

체결력 산포 저감을 위한 볼트 진동 체결기법 개발 Development of Vibrating Bolt Fastening Method for Dispersion Decrease

*이상돈¹, #조용주², 이금강³

*S. D. Lee¹, #Y. J. Cho(yjcho@pusan.ac.kr)², G. G. Lee³

¹ 부산대학교 정밀기계공학과, ² 부산대학교 기계공학부, ³ 부산대학교 기계공학부

Key words : Bolt Joint, Fastener, Vibration, Clamping Load

1. 서론

볼트 체결기술은 산업현장에서 가장 많이 사용되는 체결기법 중 하나이며, 평범한 기계요소처럼 보이지만 매우 중요한 기계요소로서 두 물체의 체결을 유지함과 동시에 접촉면에 대한 내부마찰과 함께 전단하중에도 저항할 수 있는 역할들 담당한다. 또한 조여진 물체의 압축력과 외부에서 작용되는 진동하중을 흡수하여 변동 피로하중으로부터 체결요소를 보호하는 역할을 하기도 한다. 이러한 볼트 설계 및 체결관련 기술은 전체 기계 시스템의 성능과도 직결되는 매우 중요한 기술이다.

현재 널리 사용되고 있는 볼트의 체결기법은 각도법과 토크법이다. 각도법의 경우 체결의 신뢰성은 높으나 너트 회전각의 측정 시작점 결정이 어려우며, 체결각도를 측정하고 제어하는 여러 센서들이 필요하기 때문에 체결기의 가격이 높아지는 단점이 있어 엔진용이나 건설용 고장력 볼트 등에 국한되어 사용되고 있다. 이에 반해 토크법의 경우 볼트에 발생하는 예장력을 일정하도록 체결하는 방법으로 체결토크만을 일정하게 관리하기 때문에 쉽게 산업 현장에 적용할 수 있어 현재 널리 사용되고 있다. 하지만 이러한 토크체결법의 경우 나사산과 볼트의 언더헤드부의 마찰계수에 따라 같은 체결토크에서 다른 체결력이 발생할 수 있기 때문에 목표체결력의 관리가 어렵고, 이러한 문제를 해결하기 위해서 마찰계수의 값을 낮추고 산포를 줄이기 위해 윤활유를 공급하여 체결하는 방법이 사용되고 있다.

본 연구에서는 윤활유를 사용하지 않고 진동을 이용하여 마찰계수를 낮추고 동시에 산포를 줄이는 방법을 개발하였다.

2. 이론적 배경

Fig. 1-① 및 1-②는 물체의 상태도이며, Fig. 1-③ 및 1-④는 원리 상태도로서, 이를 상세히 설명하면, Fig 1-①에서와 같이, 어떤 물체 A가 수직 접촉력 N을 받으면서 속도 \vec{v}_r 로 움직이고자 할 때 마찰 저항은 $F_r = F_0 = \mu N$ 이고(N : 수직 접촉력, μ = 마찰계수) 마찰력 방향은 속도 \vec{v}_r 과 반대 방향이다.

Fig.1-②에서와 같이 \vec{v}_r 의 수직 방향으로 진동을 가하여 임의의 순간의 진동속도가 \vec{v}_v 라면 Fig. 1-③과 같이 물체의 순간 속도는 $\vec{v}_0 = \vec{v}_r + \vec{v}_v$ 이고, 마찰력 방향은 \vec{v}_0 의 반대 방향으로 나타나며, 그 크기는 μN 이다. Fig. 1-④에 나타난 바와 같이 움직이고자 하는 방향 \vec{v}_r 방향의 마찰력,

$$F_r = F_0 \frac{V_r}{V_0} = \mu \frac{V_r}{V_0} N = \mu' N \quad (5)$$

여기서 $V_0 = \sqrt{V_r^2 + V_v^2}$ 이고 μ' 은 겹보기 마찰계수로 다음과 같다.

$$\mu' = \mu \frac{V_r}{V_0} = \mu \frac{V_r}{\sqrt{V_r^2 + V_v^2}} = \mu \frac{1}{\sqrt{1 + (V_v/V_r)^2}} \quad (6)$$

겹보기 마찰계수 μ' 은 진동속도 V_v 가 빨라질수록 원래 마찰계수 μ 보다 $1/\sqrt{1+(V_v/V_r)^2}$ 의 비율로 작아짐을 알 수 있다.

따라서 움직이고자 하는 방향에 수직 방향으로 진동을 가하면 움직이고자 하는 방향으로 나타나는 마찰력은 줄어드는 효과가 나타난다. 이 원리를 이용하여 나사의 체결시 진동을 가함에 따라 나삿니와 나사 자리면에 걸리는 회전방향 마찰력을 줄일 수 있다.

나사의 체결에서 진동에 의한 마찰력의 감소로 체결력이 증가하는 효과는 다음과 같다.

진동을 가하지 않을 때와 가할 때의 체결토크 T_f 에 의한 각각의 나사 체결력 Q_f 와 Q_f' , 그리고 이 둘의 비율은 다음과 같다.

$$Q_f = 2T_f \left(\frac{p}{\pi} + \mu_s d_2 \sec \alpha + \mu_w D_w \right) \quad (7)$$

$$Q_f' = 2T_f' \left(\frac{p}{\pi} + \mu_s' d_2 \sec \alpha + \mu_w' D_w \right) \quad (8)$$

$$\frac{Q_f'}{Q_f} = \frac{\frac{p}{\pi} + \mu_s d_2 \sec \alpha + \mu_w D_w}{\frac{p}{\pi} + \mu_s' d_2 \sec \alpha + \mu_w' D_w} \quad (9)$$

여기서 $\mu_s' = \mu_s \frac{V_r}{V_0}$ 는 나사면의 겹보기 마찰계수,

$\mu_w' = \mu_w \frac{V_r}{V_0}$ 는 자리면의 겹보기 마찰계수로

$\mu_s > \mu_s'$ 이고, $\mu_w > \mu_w'$ 이므로 $Q_f' > Q_f$ 이다. 따라서

$\mu_w > \mu_w'$ 이므로 진동을 가하면 체결력이 커짐을 알 수 있다.

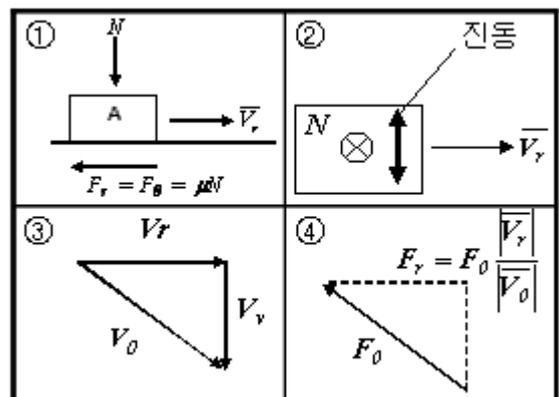


Fig. 1 Principle of vibration effect on clamping force

3. 실험

3.1 실험장치 및 실험조건

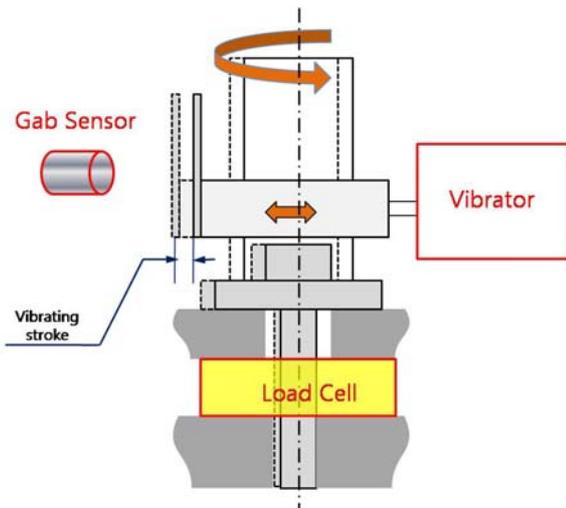


Fig. 2 Experimental device

Fig.2는 본 연구에서 사용한 실험장치를 나타내고 있다. 진동을 가하는 장치는 공압식 가진기를 이용하였으며, 3mm의 최대진폭, 100Hz 수준의 진동을 발생시킬 수 있으며, 직진추력 6.3Kgf, 후진 추력 4.7kgf를 낼 수 있다. 가진기의 앞부분에 사각구멍을 가진 부품을 설치하여 볼트를 체결시 볼트헤드 부분에 진동을 주는 방식으로 체결을 진행하였으며, 진동된 양은 가지부분의 끝단에 평판을 설치하여 갭센서(gab sensor)를 이용하여 측정하였으며, 또한 피체결체 사이에 로드셀(Load cell)을 설치하여 체결력의 변화를 측정하였다.

3.2 실험조건 및 방법

Table 1에는 실험에 사용한 볼트 및 피체결체 재료, 체결 토크, 공압식 가진기에 부여한 공기압 값을 나타내었다.

Table 1 Experimental item

구분	볼트 / 너트	토크	압력	시편재료
값	M6 (스테인리스)	2Nm	7MPa	S45C

본 실험에서 측정하고자 한 주요 데이터는 실제 가진기에 의해 발생하는 진동량(vibration stroke)과 볼트 체결력의 산포이다. 볼트 체결토크의 관리는 전기식 자동 볼트체결기를 이용하였으며, A/D 변환기(Daq 2005)를 이용하여 갭센서와 로드셀에서 입력되는 전압값을 실시간으로 관찰, 데이터 저장되는 방법을 이용하였다.

3.3 실험결과

Fig.3은 볼트 체결시 가한 진동량의 변화와 체결력의 변화를 측정한 결과이다. 빨간색 선은 체결시 피체결체에 작용하는 압축력을 로드셀을 이용해 측정한 결과이고 파란색 선은 공압식 가진기에 의해 진동자가 이동한 거리를 갭센서를 이용해 측정한 결과이다. 체결을 시작하기 전에 먼저 진동을 가하기 시작한 상태에서는 볼트가 자유로운 상태이므로 진동폭이 약 3.7mm이었으나, 체결을 시작하여 볼트에 힘이 가해지면서 진동폭이 감소하여 체결후에는 3.2mm로 줄어 들었음을 확인할 수 있다. 즉 볼트 체결을 하는 동안 가진기에 의해 0~0.5mm 정도의 슬립이 볼트헤

드부에 가해졌음을 알 수 있다.

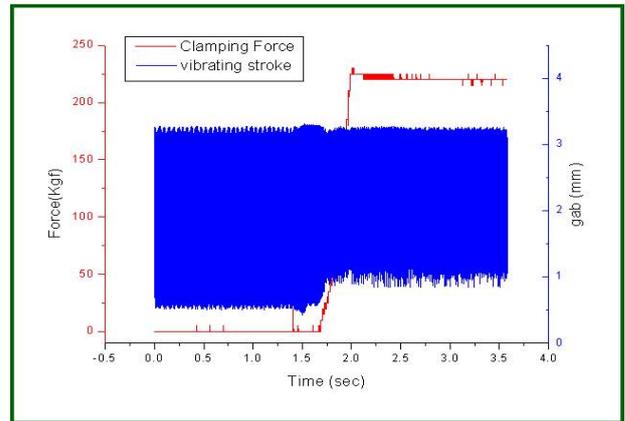


Fig. 3 Clamping force & vibrating stroke change

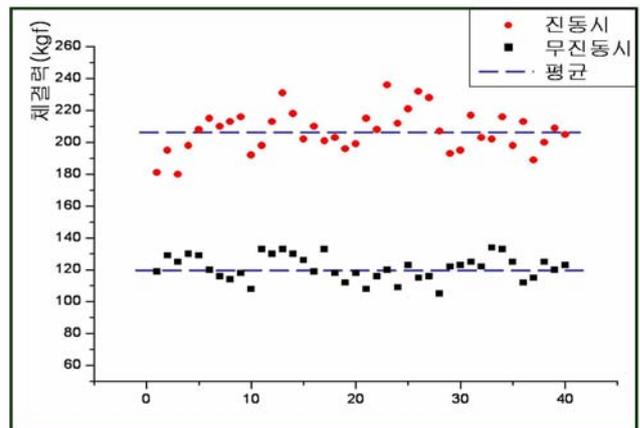


Fig. 4 Distribution of clamping force in vibration condition

Fig.4는 진동과 무진동 체결시험을 각각 40회 반복한 실험결과를 정리한 결과이다. 진동을 가했을 시 마찰계수가 감소하는 효과를 가져와 무진동 체결시보다 동일 체결 토크에서 체결력이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 체결력의 산포율 또한 무진동시 6.96%에서 진동시 6.29%로 감소함을 확인하였다.

4. 결론

본 연구를 통해 볼트체결시 진동을 가한 경우 마찰계수의 감소효과를 확인하였고, 이를 통해 체결력의 산포 또한 감소함을 확인하였다. 다만 공압식 가진기가 일정한 진동을 발생시키는데 문제가 있어, 일정한 진동을 발생시키는 방법을 개선한다면 좀 더 나은 결과를 얻을 수 있을 것이라 예상된다.

후기

이 연구는 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2009-0074148)

참고문헌

- J. H. Bickford, "An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints," 2nd ed., Marcel Dekker, 1990.
- Tusty, J., Smith, S., and Zamudia, C., "Operation Planning Based on Cutting Process Model," Annals of the CIRP, 39, 517-521, 1990.
- I. Yoshimoto, K. Maruyama and H. Hasegawa, "Comparison of Control Methods for Screw Tightening," J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 44, No. 2, PP. 204, 1978.