

자동차 파워 트레인 샤프트 가공용 8축 복합가공기의 고 강성 구조설계에 관한 연구

문동주*, 조준현*, 최윤서*, 황인환*, 이종찬*[#]

*금오공과대학교 기계설계공학과

High-Stiffness Structure Design of 8-Axis Multi-tasking Machine for Automotive Powertrain Shafts

Dong-Ju Moon*, Jun-Hyun Cho*, Yun-Seo Choi*, In-Hwan Hwang*, Jong-Chan Lee*[#]

^{*}School of Engineering Science and Mechanics, Kumoh Univ.

(Received 31 July 2015; received in revised form 24 January 2016; accepted 23 February 2016)

ABSTRACT

The development of an exclusive 8-axis multi-tasking machine to finish multiple cutting processes by a single piece of power equipment for securing the high-precision machining and high productivity of the series of shafts (a core part of the automotive powertrain that delivers engine power) is needed. The rigidity of the structure must be improved and the weight of the structure must be reduced to develop a multi-tasking machine with high precision and high productivity. In this paper, we perform a static structural analysis of the initial design of the multi-tasking machines and compare the results of the multi-tasking machines improved by the reinforced design and the results of the initial one. According to the results of the structural analysis, the rigidity of the reinforced machine was increased and the overall weight was decreased. Therefore, the productivity was increased.

Key Words : Power Train Shaft(파워 트레인 샤프트), 8-Axis Multi-Tasking Machine(8축 복합가공기), CAE Analysis(유한요소해석)

1. 서 론

자동차 산업의 급진적인 발달로 인해 생산 기술과 생산 공업도 꾸준한 발전을 이루고 있으며 공장 기계 종류의 다양화, 기능의 복합화 및 경량화, 원가절감, 품질 향상이 수요자로부터 요구되고 있으며, 공장기계 생산업체에서는 위 같은 수요자의 요구를 만족시키기 위해 사활을 걸고 있다^{[1][2]}.

공작기계의 40% 이상의 수요를 차지하고 있는 자동차 산업에서 자동차 파워 플랜트의 핵심 유닛인 엔진 및 파워 트레인 부품을 제작하는 장비의 대부분이 해외 선진기업에 의존하고 있으며 국산화율은 전체 40%도 미치지 못하고 있어 관련부품 가공기의 개발이 시급하다^[3].

자동차 파워 트레인 샤프트는 엔진의 동력을 전달하는 핵심부품으로, 파워 트레인 샤프트의 정밀가공을 위해서는 다수의 절삭공정을 1대의 장비에서 마무리 할 수 있는 복합가공기 개발이 필수적이거나 현재까지 파워 트레인 샤프트 전용 복합가공기 개발은 미비한 실정이다.

Corresponding Author : jclee@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7382, Fax: +82-54-478-7319

고 정밀·고 생산성을 가진 복합가공기를 개발하기 위해서는 구조물의 강성을 높이고, 구조물의 중량을 줄여야 한다^[4].

이에 본 연구에서는 자동차 파워 트레인 샤프트 가공용 8축 복합 가공기전체 구조물에 대한 구조해석을 수행하고, 기존 구조물의 설계 변경을 통해 개선된 복합가공기 구조물의 구조해석을 통해 정강성을 평가하였다^[5].

2. 본 론

2.1 실험방법

자동차 파워 트레인 가공용 8축 복합가공기의 초기 설계단계에서 구조해석을 실시하기 위해서 2D 도면을 바탕으로 Autodesk Inventor 2014를 이용하여 모델링 작업을 진행하였으며, 작업 결과 초기 모델의 전체 크기는 2,600x1,900x2,557mm이다.

구조해석은 ANSYS Workbench를 사용하여 진행하였으며, 주물 재질은 주조성과 기계적 성질을 고려하여 GC300을 사용하였다.

Fig. 1은 초기설계 후 상세설계 단계에서 세부형상들을 나타낸 것이며, Table 1은 해석에 사용될 주물 재질 GC300에 관한 기계적 성질을 나타내었다.

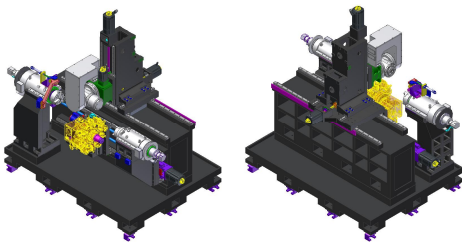


Fig. 1 Modeling 8 Axis Multi-Tasking Machine

Table 1 Material properties of GC300

	GC300
Density (kg/m ³)	7300
Young's Modulus (GPa)	124
Poisson Ratio	0.3
Tensile Yield Strength (MPa)	310

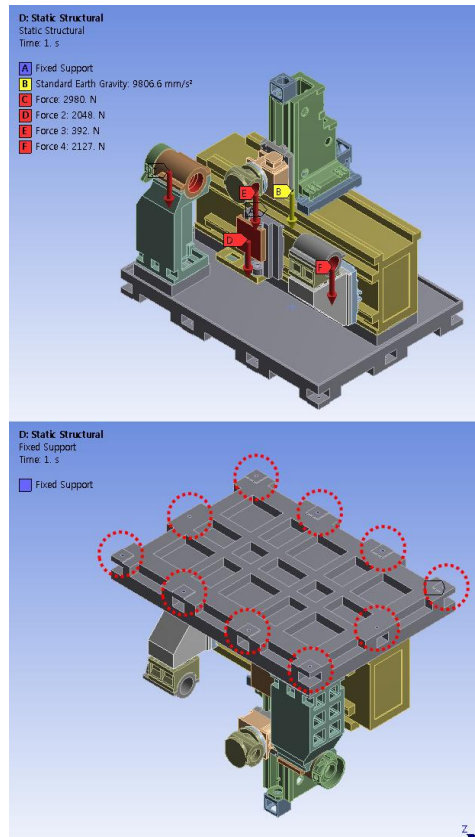


Fig. 2 Simplified Initial Model & Boundary conditions

2.2 초기 모델의 구조해석

초기 설계 된 자동차 파워 트레인 샤프트 가공용 8축 복합가공기를 초기 모델로 정하고 해석을 통해 안정성을 평가하고 문제가 있을 시 새로운 설계 변경 안을 도출하기로 한다.

Fig. 2와 같이 해석을 진행하기 위해 해석에 적합한 모델로 단순화 하였으며 경계조건을 적용하여 자중에 의한 변위, 응력 해석을 ANSYS Workbench를 사용하여 진행하였다.

경계조건은 Bed 하부의 지지점을 구속조건으로 적용하고 자중에 의해 발생하는 하중과 실제 8축 복합가공기 구성 Unit 중 단순화하며 생략된 밀링머신 40kg, 메인스핀들 304kg, 서브스핀들 217kg, 터렛 209kg을 고려하여 하중조건을 적용시켰다^[6].

2.3 해석 결과

초기 모델의 자중에 따른 변위, 응력 구조해석을 진행하였다.

Fig. 3 ~ Fig. 5는 초기 모델의 자중에 의한 X, Y, Z 축 방향으로의 변위 량을 보여주고 있으며 Fig. 6은 응력 값을 보여주고 있다.

변위량 및 응력 값을 정리하면 Table 2와 같다.

X 축의 경우 변위 량이 34.49 μ m로서 Bed Column과 밀링 축 Column의 무게에 따라 Bed의 낮은 강성으로 하부의 처짐이 발생되어 밀링주축의 변위 량이 높은 것으로 판단되었다.

Y 축의 경우 변위 량이 10.24 μ m로서 하부의 Bed가 밀링 축 Column 및 ATC의 무게에 의해 압축응력을 받음으로서 찌그러지는 현상으로 인해 발생하는 것으로 판단되었다.

Z 축의 경우 변위 량이 -34.42 μ m로서 이는 Bed의 낮은 강성으로 인해 하부의 처짐이 발생되어 상부 밀링주축의 변위 량이 높은 것으로 판단되었다.

초기 모델의 구조해석을 통해 각 변위 량을 측정하여 공작기계의 전체 시스템에 대한 문제점을 분석한 결과 Bed의 강성확보와 경량화가 시급한 것으로 판단되었으며 전체 형상과 Rib 두께와 간격을 변경하였다.

Table 2 Total Deformation & Equivalent Stress & Total Weight of Initial Model

Initial Model	X-axis	Y-axis	Z-axis	Scalar
Directional Deformation (μ m)	34.49	10.24	-34.42	40.17
Equivalent Stress (MPa)	17.00			
Total Weight (kg)	13694.0			

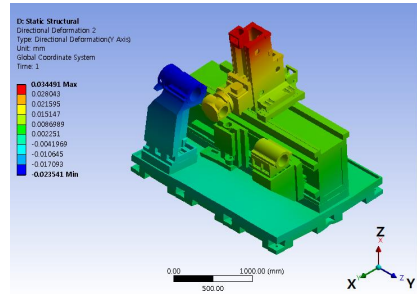


Fig. 3 Deformation of Initial Model (at X-axis)

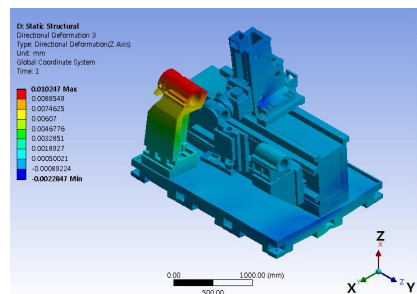


Fig. 4 Deformation of Initial Model (at Y-axis)

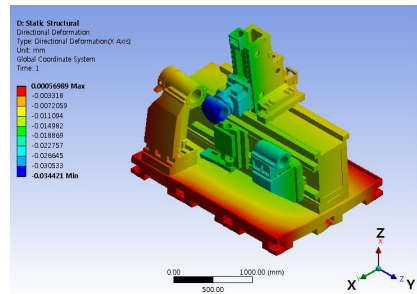


Fig. 5 Deformation of Initial Model (at Z-axis)

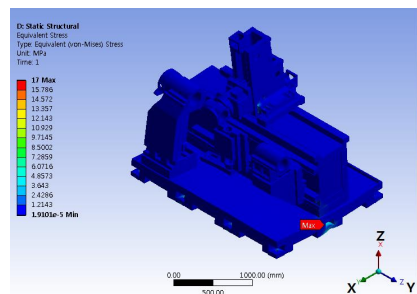


Fig. 6 Equivalent Stress of Initial Model

2.4 해석결과에 따른 설계 개선

앞서 수행한 초기 모델의 구조해석 결과 Bed의 낮은 강성은 Bed의 Column부와 Base의 불필요한 Rib 두께와 구조의 과도한 무게로 인해 Bed의 처짐이 발생하는 것으로 판단되어 경량화를 위해 Base와 Column을 관통하는 구조로 설계 변경하였으며 Rib 개수를 기존 12개에서 11개로 두께 또한 기존 100mm 에서 25mm로 감소 시켜 Bed의 설계를 보완하였다.

Fig. 7은 초기 모델과 보강 모델의 모습을 보여주고 있으며 Table 3은 초기 모델과 보강 모델의 무게 및 감소율을 보여주고 있다. Bed 설계 변경 결과 Bed의 무게가 약 36.5%가량 감소하였다. 설계 변경으로 자동차 파워 트레인 샤프트 가공용 8축 복합가공기의 강성이 강화되었다는 것을 검증하기 위해 보강 모델에 대해 구조해석을 수행하여 비교하였다.

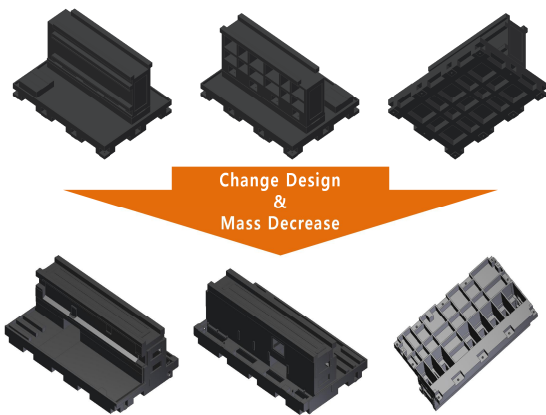


Fig. 7 Reinforce of Design Change

Table 3 Numerical Value of Design Change

	Initial Model	Reinforced Model	Comparison
Bed	6855.2kg	4351.1kg	36.5%

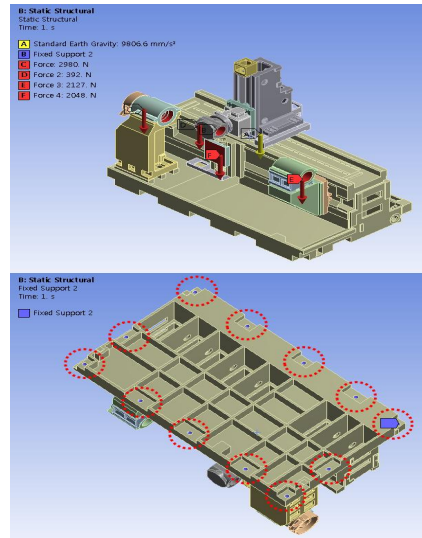


Fig. 8 Simplified Reinforced Model & Boundary conditions

2.5 보강 모델의 구조해석

보강 모델의 구조해석은 초기 모델의 구조해석과 동일한 경계조건을 적용하고 동일한 재질을 적용하여 해석을 진행하였다.

2.6 해석 결과

Fig. 9 ~ Fig. 11는 보강 모델의 자중에 의한 X, Y, Z 축 방향으로의 변위 량을 보여주고 있으며 Fig. 12은 응력 값을 보여주고 있다.

변위량 및 응력 값을 정리하면 Table 4와 같다.

Table 4 Total Deformation & Equivalent Stress & Total Weight of Reinforced Model

Reinforced Model	X-axis	Y-axis	Z-axis	Scalar
Directional Deformation (μm)	27.64	17.65	-34.38	37.56
Equivalent Stress (MPa)	9.24			
Total Weight (kg)	6625.8			

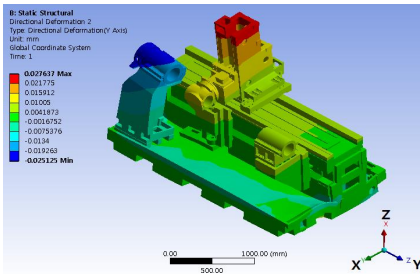


Fig. 9 Deformation of Reinforced Model (at X-axis)

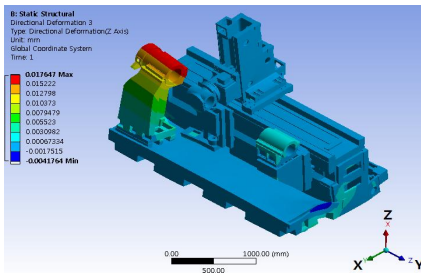


Fig. 10 Deformation of Reinforced Model (at Y-axis)

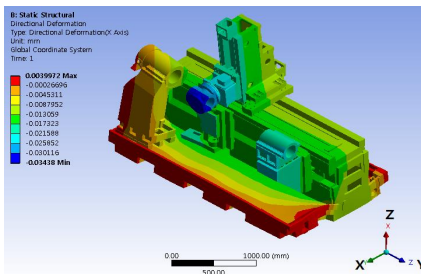


Fig. 11 Deformation of Reinforced Model (at Z-axis)

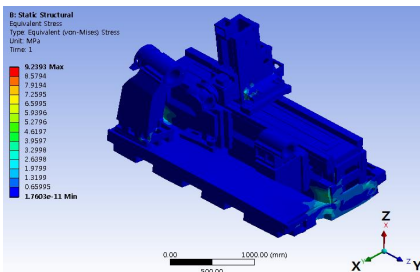


Fig. 12 Equivalent Stress of Reinforced Model

Table 5 Analysis comparison of Initial & Reinforced Model

	Initial Model	Reinforced Model	Comparison
Directional Deformation (X-axis)(μm)	34.49	27.64	19.9% ↓
Directional Deformation (Y-axis)(μm)	10.24	17.65	72.4% ↑
Directional Deformation (Z-axis)(μm)	-34.42	-34.38	1.2% ↓
Total Deformation (μm)	40.17	37.56	6.5% ↓
Equivalent Stress (MPa)	17.00	9.24	45.6% ↓
Total Weight (kg)	13694.0	6625.8	51.6% ↓

X 축의 경우 변위 량이 기존 34.49 μm 에서 27.64 μm 로 19.9% 감소되었다.

Y축의 경우 변위 량이 기존 10.24 μm 에서 17.65 μm 로 72.4%증가하였다.

Z축의 경우 변위 량이 기존 -34.42 μm 에서 -34.38 μm 로 0.1%감소되었다.

응력 값의 경우 기존 17.00MPa에서 9.24MPa로 45.6% 감소되었다.

장비의 전체 중량은 기존 13,694kg에서 6,625.8kg로 51.6% 감소되었다.

초기 모델과 보강 모델의 자중에 따른 구조해석 결과 값을 비교하여 Table 5에 정리하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 자동차 파워 트레인 샤프트 가공용 8축 복합가공기의 개발에 있어서 초기 설계 모델의 안정성 평가를 위해 구조해석을 진행하였으며, 초기 모델의 정밀도 및 생산성 향상을 위해 Bed의 설계를 보강하여 구조해석 결과를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 초기 설계된 초기 모델에 자중 및 구성 Unit의 하중조건으로 구조해석을 진행한 결과 Bed의 Column부와 Base의 불필요한 Rib의 두께와 형상으로 인한 과도한 무게로 인해 Bed의 강성이 낮아 처짐이 발생하는 것으로 판단되어 Bed의 설계 보완을 진행하였다.
2. 설계 보완된 보강 모델의 자중에 의한 변위해석을 진행한 결과 X 축과 Z 축 변위는 초기 모델의 변위보다 각각 감소되었지만 Y 축 변위의 경우 증가한 것으로 나타났으나 장비 전체의 변위는 감소한 것으로 나타나 초기 모델보다 보강 모델의 정밀도가 향상된 것으로 판단된다.
3. 설계 보완된 보강 모델의 자중에 의한 응력해석을 진행한 결과 초기 모델의 응력보다 감소한 것으로 나타나 초기 모델보다 보강 모델의 강성이 향상된 것으로 판단된다.
4. 설계 보완된 8축 복합가공기의 무게의 경우 13,694kg에서 6,625.8kg으로 약 51.6% 감소하여 장비 생산성이 향상될 것으로 판단된다.

후 기

“이 논문은 2013년도 신성장동력 장비경쟁력 강화사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Kim. S. U. and Yang, M. Y., "A Study on Static and Dynamic Evaluation of Machine Tools Layout by Lagrangian," Proceedings of KSMTE Autumn Conference, pp. 165-171, 2009.
2. Lee. T. H. and Choi, J. W., "Structural Analysis on Horizontal CNC Lathe," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 20, No. 3, pp. 298-303, 2011.
3. Jo. H. S., "Suipseon diversification Islands off the impact of the general machinery industry," Korea Development Bank Special Reports, pp. 10, 2000.
4. Cho. J. H., Moon, D. J. and Lee, J. C., "A Study on the CAE Analysis of Bed of Multi-Tasking Machine for Automotive Power Train Shafts," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 1, pp. 9-14, 2015.
5. Hong. J. P., Gong, B. C., Choi, S. D., Choi, H. J. and Lee, D. S., "Study on Structure Design of High-Stiffness for 5 - Axis Machining Center," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 5, pp. 7-12, 2011.
6. Choi. Y. S., "A Study on the Structural Analysis of Automotive Crankshft Multi Grinding Machine," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 1, pp.20-25, 2012.