



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년09월07일
 (11) 등록번호 10-1655024
 (24) 등록일자 2016년08월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B29C 67/00 (2006.01) *B33Y 30/00* (2015.01)
B33Y 50/00 (2015.01)
 (52) CPC특허분류
B29C 67/0085 (2013.01)
B29C 67/0088 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2015-0053793
 (22) 출원일자 2015년04월16일
 심사청구일자 2015년04월16일
 (56) 선행기술조사문헌
 RAGHUNATH, N. et al., Improving accuracy through shrinkage modelling by using Taguchi method in selective laser sintering. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2007, Vol. 47*
 KR1019980063825 A
 JP3146805 B2
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 지엠 글로벌 테크놀러지 오퍼레이션스 엘엘씨
 미국, 미시건 48265-3000, 디트로이트, 르네상스 센터 300
 (72) 발명자
 김현남
 서울특별시 양천구 목동동로 50 신시가지아파트 12단지 1215동 306호
 김남훈
 울산광역시 울주군 범서읍 구영로 101-7 506동 506호 (구영리, 구영2차푸르지오아파트)
 (74) 대리인
 손민

전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 이상호

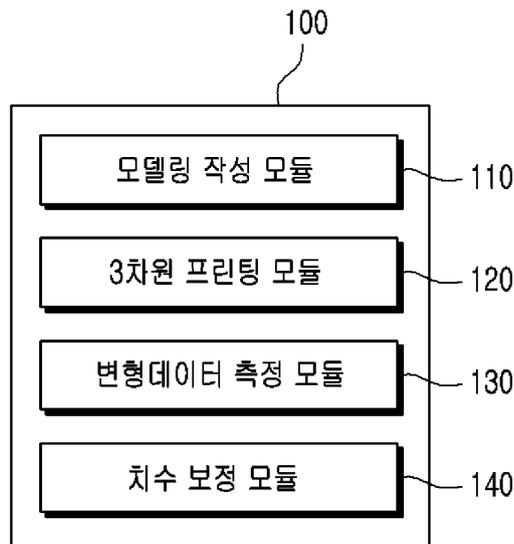
(54) 발명의 명칭 **3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치 및 보정 방법**

(57) 요약

본 발명은 3차원 프린팅의 최적 치수 보정 장치 및 보정 방법에 관한 것으로, 인쇄 목표물을 3차원으로 모델링하여 모델링 파일을 작성하는 모델링 작성 모듈; 작성된 상기 모델링 파일을 3차원으로 인쇄하여 목표물 샘플을 제작하는 3차원 프린팅 모듈; 제작된 상기 목표물 샘플의 변형데이터를 측정하여 수치화하는 변형데이터 측정

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



모듈; 및 수치화된 상기 변형데이터를 회귀모델 분석을 통하여 치수 보정 알고리즘 식을 산출하는 치수 보정 모듈;을 포함하며, 상기 치수 보정 모듈은 산출된 상기 치수 보정 알고리즘 식에 따라 상기 모델링 파일을 보정하고, 상기 3차원 프린팅 모듈은 상기 보정된 모델링 파일을 3차원으로 인쇄하여 최종 목표물 샘플을 제작하는 3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치를 제공한다.

이에 의하면, 3차원 프린팅 장치 내 배치에 따른 X축, Y축, Z축 방향의 치수 변형의 데이터를 2차 회귀곡선의 계수로 산출하고, 이로부터 치수 보정 알고리즘 식을 적용하여, 휨 예상 역방향으로 보정함으로써, 기존보다 뛰어난 휨 변형 현상 보정 효과를 얻을 수 있다.

또한, 3차원 프린터 제어 프로그램 자체에서 제공하는 Scale Factor 조절 방법 등으로 제어하지 못한 변형을 개선할 수 있다는 효과를 얻을 수 있다.

(52) CPC특허분류

B33Y 30/00 (2013.01)

B33Y 50/00 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

인쇄 목표물을 3차원으로 모델링하여 모델링 파일을 작성하는 모델링 작성 모듈(110);

작성된 상기 모델링 파일을 3차원으로 인쇄하여 목표물 샘플을 제작하는 3차원 프린팅 모듈(120);

제작된 상기 목표물 샘플의 변형데이터를 측정하여 수치화하는 변형데이터 측정 모듈(130); 및

수치화된 상기 변형데이터를 회귀모델 분석을 통하여 치수 보정 알고리즘 식을 산출하는 치수 보정 모듈(140); 을 포함하며,

상기 치수 보정 모듈(140)은 산출된 상기 치수 보정 알고리즘 식에 따라 상기 모델링 파일을 보정하고,

상기 3차원 프린팅 모듈(120)은 상기 보정된 모델링 파일을 3차원으로 인쇄하여 최종 목표물 샘플을 제작하며,

상기 치수 보정 알고리즘 식은 하기 식과 같이 정해지는,

3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치.

$$Z_0 = Z_i - (YCB - \frac{YCB - YCT}{T_s} Z_i) \times (Y_i - CPYB + \frac{CPYB - CPYT}{T_i} Z_i)^2 - (XCB - \frac{XCB - XCT}{T_s} Z_i) \times (X_i - CPXB + \frac{CPXB - CPXT}{T_i} Z_i)^2$$

상기 식에서,

Z₀: 보정 후 모델링 파일의 각 정점(vertex)의 Z 좌표값

X_i, Y_i, Z_i: 목표물 샘플의 모델링 파일 치수의 X, Y, Z 값

(X or Y) C (B or T): 목표물 샘플의 보정이 필요한 부분의 각 축 방향 저면(B) or 상면(T)의 2차 회귀식 a(X or Y)²+b(X or Y)+c=Z의 2차 계수 값

T(1 or s): 목표물 샘플의 상기 각 축 방향으로의 긴 부분 높이 값(T₁) 또는 짧은 부분 높이 값(T_s)

CP(X or Y)T: 상기 긴 부분의 상면의 형태 무게중심의 (X or Y)좌표 값

CP(X or Y)B: 목표물 샘플의 저면의 형태 무게중심의 (X or Y)좌표 값이다.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 목표물 샘플의 변형데이터는 제작된 상기 목표물 샘플의 보정이 필요한 부분의 축 방향 일면 및 타면의 휨 변형데이터가 측정되어 수치화되고,

상기 수치화된 휨 변형데이터는 하기 식과 같은 2차 회귀식으로 산출되는,

3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치.

$$Z = a(\text{축 방향})^2 + b(\text{축 방향}) + c$$

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 3차원 프린팅 모듈(120)은 SLS(Selective Laser Sintering, 선택적 레이저 소결) 방식의 3차원 프린터인, 3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치.

청구항 5

- (a) 인쇄 목표물이 3차원으로 모델링된 모델링 파일로 작성되는 단계;
 - (b) 작성된 상기 모델링 파일에 따라 상기 인쇄 목표물을 3차원으로 인쇄하여 목표물 샘플을 제작하는 단계;
 - (c) 상기 제작된 목표물 샘플의 변형데이터가 측정되고 수치화되는 단계;
 - (d) 상기 수치화된 변형데이터가 회귀모델 분석을 통하여 2차 회귀식으로 산출되는 단계;
 - (e) 산출된 상기 2차 회귀식으로부터 치수 보정 알고리즘 식이 산출되는 단계;
 - (f) 산출된 상기 치수 보정 알고리즘 식에 따라 상기 모델링 파일을 보정하고 이를 3차원으로 인쇄하여 목표물 최종 샘플을 제작하는 단계;를 포함하며,
- 상기 치수 보정 알고리즘 식은 하기 식과 같이 정해지는,
3차원 프린팅 최적 치수 보정 방법.

$$Z_0 = Z_i - (YCB - \frac{YCB - YCT}{T_s} Z_i) \times (Y_i - CPYB + \frac{CPYB - CPYT}{T_i} Z_i)^2 - (XCB - \frac{XCB - XCT}{T_s} Z_i) \times (X_i - CPXB + \frac{CPXB - CPXT}{T_i} Z_i)^2$$

상기 식에서,

Z₀: 보정 후 모델링 파일의 각 정점(vertex)의 Z 좌표값

X_i, Y_i, Z_i: 목표물 샘플의 모델링 파일 치수의 X, Y, Z 값

(X or Y) C (B or T): 목표물 샘플의 보정이 필요한 부분의 각 축 방향 저면(B) or 상면(T)의 2차 회귀식 a(X or Y)²+b(X or Y)+c=Z 의 2차 계수 값

T(1 or s): 목표물 샘플의 상기 각 축 방향으로의 긴 부분 높이 값(T1) 또는 짧은 부분 높이 값(Ts)

CP(X or Y)T: 상기 긴 부분의 상면의 형태 중심의 (X or Y)좌표 값

CP(X or Y)B: 목표물 샘플의 저면의 형태 중심의 (X or Y)좌표 값이다.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 (c)단계는,

상기 제작된 목표물 샘플의 보정이 필요한 부분의 축 방향 일면 및 타면의 휨 변형데이터가 측정되어 수치화되는 단계이고,

상기 (d)단계는,

상기 수치화된 휨 변형데이터가 하기 식과 같은 2차 회귀식으로 산출되는 단계인,

3차원 프린팅 최적 치수 보정 방법.

$$Z = a(\text{축 방향})^2 + b(\text{축 방향}) + c$$

청구항 7

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 3차원 프린팅의 최적 치수 보정 장치 및 보정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 대중들에게 미래를 선도할 기술 중 하나로 3차원 프린팅 기술이 널리 알려지고 고성능 산업용 3차원 프린터뿐만 아니라 일반 개인용 3차원 프린터까지 다양한 산업분야에 보급되고 있다. 3차원 프린터는 동작방법 및 사용하는 재료에 따라 산업용과 보급용으로 나뉘고 각각 방식마다 장단점이 있다. 필라멘트 형태의 재료를 사용하는 보급형 FFF(Fused Filament Fabrication) 방식과 광경화성 액체기반의 재료를 사용하는 SLA(Stereo Lithography Apparatus)와 DLP(Digital Light Processing) 방식이 있고 나일론계 파우더에 레이저광원을 사용하는 산업용 SLS(Selective Laser Sintering, 선택적 레이저 소결) 방식의 프린터가 시장을 선도하고 있다(선행 문헌 1, 2).

[0003] 특히, 국내의 제조 업체들은 이러한 3차원 프린팅 기술의 중요성을 일찍이 인지하고 고성능 3차원 프린터를 도입하여 제조물의 디자인설계, 연구개발 단계 등에서 운용하고 있다. 제조 산업에서 가장 널리 쓰이고 있는 3차원 프린터는 SLA와 SLS를 들 수 있으며, 제조 회사들이 제작품의 기계적 강도와 강성이 요구되는 경우 SLS 방식의 3차원 프린터를 이용하여 부품 검증 및 기능성 부품을 제작한다[선행문헌 1, 2]. 하지만, 비교적 우수한 기계적 물성을 보장해주는 SLS 방식의 프린팅 기법은, 제작된 샘플들은 열팽창, 열수축 등의 열 변형으로 인한 치수 오차가 동반되는 문제를 가지고 있다. 여기서 발생하는 치수 오차는, 수많은 제어 변수들과 관련되어있고, 그 변형의 패턴이 매우 복잡하기 때문에 SLS 프린팅 방식에서 관리가 매우 힘든 것으로 알려져 있다. 이 때문에, SLS 3차원 프린팅 과정에서 샘플의 치수나 모양의 정확도를 높이기 위해 샘플을 프린터 파트 베드 내 중심에 배치하고 프린터 Bed 내 전체 공간의 2/3를 활용하는 방법이 일반적으로 권장된다. 하지만, 이러한 권장 사항은 고성능 산업용 SLS 3차원 프린터의 가동시간과 재료소비를 늘려 운영비를 증가시키게 된다.

[0004] 3차원 프린터의 치수 정확도에 대한 연구는, 다른 방식의 프린팅 기술과 재료의 특성에 대한 접근이 필수적으로 고려되어야 한다. 제작품의 치수 변형에 대한 요인과 기작을 규명을 통해, 보다 정확한 제품 제작을 위한 방법에 대한 고찰이 가능할 것이다.

[0005] 3차원 프린터로 제작한 샘플의 치수 정확도에 관한 연구에서는 재료의 바인딩 과정에서 치수 변형 현상을 비교적 상세히 분석하였다. 샘플의 X-Y평면 치수는 항상 원본 모델링 파일과 비교하면 치수가 작게 측정되었고 Z축 방향(높이)으로의 샘플 치수는 원본 모델링 파일보다 항상 크게 측정이 되었다(선행문헌 3). 여기서 제작품의 수축 현상은 Binding Fluid가 잉크젯 헤드를 통해 분사되어 파우더와 접촉하면서 발생한다. 하지만, 선행문헌 3에서는 치수 변형의 현상은 상세히 분석하였지만, 치수 오차를 상쇄하기 위한 방법이나 프로세스의 개선에 대해서는 구체적인 방법을 제시하지 못하였다.

[0006] SLS 방식의 3차원 프린터를 이용하여 제작한 샘플은 많은 경우 열 수축 현상이 발생한다고 알려져 있다. 이러한 열 수축이 변형의 주된 요인이라는 것을 확인한 연구 사례가 있으며, 이 사례에서는 실제 샘플 제작시 파트 베드(Part Bed) 내의 히터 위치와 온도 편차에 따른 제작품 부분별 수축 비율이 달라져 제작된 파트의 변형이 생기게 된다는 것을 확인하였다(선행문헌 4). 하지만, 이 연구에서도 이러한 부분적 열수축 현상을 제어할 수 있는 구체적 방법을 제시하지 못하였다.

[0007] 일반적으로, SLS 3차원 프린터 제조사에서는 수축현상을 보정하기 위한 1차원적인 권장 치수 보정 값(Scale Factor)을 제공한다. 하지만, 복잡한 열 변형현상과 다양한 제어 불가능한 인자들에 대한 치수 변형을 최소화하기 위해서 보다 다차원적인 보정 방법에 대한 고려가 필수적이라 할 것이다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0008] (비특허문헌 0001) 1. Choi, S. K. (2014). 3D Printing Technology and Architectural Application. Journal of the Architectural Institute of Korea. Vol.58(2), 17-25

(비특허문헌 0002) 2. Han, J. Y. (2013). A study on the Prototype Modeling Method using 3D Printing. Journal Packaging Culture Design Research, Vol.34, 97-109.

(비특허문헌 0003) 3. Islam, M. N., Boswell, B., & Pramanik, A. (2013). An Investigation of Dimensional Accuracy of Parts Produced by Three-Dimensional Printing. In Proceedings of the World Congress on Engineering (Vol. 1).

(비특허문헌 0004) 4. Yang, H. J., Hwang, P. J., & Lee, S. H. (2002). A study on shrinkage compensation of the SLS process by using the Taguchi method. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 42(11), 1203-1212.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 이에, 본 발명은 상기한 종래의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 3차원 프린터 이용하여 제작된 부품 등의 공정 제어 변수를 조사하고 분석하여 샘플의 치수, 모양 등의 변형 경향성과의 연관성을 파악하여, 분석된 결과를 토대로 제작 조건에 대한 샘플의 변형을 사전 예측하며 변형을 완화시키는 방향으로 샘플 모델링을 보정하는 보정 장치 및 보정 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0010]

과제의 해결 수단

[0011] 상기한 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, 인쇄 목표물을 3차원으로 모델링하여 모델링 파일을 작성하는 모델링 작성 모듈; 작성된 상기 모델링 파일을 3차원으로 인쇄하여 목표물 샘플을 제작하는 3차원 프린팅 모듈; 제작된 상기 목표물 샘플의 변형데이터를 측정하여 수치화하는 변형데이터 측정 모듈; 및 수치화된 상기 변형데이터를 회귀모델 분석을 통하여 치수 보정 알고리즘 식을 산출하는 치수 보정 모듈;을 포함하며, 상기 치수 보정 모듈은 산출된 상기 치수 보정 알고리즘 식에 따라 상기 모델링 파일을 보정하고, 상기 3차원 프린팅 모듈은 상기 보정된 모델링 파일을 3차원으로 인쇄하여 최종 목표물 샘플을 제작하는 3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치를 제공한다.

[0012] 상기 목표물 샘플의 변형데이터는 제작된 상기 목표물 샘플의 보정이 필요한 부분의 축 방향 일면 및 타면의 휨 변형데이터가 측정되어 수치화되고, 상기 수치화된 휨 변형데이터는 정해진 식과 같은 2차 회귀식으로 산출되는 것이 바람직하다.

[0013] 상기 치수 보정 알고리즘 식은 정해진 식과 같은 것이 바람직하다.

[0014] 상기 3차원 프린팅 모듈은 SLS(Selective Laser Sintering, 선택적 레이저 소결) 방식의 3차원 프린터인 것이 바람직하다.

[0015] 또한, (a) 인쇄 목표물이 3차원으로 모델링된 모델링 파일로 작성되는 단계; (b) 작성된 상기 모델링 파일에 따라 상기 인쇄 목표물을 3차원으로 인쇄하여 목표물 샘플을 제작하는 단계; (c) 상기 제작된 목표물 샘플의 변형데이터가 측정되고 수치화되는 단계; (d) 상기 수치화된 변형데이터가 회귀모델 분석을 통하여 2차 회귀식으로 산출되는 단계; (e) 산출된 상기 2차 회귀식으로부터 치수 보정 알고리즘 식이 산출되는 단계; 및 (f) 산출된 상기 치수 보정 알고리즘 식에 따라 상기 모델링 파일을 보정하고 이를 3차원으로 인쇄하여 목표물 최종 샘플을 제작하는 단계;를 포함하는 3차원 프린팅 최적 치수 보정 방법을 제공한다.

[0016] 상기 (c)단계는, 상기 제작된 목표물 샘플의 보정이 필요한 부분의 축 방향 일면 및 타면의 휨 변형데이터가 측정되어 수치화되는 단계이고, 상기 (d)단계는, 상기 수치화된 휨 변형데이터가 정하여진 2차 회귀식으로 산출되는 단계인 것이 바람직하다.

[0017] 상기 치수 보정 알고리즘 식은 정하여진 식인 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0018] 상기와 같이 본 발명에 따른 3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치 및 보정 방법에 의하면, 3차원 프린팅 장치 내 배치에 따른 X축, Y축, Z축 방향의 치수 변형의 데이터를 2차 회귀곡선의 계수로 산출하고, 이로부터 치수 보정 알고리즘 식을 적용하여, 휨 예상 역방향으로 보정함으로써, 기존보다 뛰어난 휨 변형 현상 보정 효과를 얻을 수 있다.

[0019] 또한, 3차원 프린터 제어 프로그램 자체에서 제공하는 Scale Factor 조절 방법 등으로 제어하지 못한 변형을 개선할 수 있다는 효과를 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치의 개략도이다.

도 2는 일 실시예에 따른 3차원 프린팅 최적 치수 보정 방법의 흐름도이다.

도 3은 일반적인 3차원 프린터의 인쇄과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 목표물 샘플의 3차원 모델링 파일의 예시도이다.

도 5는 프린터 Bed 내 목표물 샘플의 배치도이다.

도 6은 목표물 샘플의 휨 변형을 비교하여 나타낸다.

도 7은 목표물 샘플의 변형데이터를 측정하는 것을 나타내는 도면이다.

도 8은 목표물 샘플의 변형 경향을 2차 회귀식의 계수를 통하여 그룹별로 나타낸 도면이다.

도 9는 치수 보정 알고리즘 식을 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 치수 보정 알고리즘 식에 의해 치수 보정된 목표물 샘플의 모델링 파일의 예시이다.

도 11은 목표물 샘플의 보정 전과 보정 후를 비교하여 나타낸다.

도 12는 프린터 Bed 내 보정된 최종 목표물 샘플의 배치도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 발명의 상기와 같은 목적, 특징 및 다른 장점들은 첨부도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명함으로써 더욱 명백해질 것이다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다. 또한, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 기술되어야 할 것이다.

[0022] 또한, 기술되는 실시예는 발명의 설명을 위해 예시적으로 제공되는 것이며, 본 발명의 기술적 범위를 한정하는 것은 아니다.

[0023] 본 발명의 3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치를 이루는 각 구성요소들은 필요에 따라 일체형으로 사용되거나 각각 분리되어 사용될 수 있다. 또한, 사용 형태에 따라 일부 구성요소를 생략하여 사용이 가능하다.

[0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치(100, 이하에서는, 설명의 편의를 위하여 단순히 '보정 장치'라 칭한다)에 대하여 상세히 설명한다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 보정 장치(100)는, 도 1에 나타난 바와 같이, 모델링 작성 모듈(110), 3차원 프린

팅 모듈(120), 변형데이터 측정 모듈(130) 및 치수 보정 모듈(140)을 포함할 수 있다.

- [0026] 모델링 작성 모듈(110)은 인쇄할 목표물을 3차원으로 모델링하여 모델링 파일로 작성한다. 이러한 모델링 작성 모듈(110)은 3차원 모델링 프로그램이 저장되어 구동되는 컴퓨터 등의 장치일 수 있고, 상기 3차원 모델링 프로그램의 예시로는 CAD(computer aided design), CAM(computer aided manufacturing) 등의 3차원 모델링 프로그램을 들 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0027] 3차원 프린팅 모듈(120)은 모델링 작성 모듈(110)에서 작성된 모델링 파일의 인쇄 목표물 수치에 따라 인쇄 목표물을 3차원으로 인쇄하여 목표물 샘플을 제작한다. 이러한 3차원 프린팅 모듈(120)은 일반적인 3차원 프린터 등 3차원 인쇄가 가능한 장치로서, 인쇄 재료, 방식 등에 여러 종류가 있으나, SLS 방식의 3차원 프린터인 것이 바람직할 수 있다.
- [0028] SLS 방식의 3차원 프린터는 SLA와 DLP방식과 같은 광 경화성 수지 조형 방식과 유사하지만 선택적으로 강한 CO₂ 레이저를 조사하여 파우더 재료를 소결 적층하여 제품의 형태를 만드는 원리를 이용한다. SLS 3차원 프린터의 재료는 다양한 재질의 파우더를 사용할 수 있고 그 중에 나일론계 파우더를 주로 사용하고 때에 따라 금속 재질의 파우더를 사용하여 금속 부품을 생산할 수 있어 목적에 맞게 재료를 선택하여 제품을 제작할 수 있다.
- [0029] SLS 방식의 원리는 도 3에 나타난 바와 같다. 프린터 내 X-Y 스캐닝 거울이 X, Y축으로 움직이며 샘플의 단면 모양대로 레이저가 조사되어 파우더를 소결시킨다. 그 다음, 소결된 파우더가 있는 Powder Bed가 한층 하강하고 양쪽의 파우더 보존 용기 중 롤러가 가까운 곳에 있는 보존 용기가 상승한다. 그리고, 롤러가 보존용기 위에 넘친 파우더를 밀면서 반대쪽 파우더 보존 용기 쪽으로 이동하고 Powder Bed가 한층 내려간 만큼 빈 공간에 롤러에 의해 파우더가 채워진다. 위의 과정을 샘플이 완성될 때까지 반복하면서 3차원 형상을 만들어낸다. 이러한 SLS 방식의 3차원 프린터의 장점은 샘플의 강도가 강하고 내구성이 좋고, 서포터가 없이 제품 제작 가능하며, 다양한 파우더를 사용가능할 뿐 아니라 소결되지 않은 파우더의 재사용이 가능하다. 반면, 단점으로는 제작 후 냉각을 위한 시간이 필요하고, 소결되지 않은 파우더를 제거하기 위한 후처리가 필요하며, 여러 요인으로 인한 치수 변형의 가능성이 있다. 본 발명의 중요한 기술적 사상은 이러한 치수변형을 보정하는 데에 있다.
- [0030] 변형데이터 측정 모듈(130)은 인쇄된 목표물 샘플의 변형데이터를 측정한다. 목표물 샘플의 변형에는 휨, 마멸, 손상 등의 변형이 포함될 수 있다. 변형데이터 측정 모듈(130)은 이러한 변형데이터를 측정하기 위한 수단으로, 각종 게이지 등이 사용될 수 있으나, 바람직하게는 조도형상 측정기가 사용될 수 있다. 조도형상 측정기는 표면 조도와 형상 윤곽의 측정을 가능하게 하여 보다 고정밀의 형상변형의 측정이 가능한 장치이다.
- [0031] 변형데이터 측정 모듈(130)은 측정된 변형데이터를 수치화하여 저장할 수 있다.
- [0032] 치수 보정 모듈(140)은 수치화된 변형데이터를 회귀 모델 분석을 통하여 2차 회귀식으로 산출하고, 산출된 2차 회귀식으로 다시 치수 보정 알고리즘 식을 산출하며, 이렇게 산출된 치수 보정 알고리즘 식에 따라 상기 모델링 파일의 수치를 보정하여 보정된 모델링 파일을 3차원으로 인쇄하여 최적으로 보정된 목표물 최종 샘플을 제작하며, 이에 대하여는 후술한다.
- [0033] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 프린팅 최적 치수 보정 방법(이하에서는, 설명의 편의를 위하여 단순히 '보정 방법'이라 칭한다)을 이에 따른 실험예와 검증을 통하여 상세히 설명한다.
- [0034] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 보정방법의 흐름도이다.
- [0035] 먼저, 인쇄 목표물이 3차원으로 모델링된 모델링 파일로 작성된다(S100).
- [0036] 상기 모델링 작성모듈을 이용하여 인쇄하고자 하는 목표물을 3차원 모델링 프로그램을 이용하여 모델링한다. 이러한 3차원 모델링의 예시를 도 4에 나타내었다.
- [0037] 다음, 작성된 인쇄 목표물의 모델링 파일에 따라 인쇄 목표물을 3차원으로 인쇄하여 목표물 샘플이 제작된다(S200).
- [0038] 모델링 파일의 수치를 이용하여 3차원 프린팅 장치를 이용하여 인쇄 목표물을 인쇄한다.
- [0039] 다음, 상기 제작된 목표물 샘플의 변형데이터가 측정되고 수치화된다(S300).
- [0040] 변형데이터 측정 모듈(130)을 이용하여 목표물 샘플의 변형데이터를 측정하는데, 실험에서는 도 5에 나타난 바와 같이 목표물 샘플을 레이저 소결 3차원 프린터 내 Part Bed내 배치하여 제작하여 진행하였다.

[0041] 제작한 목표물 샘플을 먼저 육안으로 분석한 결과, 각 목표물 샘플 X축, Y축 방향 기둥의 상면(Top, 도면부호 T)이 저면(Bottom, 도면부호 B)보다 휨 변형이 적었고 Z축의 변형은 관찰되지 않았다. 그러나, 도 6에 나타낸 바와 같이 X축, Y축 방향 기둥부분의 저면은 바닥과 수평이 맞지 않을 만큼 큰 휨 변형을 관찰할 수 있었다. 또한 상대적으로 프린터 Part Bed Z축 위쪽에 배치한 4개의 샘플이 Z축 아래쪽에 배치한 4개의 샘플보다 휨 변형이 적은 것을 알 수 있었다. 도 6은 Part bed의 아래쪽에 배치한 (B, 1)샘플과 위쪽에 배치한 (T, 5) 목표물 샘플의 비교사진이다.

[0042] 육안으로 휨 변형이 관찰된 8개의 샘플 X축, Y축 방향 기둥의 상면과 저면을 조도형상측정기로 측정하여 휨 변형을 수치로 데이터화 하였다. 조도형상 측정기로 각 샘플 X축, Y축의 상면과 저면을 굽어 측정하며, 이는 도 7에 나타낸 바와 같다.

[0043] 즉, 목표물 샘플의 보정이 필요한 부분으로서, 축 방향 일면(상면) 및 타면(저면)의 변형데이터를 측정할 수 있다. 목표물 샘플의 X축 및 Y축으로 연장된 부분의 상면 및 저면의 형상 변형데이터를 측정할 수 있다.

[0044] 다음, 수치화된 변형데이터가 회귀모델 분석을 통하여 2차 회귀식으로 산출된다(S400).

[0045] 변형데이터 측정 후, 각 목표물 샘플의 수치화된 변형데이터의 회귀분석을 통해 휨 변형에 대한 2차 함수식을 산출한다. 이 2차 함수식으로 각 목표물 샘플의 상면과 저면의 휨 경향성이 2차 식으로 표현될 수 있음을 알 수 있다. 또한 산출된 각 샘플의 2차 회귀모델의 R² 값이 약 99%로 신뢰할 수 있는 2차 회귀식을 알 수 있고, 이를 하기의 표 1과 같은 2차 회귀식의 형태로 식을 도출하였다. 또한 휨의 정도를 파악하기 위해 각 2차식의 2차 곡선을 나타내는 2차 계수 a만을 뽑아 비교하고, 1차 계수 b와 상수 c는 비교하지 않았다.

표 1

보정이 필요한 목표물 샘플의 축 방향	2차 회귀 식 예시
X축 방향 부분	$Z=aX^2+bX+c$
Y축 방향 부분	$Z=aY^2+bY+c$

[0047] 다음의 표 2는 산출된 2차 회귀식의 2차 계수데이터를 표로 정리하여 나타낸 것이며, 이는 각 모듈로서 사용되는 상기 장비들에 따라 다를 수 있다.

표 2

2차 계수	X축 방향 부분		Y축 방향 부분	
	상면	저면	상면	저면
(B,1)	0.000153	0.000382	0.000147	0.000246
(B,2)	0.000141	0.000345	0.000156	0.000273
(B,3)	0.000152	0.000381	0.000170	0.000284
(B,4)	0.000129	0.000398	0.000154	0.000309
(T,5)	0.000182	0.000127	0.000050	0.000094
(T,6)	0.000196	0.000116	0.000077	0.000110
(T,7)	0.000168	0.000094	0.000051	0.000090
(T,8)	0.000174	0.000099	0.000103	0.000104

[0048]

[0049] 그리고, X축, Y축 방향의 부분에서 상면과 저면, 그리고 프린터 Part Bed내 아래쪽 배치와 위쪽 배치에 따른 휨 정도의 경향성을 파악하기 위해 8개의 그룹(상기 표 2의 A 내지 H 그룹)으로 나누어 도 8에 나타난 바와 같이 각 그룹별 Box Plot을 그렸다.

[0050] 도 8을 참조하면, 프린터 내 Part Bed 아래쪽에 배치한 목표물 샘플들의 상면과 저면에 대한 휨 정도의 차이가 위쪽에 배치한 샘플들의 차이보다 유의하게 나타났다. 또한, 아래쪽에 배치한 목표물 샘플들의 휨 정도가 대체적으로 위쪽에 배치한 목표물 샘플 집단보다 크다는 것을 Box Plot을 통해 도표화 하여 알 수 있다.

[0051] 다음, 산출된 상기 2차 회귀식으로부터 치수 보정 알고리즘 식이 산출된다(S400).

[0052] 치수 보정 모듈(140) 상기 2차 회귀식으로부터 치수 보정 알고리즘 식이 산출되며, 이는 하기 식 1과 같다.

수학식 1

[0053]
$$Z_0 = Z_i - \left(YCB - \frac{YCB - YCT}{T_s} Z_i \right)$$

[0054]
$$\times \left(Y_i - CPYB + \frac{CPYB - CPYT}{T_i} Z_i \right)^2 \text{ -----(2)}$$

[0055]
$$- \left(XCB - \frac{XCB - XCT}{T_s} Z_i \right) \text{ -----(3)}$$

[0056]
$$\times \left(X_i - CPXB + \frac{CPXB - CPXT}{T_i} Z_i \right)^2 \text{ -----(4)}$$

[0057] 상기 식 1에서,

[0058] Xi, Yi, Zi: 모델링 파일 치수의 X, Y, Z 값

[0059] Zo: 보정후 모델링 파일의 각 정점(vertex)의 Z 좌표 값

[0060] (X or Y) C (B or T): 저면(B) or 상면(T)의 2차 회귀식 $a(X \text{ or } Y)^2 + b(X \text{ or } Y) + c = Z$ 의 2차 계수 값

[0061] T(1 or s): 도 9(a)의 긴 부분 높이 값(T1) 또는 짧은 부분 높이 값(Ts)

[0062] CP(X or Y)T: 도 9(b)의 삼각형 부분의 면 중심의 (X or Y)좌표 값

[0063] CP(X or Y)B: 도 9(c) 저면 형태의 면 중심의 (X or Y)좌표 값이다.

[0064] 치수 보정은, 모델링 파일 내 정점인 정보의 Z축 방향 좌표에만 적용되며, 각 정점의 X, Y 좌표는 보정 전 좌표와 동일하다. 식 1에서, (1)과 (3)은 각각 상기 표 2에서 2차 회귀식의 2차 계수 데이터를 통해 높이 변화에 따른 2차 계수의 변화가 선형으로 일어남을 표현한 식이다. 그래서 상면(높이(Z=0))에서 표 2의 저면에 해당하는 수치가 계수 값이 되고 상면 높이에서는 상면의 수치가 계수 값이 된다.

[0065] 식 1의 (2)와 (4)의 경우 높이에 따른 휨(곡률)의 중심이 변화하는 것을 나타낸 것으로, 도 9의 (a)와 같은 목표물 샘플을 도 9의(b), (c)에 점으로 나타낸 바와 같이 목표물 샘플의 높은 부분의 삼각형 윗면과 저면의 곡률 중심을 각 면의 무게 중심으로 설정하였다. 또한 각 단면의 무게 중심의 위치가 높이에 따라 선형으로 움직임을 가정하고 치수 보정 알고리즘을 산출하였다.

[0066] 다음, 산출된 치수 보정 알고리즘 식에 따라 모델링 파일을 보정하고 이를 3차원으로 인쇄하여 목표물 최종 샘플이 제작된다(S600).

[0067] 상기와 같이 산출된 치수 보정 알고리즘 식을 모델링 파일에 적용하고 모델링 파일의 목표물 샘플의 각 치수를 보정하여 3차원 프린팅 장치로 인쇄하여 최종 목표물 샘플을 제작한다.

[0068] 실험에서는, 도 8에 도시된 Box Plot에서 두드러진 휨 경향성을 보인 아래쪽 배치 4개 목표물 샘플에 대하여 치수 보정 알고리즘을 적용하였다. 치수 보정 알고리즘을 원본 Cad 모델링인 STL 파일에 적용하여 보정된 STL 파일을 도출하였다. 도 10은 아래쪽에 배치된 목표물 샘플 중 하나(B, 3)에 치수 보정 알고리즘이 적용된 STL 파일을 도시한다.

[0069] 치수 보정 알고리즘에 의해 각 샘플의 X축, Y축 상대 좌표 기준으로 Z 방향 휨이 발생하며, 각각 휨 변형 정도에 맞게 휨 변형이 발생한 역방향으로 Z 좌표의 휨 변형이 보정되어 도 11에 나타낸 바와 같이 보정된다. 보정된 STL 파일을 처음 실험 조건과 같게 하기 위해 프린터 내 보정된 최종 목표물 샘플을 도 12에 나타낸 바와 같이 같은 위치에 배치하였다.

[0070] 제작한 최종 목표물 샘플과 보정 전 목표물 샘플을 육안 비교 분석 결과, 보정 전 목표물 샘플은 저면의 휨 변형이 커 보스들이 바닥에 닿지 않아 들떠 있었으나, 새로 제작한 최종 목표물 샘플의 저면 보스들은 바닥과 맞닿아 안정적인 자세를 보여준다.

[0071] 보정한 4개의 최종 목표물 샘플을 조도형상 측정기로 측정한 후, 수치데이터를 기반으로 2차 회귀식을 도출하여 2차 회귀식의 2차 항의 계수를 표로 정리하였다. 정리한 표를 바탕으로 보정효과를 검증하기 위해 Two-Sample T-test를 실시하였다.

표 3

[0072]

	그룹	P-value	평균	표준편차
보정 전	X축 상면	0.001	0.000144	0.000011
보정 후			0.000089	0.000010
보정 전	X축 저면	0.002	0.000377	0.000022
보정 후			0.000112	0.000034
보정 전	Y축 상면	0.001	0.000157	0.000010
보정 후			0.000051	0.000012
보정 전	Y축 저면	0.007	0.000278	0.000026
보정 후			0.000123	0.000032

[0073] 3차원 프린터내 샘플 배치가 제품의 치수 변형과 관련이 있으므로 이를 고려하여 Paired T-test로 분석하였다. 상기 표 3은 신뢰수준 95% 로 분석한 2-Sample paired T-test 결과를 요약한 표로서, 모든 그룹의 p-value < 0.05 이므로, 수치 보정 알고리즘의 효과로 휨 변형 현상이 개선됨을 확인할 수 있다.

[0074] 상기와 같이 본 발명에 따른 3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치 및 보정 방법에 의하면, 3차원 프린팅 장치 내 배치에 따른 X축, Y축, Z축 방향의 치수 변형의 데이터를 2차 회귀곡선의 계수로 산출하고, 이로부터 치수 보정 알고리즘 식을 적용하여, 휨 예상 역방향으로 보정함으로써, 기존보다 뛰어난 휨 변형 현상 보정 효과를 얻을 수 있다.

[0075] 또한, 3차원 프린터 제어 프로그램 자체에서 제공하는 Scale Factor 조절 방법 등으로 제어하지 못한 변형을 개선할 수 있다는 효과를 얻을 수 있다.

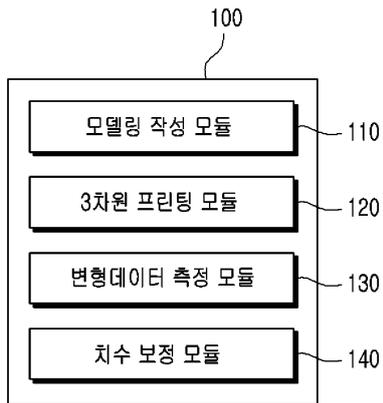
[0076] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특징의 실시 예에 한정되지 아니한다. 즉, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가지는 자라면 첨부된 특허청구범위의 사상 및 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대한 다수의 변경 및 수정이 가능하며, 그러한 모든 적절한 변경 및 수정의 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

부호의 설명

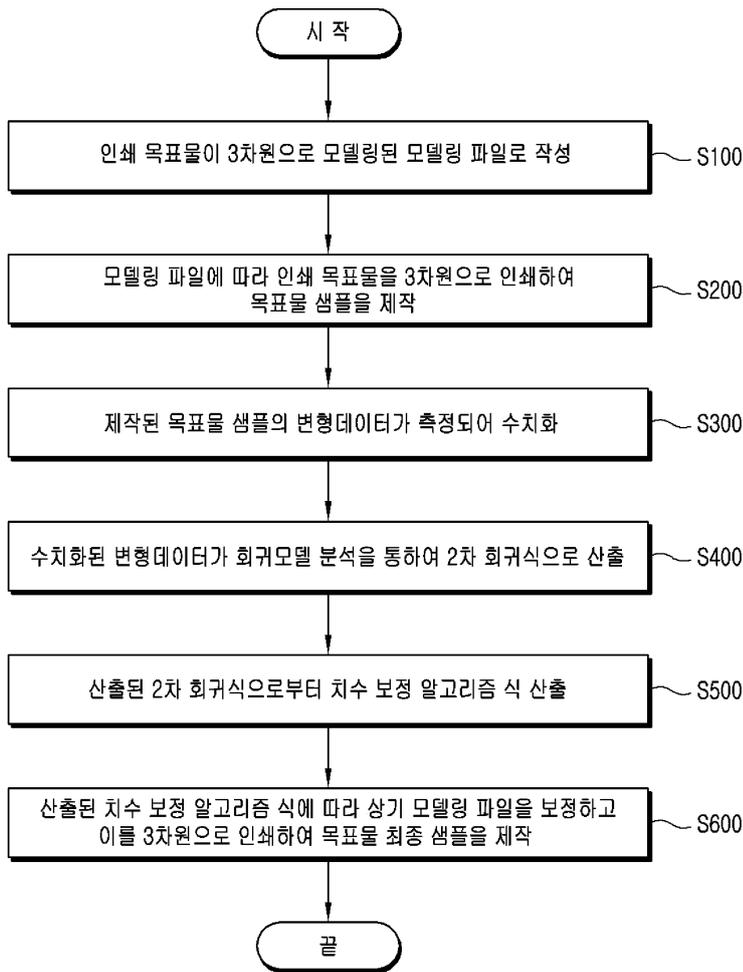
- [0077] 100: 3차원 프린팅 최적 치수 보정 장치
- 110: 모델링 작성 모듈
- 120: 3차원 프린팅 모듈
- 130: 변형데이터 측정 모듈
- 140: 치수 보정 모듈

도면

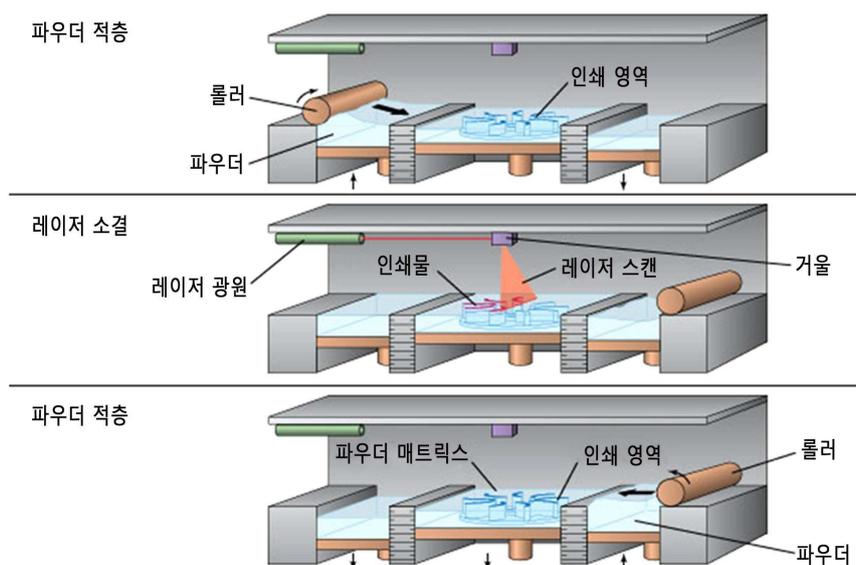
도면1



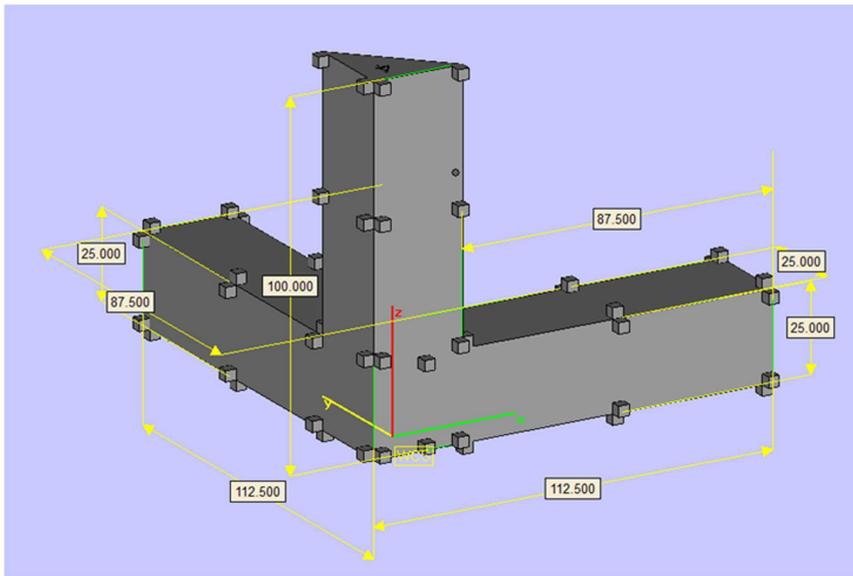
도면2



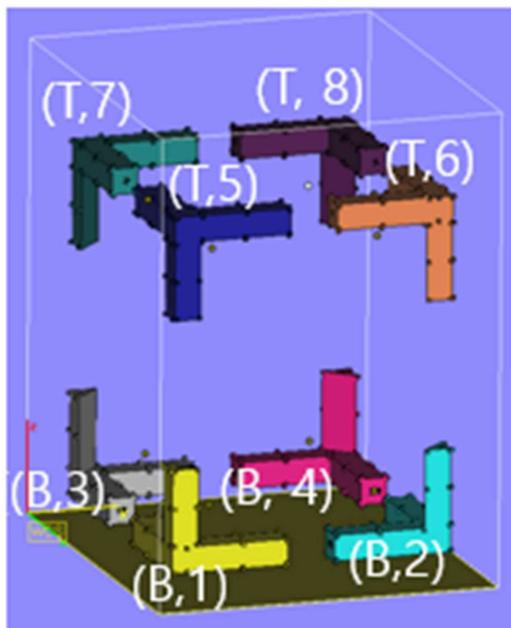
도면3



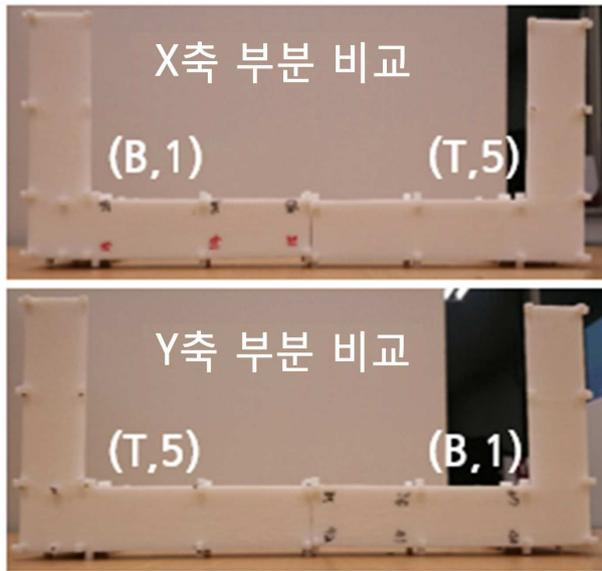
도면4



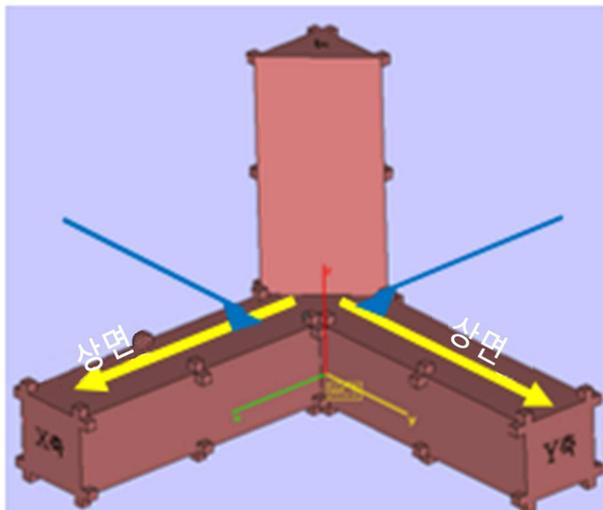
도면5



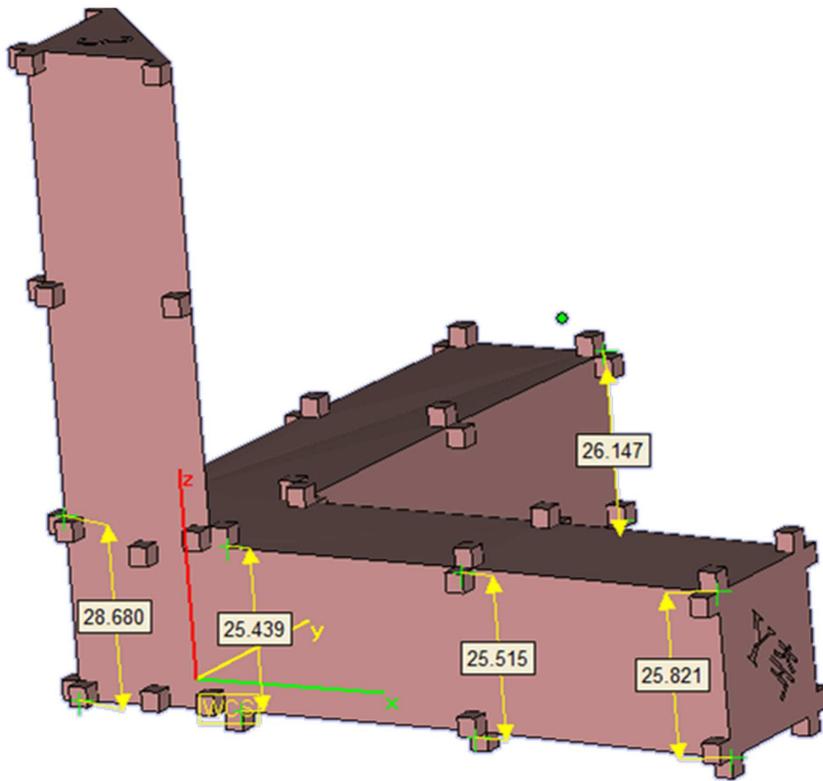
도면6



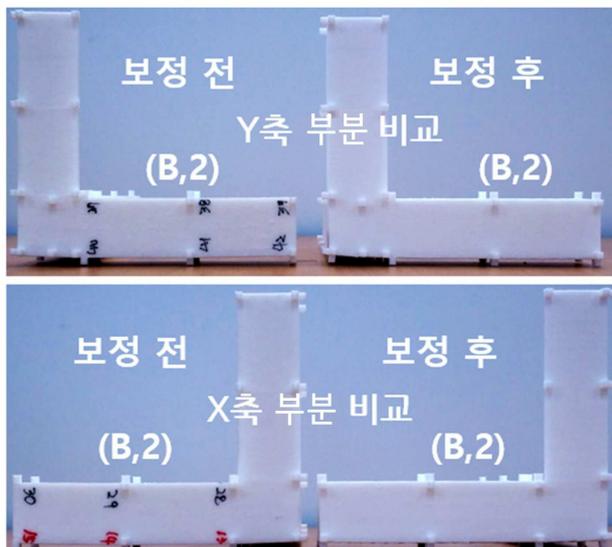
도면7



도면10



도면11



도면12

