

협소 공간 절삭가공용 앵글 헤드 스피들 케이스 소형화에 대한 연구

성철훈*, 한성길**, 김성훈**, 송철기***, #

*(주)성산암데코 기술연구소, **경상대학교 대학원 기계항공공학부,

***경상대학교 기계공학부, 공학연구원

A Study on the Miniaturization of Angle Head Spindle Case for Cutting in Narrow Spaces

Chul Hoon Sung*, Sung Gil Han**, Sung Hoon Kim**, Chul Ki Song***, #

*Sungsan Amdeco, R&D center, **Department of Mechanical and Aerospace engineering, Graduate School, GNU, ***Department of Mechanical Engineering, Engineering Research Institute, GNU

(Received 20 May 2019; received in revised form 30 May 2019; accepted 10 June 2019)

ABSTRACT

In order to improve the fuel economy and dynamic behavior of automobiles, the weight reduction tendency of automobile parts is obvious. Also, in order to maximize assembly and maintenance convenience, various parts are integrated and modularized. Multi-piece methods require many manufacturing processes and become a factor of lowering the strength of parts. It is advantageous to overcome the disadvantages by integrally manufacturing to reduce the processing steps and ensure the strength of the parts. However, when it is necessary to process in a narrow space inside the part, it is impossible to process with the existing spindle. The angle head spindle is only a component of a machine tool, but it is a core part that requires high technology and is highly utilizable in products requiring high precision machining. Therefore, various and continuous studies needs for angle head spindles in areas such as vibration absorption, operational safety, excellent dimensional stability, and strength. In this paper, we propose an optimal design for angle head spindle by performing structural analysis and shape optimization for angle head spindle gear and case.

Key Words : Angle Head Spindle(앵글 헤드 스피들), Structural Analysis(구조해석), Shape Optimization(형상최적화), Miniaturization(소형화)

1. 서 론

자동차의 연비 향상 및 동적 거동 향상을 위해

자동차 부품의 경량화 추세가 뚜렷하다. 또한 조립 및 정비 편의성 극대화를 위하여 다양한 부품의 일체화 및 모듈화와 그에 따른 안전성에 대한 연구가 진행되고 있다^[1-5]. 기존 부품의 경우 가공 편의성을 위하여 초정밀 다이캐스팅 또는 주물 생산 및 가공 후 조립하게 되는데 이와 같은 다중 조립체

Corresponding Author : cksong@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1633, Fax: +82-55-772-1630

(multi-piece) 방식은 많은 공정을 필요로 하며, 부품의 강도를 저하시키는 요인이 된다. 가공 공정을 줄이고 부품 강도를 확보하기 위해서 일체형으로 제작하는 것이 단점 극복에 매우 유리하나 부품 안쪽의 좁은 공간에서 가공이 필요한 경우 기존의 스핀들로는 가공이 불가능하다.

이러한 문제를 앵글 헤드 스핀들을 이용하여 해결할 수 있다. 측면 가공까지 가능하기 때문에 가공시간 단축과 생산 공정 단순화로 생산성 향상은 물론 가공품질의 개선에도 효과적이다. 또한 일체형 캘리퍼 하우징과 같이 협소 공간 내에서 주축과 직각 방향으로 위치한 디스크 부위나 피스톤 보어 부위를 틀의 간섭 없이 가공함으로써 자동차 브레이크의 부품수와 조립 공정 수를 획기적으로 줄일 수 있는 기술적 경쟁력을 확보할 수 있다.

앵글 헤드 스핀들은 공작기계를 구성하는 부품에 불과하지만 고정밀 가공을 필요로 하는 제품에서

활용 가능성이 매우 뛰어난 제품이며, 높은 기술력이 요구되는 핵심 부품이다. 따라서 낮은 열 발생과 작동 안전성, 우수한 치수 안정성, 강도 확보와 같은 분야에서 다양하고 지속적인 연구가 수행되어지고 있다⁶⁻²⁰.

본 논문에서는 앵글 헤드 스핀들 케이스에 대한 구조적 건전성을 확인하고 최적 설계안을 제안하는 것에 목적이 있다. 구조적 건전성을 확인하는 방법으로는 앵글 헤드 스핀들 기어에 대한 구조해석과 앵글 헤드 스핀들 케이스에 대한 구조해석으로 나눌 수 있다. 최적 설계안 제안은 형상 최적화 기법을 이용하여 과잉 설계된 부분을 파악하고 모델링 수정 후 반복적인 구조해석의 수행을 통해 가능하다.

2. 앵글 헤드 스핀들 기어 구조해석

2.1 초기 형상 및 해석 케이스 생성

협소 공간 가공용 앵글 헤드 스핀들은 공작기계로부터 얻은 동력을 6개의 기어를 통해 커팅 톨로 전달한다. 기어는 1쌍의 베벨기어와 4개의 헬리컬 기어로 구성되어 있으며, 베벨기어는 동력의 방향을 직각으로 변환하는 역할, 헬리컬기어는 증속 및 동력을 전달하는 역할을 한다. Fig. 2에서 앵글 헤드 스핀들의 동력 흐름을 간략히 나타내었다.

2.2 앵글 헤드 스핀들 기어 경계조건

본 논문의 연구대상인 앵글 헤드 스핀들의 사양은 Table 1에 나타내었다. 구동 헬리컬 베벨 기어에 입력되는 최고 동력은 8 kW이며, 회전속도는 가공 공정에 따라 최대 3,000 rpm 까지 변화한다.

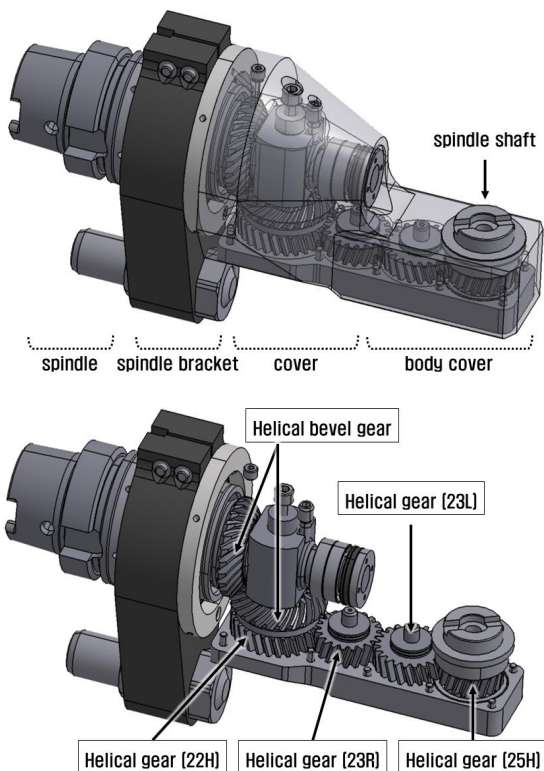


Fig. 1 Angle head spindle

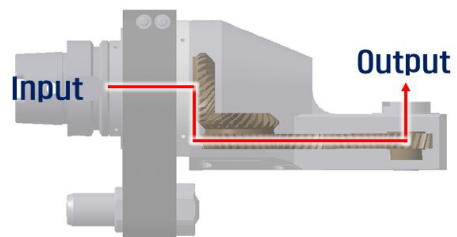


Fig. 2 Structural analysis for the angle head spindle case (equivalent stress)

Table 1 Specifications of the angle head spindle

part	specification
Max. power	8 kW
rotation speed of the spindle	3,000 rpm
No. of the helical bevel gear	24
No. of the helical gear	28
No. of the helical gear	20
No. of the helical gear	20
No. of the helical gear	22

Table 2 Boundary conditions for gears

	1st pair	2nd pair	3rd pair	4th pair
input torque [N·m]	38	27	30	26
joint type	cylindrical			
contact condition	frictional			

Table 3 Bearing force reactions in the shafts

part	force reaction [N]		moment reaction [N·mm]	
	x	y	x	y
1st shaft	x	5,367.2	x	-1,055.1
	y	-40.9	y	63,055
	z	-277.4	z	-
2nd shaft	x	981.8	x	2438.1
	y	923.6	y	9611.5
	z	-97.5	z	-
3rd shaft	x	-43	x	-125.1
	y	-42.2	y	-18.48
	z	2.5	z	-
4th shaft	x	-1,188.4	x	5,107.8
	y	923.1	y	-2,000.7
	z	-0.19	z	-
5th shaft	x	-1,188.4	x	8,934.3
	y	-923.1	y	-2,919.5
	z	-0.19	z	-

2.3 베어링 반력

스피더기가 일반적으로 하중을 받는 상태에서는 치면에 대하여 병진방향 미끄러짐이 발생하며, 헬리컬기어는 축방향 미끄러짐이 추가적으로 발생한다. 이러한 미끄러짐에 대한 하중은 베어링을 통해 기어를 고정하는 축에 전달되며, 최종적으로 기어열을 감싸고 있는 케이스에 전달된다. 따라서 케이스에 대한 구조해석과 최적화 해석을 수행하기 위해서는 기어가 하중을 받을 때 베어링 반력을 도출하여 케이스에 알맞은 힘의 형태로 부여해야 한다.

베어링 반력은 6자유도계 성분으로 나타낼 수 있는데 z방향(축방향) 모멘트 반력은 기어가 회전체이므로 발생하지 않는다.

앵글 헤드 스피들 기어에 발생하는 베어링 반력의 크기는 Table 3에 나타내었다.

3. 앵글 헤드 스피들 케이스 구조해석

3.1 초기 형상 및 경계조건

앵글 헤드 스피들 케이스는 내부 기어 시스템을 지지하는 역할과 함께 가공시 발생하는 외력에 대항하여 구조물을 지지하는 역할을 수행하고 있다. 이러한 환경에서 많은 하중과 외부 환경에 노출되어 있다. 다양한 외부 변수들로 인하여 케이스는 변형 및 파괴가 발생하고, 이를 미연에 방지하기 위하여 케이스에 대한 구조해석을 수행한다. 또한 최적화 해석 수행을 통해 케이스에 과잉 설계된 부분을 제거한 후 반복적인 구조해석을 통하여 구조적 건전성을 확보해야 한다.

앞선 앵글 헤드 스피들 기어 시스템에 대한 구조해석 결과로 기어를 지지하는 베어링이 받는 하중에 대한 수치를 획득할 수 있었으며, 그 크기와 성분은 Table 3을 참고하여 각 기어 축에 부여하였다.

또한, 앵글 헤드 스피들은 가공시 최대 600 N의 하중을 견딜 수 있도록 고안되었다. 따라서 드릴 팁이 고정되는 부분에 축방향으로 600 N의 하

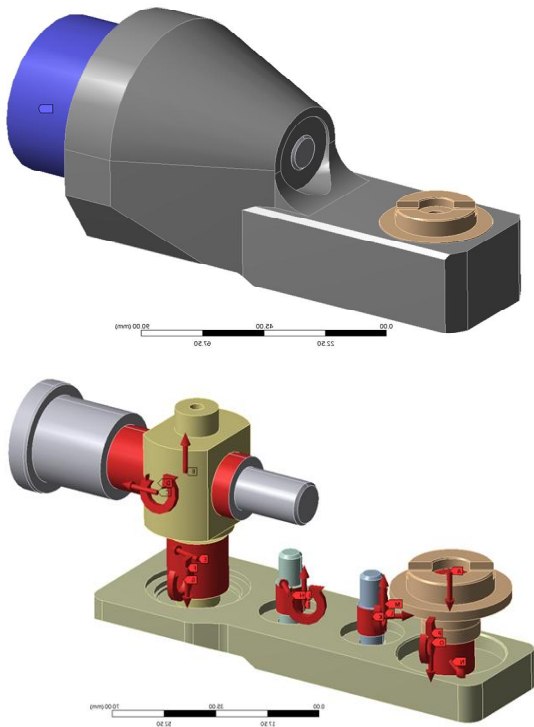


Fig. 3 The boundary conditions for the angle head spindle case

중을 부여 하였다.

앵글 헤드 스피들 케이스에 부여한 경계조건은 아래 Fig. 3에 나타내었다.

3.2 앵글 헤드 스피들 케이스 구조해석 결과

공작기의 최대 토크와 가공시 발생하는 힘으로부터 앵글 헤드 스피들 케이스가 받는 최대 응력은 약 103 MPa임을 확인하였다. 앵글 헤드 스피들 케이스에 나타나는 최대 등가응력은 20개 이빨을 가진 헬리컬 기어가 결합되어있는 4번째 축에서 나타났으며, 최대 변형량은 최대 등가응력이 발생하는 축에서 동일하게 나타났다.

소재의 허용응력 680 MPa과 비교하였을 때 안전율 6.6을 가지므로 앵글 헤드 스피들 케이스에 대한 구조적으로 건전하다고 판단된다.

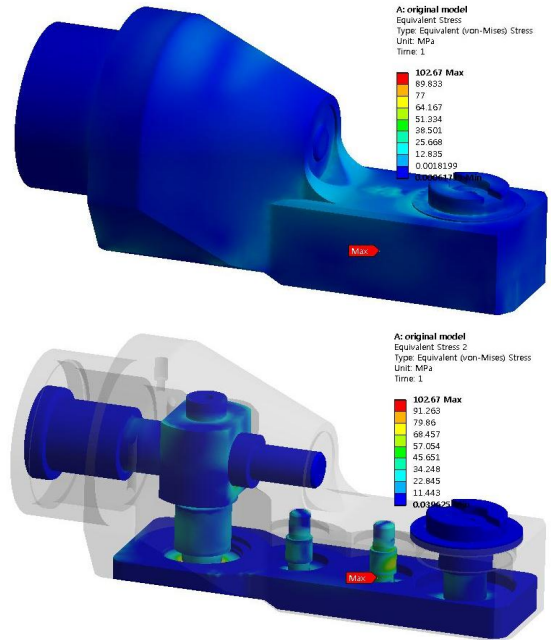


Fig. 4 Structural analysis for the angle head spindle case (equivalent stress)

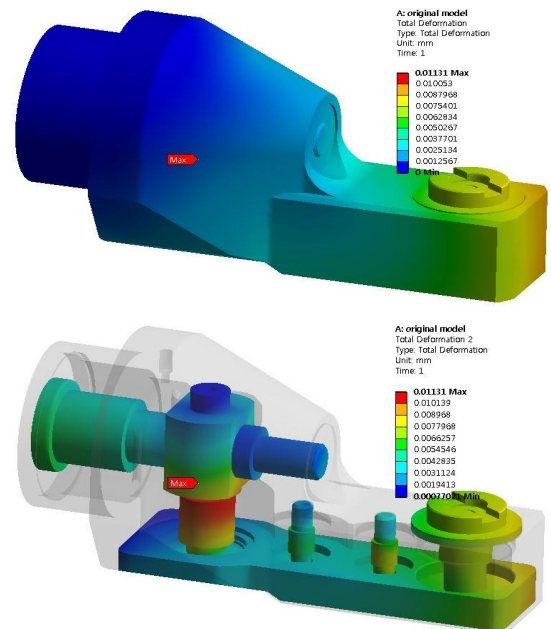


Fig. 5 Structural analysis for the angle head spindle case (total deformation)

3.3 앵글 헤드 스피들 케이스에 대한 형상 최적화 해석

형상 최적화 해석은 구조해석 결과를 바탕으로 해석을 진행하므로 구조해석 경계조건과 동일하게 적용한다. 그리고 경량화를 위한 최대 범위는 기존 모델의 질량에서 약 $\pm 30\%$ 범위에서 가능하도록 설정한다.

Fig. 6의 형상최적화 결과를 보면 주어진 경계조건에 대하여 제거가 가능한 부분은 오렌지색으로 표현된다. 이 부분은 질량을 제거하여도 구조물의 구조적 안정성에 크게 영향을 주지 않는 부분이다. 이와 반대로 구조물의 질량을 제거하지 못하는 부분은 회색 부분을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

형상최적화 결과에서 질량 제거가 가능한 부분으로 표현된다고 할지라도 구조적, 기능적, 가공 편의성, 조립 편의성 등에 영향을 준다면 제거하지 않는 것이 바람직하다.

브레이크 캘리퍼와 같이 좁은 공간에서 원활한 가공 공간을 확보하기 위해서는 본체가 얇은 것이 훨씬 유리하다. 따라서 모델링 수정은 Fig. 7과 같이 기어가 결합되어 있는 본체의 두께를 줄이는 방향으로 하였다. 기존 모델링에서 본체의 두께는 37 mm 이었으나, 수정된 모델링에서는 32 mm로 기존 모델링 대비 13.5% 얇아졌음을 확인할 수 있다. 수정된 앵글 헤드 스피들은 Fig. 7에서 확인할 수 있다.

3.4 수정된 앵글 헤드 스피들 케이스 구조해석 결과

형상최적화에 대한 결과 검증을 위하여 수정된 앵글 헤드 스피들 케이스에 대한 구조해석을 수행하였다. 기존 앵글 헤드 스피들 케이스의 구조해석과 동일한 경계조건으로 구조해석을 수행하였다.

공작기의 최대 토크와 가공시 발생하는 힘으로부터 앵글 헤드 스피들 케이스가 받는 최대 응력은 약 81 MPa임을 확인하였다. 앵글 헤드 스피들 케이스에 나타나는 최대 등가응력은 기존의 앵글 헤드 스피들 케이스와 동일하게 4번째 축에서 나타났으며, 최대 변형량 또한 동일한 축에서 나타나는 것을 확인하였다.

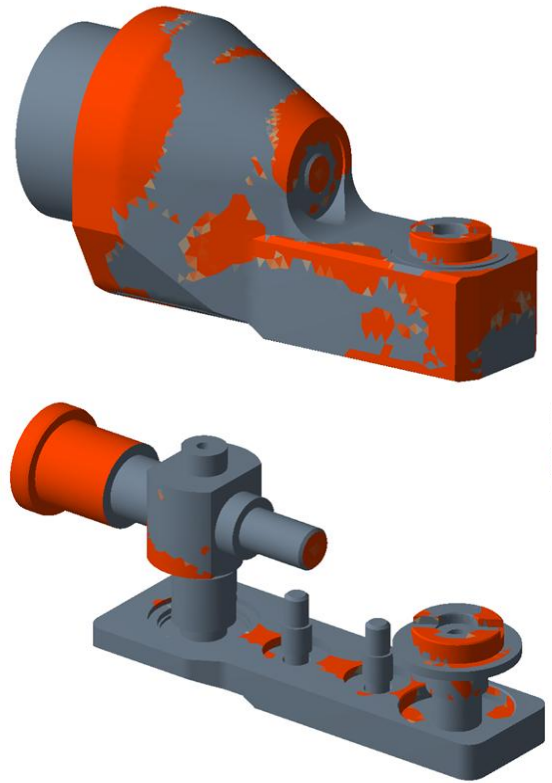


Fig. 6 Shape optimization for the angle head spindle

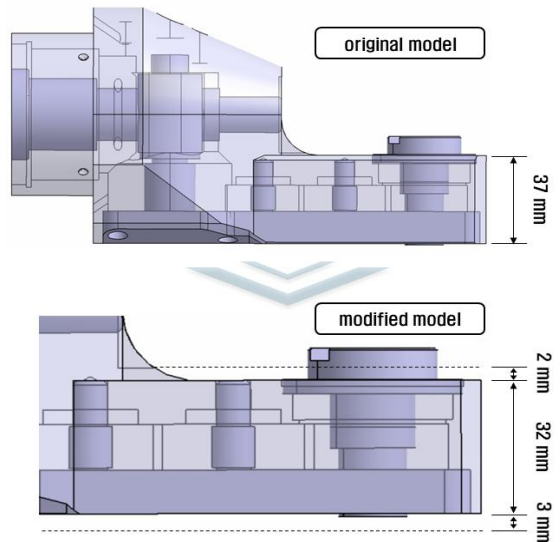


Fig. 7 Modification of the case modeling

소재의 허용응력 680 MPa과 비교하였을 때 안전율 8.4를 가지므로 앵글 헤드 스피들 케이스에 대한 구조적 건전성을 확보했다고 판단된다.

수정된 앵글 헤드 스피들 케이스에 대한 구조 해석 결과는 기존 앵글 헤드 스피들 케이스 구조 해석 결과와 비교하여 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Comparison of results of structural analysis between the original model and the modified model

	equivalents stress [MPa]	total deformation [mm]	safety factor
original model	103	0.01	6.6
part	the 4th shaft	the 4th shaft	
modified model	81	0.01	8.4
part	the 4th shaft	the 4th shaft	

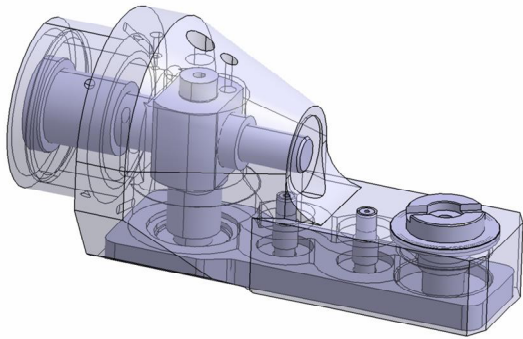


Fig. 8 Modified case of the angle head spindle

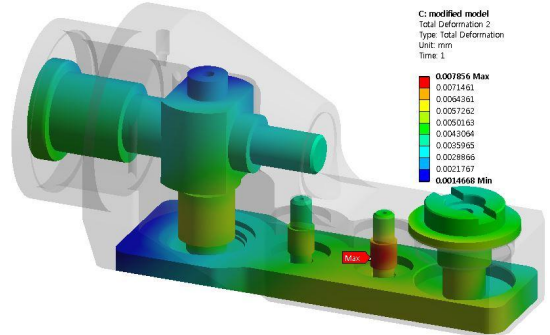
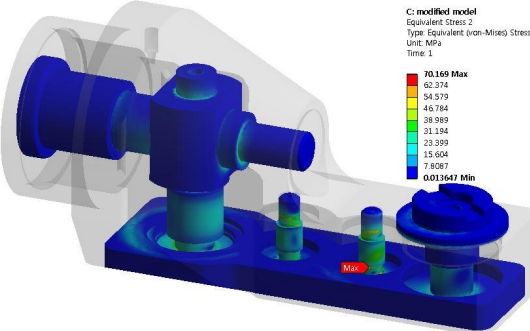
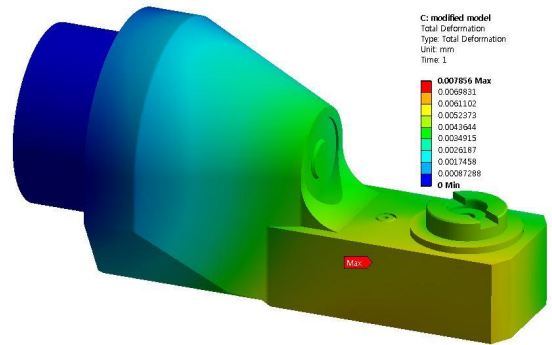
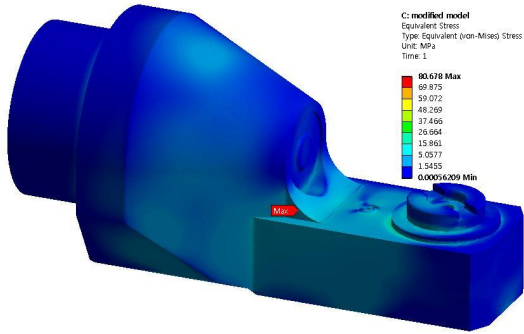


Fig. 9 Structural analysis for the modified case (equivalent stress)

Fig. 10 Structural analysis for the modified case (total deformation)

4. 결 론

본 논문에서는 공작기계에 장착되어 협소 공간 절삭가공을 가능하게 하는 앵글 헤드 스피들에 대한 구조해석 및 형상 최적화 해석을 수행하였다.

앵글 헤드 스피들 케이스는 앵글 헤드 스피들 내부 기어 시스템을 지지하는 역할과 함께 가공시 발생하는 외력에 대항하여 구조물을 지지하는 역할을 수행하고 있다.

앵글 헤드 스피들 케이스에 대한 구조해석 결과 케이스에 작용하는 외력으로부터 헬리컬 베벨 기어와 헬리컬 기어가 결합되어있는 두 번째 축에서 최대등가응력 83 MPa이 발생하고, 안전율 8.19를 가지는 것을 확인하였다.

기존 모델에 대한 형상최적화를 수행한 결과를 바탕으로 케이스 두께를 기존 모델링 대비 약 13.5% 얇게 수정하였다. 수정된 앵글 헤드 스피들 케이스에 대한 구조해석 결과 네 번째 축에서 최대등가응력 81 MPa이 발생하였고, 안전율 8.4를 가지는 것을 확인하였다.

따라서 앵글 헤드 스피들 케이스에 대한 구조해석과 최적화 해석을 통해 기존 모델링보다 13.5% 얇게 설계하여도 케이스에 작용하는 외력으로부터 케이스가 구조적으로 안전하다고 판단된다.

후 기

“본 연구는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역신산업선도인력양성사업(NRF-2016H1D5A1910421)과 중소벤처기업부의 기술개발사업(S2680812)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Kim, J. S. and Kim, Y. J., “Cutting Performance of a Developed Small-angle Spindle Tool,” Journal of the Korean Society of Manufacturing

Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 111-117, 2016.

2. Lee, I. W., Han, S. G., Shin, Y. I., and Song, C. K., “A Study on Efficiency of Tapered Roller Bearing for an Automatic Transmission,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 5, pp. 30-36, 2018.

3. Han, S. G., Shin, Y. I., Yoon, C. H., and Song, C. K., “Strength and Durability Analysis of the Double Planetary Gears,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 5, pp. 28-34, 2014.

4. Hong, S. M., Park, D. H., Han, S. G., and Song, C. K., “A Study on the Drilling Performance of the Assembly Machine for the an Aircraft’s Main Wings,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 1, pp. 8-15, 2018.

5. Park, H. K., Lee, S. M., Lee, C. S., Chae, S. S., Lee, W. S., Choi, Y. S., Jo, H. T., Baek, Y. J., and Lee, J. C., “A Study on the Characteristics of High-speed Small-diameter Wipe Milling for A16061,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 3, pp. 24-28, 2012.

6. Kang, I. S., Kim, J. S., Kim, S. W., and Lee, K. Y., “The Characteristics of Cutting Force and Surface Roughness According to Tool Tilting Angle in 5-axis High Speed Machining of Molds,” Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 63-69, 2007.

7. Baptista, B., and Antune, J. F., “Three and Five Axes Milling of Sculptured Surfaces,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 103, pp. 398-403, 2000.

8. Lee, C. H., “Optimization of Spindle Units Considering the Decrease of Bearing Stiffness at High Speed Revolution,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol 19, No. 6, pp. 747-723, 2010.

9. Hwang, J. D., Kim, J. H., Son, H. J., Cho, Y.

- T., and Jung, Y. G., "A Study on the Development of Post Processor for Five-Axis Machining using Angle Head Spindle," Vol. 16, No. 13, pp. 2683-2689, 2015.
10. Lee, J.-H., "A Study on the Cutting Characteristics of FCD500 for the Automobile Brake Components", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 1, pp. 6~11, 2018.
11. Oh, J. W., Sun, K. Y., Nam, H. S., and Lee, S. R., "Numerical Analysis on Heat Transfer Characteristics of Ventilated Disc Brake with Holes", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 1, pp. 33~39, 2018.
12. Lee, B. H., LEE, C. R., Jeong, Y. J., Kim, B. H., "A Study on the Structural Analysis of Electric", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 2, pp.154~159, 2018.
13. Kim, S. J., Park, J. W., "A Study on Improvement of Durability According to Crack of Steering Gearbox Bracket of Military Light Trucks", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 2, pp.253~260, 2018.
14. Bae, H. E., Kim, H. S., Ryu, M., R., Jeon, H. Y., "A Study on Braking Performance of Brake Disc with Dual-Material", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 3, pp.300~305, 2018.
15. Lim, J. M., Ha, T. W., "A Study on the Brake Performance for Establishing Inspection Standards of Motorcycle Brake System", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 5, pp.644~651, 2018.
16. Ko, D. S., Myug, S. S., Kang, B. Y., Kim, M. S., "A Study on Thermal Characteristics of Adaptor Housing for Commercial Vehicles according to Molten Metal Condition", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 6, pp.745~750, 2018.
17. Kim, D. H., "Development of Automatic Gear Modeling Module Using Computer Aided Design(CAD)", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 6, pp.703~808, 2018.
18. Kim, B. H., Jeong, Y. J., Lee, C. R., "Optimum Design of a Tubular Link Chain Conveyor for Sludge Transport", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 6, pp.830~835, 2018.
19. Kim, D. H., "Structural Stability Analysis of a Mount in 120mm Self-propelled Mortar", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 6, pp.836~843, 2018.
20. Kim, M. H., "Structural Safety Evaluation of PBD Composite Perforator's Leader for Soft Ground Improvement", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 6, pp.894~900, 2018.