論文 한국공작기계학회지 제9권 제1호 2000. 2.
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

TC볼트의 스트리핑 메카니즘에 대한 실험적 연구

손승요*, 신근하*, 홍민성*

Experimental study on stripping mechanism of tension controlled bolts

Seung-Yo Sohn*, Keun-Ha Shin*, Min-Sung Hong*

Abstract

Over tightening experiments of the tension-controlled bolts are carried out and the stripping mechanism is reviewed based on the observed results. There are two modes of bolt failure due to the over tightening : one the fracture of the bolt, the other the thread stripping. Bifurcation between these two modes is rather delicate, but it seems being related with the elastic flexibility of the bolt, which depends upon the unused thread length. The fracture mode occurs in the bolts with good flexibility, while the latter with bad one. According to the ISO Standard, some meter coarse threads like M20 and M22 have the same pitch, which causes bigger fastener to less resistance in shear and bending compared with the smaller one. However, since UNC thread system adapts different pitch for different nominal diameter, unified coarse threads show better stripping resistance than their corresponding meter threads.

Key Words : stripping(스트리핑), tc bolt(장력제어볼트), ts bolt(토크전단제어볼트), nut factor(토크계수), overtightening(과도체결), thread engagement(나사물림)

1. 서 론

구조체 접합부의 강도와 강성을 확보하기 위하여 볼트 체결 시 토크법에 의한 체결관리가 널리 채용된다. 과도체결은 체결 중 볼트의 파단 또는 나사산의 스트리핑을 야기하거나, 체결 후 외력의 작용에 대한 대처능력의 저하를 가져온다. 한편 과소체결은 접합부의 강성과 강도의 불충분을 초래하여 볼트 또는 접합부의 파손을 유발시킨다. 따라서 현장체결에서 적정 체결력의 확보는 체결품질을 유지하는 관건이 된다. 그러나 토크법에 의한 체결관리는 매우 간편하기는 하지만 건설현장에서 볼트 하나 하나에 대하여 체결토크를 확인하는 번거로움이 따르므로 이를 해결하기 위한 방안의 하나로 고안된 것이 TC볼트이다. TC볼트는 그림 1에서 보는 바와 같이 볼트 후미에 노치를

* 아주대학교 기계 및 산업공학부

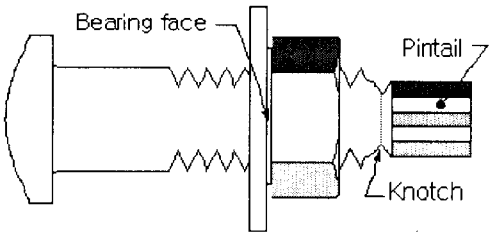

Fig. 1 TC bolt set

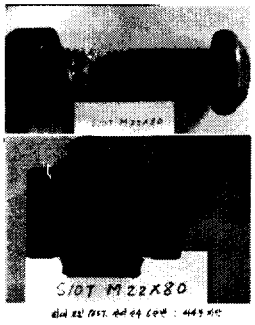

Photo 1 볼트파단과 나사산물림

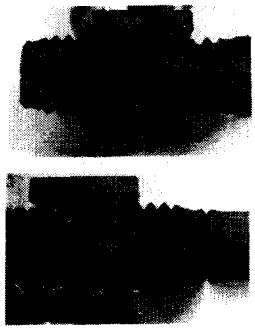

Photo 2 스트리핑 단면

내고 12각의 핀 테일을 붙인 것이다.

TC볼트용 체결기는 내 · 외부 소켓으로 구성되어 있다. 내부소켓은 핀 테일을 고정하며 외부 소켓이 너트를 회전시켜 체결한다. 체결이 진행되면 볼트-너트의 나사면과 너트 자리면의 마찰토크가 증가한다. 이 마찰토크가 지정된 크기 즉 볼트에 충분한 체결력이 발생되면 내부소켓 지지에 의한 노치부 응력집중으로 이 부분이 전단파괴되므로 핀 테일이 떨어져가며 체결은 종료된다. 본 연구는 TC볼트의 과도체결로 인한 현상 중, 핀 테일이 떨어져나가지 않고 볼트의 나사산이 뭉그러진 채 너트만 겉돌아 너트를 뺄 수 없게 되는 스트리핑[1,4]에 대한 실험적 연구를 통하여 붕괴기구 및 이에 대한 원인과 대책을 제안한다. 스트리핑은 자주 일어나는 현상은 아니지만 과도체결 시 발생할 수 있는 나사의 파괴상태로서는 반드시 예방되어야 할 현상중 하나이다. Photo 1과 2는 파단볼트와 스트리핑이 일어난 물림부의 단면을 보여준다.

2. 실 험

2.1 실험장치 및 방법

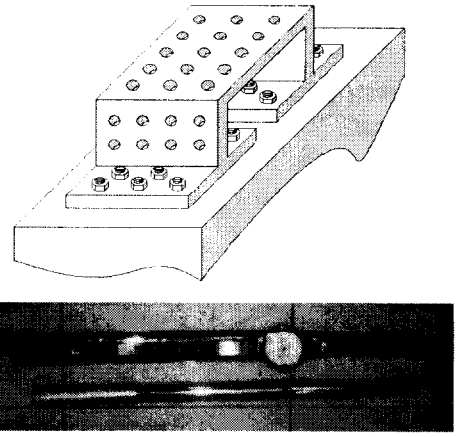

Fig. 2 Experimental apparatus

Table 1 Bolts used in experiment

Meter thread, S10T, 2nd Grade	
Name	Max. Torque($kgf \cdot m$)
M20, 80mm	80
M22, 85mm	85
M24, 80mm	110
Inch thread, A325, 2A/2B Grade	
Name	Max. Torque($kgf \cdot m$)
$\frac{3}{4}$-10 UNC, 2 $\frac{1}{2}$"	75
$\frac{7}{8}$-9 UNC, 3"	90
1-8 UNC, 2 $\frac{1}{2}$"	120

Fig. 2는 실험대와 수동 토크렌치를 보여준다. 본 실험은 과도체결에 의한 스트리핑을 유도하기 위하여 TC볼트용 체결기로 체결하지 않고 수동 토크렌치로 너트를 회전시켜 체결하였다.

볼트 파단에 이르는 토크를 발생시키기 위하여 수동렌치의 회전에 두 사람이 동원되었다.

사용한 TC볼트의 종류와 실험 시 얻은 수동토크의 최대크기는 Table 1과 같다.

2.2 실험결과

실험결과는 부록의 Table A1에 수록하였다.

2.3 실험결과에 대한 관찰

1) S10T인 M20,(길이 80mm), A325인 $\frac{3}{4}$-10 UNC(길

이 $2\frac{1}{2}$"), $\frac{7}{8}$-9 UNC(길이 3") 등 호칭지름이 작은 볼트에서는 스트리핑이 발생하지 않음.

2) S10T인 M22(80mm), M24(80mm), 1-8 UNC($2\frac{1}{2}$") 등 호칭지름이 큰 볼트에서는 스트리핑이 발생함.

3) S10T인 M22의 경우 잔여 나사산수가 5산 이하에서 스트리핑이 발생하였고 M24의 경우 잔여 나사산수가 3산 이하에서 스트리핑이 발생함.

4) A325인 1-8 UNC($2\frac{1}{2}$")의 경우 잔여 나사산수가 4산 이하에서 스트리핑 발생함.

5) 스트리핑은 너트자리면 반대쪽(핀 테일에 가까운 쪽)의 볼트 나사산에서 일어남. 이 때 너트 나사산은 다소의 변형은 일으키나 볼트 나사산처럼 뭉그러지지는 않음.

이상의 관찰결과는 다음 두 가지로 요약할 수 있다.

- 작은 지름의 볼트가 큰 지름의 볼트보다 스트리핑의 가능성이 크다.
- 잔여 나사산의 수 즉 체결체 쪽의 물리지 않은 나사부의 길이가 짧을수록 스트리핑의 가능성이 있다.

3. 나사의 과도체결에 의한 스트리핑 메카니즘 분석

3.1 체결 시 나사산에 분포되는 응력과 변형

유한요소법으로 해석[7]한 볼트 나사부에 작용하는 힘의 계산 예는 많다. Fig. 3은 M22 볼트의 유한요소 탄성해석 결과[2]이고 Fig. 4는 같은 볼트의 탄소성 해석 결과[2]이다.

체결 시 Fig. 3에서 보는 바와 같이 첫 번째 골 부분에 가장 큰 응력집중이 일어나고 순차적으로 둘째, 셋째... 골 순으로 응력집중이 일어난다. 체결이 과도체결로 이어지면 이에 대응하여 응력집중이 크게 일어나는 골부터 소성역이 확대되어 감을 Fig. 4에서 볼 수 있다.

Fig. 5는 M24 볼트에서 너트와 물림이 시작되는 나사산으로부터 각 나사산이 분담하는 체결력의 비율[3]을 나타낸 것이다. 첫 번째 나사산이 체결력을 가장 많이 분담하며 둘째 나사산, 셋째 나사산 순으로 분담비율이 감소한다.

3.2 나사산에 작용하는 정적인 힘과 전단파괴

Fig. 6은 체결 시 수나사와 암나사의 접촉면에 작용하는 힘의 성분들을 보여준다.[5] 힘의 성분을 나사산 높이에 평행 및 수직한 성분 R과 W로 분해하면 W는 나사산에 굽힘과 전단변형을 유발한다. 나사규격[6]에 의하면 수나사와

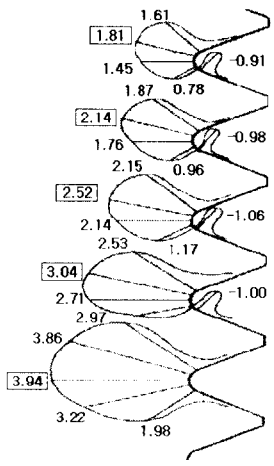

Fig. 3 Elastic stress distribution of M22 bolt[2]

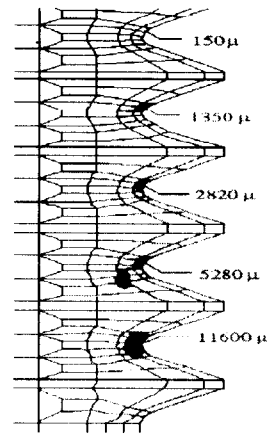

Fig. 4 Plastic strain propagation in M22 Bolt[2]

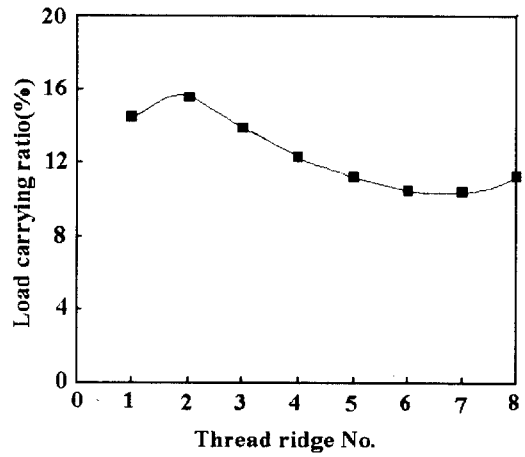

Fig. 5 Load carrying ratio, M22[2]

암나사의 물림은 유효지름 d_2를 기준으로 볼 때 수나사의 산이 암나사의 산에 비하여 높으므로 나사산이 끝나는 위치에서 암나사의 나사산 폭은 수나사의 나사산 폭에 비하여 훨씬 크다. 따라서 나사산이 정적인 전단응력에 의하여 파괴된다면 이는 우선 수나사에서 발생하게 되며 수나사 나사산의 전단파괴는 암나사와 접촉이 시작되는 점에서 시작된다고 볼 수 있다. 실제에서는 굽힘과 전단이 중첩되어 일어나므로 그림과 같이 명확한 전단선으로 발전하지는 않는다.

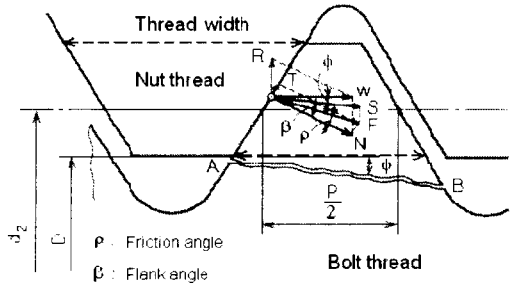

Fig. 6 Static shear failure of bolt thread

3.3 스트리핑 메카니즘의 분석

스트리핑의 발생과 관련하여 체결과정을 크게 세 단계로 나누어 분석한다.

1) 초기 밀착 상태

볼트와 너트가 적절한 볼트 나사산 높이까지 맞물린 상태로, Fig. 7에서 보는 바와 같이 접촉된 나사산 수에 걸쳐 초기의 작은 접촉압력이 분포된다.

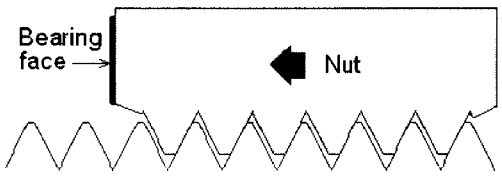

Fig. 7 Initial snug tight state

2) 정상체결 상태

나사산에 작용하는 체결력은 자리면 쪽으로부터 볼트의 첫 번째 나사산이 가장 많이 분담하고 두 번째, 세 번째... 순으로 작아진다. 볼트 나사산과 접촉한 너트의 나사산에 걸리는 힘도 마찬가지이다. 너트는 축방향 압축력을 받으므로 Fig. 8에 보인 반경방향의 팽창(dilation)이 일어난다. 반면 볼트 나사산은 물림부 나사산 폭이 너트의 나사산 폭보다 작으므로 굽힘변형 뿐만 아니라 너트에 비하여 더 큰 전단변형을 일으킨다. 더우기 체결력은 볼트를 축방향으로는 신장시키고 축에 수직인 반지름방향으로는 수축을 일으키므로 ($\varepsilon_r = -\nu\varepsilon_z$) 큰 인장하중을 받는 너트 자리면으로부터 물림이 시작되는 제1 나사산, 제2 나사산, 제3 나사산...의 순으로 볼트 지름이 감소한다.

따라서 볼트와 너트의 물림 정도는 초기 밀착상태보다

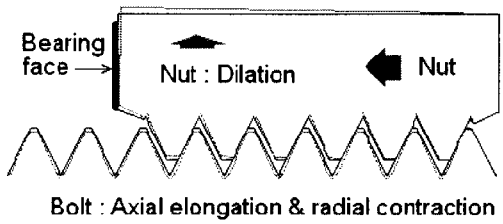

Fig. 8 Normally tightened state

훨씬 작은 길이로 접촉된다. 이 단계에서 특히 주목할 것은, 인장력을 받는 볼트에서 물림 나사부의 골에는 인접한 물림나사산의 체결력 분담에 해당하는 힘의 응력집중을 일으키지만 물리지 않은 잔여나사부의 골에는 전체 체결력에 대한 응력집중이 일어나서 물림나사부의 골보다 더 큰 응력이 유발된다는 점이다.

3) 과도체결 상태- 응력집중 점에서 볼트의 소성변형-네킹-파단 또는 스트리핑 단계

자리면쪽 너트의 반지름 방향 팽창(dilation)과 물림부를 포함한 볼트의 나사 골부분 응력집중은 소성변형으로 발전한다. 이 때 잔여 나사부의 길이에 따라 볼트의 탄성변형량(유연성)에 차이가 발생하며 이 유연성에 따라 응력집중이 가장 큰 골에서 넥킹-파단으로 이어지는 경우와 스트리핑으로 이어지는 경우로 분리된다.

Fig. 9는 과도체결시 이 두 가지 경우의 개략적인 변형형상을 보여준다.

후자(스트리핑)의 경우, 암나사와 물린 수나사 골 중 체결력 분담정도가 큰 제1, 제2 내지는 제3 나사산 인접 골에 순간적으로 과다한 소성신장에 의한 반지름 감소로 인하여 너트와 볼트의 나사산 물림이 완전히 벗어나게 되고 볼트와 너트 나사산의 주된 접촉은 핀 테일 쪽 나머지 나사산만에 의존한다. 즉 너트 자리면으로부터 3-4개 나사산까지는 볼트의 나사산과 거의 물리지 않고 보통높이 너트에 생성된 총 6-7개의 나사산 중 2-3개가 볼트의 나사산과 물리게 된다. 이 순간 볼트와 너트의 물려있는 나사산들은 과다한 굽힘과 전단작용을 받는다. 볼트는 물림부의 나사산 폭이 너트의 나사산 폭보다 작기 때문에 나사산이 급격한 소성 굽힘/전단 변형을 일으켜 볼트의 나사산이 먼저 뭉그러지는 스트리핑을 일으키고 상대적으로 굽힘 및 전단강성이 큰 너트의 나사산이 이어서 소성변형 내지 뭉그러짐을 일으킨다. 일단 스트리핑이 시작되면 너트에 물려있는 2-3개의 볼트나사산은 순식간에 뭉그러지

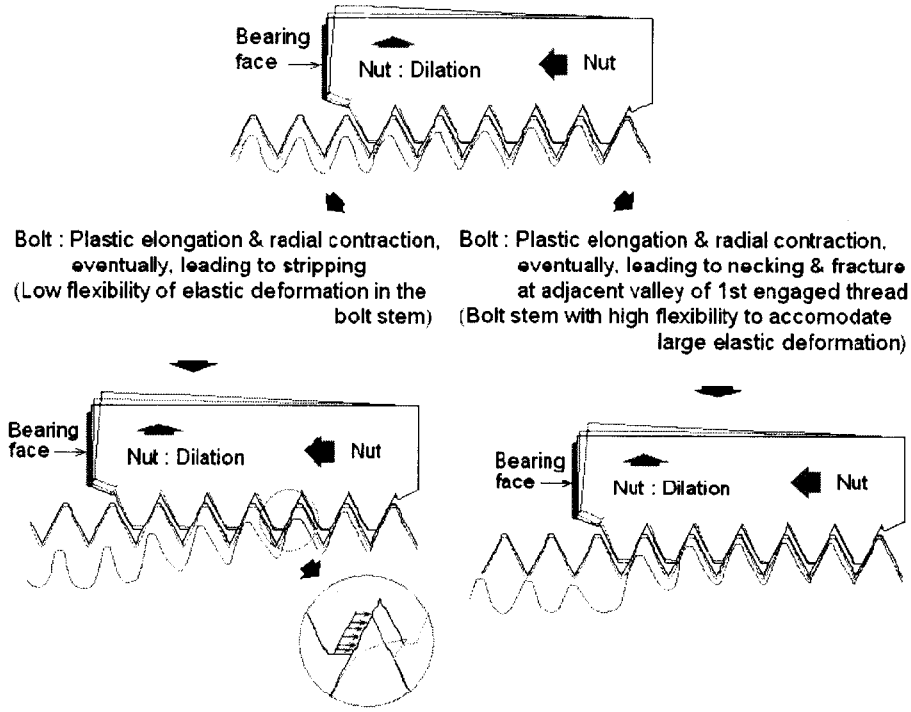

Fig. 9 Stripping or Necking & fracture due to over-tightening

게 된다. 이 무렵 볼트는 이미 소성신장으로 충분히 늘어나 있으므로 몇 개의 나사산이 뭉그러지고 나면 이후 너트는 겉돌게된다.

4. 고 찰

4.1 일반사항

스트리핑은 나사산의 전단변형과 굽힘변형이 동시에 중첩되어 일어나는 현상으로 이에 대한 나사산의 저항능력을 다음에 정의하는 바와 같이 물림나사부 위치에서 전단저항능력과 물림률을 이용한 굽힘저항으로 판단한다. Fig. 10을 참조하면 물림폭 $w = h/\sqrt{3}$ 이며 이 위치에서 볼트 나사산의 전단저항능력은 물림폭부 면적에 분포된 전단응력의 합에 대한 체결력의 비로 가늠할 수 있다. 동일한 강도구분(예: S10T 또는 A325)의 볼트에서는 지름에 관계없이 재료의 항복응력이 동일하다. 따라서 스트리핑 직전에 볼트에 발생한 응력들은 각 볼트에서 같다고 볼 수 있다. 물림폭 위치에서 평균 전단응력을 τ, 체결력을 볼트 유효 단면적 A_b 로 나눈 평균체결응력을 σ 라 하면 볼트의 나사선 단위 길이 당 전단력은 $1 \times w \times \tau = w\tau$ 이고 체결력은 $\sigma \times A_b = \sigma A_b$ 가 된다. 따라서 단위 나사선 길이 당 전단력에 대한 체결력의 비 $\frac{\tau w}{\sigma A_b} = \left(\frac{\tau}{\sigma}\right)\left(\frac{w}{A_b}\right)$ 를 전단저항능력에 대한 척도로 고려한다. 여기서 $\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)$는 동일 재료의 볼트에서는 동일하여야 하므로 전단저항에 대한 능력은 $\left(\frac{w}{A_b}\right)$의 크기만으로 비교할 수 있다. 물림률은 h/d_n 으로 정의되며 물림률이 클수록 볼트와 너트의 나사산은 깊이 물리며 물림폭이 넓어져서 굽힘저항도 커지므로 물림률을 굽힘저항에 대한 판단척도로 사용한다.

부록의 Table A2에는 실험에 사용한 미터나사와 유니파이나사의 규격치수와 더불어 전단저항능력과 물림률을 계산하여 실었다.

미국 화스너협회[4]에서 제시하는 암나사와 수나사의 스트리핑 단면적에 대한 식을 보면 물림폭부 위치를 수정하여 전체 물림 나사산의 면적으로 다음과 같은 식을 사용하고 있다.

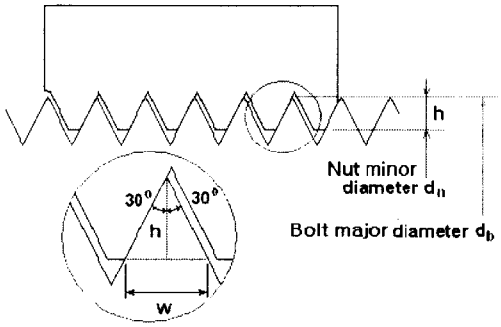

Fig. 10 Geometry of thread engagement

수나사 즉 볼트에서 스트리핑 면적은

$$AS_s = \pi \cdot L_e \cdot K_{n\max} \cdot n\left[\frac{1}{2n} + \tan 30^\circ\left(E_{s\min} - K_{n\max}\right)\right]$$

이고 암나사 즉 너트에서 스트리핑 면적은

$$AS_n = \pi \cdot L_e \cdot D_{s\min} \cdot n\left[\frac{1}{2n} + \tan 30^\circ\left(D_{s\min} - E_{n\max}\right)\right]$$

을 추천하고 있다. 여기서 AS_s =볼트 나사산 스트리핑 면적, AS_n =너트 나사산 스트리핑 면적, L_e =물림길이, $K_{n\max}$ =너트구멍 최대지름, $E_{s\max}$ = 볼트 최소 유효지름, $D_{s\min}$ =볼트 최소 바깥지름, $E_{n\max}$ =너트 최대유효지름, n은 인치당 나사산수이다.

4.2 볼트지름과 스트리핑

4.2.1 미터 나사의 경우

1) 볼트 나사산의 물림폭은 M20과 M22가 1.9676mm(두 나사의 피치가 동일)로 같다. M20에 비하여 M22는 설계하중(체결력)이 4 ton이나 더 크므로 M22에서는 M20에 비하여 과도체결 시 볼트 나사부의 특히 굽힘/전단파괴에 취약하다.

2) 전단저항능력은 골단면적 기준 M20에서 평균이 0.0090인데 M22와 M24는 각각 0.0072 및 0.0075로 크게 떨어진다.

3) 허용공차에 따른 최대/최소치수의 조합에 의하여 계산한 물림폭과 물림높이를 이용하여 전단저항능력과 물림률에서 불리한 조합이 실험표본으로 채취되거나 실제 체결에 사용되면 스트리핑의 발생빈도는 증가한다.

4.2.2 유니파이 나사의 경우

1) 3/4-10 UNC 및 7/8-9 UNC의 경우 스트리핑이 발생하지 않고 지름이 큰 1-8 UNC 의 경우에만 발생하였다. 지름이 작은 두 볼트의 경우 대응되는 미터나사와는 달리 피치가 상이하여 전단저항능력이 M22 미터나사처럼 현저히 감소하지 않는다.

2) 7/8-9 UNC는 M22에 비하여 물림률이 현저히 높아서 굽힘에 대한 저항이 크다.

규격의 허용치수를 기준으로 한 Table A2에서 치수의 최대치와 최소치를 결합하면 가장 불리(최소)하거나 가장 유리(최대)한 물림높이와 물림폭을 계산할 수 있으며 실제에서는 평균치에 가까운 경우도 있겠지만 불리하거나 유리한 경우들도 산포하게 된다. 특히 불리한 경우가 실험표본으로 추출되거나 실제 체결에 사용되면 스트리핑의 발생빈도는 증가할 것이다. 품질관리가 표본의 평균치를 중심으로 관리되는 경우 실험자료의 표준편차와 공정능력 변동의 최소화 등이 필요하다.

4.3 잔여 나사산 수와 스트리핑

볼트에 걸린 체결력은 너트와 물린 나사산 뿐만 아니라 잔여 나사부에 걸쳐 분포된다. 잔여 나사산이 많으면 잔여 나사의 각 골부에 응력집중을 일으켜 응력과 변형이 전체 잔여나사길이에 걸쳐 분포되므로 네킹과 같은 순간적인 급격한 변형집중이 한곳에서 일어날 확률이 감소한다. 즉 볼트의 유연성 증가는 네킹에 의한 급격한 물림 잇수 감소를 방지하므로 과도체결 시 스트리핑이 일어나기 전에 제1 나사부 골의 네킹으로 볼트 파단이 선행된다.

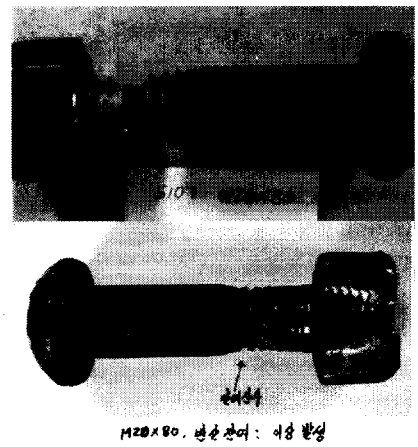

Photo 3 잔여 나사산 수와 스트리핑

한편 인장력에 대한 볼트의 유연성은 l/EA로 표시되며 볼트에서는 유효단면적 A_v가 클수록 즉 사용되지 않은 나사산이 많을수록 l이 커지므로 유연성이 증가한다. 그러므로 같은 잔여 나사산 수에 대하여 지름이 클수록 유연성이 작아지므로 지름이 큰 볼트는 지름이 작은 볼트에 비하여 급격한 변형에 대한 저항능력이 떨어지므로 스트리핑이 유발될 가능성이 더 크다. Photo 3은 파단 또는 스트리핑을 일으킨 볼트의 잔여 나사산수를 보여준다.

5. 과도체결의 원인과 대책

과도체결은 여러 가지 원인에 의하여 발생되며 이로 인하여 발생하는 현상 중 고온에서 소재의 내력저하를 들 수 있다. 건설용 고장력볼트는 소입성이 좋고 가격경쟁력이 있는 보론강으로 생산되고 있다. 그러나 보론강은 고온에서의 강도저하가 큰 것이 흠으로 지적된다. 스트리핑을 일으키는 과도체결의 주요 원인들은 다음과 같다.

1) 토크계수(나사면과 자리면의 마찰계수가 지배함)가 기대치보다 작은 경우 체결 시 핀테일이 떨어지는데 필요한 토크에 도달하기 전에 과도체결로 인한 볼트 축력의 과대화로 볼트축의 과도 소성신장과 이에 수반한 볼트지름의 감소 초래.

2) 체결기기의 정확도 부족과 내부 소켓부의 유연성과다.

3) 전조 롤러의 마모로 핀테일 쪽 노치부의 노치지름 과대 또는 노치 둥금새(r)가 커짐으로 인하여 노치부의 토크가 과대해진 경우.

4) 체결체의 볼트구멍 정렬불량으로 와셔면이 체결체에 밀착되지 않는 접촉불량으로 체결시 볼트와 너트 또는 너트와 와셔가 함께 회전하면 체결토크 부족으로 핀테일은 파단되지 않고 과도체결에 연결되는 경우.

5) 예비체결과 본체결의 체결수칙을 지키지 않으므로 인하여 밀착이 안된 상태로 체결할 경우 3)항에 준하는 상황발생.

6) 현장에서 보관/체결 시 태양열에 장시간의 노출로 인한 온도상승으로 너트구멍이 확대되어 나사산 물림률이 저하를 초래함으로 적정 체결력에 도달하기 전(즉 핀테일이 떨어지는데 필요한 토크에 도달하기 전)에 자리면 쪽의 물림 나사산수를 감소시켜 스트리핑의 원인을 제공.

7) 이상 열거한 원인들이 개별적으로는 그 효과가 작아도 이 중 몇 개 또는 전체가 중첩되는 경우 쉽게 스트리핑 유발.

따라서 스트리핑에 대한 대처방안은 토크계수 값이 안정화된 볼트 셋트 부품의 생산, 체결기기의 정기적 점검과 보수, 체결수칙의 준수, 부품치수(특히 너트구멍지름과 볼트 바깥지름/골 지름, 노치 지름, 노치 둥금새)의 편차 최소화, 제품의 수송과 보관 철저 등 과도체결의 원인을 근본적으로 제거하는 것이다.

6. 결 론

TC볼트의 스트리핑에 관한 실험과 규격치수에 대한 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) M22는 피치가 M20과 동일함으로 인하여 물림률, 전단저항능력이 M20보다 현저히 떨어진다.

(2) M20 및 M22에 대응하는 유니파이나사 3/4-10 UNC와 7/8-1 UNC의 피치는 상이하며 7/8-9 UNC의 전단저항능력이나 물림률은 대응하는 미터나사처럼 크게 떨어지지는 않는다.

(3) 7/8-9 UNC는 실험에서 스트리핑의 발생이 전혀 없다. 이는 물림률이 다소 높기 때문에 굽힘저항의 효과가 있는 것으로 보이나 실험 수를 증가하면 스트리핑의 발생 가능성이 있다고 생각된다.

(4) 체결시 사용되지 않은 잔여 나사산부의 길이가 길면 체결력에 대한 볼트의 유연성(탄성변형) 증가로 스트리핑 가능성이 감소한다. 같은 이유로 굵은 지름의 TC볼트는 가는 지름의 경우보다 스트리핑의 가능성이 더 크다. 미터 보통나사의 경우 스트리핑은 서로 다른 호칭지름에 대한 규격상의 동일 피치의 채택에 원인이 있는 것으로 판단된다.

후 기

본 실험에 협조하여 주신 한국볼트공업(주) 관계자에게 심심한 감사를 드린다.

참 고 문 헌

(1) John H. Bickford, An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints, Marcel Dekker, Inc., 1990, p.425.

(2) 金振鎬, 超高力ボルトの開發に關する研究, 大阪大學博士學位論文, 1993. 12, pp.45-59.

(3) 吉本 勇 外, ねじ締結體設計のポイント, 日本規格協會, 1992, pp.119-136.
(4) IFI, Fastener Standards, Industrial Fasteners Institute, 1988, p.A-6~A-355. 山本晃, ねじ締結の理論と計算, 養賢堂, 1990, pp.28-34.
(5) KS B 0200(나사의 표시방법), 0234(강제 너트의 기계적 성질), B 1006(암나사용 구멍 지름), B 0211(미터 보통 나사의 허용한계치수 및 공차), B 0213(유니파이 보통나사의 칫수차 및 공차), B 0249(나사의 유효단면적 및 자리면의 부하면적)
(6) 홍민성, 신근하, 정웅, "주조프레임을 강구조물로의 대체에 관한 연구", 한국공작기계학회지,제8권 1호, 1999.2, pp.142-149.

부 록

1. 실험결과

Table A1 Experimental Results

Meter thread, S10T			Unified thread, A325		
	unused threads	stripping		unused threads	stripping
M 20 ~ 80 mm	6 1/2	no	3/4 UNC 2 1/2"	6 1/2	no
	4 1/2	no		5 1/2	no
	3	no		4 1/2	no
	1 1/2	no		3 1/2	no
	1/2	no		1 1/2	no
M 22 ~ 85 mm	7	no		1/2	no
	5 1/2	no	7/8 UNC ~ 3"	6 1/2	no
	5	yes		5 1/2	no
	3 1/2	yes		2 1/2	no
	3 1/2	yes		1 1/2	no
	3 1/2	yes		1/2	no
M 22 ~ 80	6 1/2	no	1 UNC ~ 1/2"	6 1/2	no
	5	yes		5 1/2	no
	4 1/2	yes		4 1/2	no
M 22 ~ 80 mm	7 1/2	no		4	yes
	5 1/2	no		4	yes
	3 1/2	no		2 1/2	yes
	3	yes		2 1/2	yes

2. 전단 저항과 물림률

Table A2 hear resistance and engagement ratio

		Meter thread		
Nominal dia. (mm)		M20	M2	M24
		20	22	24
Pitch(mm)		2.5	2.5	3
Shear resistance at engaged width*	max	0.00343	0.00252	0.00299
	min	0.00274	0.00201	0.00238
	avg	0.00421	0.00217	0.00252
Engagement Ratio+	max	0.0760	0.0536	0.0648
	min	0.0760	0.0487	0.0582
	avg	0.0761	0.0547	0.0658
		Inch thread		
Nominal dia. (mm)		3/4UNC	7/8UNC	1UNC
		19.050	22.225	25.400
Pitch(mm)		2.540	2.822	3.175
Shear resistance at engaged width*	max	0.00392	0.00280	0.00337
	min	0.00315	0.00226	0.00271
	avg	0.00270	0.00196	0.00234
Engagement Ratio+	max	0.0800	0.0563	0.0682
	min	0.0759	0.0538	0.0648
	avg	0.0747	0.0538	0.0642