한국기계가공학회지, 제20권, 제2호, pp. 80～85(2021.02) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 2, pp. 80~85(2021.02) ISSN 2288-0771(Online)

https://doi.org/10.14775/ksmpe.2021.20.02.080

금속 적층 기반 하이브리드 머시닝센터의 경량화를 위한 형상 최적화에 관한 연구

정원용*, 정호인*, 이춘만**,#

*창원대학교 메카트로닉스공학부, **창원대학교 기계공학부

Shape Optimization for Lightweight of the Metal 3D Printing Based Hybrid Machining Center

Won-Young Jeong*, Ho-In Jeong*, Choon-Man Lee**,#

*Mechanical Design and Manufacturing, School of Mechatronics Engineering, Changwon National University,

**Dept. of Mechanical Engineering, College of Mechatronics, Changwon National University

(Received 25 September 2020; received in revised form 28 October 2020; accepted 14 November 2020)

ABSTRACT

In the fourth industrial revolution, the demand for metal three-dimensional (3D) printing technology is rapidly increasing. Metal 3D printing is an efficient method for manufacturing products because the method reduces material waste compared to subtractive manufacturing. In addition, products with complex shapes, such as turbine blades, can be easily produced using metal 3D printing because the method offers a high degree of freedom. However, due to the long production time of metal 3D printing, mass production is impossible, and post-processing is necessary due to its low precision. Therefore, it is necessary to develop a new hybrid process that can efficiently process metals and to develop a metal 3D-printing-based hybrid processing system technology to secure high processing precision and manufacture complex shapes. In this study, the structural stability of a metal 3D printer based hybrid machining center was analyzed through structural analysis before its development. In addition, we proposed a design modification that can reduce the weight and increase the stiffness of the hybrid machining center by performing shape lightning based on the structural analysis results.

Key Words : Hybrid Machining Center(하이브리드 머시닝센터), Metal Additive Manufacturing(금속 적층 제조), Structural Analysis(구조해석), Shape Optimization(형상 최적화), Lightweight(경량화)

1. 서 론

종래의 금속 제품 또는 부품을 생산하는 방법은 주조공정, 성형공정, 절삭가공공정 등의 방법을 사용하였으나, 금속 적층기술이 발달함에 따라 종래의 생산방법으로는 생산할 수 없는 입체냉각 금형, 항공부품 및 격자구조를 가지는 복잡한 형상의 제품을 생산하거나 생산의 효율성 및 부가가치가 높은 제품이 생산가능 하게 되었다. 금속 적층은 기

Corresponding Author : cmlee@changwon.ac.kr
Tel: +82-55-213-3622, Fax: +82-55-267-1160

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

존 절삭가공 공정의 일부를 대체 및 보완할 수 있으며, 오늘날 소비자의 다양한 요구에 부합할 수 있는 맞춤형 제품 시장에 필요한 기술로써 자리 잡고 있다. 또한, 현재 금속 적층기술은 시제품 제작 수준에서 벗어나 직접 제품 생산기술의 단계에까지 기술개발이 진행되고 있으며, 향후 단순 제조 공정으로 제작하기 어려운 형상/특수기능 부품 등을 기존 절삭가공에 비해 소재 낭비율을 절감하여 직접 제조가 가능할 것으로 판단된다[1-3].

특히, 금속 적층기술은 절삭가공공정과 대비되는 공정으로써 절삭가공의 단점인 형상 자유도의 한계를 극복 가능하기 때문에 절삭가공공정과 결합된 하이브리드 가공공정으로 확대되고 있다. 금속 적층 기반 하이브리드 머시닝센터는 최근 선진사에서는 상용화 장비를 출시하고 있으며, 주로 생산단가가 높은 고부가가치 부품의 유지/보수 분야에 활용성이 뛰어나다. 하지만, 국내의 하이브리드 가공시스템 분야는 머시닝센터를 제조하는 대기업을 중심으로 터닝센터, 공정집약형 복합가공기 및 하이브리드 가공 장비가 개발 진행 중이나 상용화를 위한 연구단계에 머물러 있다.

본 연구에서는 금속 적층 기반 하이브리드 머시닝센터의 개발에 앞서 구조해석을 통한 구조 안정성 분석하였다. 또한, 구조해석 결과를 통한 형상 경량화를 수행하여 하이브리드 머시닝센터의 경량화 및 강성증대를 구현 가능한 설계 수정을 제안하고자 한다. 설계의 개선 범위는 인덱스 테이블 및 주축 등의 구매품은 설계변수를 수정할 수 없으므로 제외하였으며, 위상최적화(Topology optimization)를 사용하여 형상을 최적화하였다.

2. 유한요소해석

2.1 유한요소모델 및 경계조건

Fig. 1은 하이브리드 머시닝센터의 3D 모델을 나타낸다. 금속 적층 기반 하이브리드 머시닝센터의 물성치는 개발사양을 토대로 선정하였으며, 구조물은 GC300 소재를 적용하였고 구성 부품의 소재는 SS400 및 SM45C 소재를 적용하였다. Table 1은 유한요소해석에 사용된 재질의 물성치를 나타낸다.

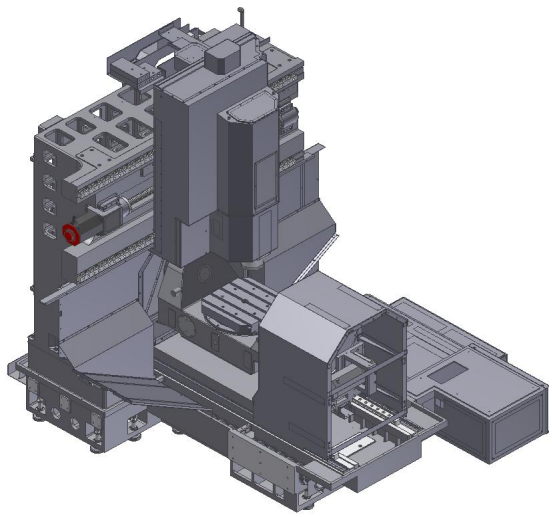

Fig. 1 3D model of the hybrid machining center

Table 1 Mechanical properties according to material

Material	GC300	SS400	SM45C
Density(kg/㎥)	7,300	7,800	7,850
Poisson's Ratio	0.3	0.29	0.29
Young's Modulus(GPa)	125	205	206
Tensile Yield Strength(MPa)	195	230	530

유한요소모델 구축 시 해석시간을 고려하여 구조안정성에 영향을 미치지 않는 커버 및 브라켓 등의 부품은 간략화하여 구축하였다. Fig. 2는 유한요소모델을 나타낸다. 유한요소모델은 104,132개의 절점(Node)과 80,047개의 요소 (Element)로 구성되며, 해석을 위한 각각의 경계조건으로 바닥 부분에 고정조건을 적용하고, 공작물의 무게를 고려하여 이송테이블의 상면에 5,000 N의 하중을 적용하였다. 또한, 자중 조건을 위해 머시닝센터에 전체에 중력조건을 적용하였다. Fig 3은 유한요소해석을 위한 경계조건을 나타낸다[4-5].

2.2 구조해석 결과

Fig. 4와 Fig. 5에 하중을 적용한 머시닝센터의 구조해석 결과를 변형과 응력분포로 각각 나타내었다. 최대 변형은 머시닝센터의 주축 상단에서 0.095 mm로 발생하는 것을 확인하였다. 최대 응력은 새들(Saddle) 및 주축을 지지하는 컬럼(Column)에서 10.9 MPa로 발생하였다. 머시닝센터의 구조물의 재료로 사용된 GC300의 항복강도가 195 MPa인 것을 고려하였을 때 머시닝센터의 안전율은 17.9로 나타난다.

3. 형상 최적화

하이브리드 머시닝센터의 구조물 안정성 향상 및 경량화를 위한 첫 번째 방안(Case 1)으로 주축 헤드 부품의 형상 최적화를 수행하였으며, 두 번째 방안(Case 2)으로 새들 부품의 형상 최적화를 수행하였다[6-8].. 하이브리드 머시닝센터의 처짐 변형을 감소시키기 위해 경량화를 목적으로 해석을 수행하였으며, 목적함수는 전체 머시닝센터의 변형량으로 설정하였다. 형상 최적화는 주축헤드와 새들의 무게를 50% 경량화하도록 수행하였으며, Fig. 6과 Fig. 7은 각각 주축헤드와 새들의 형상 최적화 결과를 나타낸다.

형상 최적화 결과를 기반으로 실제 주축 헤드와 새들의 제작을 위한 가공과 조립 공정을 고려하여 형상을 수정하였으며, 최종 결과 기존 340.32 kg의 주축헤드는 255.75 kg으로 24.85 % 무게 감소를 이루었으며, 기존 911.46 kg의 새들은 727.95 kg으로 20.13%의 무게 감소를 이루었다.

4. 형상 최적화 모델의 검증

4.1 형상 최적화 모델

앞서 하이브리드 머시닝센터 구조물의 경량화를 위해 두 가지 형상개선 방안(Case 1, 2)을 제시하여 형상 최적화를 수행하였다. 형상 최적화는 하이브리드 머시닝센터의 경량화에 중점을 두어 진행하였으며, 형상개선으로 기존 9,632.1 kg에서 8,648.4 kg으로 983.7 kg의 중량 감소를 이루었으며, 경량화율은 약 10.2%이다. Fig. 8은 하이브리드 머시닝센터의 최적화 모델을 나타낸다.

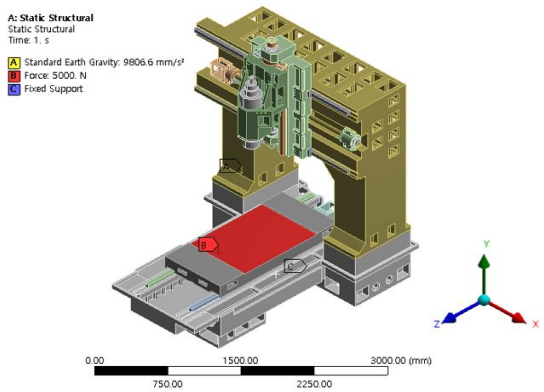

Fig. 3 Boundary conditions for finite element analysis

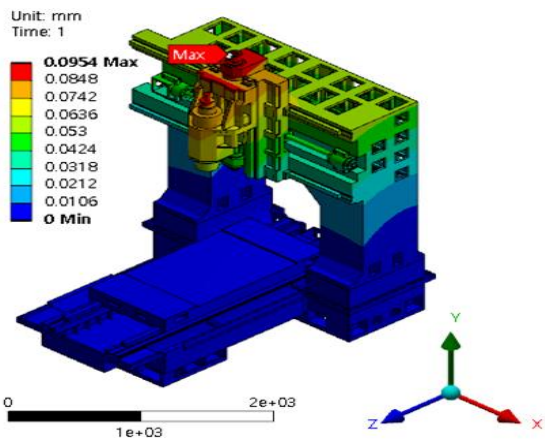

Fig. 4 Deformation distribution of the hybrid machining center

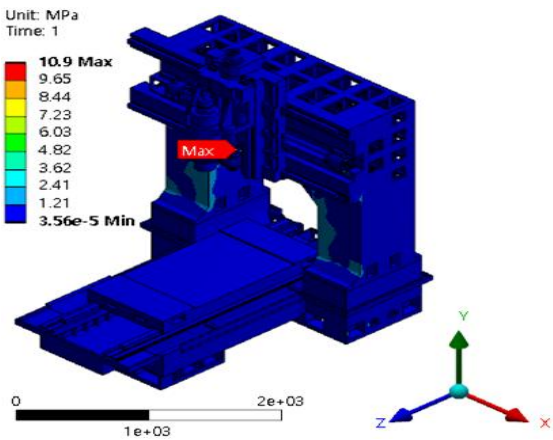

Fig. 5 Stress distribution of the hybrid machining center

4.2 형상 최적화 모델의 구조해석 결과

형상최적화를 수행한 하이브리드 머시닝센터의 구조적 안정성을 분석하기 위해 구조해석을 수행하였으며, 해석 모델의 형성부터 경계조건 설정까지의 과정은 초기 구조해석과 동일하게 수행하였다.

Fig. 9와 Fig. 10에 하이브리드 머시닝센터 최적화 모델의 구조해석 결과를 변형과 응력분포로 각각 나타내었다. 최대 변형은 머시닝센터의 주축 상단에서 0.081 mm로 발생하는 것을 확인하였다. 최대 응력은 최대 적재 하중이 부가된 테이블을 지지하는 베드에서 10.5 MPa로 발생하였다. 머시닝센터의 구조물의 재료로 사용된 GC300의 항복강도가 195 MPa인 것을 고려하였을 때 머시닝센터의 안전율은 18.6으로 나타난다.

형상최적화 결과, 하이브리드 머신닝센터의 최대 변형은 0.095 mm에서 0.081 mm로 0.014 mm 감소하였으며, 변형 감소율은 약 14.7%이다. 최대 응력의 변화는 미미하였으나, 강성증대를 통해 안전율이 0.7 증가하고 18.6의 높은 안전율을 나타내어 하이브리드 머시닝센터는 구조적으로 안정하다 분석된다.

5. 결 론

본 연구에서는 금속 적층 기반 하이브리드 머시닝센터의 구조 안정성 검증을 위한 머시닝센터의 구조해석을 수행하였다. 또한, 구조적 안정성 향상 및 경량화를 위해 위상최적화를 통한 형상최적화를 수행하였다. 형상최적화를 통해 경량화, 변형량 감소 및 강성증대를 이루었으며, 구조적 안정성을 개선한 최적 모델을 제시하였다. 최종적으로 2차 해석을 통해 최적화 모델의 구조적 안정성을 검증하였다. 본 연구에서 수행한 각각의 내용을 다시 요약, 정리하면 다음에 제시한 바와 같다.

(1) 금속 적층 기반 하이브리드 머시닝센터의 구조해석을 수행하였으며, 머시닝센터의 경량화 및 구조개선을 위해 머시닝센터 주축 헤드 및 새들의 형상최적화를 제시하였다.
(2) 위상최적화를 통한 주축 헤드 및 새들의 최적화 모델을 제시하였으며, 형상최적화를 통해 기존 하이브리드 머시닝센터의 중량 9,632.1kg

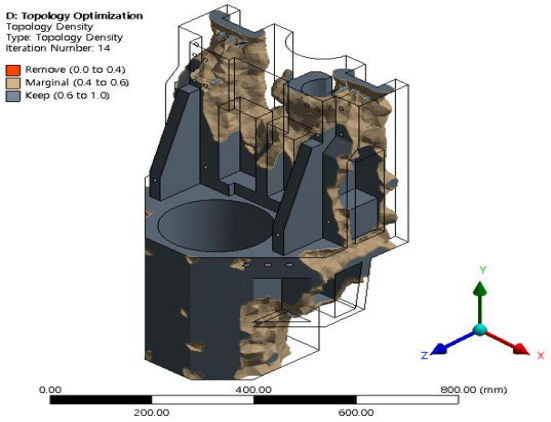

Fig. 6 Shape optimization result of the spindle head

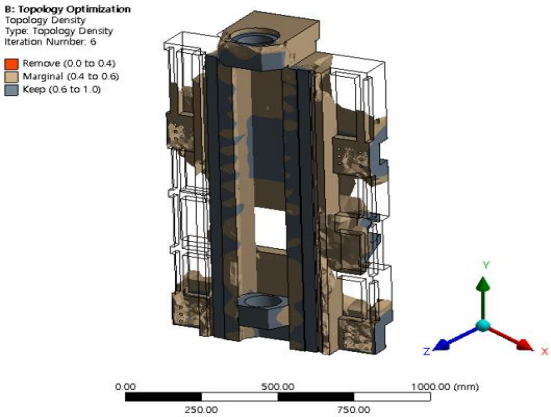

Fig. 7 Shape optimization result of the saddle

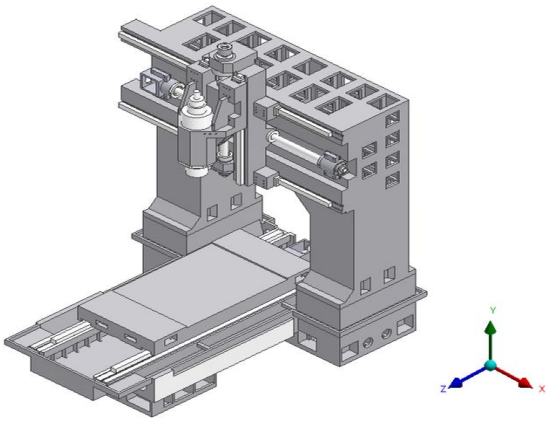

Fig. 8 Optimization model of the hybrid machining center

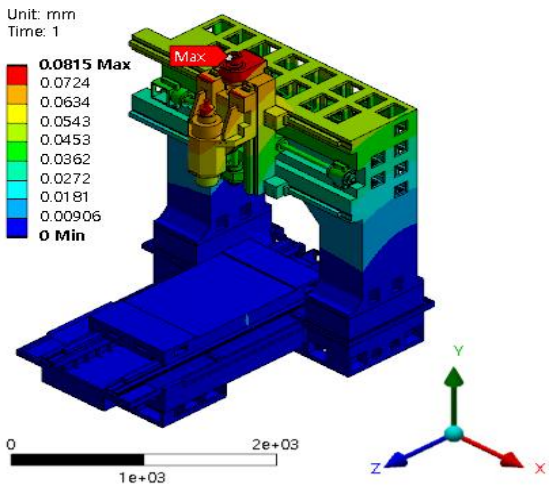

Fig. 9 Deformation distribution in the optimization model of hybrid machining center

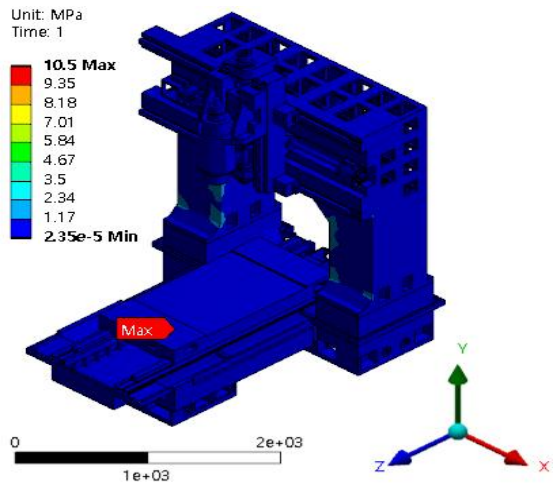

Fig. 10 Stress distribution in the optimization model of hybrid machining center

에서 8,648.4 kg으로 983.7 kg의 중량 감소로 약 10.2%의 경량화 모델을 최적화 모델을 제시하였다.

(3) 최적화 모델의 구조적 안정성 검증을 위해 구조해석을 수행하였으며, 구조해석결과 최적화 모델은 기존 하이브리드 머시닝센터 대비 약 14.7% 감소한 최대변형을 나타냈었다. 또한, 강성증대를 통해 안전율이 0.7 증가하여 18.6의 높은 안전율을 나타내, 최적화 모델은 구조적으로 안정함을 검증하였다.

본 연구의 결과는 개발하고자 하는 금속 적층 기반 하이브리드 머시닝센터 안정성 향상과 경량화 설계 및 개발에 적용될 것이다.

후 기

“본 연구는 산업통산자원부의 산업기술혁신사업 및 한국연구재단의 지원으로 수행하였음 (No. 20002796, No. 2019R1A2B5B0307020612).”

REFERENCES

1. Woo, Y. Y., Han, S. W., Oh, I. Y., Moon, Y. H. and Ha, W., "Control of Directed Energy Deposition Process to Obtain Equal-Height Rectangular Corner," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 20, No. 4, pp. 2129-2139, 2019.
2. Chua, B. L., Lee, H. J. and Ahn, D. G., "A Study on Activation Algorithm of Finite Elements for Three-Dimensional Transient Heat Transfer Analysis of Directed Energy Deposition Process," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 20, No. 5, pp. 863-869, 2019.
3. Kim, H. K., Cha, M. H., Kim, B. C., Lee, I. H. and Mun, D. H., "Maintenance Framework for Repairing Partially Damaged Parts Using 3D Printing," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 20, No. 8, pp. 1451 - 1464, 2019.
4. Kang, D. S., Jung, E. I., Kim, K. H., Baek, I. C. and Yi, C. S., "Structural Analysis of a Carriage Shuttle System: A Material Supply Device for Small-Scale Machine Tools," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 4, pp. 62-68, 2019.

5. Kim, S. G., Kim, J. H., Kim, S. H. and Youn, J. W., "Design Optimization of the Rib Structure of a 5-Axis Multi-functional Machine Tool Considering Static Stiffness," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 25, No. 5, pp. 313-320, 2016.
6. Yoo, D. S., "A Study on Optimization for Static Characteristics Analysis of Gantry-Type Machining Centers," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 6, pp. 122-128, 2015.
7. Lee, C. M., Ha, J. H., Woo, W. S. and Kim, E. J., "A Study on the Shape Optimization and Structural Analysis of the Suction Chamber for an ECO Vacuum Filter System," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 33, No. 12, pp. 971-977, 2016.
8. Lee, C. M., Jeong, H. I., Kim, E. J. and Shin, S. W., "A Study on the Shape Optimization and Structural Analysis of Turret Center for Powder Metallurgy Material Machining before Sintering," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 36, No. 2, pp. 127-134, 2019.