반도체디스플레이기술학회지 제18권 제1호(2019년 3월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 18, No. 1. March 2019.

가공 제품 품질 향상을 위한 면취장비의 설계 개선

이일환*·노승훈†·한대성**·김영조***·길사근*·박인규****
*주식회사 티브이에스, †금오공과대학교 기계시스템공학과, **금오공과대학교 대학원,
***구미대학교 기계공학과, ****한국로봇융합연구원

Design Alterations of a Chamfering Machine Structure for the Improved Surface Quality

Il Hwan Yi*, Seung Hoon Ro†, Dae Sung Han, Young Jo Kim***,
Sa Geun Kil* and In Kyu Park****
*TVS CO., LTD., †Dept. of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology,
**Graduate School, Kumoh National Institute of Technology,
***Dept. of Mechanical Engineering, Gumi University,
****Korea Institute of Robot and Convergence

ABSTRACT

Pipes are widely used in various industries such as automobile, anti-vibration devices, factories and ship building. Chamfering is one of the most critical processes in pipe manufacturing which removes burrs of the pipes for better surface quality. In most cases, the defects of the chamfered surface are originated from the structural vibrations of the chamfering machine. In this study, the dynamic characteristics of a chamfering machine have been analyzed though the experiment and the computer simulation. And the effects of the design parameters affecting the stability of the machine have been investigated to stabilize the machine structure and further to reduce structural vibrations. The result shows that design alterations to stabilize the machine can suppress the defects of the machined surface as well as the vibrations during chamfering.

Key Words : Chamfering Machine, Pipe Chamfering, Design Alteration of the Supporting Structure, Vibration Suppression, Stability Improvement

1. 서 론

본 논문은 절단된 Pipe의 가공결함을 제거하기 위해 사용되는 Pipe 양면 가공 장비의 구조 안정화 설계를 목표로 한다. 강관, 환봉은 산업기초 분야의 필수적으로 사용되는 원자재로 자동차, 철도, 항공기와 같은 운송 분야에서부터 전·전자 및 기계분야 등 산업 전반에서 다양한 부품들의 소재로 사용되고 있다. 강관이나 파이프 형태의 원형 자재는 사용 목적이나 모양에 따라 다양한 크기로 절단 후 2차 가공(성형, 용접, 조립)되는데 파이프를 절단하는 과정에서 필연적으로 단면에 가공 결함(Crack, Burr)이 발생되며 이러한 가공 결함은 후 공정(가공, 조립)에서 제품 불량의 원인이 되기 때문에 결함을 제거하는 면취 공정이 필요하다.

본 연구는 면취 장비의 진동 확대에 영향을 미치는 원인을 분석하고 그 결과를 바탕으로 장비의 진동을 억제를 위한 안정화 설계안 도출하여 장비 안정성을 확보하고 가공품질을 높일 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

†E-mail: shro@kumoh.ac.kr

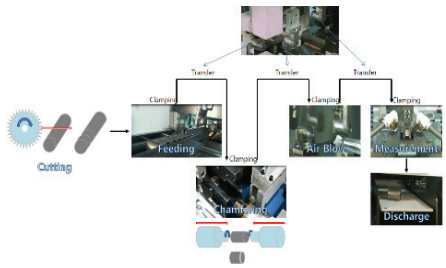


Fig. 1. Process of the chamfering.

2. 진동 측정

2.1 장비 구조 및 명칭

Fig. 2는 양면 가공 장비의 주요 부위 명칭을 나타낸 것이다.

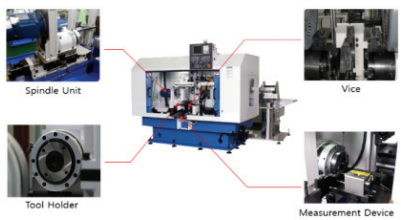


Fig. 2. The structure of a pipe chamfering machine.

2.2 진동 분석 실험

장비의 진동 원인 분석을 위하여 주파수분석 실험을 진행하여 구조물의 고유진동수와 진동형을 파악한다. 진동 분석 실험에서 사용된 실험 장비의 사양 및 준비 상태는 아래의 Fig. 3 및 Table 1 과 같다.

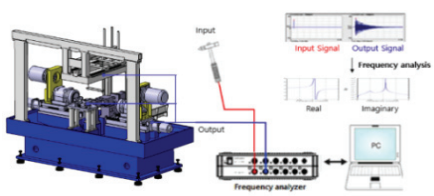


Fig. 3. The setup for the frequency response test.

Table 1. Spec. of the test equipments

Spec equipment	Model	Company
FFT. analyzer	Net dB PRO-WA	AREVA
Accelerometer	8634b5	Kistler
Impact hammer	DYTR PULSE	Dytran

Fig. 4와 같이 장비에 가속도 센서를 부착한 후 힘(Input)을 가하고 그에 따른 진동(Output)을 측정한 후 주파수분석기를 통해 주파수영역으로 Transformation 하면 전달함수를 얻을 수 있다[1].

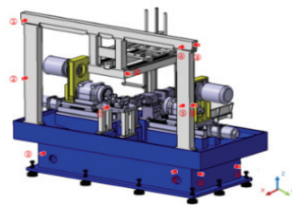


Fig. 4. The locations of the sensors.

Fig. 5는 실험을 통하여 얻어진 전달함수 Imaginary 그래프이며 Fig. 6은 Fig. 5의 붉은 박스를 확대한 것이다. Imaginary 그래프의 Peak점에서 고유진동수를 확인할 수 있으며[1] 그래프를 통해 1차 고유진동수는 30.76Hz이며2차 고유진동수는 44.89Hz, 3차 고유진동수는 51.14Hz임을 알 수 있다[2].

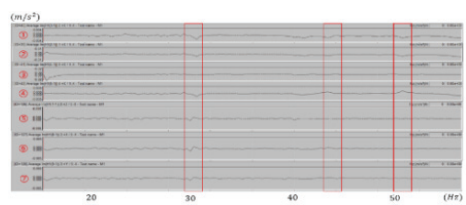


Fig. 5. Transfer functions of the machine (Imaginary part, x axis).

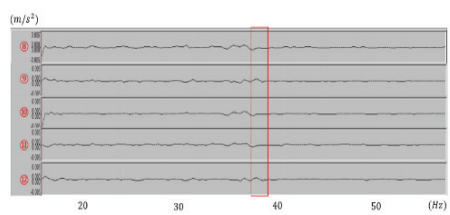


Fig. 6. Transfer functions of the machine (Imaginary part, y axis).

전달함수의 Imaginary part 그래프Peak점의 방향으로 진동형을 파악할 수 있으며 Imaginary그래프의 Peak 방향에 따른 진동 방향을 화살표로 표시하면 Fig. 7과 같다[3~5].

Fig. 5, 6, 7의 Transfer function에서 얻어진 고유진동수 및 Mode shape은 Table 2. 와 같다.

2.3 Computer simulation

구조물이 가지는 진동 특징과 형태를 분석하기 위하여

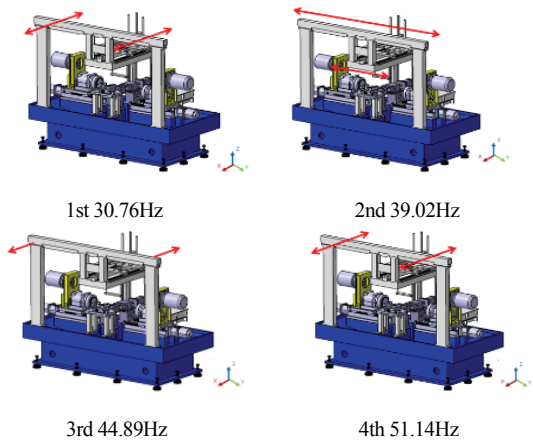


Fig. 7. Mode shapes of the machine(experiment).

Table 2. Natural frequencies of the original structure from the experiment

Mode	Natural frequencies(Hz)	Mode descriptions
1st	30.76	Bending along X direction
2nd	39.02	Bending along Y direction
3rd	44.89	Torsion Z axis
4th	51.14	Bending along X direction

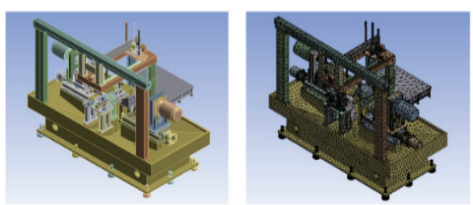


Fig. 8. The model for computer simulation.

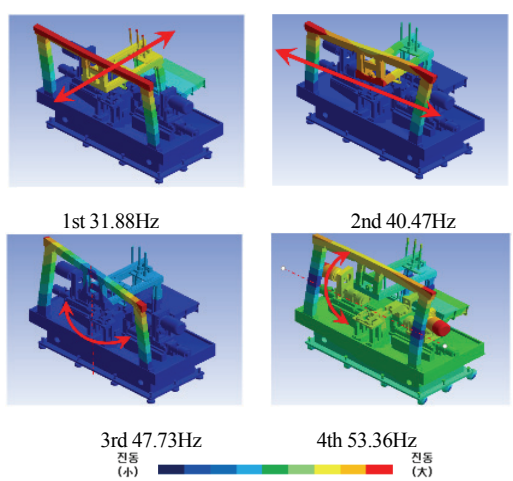


Fig. 9. Mode shapes of the machine(computer simulation).

구조물의 각각의 부위들과 전체에 대한 진동 형태를 유한요소해석의 결과를 통해 규명하여 Simulation 결과가 실험 결과와 일치하는지를 확인한다. 구현된 Simulation model은 Fig. 8과 같다.

Computer simulation 통해 얻어진 장비 고유진동수와 진동형은 Fig. 9와 같다.

면취 장비의 진동 분석 실험과 Simulation 결과는 Table 3.과 같다. 실험과 Simulation의 오차는 6.3% 이하로 모델링이 실제 장비의 동특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

Table 3. Comparison of the natural frequ3encies from experiment and computer simulation

Number \ Analysis		Excitation	Computer simulation	Error
Natural frequencies (Hz)	1st	30.76	31.88	3.6%
	2nd	39.02	40.47	3.7%
	3rd	44.89	47.73	6.3%
	4th	51.46	53.36	4.3%

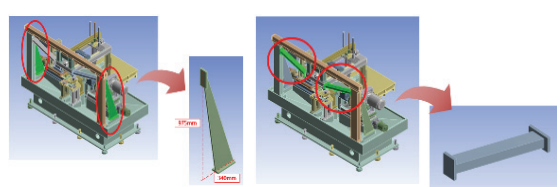
실험과 Simulation을 통해 도출된 장비의 동특성을 바탕으로 문제점을 분석하고 이를 해결할 수 있는 설계개선안들을 도출한다, 그리고 도출된 개선안을 Simulation 모델에 적용한 후 개선안에 따른 효과를 확인하여 최적화된 설계 개선안을 확정한다[6-8].

3. 안정화 설계

진동 분석결과 1차(31.88Hz), 2차 고유진동수(40.47Hz)가 Spindle motor 작동속도 영역(11~42Hz) 내에 있어 공진으로 인한 큰 진동이 발생됨을 알 수 있으며 고유진동수를 높여 공진을 회피시키는 설계 개선이 요구된다[9~12].

3.1 설계 변경(#1) – 전면부 Frame 보강

Fig. 10에 a와 같이 후면에서 Frame을 지지할 수 있는 보강대를 설치하고 b와 같이 상부에 Frame 좌우 보강대를 추가하여 1, 2차 고유진동수를 증가시켜 공진을 회피할 수 있도록 설계 개선하였다.



a. 후면 지지 보강대 b. 상부 지지 보강대

Fig. 10. Design alteration #1.

Table 4와 같이 개선안 적용결과 장비 1, 2, 3, 4차 고유진동수가 각 40.21, 48.70, 58.02, 64.54Hz로 상승하였으나 1차 고유진동수가 공진영역에 포함되어있어 추가 설계 개선을 진행하였다.

Table 4. Natural frequency of the original model and alteration #1

Mode	Natural frequency[Hz]		Comparison [%]
	Original	Alteration #1	
1st	31.88	40.21	26 ↑
2nd	40.47	48.70	20 ↑
3rd	47.73	58.02	20 ↑
4th	53.36	64.54	21 ↑

3.2 설계 변경(#2) – Base 강성 보강

1차 고유진동수와 Main motor 작동속도의 공진 회피를 위해 Base 두께의 높이를 Fig. 11. 과 같이 10mm 늘려 강성이 강화되도록 설계하였다.

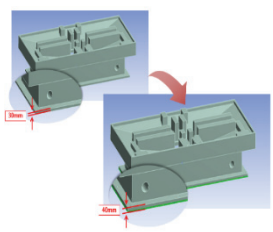


Fig. 11. Design alteration #2.

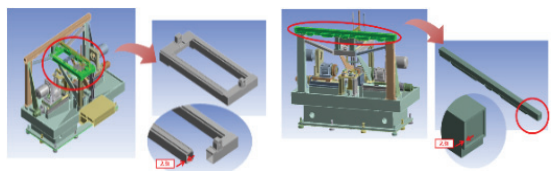
Table 5와 같이개선안 적용 결과1차 고유진동수가 31.88Hz에서 34.63Hz로 9% 증가 하였으며 장비 전체의 강성 강화로 2,3,4차 고유진동수도 10~14% 증가하였다.

Table 5. Natural frequency of the original model and alteration #2

Mode	Natural frequency[Hz]		Comparison [%]
	Original	Alteration #1	
1st	31.88	34.63	9 ↑
2nd	40.47	44.81	11 ↑
3rd	47.73	55.14	14 ↑
4th	53.36	58.82	10 ↑

3.3 설계 변경(#3) – Loading frame, Top frame 질량 감소

장비 상부에 위치한 Loading frame과 Top frame의 질량을 낮춰 고유진동수를 증가시키는 설계안을 적용하였다. 기존 사각 각관 4.5t(mm)로 설계되었던 Loading frame 과 Top frame을 2.5t로 줄여 장비 상부 질량 감소를 통해 고유진동수가 상승되도록 설계하였다.



Loading 부 Top Frame

Fig. 12. Design alteration #3.

Loading frame과 Top frame 두께를 변경시켜 장비 상부의 질량이 낮아져 Table 6.과 같이 1차 36.75Hz, 2차 46.16Hz, 3차 56.46Hz, 4차 60.36Hz로 고유진동수가 증가하였다.

Table 6. Natural frequency of the original model and alteration #3

Mode	Natural frequency[Hz]		Comparison [%]
	Original	Alteration #1	
1st	31.88	36.75	15 ↑
2nd	40.47	46.16	14 ↑
3rd	47.73	56.46	16 ↑
4th	53.36	60.36	13 ↑

3.4 설계 변경(#4) – 장비 높이 축소

강성은 구조물 길이의 세제곱에 반비례하여 증가하므로 장비 전체의 안정성 향상 및 고유진동수 증가를 통한 공진 회피를 위해 Fig. 13 과 같이 Frame의 높이를 축소하였다.

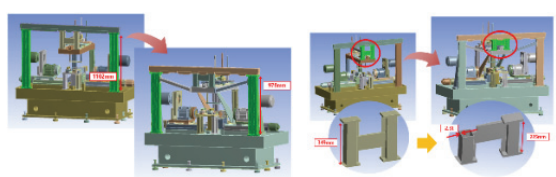


Fig. 13. Design alteration #4.

개선안 적용 결과 Table 7과 같이 1차 37.17Hz, 2차 48.43Hz, 3차 58.65Hz, 4차 61.59Hz로 고유진동수가 증가하였다.

3.5 최종 개선안 도출 및 효과 확인

Table 8은 개선안 #1, #2, #3, #4를 모두 적용한 최종 개선안의 고유진동수를 정리한 것이다. 설계 개선안 적용을

통해 공진이 문제되었던 1, 2차 고유진동수가 각각 58%, 48%, 상승하여 공진을 완전히 회피하였다.

Table 7. Natural frequency of the original model and alteration #4

Mode	Natural frequency[Hz]		Comparison [%]
	Original	Alteration #1	
1st	31.88	37.17	17 ↑
2nd	40.47	48.43	20 ↑
3rd	47.73	58.65	19 ↑
4th	53.36	61.59	15 ↑

Table 8. Natural frequency of the original model and alteration #1~#4

Mode	Natural frequency[Hz]		Comparison [%]
	Original	Alteration #1	
1st	31.88	50.28	58 ↑
2nd	40.47	59.93	48 ↑
3rd	47.73	68.49	39 ↑
4th	53.36	77.01	44 ↑

Fig. 14에서 보이는 노란색 영역은 장비 작동속도를 나타낸 것이며 작동속도 영역에서 개선 전·후 진동 크기의 평균을 비교해보면 Table 9.와 같이 87.1% 감소하는 것을 확인하였다.

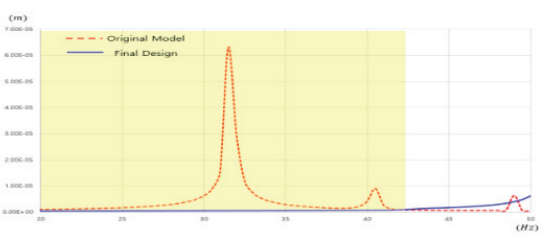


Fig. 14. Comparison of the magnitude of vibrations(x axis)

Table 9. Magnitude of vibrations of the original model and final model(x axis)

Range[Hz]	Magnitude of vibrations [㎛]		Comparison [%]
	Original	Alteration #1	
29~32	3.93	0.509	87.1 ↑

앞서 장비의 동특성 분석과정에서 파악된 구조적 문제점을 개선하기 위하여 강성을 높이고 불필요한 질량을 제거하여 고유진동수를 상승시켜 Spindle motor 작동속도와의 공진을 피하고 Frame의 강성을 강화한 결과 기존 장비에서 발생하는 진동을 87% 억제시켰다.

4. 결 론

본 연구는 Pipe 양면 가공 장비의 안정화를 통한 진동 억제로 가공 정도 및 품질 향상을 목표로 진행되었다. 진동 분석 실험과 Computer simulation을 통해 장비 동특성을 분석하고 진동의 주된 원인을 파악하였다. 이를 바탕으로 공진회피를 위한 설계 개선안을 설정하였으며 Computer simulation에 적용하여 설계 개선안의 효과를 검증하는 과정을 거쳐 최종 설계안을 도출하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 대상 장비의 주파수분석실험과 Computer simulation 결과를 비교한 결과 오차는 6.3% 이하로 Simulation이 실제 장비의 동특성을 잘 반영하고 있으며 Simulation을 통한 분석은 타당성이 있음을 확인하였다.

둘째, 진동분석 결과 장비의 진동 발생 원인은 1차, 2차 고유진동수(31.88Hz, 40.46Hz)가 장비의 주요 가진원인인 Spindle motor의 작동속도영역(11~42Hz) 내에 존재하여 공진 발생으로 인해 진동이 발생하는 것을 확인하였다. 1, 2차 고유진동수에서 장비의 Mode shape은 전면부 Frame에서부터 장비 전체가 전·후, 좌·우로 Bending 하는 형태이고 이를 보완하는 설계안을 다음과 같이 적용하였다.

셋째, 1차 고유진동수 증가를 통한 공진 회피와 앞·**뒤로** Bending 하는 Frame의 강성 강화를 위해 후면에 Frame을 지지할 수 있는 보강대를 설치하였으며 2차 고유진동수 증가를 통한 공진 회피와 좌·**우로** Bending하는 Frame의 강성 강화를 위해 상부에 Frame을 지지할 수 있는 보강대를 설치하여 1, 2, 3, 4차 고유진동수가 40.21, 48.70, 58.02, 64.54Hz로 상승하였다.

넷째, 고유진동수와 장비 Main motor 작동속도의 공진 회피를 위하여 Base 밑판 두께의 높이를 10mm 늘려 강성을 강화하였다. 그 결과 1차 고유진동수가 31.88Hz에서 34.63Hz로 9% 증가 하였으며 장비 전체의 강성 강화로 2, 3, 4차 고유진동수도 10~14% 증가하였다.

다섯째, 공진을 없애기 위해 Loading frame과 Top frame의 질량을 낮춰 고유진동수를 증가시켰다.

여섯째, 장비 전체의 안정성 향상 및 고유진동수 증가를 통한 공진 회피를 위해 Frame의 높이를 축소시켰다.

일곱째, 설계개선안 적용을 통해 공진이 문제되었던 1, 2차 고유진동수가 각각58%, 48% 상승하여 공진 구간을 완전히 벗어났으며 장비 전체적인 강성 강화로 3, 4차 고

유진동수도 상승하였다. 그 결과 진동크기가 x축 방향으로 87.1% 감소하는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. Han Joong Cho and Seung Hoon Ro, Effect of Design Parameters on the Variation of Natural Frequencies of the Uniform and the Nonuniform Cantilever Beams," *Transaction of the KSME, A*, Vol. 23, No. 4, pp. 697-708, 1999.
2. Ro, S. H., Mechanical Vibrations with Applications, Chaosbook, pp. 22-58, 219-223, 2013.
3. Demeter G.Fertis, *Mechanical and Structural Vibration*, New York: John Wiley & sons, Inc., pp. 197-241, 1995.
4. Seung Hoon Ro, Han Joong Cho, and Eun Hwan Choi, "Analysis of the Free Vibrations of Rectangular Plates Using Database," *Transaction of the KSME, A*, Vol. 24, No. 8, pp. 1978-1990, 2000.
5. D.J.Inman Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., *Vibration with Control Measurement and Stability*, London: Prentice-Hall International, 1989.
6. W.Weaver, Jr., S.P.Timoshenko, and D.H.Young, *Vibration Problems*, New York: Wiley, 1990.
7. D.J Inman, *Vibration and Control*, Chichester, U.K.: Wiley, 2006.
8. Jae-Woo An, Optimum Design of a Eco-Friendly Servo Press for the Improved Pressing Accuracy, pp. 13-47, 2010.
9. Moon-Hyung Lee, Structural Design of Universal Cylindrical Grinder for the Improved Stability, pp. 2-28, 2008.
10. Yun-Ho Shin, Design optimization of a hydraulic press structure for the improved precision machining, pp. 4-27, 2016.
11. Ro, S. H., and Park, Y. R., "Stability Design of a Laser Cutter for the Strengthened Glass," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 14, No. 1, pp. 19-25, 2015.
12. Shin, H. B., and Ro, S. H., "Design Alterations of a Squaring & Grinding Machine for the Solar Cell Wafer to Suppress Vibrations," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 16, No. 3, pp. 25-30, 2017.

접수일: 2019년 3월 22일, 심사일: 2019년 3월 23일, 게재확정일: 2019년 3월 25일