

볼스크류 강성 측정에서 불확도 추정 Uncertainty Estimation in Stiffness Measurement of Ballscrews

*조현광¹, 민복기², #정성종²

*H. G. Cho¹, B. K. Min², #S. C. Chung(schung@hanyang.ac.kr)²

¹한양대학교 기계공학과

Key words : Uncertainty, GUM, Stiffness, Ballscrew

1. 서론

GUM(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)⁽¹⁾가 출판되고 불확도 개념은 센서의 교정이나 측정 분야에 빠르게 적용되었다. 본 논문은 측방향 하중에 따른 볼스크류 너트부의 강성 측정에 대한 불확도 추정에 대하여 기술한다. 볼스크류에 하중을 가하여 너트부에서 발생하는 변형량을 측정하여 강성값을 도출하며 측정 시 볼스크류 축의 틸팅(Tilting)에 의해 발생하는 오차를 보상하였다.^(2,3) 측정값의 신뢰구간을 구하기 위해 불확도 개념이 적용되었으며, GUM 방법^(1,4)이 사용되었다. 각 불확도 요소들의 표준 불확도는 A 형 B 형 평가를 통해 도출되며 감도 계수, 확장계수 등의 적용과 불확도 증식을 통해 확장 불확도가 추정 된다.

2. 볼스크류 강성 측정

Fig. 1 에 보이는 강성 측정장치의 상단에는 볼스크류 너트부가 체결되며 볼스크류 축 하단에는 유압 하중 장치가 설치 되어 있다.

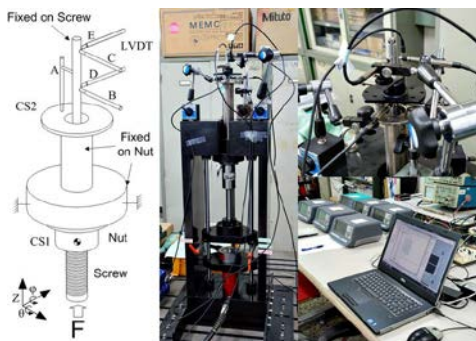


Fig. 1 Measurement system of Ballscrew nut stiffness

그리고 하중의 측정을 위해 유압실린더와 볼스크류 축 사이에는 로드셀이 설치되어 있다. 하중이 작용할 때 장치 상단에서는 5 개의 변위센서(Tesa, GT21HP)가 볼스크류 축의 변형량을 측정한다. 변위센서의 타겟은 볼스크류 축과 결합되어 A 센서가 너트부에 대한 타겟의 측방향 이동을 측정하며 4 개의 변위센서 B,C,D,E 는 타겟의 반경방향에서 볼스크류 축의 틸팅 오차를 측정한다. 정확한 강성 측정 실험을 수행하기 위해서는 틸팅 오차를 보상하여야 한다. 변위센서 B,C,D,E 는 센서 타겟의 틸팅 각도 θ , ϕ 를 측정하고 동차변환행렬(Homogeneous Transformation Matrix)을 사용하여 너트부 CS1 에서의 변위를 계산하였다.

3. 측정 불확도

GUM 에 의한 측정 불확도의 추정 순서는 Fig. 2 와 같이 진행된다. 강성 측정의 불확도 추정에 관련하여 수학적 모델과 불확도 모델이 존재한다. 수학적 모델은 앞서 언급한 실험 데이터에서 틸팅오차를 보상하며 강성값을 도출하는 일련의 공식이며 이 모델에서 불확도를 포함하는 요인들을 불확도 모델의 입력 파라미터로 정의한다. 각 입력 파라미터의 표준불확도는 파라미터의 특성에 따라 A 형 평가와 B 형 평가에 의해 구할 수 있다. A 형 평가는 반복된 관측값으로부터 통계적인 분석을 통해 불확도를 평가하며 B 형 평가는 수학적 모델에서 고정 상수로 가정된 값에 의하여 발생하는 계통오차에 의한 불확도를 평가한다. 감도계수(Sensitivity coefficient)는 결과가 특정 입력에 대한

민감도를 나타내며 각 표준 불확도에 감도계수를 각각 곱하여 각 파라미터의 불확도 기여량(Uncertainty contribution)을 구한다. 이는 불확도 증식에 의하여 합성표준불확도로 결합되며 포함인자(Coverage factor)를 곱하여 확장 불확도(Expanded uncertainty)를 얻게 된다.

$$\begin{aligned}
 u_{c1} &= c_{\text{Deformation}} u_{\text{Deformation}} = \frac{\partial K}{\partial \delta} s(\bar{\delta}) \\
 u_{c2} &= c_{\text{Thrust Force}} u_{\text{Thrust Force}} = \frac{\partial K}{\partial F} s(\bar{F}) \\
 u_{c3} &= c_{\text{Lockoff}} u_{\text{Lockoff}} = \frac{\partial K R_{\text{lockoff}} / 2}{\partial F} \frac{1}{\sqrt{3}} \\
 u_{c4} &= c_{\text{LVDT}} u_{\text{LVDT}} = \frac{\partial K U_{\text{LVDT Calibration}}}{\partial \delta} k_{\text{LVDT Calibration}} \\
 u_{c5} &= c_{\text{Misalignment Z-axis}} u_{\text{Misalignment Z-axis}} = \frac{\partial K R_{\text{Misalignment Z-axis}} / 2}{\partial \alpha} \frac{1}{\sqrt{3}} \\
 u_{c6} &= c_{\text{Misalignment X-axis}} u_{\text{Misalignment X-axis}} = \frac{\partial K R_{\text{Misalignment X-axis}} / 2}{\partial \varphi} \frac{1}{\sqrt{3}} \\
 u_{c7} &= c_{\text{Misalignment Y-axis}} u_{\text{Misalignment Y-axis}} = \frac{\partial K R_{\text{Misalignment Y-axis}} / 2}{\partial \theta} \frac{1}{\sqrt{3}} \\
 u_{c8} &= c_{\text{Thermal Expansion}} u_{\text{Thermal Expansion}} = \frac{\partial K R_{\text{Thermal Expansion}} / 2}{\partial T} \frac{1}{\sqrt{3}}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 u_c^2 &= c_{\text{Thrust Force}}^2 u_{\text{Thrust Force}}^2 + c_{\text{Deformation}}^2 u_{\text{Deformation}}^2 \\
 &+ c_{\text{Lockoff}}^2 u_{\text{Lockoff}}^2 + c_{\text{LVDT}}^2 u_{\text{LVDT}}^2 + c_{\text{Misalignment Z-axis}}^2 u_{\text{Misalignment Z-axis}}^2 \\
 &+ c_{\text{Misalignment X-axis}}^2 u_{\text{Misalignment X-axis}}^2 + c_{\text{Misalignment Y-axis}}^2 u_{\text{Misalignment Y-axis}}^2 \\
 &+ c_{\text{Thermal expansion}}^2 u_{\text{Thermal expansion}}^2
 \end{aligned} \tag{3}$$

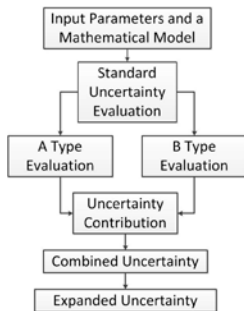


Fig. 2 Flow Chart of Uncertainty Estimation

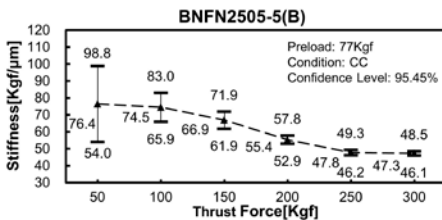


Fig. 3 Experimental stiffness with Measurement Uncertainty

측정된 하중과 변형량은 A 형 평가를, 그리고 센서의 불확도, 센서의 설치오차, 환경온도의 불확도는 B 형 평가를 수행하였다. B 형 평가에 의한 불확도는 균등분포(Uniform distribution)의 형태로 가정되었다. 식 2 는 각 입력 파라미터의 불확도 기여량을 구하기 위한 표준 불확도와 감도계수에 대하여 나타내며 식 3 은 불확도 증식에 의해 합성 표준 불확도를 구하는 과정을 나타낸다. 95.45%의 포함확률을 가지는 포함인자 k=2 를 적용하여 확장 불확도를 구하였으며 그림 3 은 측정 강성값과 각 하중에서의 확장 불확도를 나타낸다.

4. 결론

볼스크류 강성 실험을 통해 각 하중 조건에서의 강성값을 구하였으며 GUM 을 사용하여 강성값의 불확도를 추정하였다. 측정 데이터의 불확도, 각 센서의 불확도, 센서들의 정렬불확도 등의 입력 파라미터가 적용되었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발 사업인 “직선운동유니트 정밀도 예측 및 통합 시뮬레이터 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement,” International Organization of Standardization, 1995.
2. Chung, S., Park, C., “Analysis of Ballscrew Stiffness owing to Contact Deformation in Leadscrew Systems,” Proceedings of the ASPE 2010 Annual Meeting, **50**, 160-163, 2010.
3. Min, B., Park, C., Chung, S., “Uncertainty Modeling of Ballscrew Nut Stiffness,” Proceedings of the ASPE 2011 Annual Meeting, **52**, 362-329, 2011.
4. “Estimation of measurement uncertainty for machine tool test according to series ISO 230, basic equations,” International Organization of Standardization, 2005.