

볼트 진동 체결시 진폭이 체결력에 미치는 영향에 대한 연구

An Study of Vibration amplitude effect on clamp force in vibration for bolted joint

*이금강¹, #조용주¹, 문석만¹

*G. G. Lee¹, #Y. J. Cho(yjcho@pusan.ac.kr)¹, S. M. Moon¹

¹부산대학교 기계공학부

Key words : vibration, fastener, clamping force

1. 서론

정밀도를 요구하는 구조물뿐만 아니라 일반적인 기계 구조물은 볼트, 리벳 또는 핀 등의 결합요소에 의한 기계 부품들의 조합으로 구성되어 있다. 그 중에서 볼트는 대부분의 기계 구조물에 사용되고 있는 기계요소로서 설계단계부터 견뎌야 할 인장력이나 외부 작용력이 고려되어 볼트의 크기나 체결력을 선정한다. 볼트를 체결할 때 설정된 목표 체결력에 미치지 못하면 풀림의 발생으로 인하여 구조물의 파손 또는 기능의 상실을 일으킬 수 있기 때문에 볼트의 체결력 유지 및 향상은 중요하다. 하지만 볼트의 체결력을 향상시키기 위해서 토크를 높이면 볼트의 허용강도를 초과하여 볼트의 파손을 가져올 수 있으므로 볼트의 손실 없이 체결력을 향상시키기 위한 연구는 계속되어 왔다.

이전의 연구에서는 토크법을 사용하여 볼트를 체결할 때 진동을 가하여 마찰력을 감소시킴으로써 체결력이 향상되는 결과를 볼 수 있었다. 본 연구에서는 앞서 연구에서 수행했던 연구의 결과를 토대로, 진동기의 진폭을 감소시키는 실험을 하여서 진폭의 변화에 따라 체결력의 크기를 증가시키는 효과를 얻는 것에 목적이 있다.

2. 이론적 배경

Fig. 1-① 및 1-②는 물체의 상태도이며, Fig. 1-③은 원리 상태도이다. Fig 1-①에서와 같이, 볼트헤드부에 수직 접촉력 N 을 받으면서 속도 v_r 로 움직이고자 할 때 마찰 저항은 $F_r = F_0 = \mu N$ 이고(N : 수직 접촉력, μ : 마찰계수) 마찰력 방향은 속도 v_r 과 반대 방향이다. Fig. 1-②에서와 같이 v_r 의 수직 방향으로 진동을 가하여 임의의 순간의 진동속도가 v_0 라면 Fig. 1-③과 같이 위에서 본 물체의 순간 속도는 $v_0 = v_r + v_v$ 이고, 마찰력 방향은 v_0 의 반대 방향으로 나타나며, 그 크기는 μN 이

다. 여기서 움직이고자 하는 방향 \vec{v}_r 방향의 마찰력은 $F_r = F_0 \frac{V_r}{V_0} = \mu \frac{V_r}{V_0} N = \mu' N$ 로 나타낼 수 있다.

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

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

μ' 은 진동속도 V_v 가 빨라질수록 원래 마찰계수보다 $1/\sqrt{1 + (V_r/V_v)^2}$ 의 비율로 작아짐을 알 수 있다. 따라서 움직이고자 하는 방향에 수직 방향으로 진동을 가하면 움직이고자 하는 방향으로 나타나는 마찰력은 줄어드는 효과가 나타난다. 이를 이용하여 나사의 체결시 진동을 가하면 회전방향 마찰력을 줄일 수 있다. 나사의 체결에서 진동에 의한 마찰력의 감소로 체결력이 증가하는 효과는 다음과 같다.

진동을 가할 때의 체결토크 T_f 와 나사 체결력 Q_f' 와 μ' 는 다음의 관계를 가진다.

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

여기서 진동을 가하면 체결력이 커짐을 알 수 있다.

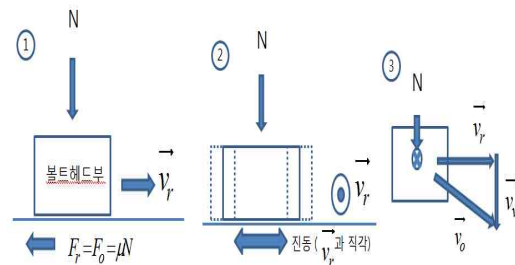


Fig.1 explanation of vibrated effect

3. 실험장치 및 조건

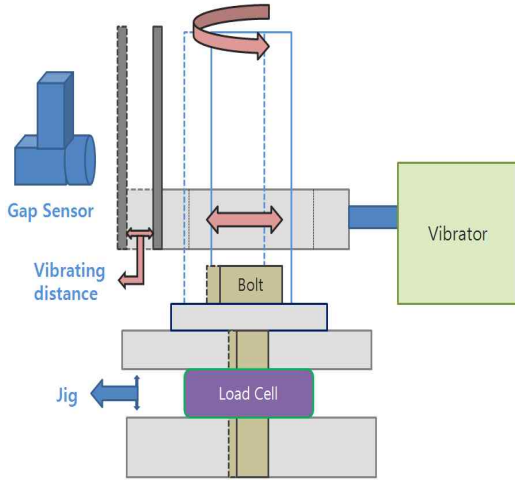


Fig. 2. Experimental device

Fig.2는 본 연구에서 사용한 실험장치를 나타내고 있다. 실험장치에 대해 설명하자면, 가진기의 앞부분에 볼트헤드부에 진동을 줄 수 있게 사각틀을 가진 부품을 설치하고 체결시 진동이 가능하게 했다. 진동량은 사각틀 부품의 끝단에 평판을 설치한 후 진동거리측정장치(Gap Sensor)를 이용하여 진동량을 측정하였으며, 체결력을 받는 부분인 지그(Jig)부분 사이에 로드셀(Load cell)을 설치하여 진동중인 볼트가 체결될 때 체결력의 변화를 측정하였다. 실험에서 체결토크는 고정시키고 진폭의 변화만 주었고 그 진폭의 크기는 4.7mm, 5.2mm의 두 가지 실험조건으로 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 볼트의 재료, 체결토크는 Table 1과 같다.

Table 1. Experimental item

구분	볼트 / 너트	토크	시험재료
값	M6 (스테인리스)	2Nm	S45C

4. 실험결과

Fig. 3은 볼트 체결시 볼트헤드부의 진동량을 2개의 진폭에 대해 측정한 결과를 나타낸 것이다. 삼각형 모양은 진폭이 5.2mm일 때의 결과이고 사각형은 4.7mm의 진폭을 가질 때의 값이다. 결과에서 알 수 있듯이 진폭이 5.2mm일 때 평균진동량이 0.243mm이었던 것이 진폭 4.7mm에서는 0.223mm의 평균진동량을 보였다. Fig. 4는 체결력을 측정한 결과인데 5.2mm의 진폭일 때

112.5kgf의 평균체결력을 보이고 4.7mm의 진폭일 때는 96.3kgf의 평균체결력을 나타냄을 확인할 수 있다.

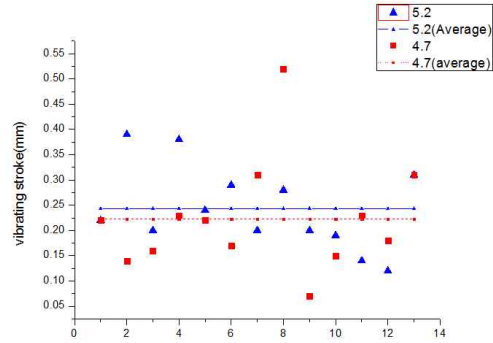


Fig. 3 Vibrating amplitude vs. applied stroke

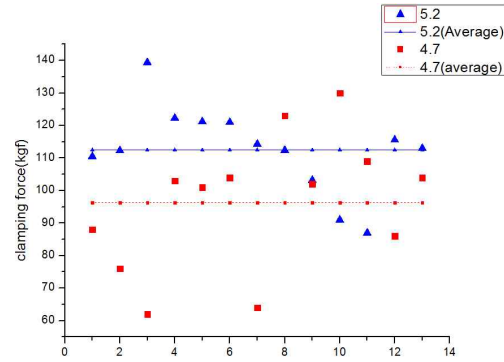


Fig. 4 Clamping force vs. applied stroke

5. 결론

볼트의 진동 체결시 가진기 진폭을 증가시키면 볼트 헤드 진동량의 증가함을 볼 수 있었고 진동의 증가에 따른 체결 마찰력의 감소 효과로 체결력도 함께 향상되었다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

1. 송창규, 이상돈, 조용주, "볼트 체결시 진동에 의한 마찰계수 변화에 관한 실험", 윤활학회지, vol.23, No.2, 61-65, 2007
2. 손승요, 신근하, 김영구, "나사 기술 총람," 문운당, 1995