

체결력에 따른 볼트결합부 횡방향 강성 특성에 관한 연구

Study on Lateral Stiffness of Bolt Joint w.r.t. Fasten Force

*#이재학¹, 이찬홍¹, 하태호¹, 김양진¹

*#Jae Hak Lee(jaehak76@kimm.re.kr)¹, C. H. Lee¹, T. H. Ha¹, Y. J. Kim¹

¹ 한국기계연구원 초정밀시스템연구실

Key words : Bolt Joint, Lateral Stiffness, FEM

1. 서론

초정밀 기계장비들은 수많은 볼트결합부로 체결되어 있으며 볼트결합부에 압축하중뿐만 아니라 굽힘 및 장력이 동시에 작용하므로 볼트결합부의 강성을 고려하여 해석을 수행해야만 정확한 정밀도를 예측할 수 있다. 본 연구에서는 체결력에 따른 볼트결합부의 횡방향 강성에 관한 실험을 수행 및 분석하였으며 일반화를 위한 방법을 제시하였다.

2. 볼트결합부 횡방향 강성 모델링

Fig. 1 은 일반적인 볼트결합부의 횡하중 작용 시 거동을 나타내고 있다.

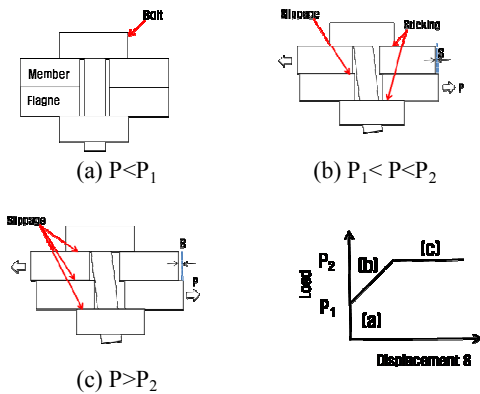


Fig. 1 Bolt joint behavior w.r.t. different lateral load

체결력이 P_2 보다 작은 경우 member 와 flange 사이에 slip 이 발생하여 상대 변위가 발생하지만 볼트헤드 및 너트부와 member 및 flange 사이의 접촉부는 slip 이 발생하지 않아

볼트의 위치를 고정하고 있어 하중과 횡방향 변위 곡선이 선형성을 갖는다.

일반적으로 공작기계와 같은 가공 장비의 경우 각 결합부의 강성을 크게 설계하므로 Fig. 1 (a)와 Fig. 1 (b)의 경우가 대부분이므로 볼트결합부의 횡방향 변위는 선형적으로 발생한다는 가정이 가능하다. 따라서 볼트결합부를 단순 빔모델로 가정하고 횡방향 변위를 이론식으로 표현할 수 있다..

총횡방향 변위는 크게 횡방향 하중(F)에 의한 횡방향 변위(δ_F), 볼트헤드와 너트의 반력 모멘트(M_n)에 의한 횡방향 변위(δ_M), 볼트의 굽힘에 의해 발생하는 횡방향 변위(δ_θ)의 합으로 표현가능하고 총변위를 식으로 표현하면 아래와 같다^[1]. 실험을 통해 하중에 따른 횡방향 변위를 계산하여 이론식과 비교하여 계수 A, B 를 찾을 수 있으므로 이론식을 이용하여 볼트체결력에 따른 볼트결합부의 횡방향 강성을 일반화하여 계산 가능하다.

$$\delta = \delta_F + \delta_M + \delta_\theta$$

$$= F_r \left(\frac{l_g^3}{3E_b I_g} + \frac{l_p^3}{3E_b I_p} + \frac{l_g l_p l_n}{E_b I_g} + k_w l^2 \right)$$

$$- M_n \left(\frac{l_g^2}{2E_b I_g} + \frac{l_p^2}{2E_b I_p} + \frac{l_g l_p}{E_b I_g} + k_w l_n \right)$$

$$F_r = P - \mu F$$

$$M_n = \frac{(P - \mu F) \times l_n}{2}$$

$$k_w = \frac{c}{F}$$

$$\therefore K_{lateral_theory} = \frac{1}{A - (l_n B / 2)} \quad (\text{체결력 } F \text{의 함수})$$

(여기서 F: 체결력, c: 보정계수, k_w :기울어진 정도 비례상수)

3. 볼트결합부 횡방향 강성 측정 실험

Fig. 2 는 볼트결합부의 횡방향 강성을 측정하기 위한 실험장치이며 보 왼쪽 끝단에 1ton 용량의 로드셀을 장착하여 인가되는 하중을 DAQ 를 이용하여 1kHz sampling rate 로 측정하였고 볼트결합부의 횡방향 변위를 Gap 센서 AEC S-06 을 이용하여 측정하였다. 체결력은 8.66~69.25kN 로 변화시키며 실험을 진행하였으며 관통홀타입과 블라인드홀타입의 특성을 비교하기 위하여 각각에 대해 3 회씩 반복실험을 진행하였다.

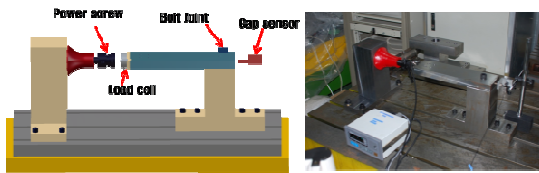


Fig. 2 Experimental setup for measuring of lateral stiffness of bolt Joint

4. 볼트결합부 횡방향 강성 측정 결과 및 분석

Fig. 3 은 볼트체결력에 따른 변위-하중 특성을 나타내고 있다. 체결력이 작은 경우 횡방향 강성이 낮아 하중이 작은 경우에도 쉽

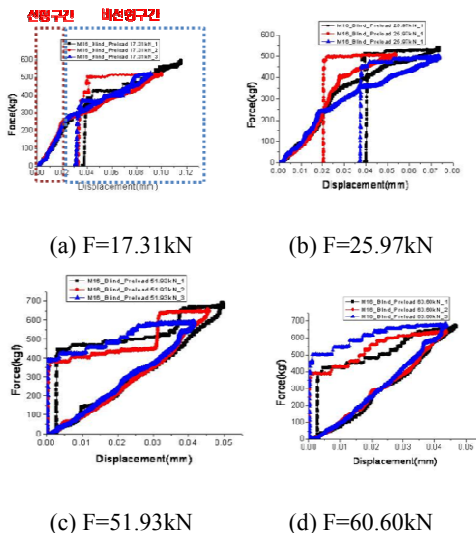


Fig. 3 Load-displacement plot w.r.t. fasten force

게 변위가 발생하고 제하중 시 원위치로 복귀하지 못하고 슬립이 발생하여 영구 변위가 발생한다. 체결력이 증가함에 따라 횡방향 강성이 증가하여 더 큰 횡하중 영역에서도 선형성을 유지하여 선형 구간이 증가함을 확인할 수 있다. 또한 선형 구간에서는 횡방향 하중이 멤버와 플렌지 사이의 정지마찰력 이상 작용하여 멤버와 플렌지 사이의 접촉면에서 슬립이 발생하지만, 볼트 헤드와 플렌지 및 너트와 멤버 사이에서는 슬립이 발생하지 않아 제 하중 시 원위치로 복귀하여 영구변위가 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

Fig.4 는 볼트체결력에 따른 볼트결합부 횡방향 강성값의 변화를 나타내며 체결력이 증가함에 따라서 횡방향 강성이 증가함을 확인할 수 있으며 체결력에 따른 강성값은 아래와 같다.

$$K_{\text{lateral_experiment}} = a + bx = 75.28841 + 19.91363x$$

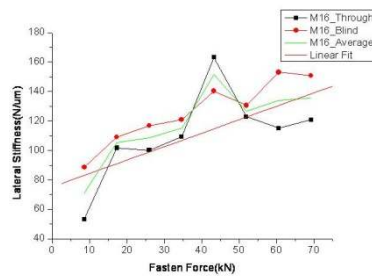


Fig.4 Lateral stiffness variation w.r.t. fasten force

4. 결론

본 연구를 통하여 체결력에 따른 볼트결합부의 횡방향 강성값을 측정하였으며 체결력에 따른 일반화식을 도출하였다.

참고문헌

1. Nishimura, N., Hattori, T., Mori, S., et al., "Loosening and Sliding Behavior of Bolt Nut Fastener under Transverse Loading," Journal of the Japan Society of Mechanical Engineering, **75**, 22-30, 2009