



유압 토크렌치 교정의 필요성

FIELD CALIBRATION &
ACCURACY of
TORQUE WRENCHES

REPORT

DECEMBER 2017

Ver 1.0

HANSAEKOREA



1. 머릿말

※ 본문은 유압 토크렌치의 적절한 검교정을 위한 논문 “Field Calibration and Accuracy of Torque Wrenches-ASME, PVP2011-57414”를 재구성한 것으로 사용자로 하여금 유압 토크렌치 관리 방법에 대한 방향성을 제시합니다.

• 머릿말

- 대부분의 경우, 사용자는 올바르게 관리 및 조절된 경우에 수동 또는 유압식 토크렌치가 요청된 토크 값을 출력한다고 신뢰한다. 그러나 모든 토크렌치에는 마찰을 기반으로 한 마모와, 현장에서의 작업 조건 등으로 인해 손상 위험에 항상 노출되어 있다. 따라서 정기적으로 토크렌치를 교정하는 것이 좋다. 이러한 활동은 규제화 되어 이미 자동차 산업 및 조선 산업에서는 적극적으로 요구되고 있다. 그러나 그 외의 산업군(석유화학, 건설 외 다수)에서는 정기 교정을 수행하는 회사가 상대적으로 적다. 부분적으로는 이러한 교정 프로그램의 비용의 예산 편성에 어려움이 있는 경우와, 필요성을 느끼지 못하는 경우로 볼 수 있다. 또한 교정 서비스를 받기 전까지는 교정 작업의 가치가 진정으로 파악 될수 없기 때문이다.

본 논문에서는 수백 개의 토크렌치 현장 교정 결과를 제시하고, 데이터 분석을 통해 토크렌치의 교정이 적합한 볼트 결과를 내기 위해서 중요한 부분이 되는 이유를 정확하게 보여줄 것이다.

2. 소개

• 소개

- 본 논문의 목적은 교정 이전에 토크렌치의 전반적인 정확도를 비교하기 위해, 교정을 받은 토크렌치 결과에 대한 일반적인 경향을 살펴 봄으로써 사용자에게 그에 대한 필요성을 일깨우기 위함이다. 이 작업은 다양한 장소의 산업 환경에서 토크렌치를 교정하는 동안 얻은 데이터에 의해 수행되었다. 적용한 데이터에는 렌치의 작동 내역이나 유지 보수 내역이 포함되지 않았다. 따라서 데이터를 사용하여 현장에서 토크렌치 손상 속도를 입증 할 수는 없다. 그러나 최근 교정이 수행되지 않은 경우, 현장에서 예상 할 수 있는 토크렌치의 부정확성에 대한 합리적인 기준점으로 간주될 수 있다.

수동 토크렌치의 경우, 교정 전 후의 데이터가 교정이 진행되는 절차 중에 기록된다. 이는 교정 전에 렌치 상태의 기준을 가늠하게 하고 토크렌치의 정확성을 재확인 할 때 교정 절차가 얼마나 효과적인지 평가할 수 있게 한다. 유압식 토크렌치의 경우 교정이 가능하지 않으며(명백한 기계적 문제를 해결하는 것 외에는) 해당 토크렌치에만 해당하는 펌프 압력 대 토크 차트를 제공하여 보정을 수행한다.

본 논문의 목적은 현장에서 실제 토크렌치에 대해 기대할 수 있는 정확도 수준에 대한 전반적인 개요를 제공하는 것이다. 볼트 연결부 조립에 대한 토크 작업의 정확도는 다음을 포함하여 여러 가지 요인에 따라 달라진다.

1. 토크렌치의 정확성
2. 적용된 너트 팩터의 정확성
3. 볼팅 절차의 효과성

여기서는 볼트 연결부 조립의 부정확성에 대한 단 한 가지 원인에 대해서만 설명한다. 그러나 전반적인 부정확 수준은 누적될 수 있으므로 가능하면 부정확성을 제거하는 것이 가장 바람직하다.

보정 절차의 또 다른 목적은 수리 또는 교체를 위해, 더 이상 정확도를 충족 시킬 수 없는 토크렌치를 식별하는 것이다. 수동 토크렌치의 경우, 검정을 시도한 후에 하나 이상의 지점이 오차 범위를 벗어나는 것을 식별하여 교정 작업이 수행된다. 유압 토크렌치의 경우 압력과 토크의 선형 관계를 사용하여 토크렌치의 교정을 수행하는 것이 보편적이다. 현재 유압 토크렌치 교정에는 업계 표준이 없다. 산업 지침의 개발은 조립 활동을 향상시키는데 있어 교정의 효율성을 입증하고 테스트 결과의 특성 중 일부를 밝히는 것과 같은 연구들에 의해 지원되어야 할 필요성이 크다.

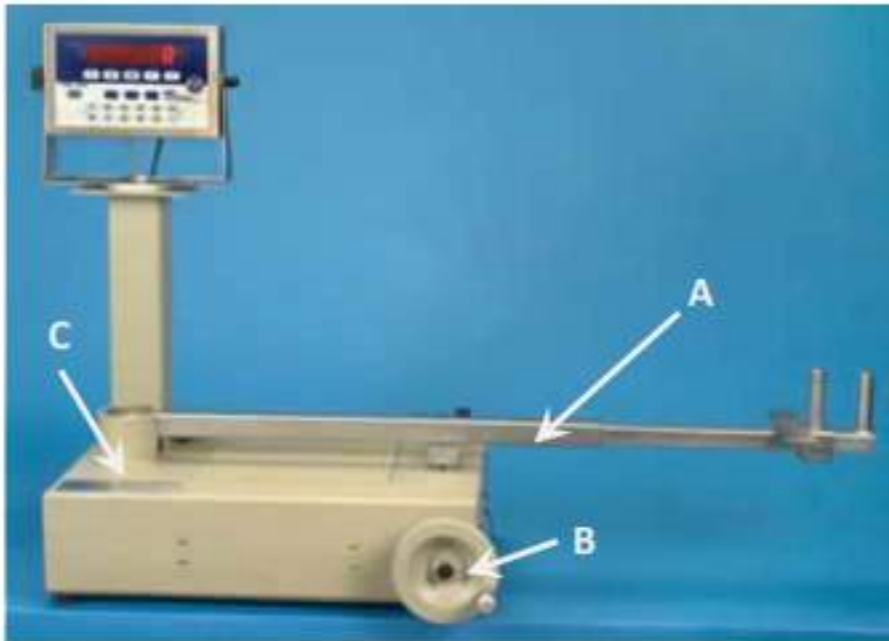
3. 방법 설명

• 방법 설명 (수동 토크렌치)

- 두 종류의 토크렌치 교정에 대한 기본 접근 방법을 아래에서 설명하고자 한다.

수동 토크렌치는 ASME B107.14-2004[1], ISO6789:2003[2] 또는 유사한 표준에 따라 교정된다. 이 논문에서 토크렌치에 사용 된 절차는 아래 ASME 표준 <그림1>과 일치한다.

1. 토크렌치를 가장 낮은 값으로 설정하고 20분 동안 그대로 둔다.
2. 토크렌치를 토크 범위의 100%로 설정한 뒤 3번 조임 토크를 적용한다.
3. 렌치를 전체 범위 설정의 20%로 설정한다.
4. 렌치를 손잡이 A에 끼운 상태로 교정 벤치 고정 장치에 설치한다.
5. 반력대 A를 회전 시키는 드라이브 핸들 B를(수동 또는 자동으로) 돌려 렌치 핸들을 돌린다.
6. 토크는 C에 위치한 인증 된 로드셀을 사용하여 반응하고 측정된다.
7. 토크 작업은 3회 실시되고, 획득 된 토크값 중 세 번째 적용 값이 측정된다.
8. 위의 절차 (3단계에서)가 60% 및 100%의 토크 검정 단계에서 반복된다.
9. 토크렌치가 필요 정확도 범위 내에 있지 않으면 위의 절차가 반복된다.



<그림 1>

3. 방법 설명

• 방법 설명 (유압 토크렌치)

유압 토크렌치는 표준 교정 절차가 없으나 수동 토크렌치와 유사하다. <그림2>

1. 토크렌치 드라이브를 A 위치 해당 고정 부위에 체결한 상태에서 테스트 벤치 고정 장치에 설치한다.
2. 유압 토크렌치의 반력대를 반응 지점 B에 최대한 밀착한다. 토크렌치와 반력대 지점은 공차가 최소화 되도록 한다.
3. 토크는 C에 위치한 인증된 로드셀을 통해 반응하고 측정된다.
4. 펌프를 사용하여 렌치에 유압을 가하고 교정된 압력계로 측정한다.
5. 토크렌치가 테스트 벤치에 올바르게 설치되면 펌프를 최대 부하의 10%에서 100%까지 점진적으로 조절하며 측정 한다. 대부분의 토크렌치의 경우, 최소 80Bar로 시작하여 20Bar씩 최대 800 Bar까지 측정한다.
6. 각 단계별 측정된 토크 값이 기록된다.
7. 검정이 끝나면 적용된 압력과 획득된 토크 값을 연관시켜 조정된 압력 대비 토크 차트를 작성한다.

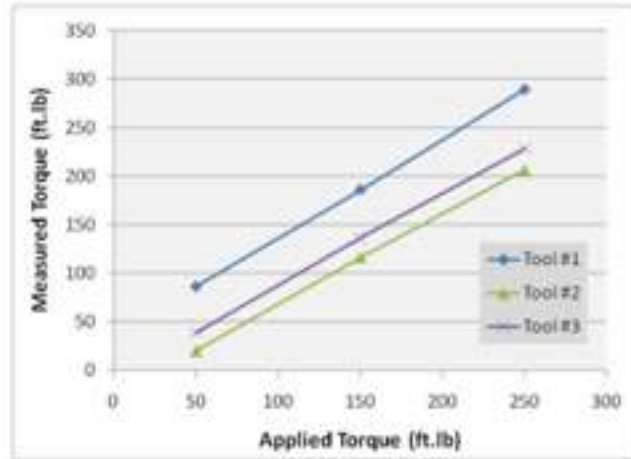


<그림 2>

4. 교정 데이터의 분석

• 분석 (수동 토크렌치)

- 수동 토크렌치의 교정 테스트 데이터에는 토크렌치 당 세 개의 검정 포인트가 있다. 일반적으로 교정에서 벗어난 토크렌치의 데이터는 <그림 3> 예제 테스트에 표시된 것처럼 설정된 토크가 예상되는 1:1

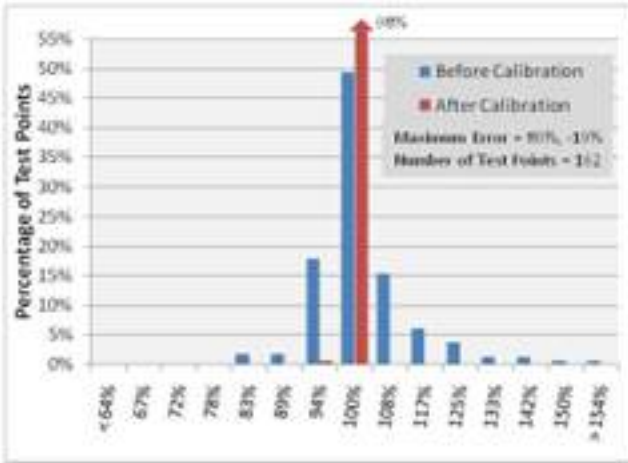


<그림 3>

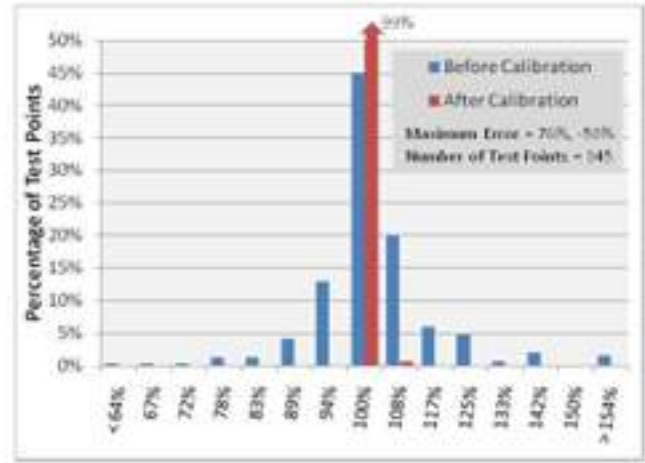
비율의 측정된 토크와 오차 범위를 나타낸다. 이러한 오차가 존재하면 토크렌치를 교정하고 오차 범위에 들어 올 때까지 재측정한다. 측정된 토크를 예상 토크의 백분율로 도식화하여 표시하면 (토크 목표값에 대한 정확도) 토크렌치의 크기 또는 목표 토크에 관계없이 모든 테스트 포인트를 분석적으로 확인할 수 있다.

4. 교정 데이터의 분석

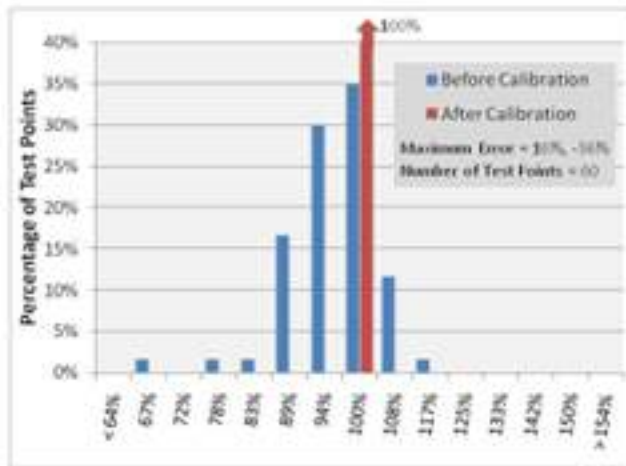
교정 전과 후의 분포도 차이는 <그림 4>, <그림 5>, <그림 6>을 통해 비교 분석이 가능하다.



<그림 4>



<그림 5>



<그림 6>

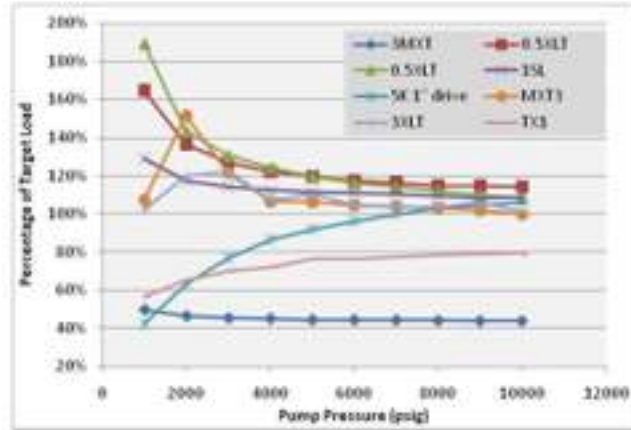
(교정 후 오차 범위 내에 들어오는 토크렌치의 수량이 크게 늘었다.) 그래프 X 축 값은 각각 해당 전, 후 값의 중간 값을 나타내므로, 100% 축은 즉 97%~104% 를 포함한다. 마찬가지로 94% 축은 92%~97% 범위의 값을 나타내며 108% 축은 목표 값의 104%와 112% 내에 있는 모든 값을 나타낸다. 높은 값은 측정 된 토크가 목표 값보다 높았음을 나타내고 낮은 값은 측정 된 토크가 설정된 토크 값보다 낮다는 것을 의미한다.

교정 전에는 결과의 35%~45% 만이 중간 97%~104% 범위에 속하는 것으로 나타났다. 또한, 결과는 더 높은 용량의 토크렌치에 대해 더 나쁘게 나오는 경향이 있고 측정 된 토크 값은 목표 값 이하가 되는 경향이 있음을 알 수 있다. 최악의 경우의 테스트 결과 중 일부는 50% 정도의 부정확 수치를 내었으며, 이는 상당히 심각한 수준이다. 그러나 일단 토크렌치가 교정되면 거의 모든 것이 원하는 중간 범위 내에 있게 된다. 이것은 렌치의 교정 작업으로 얻은 토크 정확도가 크게 향상 되었음을 나타낸다. 교정 이전에는 25%에 해당하는 토크렌치에서 목표 토크의 10%보다 큰 부정확성이 있었다. 이 부정확도의 수준은 올바른 너트 요소를 설정하지 않았을 때 발생하는 전형적인 오류와 동일한 정도의 수준이다. 이러한 비율은 상당히 중요하며, 볼트 연결부가 제대로 역할을 할지에 대한 중요한 요소이다.

4. 교정 데이터의 분석

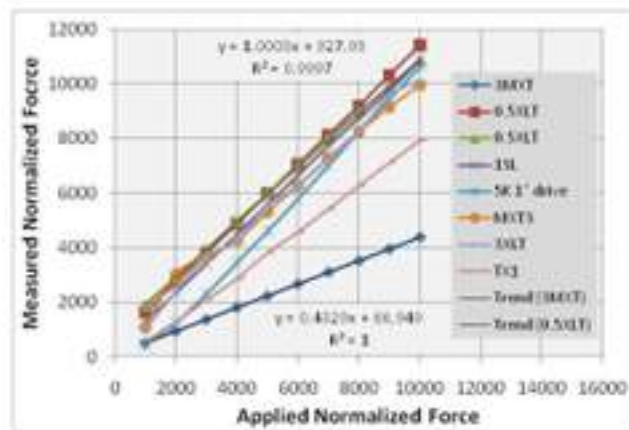
• 분석 (유압 토크렌치)

- 각 크기의 토크렌치가 비교 될 수 있도록 목표 토크의 백분율로 표시되는 데이터가 <그림7>에 나와있다.



<그림 7>

이것은 가장 열악한 결과의 예이며, 결과가 비선형으로 나타나고 두 결과 간에 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 비선형 성의 존재는 토크 값의 오차 때문이다. 즉, 해당 유압 토크렌치는 목표 토크 값보다 낮거나 높게 나타났다. 결과가 토크 값뿐 아니라 압력에서도 표준화되면 더 명확하게 볼 수 있다. <그림8> 기울기의 변화와 토크 값 오차의 존재는 유압 토크렌치의 보정을 이해할 때 중요한 개념이다.

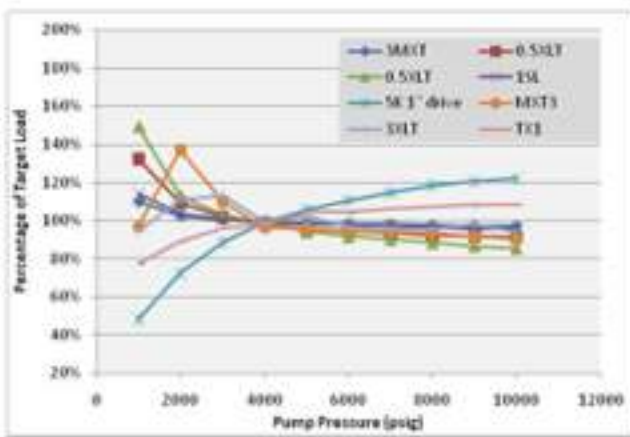


<그림 8>

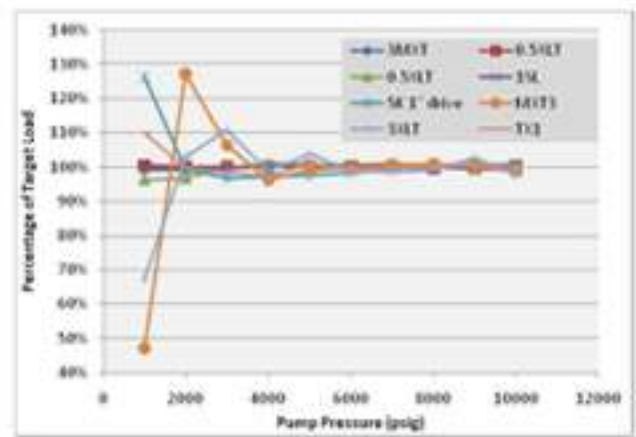
유압식 토크렌치의 경우 제조사가 토크렌치 교정 테스트에서 얻어진 값이 적용된 차트를 제공함으로써 권장 압력 대 토크의 교정이 이루어진다. 제조업체가 제공하는 차트는 유압 실린더 크기와 실린더 내부의 오차 대비, 볼트 중심에 대한 실린더 반력 포인트를 기반으로 하여, 마찰력을 고려한 오차를 포함한다. 압력 영역과 토크렌치의 형상이 일정한 것으로 가정하면, 이 관계는 얻어진 압력이 적용된 압력에 비례하여 선형으로 간주된다.

4. 교정 데이터의 분석

그러나 토크렌치가 마모되면 부품 내의 마찰 및 실린더 반응 지점의 변화와 같은 요인이 커질 수 있다. 테스트 결과에서 알 수 있듯이, 렌치는 압력에 비례하는 변화 (결과의 기울기의 변화)뿐만 아니라 압력과는 무관한 변화 (오차로 인한 변화)도 있다. 테스트 결과 값이 직접적으로 교정 차트를 작성하는데 사용되지 않는다면, 원래의 제조업체에서 제시하는 접근법을 따르며 교정이 가능한 한 정확할 수 있도록 기울기 및 오차 범위로 인한 변화 모두 적용해야 한다. 이 개념은 <그림9>에서 기울기만 적용한 것과, <그림 10>에서 기울기 및 오차 둘 다 적용한 것의 비교를 통해 할 수 있다.



<그림 9>



<그림 10>

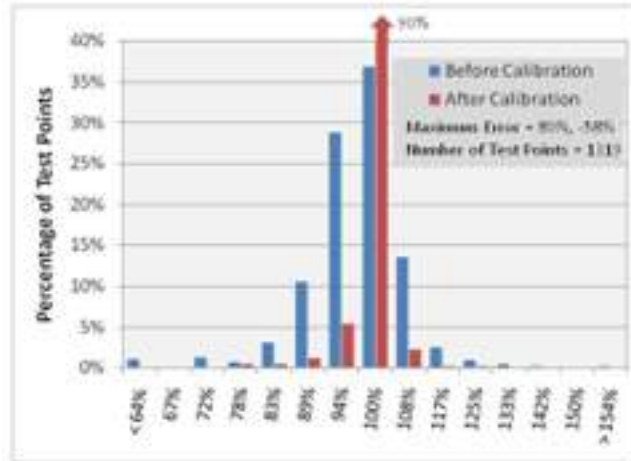
<그림10> 즉, 두 번째 교정 방법이 대부분의 테스트 포인트가 목표에 매우 근접한 상태로 훨씬 좋은 결과를 제공함을 알 수 있다. 교정 데이터를 직접 사용하여 압력 대비 토크 관계를 설정하는 것이 가능하지만 렌치의 문제를 덮을 수도 있는 비선형 도표를 나타낼 수 있다. 선형 관계가 적용되어야 한다는 것을 기준으로 하면 토크렌치의 점검 및 교체해야 하는 시기를 결정할 수 있는 척도로 삼을 수 있다.

이와 같이, <그림10>은 교정 작업의 두 번째 목적을 잘 보여주며 토크렌치의 수명이 끝났을 때를 결정할 수 있게끔 한다. 적용된 압력 범위에 대해 상당한 비선형성을 갖는 몇 개의 토크렌치가 있다. 이 교정 작업의 결과 중 하나는 해당 렌치를 전체 점검하거나, 점검 후에도 비선형성을 유지할 경우 폐기해야 함이 적절하다.

4. 교정 데이터의 분석

기울기 및 오차 변화까지 적용하는 전체 교정 방법을 테스트 결과에 적용하면 테스트 된 132개의 토크렌치 중 정확도 97%에서 104% 범위를 이전 37%에서 90%까지 증가 시킬 수 있음을 알 수 있다.

(그림 11) 수동 토크렌치와 마찬가지로 시험 결과의 약 25%가 교정 이전에 10%이상 부정확하다.



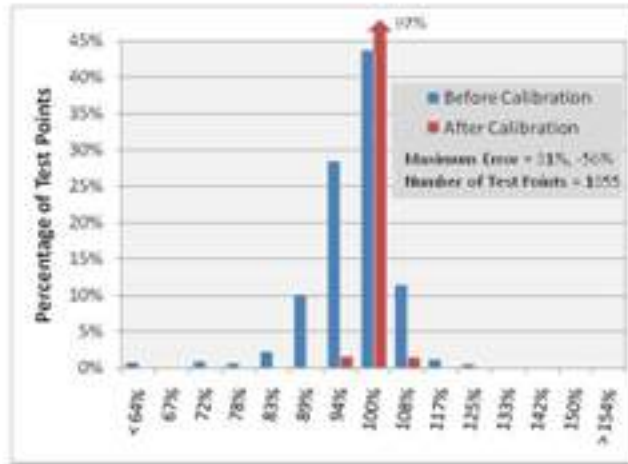
〈그림 11〉

토크렌치 압력 범위에서 낮은 압력 부위를 제거하면 결과를 향상 시킬 수 있다.

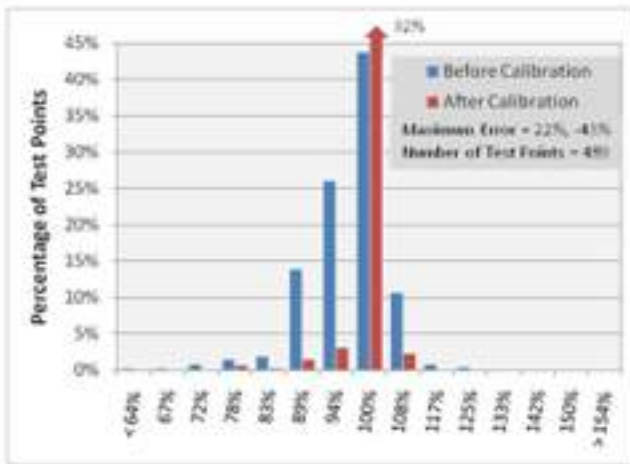
(예: 3000psig 에서 10,000psig 만 포함) 그 이유는 토크렌치가 낮은 압력에서 더 부정확해지는 경향이 있어, 사전 교정 결과가 향상되고 시료의 약 20%만이 10% 이상의 부정확성을 가지기 때문이다. 또한 사후 교정 테스트 결과 97%의 데이터가 목표 범위의 97%~104% 중간 범위에 분포 됨을 알 수 있다. 이 결과는 획득된 토크의 정확성을 높이기 위해 전 부하 압력의 20% 이하의 압력 설정에서 유압 토크렌치를 사용하지 않아야 함을 나타낸다.

4. 교정 데이터의 분석

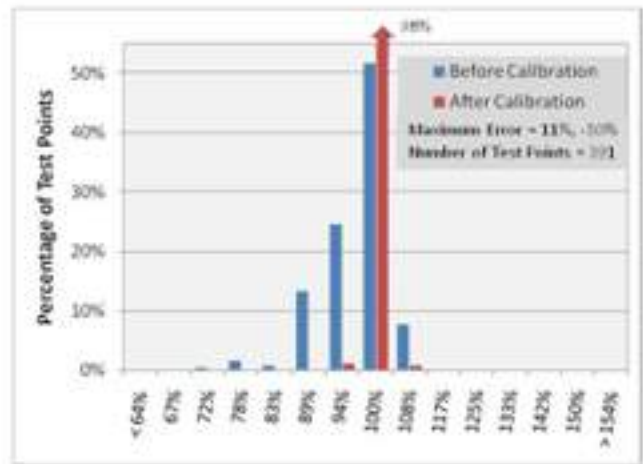
정확도 또는 교정 특성에 차이가 있는지 여부를 조사하기 위해 저상 토크렌치 데이터 포인트가 따로 분리되었다. 전체 압력 범위와 3000 psig ~ 10,000 psig 압력 범위에 대한 결과 그래프가 <그림12>, <그림13-1>, <그림13-2>에 각각 나와 있다.



<그림 12>



<그림 13-1>

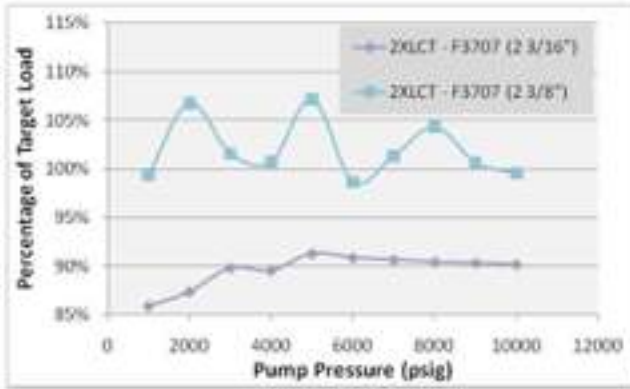


<그림 13-2>

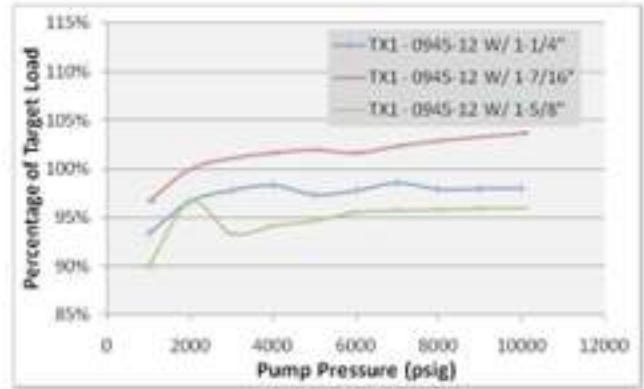
그러나 저상 토크렌치의 한 가지 차이점은 유압 실린더가 있는 드라이브 유닛으로부터 라쳇 헤드를 분리 할 수 있다는 점이다. 이것은 하나의 드라이브 유닛이 여러 개의 볼트 크기에 사용 될 수 있기 때문이다. 연구된 테스트 결과 중 두 가지 이상의 다른 크기의 링크 장치로 테스트한 여섯 개의 저상 토크렌치 드라이브 유닛이 있었다

4. 교정 데이터의 분석

이러한 테스트 결과를 비교해 보면 드라이브 유닛의 조정이 링크 유닛과 독립적인지 여부를 알 수 있다. 두 가지 예제 결과는 <그림 14> 및 <그림 15>에서 보듯 사용된 링크 유닛에 따라 얻어진 토크 값 정확도에 상당한 영향이 있음을 알 수 있다.

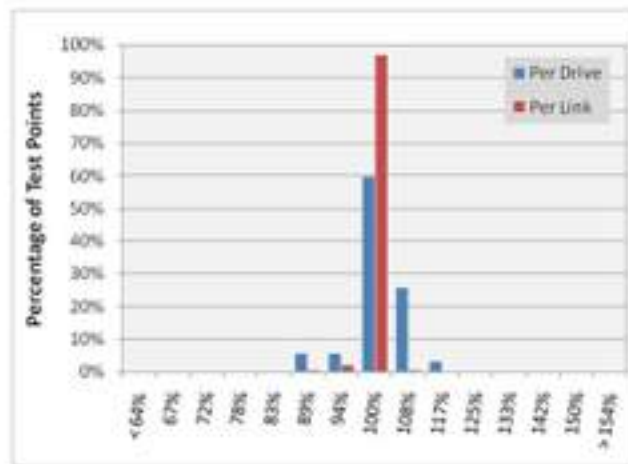


<그림 14>



<그림 15>

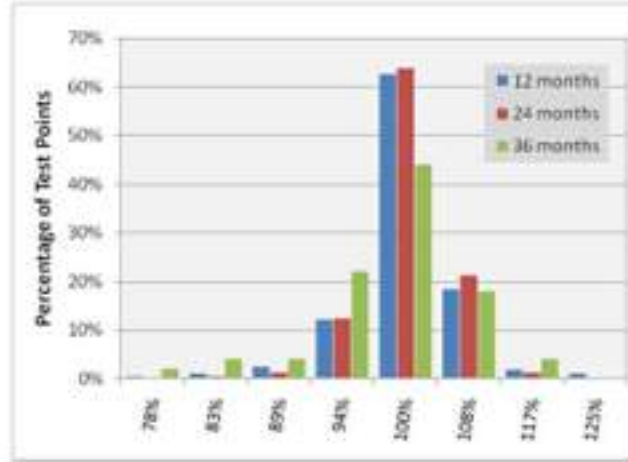
드라이브 유닛에 각 라쳇 헤드 조합을 따로 교정하는 것이 드라이브 유닛 단위 당 하나의 라쳇 헤드만 테스트 하는 것보다 훨씬 정확함을 알 수 있다. <그림 16> 따라서 라쳇 헤드와 드라이브 유닛 모두에 일련 번호를 할당하고 최상의 정확성을 얻기 위해 쌍으로 교정하고 사용하는 것이 필요하다는 것은 분명하다.



<그림 16>

4. 교정 데이터의 분석

테스트된 마지막 측면은 유압 토크렌치가 교정 받는 빈도수에 따른 영향이었다. 12개월, 24개월 및 36개월의 교정 빈도에 대한 결과의 정확도가 <그림17>에 나와있다.



<그림 17>

12개월 결과와 24개월 결과 간에 차이가 거의 없는 반면 36개월 결과는 덜 정확하다는 것을 알 수 있다. 이는 12개월에서 24개월 사이의 교정 주기가 적절하게 나타나고 36개월의 기간이 너무 길다는 표시로 간주 될 수 있다. 그러나 이것은 보정에 대한 시간의 영향에 대한 포괄적인 연구는 아니며, 그 이유는 토크렌치가 해당 기간 동안 사용된 사용량을 측정하지 못했고 도구가 요지 보수를 얼마나 자주 받았는지에 대한 기록이 없었기 때문이다. 분명히 이 두 가지 요소는 교정 빈도에 대한 포괄적인 연구의 결과에 중요한 영향을 미친다. 또한 ISO 6789[2]는 수동식 토크렌치의 경우 12개월의 특정 교정주기를 가지고 있음에 유의해야 한다.

5. 결론

이 논문에서 수행된 토크렌치 교정의 분석은 평균적으로 렌치의 약 25%가 첫 교정 점검 시 최대 10% 이상의 부정확성을 입증하였다. 이것은 볼트 연결부의 완성도를 결정하기 위해 함께 확인해야 할 중요한 요소다. 따라서 수동과 유압식 토크렌치 모두 정기적 교정의 이점이 입증되었다. 유압 토크렌치의 경우, 렌치 동작을 정확하게 설명하기 위해 보정 절차(압력대 토크 관계의 조정)에 오차의 변화와 기울기의 변화가 모두 포함되어야 한다는 것이 입증되었다.

이 연구에서 수행된 데이터 분석은 수리하거나 교체해야 하는 토크렌치를 감지할 때 교정 절차의 유용성을 입증했다. 연구된 수동 및 유압 토크렌치의 경우 목표 토크의 교정 후에도 10%를 초과하는 테스트 결과가 있었다. 교정 이전에 시험된 렌치 중 일부는 목표 토크의 50%를 초과하며 부정확했다. 즉 토크렌치가 250Nm로 설정된 경우 전달된 토크는 125Nm에 불과한 것이다. 값이 커지면 변동은 더 심해질 것이다. 이 정도의 변동은 볼트 결합성 문제의 근본 원인이 될 가능성이 있다. 교정 후 결과가 크게 개선되었기 때문에 교정 중에 수행된 간단한 유지 관리 단계가 비교적 적은 노력이나 비용으로 렌치의 정확성을 크게 향상 시켰다.

또한 저상 토크렌치에 다른 라쳇 헤드가 미치는 영향은 중대하며, 가능하면 드라이브 유닛과 라쳇 헤드를 함께 교정해야 한다. 드라이브 유닛은 정확도에 영향을 미치지 않으면서 라쳇 헤드 간에 상호 호환이 가능하다.

마지막으로, 교정 빈도의 영향에 대해 간단한 연구가 있었지만 렌치를 다시 교정해야 하는지, 두 번째로 렌치를 교체해야 하는지 결정해야 하는 하나의 척도를 알 수 있는 것에 대한 가치가 있었다. 토크렌치의 사용 마모로 인해 부정확성이 단순히 발생되면 낮은 빈도로 교정 작업을 하는 것만으로도 충분히 의미가 있다. 그러나 토크렌치의 고장은 알 수 없기 때문에 교정하는 빈도가 낮을수록 오차 범위에서 벗어난 렌치가 상당 기간 사용되어 볼트 결합의 문제를 일으킬 잠재성이 커진다는 볼 수 있다. 따라서 적절한 교정 기간을 정함에 있어 토크렌치의 사용 빈도뿐만 아니라 교정되지 않은 토크렌치의 사용으로 인해 볼트 연결의 실패할 가능성 또한 염두에 두어야 한다. 이 리스크는 각 연결부를 조일 때 사용되는 토크 값의 문서화를 통해 최소화 할 수도 있다. 그런 식으로 모든 부적합 부분들이 장비의 역추적으로 밝혀낼 수 있는 것이다.