



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0048877
(43) 공개일자 2024년04월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/20 (2020.01) G06F 113/10 (2020.01)
G06F 119/08 (2020.01) G06F 119/14 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/20 (2020.01)
G06F 2113/10 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2022-0128718
(22) 출원일자 2022년10월07일
심사청구일자 2022년10월07일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
박홍석
울산광역시 중구 운곡3길 24, 101동 1305호(다운
동, 삼성아파트)
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템 및 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 레이저 기반 적층 제조 부품의 설계 정보 및 레이어의 두께 대비 레이저의 열 영향이 가해진 깊이의 비인 열 영향 계수 (α ; $0 < \alpha \leq 1$)를 토대로 시뮬레이션에 의해 기 산정된 부품의 고유 변형률과, 실제 부품 제조 후 관측된 실측 고 (뒷면에 계속)

대표도 - 도3



유 변형률을 입력받는 입력부와, 산정된 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 예측 변형 값($\delta_{sim.}$)과, 부품 제조에 따른 실측 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 실제 변형 값인 실험 값($\delta_{exp.}$) 간의 편차($|\delta_{exp.} - \delta_{sim.}|$)를 연산하는 제1 연산부와, 편차를 기 설정된 임계값과 비교하는 비교부와, 편차가 임계값보다 크면, $\delta_{exp.} - \delta_{sim.}$ 값과 $\delta_{sim.} - \delta_{exp.}$ 값이 임계값을 만족하기 위한 후보 열 영향 계수 α_1 및 α_2 를 각각 결정하고, α_1 및 α_2 를 시뮬레이션에 적용하여 새롭게 연산한 각각의 고유 변형률과 실측 고유 변형률 간의 편차를 개별 연산하는 제2 연산부, 및 더욱 낮은 편차를 도출한 하나의 열 영향 계수를 최적 열 영향 계수로 최종 결정하는 제어부를 포함한다.

본 발명에 따르면, 적층 제조 부품에 대해 예측되는 부품의 고유 변형률 값의 연산 오차를 보정하여 고유 변형률의 산정 정확도를 높일 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06F 2119/08 (2020.01)

G06F 2119/14 (2020.01)

명세서

청구범위

청구항 1

레이저 기반 적층 제조 부품의 설계 정보 및 레이저의 두께 대비 레이저의 열 영향이 가해진 깊이의 비인 열 영향 계수 (α ; $0 < \alpha \leq 1$)를 토대로 시뮬레이션에 의해 기 산정된 부품의 고유 변형률과, 실제 부품 제조 후 관측된 실측 고유 변형률을 입력받는 입력부;

상기 산정된 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 예측 변형 값($\delta_{sim.}$)과, 상기 부품 제조에 따른 실측 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 실제 변형 값인 실험 값($\delta_{exp.}$) 간의 편차($|\delta_{exp.} - \delta_{sim.}|$)를 연산하는 제1 연산부;

상기 편차를 기 설정된 임계값과 비교하는 비교부;

상기 편차가 임계값보다 크면, 두 방향 오차인 $\delta_{exp.} - \delta_{sim.}$ 값과 $\delta_{sim.} - \delta_{exp.}$ 값이 상기 임계값을 만족하기 위한 후보 열 영향 계수 α_1 및 α_2 를 각각 결정하고, α_1 및 α_2 를 상기 시뮬레이션에 적용하여 새롭게 연산한 각각의 고유 변형률과 상기 실측 고유 변형률 간의 편차를 개별 연산하는 제2 연산부; 및

상기 α_1 및 α_2 중 더 낮은 편차를 도출한 하나의 열 영향 계수를 상기 시뮬레이션 기반의 적층 제조 부품의 고유 변형률 산정을 위한 최적 열 영향 계수로 최종 결정하는 제어부를 포함하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 열 영향 계수는 $\alpha = d/h$ 로 표현되고, h 는 상기 레이저의 두께(높이)이고, d 는 상기 레이저에 가해지는 열 영향 깊이를 나타내는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 제1 연산부는,

상기 산정된 고유 변형률에 상기 적층 제조 부품의 설계 높이를 곱하여 상기 부품의 예측 변형 값($\delta_{sim.}$)을 연산하고, 상기 부품 제조에 따른 실측 고유 변형률에 부품의 실측 높이를 곱하여 상기 부품의 실제 변형 값인 실험 값($\delta_{exp.}$)을 연산하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제어부는,

상기 편차가 상기 임계값 이하이면, 상기 산정된 고유 변형률을 상기 적층 제조 부품에 대해 예측된 고유 변형률 값으로 최종 확정하여 출력하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제어부는,

상기 시뮬레이션에 기 적용된 초기 열영향 계수(α)를 상기 최종 결정한 열 영향 계수(α_1 또는 α_2)로 업데이트하고, 상기 레이저를 이용한 임의 적층 제조 부품의 시뮬레이션을 통한 고유 변형률 산정 오차를 최소화하도록

하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 제2 연산부는,

아래의 수학식에 의해 연산된 $\delta(\alpha)_{sim.}$ 값이 제1 조건을 만족시키는 α 값을 α_1 로 결정하고 제2 조건을 만족시키는 α 값을 α_2 로 결정하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템:

$$\delta(\alpha)_{sim.} = (n - (n - 1) \cdot \alpha) \cdot |\varepsilon_{inh-z}| \cdot H$$

여기서, 제1 조건은 $\delta_{exp.} - \delta_{sim.} = T$ (임계값), 제2 조건은 $-\delta_{exp.} + \delta_{sim.} = T$ (임계값)이며, H는 상기 적층 제조 부품의 설계 높이, ε_{inh-z} 는 상기 적층 제조 부품의 단일 레이어에 대한 z방향 고유 변형률, n은 상기 적층 제조 부품의 총 레이어 수($n=H/h$, h는 레이어당 높이)를 나타낸다.

청구항 7

청구항 5에 있어서,

상기 제2 연산부는,

α_1 및 α_2 를 아래 수학식에 개별 적용하여 적층 제조 부품 전체의 z방향 고유 변형률($\varepsilon_{z(whole)}$)을 새롭게 연산하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템:

$$\varepsilon_{z(whole)} = (n - (n - 1) \cdot \alpha) \cdot \varepsilon_{inh-z},$$

여기서, $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2\}$ 이다.

청구항 8

청구항 7에 있어서

상기 제2 연산부는,

상기 α_1 및 α_2 에 대응하여 새롭게 연산된 두 가지 z방향 고유 변형률과 실제 부품 제조 후 측정된 부품 전체의 z방향 고유 변형률 간의 편차를 각각 연산하고 연산한 두 가지 편차를 상기 제어부로 제공하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 임계값은 0.01mm로 설정되는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템.

청구항 10

적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템을 이용한 고유 변형률 오차 보정 방법에 있어서,

레이저 기반 적층 제조 부품의 설계 정보 및 레이어의 두께 대비 레이저의 열 영향이 가해진 깊이의 비인 열 영향 계수(α ; $0 < \alpha \leq 1$)를 토대로 시뮬레이션에 의해 기 산정된 부품의 고유 변형률과, 실제 부품 제조 후 관측된 실측 고유 변형률을 입력받는 단계;

상기 산정된 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 예측 변형 값($\delta_{sim.}$)과, 상기 부품 제조에 따른 실측 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 실제 변형 값인 실험 값($\delta_{exp.}$) 간의 편차($|\delta_{exp.} - \delta_{sim.}|$)를 연산하는 단계;

상기 편차를 기 설정된 임계값과 비교하는 단계;

상기 편차가 임계값보다 크면, 두 방향 오차인 $\delta_{exp.} - \delta_{sim.}$ 값과 $\delta_{sim.} - \delta_{exp.}$ 값이 상기 임계값을 만족하기 위한

후보 열 영향 계수 α_1 및 α_2 를 각각 결정하고, α_1 및 α_2 를 상기 시뮬레이션에 적용하여 새롭게 연산한 각각의 고유 변형률과 상기 실측 고유 변형률 간의 편차를 개별 연산하는 단계; 및

상기 α_1 및 α_2 중 더 낮은 편차를 도출한 하나의 열 영향 계수를 상기 시뮬레이션 기반의 적층 제조 부품의 고유 변형률 산정을 위한 최적 열 영향 계수로 최종 결정하는 단계를 포함하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 열 영향 계수는 $\alpha=d/h$ 로 표현되고, h 는 상기 레이어의 두께(높이)이고, d 는 상기 레이어에 가해지는 열 영향 깊이를 나타내는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 방법.

청구항 12

청구항 10에 있어서,

상기 편차를 연산하는 단계는,

상기 산정된 고유 변형률에 상기 적층 제조 부품의 설계 높이를 곱하여 상기 부품의 예측 변형 값($\delta_{sim.}$)을 연산하고, 상기 부품 제조에 따른 실측 고유 변형률에 부품의 실측 높이를 곱하여 상기 부품의 실제 변형 값인 실험 값($\delta_{exp.}$)을 연산하는 단계를 더 포함하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 방법.

청구항 13

청구항 10에 있어서,

상기 시뮬레이션에 기 적용된 초기 열영향 계수(α)를 상기 최종 결정한 열 영향 계수(α_1 또는 α_2)로 업데이트하고, 상기 레이저를 이용한 임의 적층 제조 부품의 시뮬레이션을 통한 고유 변형률 산정 오차를 최소화하도록 하는 단계를 더 포함하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 방법.

청구항 14

청구항 10에 있어서,

상기 후보 열 영향 계수 α_1 및 α_2 를 각각 결정 시, 아래의 수학식에 의해 연산된 $\delta(\alpha)_{sim.}$ 값이 제1 조건을 만족시키는 α 값을 α_1 로 결정하고 제2 조건을 만족시키는 α 값을 α_2 로 결정하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 방법:

$$\delta(\alpha)_{sim.} = (n - (n - 1) \cdot \alpha) \cdot |\varepsilon_{inh-z}| \cdot H$$

여기서, 제1 조건은 $\delta_{exp.} - \delta_{sim.} = T$ (임계값), 제2 조건은 $-\delta_{exp.} + \delta_{sim.} = T$ (임계값)이며, H 는 상기 적층 제조 부품의 설계 높이, ε_{inh-z} 는 상기 적층 제조 부품의 단일 레이어에 대한 z 방향 고유 변형률, n 은 상기 적층 제조 부품의 총 레이어 수($n=H/h$, h 는 레이어당 높이)를 나타낸다.

청구항 15

청구항 13에 있어서,

α_1 및 α_2 를 상기 시뮬레이션에 적용하여 새롭게 연산 시, α_1 및 α_2 를 아래 수학식에 개별 적용하여 적층 제조 부품 전체의 z 방향 고유 변형률($\varepsilon_{z(whole)}$)을 새롭게 연산하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 방법:

$$\varepsilon_{z(whole)} = (n - (n - 1) \cdot \alpha) \cdot \varepsilon_{inh-z},$$

여기서, $\alpha=\{\alpha_1, \alpha_2\}$ 이다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 적층 제조 부품에 대해 예측되는 부품의 고유 변형률 값의 연산 오차를 보정하여 고유 변형률의 산정 정확도를 높일 수 있는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 적층 제조 부품은 제조 공정 과정에서 급격한 가열 및 냉각으로 인해 잔류 응력이 발생하게 되고 이로 인하여 제품의 변형 및 균열과 같은 여러 가지 결함이 존재하게 된다.

[0003] 도 1은 적층 제조 부품의 변형 및 이를 고려한 제품 설계 예시를 설명한 도면이다. 도 1의 경우 적층 제조 공정으로 제조된 명함 제품을 도시한 것으로, 상단 그림은 플랫폼에 디자인된 명함 제품을 SLM(Selective Laser Melting, 선택적 레이저 용융) 3D 프린팅 기법으로 제조 후 냉각한 결과, 제품 가장자리가 들뜨는 휨 변형이 발생한 것을 보여준다.

[0004] 하단 그림의 경우, 설계 단계에서 제품의 변형을 사전 예측하고 이를 선반영하여 재디자인한 경우로, 볼록한 형상으로 재디자인된 명함 제품을 SLM 프린팅 기법으로 제조 후 냉각한 결과 제품이 플랫폼한 모양을 갖는 것을 보여준다.

[0005] 이와 같이, 시뮬레이션을 기반으로 부품의 변형을 사전 예측한다면 설계 단계에서 위와 같은 문제를 극복할 수 있다. 따라서 적층 제조 제품에 대한 변형률을 사전 예측하는 것은 매우 중요하다.

[0006] 제품이 갖는 고유 변형률(inherent strain, ϵ^*)은 열변형($\epsilon_{thermal}$), 상전이 변형(ϵ_{phase}), 소성 변형($\epsilon_{plastic}$), 크리프 변형(ϵ_{creep})을 포함한다. 적층 제조 공정에서의 가열 냉각 사이클 동안의 제품의 총 변형률(ϵ_{total})은 아래의 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 1

$$[0007] \epsilon_{total} = \epsilon_{elastic} + \epsilon^*$$

[0008] 탄성 변형은 탄성에 의해 다시 복원되는 값이므로 고유 변형률과는 구분되는 요소이다. 또한, 고유 변형률(ϵ^*)은 아래와 같이 표현된다.

수학적 식 2

$$[0009] \epsilon^* = \epsilon_{thermal} + \epsilon_{plastic} + \epsilon_{phase} + \epsilon_{creep}$$

[0010] 제품의 고유 변형률은 위와 같이 네 가지 속성의 합으로 정의되지만 실제로 이들 각각의 변형 값을 정확하게 파악하기는 현실적으로 불가능하다.

[0011] 도 2는 변형률과 응력 간 관계를 나타낸 도면이다. 도 2에서 가로축은 변형률(strain, ϵ)을 나타내고 세로축은 응력(stress, σ)을 나타낸다.

[0012] 도 2와 같이, 변형률-응력 관계 그래프는 선형 구간과 비선형 구간을 갖는다. 제품이 탄성 변형 및 복원되는 선형 구간에서는 변형률과 응력 사이에 선형 거동을 보이며, 이러한 선형 관계는 $\sigma = E \times \epsilon$ 로 표현된다. 여기서, E는 선형 구간에 해당하는 그래프 기울기로, 탄성 계수(Elastic coefficient) 값에 해당한다. 그러나 제품의 소성 변형이 일어나는 비선형 구간에서는 변형률과 응력 간 선형 관계를 가지지 않으며, 이러한 비선형 거동 관계는

$\sigma \neq E \times \varepsilon$ 로 표현된다.

[0013] 기존에는 적층 제조 대상이 되는 제품에 대한 설계 도면과 레이저 특성 등을 바탕으로 시뮬레이션 도구의 해석 알고리즘을 통해서 제품에 대한 고유 변형률을 예측하는데, 이와 같이 시뮬레이션에 의해 예측된 고유 변형률은 실제 제품 제조 시 예측된 고유 변형률과는 오차가 존재하므로 정확도가 다소 떨어진다.

[0014] 또한, 고유 변형률의 예측 시에는 적층 인쇄 제조 시의 단일 레이저의 높이(두께)에 대비하여 실제로 레이저의 열이 영향을 미치는 깊이의 비에 해당하는 계수 값이 시뮬레이션을 위한 파라미터로 입력되는데, 이 값은 미지의 값이기 때문에 시뮬레이션 시에는 임의 값(약 1/3의 값)을 설정하여 사용하고 있다. 이러한 열 영향 깊이 계수 값을 시뮬레이션 상에서 보다 정확한 값으로 보정하여 임의 적층 제조 부품의 설계치로부터 고유 변형률 예측 값을 더욱 신뢰성 있게 산정할 수 있는 기법이 요구된다.

[0015] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국공개특허 제10-2018-0124542호(2018.11.21 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명은 적층 제조 부품에 대해 예측되는 부품의 고유 변형률 값의 연산 오차를 보정하여 고유 변형률의 산정 정확도를 높일 수 있는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0017] 본 발명은, 레이저 기반 적층 제조 부품의 설계 정보 및 레이저의 두께 대비 레이저의 열 영향이 가해진 깊이의 비인 열 영향 계수 (α ; $0 < \alpha \leq 1$)를 토대로 시뮬레이션에 의해 기 산정된 부품의 고유 변형률과, 실제 부품 제조 후 관측된 실측 고유 변형률을 입력받는 입력부와, 상기 산정된 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 예측 변형 값($\delta_{sim.}$)과, 상기 부품 제조에 따른 실측 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 실제 변형 값인 실험 값($\delta_{exp.}$) 간의 편차($|\delta_{exp.} - \delta_{sim.}|$)를 연산하는 제1 연산부와, 상기 편차를 기 설정된 임계값과 비교하는 비교부와, 상기 편차가 임계값보다 크면, 두 방향 오차인 $\delta_{exp.} - \delta_{sim.}$ 값과 $\delta_{sim.} - \delta_{exp.}$ 값이 상기 임계값을 만족하기 위한 후보 열 영향 계수 α_1 및 α_2 를 각각 결정하고, α_1 및 α_2 를 상기 시뮬레이션에 적용하여 새롭게 연산한 각각의 고유 변형률과 상기 실측 고유 변형률 간의 편차를 개별 연산하는 제2 연산부, 및 상기 α_1 및 α_2 중 더 낮은 편차를 도출한 하나의 열 영향 계수를 상기 시뮬레이션 기반의 적층 제조 부품의 고유 변형률 산정을 위한 최적 열 영향 계수로 최종 결정하는 제어부를 포함하는 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템을 제공한다.

[0018] 또한, 상기 열 영향 계수는 $\alpha = d/h$ 로 표현되고, h 는 상기 레이저의 두께(높이)이고, d 는 상기 레이저에 가해지는 열 영향 깊이를 나타낼 수 있다.

[0019] 또한, 상기 제1 연산부는, 상기 산정된 고유 변형률에 상기 적층 제조 부품의 설계 높이를 곱하여 상기 부품의 예측 변형 값($\delta_{sim.}$)을 연산하고, 상기 부품 제조에 따른 실측 고유 변형률에 부품의 실측 높이를 곱하여 상기 부품의 실제 변형 값인 실험 값($\delta_{exp.}$)을 연산할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 제어부는, 상기 편차가 상기 임계값 이하이면, 상기 산정된 고유 변형률을 상기 적층 제조 부품에 대해 예측된 고유 변형률 값으로 최종 확정하여 출력할 수 있다.

[0021] 또한, 상기 제어부는, 상기 시뮬레이션에 기 적용된 초기 열영향 계수(α)를 상기 최종 결정한 열 영향 계수(α_1 또는 α_2)로 업데이트하고, 상기 레이저를 이용한 임의 적층 제조 부품의 시뮬레이션을 통한 고유 변형률 산정 오차를 최소화하도록 할 수 있다.

[0022] 또한, 상기 제2 연산부는, 아래의 수학적식에 의해 연산된 $\delta(\alpha)_{sim.}$ 값이 제1 조건을 만족시키는 α 값을 α_1 로 결정하고 제2 조건을 만족시키는 α 값을 α_2 로 결정할 수 있다.

$$\delta(\alpha)_{sim.} = (n - (n - 1) \cdot \alpha) \cdot |\varepsilon_{inh-z}| \cdot H$$

[0023] 여기서, 제1 조건은 $\delta_{exp.} - \delta_{sim.} = T(\text{임계값})$, 제2 조건은 $-\delta_{exp.} + \delta_{sim.} = T(\text{임계값})$ 이며, H 는 상기 적층 제조 부품

의 설계 높이, ε_{inh-z} 는 상기 적층 제조 부품의 단일 레이어에 대한 z 방향 고유 변형률, n 은 상기 적층 제조 부품의 총 레이어 수($n=H/h$, h 는 레이어당 높이)를 나타낸다.

[0025] 또한, 상기 제2 연산부는, α_1 및 α_2 를 아래 수식에 개별 적용하여 적층 제조 부품 전체의 z 방향 고유 변형률($\varepsilon_{z(whole)}$)을 새롭게 연산할 수 있다.

[0026]
$$\varepsilon_{z(whole)} = (n - (n - 1) \cdot \alpha) \cdot \varepsilon_{inh-z},$$

[0027] 여기서, $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2\}$ 이다.

[0028] 또한, 상기 제2 연산부는, 상기 α_1 및 α_2 에 대응하여 새롭게 연산된 두 가지 z 방향 고유 변형률과 실제 부품 제조 후 측정된 부품 전체의 z 방향 고유 변형률 간의 편차를 각각 연산하고 연산한 두 가지 편차를 상기 제어부로 제공할 수 있다.

[0029] 또한, 상기 임계값은 0.01mm로 설정될 수 있다.

[0030] 또한, 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템을 이용한 고유 변형률 오차 보정 방법에 있어서, 레이저 기반 적층 제조 부품의 설계 정보 및 레이어의 두께 대비 레이저의 열 영향이 가해진 깊이의 비인 열 영향 계수(α ; $0 < \alpha \leq 1$)를 토대로 시뮬레이션에 의해 산정된 부품의 고유 변형률과, 실제 부품 제조 후 관측된 실측 고유 변형률을 입력받는 단계와, 상기 산정된 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 예측 변형 값($\delta_{sim.}$)과, 상기 부품 제조에 따른 실측 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 실제 변형 값인 실험 값($\delta_{exp.}$) 간의 편차($|\delta_{exp.} - \delta_{sim.}|$)를 연산하는 단계와, 상기 편차를 기 설정된 임계값과 비교하는 단계와, 상기 편차가 임계값보다 크면, 두 방향 오차인 $\delta_{exp.} - \delta_{sim.}$ 값과 $\delta_{sim.} - \delta_{exp.}$ 값이 상기 임계값을 만족하기 위한 후보 열 영향 계수 α_1 및 α_2 를 각각 결정하고, α_1 및 α_2 를 상기 시뮬레이션에 적용하여 새롭게 연산한 각각의 고유 변형률과 상기 실측 고유 변형률 간의 편차를 개별 연산하는 단계, 및 상기 α_1 및 α_2 중 더 낮은 편차를 도출한 하나의 열 영향 계수를 상기 시뮬레이션 기반의 적층 제조 부품의 고유 변형률 산정을 위한 최적 열 영향 계수로 최종 결정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0031] 본 발명에 따르면, 레이저 기반의 적층 제조 부품에 대해 예측되는 부품의 고유 변형률 값의 연산 오차를 보정하여 고유 변형률의 산정 정확도 높일 수 있으며, 시뮬레이션 상에서 계산 오차를 쉽게 보정할 수 있어, 해당 레이저를 기반으로 하는 임의 적층 제조 부품에 대한 고유 변형률 및 변형값의 예측 오차를 줄일 수 있다.

[0032] 또한, 이와 같이, 낮은 오차로 예측되는 적층 제조 부품의 고유 변형률을 고려하여 제품을 역설계할 수 있어, 실제 인쇄 제조 시에 부품의 불량률을 줄이고 부품의 품질을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 적층 제조 부품의 변형 및 이를 고려한 제품 설계 예시를 설명한 도면이다.

도 2는 변형률과 응력 간 관계를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에서 n 번째 레이어에 대한 고유 변형률 계산을 예시적으로 보여주는 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예를 위한 적층 제조 부품의 설계 도면을 나타낸다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 오차 보정 과정을 설명한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서

설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

- [0035] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0036] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.
- [0037] 본 발명의 실시예에 따른 적층 제조 부품의 고유 변형률 오차 보정 시스템(100)은 입력부(110), 제1 연산부(120), 비교부(130), 제2 연산부(140), 제어부(150)를 포함하며, 출력부(160)를 더 포함할 수 있다. 각 부(110~140,160)의 동작 및 각 부 간의 제어 흐름은 제어부(150)에 의해 제어될 수 있다.
- [0038] 입력부(110)는 레이저 기반 적층 제조 부품의 설계 정보 및 레이어의 두께(h) 대비 레이저의 열 영향이 가해지는 깊이(d)의 비인 열 영향 계수(α ; $0 < \alpha \leq 1$)를 토대로 시뮬레이션에 의해 기 산정된 부품의 고유 변형률(IS, inherent strain)과, 실제 부품 제조 후 관측된 실측 고유 변형률을 입력받는다.
- [0039] 여기서, 시뮬레이션은 컴퓨터에 실행 가능하게 구현되는 고유 변형률 산정을 위한 도구에 해당할 수 있고, SLM(Selective Laser Melting, 선택적 레이저 용융) 인쇄 가공을 위한 레이저의 동작 규격, 적층 제조 부품의 설계 정보, 레이어의 규격, 소재의 특성 등을 입력 매개변수로 하여 해당 적층 제조 부품의 고유 변형률을 예측 결과로 제공할 수 있다. 여기서 부품의 고유 변형률은 x, y, z 방향의 고유 변형률을 포함할 수 있다.
- [0040] 레이저 기반 적층 제조 부품의 제조에 사용된 소재는 금속 분말(파우더)에 해당할 수 있으며, 예를 들어 스테인리스 스틸(예: Sus 316L) 분말 소재를 사용할 수 있다. 적층 제조 부품은 SLM(Selective Laser Melting, 선택적 레이저 용융) 인쇄 가공에 의해 제조될 수 있다.
- [0041] 여기서, 본 발명의 실시예에 따른 적층 제조 부품의 고유 변형률 산정 오차 시스템은 고유 변형률 산정을 위한 시뮬레이션 도구에서 고유 변형률 산정(예측)의 정확도를 높이기 위한 부가 기능으로 포함될 수 있다. 이러한 본 발명의 실시예에 따른 고유 변형률 오차 보정 시스템은 시뮬레이션과 연계되어 동작할 수도 있고 시뮬레이션의 기능에 포함되어 구현될 수 있다.
- [0042] 위와 같이, 입력부(110)는 적층 제조 부품의 설계 정보 및 열 영향 계수(α ; $0 < \alpha \leq 1$)를 토대로 시뮬레이션에 의해 기 산정된 부품의 고유 변형률(예측값)과, 실제 해당 부품 제조 후 관측된 실측 고유 변형률(실험값)을 입력받을 수 있다. 입력부(110)는 각종 정보를 사용자로부터 입력받을 수 있고 내부 프로세서에 의해 자동으로 입력받을 수 있다. 또한, 사용자 입력을 위해 시뮬레이션 툴 상에 연산에 필요한 각종 데이터 입력 기능을 제공할 수 있다. 입력부(110)는 입력된 값을 제1 연산부(120)로 전달할 수 있다.
- [0043] 본 발명의 실시예에서, 열 영향 계수는 $\alpha = d/h$ 로 표현될 수 있다. 이때, h는 레이어의 두께(높이)이고, d는 레이어에 가해지는 열 영향 깊이를 나타낸다.
- [0044] 적층 제조 부품은 레이어를 하나씩 차례로 적층하면서 열을 인가하여 제조되며 총 n개의 레이어로 적층 제조된다. 만일, 단위 레이어의 높이는 h, 총 레이어 수 n은 67이면, 적층 제조 부품의 설계 높이는 67h가 된다.
- [0045] 적층 인쇄 제조 시 두께 h를 갖는 레이어에 가해지는 열 영향의 깊이는 d로 표현될 수 있다. 여기서, d는 0 mm 보다 크고 최대 h mm를 가질 수 있다. 따라서 이들 비율인 d/h로 정의되는 열 영향 계수(α)는 $0 < \alpha \leq 1$ 의 범위를 가질 수 있다. 본 발명의 실시예에서 시뮬레이션 상에서 초기 α 값은 1/3로 세팅된 것을 가정한다. $\alpha = 1/3$ 인 경우, 높이 h를 갖는 각 레이어는 상부 표면으로부터 h/3 깊이 지점까지 열 영향을 받는 것을 나타낸다.
- [0046] 이렇게 초기 설정된 α 값은 추후 보다 신뢰성 있는 고유 변형률 산정을 위하여 최적 값으로 보정될 수 있으며, 보정된 α 값은 동일 레이저를 이용한 임의 적층 제조 부품에 대한 고유 변형률 산정을 위한 최적 파라미터 값으로 적용됨으로써 해당 레이저를 기반으로 하는 임의 적층 제조 부품에 대한 고유 변형률의 예측 오차를 줄일 수 있도록 한다.
- [0047] 다음, 제1 연산부(120)는 입력부(110)로부터 입력받은 값을 수신하고, 이를 토대로 부품의 제조 전 산정된 부품의 예측 변형 값과 실제 제조 후 관측된 실험 값 간의 편차를 연산할 수 있다.
- [0048] 여기서, 제1 연산부(120)는 앞서 시뮬레이션에 의해 산정된 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 예측 변형 값($\delta_{sim.}$)과, 부품 제조에 따른 실측 고유 변형률을 토대로 연산되는 부품의 실제 변형 값인 실험 값($\delta_{exp.}$) 간

의 편차($R = |\delta_{exp.} - \delta_{sim.}|$)를 연산할 수 있다.

[0049] 구체적으로, 제1 연산부(120)는 시뮬레이션에 의해 산정된 고유 변형률에 적층 제조 부품의 설계 높이(H)를 곱하여 부품의 예측 변형 값($\delta_{sim.}$)을 연산할 수 있다. 또한 제1 연산부(120)는 같은 원리로, 부품 제조에 따른 실측 고유 변형률에 부품의 실측 높이를 곱함으로써 부품의 실제 변형 값인 실험 값($\delta_{exp.}$)을 연산하고, 이들 간의 편차 R을 $|\delta_{exp.} - \delta_{sim.}|$ 식에 의해 연산할 수 있다.

[0050] 일반적으로 변형 값(δ)은 수학식 3에 의해 계산될 수 있다.

수학식 3

[0051]
$$\delta = \varepsilon \cdot H$$

[0052] 여기서, ε 는 고유 변형률을 나타내고 H는 높이 값을 의미할 수 있다.

[0053] 적층 제조 부품의 설계 정보와 초기 α 값 등을 토대로 시뮬레이션으로 예상된 부품의 z방향의 고유 변형률($\varepsilon_{z(whole)}$)에 부품의 설계 높이(H)를 곱하면, 부품의 z방향의 예상 변형 값을 mm 단위로 환산할 수 있다.

[0054] 또한, 본 발명의 실시예의 경우, 아래 수학식 4의 함수를 통하여, 초기 설정한 α 값을 이용하여 시뮬레이션을 통해 예측된 변형 값($\delta_{sim.}$)과, 실제 부품 제조 후 실측에 의해 얻은 변형값인 실험값($\delta_{exp.}$) 간의 편차를, 기 설정된 임계값(예: T=0.01 mm) 이내로 충족하기 위한 변수 α 를 구하는 프로세스를 수행할 수 있다.

수학식 4

[0055]
$$R(\alpha) = |\delta_{exp.} - \delta_{sim.}|$$

[0056] 이러한 수학식 4는 실질적으로
$$R(\alpha) = \sqrt{(\delta_{exp.} - \delta(\alpha)_{sim.})^2}$$
에 의해 얻어진 값이다.

[0057] 구체적으로, 비교부(130)는 앞서 제1 연산부(120)로부터 전달받은 편차 값($R = |\delta_{exp.} - \delta_{sim.}|$)과 기 설정된 임계 값(T)을 서로 비교한다. 이때 임계값(T)은 0.01 mm인 것을 가정하여 설명한다. 물론 본 발명이 반드시 이에 한정되지 않다. 아울러, 임계값(T)을 낮게 설정할수록 예측 오차가 줄어들며 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰성이 높아질 수 있다.

[0058] 만일, 비교 결과, 편차 $R \leq 0.01$ 로 판별되면, 시뮬레이션에 의한 고유 변형률 값의 오차가 낮음을 의미하므로, 초기 설정된 α 은 그대로 1/3로 설정하여, 각종 적층 제조 부품의 고유 변형률 산정을 위한 시뮬레이션에 활용하면 된다.

[0059] 또한, 이와 같이, 편차가 임계값 이하를 만족하면, 제어부(150)는 앞서 $\alpha=1/3$ 값을 기반으로 시뮬레이션을 통하여 산정된 고유 변형률 값을 신뢰성 있는 최적 값으로 판단하여, 해당 적층 제조 부품에 대해 예측된 고유 변형률 값으로 최종 확정하여 출력부(160)를 통하여 출력할 수 있다.

[0060] 여기서 물론, 출력부(140)는 입력부(110), 제1, 제2 연산부(120,140), 비교부(130), 제어부(150)를 통한 각종 입력 값, 연산 값, 예측 값, 추정 값 등을 사용자 단말 또는 네트워크 연결된 디스플레이 수단을 통해 출력 제공할 수 있으며, 시뮬레이션 예측을 위한 각종 입력 파라미터 정보, 결과 값, 설계 이미지 등을 출력할 수 있다.

[0061] 또한, 만일, 비교 결과, 편차 $R > 0.01$ 이면, 즉 편차가 임계값(T)을 초과한 경우, 제어부(150)는 제2 연산부(140)를 제어하여 α 값의 업데이트를 위한 두 개의 후보 열 영향 계수(α_1, α_2)를 획득할 수 있고, 기존 α 값 대신에 이러한 두 개의 후보 열 영향 계수를 다시 시뮬레이션에 각각 적용하였을 경우에 환산되는 두 개의 고유 변형률과 실제 제품 제조를 통해 기 획득한 실측 고유 변형률 간을 서로 비교하여 이 중에서 더 적은 편차를 유도한 α_i ($i = 1$ 또는 2)를 선정할 수 있다.

[0062] 이를 위해, 먼저 제2 연산부(140)는 $|\delta_{exp.} - \delta_{sim.}|$ 에 대한 가능성 있는 두 가지 방향의 오차인 $\delta_{exp.} - \delta_{sim.}$ 값과 $\delta_{sim.} - \delta_{exp.}$ 값이 각각 임계값($T=0.01$)을 만족하기 위한 후보 열 영향 계수 α_1 및 α_2 를 아래의 수학적식 5를 통하여 각각 결정할 수 있다.

수학적식 5

[0063]
$$\delta(\alpha)_{sim.} = (n - (n - 1) \cdot \alpha) \cdot |\varepsilon_{inh-z}| \cdot H$$

[0064] 여기서, H는 적층 제조 부품의 설계 높이, ε_{inh-z} 는 적층 제조 부품에 대한 단일 레이어의 인쇄 시에 예상되는 z 방향 고유 변형률, n은 해당 적층 제조 부품의 총 레이어 수에 해당할 수 있다. 이때, $n=H/h$, h는 레이어의 높이를 의미할 수 있다. 여기서, ε_{inh-z} 역시 부품의 설계 정보, 레이저의 스펙, 부품의 소재 정보 등을 고려하여 사전에 시뮬레이션 도구에 의해서 예측되는 값에 해당할 수 있다.

[0065] 이때, 제2 연산부(140)는 수학적식 5에 의해 연산되는 $\delta(\alpha)_{sim.}$ 값이 제1 조건($\delta_{exp.} - \delta_{sim.} = \text{임계값}(T)$)을 만족시키는 변수 α 를 α_1 로 결정할 수 있다. 또한, 제2 연산부(140)는 수학적식 5에 의해 연산되는 $\delta(\alpha)_{sim.}$ 값이 제2 조건($-\delta_{exp.} + \delta_{sim.} = \text{임계값}(T)$)을 만족시키는 변수 α 를 α_2 로 결정할 수 있다.

[0066] 수학적식 5에서 n과 H는 부품의 설계 정보에 이미 포함된 값이고, ε_{inh-z} 는 시뮬레이션을 통해 환산 되는 값이며, $\delta_{exp.}$ 은 실험에 의해 계측된 값이며, $T=0.01$ 이므로, 이들은 모두 이미 알고 있는 값에 해당한다.

[0067] 따라서, 제1 조건의 $\delta_{sim.}$ 항을 수학적식 5로 대체한 상태에서 이미 확보된 n, H, ε_{inh-z} , $\delta_{exp.}$, T 값을 대입하면, 제1 조건을 만족하기 위한 α_1 을 역산할 수 있다. 마찬가지로, 제2 조건의 $\delta_{sim.}$ 항을 수학적식 5로 대체한 상태에서 이미 확보된 n, H, ε_{inh-z} , $\delta_{exp.}$, T 값을 대입하면, 제2 조건을 만족하기 위한 α_2 을 역산할 수 있다. 이러한 방법으로 α_1 과 α_2 가 결정될 수 있다.

[0068] 앞서 설명한 것과 같이, 변수 α 는 $0 < \alpha \leq 1$ 이므로, α_1 및 α_2 또한 이 범위내에서 결정된다. 즉, $0 < \alpha_i \leq 1$ 이다($i=\{1,2\}$).

[0069] 또한, 제2 연산부(140)는 이렇게 역산된 두 값인 α_1 및 α_2 를 아래 수학적식 6에 개별 적용하여, 적층 제조 부품 전체의 z방향 고유 변형률($\varepsilon_{z(whole)}$)을 새롭게 연산할 수 있다.

수학적식 6

[0070]
$$\varepsilon_{z(whole)} = (n - (n - 1) \cdot \alpha) \cdot \varepsilon_{inh-z}$$

[0071] 여기서, $\alpha=\{\alpha_1, \alpha_2\}$ 이며, n과 ε_{inh-z} 는 앞서 설명한 것과 같다.

[0072] 기존 초기 α 값는 다른 α_1 및 α_2 를 이용하여 고유 변형률을 각각 새롭게 환산함으로써 기존 α 값 적용시와는 상이한 두 가지 고유 변형률 값이 얻어진다.

[0073] 또한, 제2 연산부(140)는 결정된 α_1 및 α_2 를 해당 시뮬레이션에 적용하여 새롭게 연산한 각각의 고유 변형률과 실제 고유 변형률 간의 편차를 개별 연산할 수 있다. 여기서 해당 시뮬레이션이란, 수학적식 6의 알고리즘에 해당할 수 있고, 수학적식 6의 알고리즘을 포함할 수 있다.

[0074] 예를 들어, 제2 연산부(140)는 결정된 α_1 및 α_2 에 대응하여 수학적식 6을 통하여 새롭게 연산된 두 가지 z방향 고유 변형률(예: ε_{inh-z1} , ε_{inh-z2})과 실제 부품 제조 후 측정된 부품 전체의 z방향 고유 변형률($\varepsilon_{inh(exp)}$) 간의 편차를 각각 연산하고, 연산한 두 가지 편차를 제어부(150)에 결과 값으로 제공할 수 있다.

- [0075] 그러면, 제어부(150)는 α_1 및 α_2 중 더 낮은 편차를 도출한 하나의 열 영향 계수를 상기 시뮬레이션 기반의 적층 제조 부품의 고유 변형률 산정을 위한 최적 열 영향 계수로 최종 결정할 수 있다. 이에 따라, 열 영향 계수는 α_1 및 α_2 중 어느 하나로 선정될 수 있고, 초기 설정된 α 는 α_1 또는 α_2 값으로 대체될 수 있다.
- [0076] 즉, 제어부(150)는 상기 시뮬레이션에 기 적용된 초기 열영향 계수(α)를 앞서 최종 결정한 열 영향 계수(α_1 또는 α_2)로 업데이트하도록 할 수 있다. 이렇게 업데이트된 최적 파라미터를 적용하여, 해당 레이저를 이용한 임의 적층 제조 부품에 대한 시뮬레이션을 통한 고유 변형률 산정 오차를 최소화할 수 있다.
- [0077] 이러한 과정은 z방향 뿐만 아니라 다른 방향에 대해서도 동일한 원리로 적용될 수 있다. 따라서 본 발명의 기술을 활용할 경우, 레이저 기반의 적층 제조 부품 전체에 대한 x, y, z 방향의 고유 변형률을 보다 낮은 오차로 예측할 수 있다.
- [0078] 이를 통하여, 본 발명의 실시예에 따르면, 제품 설계 단계에서 적층 인쇄 제조 부품에 대한 x, y, z 각 방향의 고유 변형률을 보다 신뢰성 있게 예측할 수 있도록 한다. 또한, 이에 따른 제품의 각 방향의 변형량을 고려하여 적층 제조 부품을 역설계할 수 있도록 하여, 실제 인쇄 제조 시에 부품의 변형을 최소화하고 제조 부품의 품질을 향상시킬 수 있다.
- [0079] 도 4는 본 발명의 실시예에서 n번째 레이어에 대한 고유 변형률 계산을 예시적으로 보여주는 도면이다. 도 4의 계산 원리는 본 발명의 실시예에 따른 고유 변형률 산정 시뮬레이션에서 그대로 적용될 수 있다. 또한, 도 4의 도면을 통하여 레이어 한층의 두께 h와 열 영향 깊이 d의 개념을 확인할 수 있다.
- [0080] 간단한 예로, 시뮬레이션을 통하여, 총 n개 레이어로 적층 제조되는 적층 제조 부품 전체에 대한 x 방향 고유 변형률($\epsilon_x(n \text{ layer})$), y 방향 고유 변형률($\epsilon_y(n \text{ layer})$), z 방향 고유 변형률($\epsilon_z(n \text{ layer})$)은 아래 원리로 계산될 수 있다. 물론 이러한 계산은 제어부(150)에서 수행될 수도 있다.

수학식 7

$$\begin{cases} \epsilon_x(n \text{ layer}) = n\epsilon_{inh-x} - \frac{(n-1)d}{h}\epsilon_{inh-x} \\ \epsilon_y(n \text{ layer}) = n\epsilon_{inh-y} - \frac{(n-1)d}{h}\epsilon_{inh-y} \\ \epsilon_z(n \text{ layer}) = n\epsilon_{inh-z} - \frac{(n-1)d}{h}\epsilon_{inh-z} \end{cases}$$

- [0081]
- [0082] 여기서, n은 적층 제조 부품의 총 레이어 수, ϵ_{inh-x} , ϵ_{inh-y} , ϵ_{inh-z} 는 단일 레이어에 대해 예상되는 소재의 x 방향 고유 변형률, y 방향 고유 변형률, z 방향 고유 변형률이고, h는 각 레이어의 두께이고, d는 적층 제조 시에 레이저에 의해 각 레이어에 가해지는 열 영향의 깊이($0 < d \leq h$)를 나타낸다. 여기서 ϵ_{inh-x} , ϵ_{inh-y} , ϵ_{inh-z} 은 시뮬레이션에 의해 예측된 값에 해당할 수 있다.
- [0083] 도 5는 본 발명의 실시예를 위한 적층 제조 부품의 설계 도면을 나타낸다.
- [0084] 이때 도 5에 도시된 부품은 총 67개의 레이어($n = 67$; $\alpha = d/h = 1/3$)로 인쇄 제조된 것에 해당하며, 단일 레이어에 대한 x방향, y방향, z방향 고유 변형률인 ϵ_{inh-x} , ϵ_{inh-y} , ϵ_{inh-z} 은 시뮬레이션을 통해 각각 -0.00127, -0.00011, -0.0034 값으로 도출되었다면, 최종 계산된 제품 부품의 각 방향의 고유 변형률 값은 다음과 같다.

수학식 8

$$\varepsilon_x(\text{whole part}) = 67\varepsilon_{inh-x} - \frac{(67-1) \cdot d}{h} \varepsilon_{inh-x} = -0.05715$$

$$\varepsilon_y(\text{whole part}) = 67\varepsilon_{inh-y} - \frac{(67-1) \cdot d}{h} \varepsilon_{inh-y} = -0.00495$$

$$\varepsilon_z(\text{whole part}) = 67\varepsilon_{inh-z} - \frac{(67-1) \cdot d}{h} \varepsilon_{inh-z} = -0.153$$

[0085]

[0086]

이와 같이, 단일 레이어에 대한 소재의 3차원 고유 변형률, 레이어당 단위 규격을 이용하여 설정 알고리즘으로 동작하는 시뮬레이션 해석을 통하여 총 67개 레이어로 최종 적층 제조된 부품에 대해서 예상되는 부품 자체의 3차원 고유 변형률을 예측할 수 있다.

[0087]

여기서, 위와 같은 시뮬레이션 예측을 통해서 적층 제조 부품의 z축 고유 변형률 $\varepsilon_{z(\text{whole part})} = -0.153$ 으로 도출되었고, $\delta = \varepsilon_z(\text{whole part}) \cdot H$ 식에 의하여 해당 적층 제조 부품의 z축 변형 값(δ)은 1.377 mm 값으로 예측되었다.

[0088]

그런데, 실제로 도 5의 적층 제조 부품의 제조 이후에 관측된 부품의 z축 고유 변형률 $\varepsilon_{z(\text{whole part})} = -0.174$ 이고, z축 변형값(δ)은 1.5657 mm으로 나타났다.

[0089]

즉, 시뮬레이션에 의해 예측된 부품의 고유 변형률(-0.153)은 실제 제품 제조 후 관측된 고유 변형률(-0.174)과 0.021 만큼의 오차가 발생한 것을 알 수 있다. 이러한 부품의 고유 변형률에 대한 산정값(예측값)과 실험값 간의 오차는 α 값의 보정을 통해서 최소화할 수 있다.

[0090]

이하에서는 상술한 예시를 바탕으로 본 발명의 실시예에 따른 고유 변형률 산정 오차 보정 과정에 대한 구체적인 실시예를 설명한다.

[0091]

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 IS 오차 보정 과정을 설명한 도면이다.

[0092]

먼저, 입력부(110)는 시뮬레이션에 의해 산정된 적층 제조 부품의 고유 변형률 $\varepsilon_{z(\text{whole part})(\text{sim})}$ 과, 실제 부품 제조 후 관측된 실험 고유 변형률 $\varepsilon_{z(\text{whole part})(\text{exp})}$ 을 입력받는다(S1). 시뮬레이션 과정에서 $\alpha=1/3(=0.3333)$ 를 초기 값으로 사용한다. 또한 제품 설계 정보로 적층 레이어 수 n 은 67, 적층 제조 부품의 높이 H 는 9 mm인 것을 가정한다.

[0093]

그리고, 제1 연산부(120)는 입력된 값을 이용하여 적층 제조 부품의 예측 변형값($\delta_{\text{sim.}}$)을 계산한다(S2). 이때, 시뮬레이션에 의해 산정된 적층 제조 부품의 고유 변형률 $\varepsilon_{z(\text{whole part})(\text{sim})} = -0.153$ 이고, 실험 고유 변형률은 $\varepsilon_{z(\text{whole part})(\text{exp})} = -0.174$ 인 경우, 부품의 예측 변형값 $\delta_{\text{sim.}}=1.377$ mm이고, 실험값 $\delta_{\text{exp.}}=1.5657$ mm로 계산될 수 있다.

[0094]

이후, 비교부(130)는 $\delta_{\text{sim.}}$ 와 $\delta_{\text{exp.}}$ 간의 편차를 수학식 4를 통해 연산하고(S3), 연산된 편차를 임계값(0.01)과 비교한다(S4). 만일, 편차가 임계값 이하이면 현재의 α 값을 최적 파라미터 결정하고 이를 그대로 사용하면 된다. 이때는 업데이트를 하더라도 초기 α 값이 유지된다. 하지만, 상술한 예시의 경우는 수학식 4에 의해, 편차 $|\delta_{\text{exp.}} - \delta_{\text{sim.}}| = 0.1887$ mm이며, 이는 임계값인 0.01 mm 보다 큰 값에 해당한다.

[0095]

이와 같이 예측값과 실험값 간의 편차인 $|\delta_{\text{exp.}} - \delta_{\text{sim.}}|$ 가 임계값보다 크면, 제2 연산부(140)는 $\delta_{\text{exp.}} - \delta_{\text{sim.}}$ 값과 $\delta_{\text{sim.}} - \delta_{\text{exp.}}$ 값이 임계값을 만족하기 위한 후보 열 영향 계수 α_1 및 α_2 를 수학식 5를 이용하여 각각 선정한다(S5).

[0096]

그 결과, 수학식 9와 같이, $\delta_{\text{exp.}} - \delta_{\text{sim.}} = 0.01$ 을 만족하는 α_1 는 0.2447 값으로, $-\delta_{\text{exp.}} + \delta_{\text{sim.}} = 0.01$ 을 만족하는

α_2 는 0.2348 값으로 도출되었다.

수학식 9

$$\delta(\alpha)_{sim.} = \delta_{z(whole)} \cdot H = (67 - 66\alpha)|\varepsilon_{inh-z}|H$$

With $H=9mm$; $|\varepsilon_{inh-z}| = 0.0034$, $\delta_{exp.} = 1.566 mm$; we have $\alpha =$

$$\begin{cases} \delta_{exp.} - \delta_{sim.} = 0.01 \rightarrow \alpha_1 = 0.2447 \\ -\delta_{exp.} + \delta_{sim.} = 0.01 \rightarrow \alpha_2 = 0.2348 \end{cases}$$

[0097]

[0098]

또한, 제2 연산부(140)는 이들 α_1 과 α_2 를 수학식 6($\varepsilon_{z(whole)} = (67 - 66\alpha)\varepsilon_{inh-z}$)에 개별 적용하여 적층 제조 부품 전체의 z방향 고유 변형률 $\varepsilon_{z(whole)}$ 을 연산하며(S6), 연산한 결과는 다음과 같다.

수학식 10

With $\alpha_1 = 0.2447$; $\varepsilon_{z(whole)} = 0.1728$

With $\alpha_2 = 0.2348$; $\varepsilon_{z(whole)} = 0.1751$

[0099]

[0100]

즉, $\alpha_1 = 0.2447$ 일 때의 $\varepsilon_{z(whole)} = 0.1728$, $\alpha_2 = 0.2348$ 일 때의 $\varepsilon_{z(whole)} = 0.1751$ 이며, 이들 각각을 실측 고유 변형률의 절대값인 0.174와 비교한 결과, 더 낮은 편차를 도출한 열 영향 계수는 α_2 인 것을 알 수 있다.

[0101]

이와 같이, 더 낮은 편차를 도출한 열 영향 계수인 $\alpha_2 = 0.2348$ 을 시뮬레이션에 사용되는 최적 열 영향 계수로 최종 결정한다(S7). 이에 따라, 파라미터 α 는 초기 값인 0.3333 대신에 최적 값인 $\alpha = \frac{d}{h} = 0.2348$ 로 업데이트될 수 있다.

[0102]

따라서, 이렇게 갱신된 열 영향 계수를 사용할 경우, 시뮬레이션 산정값과 실험값 간 부품의 변형값 오차를 0.01 mm 이내로 줄일 수 있고, 해당 시뮬레이션 상에서 임의 적층 제조 부품에 대한 고유 변형률 산정 시 오차를 줄일 수 있다. 이와 같이, 본 발명의 실시예는 상술한 과정을 통하여 최적 α 값을 도출하여 변형률 예측 오차를 줄일 수 있도록 한다.

[0103]

이상과 같은 본 발명의 실시예에 따른 고유 변형률 오차 보정 시스템(100)은 프로세서, 메모리, 유저 인터페이스 입출력 장치, 저장 장치를 포함하여 컴퓨터 등과 같은 사용자 단말의 형태로 구현될 수도 있고, 사용자 단말에 실행 가능한 응용 프로그램이나 시뮬레이션 도구로 구현될 수 있다.

[0104]

이상과 같은 본 발명에 따르면, 레이저 기반의 적층 제조 부품에 대해 예측되는 부품의 고유 변형률 값의 연산 오차를 보정하여 고유 변형률의 산정 정확도 높일 수 있으며, 시뮬레이션 상에서 계산 오차를 쉽게 보정할 수 있어, 해당 레이저를 기반으로 하는 임의 적층 제조 부품에 대한 고유 변형률 및 변형값 예측 오차를 줄일 수 있다.

[0105]

본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0106]

100: 고유 변형률 오차 보정 시스템

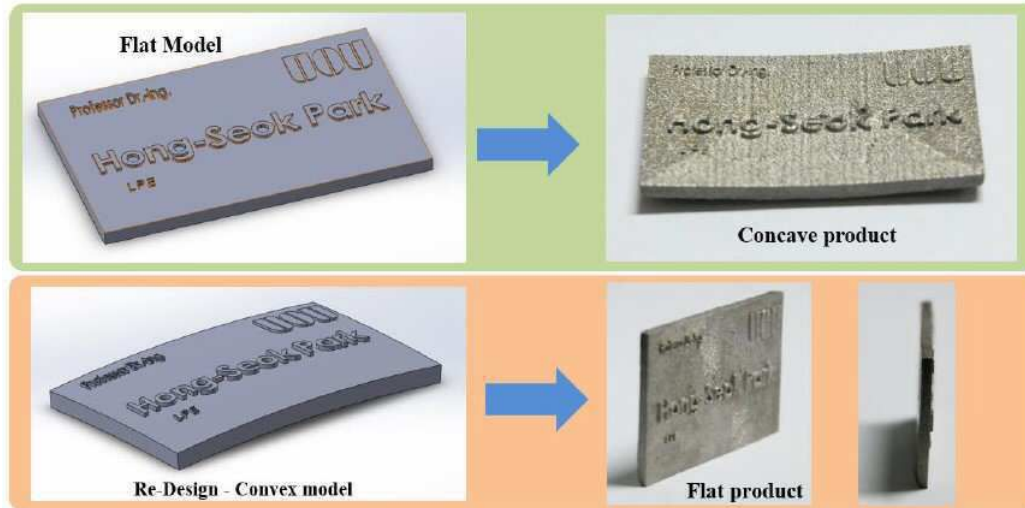
110: 입력부 120: 제1 연산부

130: 비교부 140: 제2 연산부

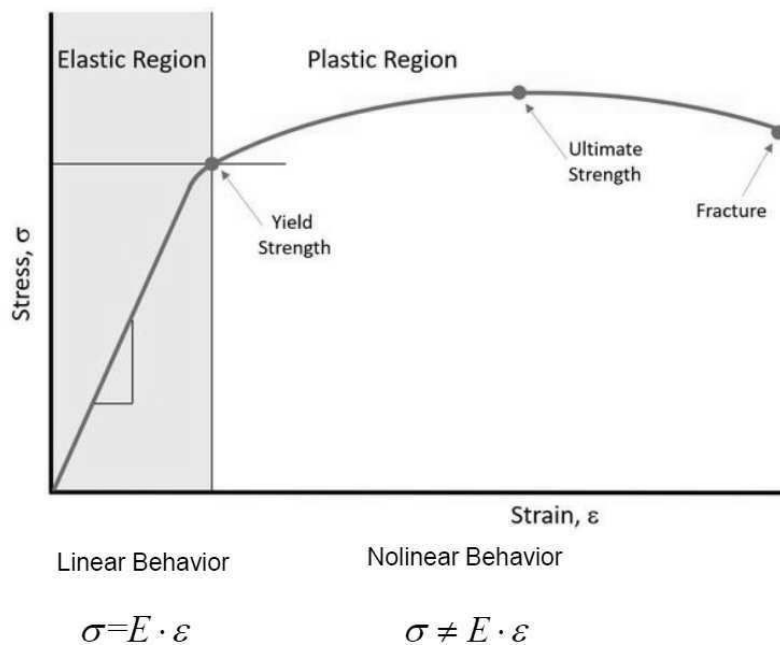
150: 제어부 160: 출력부

도면

도면1



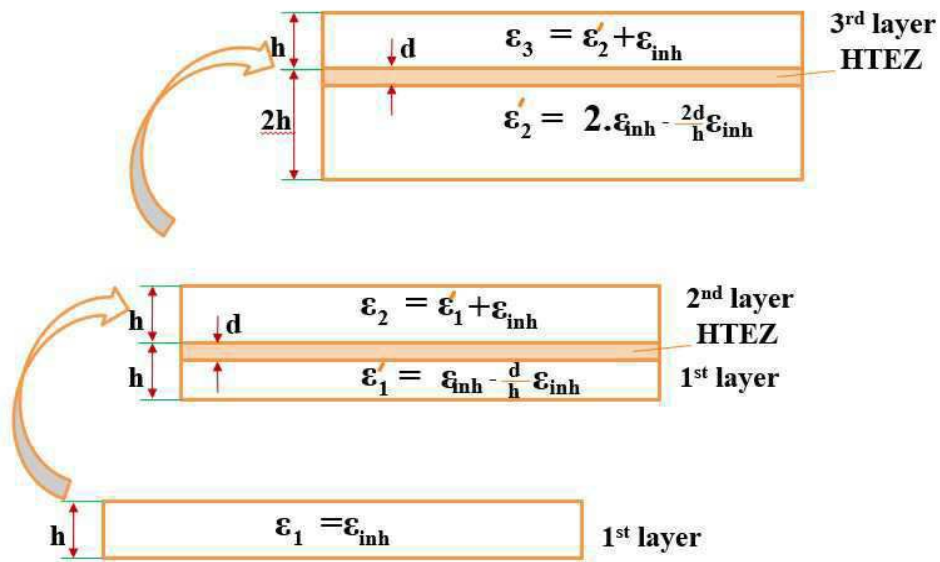
도면2



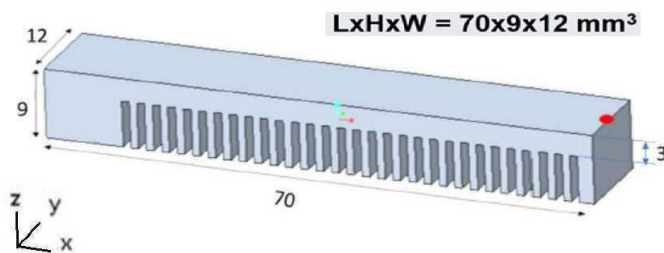
도면3



도면4



도면5



도면6

