 소정 수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 나타내는 제1 조건과, 모선에 가까운 순서의 소정 수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 나타내는 제2 조건을 마련하는 단계와, 상기 학습부가 상기 제1 조건 또는 상기 제2 조건을 만족하는지 여부에 따라 상기 복수의 단조형상을 상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계를 포함한다.

[0016] 상기 복수의 예측모델을 생성하는 단계는 상기 학습부가 어느 하나의 학습데이터그룹에 속하는 학습데이터의 단조형상 및 레이블 예비성형체를 복셀화하여 행렬 형식의 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 단계와, 예측모델이 상기 단조형상행렬에 대해 복수의 계층 간 학습이 완료되지 않은 가중치가 적용되는 복수의

연산을 통해 예비성형체의 형상을 예측한 행렬 표현인 예측형상행렬을 도출하는 단계와, 상기 학습부가 손실함수를 통해 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실을 산출하는 단계와, 상기 손실이 최소가 되도록 상기 예측모델의 가중치를 수정하는 최적화를 수행하는 단계를 포함한다.

[0017] 상기 손실을 산출하는 단계는 상기 학습부가 손실함수

$$E(y_i, \hat{y}_i) = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \log(\hat{y}_i) + (1-y_i)\log(1-\hat{y}_i)$$

를 통해 상기 손실을 산출하고, 상기 $E(y_i, \hat{y}_i)$는 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실이고, 상기 $y_i$는 단조형상행렬에 대응하는 레이블인 레이블 예비성형체행렬이고, 상기 $\hat{y}_i$는 입력된 단조형상행렬로부터 도출된 예측형상행렬인 것을 특징으로 한다.

[0018] 상기 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 단계는 상기 학습부가 메쉬 파일인 단조형상 및 레이블 예비성형체에서 가장 긴 변을 1 복셀로 매핑하고, 메쉬 파일이 어느 하나에 복셀에서 차지하는 부피에 따라 해당 복셀을 0 또는 1의 값을 할당함으로써 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 것을 특징으로 한다.

[0019] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위한 장치는 단조형상을 생성하는 단조형상생성부와, 상기 단조형상에 대응하는 복수의 후보 예비성형체를 생성하고, 상기 단조형상에 대응하는 상기 복수의 후보 예비성형체 중 어느 하나를 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선택하는 레이블설정부와, 상기 단조형상과, 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 학습데이터로 이용하여 예비성형체의 형상을 예측하는 예측모델을 학습시키는 학습부를 포함한다.

[0020] 상기 레이블설정부는 상기 복수의 예비성형체 후보에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출하고, 유한요소해석의 결과에 따라 복수의 예비성형체 후보 중 하나를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선정하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 상기 레이블설정부는 상기 복수의 예비성형체 후보 중 금형 충전율에 따라 미충진 결함이 있는 예비성형체 후보를 특정하고, 특정된 예비성형체 후보를 제외시키고, 상기 복수의 예비성형체 후보 중 겹침 결함이 있는 예비성형체 후보를 제외시키고, 상기 미충진 결함 및 상기 겹침 결함이 없는 복수의 예비성형체 후보 중 가장 낮은 단조 하중을 기록한 예비성형체 후보를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선정하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 상기 단조형상생성부는 지면에 수직인 회전축에서 상기 회전축과 수직인 바닥면을 나타내는 바닥선을 따라 기설정된 반지름만큼 이격된 위치에 모선을 설정하고, 상기 회전축과 상기 모선 사이의 바닥선을 따라 제어점을 할당하고, 미리 설정된 복수의 높이 레벨을 조합하여 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점의 바닥선으로부터 수직 방향의 높이를 설정하고, 상기 높이가 설정된 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점을 연결하여 연결선을 생성하고, 상기 회전축, 상기 연결선, 상기 모선 및 상기 바닥선을 상기 회전축에 따라 회전시켜 단조 형상을 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 상기 레이블설정부는 지면에 수직인 회전축과 수직인 기준선을 따라 대응하는 단조형상과 동일한 반지름만큼 이격된 위치에 모선을 설정하고, 상기 회전축과 상기 모선 사이의 기준선을 따라 복수개의 제어점을 할당하고, 미리 설정된 복수의 높이 레벨을 조합하여 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점의 기준선으로부터 수직 방향의 높이를 설정하고, 상기 높이가 설정된 상기 회전축, 상기 모선 및 상기 제어점을 연결하여 연결선을 생성하고, 미리 설정된 복수의 높이 레벨 중 어느 하나를 선택하여 바닥선과 기준선 간의 높이를 설정하고, 상기 회전축, 상기 연결선, 상기 모선 및 상기 바닥선을 회전축에 따라 회전시켜 후보 예비성형체를 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 상기 레이블설정부는 상기 회전축, 상기 연결선, 상기 모선 및 상기 바닥선의 회전에 의해 생성되는 후보 예비성형체의 부피와, 후보 예비성형체에 대응하는 단조형상의 부피가 일치하도록 상기 바닥선과 상기 기준선 간의 높이를 설정하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 상기 학습부는 복수의 단조형상과 상기 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 마련하고, 상기 복수의 학습데이터를 복수의 학습데이터그룹으로 분류하고, 상기 학습데이

터그룹 별로 해당 학습데이터 그룹에 속하는 학습데이터를 이용하여 학습을 수행함으로써 복수의 예측모델을 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0026] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하는 모델을 학습시키기 위한 장치는 단조형상을 생성하는 단조형상생성부와 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 생성하는 레이블설정부와, 상기 단조형상과, 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 학습데이터로 이용하여 예비성형체의 형상을 예측하는 예측모델을 학습시키는 학습부를 포함한다.

[0027] 상기 학습부는 복수의 단조형상과 상기 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 마련하고, 상기 학습부가 복수의 학습데이터를 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계와, 상기 학습데이터그룹 별로 해당 학습데이터 그룹에 속하는 학습데이터를 이용하여 학습을 수행함으로써 복수의 예측모델을 생성하는 단계를 포함한다.

[0028] 상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계는 상기 복수의 단조형상을 단조형상의 복수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 기준으로 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 것을 특징으로 한다.

[0029] 상기 학습부는 회전축에서 가까운 순서의 소정 수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 나타내는 제1 조건과, 모선에 가까운 순서의 소정 수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 나타내는 제2 조건을 마련하고, 상기 제1 조건 또는 상기 제2 조건을 만족하는지 여부에 따라 상기 복수의 단조형상을 상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 것을 특징으로 한다.

[0030] 상기 학습부는 어느 하나의 학습데이터그룹에 속하는 학습데이터의 단조형상 및 레이블 예비성형체를 복셀화하여 행렬 형식의 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하고, 예측모델이 상기 단조형상행렬에 대해 복수의 계층 간 학습이 완료되지 않은 가중치가 적용되는 복수의 연산을 통해 예비성형체의 형상을 예측한 행렬 표현인 예측형상행렬을 도출하면, 손실함수를 통해 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실을 산출하고, 상기 손실이 최소가 되도록 상기 예측모델의 가중치를 수정하는 최적화를 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0031] 상기 학습부는 손실함수 $$E(y_i, \hat{y}_i)=-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \log(\hat{y}_i)+(1-y_i)\log(1-\hat{y}_i)$$ 를 통해 상기 손실을 산출하고, 상기 $E(y_i, \hat{y}_i)$는 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실이고, 상기 $y_i$는 단조형상행렬에 대응하는 레이블인 레이블 예비성형체행렬이고, 상기 $\hat{y}_i$는 입력된 단조형상행렬로부터 도출된 예측형상행렬인 것을 특징으로 한다.

[0032] 상기 학습부는 메쉬 파일인 단조형상 및 레이블 예비성형체에서 가장 긴 변을 1 복셀로 매핑하고, 메쉬 파일이 어느 하나에 복셀에서 차지하는 부피에 따라 해당 복셀을 0 또는 1의 값을 할당함으로써 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 것을 특징으로 한다.

[0033] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인공신경망을 이용한 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 방법은 전처리부가 3차원 이미지인 단조형상을 3차원 행렬 표현인 단조형상행렬로 변환하는 단계와, 형상예측부가 예비성형체의 형상을 예측하도록 학습된 복수의 예측모델을 통해 상기 단조형상에 대한 예비성형체의 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출하는 단계와, 후처리부가 복수의 예측형상행렬을 3차원 이미지인 복수의 예측형상으로 변환하는 단계와, 형상결정부가 복수의 예측형상 중 기 설정된 설계 조건에 가장 부합하는 어느 하나를 예비성형체로 선택하는 단계를 포함한다.

[0034] 상기 예비성형체로 선택하는 단계는 상기 형상결정부가 상기 복수의 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외 또는 보정하는 단계와, 상기 형상결정부가 상기 복수의 예측형상에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출하는 단계와, 상기 형상결정부가 유한요소해석의 결과에 따라 상기 복수의 예측형상 중 하나를 단조형상에 대응하는 예비성형체로 선정하는 단계를 포함한다.

[0035] 상기 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외 또는 보정하는 단계는 상기 형상결정부가 예측형상에 대해 소정 간격으로 단면을 확인하고, 이웃하는 단면에서의 면적의 차이가 기 설정된 임계치 이상이면, 해당 부분을 특이 형태

로 특정하는 것을 특징으로 한다.

[0036] 상기 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외 또는 보정하는 단계는 특이 형태로 특정되었지만, 단면 상 사방이 막혀 있는 경우, 상기 형상결정부가 해당 부분을 예측형상을 나타내는 이미지로 채워 넣어 보정하는 것을 특징으로 한다.

[0037] 상기 복수의 예측형상 중 하나를 단조형상에 대응하는 예비성형체로 선정하는 단계는 상기 형상결정부가 상기 복수의 예측형상 중 금형 충전율에 따라 미충진 결함이 있는 예측형상을 특정하고, 특정된 예측형상을 제외시키는 단계와, 상기 형상결정부가 상기 복수의 예측형상 중 겹침 결함이 있는 예측형상을 제외시키는 단계와, 상기 형상결정부가 상기 미충진 결함 및 상기 겹침 결함이 없는 복수의 예측형상 중 가장 낮은 단조 하중을 기록한 예측형상을 단조형상에 대응하는 예비성형체로 선정하는 단계를 포함한다.

[0038] 상기 복수의 예측형상행렬을 도출하는 단계는 상기 복수의 예측모델이 상기 단조형상행렬에 대해 복수의 계층 간 학습된 가중치가 적용되는 복수의 연산을 수행하여 복수의 예측형상행렬을 도출하는 것을 특징으로 한다.

[0039] 상기 단조형상을 3차원 행렬 표현인 단조형상행렬로 변환하는 단계는 상기 전처리부가 메쉬 파일인 단조형상에서 가장 긴 변을 1 복셀로 매핑하고, 상기 메쉬 파일이 어느 하나에 복셀에서 차지하는 부피에 따라 해당 복셀을 0 또는 1의 값을 할당하는 것을 특징으로 한다.

[0040] 상기 복수의 예측형상행렬을 3차원 이미지인 복수의 예측형상으로 변환하는 단계는 상기 후처리부가 상기 스케일에 따라 마칭 큐브 알고리즘을 통해 복셀 파일인 복수의 예측형상행렬을 메쉬 파일인 복수의 예측형상을 변환하고, 스무딩 알고리즘을 이용하여 메쉬 파일인 복수의 예측형상의 표면에 스무딩 처리를 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0041] 상기 방법은 상기 단조형상을 3차원 행렬 표현인 단조형상행렬로 변환하는 단계 전, 학습부가 복수의 단조형상과 상기 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 마련하는 단계와, 상기 학습부가 복수의 학습데이터를 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계와, 상기 학습부가 상기 학습데이터그룹 별로 해당 학습데이터그룹에 속하는 복수의 학습데이터를 이용하여 학습을 수행함으로써 복수의 예측모델을 생성하는 단계를 더 포함한다.

[0042] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인공신경망을 이용한 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 방법은 학습부가 각각이 복수의 학습데이터를 포함하는 복수의 학습데이터그룹을 이용하여 단조형상에 대응하는 예비성형체를 예측하도록 학습되는 복수의 예측모델을 생성하는 단계와, 성형체도출부가 상기 복수의 예측모델을 이용하여 단조형상에 대응하는 예비성형체를 예측하는 단계를 포함한다.

[0043] 상기 복수의 예측모델을 생성하는 단계는 상기 학습부가 복수의 단조형상과 상기 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계와, 상기 학습부가 상기 복수의 학습데이터그룹 각각에 대응하는 복수의 예측모델을 생성하는 단계를 포함한다.

[0044] 상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계는 상기 학습부가 상기 복수의 단조형상을 단조형상의 복수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 기준으로 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 것을 특징으로 한다.

[0045] 상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계는 학습부가 회전축에서 가까운 순서의 소정 수의 특징점의 높이 간의 차이의 조합을 나타내는 제1 조건과, 모선에 가까운 순서의 소정 수의 특징점의 높이 간의 차이의 조합을 나타내는 제2 조건을 마련하는 단계와, 상기 학습부가 상기 제1 조건 또는 상기 제2 조건을 만족하는지 여부에 따라 상기 복수의 단조형상을 상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 단계를 포함한다.

[0046] 상기 복수의 학습데이터그룹 각각에 대응하는 복수의 예측모델을 생성하는 단계는 상기 학습부가 어느 하나의 학습데이터그룹에 속하는 학습데이터의 단조형상 및 레이블 예비성형체를 복셀화하여 행렬 형식의 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 단계와, 예측모델이 상기 단조형상행렬에 대해 복수의 계층 간 학습이 완료되지 않은 가중치가 적용되는 복수의 연산을 통해 예비성형체의 형상을 예측한 행렬 표현인 예측형상행렬을 도출하는 단계와, 상기 학습부가 손실함수를 통해 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실을 산출하는 단계와, 상기 손실이 최소가 되도록 상기 예측모델의 가중치를 수정하는 최적화를 수행하는 단계를 포함한다.

[0047] 상기 복수의 예측모델을 이용하여 단조형상에 대응하는 예비성형체를 예측하는 단계는 전처리부가 3차원 이미지인 단조형상을 3차원 행렬 표현인 단조형상행렬로 변환하는 단계와, 형상예측부가 예비성형체의 형상을 예측하도록 학습된 복수의 예측모델을 통해 상기 단조형상에 대한 예비성형체의 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상

행렬을 도출하는 단계와, 후처리부가 복수의 예측형상행렬을 3차원 이미지인 복수의 예측형상으로 변환하는 단계와, 형상결정부가 복수의 예측형상 중 기 설정된 설계 조건에 가장 부합하는 어느 하나를 예비성형체로 선택하는 단계를 포함한다.

[0048] 상기 예비성형체로 선택하는 단계는 상기 형상결정부가 상기 복수의 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외 또는 보정하는 단계와, 상기 형상결정부가 상기 복수의 예측형상에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출하는 단계와, 상기 형상결정부가 유한요소해석의 결과에 따라 상기 복수의 예측형상 중 하나를 단조형상에 대응하는 예비성형체로 선정하는 단계를 포함한다.

[0049] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인공신경망을 이용한 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 장치는 3차원 이미지인 단조형상을 3차원 행렬 표현인 단조형상행렬로 변환하는 전처리부와, 예비성형체의 형상을 예측하도록 학습된 복수의 예측모델을 통해 상기 단조형상에 대한 예비성형체의 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출하는 형상예측부와, 복수의 예측형상행렬을 3차원 이미지인 복수의 예측형상으로 변환하는 후처리부와, 복수의 예측형상 중 기 설정된 설계 조건에 가장 부합하는 어느 하나를 예비성형체로 선택하는 형상결정부를 포함한다.

[0050] 상기 형상결정부는 상기 복수의 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외 또는 보정하고, 상기 복수의 예측형상에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출하고, 유한요소해석의 결과에 따라 상기 복수의 예측형상 중 하나를 단조형상에 대응하는 예비성형체로 선정하는 것을 특징으로 한다.

[0051] 상기 형상결정부는 예측형상에 대해 소정 간격으로 단면을 확인하고, 이웃하는 단면에서의 면적의 차이가 기 설정된 임계치 이상이면, 해당 부분을 특이 형태로 특정하는 것을 특징으로 한다.

[0052] 상기 형상결정부는 특이 형태로 특정되었지만, 단면 상 사방이 막혀 있는 경우, 해당 부분을 예측형상을 나타내는 이미지로 채워 넣어 보정하는 것을 특징으로 한다.

[0053] 상기 형상결정부는 상기 복수의 예측형상 중 금형 충전율에 따라 미충진 결함이 있는 예측형상을 특정하고, 특정된 예측형상을 제외시키고, 상기 복수의 예측형상 중 겹침 결함이 있는 예측형상을 제외시키고, 상기 형상결정부가 상기 미충진 결함 및 상기 겹침 결함이 없는 복수의 예측형상 중 가장 낮은 단조 하중을 기록한 예측형상을 단조형상에 대응하는 예비성형체로 선정하는 것을 특징으로 한다.

[0054] 상기 복수의 예측모델은 상기 단조형상행렬에 대해 복수의 계층 간 학습된 가중치가 적용되는 복수의 연산을 수행하여 복수의 예측형상행렬을 도출하는 것을 특징으로 한다.

[0055] 상기 전처리부는 메쉬 파일인 단조형상에서 가장 긴 변을 1 복셀로 매핑하고, 상기 메쉬 파일이 어느 하나에 복셀에서 차지하는 부피에 따라 해당 복셀을 0 또는 1의 값을 할당하는 것을 특징으로 한다.

[0056] 상기 전처리부는 상기 스케일에 따라 마칭 큐브 알고리즘을 통해 복셀 파일인 복수의 예측형상행렬을 메쉬 파일인 복수의 예측형상을 변환하고, 스무딩 알고리즘을 이용하여 메쉬 파일인 복수의 예측형상의 표면에 스무딩 처리를 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0057] 상기 장치는 복수의 단조형상과 상기 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 마련하고, 복수의 학습데이터를 복수의 학습데이터그룹으로 분류하고, 상기 학습데이터그룹 별로 해당 학습데이터그룹에 속하는 복수의 학습데이터를 이용하여 학습을 수행함으로써 복수의 예측모델을 생성하는 학습부를 더 포함한다.

[0058] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인공신경망을 이용한 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 장치는 각각이 복수의 학습데이터를 포함하는 복수의 학습데이터그룹을 이용하여 단조형상에 대응하는 예비성형체를 예측하도록 학습되는 복수의 예측모델을 생성하는 학습부와, 상기 복수의 예측모델을 이용하여 단조형상에 대응하는 예비성형체를 예측하는 성형체도출부를 포함한다.

[0059] 상기 학습부는 복수의 단조형상과 상기 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 복수의 학습데이터그룹으로 분류하고, 상기 복수의 학습데이터그룹 각각에 대응하는 복수의 예측모델을 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0060] 상기 학습부는 상기 복수의 단조형상을 단조형상의 복수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 기준으로 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 것을 특징으로 한다.

[0061] 상기 학습부는 회전축에서 가까운 순서의 소정 수의 특징점의 높이 간의 차이의 조합을 나타내는 제1 조건과, 모선에 가까운 순서의 소정 수의 특징점의 높이 간의 차이의 조합을 나타내는 제2 조건을 마련하고, 상기 제1 조건 또는 상기 제2 조건을 만족하는지 여부에 따라 상기 복수의 단조형상을 상기 복수의 학습데이터그룹으로 분류하는 것을 특징으로 한다.

[0062] 상기 학습부는 어느 하나의 학습데이터그룹에 속하는 학습데이터의 단조형상 및 레이블 예비성형체를 복셀화하여 행렬 형식의 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하고, 예측모델이 상기 단조형상행렬에 대해 복수의 계층 간 학습이 완료되지 않은 가중치가 적용되는 복수의 연산을 통해 예비성형체의 형상을 예측한 행렬 표현인 예측형상행렬을 도출하면, 손실함수를 통해 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실을 산출하고, 상기 손실이 최소가 되도록 상기 예측모델의 가중치를 수정하는 최적화를 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0063] 상기 성형체도출부는 3차원 이미지인 단조형상을 3차원 행렬 표현인 단조형상행렬로 변환하는 전처리부와, 예비성형체의 형상을 예측하도록 학습된 복수의 예측모델을 통해 상기 단조형상에 대한 예비성형체의 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출하는 형상예측부와, 복수의 예측형상행렬을 3차원 이미지인 복수의 예측형상으로 변환하는 후처리부와, 복수의 예측형상 중 기 설정된 설계 조건에 가장 부합하는 어느 하나를 예비성형체로 선택하는 형상결정부를 포함한다.

[0064] 상기 형상결정부는 상기 복수의 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외 또는 보정하고, 상기 복수의 예측형상에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출하고, 상기 형상결정부가 유한요소해석의 결과에 따라 상기 복수의 예측형상 중 하나를 단조형상에 대응하는 예비성형체로 선정하는 것을 특징으로 한다.

[0065] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인공신경망을 이용한 비축대칭 단조형상에 대응하는 예비성형체의 형상을 결정하기 위한 방법은 형상처리부가 비축대칭 단조형상이 입력되면, 입력된 비축대칭 단조형상으로부터 서로 다른 복수의 축대칭 단조형상을 생성하는 단계와, 예비성형체도출부가 축대칭인 단조형상으로부터 예비성형체를 예측하도록 학습된 복수의 예측모델을 이용하여 상기 비축대칭 단조형상으로부터 비축대칭 예비성형체를 도출하는 단계와, 상기 예비성형체도출부가 상기 복수의 예측모델을 이용하여 상기 복수의 축대칭 단조형상으로부터 복수의 축대칭 예비성형체를 도출하는 단계와, 형체선택부가 상기 복수의 축대칭 예비성형체를 조합하여 모사 예비성형체를 생성하는 단계와, 상기 형체선택부가 유한요소해석을 통해 도출된 비축대칭 예비성형체의 단조 하중과 모사 예비성형체의 단조 하중을 비교하고, 비축대칭 예비성형체의 단조 하중과 모사 예비성형체의 단조 하중의 차이가 기 설정된 기준치 미만이면, 비축대칭 예비성형체를 최종 예비성형체로 선택하는 단계를 포함한다.

[0066] 상기 서로 다른 복수의 축대칭 단조형상을 생성하는 단계는 상기 형상처리부가 비축대칭 단조형상의 무게중심을 수직으로 관통하는 회전축을 인식하는 단계와, 상기 형상처리부가 상기 회전축을 기준으로 서로 다른 회전각 각각을 따라 상기 회전축을 포함하는 평면으로 자른 단면인 복수의 종단면을 생성하는 단계와, 상기 형상처리부가 상기 복수의 종단면을 상기 회전축을 기준으로 회전시켜 상기 서로 다른 복수의 단조형상을 생성하는 단계를 포함한다.

[0067] 상기 복수의 축대칭 예비성형체는 상기 종단면이 생성되는 상기 회전각에 따라 구분되는 것을 특징으로 한다.

[0068] 상기 모사 예비성형체를 생성하는 단계는 상기 형체선택부가 상기 종단면을 생성할 때 적용된 상기 회전각에 따라 축대칭 예비성형체의 일부를 추출하고, 추출된 부분을 조합하여 모사 예비성형체를 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0069] 상기 비축대칭 예비성형체를 도출하는 단계는 전처리부가 비축대칭 단조형상을 복셀화를 통해 비축대칭 단조형상행렬로 변환하는 단계와, 형상예측부가 복수의 예측모델을 통해 상기 비축대칭 단조형상행렬로부터 상기 비축대칭 예비성형체를 예측한 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출하는 단계와, 후처리부가 상기 복수의 예측형상행렬에 대한 후처리를 통해 복수의 예측형상행렬을 복수의 예측형상으로 변환하는 단계와, 형상결정부가 상기 복수의 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외하거나, 보정하는 단계와, 상기 형상결정부가 상기 복수의 예측형상 중 미충진 결함 및 겹침 결함이 존재하는 예측형상을 제외시키는 단계와, 상기 형상결정부가 제외되지 않은 예측형상 중 가장 낮은 단조 하중을 가지는 예측형상을 상기 비축대칭 단조형상에 대응하는 상기 비축대칭 예비성형체로 선택하는 단계를 포함한다.

[0070] 상기 복수의 축대칭 예비성형체를 도출하는 단계는 상기 복수의 축대칭 단조형상 각각에 대해, 전처리부가 축대

칭 단조형상을 복셀화를 통해 축대칭 단조형상행렬로 변환하는 단계와, 형상예측부가 복수의 예측모델을 통해 상기 축대칭 단조형상행렬로부터 상기 축대칭 예비성형체를 예측한 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출하는 단계와, 후처리부가 상기 복수의 예측형상행렬에 대한 후처리를 통해 복수의 예측형상행렬을 복수의 예측형상으로 변환하는 단계와, 형상결정부가 상기 복수의 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외하거나, 보정하는 단계와, 상기 형상결정부가 상기 복수의 예측형상 중 미충진 결함 및 겹침 결함이 존재하는 예측형상을 제외시키는 단계와, 상기 형상결정부가 제외되지 않은 예측형상 중 가장 낮은 단조 하중을 가지는 예측형상을 상기 축대칭 단조형상에 대응하는 상기 축대칭 예비성형체로 선택하는 단계를 포함한다.

[0071] 상기 방법은 상기 비축대칭 단조형상으로부터 서로 다른 복수의 축대칭 단조형상을 생성하는 단계 전, 학습부가 축대칭인 단조형상과 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 이용하여 복수의 예측모델을 생성하는 단계를 더 포함한다.

[0072] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인공신경망을 이용한 비축대칭 단조형상에 대응하는 예비성형체의 형상을 결정하기 위한 방법은 학습부가 축대칭인 단조형상과 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 이용하여 단조형상으로부터 예비성형체를 예측하도록 학습된 복수의 예측모델을 생성하는 단계와, 형상처리부가 비축대칭 단조형상이 입력되면, 입력된 비축대칭 단조형상으로부터 서로 다른 복수의 축대칭 단조형상을 생성하는 단계와, 예비성형체도출부가 상기 복수의 예측모델을 이용하여 상기 비축대칭 단조형상으로부터 비축대칭 예비성형체를 도출하는 단계와, 상기 예비성형체도출부가 상기 복수의 예측모델을 이용하여 상기 복수의 축대칭 단조형상으로부터 복수의 축대칭 예비성형체를 도출하는 단계와, 형체선택부가 상기 복수의 축대칭 예비성형체를 조합하여 모사 예비성형체를 생성하고, 상기 모사 예비성형체를 이용한 검증을 통해 비축대칭 예비성형체를 최종 예비성형체로 선택하는 단계를 포함한다.

[0073] 상기 복수의 예측모델을 생성하는 단계는 상기 학습부가 학습데이터의 단조형상 및 레이블 예비성형체를 복셀화하여 행렬 형식의 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 단계와, 예측모델이 상기 단조형상행렬에 대해 복수의 계층 간 학습이 완료되지 않은 가중치가 적용되는 복수의 연산을 통해 예비성형체의 형상을 예측한 행렬 표현인 예측형상행렬을 도출하는 단계와, 상기 학습부가 손실함수를 통해 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실을 산출하는 단계와, 상기 손실이 최소가 되도록 상기 예측모델의 가중치를 수정하는 최적화를 수행하는 단계를 포함한다.

[0074] 상기 손실을 산출하는 단계는 상기 학습부가 손실함수

$$E(y_i, \hat{y}_i) = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \log(\hat{y}_i) + (1-y_i)\log(1-\hat{y}_i)$$

를 통해 상기 손실을 산출하고, 상기 $E(y_i, \hat{y}_i)$는 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실이고, 상기 $y_i$는 단조형상행렬에 대응하는 레이블인 레이블 예비성형체행렬이고, 상기 $\hat{y}_i$는 입력된 단조형상행렬로부터 도출된 예측형상행렬인 것을 특징으로 한다.

[0075] 상기 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 단계는 상기 학습부가 메쉬 파일인 단조형상 및 레이블 예비성형체에서 가장 긴 변을 1 복셀의 스케일로 매핑하고, 메쉬 파일이 어느 하나에 복셀에서 차지하는 부피에 따라 해당 복셀을 0 또는 1의 값을 할당함으로써 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 것을 특징으로 한다.

[0076] 상기 최종 예비성형체로 선택하는 단계는 형체선택부가 상기 복수의 축대칭 예비성형체를 조합하여 모사 예비성형체를 생성하는 단계와, 상기 형체선택부가 유한요소해석을 통해 도출된 비축대칭 예비성형체의 단조 하중과 모사 예비성형체의 단조 하중을 비교하고, 비축대칭 예비성형체의 단조 하중과 모사 예비성형체의 단조 하중의 차이가 기 설정된 기준치 미만이면, 비축대칭 예비성형체를 최종 예비성형체로 선택하는 단계를 포함한다.

[0077] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인공신경망을 이용한 비축대칭 단조형상에 대응하는 예비성형체의 형상을 결정하기 위한 장치는 비축대칭 단조형상이 입력되면, 입력된 비축대칭 단조형상으로부터 서로 다른 복수의 축대칭 단조형상을 생성하는 형상처리부와, 단조형상으로부터 예비성형체를 예측하도록 학습된 복수의 예측모델을 이용하여 상기 비축대칭 단조형상으로부터 비축대칭 예비성형체를 도출하고, 상기 복수의 예측모델을 이용하여 상기 복수의 축대칭 단조형상으로부터 복수의 축대칭 예비성형체를 도출

하는 예비성형체도출부와, 상기 복수의 축대칭 예비성형체를 조합하여 모사 예비성형체를 생성하는 단계와, 유한요소해석을 통해 도출된 비축대칭 예비성형체의 단조 하중과 모사 예비성형체의 단조 하중을 비교하고, 비축대칭 예비성형체의 단조 하중과 모사 예비성형체의 단조 하중의 차이가 기 설정된 기준치 미만이면, 비축대칭 예비성형체를 최종 예비성형체로 선택하는 형체선택부를 포함한다.

[0078] 상기 형상처리부는 비축대칭 단조형상의 무게중심을 수직으로 관통하는 회전축을 인식하고, 상기 회전축을 기준으로 서로 다른 회전각 각각을 따라 상기 회전축을 포함하는 평면으로 자른 단면인 복수의 종단면을 생성하고, 상기 형상처리부가 상기 복수의 종단면을 상기 회전축을 기준으로 회전시켜 상기 서로 다른 복수의 단조형상을 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0079] 상기 복수의 축대칭 예비성형체는 상기 종단면이 생성되는 상기 회전각에 따라 구분되는 것을 특징으로 한다.

[0080] 상기 형체선택부는 상기 종단면을 생성할 때 적용된 상기 회전각에 따라 축대칭 예비성형체의 일부를 추출하고, 추출된 부분을 조합하여 상기 모사 예비성형체를 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0081] 상기 예비성형체도출부는 상기 비축대칭 단조형상을 복셀화를 통해 비축대칭 단조형상행렬로 변환하는 전처리부와, 상기 복수의 예측모델을 통해 상기 비축대칭 단조형상행렬로부터 상기 비축대칭 예비성형체를 예측한 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출하는 형상예측부와, 상기 복수의 예측형상행렬에 대한 후처리를 통해 복수의 예측형상행렬을 복수의 예측형상으로 변환하는 후처리부와, 상기 복수의 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외하거나, 보정하고, 상기 복수의 예측형상 중 미충진 결함 및 겹침 결함이 존재하는 예측형상을 제외시키고, 제외되지 않은 예측형상 중 가장 낮은 단조 하중을 가지는 예측형상을 상기 비축대칭 단조형상에 대응하는 상기 비축대칭 예비성형체로 선택하는 형상결정부를 포함한다.

[0082] 상기 예비성형체도출부는 축대칭 단조형상을 복셀화를 통해 축대칭 단조형상행렬로 변환하는 전처리부와, 복수의 예측모델을 통해 상기 축대칭 단조형상행렬로부터 상기 축대칭 예비성형체를 예측한 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출하는 형상예측부와, 상기 복수의 예측형상행렬에 대한 후처리를 통해 복수의 예측형상행렬을 복수의 예측형상으로 변환하는 후처리부와, 상기 복수의 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외하거나, 보정하고, 상기 복수의 예측형상 중 미충진 결함 및 겹침 결함이 존재하는 예측형상을 제외시키고, 제외되지 않은 예측형상 중 가장 낮은 단조 하중을 가지는 예측형상을 상기 축대칭 단조형상에 대응하는 상기 축대칭 예비성형체로 선택하는 형상결정부를 포함한다.

[0083] 상기 장치는 축대칭인 단조형상과 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 이용하여 복수의 예측모델을 생성하는 학습부를 더 포함한다.

[0084] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인공신경망을 이용한 비축대칭 단조형상에 대응하는 예비성형체의 형상을 결정하기 위한 장치는 축대칭인 단조형상과 상기 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 포함하는 복수의 학습데이터를 이용하여 단조형상으로부터 예비성형체를 예측하도록 학습되는 복수의 예측모델을 생성하는 학습부와, 비축대칭 단조형상이 입력되면, 입력된 비축대칭 단조형상으로부터 서로 다른 복수의 축대칭 단조형상을 생성하는 형상처리부와, 상기 복수의 예측모델을 이용하여 상기 비축대칭 단조형상으로부터 비축대칭 예비성형체를 도출하고, 상기 복수의 예측모델을 이용하여 상기 복수의 축대칭 단조형상으로부터 복수의 축대칭 예비성형체를 도출하는 예비성형체도출부와, 상기 복수의 축대칭 예비성형체를 조합하여 모사 예비성형체를 생성하고, 상기 모사 예비성형체를 이용한 검증을 통해 비축대칭 예비성형체를 최종 예비성형체로 선택하는 형체선택부를 포함한다.

[0085] 상기 학습부는 학습데이터의 단조형상 및 레이블 예비성형체를 복셀화하여 행렬 형식의 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하고, 예측모델이 상기 단조형상행렬에 대해 복수의 계층 간 학습이 완료되지 않은 가중치가 적용되는 복수의 연산을 통해 예비성형체의 형상을 예측한 행렬 표현인 예측형상행렬을 도출하면, 손실함수를 통해 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실을 산출하고, 상기 손실이 최소가 되도록 상기 예측모델의 가중치를 수정하는 최적화를 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0086] 상기 학습부는 손실함수 $$E(y_i, \hat{y}_i)=-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \log(\hat{y}_i)+(1-y_i)\log(1-\hat{y}_i)$$ 를 통해 상기 손실을 산출하고, 상기 $E(y_i, \hat{y}_i)$ 는 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실

이고, 상기 $y_i$는 단조형상행렬에 대응하는 레이블인 레이블 예비성형체행렬이고, 상기 $\hat{y}_i$는 입력된 단조형상행렬로부터 도출된 예측형상행렬인 것을 특징으로 한다.

[0087] 상기 학습부는 메쉬 파일인 단조형상 및 레이블 예비성형체에서 가장 긴 변을 1 복셀의 스케일로 매핑하고, 메쉬 파일이 어느 하나에 복셀에서 차지하는 부피에 따라 해당 복셀을 0 또는 1의 값을 할당함으로써 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환하는 것을 특징으로 한다.

[0088] 상기 형체선택부는 상기 복수의 축대칭 예비성형체를 조합하여 모사 예비성형체를 생성하고, 유한요소해석을 통해 도출된 비축대칭 예비성형체의 단조 하중과 모사 예비성형체의 단조 하중을 비교하고, 비축대칭 예비성형체의 단조 하중과 모사 예비성형체의 단조 하중의 차이가 기 설정된 기준치 미만이면, 비축대칭 예비성형체를 최종 예비성형체로 선택하는 것을 특징으로 한다.

## 발명의 효과

[0089] 본 발명에 따르면 사용자의 편향을 배제한 학습데이터를 통해 예측 모델을 생성할 수 있어 보다 정확한 예비성형체의 형상에 대한 예측 결과를 제공할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0090] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 도출하기 위한 장치의 전체적인 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 도출하기 위한 장치의 모델생성부의 세부적인 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 도출하기 위한 장치의 성형체도출부 및 비축대칭연산부의 세부적인 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 예측모델의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 예측모델의 필터를 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 예측모델의 연산의 일례를 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 학습데이터를 생성하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 학습데이터의 단조형상을 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 학습데이터의 단조형상에 대응하는 후보 예비성형체를 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 10 내지 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 유한요소해석을 통해 학습데이터의 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 선택하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 13은 본 발명의 실시예에 따른 복수의 예측모델(EM)을 생성하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 14는 본 발명의 실시예에 따른 복수의 예측모델(EM)을 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따른 예측모델(EM)을 생성하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 16은 본 발명의 실시예에 따른 예측모델(EM)을 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 17은 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 18은 본 발명의 실시예에 따른 복셀 파일을 메쉬 파일로 변환하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 19는 본 발명의 실시예에 따른 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 검출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 20은 본 발명의 실시예에 따른 예측형상의 특이 형태를 보정하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 21은 본 발명의 실시예에 따른 비축대칭 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 22는 본 발명의 실시예에 따른 비축대칭 단조형상의 일례를 설명하기 위한 도면이다.

도 23은 본 발명의 실시예에 따른 비축대칭 단조형상으로부터 축대칭 단조형상을 도출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 24는 본 발명의 실시예에 따른 복수의 예비성형체로부터 모사 예비성형체를 도출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 25는 본 발명의 실시예에 따른 컴퓨팅 장치를 나타내는 도면이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0091] 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.

[0092] 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. 마찬가지의 이유로 첨부 도면에 있어서 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 또는 개략적으로 도시되었으며, 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니다.

[0093] 특히, 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. 특히, 본 발명의 실시예에서, 예측(Estimation)은 인공신경망을 기반으로 하는 예측모델의 학습된 가중치 연산에 의한 값을 산출하는 것을 의미하는 것이다.

[0094] 먼저, 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 도출하기 위한 장치에 대해서 설명하기로 한다. 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 도출하기 위한 장치의 전체적인 구성을 설명하기 위한 도면이다. 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 도출하기 위한 장치의 모델생성부의 세부적인 구성을 설명하기 위한 도면이다. 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 도출하기 위한 장치의 성형체도출부 및 비축대칭연산부의 세부적인 구성을 설명하기 위한 도면이다.

[0095] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 도출하기 위한 장치(10, 이하, '형상도출장치'로 축약함)는 모델생성부(100), 성형체도출부(200) 및 비축대칭연산부(300)를 포함한다.

[0096] 모델생성부(100)는 학습데이터를 생성하고, 생성된 학습데이터를 이용하여 학습(deep learning)을 통해 본 발명의 실시예에 따른 복수의 예측모델(EM: estimation model)을 생성하기 위한 것이다. 여기서, 예측모델(EM)은 인공신경망이며, 예컨대, CNN(convolution neural network)가 될 수 있다.

[0097] 도 2를 참조하면, 모델생성부(100)는 단조형상생성부(100), 레이블설정부(120) 및 학습부(130)를 포함한다.

[0098] 단조형상생성부(100)는 본 발명의 실시예에 따른 학습데이터로 단조형상을 생성하기 위한 것이다. 이러한 단조형상은 축대칭 회전체이며, 3차원 이미지로 생성된다.

[0099] 레이블설정부(120)는 단조형상생성부(100)가 생성한 단조형상에 대응하는 복수의 후보 예비성형체를 생성하고, 복수의 후보 예비성형체 중 어느 하나를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선택한다. 이러한 레이블 예비성형체 역시 축대칭 회전체이며, 3차원 이미지로 생성된다.

[0100] 학습부(130)는 단조형상생성부(100)가 생성한 단조형상과, 레이블설정부(120)가 그 단조형상에 대응하여 생성한 레이블 예비성형체를 학습데이터로 이용하여 예측모델(EM)을 생성한다. 이때, 학습부(130)는 단조형상이 입력되면, 입력된 단조형상에 대응하는 예비성형체의 형상을 예측하도록 예측모델(EM)을 학습시킨다. 이러한 학습부(130)는 복수의 서로 다른 학습데이터를 그룹화한 학습데이터그룹을 이용하여 복수의 예측모델(EM)을 생성할 수

있다.

[0101] 다시, 도 1을 참조하면, 성형체도출부(200)는 모델생성부(100)로부터 복수의 예측모델(EM)을 제공 받고, 그 복수의 예측모델을 이용하여 단조형상에 대응하는 예비성형체를 예측하기 위한 것이다.

[0102] 도 3을 참조하면, 성형체도출부(200)는 전처리부(210), 형상예측부(220), 후처리부(230) 및 형상결정부(240)를 포함한다.

[0103] 전처리부(210)는 3차원 이미지인 단조형상을 3차원 행렬 표현인 단조형상행렬로 변환하기 위한 것이다. 이를 위하여, 전처리부(210)는 3차원 이미지인 단조형상을 복셀화한다. 이때, 전처리부(210)는 메쉬 파일인 단조형상에서 가장 긴 변을 1 복셀로 매핑하고, 메쉬 파일이 어느 하나에 복셀에서 차지하는 부피에 따라 해당 복셀을 0 또는 1의 값을 할당할 수 있다.

[0104] 형상예측부(220)는 단조형상에 대한 예비성형체의 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출하기 위한 것이다. 이를 위하여, 형상예측부(220)는 예비성형체의 형상을 예측하도록 학습된 복수의 예측모델(EM)을 이용한다.

[0105] 후처리부(230) 복수의 예측형상행렬을 3차원 이미지인 복수의 예측형상으로 변환한다. 이때, 후처리부(230)는 마칭 큐브 알고리즘을 통해 복셀 파일인 복수의 예측형상행렬을 메쉬 파일인 복수의 예측형상을 변환하고, 스무딩 알고리즘을 이용하여 메쉬 파일인 복수의 예측형상의 표면에 스무딩 처리를 수행할 수 있다.

[0106] 형상결정부(240)를 복수의 예측형상 중 기 설정된 설계 조건에 가장 부합하는 어느 하나를 예비성형체로 선택한다. 이를 위하여, 형상결정부(240)는 복수의 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외 또는 보정하고, 복수의 예측형상에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출한다. 그런 다음, 형상결정부(240)는 복수의 예측형상 중 금형 충전율에 따라 미충진 결함이 있는 예측형상을 특정하고, 특정된 예측형상을 제외시킨다. 그리고 형상결정부(240)는 복수의 예측형상 중 겹침 결함이 있는 예측형상을 제외시킨다. 그런 다음, 형상결정부(240)는 미충진 결함 및 겹침 결함이 없는 복수의 예측형상 중 가장 낮은 단조 하중을 기록한 예측형상을 단조형상에 대응하는 예비성형체로 선정한다.

[0107] 다시 도 1을 참조하면, 비축대칭연산부(300)는 비축대칭 단조형상의 예비성형체를 예측하기 위한 것이다. 즉, 예측모델(EM)은 축대칭인 단조형상을 학습데이터로 하여 생성된 것이다. 하지만, 비축대칭연산부(300)는 예측모델(EM)을 포함하는 예비성형체도출부(200)를 이용하여 비축대칭 단조형상에 대해서도 해당 비축대칭 단조형상에 가장 적합한 예비성형체를 도출할 수 있다.

[0108] 다시 도 3을 참조하면, 비축대칭연산부(300)는 형상처리부(310) 및 형체선택부(320)를 포함한다.

[0109] 형상처리부(310)는 비축대칭 단조형상이 입력되면, 입력된 비축대칭 단조형상으로부터 서로 다른 복수의 축대칭 단조형상을 생성한다. 그리고 형상처리부(310)는 비축대칭 단조형상 및 서로 다른 복수의 축대칭 단조형상을 예비성형체도출부(200)에 제공한다. 그러면, 예비성형체도출부(200)는 축대칭인 단조형상으로부터 예비성형체를 예측하도록 학습된 복수의 예측모델(EM)을 이용하여 비축대칭 단조형상으로부터 비축대칭 예비성형체를 도출하고, 복수의 예측모델(EM)을 이용하여 복수의 축대칭 단조형상으로부터 복수의 축대칭 예비성형체를 도출한다.

[0110] 형체선택부(320)는 복수의 축대칭 예비성형체를 조합하여 모사 예비성형체를 생성하고, 모사 예비성형체를 이용한 검증을 통해 비축대칭 예비성형체를 최종 예비성형체로 선택한다. 이에 따라, 비축대칭 단조형상에 대응하는 예비성형체를 예측할 수 있다.

[0111] 다음으로, 본 발명의 실시예에 따른 예측모델(EM)의 구성에 대해서 설명하기로 한다. 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 예측모델의 구성을 설명하기 위한 도면이다. 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 예측모델의 필터를 설명하기 위한 도면이다. 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 예측모델의 연산의 일례를 설명하기 위한 도면이다.

[0112] 본 발명의 실시예에 따른 예측모델(EM)은 복수의 계층을 포함하며, 이러한 복수의 계층은 복수의 컨벌루션층(convolution layer), 복수의 풀링층(max pooling layer), 복수의 업컨벌루션층(up-convolution layer) 및 복수의 연결층(concatenate layer)을 포함한다. 이러한 복수의 계층은 연산을 통해 특징지도(feature map)을 생성한다.

[0113] 컨벌루션층(convolution layer)은 컨벌루션(Convolution) 연산 및 활성화함수(activation function)에 의한 연산을 수행한다. 활성화함수는 시그모이드(Sigmoid), 하이퍼볼릭탄젠트(tanh: Hyperbolic tangent),

ELU(Exponential Linear Unit), ReLU(Rectified Linear Unit), Leakly ReLU, Maxout, Minout, Softmax 등을 예시할 수 있다. 풀링층(PL)은 다운 샘플링(down-sampling)을 위한 것으로 풀링(max pooling) 연산을 수행한다. 업컨벌루션층(up-convolution layer)은 업샘플링(up-sampling)을 하기 위한 것으로 업컨벌루션 연산을 수행한다. 연결층(concatenate layer)은 전반부의 특징지도를 후반부의 특징지도에 결합하는 연산을 수행한다.

[0114] 전술한 바와 같이, 예측모델(EM)은 복수의 계층을 포함하며, 복수의 계층은 복수의 연산을 포함한다. 또한, 복수의 계층 간은 가중치(w: weight)로 연결된다. 어느 하나의 계층의 연산 결과는 가중치가 적용되어 다음 계층에 입력이 된다. 즉, 예측모델(EM)의 어느 한 계층은 이전 계층으로부터 가중치를 적용한 값을 입력 받고, 이에 대한 연산을 수행하고, 그 연산 결과를 다음 계층의 입력으로 전달한다.

[0115] 예컨대, 도 5를 참조하면, 컨벌루션 연산에서 가중치는 필터 행렬(혹은 커널, W)을 통해 적용된다. 필터 행렬(W)은 3차원 행렬이며, 3차원 행렬의 각 원소는 가중치가 된다. 필터 행렬(W)은 소정의 높이(img_H), 폭(img_W) 및 깊이(img_D)를 가지는 3차원 이미지의 행렬 표현인 이미지 행렬(혹은 특징 지도(feature map), img_M) 내에서 슬라이딩 방식으로 이동하면서 이미지 행렬(img_M)의 원소와 필터 행렬(W)의 원소 간 연산, 즉, 컨벌루션 연산을 수행함으로써 이미지 행렬(img_M)에 가중치를 적용할 수 있다.

[0116] 특히, 본 발명의 실시예에 따른 컨벌루션 연산 시, 이미지 행렬(img_M)에 패딩을 부가한 후, 컨벌루션 연산을 수행할 수 있다. 예컨대, 도 6을 참조하면, 128*128*128 크기의 1개의 이미지 행렬(img_M)의 높이(img_H), 폭(img_W) 및 깊이(img_D) 모두에 원소의 값이 0인 패딩(zero padding)을 부가하여 130*130*130 크기의 1개의 이미지 행렬(img_M)을 생성한다. 그런 다음, 제로 패딩된 이미지 행렬(img_M)에 대해 6*6*6 크기의 32개의 필터 행렬(W)을 통해 컨벌루션 연산을 수행하고, 컨벌루션 연산의 결과에 활성화함수(f)에 의한 연산을 수행하여 128*128*128 크기의 32개의 이미지 행렬(혹은 특징 지도)을 가지는 컨벌루션층을 생성할 수 있다.

[0117] 즉, 전술한 연산은 다음의 수학식 1에 따라 이루어진다.

*수학식 1*

[0118] $$\hat{y}=f\left(\sum X \cdot W+b\right)$$

[0119] 여기서, X는 제로 패딩된 이미지 행렬(img_M)이고, W는 필터 행렬을 나타낸다. b는 임계치이고, 임계치 미만의 연산 결과를 제거하기 위한 용도로 사용된다. f는 활성화함수를 의미한다. 활성화함수(f)는 최종 출력을 제외하고, 최적화 과정에서 오차함수를 가중치로 미분하기 때문에 양수 영역에서 미분값이 항상 존재하는 ReLU 함수를 사용한다. 최종 출력을 위한 마지막 계층에서 후보 형상(예비성형체)를 예측하기 위해서 복셀의 값을 0과 1 사이의 값이되어야 하기 때문에 마지막 계층의 경우, Sigmoid 함수를 사용한다.

[0120] 다음으로, 본 발명의 실시예에 따른 학습데이터를 생성하는 방법에 대해서 설명하기로 한다. 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 학습데이터를 생성하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 학습데이터의 단조형상을 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 학습데이터의 단조형상에 대응하는 후보 예비성형체를 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 10 내지 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 유한요소해석을 통해 학습데이터의 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 선택하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0121] 도 7을 참조하면, 단조형상생성부(110)는 S110 단계에서 예측모델(EM)에 대한 학습을 위한 복수의 단조형상을 마련한다. 도 8에 단조형상의 일례가 도시되었다. 도시된 바와 같이, 단조형상은 지면에 수직인 회전축(X)을 기준으로 축대칭의 형상을 가진다. 도 8의 (A)와 같이, 단조형상생성부(110)는 먼저, 수직의 회전축(X)에서 회전축(X)과 수직인 바닥면을 나타내는 바닥선(B)을 따라 기 설정된 반지름(D/2)만큼 이격된 위치에 모선(G)을 설정한다. 그런 다음, 단조형상생성부(110)는 회전축(X)과 모선(G) 사이에 바닥선(B)을 따라 무작위로 제어점(C1, C2, C3, C4)을 할당한다. 이어서, 단조형상생성부(110)는 미리 설정된 복수의 높이 레벨(예컨대, 0.24D, 0.36D, 0.48D, 0.6D, ....., 여기서, D는 지름)을 조합하여 회전축(X), 모선(G) 및 제어점(C1, C2, C3, C4)의 바닥선(B)으로부터 수직 방향의 높이(H0, H1, H2, H3, H4, H5)를 설정한다. 그런 다음, 단조형상생성부(110)는 높이(H0, H1, H2, H3, H4, H5)가 설정된 회전축(X), 모선(G) 및 제어점(C1, C2, C3, C4)을 B-spline 기법에 따라 연결하여 연결선(L)을 생성한다. 그런 다음, 단조형상생성부(110)는 회전축(X), 연결선(L), 모선(G) 및 바닥선

(B)을 회전축(X)에 따라 회전시켜 도 8의 (B)에 도시된 바와 같이, 단조 형상을 생성할 수 있다. 특히, 단조형상생성부(110)는 복수의 높이 레벨의 조합을 전술한 높이(H0, H1, H2, H3, H4, H5)에 적용함으로써 복수의 단조형상을 생성할 수 있다.

[0122] 이어서, 레이블설정부(120)는 S120 단계에서 앞서 생성된 복수의 단조형상 각각에 대응하는 복수의 후보 예비성형체를 생성한다. 이때, 레이블설정부(120)는 사용자의 편향을 없애기 위하여 다음과 같이 후보 예비성형체를 생성한다. 도 9의 (A)를 참조하면, 레이블설정부(120)는 먼저, 수직의 회전축(X)에서 회전축(X)과 수직인 기준선(S)을 따라 대응하는 단조형상과 동일한 반지름(D/2)만큼 이격된 위치에 모선(G)을 설정한다. 그런 다음, 레이블설정부(120)는 회전축(X)과 모선(G) 간의 거리를 기준선(S)을 따라 복수개로 분할하고, 분할된 위치에 제어점(C1, C2, C3)을 할당한다. 이어서, 레이블설정부(120)는 미리 설정된 복수의 높이 레벨(예컨대, 0.3D, 0.4D, 0.5D, 여기서, D는 지름)을 조합하여 회전축(X), 모선(G) 및 제어점(C1, C2, C3)의 기준선(S)으로부터 수직 방향의 높이(H1, H2, H3, H4, H5)를 설정한다. 그런 다음, 레이블설정부(120)는 높이(H1, H2, H3, H4, H5)가 설정된 회전축(X), 모선(G) 및 제어점(C1, C2, C3)을 B-spline 기법에 따라 연결하여 연결선(L)을 생성한다. 이어서, 레이블설정부(120)는 미리 설정된 복수의 높이 레벨 중 어느 하나를 조합에 따라 선택하여 바닥선(B)과 기준선(S) 간의 높이(H6)를 적용한다. 그런 다음, 레이블설정부(120)는 회전축(X), 연결선(L), 모선(G) 및 바닥선(B)을 회전축(X)에 따라 회전시켜 후보 예비성형체를 생성할 수 있다. 특히, 레이블설정부(120)는 도 6의 (B)에 도시된 바와 같이, 복수의 높이 레벨의 조합을 전술한 높이(H1, H2, H3, H4, H5, H6)에 적용함으로써 복수의 후보 예비성형체를 생성할 수 있다. 다른 실시예에 따르면, 레이블설정부(120)는 미리 설정된 복수의 높이 레벨 중 어느 하나를 선택하지 않고, 회전축(X), 연결선(L), 모선(G) 및 바닥선(B)의 회전에 의해 생성된 후보 예비성형체의 부피와, 후보 예비성형체에 대응하는 단조형상의 부피가 일치하도록 바닥선(B)과 기준선(S) 간의 높이(H6)를 설정할 수 있다.

[0123] 다음으로, 레이블설정부(120)는 S130 단계에서 생성된 복수의 예비성형체 후보에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출한다.

[0124] 이때, 레이블설정부(120)는 유한요소해석 모델을 통해 도 10에 도시된 바와 같이, 예비성형체 후보(pf)를 모델링하고, 상부금형(TD)과 하부금형(BD) 사이에 모델링된 예비성형체 후보(pf)를 놓고 단조를 수행하여 모델링된 예비성형체 후보(pf)의 금형 충전율, 겹침 부분 존재 여부 및 단조 하중의 결과를 해석하는 유한요소해석을 수행한다. 이러한 유한요소해석에 따라 레이블설정부(120)는 복수의 예비성형체 후보의 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출할 수 있다.

[0125] 그런 다음, 레이블설정부(120)는 S140 단계에서 유한요소해석의 결과에 따라 복수의 예비성형체 후보 중 하나를 단조형상에 대응하는 레이블인 예비성형체로 선정한다.

[0126] 먼저, 레이블설정부(120)는 복수의 예비성형체 후보 중 산출된 금형 충전율에 따라 미충진 결함이 있는 예비성형체 후보를 제외시킨다. 예컨대, 도 11에 도시된 바와 같이, 예비성형체 후보 6번(#6)의 경우, 그래프의 ①에서 알 수 있는 바와 같이, 한계치까지 압력을 높이는 경우에도 금형이 완전하게 충진되지 않기 때문에 제외된다.

[0127] 또한, 레이블설정부(120)는 복수의 예비성형체 후보 중 겹침 결함이 있는 예비성형체 후보를 제외시킨다. 예컨대, 도 12의 (A)에 도시된 바와 같이, 레이블설정부(120)는 예비성형체 후보의 외곽 부분의 노드들을 모델링하고, 도 12의 (B)에 도시된 바와 같이, 수치 해석을 수행하여 겹쳐지는 부분(OL)이 발생하면 겹침 결함이 있는 것으로 판단하고, 해당 예비성형체 후보를 제외할 수 있다.

[0128] 그리고 레이블설정부(120)는 전술한 미충진 결함 및 겹침 결함이 없는 복수의 예비성형체 후보 중 가장 낮은 단조 하중을 기록한 예비성형체 후보를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선정한다. 예컨대, 도 11의 예비성형체 후보 6번(#6), 135번(#135) 및 126번(#126) 중 예비성형체 후보 6번(#6)의 경우, 미충진 결함으로 인해 제외되고, 예비성형체 후보 135번(#135) 및 126번(#126) 중 그래프의 ② 및 ③를 비교하면 알 수 있는 바와 같이, 단조 하중이 더 낮은 예비성형체 후보 126번(#126)이 레이블 예비성형체로 선정된다.

[0129] 전술한 바와 같이, 단조형상 및 이에 대응하는 레이블 예비성형체가 선정되면, 레이블설정부(120)는 S150 단계에서 단조형상 및 이에 대응하는 레이블 예비성형체를 매핑하여 학습데이터로 저장한다.

[0130] 그러면, 전술한 학습데이터를 이용하여 학습(deep learning)을 통해 복수의 예측모델(EM)을 생성하는 방법에 대해서 설명하기로 한다. 도 13은 본 발명의 실시예에 따른 복수의 예측모델(EM)을 생성하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 복수의 예측모델(EM)을 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면

이다.

[0131] 학습부(130)는 S210 단계에서 앞서(S110) 생성된 복수의 단조형상을 단조형상의 복수의 특징점 간의 높이 차이의 조합을 기준으로 복수의 학습데이터그룹으로 분류한다.

[0132] 일 실시예에 따르면, 학습부(130)는 회전축(X)에서 가까운 순서의 소정 수(예컨대, 3)의 특징점(C1, C2, C3) 간의 높이(H1, H2, H3) 차이의 조합을 나타내는 제1 조건과, 모선(G)에 가까운 순서의 소정 수(예컨대, 3)의 특징점(C4, C3, C2) 간의 높이(H2, H3, H4) 차이의 조합을 나타내는 제2 조건을 마련한다. 그리고 학습부(130)는 제1 조건 또는 제2 조건을 만족하는지 여부에 따라 복수의 단조형상을 복수의 학습데이터그룹으로 분류한다. 다양한 높이 차이의 조합에 따른 단조 형상이 도 14에 도시되었다. 이러한 단조 형상 각각은 제1 조건 및 제2 조건 중 어느 하나를 만족하면 해당 학습데이터그룹에 속하기 때문에 어느 하나의 단조형상은 복수의 학습데이터그룹에 속할 수 있다. 예컨대, 학습데이터그룹은 다음의 표 1과 같은 조건에 따라 구분될 수 있다.

*표 1*

[0133]

| 학습데이터 그룹 | 제1 조건 | 제2 조건 |
|---|---|---|
| 제1 그룹 | H1 < H3 < H2 | H2 < H4 < H3 |
| 제2 그룹 | H3 < H1 < H2 | H4 < H2 < H3 |
| 제3 그룹 | H2 < H1 < H3 | H3 < H2 < H4 |
| 제4 그룹 | H2 < H3 < H1 | H3 < H4 < H2 |
| 제5 그룹 | H3 < H2 < H1 | H4 < H3 < H2 |
| 제6 그룹 | H1 < H2 < H3 | H2 < H3 < H4 |

[0134] 다음으로, 학습부(130)는 S220 단계에서 학습데이터그룹 별로 해당 학습데이터 그룹에 속하는 학습데이터를 이용하여 학습을 수행함으로써 복수의 예측모델(EM)을 생성한다. 즉, 하나의 예측모델(EM)은 어느 하나의 학습데이터그룹에 속하는 복수의 학습데이터를 이용하여 학습이 이루어진다. 그러면, 어느 하나의 예측모델(EM)을 학습을 통해 생성하는 방법에 대해 보다 상세하게 설명하기로 한다. 도 15는 본 발명의 실시예에 따른 예측모델(EM)을 생성하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 16은 본 발명의 실시예에 따른 예측모델(EM)을 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0135] 도 15를 참조하면, 학습부(130)는 S310 단계에서 예측모델(EM)을 초기화한다. 이러한 초기화는 예측모델(EM)의 파라미터, 즉, 가중치(w)를 초기화하는 것을 의미한다. 즉, 학습부(130)는 필터 행렬(W)의 모든 원소들을 초기화할 수 있다.

[0136] 초기화가 완료되면, 학습부(130)는 S320 단계에서 해당하는 학습데이터에 대한 전처리를 수행하여 3차원 이미지 형식인 단조형상 및 그 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체를 행렬 형식의 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환한다. 이에 대해 보다 자세히 설명하면 다음과 같다.

[0137] 앞서(S110, S120) 생성된 단조형상 및 그 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체는 3차원 이미지이고, 이는 메쉬 파일(예컨대, stl 포맷의 파일)이다. 학습부(130)는 먼저, 이러한 메쉬 파일 형식의 3차원 이미지를 복셀화(voxelization)함으로써 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬로 변환한다. 이때, 학습부(130)는 미리 설정된 전체 복셀 파일의 공간의 크기(dimension)에 따라 복셀화를 수행한다. 이때, 학습부(130)는 메쉬 파일에서 가장 긴 변을 1 복셀(voxel)로 매핑한다. 예컨대, 도 16에 도시된 바와 같이, 메쉬 파일에서 0.0164D(여기서, D는 지름)를 1 복셀로 매핑한다. 이때, 학습부(130)는 메쉬 파일이 어느 하나에 복셀에서 차지하는 부피가 0.5이상이면 해당 복셀의 복셀값을 1로 하고, 0.5 미만이면, 0으로 한다. 복셀화가 완료된 후, 학습부(130)는 3차원의 복셀 파일의 모든 면에 0값을 가지는 소정 수의 복셀을 버퍼로 추가한다. 이와 같이, 복셀화된 복셀 파일이 행렬(단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬)이 되며, 복셀 파일의 1개의 복셀이 행렬의 각 원소가 되고, 각 복셀의 복셀값이 행렬의 원소값이된다.

[0138] 전처리 후, 학습부(130)는 S330 단계에서 단조형상행렬을 예측모델(EM)에 입력한다.

[0139] 그러면, 예측모델(EM)은 S330 단계에서 복수의 계층 간 학습이 완료되지 않은 가중치가 적용되는 복수의 연산을 통해 예비성형체의 형상을 예측한 행렬 표현인 예측형상행렬을 도출한다.

[0140] 이어서, 학습부(130)는 S340 단계에서 손실함수를 통해 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실을 산출한다. 일 실시예에 따르면, 학습부(130)는 다음의 수학식 2와 같은 손실함수인 이진 교차 엔트

로피(binary cross-entropy) 함수를 통해 손실을 구할 수 있다.

*수학식 2*

[0141]
$$E(y_i, \hat{y}_i) = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \log(\hat{y}_i) + (1-y_i)\log(1-\hat{y}_i)$$

[0142] 여기서, $E(y_i, \hat{y}_i)$는 예측형상행렬과 레이블 예비성형체행렬과의 차이를 나타내는 손실을 나타낸다. 또한, $y_i$는 입력된 단조형상행렬에 대응하는 레이블인 레이블 예비성형체행렬이고, $\hat{y}_i$는 입력된 단조형상행렬로부터 도출된 예측형상행렬을 의미한다.

[0143] 다음으로, 학습부(130)는 S360 단계에서 손실 함수를 통해 도출되는 손실이 최소가 되도록 예측모델(EM)의 가중치를 수정하는 최적화를 수행한다. 즉, 학습부(130)는 수학식 2를 통해 도출되는 손실, 즉, 이진 교차 엔트로피(binary cross-entropy) 손실이 최소가 되도록 예측모델(EM)의 가중치를 수정하는 최적화를 수행한다.

[0144] 전술한 S330 단계 내지 S360 단계는 서로 다른 복수의 학습데이터, 즉, 하나의 학습데이터그룹에 속한 복수의 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬을 이용하여 반복 수행되며, 이러한 반복에 따라 예측모델(EM)의 가중치는 반복하여 갱신된다.

[0145] 그리고 이러한 반복은 즉, 동일한 학습데이터그룹에 속한 검증용의 학습데이터인 단조형상행렬 및 레이블 예비성형체행렬을 이용하여 손실을 구했을 때, 손실이 기 설정된 목표치 이하가 될 때까지 이루어진다. 따라서 학습부(130)는 S370 단계에서 검증용으로 마련된 학습데이터를 이용하여 산출한 손실이 기 설정된 목표치 이하인지 여부를 판별하고, 손실이 기 설정된 목표치 이하이면, S380 단계에서 학습을 완료한다.

[0146] 복수의 예측모델(EM) 각각은 전술한 바와 같은 방법에 의해 학습이 이루어진다. 이와 같이, 복수의 예측모델(EM)에 대한 학습이 완료되면, 학습부(130)는 학습이 완료된 복수의 예측모델(EM)을 예비성형체도출부(200)에 제공한다.

[0147] 그러면, 예비성형체도출부(200)는 복수의 예측모델(EM)을 이용하여 단조형상에 가장 적합한 예비성형체를 도출한다. 이러한 방법에 대해서 보다 상세하게 설명하기로 한다. 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 18은 본 발명의 실시예에 따른 복셀 파일을 메쉬 파일로 변환하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 19는 본 발명의 실시예에 따른 예측형상 중 특이 형태를 가지는 예측형상을 검출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 20은 본 발명의 실시예에 따른 예측형상의 특이 형태를 보정하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0148] 도 17을 참조하면, S410 단계에서 예비성형체도출부(200)에 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 단조형상이 입력된다.

[0149] 그러면, 전처리부(210)는 S420 단계에서 3차원 이미지인 단조형상을 전처리를 통해 단조형상행렬로 변환한다. 이를 위하여, 전처리부(210)는 먼저, 이러한 메쉬 파일 형식의 단조형상을 복셀화(voxelization)하여 복셀 파일 형식의 단조형상을 생성한다. 이때, 전처리부(210)는 미리 설정된 전체 복셀 파일의 기본 크기(dimension)에 따라 복셀화를 수행한다. 예컨대, 122*122*122 크기로 결정할 수 있다. 이때, 전처리부(210)는 메쉬 파일에서 가장 긴 변을 1 복셀(voxel)의 스케일로 매핑한다. 예컨대, 도 16에 도시된 바와 같이, 메쉬 파일에서 0.0164D(여기서, D는 지름)를 1 복셀로 매핑할 수 있다(0.0164D=1voxel). 특히, 전처리부(210)는 메쉬 파일이 어느 하나에 복셀에서 차지하는 부피가 0.5 이상이면 해당 복셀의 복셀값을 1로 하고, 0.5 미만이면, 0으로 한다. 복셀값이 할당되면, 전처리부(210)는 3차원의 복셀 파일의 모든 면에 0값을 가지는 소정 수의 복셀을 버퍼로 추가한다. 예컨대, 기본 크기(dimension) 122*122*122에 상하좌우전후 6면에 각 3개의 0의 값을 가지는 복셀을 추가하여 128*128*128 크기의 복셀 파일을 생성한다. 이와 같이, 복셀화된 복셀 파일이 단조형상행렬이 되며, 복셀 파일의 1개의 복셀이 단조형상행렬의 각 원소가 되고, 각 복셀의 복셀값(0 또는 1)이 단조형상행렬의 원소값이 된다.

[0150] 형상예측부(220)는 전처리부(210)로부터 단조형상행렬을 입력받고, S430 단계에서 입력된 단조형상행렬을 복수의 예측모델(EM) 각각에 입력한다.

[0151] 그러면, 복수의 예측모델(EM)은 S440 단계에서 복수의 계층 간 가중치가 적용되는 복수의 연산을 수행하여 예비성형체를 예측한 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출한다. 예를 들면, 6개의 예측모델(EM)이 존재한다고 가정할 때, 6개의 예측모델(EM) 각각이 예측형상행렬을 도출하여 총 6개의 예측형상행렬을 도출할 수 있다.

[0152] 다음으로, 후처리부(230)는 S450 단계에서 복수의 예측형상행렬에 대한 후처리를 통해 복수의 예측형상행렬을 메쉬 파일 형식의 3차원 이미지인 복수의 예측형상으로 변환한다. 이는 S420 단계의 역으로 이루어진다. 이를 위하여, 후처리부(230)는 복셀 파일 형식의 예측형상행렬에서 버퍼를 제거한다. 예컨대, 128*128*128 크기의 복셀 파일에서 상하좌우전후 6면에 각 3개의 버퍼 복셀을 제거하여 122*122*122 크기의 복셀 파일로 변환한다. 그런 다음, 후처리부(230)는 마칭 큐브(Marching Cube) 알고리즘을 통해 복셀 파일을 메쉬 파일로 변환한다. 이때, 도 18에 도시된 바와 같이, 전처리에서 사용된 스케일(0.0164D=1voxel)에 따라 스케일을 일치시켜준다. 그런 다음, 후처리부(230)는 스무딩 알고리즘, 예컨대, Humphrey's smoothing 알고리즘을 이용하여 메쉬 파일의 표면에 스무딩 처리를 수행할 수 있다.

[0153] 다음으로, 형상결정부(240)는 S460 단계에서 복수의 예측형상 중 설정된 조건에 가장 부합하는 어느 하나의 예측 형상을 예비성형체로 선택한다.

[0154] 이를 위하여, 형상결정부(240)는 먼저, 복수의 예측형상 중 홀(hole)과 같은 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외한다.

[0155] 일 실시예에 따르면, 형상결정부(240)는 도 19에 도시된 바와 같이, 예측형상에 대해 소정 간격으로 단면을 확인하고, 이웃하는 단면에서의 면적의 차이(dif)가 기 설정된 임계치 이상이면, 홀(hole)과 같은 특이 형태인 것으로 판정한다. 예컨대, 도 19의 (A)의 경우, 예측형상에서 A-A 부분의 단면을 나타내며, 도 19의 (B)의 경우, 동일한 예측형상에서 B-B 부분의 단면을 나타낸다. 형상결정부(240)는 단면의 면적의 차이(dif)를 측정하고, 그 차이(diff)가 기 설정된 임계치 이상이면, 해당 부분을 홀(hole)과 같은 특이 형태(S)인 것으로 특정한다.

[0156] 다만, 형상결정부(240)는 예측형상에 대한 단면 확인 결과, 도 20의 (A)와 같이 홀(hole)과 같은 특이 형태(S)로 특정되었지만, 단면 상 사방이 막혀 있는 경우, 도 20의 (B)와 같이, 해당 부분(N)을 예측형상을 나타내는 이미지를 채워 넣는 방식으로 보정할 수 있다.

[0157] 전술한 바와 같이, 특이 형태(S)를 가지는 예측형상을 보정하거나, 제외시킨 후, 형상결정부(240)는 나머지 복수의 예측형상에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출한다. 그런 다음, 형상결정부(240)는 유한요소해석의 결과에 따라 복수의 예측형상 중 하나를 단조형상에 대응하는 예비성형체로 선정한다. 이는 복수의 예비성형체 후보에서 하나의 레이블 예비성형체를 선택하는 방법과 동일한 방법으로 수행된다. 다시, 도 10 내지 도 12를 참조하면, 형상결정부(240)는 유한요소해석 모델을 통해 예측형상을 모델링하고, 상부금형(TD)과 하부금형(BD) 사이에 모델링된 예측형상을 놓고 단조를 수행하여 모델링된 예측형상의 금형 충전율, 겹침 부분 존재 여부 및 단조 하중의 결과를 해석하는 유한요소해석을 수행한다. 이러한 유한요소해석에 따라 형상결정부(240)는 복수의 예측형상의 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출할 수 있다.

[0158] 먼저, 형상결정부(240)는 복수의 예측형상 중 산출된 금형 충전율에 따라 미충진 결함이 있는 예측형상을 특정하고, 특정된 예측형상을 제외시킨다. 예컨대, 한계치까지 압력을 높이는 경우에도 금형이 완전하게 충진되지 않기 때문에 제외된다.

[0159] 또한, 형상결정부(240)는 복수의 예측형상 중 겹침 결함이 있는 예측형상을 제외시킨다. 예컨대, 형상결정부(240)는 예측형상의 외곽 부분의 노드들을 모델링하고, 수치 해석을 수행하여 겹쳐지는 부분(OL)이 발생하면 겹침 결함이 있는 것으로 판단하고, 해당 예측형상을 제외할 수 있다.

[0160] 그리고 형상결정부(240)는 전술한 미충진 결함 및 겹침 결함이 없는 복수의 예측형상 중 가장 낮은 단조 하중을 기록한 예측형상을 단조형상에 대응하는 예비성형체로 선정한다.

[0161] 앞서 설명된 복수의 예측모델(EM)은 축대칭인 단조형상을 학습데이터로 하여 생성된 것이다. 본 발명의 실시예에 따르면, 예비성형체도출부(200)는 이러한 축대칭인 단조형상을 학습데이터로 하여 학습된 복수의 예측모델(EM)을 이용하여 비축대칭 단조형상에 대해서도 해당 비축대칭 단조형상에 가장 적합한 예비성형체를 도출할 수

있다. 이러한 방법에 대해서 보다 상세하게 설명하기로 한다. 도 21은 본 발명의 실시예에 따른 비축대칭 예비성형체의 형상을 예측하기 위한 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 22는 본 발명의 실시예에 따른 비축대칭 단조형상의 일례를 설명하기 위한 도면이다. 도 23은 본 발명의 실시예에 따른 비축대칭 단조형상으로부터 축대칭 단조형상을 도출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 24는 본 발명의 실시예에 따른 복수의 예비성형체로부터 모사 예비성형체를 도출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0162] 도 21을 참조하면, 비축대칭연산부(300)의 형상처리부(310)는 S510 단계에서 비축대칭 단조형상이 입력되면, S520 단계에서 비축대칭 단조형상으로부터 복수의 축대칭 단조형상을 마련한다. 도 22 및 도 23을 참조로 S520 단계의 복수의 축대칭 단조형상을 마련하는 방법에 대해 보다 상세하게 설명한다. 도 22에 비축대칭 단조형상의 일례가 도시되었다. 도 22의 (A)는 비축대칭 단조형상의 사시도이며, 도 22의 (B)는 비축대칭 단조형상의 평면도이다. 도시된 바와 같이, 해당 단조형상은 비축대칭이지만, 무게중심을 수직으로 관통하는 회전축(X)을 가진다.

[0163] 도 22 및 도 23을 참조하면, 형상처리부(310)는 우선, 비축대칭 단조형상의 무게중심을 수직으로 관통하는 회전축(X)을 인식한다. 그런 다음, 형상처리부(310)는 도 23의 (A)에 도시된 비축대칭 단조형상으로부터 도 23의 (B), (C) 및 (D)와 같이, 비축대칭 단조형상의 회전축(X)을 기준으로 서로 다른 회전각, 예컨대, 0도, 45도, 90도 각각을 따라 회전축을 포함하는 평면으로 자른 단면인 복수의 종단면을 생성한다. 그런 다음, 형상처리부(310)는 회전축(X)을 기준으로 도 23의 (B), (C) 및 (D)와 같은 복수의 종단면을 회전시켜 서로 다른 복수의 단조형상을 마련한다.

[0164] 형상처리부(310)는 비축대칭 단조형상 및 비축대칭 단조형상으로부터 생성된 복수의 축대칭 단조형상을 순차로 예비성형체도출부(200)에 제공한다.

[0165] 이에 따라, 예비성형체도출부(200)는 S530 단계에서 복수의 예측모델(EM)을 이용하여 비축대칭 단조형상으로부터 비축대칭 단조형상에 대응하는 비축대칭 예비성형체를 도출한다. 이러한 S530 단계는 앞서 도 17과, 도 18, 도 19, 도 20을 참조하여 설명된 방법과 동일하게 이루어진다. 이러한 S530 단계에 대해 간략하게 설명하면 다음과 같다. 우선, 전처리부(210)는 메쉬 파일 형식의 3차원 이미지인 비축대칭 단조형상을 전처리, 예컨대, 복셀화를 통해 비축대칭 단조형상행렬로 변환한다. 형상예측부(220)는 비축대칭 단조형상행렬을 복수의 예측모델(EM) 각각에 입력한다. 그러면, 복수의 예측모델(EM)은 복수의 계층 간 가중치가 적용되는 복수의 연산을 수행하여 비축대칭 예비성형체를 예측한 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출한다. 예를 들면, 6개의 예측모델(EM)이 존재한다고 가정할 때, 6개의 예측모델(EM) 각각이 예측형상행렬을 도출하여 총 6개의 예측형상행렬을 도출할 수 있다. 다음으로, 후처리부(230)는 복수의 예측형상행렬에 대한 후처리를 통해 복수의 예측형상행렬을 메쉬 파일 형식의 3차원 이미지인 복수의 예측형상으로 변환한다. 그런 다음, 형상결정부(240)는 먼저, 복수의 예측형상 중 홀(hole)과 같은 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외하거나, 보정한다. 이어서, 형상결정부(240)는 나머지 제외되지 않은 복수의 예측형상에 대해 유한요소해석을 수행하여 미충진 결함과 겹침 결함 존재 여부를 검출하고, 단조 하중을 도출한다. 그런 다음, 형상결정부(240)는 복수의 예측형상 중 산출된 금형 충전율에 따라 미충진 결함이 있는 예측형상을 제외시킨다. 그리고 형상결정부(240)는 복수의 예측형상 중 겹침 결함이 있는 예측형상을 제외시킨다. 이어서, 형상결정부(240)는 전술한 미충진 결함 및 겹침 결함이 없는 복수의 예측형상 중 가장 낮은 단조 하중을 기록한 예측형상을 비축대칭 단조형상에 대응하는 비축대칭 예비성형체로 선정한다.

[0166] 다음으로, 예비성형체도출부(200)는 S540 단계에서 복수의 예측모델(EM)을 이용하여 복수의 축대칭 단조형상으로부터 복수의 축대칭 단조형상 각각에 대응하는 복수의 축대칭 예비성형체를 도출한다.

[0167] S540 단계 역시, 앞서 도 17과, 도 18, 도 19, 도 20을 참조하여 설명된 방법과 동일하게 이루어진다. 이러한 S540 단계는 복수의 축대칭 단조형상 각각에 대해 순차로 수행되며, 복수의 축대칭 단조형상 중 어느 하나의 축대칭 단조형상에 대해 다음과 같이 수행된다.

[0168] 우선, 전처리부(210)는 메쉬 파일 형식의 3차원 이미지인 축대칭 단조형상을 전처리, 예컨대, 복셀화를 통해 축대칭 단조형상행렬로 변환한다. 형상예측부(220)는 축대칭 단조형상행렬을 복수의 예측모델(EM) 각각에 입력한다. 그러면, 복수의 예측모델(EM)은 복수의 계층 간 가중치가 적용되는 복수의 연산을 수행하여 예비성형체를 예측한 형상의 행렬 표현인 복수의 예측형상행렬을 도출한다. 예를 들면, 6개의 예측모델(EM)이 존재한다고 가정할 때, 6개의 예측모델(EM) 각각이 예측형상행렬을 도출하여 총 6개의 예측형상행렬을 도출할 수 있다. 다음으로, 후처리부(230)는 복수의 예측형상행렬에 대한 후처리를 통해 복수의 예측형상행렬을 메쉬 파일 형식의 3차원 이미지인 복수의 예측형상으로 변환한다. 그런 다음, 형상결정부(240)는 먼저, 복수의 예측형상 중 홀

(hole)과 같은 특이 형태를 가지는 예측형상을 제외하거나, 보정한다. 이어서, 형상결정부(240)는 나머지 복수의 예측형상에 대해 유한요소해석을 수행하여 금형 충전율, 겹침 결함 존재 여부 및 단조 하중을 도출한다. 그런 다음, 복수의 예측형상 중 산출된 금형 충전율에 따라 미충진 결함이 있는 예측형상을 제외시킨다. 그리고 형상결정부(240)는 복수의 예측형상 중 겹침 결함이 있는 예측형상을 제외시킨다. 이어서, 형상결정부(240)는 전술한 미충진 결함 및 겹침 결함이 없는 복수의 예측형상 중 가장 낮은 단조 하중을 기록한 예측형상을 축대칭 단조형상에 대응하는 축대칭 예비성형체로 선정한다.

[0169] S540 단계에서 도출된 복수의 축대칭 예비성형체의 일례가 도 24의 (A)에 도시되었다. 도시된 바와 같이, 종단면이 생성되는 회전각에 따라 서로 다른 축대칭 예비성형체가 예측되었다.

[0170] 예비성형체도출부(200)는 비축대칭 예비성형체 및 복수의 축대칭 예비성형체를 비축대칭연산부(300)의 형체선택부(320)로 출력한다.

[0171] 형체선택부(320)는 S550 단계에서 복수의 축대칭 예비성형체를 조합하여 모사 예비성형체를 생성한다. 이때, 형체선택부(320)는 비축대칭 단조형상으로부터 대응하는 축대칭 예비성형체의 축대칭 단조형상을 도출하기 위해 회전각에 따른 종단면을 생성할 때 적용된 회전각에 따라 축대칭 예비성형체의 일부를 추출하고, 추출된 부분을 조합하여 모사 예비성형체를 생성한다.

[0172] 예를 들면, 도 24의 (A)의 제1 축대칭 예비성형체(P1), 제2 축대칭 예비성형체(P2) 및 제3 축대칭 예비성형체(P3)는 비축대칭 단조형상의 회전축(X)을 기준으로 0도, 45도, 90도 각각을 따라 회전축을 포함하는 평면으로 자른 단면인 종단면으로부터 생성된 축대칭 단조형상으로부터 도출된 것이라고 가정한다. 이에 따라, 형체선택부(320)은 제1 축대칭 예비성형체(P1)의 회전축(X)을 기준으로 하는 0도 내지 45도 부분 및 180도 내지 225도 부분과, 제2 축대칭 예비성형체(P2)의 회전축(X)을 기준으로 하는 45도 내지 90도 부분 및 225도 내지 270도 부분과, 제3 축대칭 예비성형체(P3)의 회전축(X)을 기준으로 하는 90도 내지 180도 부분 및 270도 내지 360도 부분을 조합하여 모사 예비성형체를 생성할 수 있다. 생성된 모사 예비성형체 일례가 도 24의 (C)에 도시되었다. 도 24의 (C)에는 모사 예비성형체의 1/4 종단면이 도시되었다.

[0173] 다음으로, 형체선택부(320)는 S560 단계에서 유한요소해석을 통해 모사 예비성형체의 단조 하중을 산출한다. 이는 후처리부(230)가 수행하는 방식과 동일하게 이루어진다.

[0174] 이어서, 형체선택부(320)는 S570 단계에서 비축대칭 예비성형체와 모사 예비성형체의 단조 하중을 비교하여 최종 예비성형체를 선택한다. 여기서, 비축대칭 예비성형체의 단조 하중은 전술한 S530 단계에서 비축대칭 단조형상으로부터 비축대칭 단조형상에 대응하는 비축대칭 예비성형체를 도출할 때, 산출된 단조 하중을 이용한다.

[0175] 이때, 형체선택부(320)는 비축대칭 예비성형체와 모사 예비성형체의 단조 하중을 비교하고, 비축대칭 예비성형체와 모사 예비성형체의 단조 하중의 차이가 기 설정된 기준치 미만이면, 비축대칭 예비성형체를 최종 예비성형체로 선택한다.

[0176] 형체선택부(320)는 비축대칭 예비성형체와 모사 예비성형체의 단조 하중을 비교하고, 비축대칭 예비성형체와 모사 예비성형체의 단조 하중의 차이가 기 설정된 기준치 이상이면, 에러를 리턴한다.

[0178] 도 25는 본 발명의 실시예에 따른 컴퓨팅 장치를 나타내는 도면이다. 도 25의 컴퓨팅 장치(TN100)는 본 명세서에서 기술된 장치, 예컨대, 형상도출장치(10)이거나, 혹은, 모델생성부(100), 성형체도출부(200), 비축대칭연산부(300) 각각이 될 수 있다.

[0179] 도 25의 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.

[0180] 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.

[0181] 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.

[0182] 송수신 장치(TN120)는 유선 신호 또는 무선 신호를 송신 또는 수신할 수 있다. 송수신 장치(TN120)는 네트워크에 연결되어 통신을 수행할 수 있다.

[0184] 한편, 전술한 본 발명의 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터수단을 통하여 판독 가능한 프로그램 형태로 구현되어 컴퓨터로 판독 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.

[0185] 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*

[0186] 10: 형상도출장치 100: 모델생성부

110: 단조형상생성부 120: 레이블설정부

130: 학습부 200: 성형체도출부

210: 전처리부 220: 형상예측부

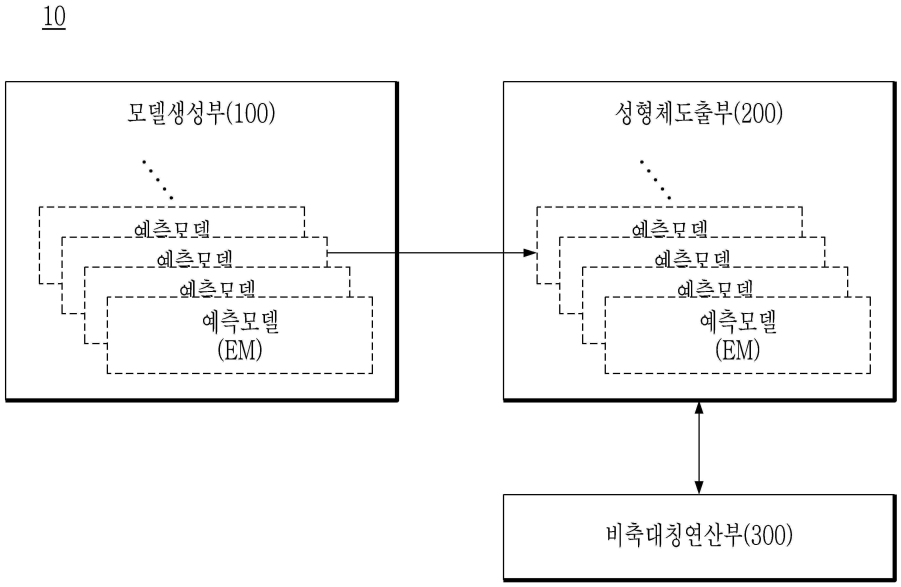
230: 후처리부 240: 형상결정부

300: 비축대칭연산부 310: 형상처리부

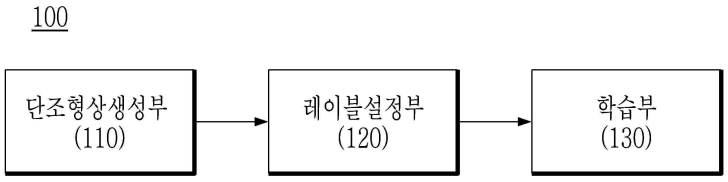
320: 형체선택부

## 도면

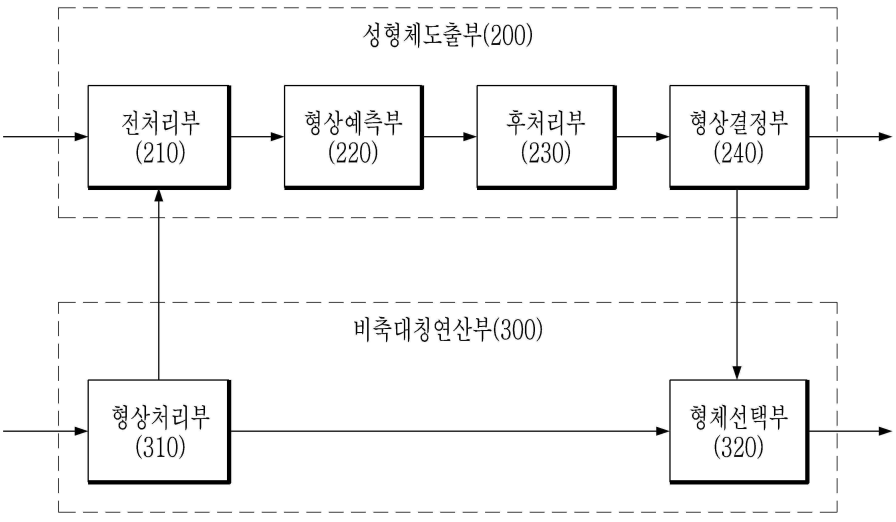
### 도면1



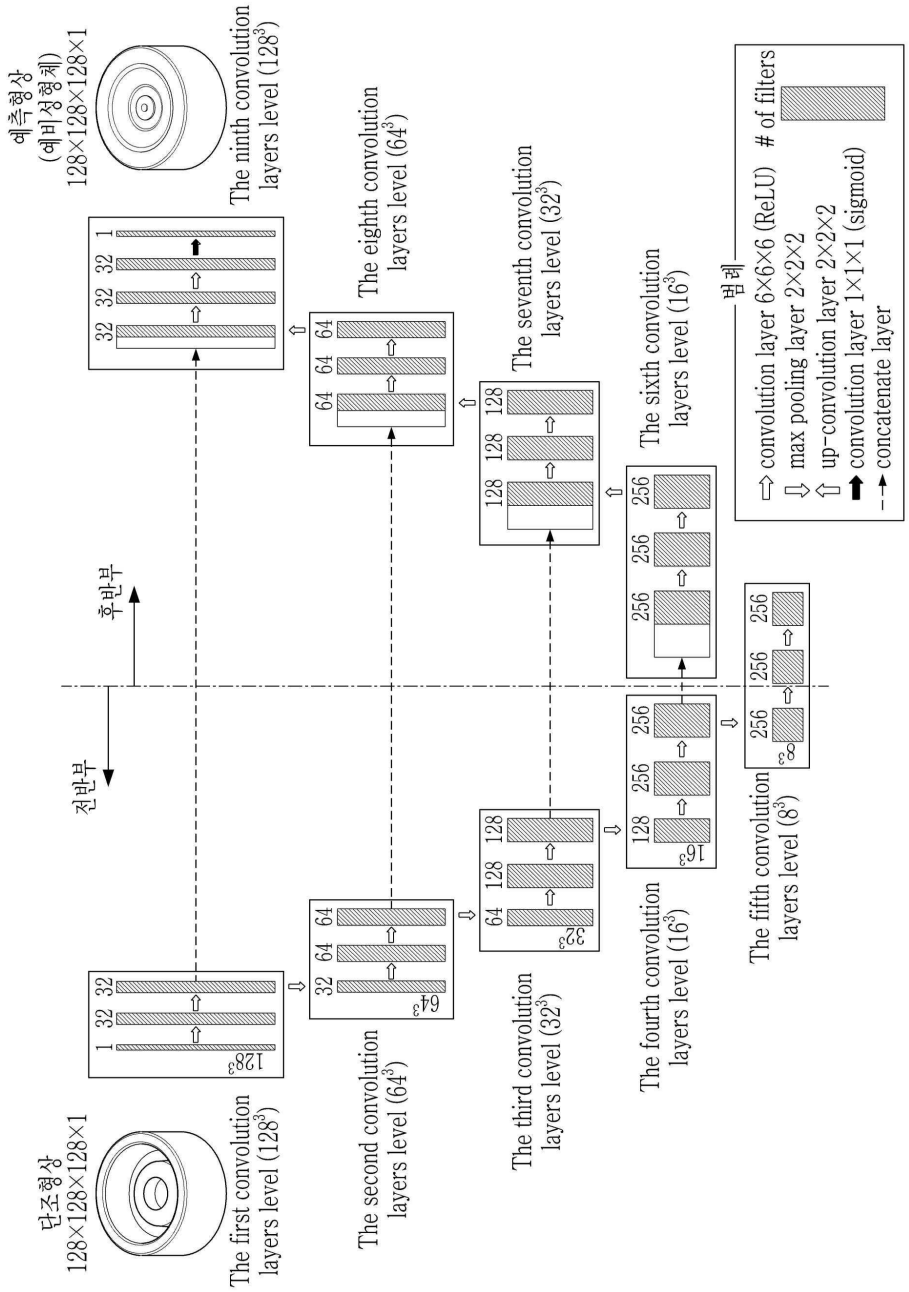

### 도면2



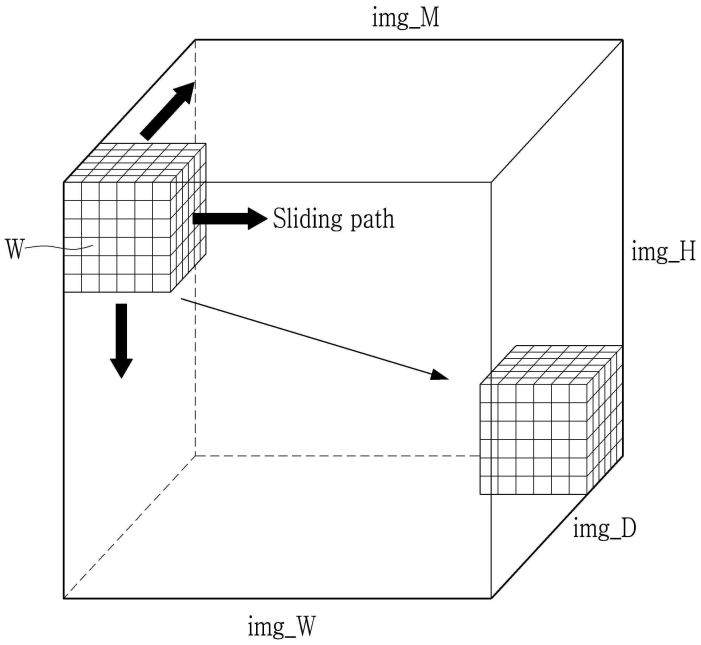

### 도면3



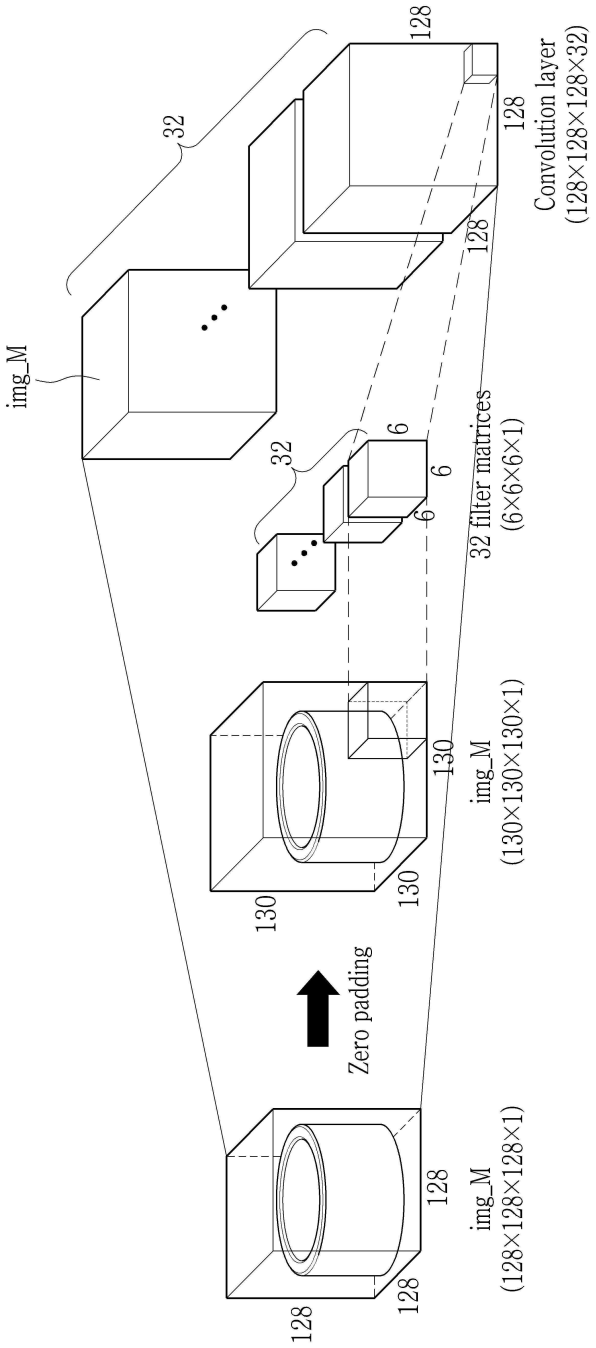
도면4


단조형상
128×128×128×1
예측형상
(예비성형체)
128×128×128×1
전반부
후반부
The first convolution layers level ($128^3$)
The second convolution layers level ($64^3$)
The third convolution layers level ($32^3$)
The fourth convolution layers level ($16^3$)
The fifth convolution layers level ($8^3$)
The sixth convolution layers level ($16^3$)
The seventh convolution layers level ($32^3$)
The eighth convolution layers level ($64^3$)
The ninth convolution layers level ($128^3$)
범례
convolution layer 6×6×6 (ReLU)
max pooling layer 2×2×2
up-convolution layer 2×2×2
convolution layer 1×1×1 (sigmoid)
concatenate layer
# of filters

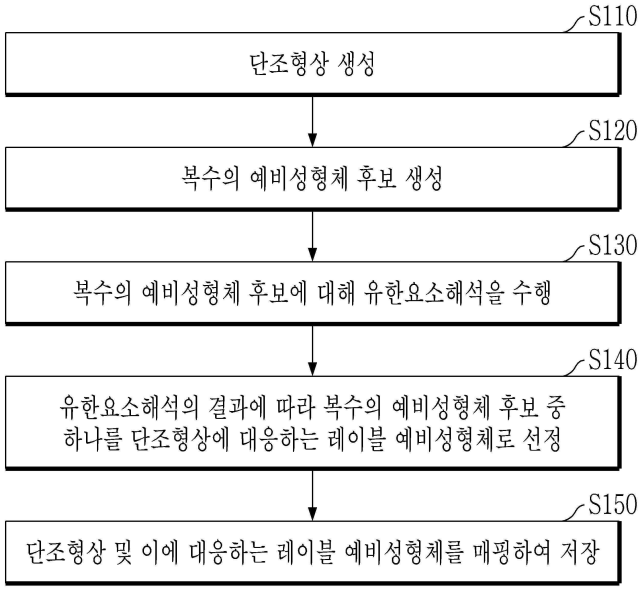
도면5



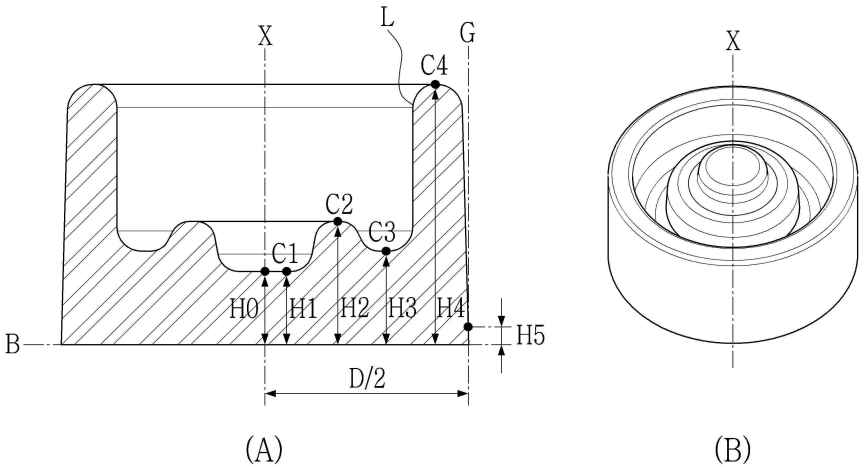
도면6


img_M
32
128
128
128
Convolution layer
(128×128×128×32)
32 filter matrices
(6×6×6×1)
6
6
6
32
img_M
(130×130×130×1)
130
130
130
Zero padding
img_M
(128×128×128×1)
128
128
128

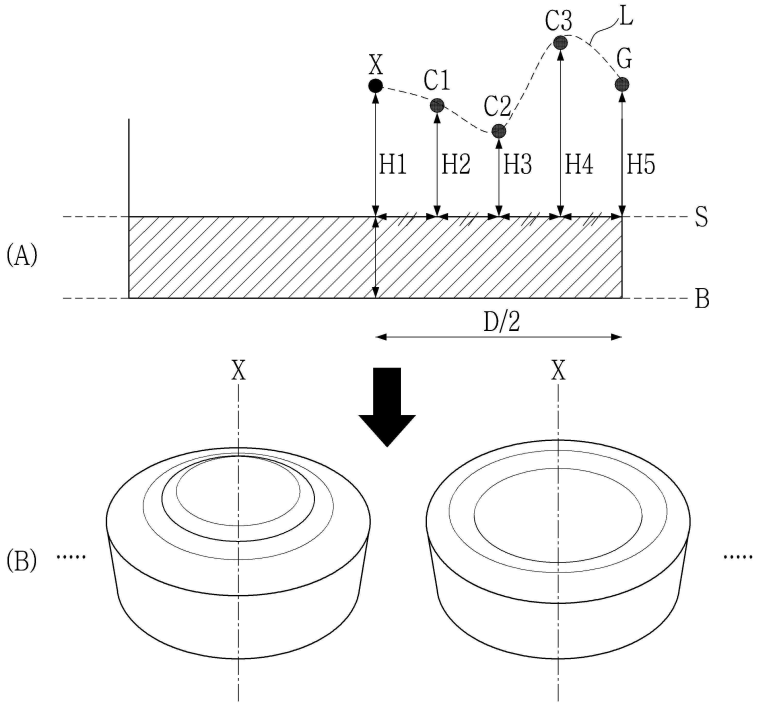
도면7


S110
단조형상 생성
S120
복수의 예비성형체 후보 생성
S130
복수의 예비성형체 후보에 대해 유한요소해석을 수행
S140
유한요소해석의 결과에 따라 복수의 예비성형체 후보 중 하나를 단조형상에 대응하는 레이블 예비성형체로 선정
S150
단조형상 및 이에 대응하는 레이블 예비성형체를 매핑하여 저장

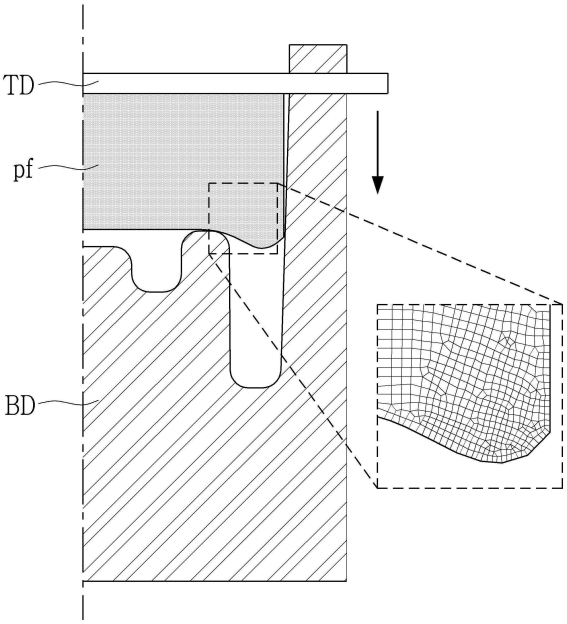
도면8


X
L
G
C4
C2
C3
C1
H0
H1
H2
H3
H4
H5
B
D/2
(A)
X
(B)

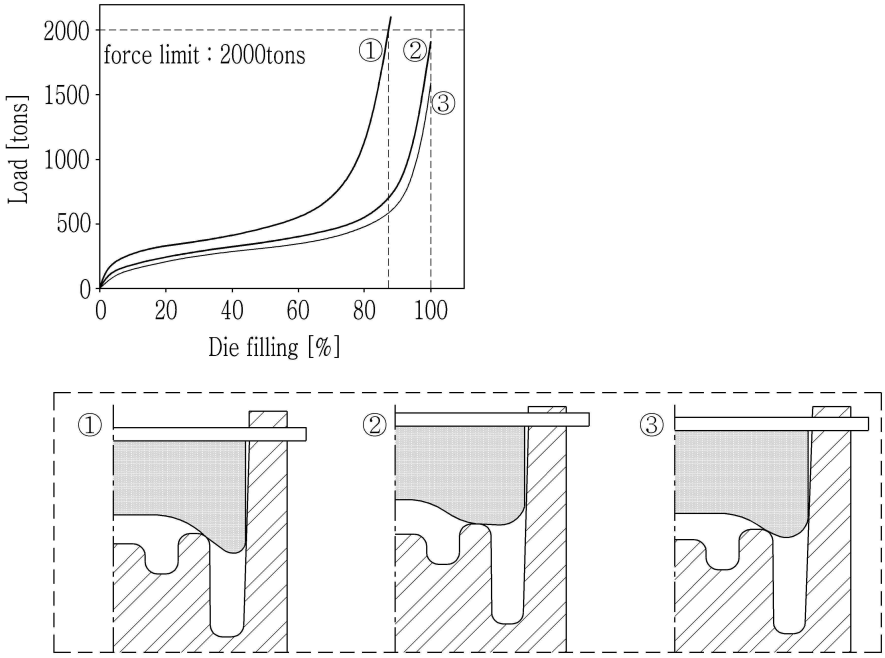
도면9



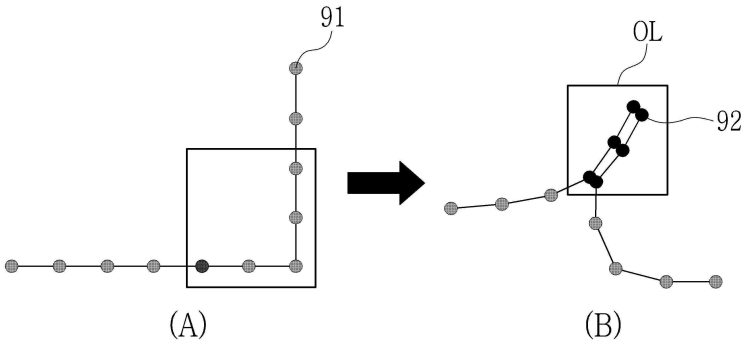

도면10



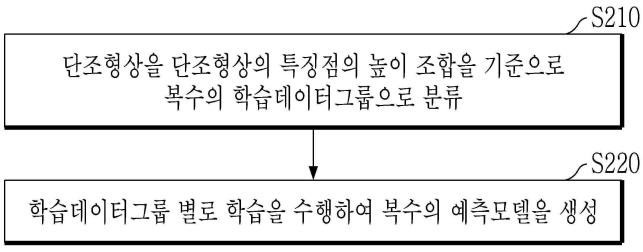
도면11



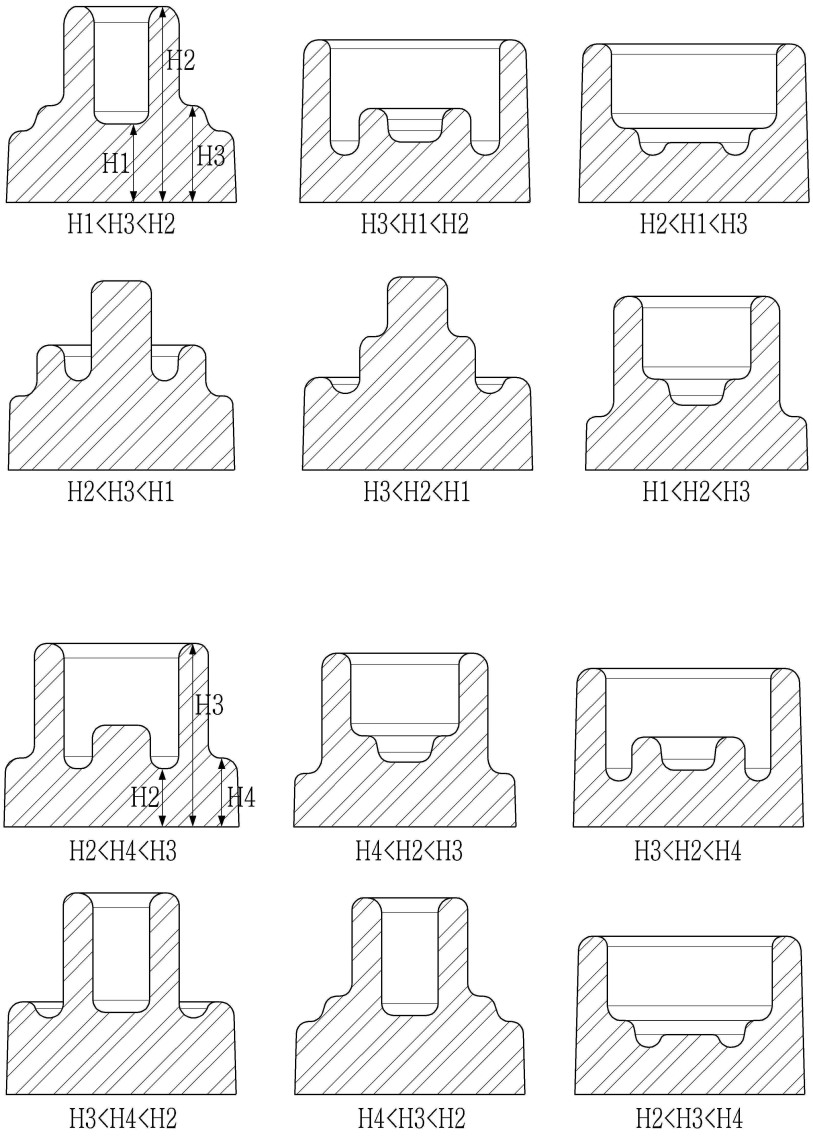

도면12



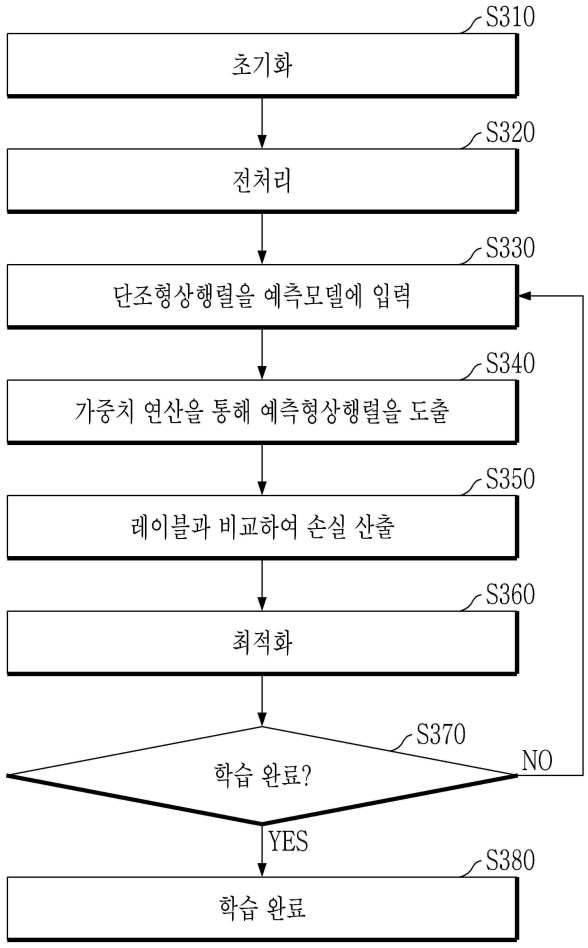

도면13



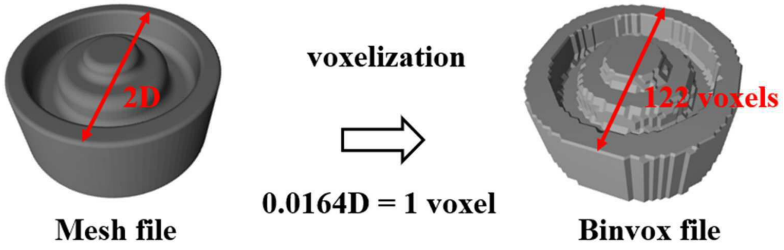
도면14


H2
H1
H3
H1<H3<H2
H3<H1<H2
H2<H1<H3
H2<H3<H1
H3<H2<H1
H1<H2<H3
H3
H2
H4
H2<H4<H3
H4<H2<H3
H3<H2<H4
H3<H4<H2
H4<H3<H2
H2<H3<H4

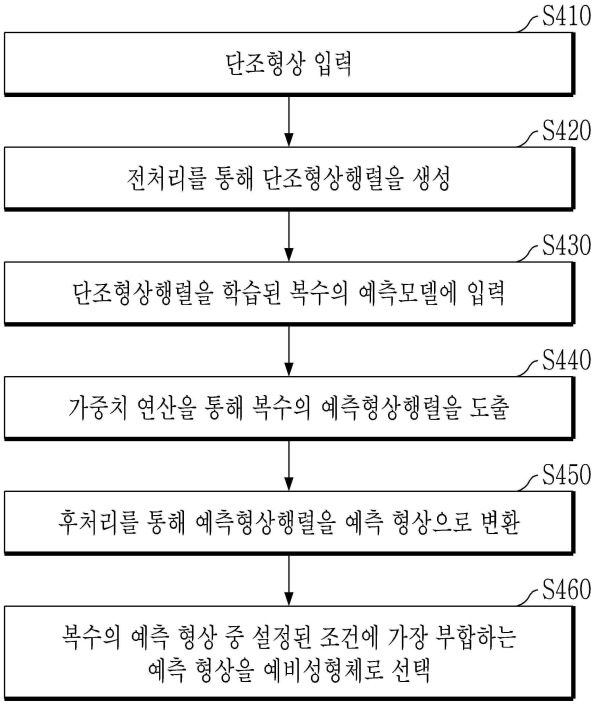
도면15


S310
초기화
S320
전처리
S330
단조형상행렬을 예측모델에 입력
S340
가중치 연산을 통해 예측형상행렬을 도출
S350
레이블과 비교하여 손실 산출
S360
최적화
S370
학습 완료?
NO
YES
S380
학습 완료

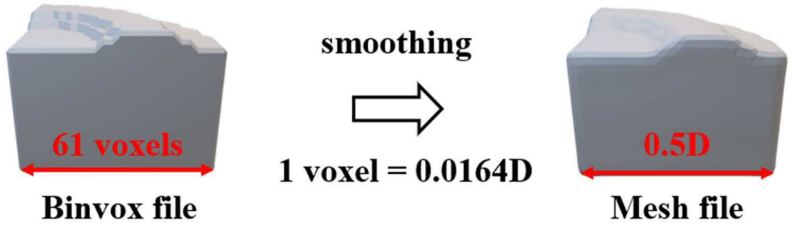
도면16


2D
Mesh file
voxelization
0.0164D = 1 voxel
122 voxels
Binvox file

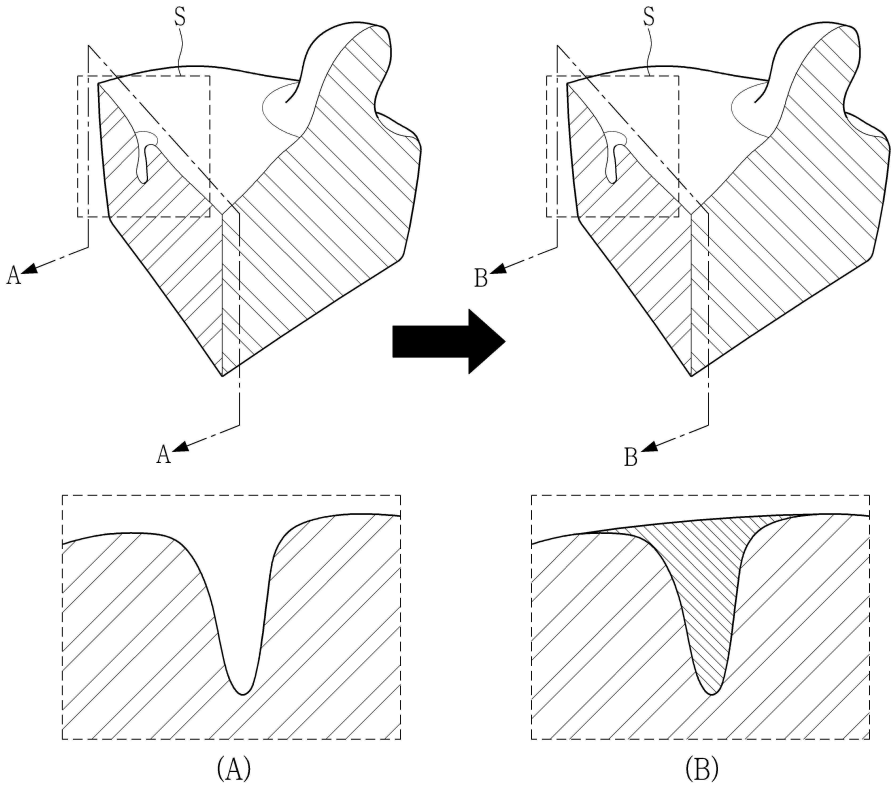
도면17


S410
단조형상 입력
S420
전처리를 통해 단조형상행렬을 생성
S430
단조형상행렬을 학습된 복수의 예측모델에 입력
S440
가중치 연산을 통해 복수의 예측형상행렬을 도출
S450
후처리를 통해 예측형상행렬을 예측 형상으로 변환
S460
복수의 예측 형상 중 설정된 조건에 가장 부합하는
예측 형상을 예비성형체로 선택

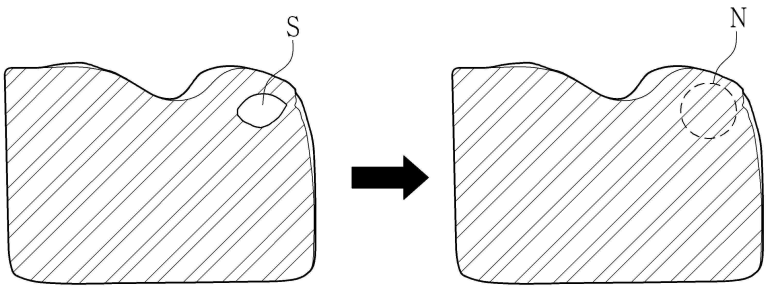
도면18


61 voxels
Binvox file
smoothing
1 voxel = 0.0164D
0.5D
Mesh file

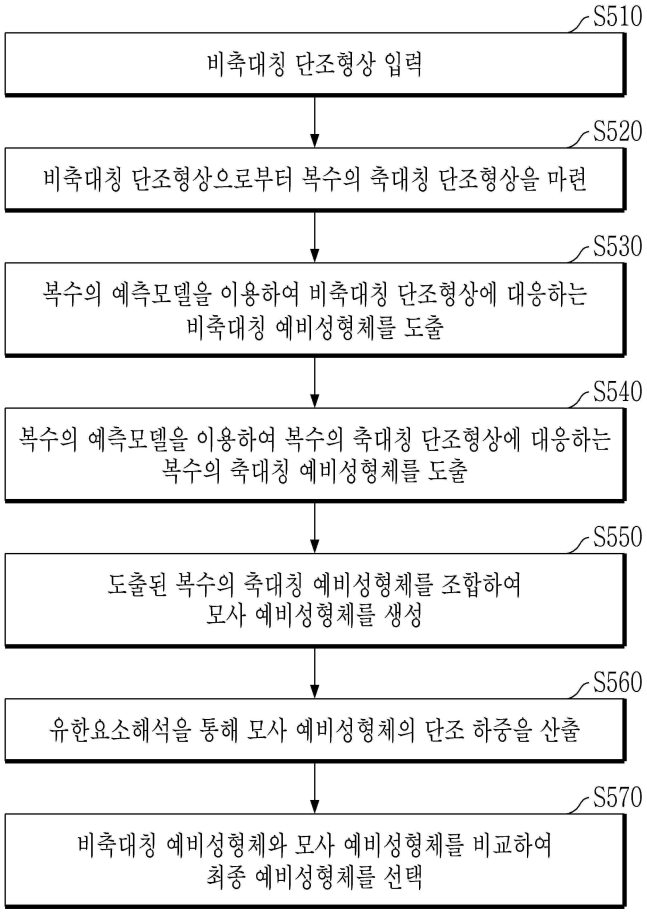
도면19



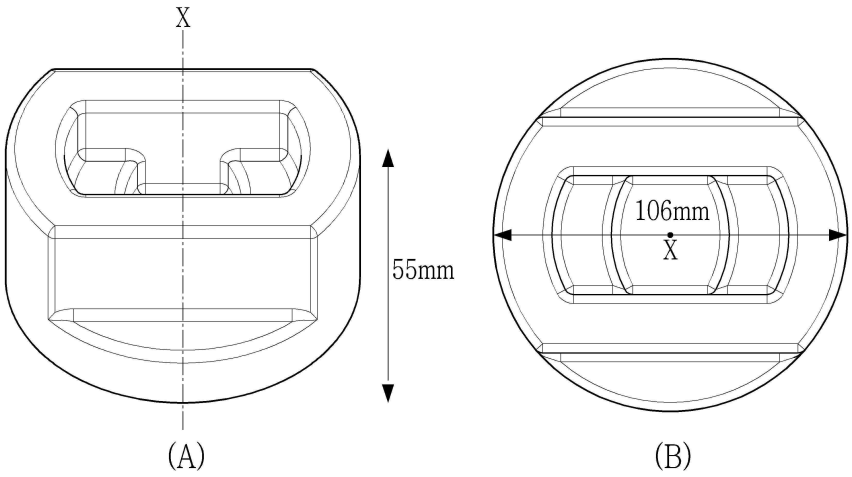

도면20



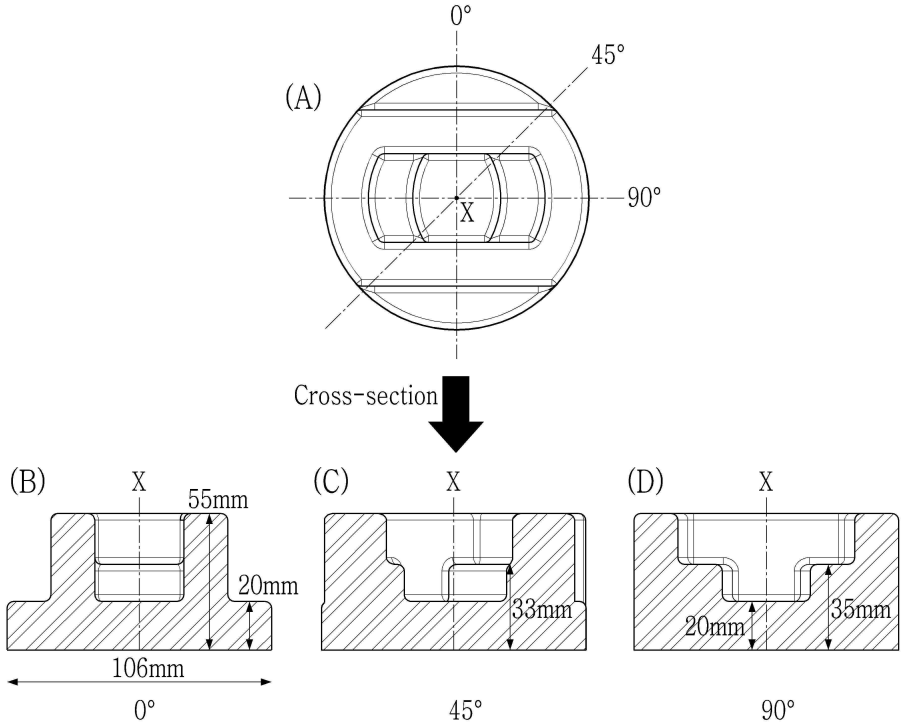
도면21


S510
비축대칭 단조형상 입력
S520
비축대칭 단조형상으로부터 복수의 축대칭 단조형상을 마련
S530
복수의 예측모델을 이용하여 비축대칭 단조형상에 대응하는 비축대칭 예비성형체를 도출
S540
복수의 예측모델을 이용하여 복수의 축대칭 단조형상에 대응하는 복수의 축대칭 예비성형체를 도출
S550
도출된 복수의 축대칭 예비성형체를 조합하여 모사 예비성형체를 생성
S560
유한요소해석을 통해 모사 예비성형체의 단조 하중을 산출
S570
비축대칭 예비성형체와 모사 예비성형체를 비교하여 최종 예비성형체를 선택

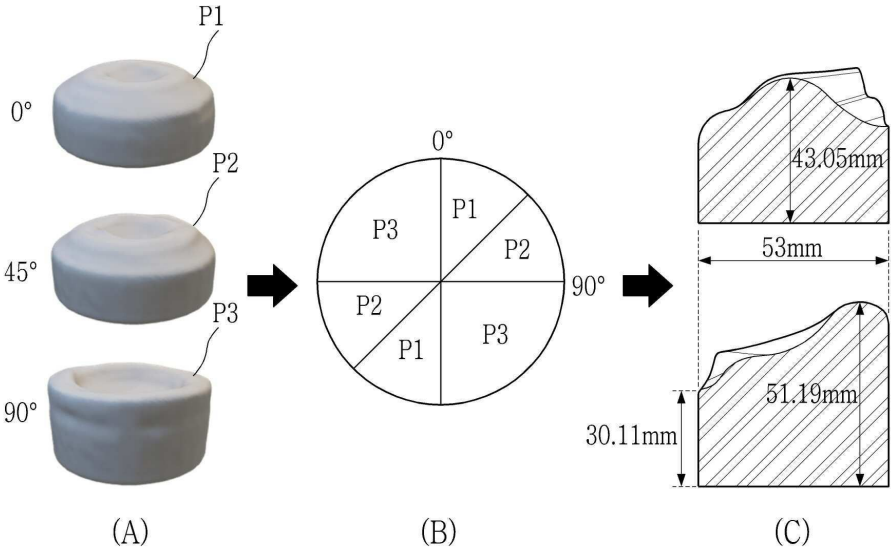
도면22


X
55mm
106mm
X
(A)
(B)

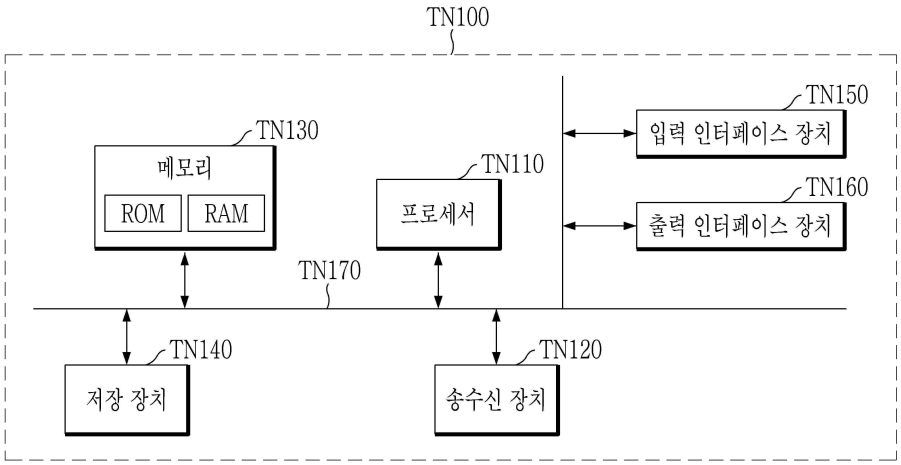
도면23


0°
45°
90°
(A)
X
Cross-section
(B)
X
55mm
20mm
106mm
0°
(C)
X
33mm
45°
(D)
X
20mm
35mm
90°

도면24


P1
0°
P2
45°
P3
90°
(A)
0°
P1
P2
P3
90°
P2
P1
P3
(B)
43.05mm
53mm
51.19mm
30.11mm
(C)

도면25


TN100
TN130
메모리
ROM
RAM
TN110
프로세서
TN150
입력 인터페이스 장치
TN160
출력 인터페이스 장치
TN170
TN140
저장 장치
TN120
송수신 장치