

# 스마트 기기용 강화유리&사파이어 유리 전용 가공기의 진동해석을 통한 설계 개선에 관한 연구

조준현\*, 박상현\*, 안범상\*, 이종찬\*<sup>#</sup>

\*금오공과대학교 기계설계공학과

## A Study on Design Improvement by Vibration Analysis of Hardened Glass & Sapphire Machining Equipment for Smart IT Parts Industry

Jun-Hyun Cho\*, Sang-Hyun Park\*, Beom-Sang An\*, Jong-Chan Lee\*<sup>#</sup>

\*Mechanical Design of Kumoh University of Science and Technology

(Received 31 July 2015; received in revised form 9 January 2016; accepted 26 January 2016)

### ABSTRACT

High brittleness is a characteristic of glass, and in many cases it is broken during the process of machining due to processing problems, such as scratches, chipping, and notches. Machining defects occur due to the vibration of the equipment. Therefore, design techniques are needed that can control the vibration generated in the equipment to increase the strength of tempered glass. The natural frequency of the machine tool via vibration analysis (computer simulation) must be accurately understood to improve the design to ensure the stability of the machine. To accurately understand the natural frequency, 3D modeling, which is the same as actual apparatus, was used and a constraint condition was also applied that was the same as that of the actual apparatus. The maximum speeds of ultrasonic and high frequency, which are 15,000 rpm and 60,000 rpm, respectively, are considerably faster than those of typical machine tools. Therefore, an improved design is needed so that the natural frequency is formed at a lower region and the natural frequency does not increase through general design reinforcement. By restructuring the top frame of the glass processing, the natural frequency was not formed in the operating speed area with the improved design. The lower-order natural frequency is dominant for the effects that the natural frequency has on the vibration. Therefore, the design improvement in which the lower-order natural frequency is not formed in the operating speed area is an optimum design improvement. It is possible to effectively control the vibrations by avoiding resonance with simple design improvements.

**Key Words** : Natural Frequency(고유진동수), Glass Machining Equipment(유리가공기), Design Improvement(설계 개선), Vibration Control(진동제어)

## 1. 서 론

스마트 모바일 시장의 급성장에 따라 스마트 기기용 부품 가공 산업시장도 급격하게 증가하는 추세이며, 생산성향상을 목표로 발전되어 가고 있다.

# Corresponding Author : [jclee@kumoh.ac.kr](mailto:jclee@kumoh.ac.kr)

Tel: +82-011-812-4226, Fax: +82-054-478-7319

이에 따라 공작기계의 고속화, 무인화가 빠른 속도로 진행되고 있으며 성능은 가공정도와 생산성에 의해 평가된다.

스마트 모바일, 태블릿 PC가 등장하면서 화두가 되고 있는 문제 중 하나는 스마트 기기용 강화유리의 강도와 수율문제이다. 강화유리는 가공하는 과정에서 깨지고 금이 가는 경우가 많아 다른 부품들에 비해 불량률이 매우 높다. 제조상의 불량이나 니더라도 강화유리의 경우 충격이 가해지게 되면 쉽게 깨지거나 금이 가지는 경우가 빈번히 발생하게 되며 이러한 문제는 장비의 진동에 의한 가공결함인 Scratch, Chipping, Notch, Crack에 의한 영향으로 발생된다. 장비의 진동이 커질수록 결함 발생이 증가하고 강화유리의 강도가 떨어지게 되며, 충격에 의한 손상이 쉽게 일어날 수 있다. 따라서 강화유리의 강도를 높이기 위해 장비에 발생하는 진동을 제어 할 수 있는 설계기술이 필수적이다.

본 연구에서는 강화유리와 사파이어유리의 홀 가공과 면취가공을 위한 초음파가공 장비와 고주파가공장비를 하나의 장비에 구현함으로써 공정축소 및 생산성향상을 위한 장비를 제작하고자 한다. 초고속 가공(최대속도 15,000rpm/60,000rpm)인 홀 가공과 면취가공을 하나의 장비에 구현하며 정밀도향상을 위해서는 진동량의 증가를 제어할 수 있는 설계기술이 반드시 필요하다. 따라서 본 연구는 초음파 및 고주파 스피들을 이용한 강화유리 홀 가공 및 면취가공의 진동을 제어하기 위해 시뮬레이션을 통해 분석하고 장비의 진동을 억제할 수 있는 개선안을 도출하여 이를 적용함으로써 장비의 안정성을 개선할 수 있는 최적설계 개선안을 도출하는 것을 목표로 한다.

## 2. 모델링 및 구속조건

### 2.1 유리가공기의 모델링

유리가공기의 전체 시스템은 작업자의 작업환경을 고려하고 강성구조를 갖는 주물 베드, 전체 장비 크기에 따른 주축의 이동거리 등을 선정하여 최적의 가공을 수행할 수 있도록 시스템을 고안하였다. 장비의 진동특성 분석을 위한 재료의 물성

Table 1 Material properties of GC 300

Young's Modulus (E)	125 GPa
Poisson Ratio ( $\nu$ )	0.3
Density ( $\rho$ )	$7.25 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$

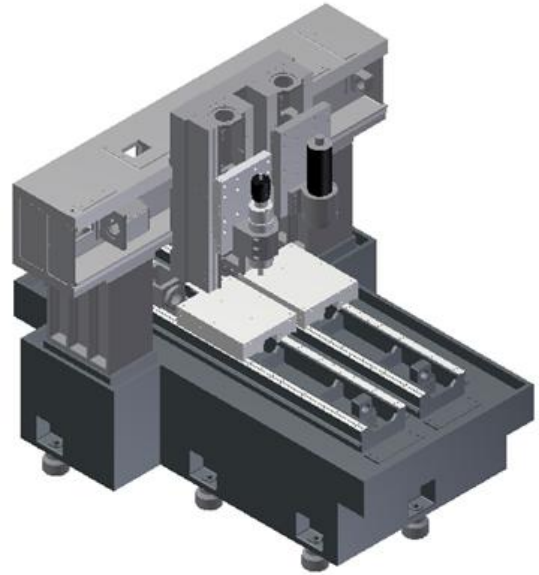


Fig. 1 Modeling of the hardened glass & sapphire machining equipment

치는 Table 1에 나타내었다.

Fig. 1의 그림은 본 연구의 모델링 및 해석의 대상으로 유리가공기의 구조물 전체 시스템을 해석에 최적화한 상태의 모델링이며, 해석에 큰 영향을 미치지 않는 LM Guide, Block 등 전체 구조물에 상대적으로 큰 비중을 차지하지 않는 것은 제외한 단순화 모델링이다. 여기서 하부 지지대는 모두 구속된 것으로 가정하였다.

유리가공기의 모델링은 AutoDesk사의 Inventor 프로그램을 사용하였으며, 장비의 진동특성 분석은 ANSYS 14.5 프로그램을 이용하였다.

### 2.2 진동해석

진동해석은 일반적으로 자유진동해석과 강제진동

해석으로 나눌 수 있으며, 고유진동수를 찾아내는데 이용되는 것은 자유진동해석이다. 고유진동수는 물체가 가지고 있는 본래의 진동수로서 외부에 의한 진동수와 고유진동수가 일치하게 되면 공진이 일어나게 된다.

이 공진은 장비에 치명적인 영향을 미치며 때로는 요소 부품 또는 장비자체가 파손되는 결과에 이르기까지 한다. 이에 따라 장비의 설계단계에서 공진이 발생하는 고유진동영역을 진동특성 분석을 통해 정확히 확인하고 작동속도와 고유진동수가 일치하지 않도록 하는 설계 및 개선을 통해 설계안정성을 검토하여야 한다.

### 2.3 기존설계 모델의 진동해석

Fig. 2~7은 기존설계의 진동해석을 통해 모드 1~6의 진동형상을 나타낸 것이고, Table 2는 각각

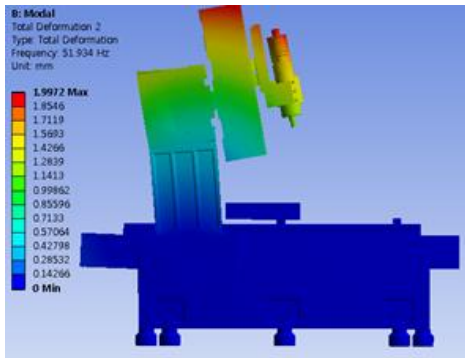


Fig. 2 The analysis result of mode 1

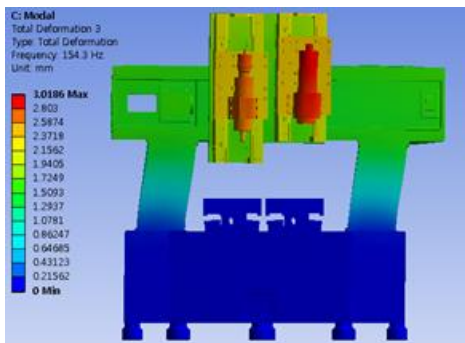


Fig. 3 The analysis result of mode 2

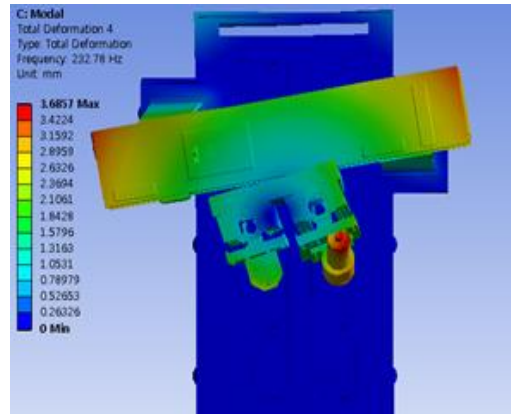


Fig. 4 The analysis result of mode 3

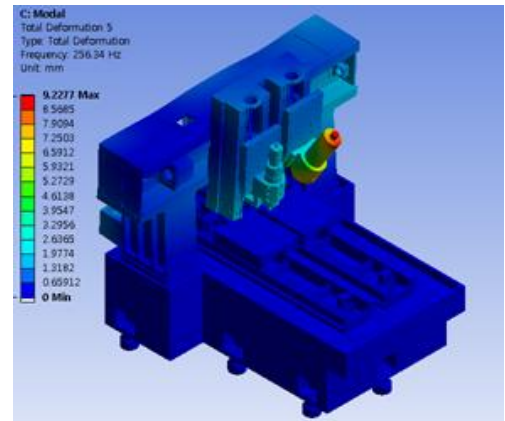


Fig. 5 The analysis result of mode 4

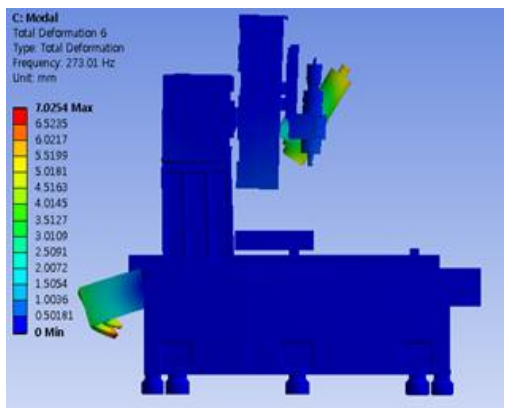


Fig. 6 The analysis result of mode 5

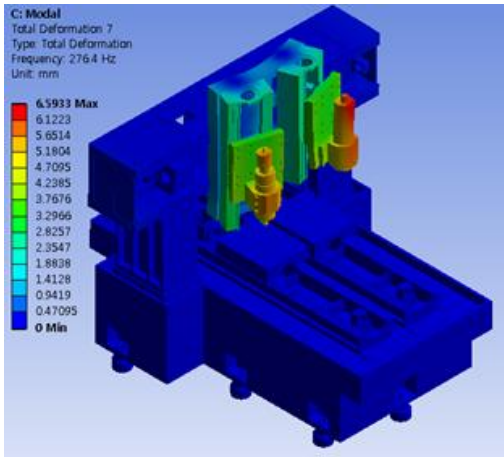


Fig. 7 The analysis result of mode 6

Table 2 Natural frequencies of the original structure

Mode	Natural frequency (Hz)	RPM
1	88.326	5299.56
2	154.3	9258.00
3	232.78	13966.80
4	256.34	15380.40
5	273.01	16380.60
6	276.4	16584.00

의 모드에 해당하는 고유진동수를 나타낸 것이다. 일반적으로 공진에 의한 영향은 저차수의 고유진동수가 미치는 영향이 매우 지배적이다. 따라서 저차수의 고유진동수와 작동속도의 일치를 피하는 설계 개선을 통하여 설계 안정성을 확인한다.

초음파 스피ن들의 경우 최대속도 15,000rpm 작동속도와 모드 4의 고유진동수가 일치할 가능성이 대단히 높으며, 주 작동속도인 10,000rpm과 모드 2의 고유진동수가 일치하여 공진이 일어날 수 있다. 그러나 공진의 영향은 모드 1,2 의 영향이 지배적이므로 설계 개선안을 도출하여 모드 2의 고유진동수가 작동속도를 피할 수 있도록 개선안을 모델에 적용하여 개선 효과를 확인하는 과정을 거쳐 안정된 구조를 완성한다.

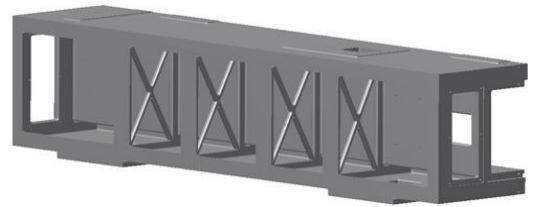


Fig. 8 The top of frame of the original structure

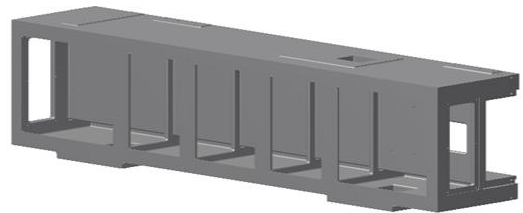


Fig. 9 The top of frame of the improved structure

### 3. 설계 개선을 통한 안정화

#### 3.1 설계 개선

본 연구의 대상인 유리가공기는 초음파 및 고주파 스피ن들을 이용한 초고속 가공이 이루어지므로 일반적으로 이루어지는 설계 개선인 구조물의 보강을 통한 진동 전달을 억제하는 설계 변경과는 다르게, 구조적 안정성을 해치지 않는 범위의 구조물 제거를 통하여 고유진동수가 낮게 형성되도록 설계를 변경하여야 한다.

상부 프레임의 구조적 안정성을 해치지 않으며, 모드 2의 고유진동수가 낮은 영역에서 형성되도록 하는 상부 프레임의 X형 구조물을 제거하여 모드 2의 진동 범위를 낮게 형성하도록 설계 변경하였다.

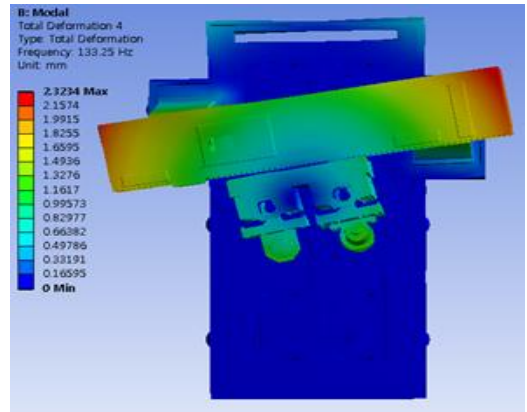
Fig. 8은 기존 설계의 상부 프레임 형상이며, 개선된 설계 상부 프레임은 Fig. 9에 나타내었다.

#### 3.2 설계 개선된 모델의 진동해석

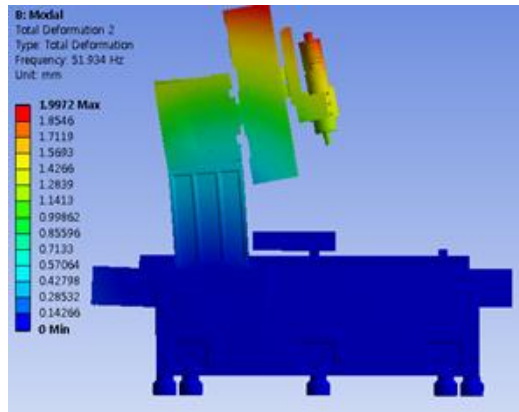
Fig. 10~15는 개선된 구조의 진동해석을 통해 얻은 모드 1~6의 진동형상이며, Table 3은 개선된 구조의 모드 1~6의 고유진동수를 나타낸 것이다.

**Table 3 Natural frequencies of the improved structure**

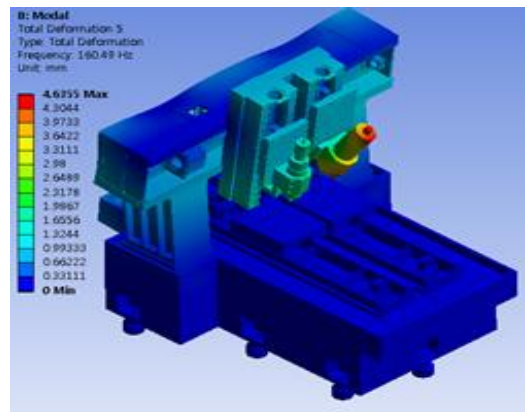
Mode	Natural frequency (Hz)	RPM
1	51.934	3116.04
2	91.305	5478.30
3	133.25	7995.00
4	160.49	9629.40
5	189.7	11382.00
6	209.29	12557.40



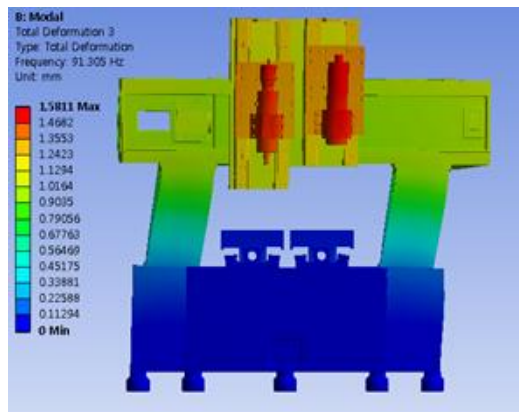
**Fig. 12 The analysis result of mode 3**



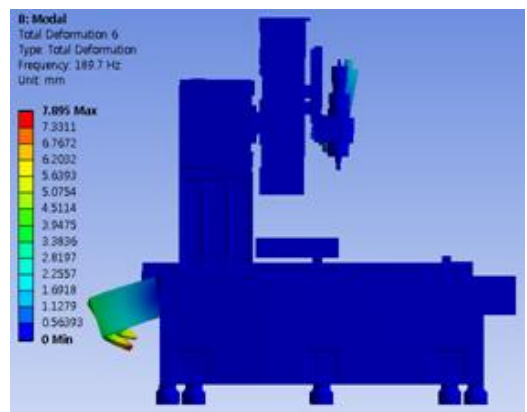
**Fig. 10 The analysis result of mode 1**



**Fig. 13 The analysis result of mode 4**



**Fig. 11 The analysis result of mode 2**



**Fig. 14 The analysis result of mode 5**

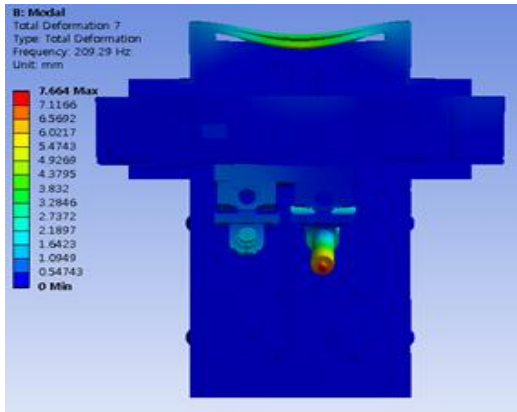


Fig. 15 The analysis result of mode 6

상부 프레임의 설계 개선 전과 비교하여 설계 개선 후 장비의 고유진동수가 전체적으로 낮은 영역에서 형성되는 것을 알 수 있었고, 주 작동속도인 10,000rpm과 일치하던 모드 2의 고유진동수가 91.305Hz(5478.3rpm)로 감소하여 진동의 영향이 지배적인 저차수의 고유진동수는 작동속도를 매우 벗어나도록 설계 개선을 하여 진동에 대해 안정적인 설계를 하였다고 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 스마트 기기용 강화유리&사파이어 유리가공기의 진동해석을 통해 진동의 원인을 파악하고 그에 따른 상부 프레임의 설계 개선을 통하여 설계 개선 전, 후의 고유진동수를 비교하여 아래와 같은 결론을 내렸다.

1. 상부 프레임의 설계 개선을 통해 개선 전의 고유진동수에 비해 개선 후의 고유진동수가 전체적으로 낮은 영역에서 형성되는 것으로 나타났다.
2. 설계 개선 전 모드 2의 고유진동수는 154.3Hz로 주 작동속도에 해당되므로 공진의 가능성이 매우 크다는 것을 알 수 있으며, 설계 개선 후 모드 2의 고유진동수는 91.305Hz로 감소하여 설계 개선을 통한 공진 회피로 진동을 효과적으로 제어

할 수 있음을 확인하였다.

3. 최소한의 설계 개선을 통해 공진 회피로 진동을 효과적으로 제어함으로써 기계의 안정성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.
4. 추가적인 연구를 통해 상부 프레임의 강성 감소로 인한 구조적안정성을 확인할 예정이다.

#### 후 기

본 연구는 한국산업기술평가관리원이 지원하는 사업화연계기술개발사업(R&BD)로 수행중이며 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### REFERENCES

1. Kwon. I. H, Ro. S. H., Park. Y. R., Yi. I. H., Kil. S. G. and Park. K. W., "Design Modifications of a Glass Cutting Machine for the Improved Stability," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 3, pp. 6-14, 2014.
2. Ro. S. H., Lee. M. S., Park. K. W., Kang. H. T., Lee. J. H. and Yang. S. H., "Design of a Stabilized Milling Machine for the Improved Precision Machining," Journal of the Korean Society of Industrial Application, Vol. 14, No. 2, pp. 45-52, 2011.
3. Lee. C. S., Chae. S. S., Kim. T. S., Lee. S. M., Park. H. K., Jo. H. T. and Lee. J. C., "A Study on the Vibration Analysis of Tapping Center," Proceedings of KSMPE Spring Conference, pp. 233-237, 2009.
4. Lee. T. H. and Choi. J. W., "Structural Analysis no Horizontal CNC Lathe," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 20, No. 3, pp. 298-303, 2011.
5. Kim. J. H., Kang. M. C., Kim. J. S. and Kim. K. T., "Evaluation of Vibration Property and Machinability of Spindle System in High Speed Machining Center," Proceedings of KSPE Autumn Conference, pp. 16-21, 2002.