

# 정밀 토크 측정의 신뢰도 평가

## Evaluation of Reliability in Accurate Torque Measurement

\*\*박연규, 이정태, 이호영, 김종호, 최재혁, 강대임

\*\*Y. K. Park(ykpark@kriss.re.kr), J. T. Lee, H. Y. Lee, J. H. Kim, J. H. Choi, D. I. Kang  
한국표준과학연구원 기반표준본부 역학센터

Key words : Torque, Reliability, Traceability, Calibration

### 1. 서론

토크는 비틀림력 또는 우력이라고 하며, 각종 나사의 조립력이나 회전체의 동력을 나타내는 물리량이다. 일반적인 기계 조립은 각종 볼트의 결합을 통해 이루어지며, 따라서 볼트 조립력, 즉 토크의 정확한 제어는 제품의 성능에 지대한 영향을 미친다. 이와 같은 토크의 정확한 측정을 위해서는 토크측정기의 정확한 평가가 필요하며, 이는 토크의 완벽한 표준 소급에 의해 달성될 수 있다.

토크표준 소급체계는 토크표준기, 토크교정기, 토크측정기, 토크렌치 또는 토크측정의 순으로 연결된다. 이 중 토크표준의 최상위인 토크표준기는 한국표준과학연구원에서 확립, 유지, 향상시키고 있다. 지난 2004년에 한국표준과학연구원에서는 2 kNm 용량의 실하중 토크표준기를 개발 및 검증하였고[1] 2006년에는 100 Nm 용량의 실하중 토크표준기를 개발함으로써 국가 토크표준을 확립하였다.[2] 따라서, 토크교정기를 비롯한 하부 기기들에 대한 토크표준 소급이 가능하게 되었다.

국가토크표준이 확립되기 전에는 토크분야의 각 교정기관들이 자체적으로 BMC를 선언하였다. 즉, 토크표준기로부터 토크교정기로 연결되는 토크표준의 소급이 이루어지지 않고 있었다. 따라서, 국내 토크교정기관들이 보유하고 있는 토크교정기 특성을 파악하고 문제점을 점검함으로써, 토크교정기와 한국표준과학연구원의 토크표준기 사이의 끊어진 표준소급을 연결할 필요가 있다.

본 연구에서는 고정밀 토크측정기, 즉 토크 전달용표준기를 이용한 한국표준과학연구원과 토크교정기 사이의 비교평가를 통해 현장 토크 교정의 문제점을 파악하고 분석하고자 하였다. 이를 통해 국내 토크 교정기관의 경쟁력을 제고시키고, 문제점에 대한 해결책 및 보완책을 제시하고자 하였다.

### 2. 실하중 토크표준기

실하중 토크표준기는 정확한 질량값을 갖는 분동의 무게를 토크 암에 가함으로써 발생한 실토크를 토크 측정기에 가할 수 있도록 제작된 장치로서, 토크표준기 중에서 가장 높은 정확도를 갖는 토크표준기이다. 실하중 토크표준기는 피교정 기기인 토크 측정기의 중심 축과 운반대 위에 설치된 고정축 사이에 연결한 후, 토크 암의 끝에 위치한 하중 걸이에 추를 가해줌으로써 토크 측정기의 중심축에 회전 모멘트를 발생시킬 수 있다.

한국표준과학연구원에 설치된 2 kNm 용량의 실하중 토크표준기의 토크암 길이는 양 방향으로 1 m 썩이다. 본 토크표준기의 시계 방향 추는 조합식으로 구성되어 있으며, 반시계 방향 추는 순차식으로 구성되어 있다. 조합식 방식은 여러 개의 추들 중 원하는 것들만 선택하여 인가할 수 있는 방식이고, 순차식 방법은 쌓여있는 추들 중 위의 것부터 순차적으로 인가할 수 있는 방법이다. 순차식 추는 400 N 추 4개, 200 N 추 2개, 100 N 추 1개, 50 N 추 1개, 20 N 추 2개, 10 N 추 1개로 구성되어 있으며, 최소 10 N부터 최대 2200 N 까지 매 10 N 간격으로 힘을 발생시킬 수 있다. 순차식 추는 위로부터 200 N 추 5개, 500 N 추 2개, 다시 200 N 추 1개로 구성되어 있다. 토크표준기에서 발생하는 토크는 시계 방향 토크와 반시계 방향 토크의 차이가 된다. 따라서, 시계 방향의 조합식 추와 반시계 방향의 순차식

추를 상호 조합하여, 시계 방향과 반시계 양 방향으로 10 Nm에서 2200 Nm까지 매 10 Nm 간격으로 토크를 발생시킬 수 있다.

### 3. 토크 전달용표준기

산업체 및 교정기관의 토크교정기에 대한 신뢰성을 평가하기 위해 200 Nm 용량의 토크 전달용표준기 및 이의 장착을 위한 어댑터를 제작하였다. Fig 1은 실린더형 장착부를 갖는 토크측정기와 이를 사각바 형태의 취부에 연결할 때 사용하는 어댑터를 나타낸다. 토크측정기와 어댑터의 결합은 유압을 이용한 마찰조인트를 사용한다. 교정기관의 토크교정기가 실하중 방식이 아닌 토크암+분동 형식일 경우, 토크측정기의 한끝은 고정되어야 한다.

실린더형 토크측정기의 경우 사각바용 어댑터를 모두 결합할 경우 총 길이가 33 cm에 달한다. 이 경우, 교정기관이 보유하고 있는 실하중 토크교정기의 허용 토크측정기의 길이에 따라 장착이 불가능한 경우가 발생하였다. 따라서, 디스크 형태의 짧은 토크측정기를 도입하여 이 문제를 해결하였다. 디스크형 토크측정기의 용량 역시 200 Nm이다.

실린더형과 디스크형의 토크 전달용표준기에 대하여 한국표준과학연구원의 2 kNm 실하중 토크표준기를 이용한 평가를 수행하였다. 평가의 측정절차는 본 연구에서 수행한 비교평가와 동일하게 하였다. 디스크형 전달용표준기의 경우, 실린더 형태의 장착부를 갖는 어댑터를 결합하였다. 두 경우 모두 정격출력은 1.5 mV/V를 약간 상회하는 비슷한 출력을 나타내고 있으며, 측정의 상대확장불확도 역시 0.02 % 정도로 비슷한 특성을 보이고 있다. 토크표준기/토크교정기의 얼라인먼트 특성을 나타내는 상대 반복도 오차의 경우, 두 경우 모두 0.01 % 이하의 우수한 특성을 보임을 알 수 있다.

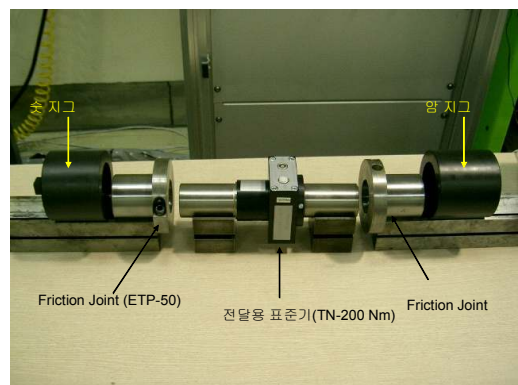


Fig. 1 200 Nm torque transfer standard and adapters

### 4. 측정절차

본 비교측정에서 사용한 측정 절차 및 관련 불확도 산출 방법을 정하였고, 이를 측정지침서에 설명하였다. 측정 절차는 다음과 같다.

- 토크측정기는 토크교정기가 설치된 실험실의 온도와 평형상태를 유지할 수 있도록 실험실에 보관하여야 한다.
- 토크측정기의 전기적 안정을 위하여, 토크측정기와 인디케

- 이터를 연결 한 후 최소 30분 후에 측정을 시작한다.
- 토크측정기는 시계방향의 토크가 부하되었을 때 지시계의 지시값이 (+)가 되도록 지시계와 연결되어야 한다.
- 측정점 : 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 Nm의 10점으로 한다.
- 토크측정기의 교정시리즈는 다음과 같다.
  - 교정시리즈 1 : 증가순( 0°)
  - 교정시리즈 2 : 증가순( 120°)
  - 교정시리즈 3 : 증가순 및 감소순( 240°)
- 이 때 0°는 토크측정기를 토크교정기에 설치한 초기상태를 의미하며 120°는 토크교정기 중심축을 기준으로 토크측정기의 설치방향을 시계방향 또는 반시계방향으로 120°를 회전시켜 설치한 것을 의미한다.
- 사전부하는 0°에서 3회 실시하며, 120°, 240°에서는 1회씩 실시한다. 정격토크 상태에서는 30초 동안 유지하고, 무부하 상태에서는 2분 동안 유지한다. 지시계의 지시값은 무부하 및 정격토크에서 30초가 경과된 후에 측정한다.
- 시계 방향의 측정만 수행한다.
- 교정시리즈 2차 및 3차에서 토크측정기의 재설치 대신 반드시 회전시킨다. 토크측정기 회전 시, 프리션 조인트를 풀고 토크측정기 회전 후 다시 프리션 조인트를 조인다.

### 5. 교정기관 비교평가

총 8개의 토크측정기 교정기관에 대한 비교평가를 수행하였다. 국내의 토크측정기 교정 가능 기관수는 총 14개이나, 이중 장비상의 문제 등으로 6개 기관이 불참하였다. 비교평가 방식은 각 교정기관과 한국표준과학연구원과의 1:1 비교 방식을 택하였으며, 각 교정기관이 제출한 측정데이터 및 불확도를 근거로 En 값을 산출하였다.

Fig. 2는 각 교정기관별로 측정의 최소 토크값에서의 측정 불확도, 한국표준과학연구원 측정치와의 상대편차, 반복도 오차를 나타낸다. 참고로 교정기관의 BMC를 함께 나타내었다. Fig. 3은 측정의 최대 토크값에서의 결과를 나타낸다. 전체적으로 측정 불확도와 반복도 오차가 비슷한 경향을 보이고 있으며, 이로부터 반복도가 측정 불확도의 주요한 성분임을 알 수 있다. 특히, 토크암+분동을 사용하는 기관들인 2, 3, 5, 8번에서 반복도가 더욱 크게 나타나며, 이로 인해 측정 불확도가 BMC에 비해 지나치게 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

실하중 토크교정기를 사용중인 교정기관 1, 6, 7번의 경우 상대적으로 우수한 반복도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 실하중 토크교정기의 경우 BMC와 측정 불확도가 근접하게 나타나고 있으며, 이로부터 BMC의 선언이 제대로 되었음을 확인할 수 있다.

그러나, 1번의 경우 낮은 토크에서는 반복도가 크게 나타남을 보여주며, 이는 토크축의 얼라인먼트에 기인한다. 6, 7번 기관에서는 실하중 토크교정기에 적절한 규격의 플렉서블 커플링을 사용하여 얼라인먼트의 오차에서 발생하는 영향을 최소화하였다. 그러나 1번 기관에서 사용한 실하중 토크교정기에는 적절한 플렉서블 커플링이 사용되지 않았다.

4번 기관의 경우, 토크암+분동을 사용했음에도 불구하고 반복도 및 측정 불확도가 실하중 토크교정기 수준으로 작게 나타나고 있다. 그러나, 기준값과의 편차가 커서, 결국 참가기관 중 유일하게 En 값이 1보다 크게 나타났다. 이는 측정 시 토크측정기를 회전하지 않았기 때문이다. 토크측정기를 회전하지 않고 재설치만 함으로써 반복도는 좋게 나타났지만, 편차가 커져서 결국 En 값이 허용치를 벗어나게 된 것이다.

전체적으로 실하중 토크교정기의 BMC가 0.1 %로 선언된 것은 별 문제가 없다. 그러나, 토크암+분동의 경우 선언된 BMC가 지나치게 낮음을 보여주었다. 토크암+분동 시스템의 적절한

BMC를 고찰하기 위하여, “실하중 힘교정기의 교정절차방법 (C-07-1-0010-2000)”에 준하여 한국표준과학연구원에서 사용중인 토크암+분동 시스템의 BMC를 측정하였다. 그 결과 0.5 %의 BMC를 얻을 수 있었다.

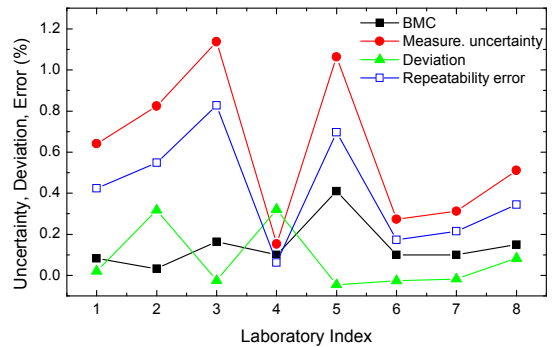


Fig. 2 Measurement result at the minimum torque

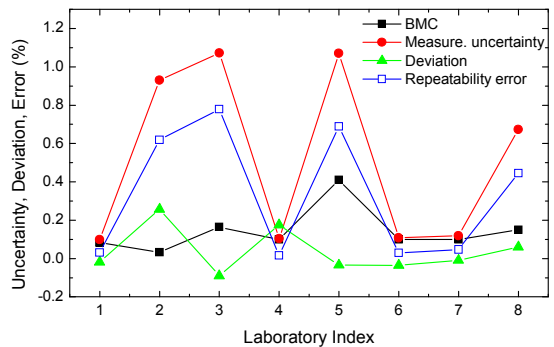


Fig. 3 Measurement result at the maximum torque

### 6. 결론

- 본 연구의 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.
- 토크 연결축의 얼라인먼트가 중요하다. 이를 위하여 적절한 규격의 플렉서블 커플링을 사용한다.
- 토크측정기의 교정에 있어 토크측정기의 회전을 반드시 수행한다.
- 토크암+분동 시스템의 BMC가 지나치게 낮게 선언되었다. 0.5 % 이상의 선언이 바람직하다.
- 0.5 %로 선언된 토크암+분동 시스템을 이용할 경우, 7단계로 나누어진 토크측정기의 등급 중 최하 등급인 5등급 토크측정기의 교정만이 가능하다. 따라서, 토크암+분동 시스템을 대체할 수 있는 다른 토크교정기의 도입이 필요하다.
- 토크암+분동 방식 대신 실하중 토크교정기 또는 비교식 토크교정기의 사용을 권장한다.

### 참고문헌

1. 박연규, 김민석, 김종호, 강대임, “토크 표준 및 평가 연구 동향,” 한국정밀공학회지, 21(9), 26-31, 2004.
2. Y. K. Park, M. S. Kim, and D. I. Kang, "Development of a small capacity deadweight torque standard machine," Meas. Sci. Technol., 18, 3273-3278, 2007.