풀림방지형 볼트와 너트의 개발에 관한 연구

A study on the development of loose prevention bolt and nut

*이우형[1], 허용[1], 조성근[1],구재민[1],#석창성[1]
*W.H.LEE[1], Y.Huh[1] , S.K.CHO[1], J.M.KOO[1], #C.S.Seok(seok@skku.edu)[1]
[1] 성균관대학교 기계공학과

Key words : Multiplex thread screw, Duplication screw, Loose prevention

1. 서론

볼트와 너트는 체결요소로써 각종 기기와 구조물을 제작할 때 필수적으로 사용되는 부품이다. 오늘날 부품이 강해짐에 따라 체결요소도 큰 강도와 진동에 견딜 수 있는 능력을 필요로 하고있다. 큰 강도와 진동에 견딜 수 있는 볼트와 너트의 풀림에 관한 문제는 이전부터 연구되어 왔으며 다양한 해법이 제시되어있다. 하지만 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이며, 특히 진동에 풀리지 않는 볼트와 너트는 많지 않다.

본 연구의 목적은 신속한 체결이 가능하고, 회전뿐 아니라 축방향으로의 진동과 충격 등 복합적인 외력에서도 원하는 체결력을 유지할 수 있는 풀림 방지 나사를 개발하는 것이다.

현재 풀림을 방지하기 위해 다양한 기술이 제안되었고 일부는 제품으로 제작되어 사용되고 있다. 가장 일반적으로 적용되는 방법이 톱니형 나사와 와셔를 사용하는 것으로, 톱니의 풀림 반발력을 이용하고, 비슷한 유형으로써 빗살형 뼈대의 풀림 반발력을 이용한 립 락 와셔가 있다. 이들은 연성재료에 강하게 체결되어질 수 있으나 정밀도가 떨어지는 단점이 있다. 최근에 제안되어진 것으로 5d 법이 있으며, 이것은 노드락(Nord-Lock)과 함께 진동에 강한 특성을 갖고있다. 제품으로 제작되어 판매되고 있는 엔디패치(ND Patch)와 나이록(NYLOK)은 정밀한 공차를 가지며 누설방지 효과까지도 기대할 수 있다. 그 외에도 플랙스락(FLEXLOCK) 너트, 유(U)-너트 등이 비교적 저렴한 가격에 사용되고 있고, 형상기억합금 와셔도 제안되고 있다.

이들 풀림 방지 방법 중 너트의 풀림을 방지하기 위하여 한 개의 너트를 볼트에 먼저 체결한 후 두 번째 너트를 더 체결하여 강하게 조여 줌으로써 두 너트 사이에 형성된 여압을 이용하여 체결력을 강화시키는 방법이 있다. 이 방법은 간단하고 매우 효과적이지만, 회전체에 볼트가 체결된 경우 볼트와 너트가 풀리는 방향으로 장시간 회전력을 받게되거나, 회전체가 아니더라도 장시간 진동을 받게되면 두 너트 사이의 여압이 감소하여 차례로 너트가 풀리는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 가마타 분지(鎌田 文二)는 '오른 나사, 왼 나사를 이용한 너트의 풀림 방지 장치 및 그 제조 방법'(平成11年 9月, 整理番號: KP05440-26, 受付番號: 59900895438, 出願番號通知: 特願平11-260442)을 제안하였다. 이것은 볼트에 오른나사와 왼나사의 양방향 나사산을 내어 각각 오른나사와 왼나사 너트를 체결하여 시계방향과 반시계방향 어느 쪽으로 힘을 받더라도 체결력을 유지하도록 한 것으로, 회전체의 풀림 방지에 중점을 둔 것이었다. 하지만, 이 방법은 나사산의 방향이 서로 달라 체결 시 혼동을 초래할 수 있으며, 장시간 진동에 대해서는 일반 볼트와 마찬가지로 취약한 단점이 있다. 이러한 취약점을 극복하기 위해 본 연구에서는 이중나사산을 갖는 나사와 이단나사를 제안하고 시험을 통해 검증하였다.

2. 풀림방지형 볼트와 너트 제안

2.1 볼트와 너트에 관한 역학

나사를 돌려서 푼다는 것은 물체를 빗면에 따라 어울리는 것에 해당된다. 나사를 돌리는 힘을 P, 축방향으로 가해진 힘을 Q, 마찰각을 ρ라고 하고 나사산 각을 β, 유효지름을 d_2라고 하면 일반 단일나사를 풀때의 토크 T_1은

$T_1 = \frac{Qd_2}{2}\tan(\rho' - \beta)$이다.
여기서 $\rho' = \frac{\rho}{\cos\beta}$, $Q = N \times \cos\frac{\alpha}{2}$ 이다.

일반 나사에 너트를 두 개 결합하는 경우 너트가 2개 있기 때문에 $2T_1$이 필요하고, 또한 너트 사이의 마찰력으로 인한 토크가 추가로 필요하다.그러므로 이 경우 필요한 토크 T_2는

$T_2 \simeq 2T_1 + C_1$이다.

여기서 C_1은 볼트사이의 마찰력으로 인한 토크 증가량이다.

또한 이단 나사와 다중 나사산 나사는 일반 이중나사와는 다르게 각 너트의 진행속도가 다르기 때문에 추가로 반발력을 가지게 되어 이중나사 보다 더 큰 토크가 필요하게 된다.

2.2 풀림방지형 다중 나사산 나사의 제안

볼트 풀림을 방지 하기 위해서 다중나사산을 갖는 나사를 먼저 설계하였다. Fig. 1은 2 줄 나사산과 1 줄 나사산이 동시에 형성된 풀림방지 볼트가 2 줄 나사산이 형성된 너트와 1 줄 나사산이 형성된 너트와 체결된 단면을 나타낸 것이다. 다중 나사산이 형성된 볼트에 2 줄 나사산이 형성된 너트를 먼저 체결하고, 이어 1 줄 나사산이 형성된 너트을 체결하여 강하게 조여서 여압을 발생시키는 구조로 설계하였다. 이렇게 설계 함으로서 앞의 너트와 뒤의 너트가 상호작용하여 속도의 차이로 인한 볼트 풀림방지 효과를 가지도록 하였다. 다시 말하면, 2 줄 나사산이 형성된 너트가 2 피치 풀릴 때 1 줄 나사산이 형성된 너트는 1 피치 풀리므로 서로 이동을 방해하여 너트의 풀림을 억제하는 효과를 기대할 수 있다.

2.3 풀림방지형 이단 나사의 제안

풀림방지형 이단나사는 다중나사산을 갖는 나사와 기본적으로 같은 원리로 설계되었다. Fig. 2는 이단 나사의 일반적인 형태를 도시한 것이다. 도시한 바와 같이, 이단 나사는 두 단을 가지는 볼트와, 두 개의 너트로 구성되어있다. 한 개의 너트로 부재를 1차 체결하고, 다른 너트로 2차 체결함으로써 회전이나 진동으로 인한 앞의 너트의 풀림을 방지하고 체결력을 유지한다. 풀림방지 메커니즘은 리이드(lead)의 차이에 기인한다. 제1나사산은 왼나사산이며 체결너트가 볼트의 제2나사산을 통과 할 수 있도록 제1나사산을 골이 깊지 않은 가는나사산으로 제작하였다.

3. 볼트 풀림 시험

3.1 시험대상

풀림방지 나사의 성능을 평가하기 위하여 동일한 사이즈의 일반나사와 비교시험을 수행하였다. Table. 1에 실험에 사용된 나사의 종류를 정리하였다.

Fig. 1 Multiplex thread screw

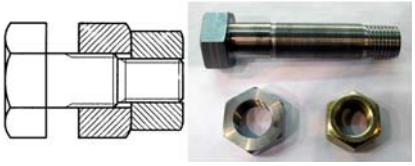

Fig. 2 Duplication screw

3.2 시험방법

비교시험법으로는 체결된 나사의 측면에 진동하중을 가하여

나사의 체결력의 변화를 관찰하여 풀림이 발생하는지 여부를 조사하는 정커 진동 시험법을 이용하였다. 체결력의 측정을 위하여 나사의 크기에 맞는 로드셀을 제작, 보정하여 사용하였다.

정커 진동시험법은 나사를 일정한 초기 체결력으로 체결한 후 나사의 측면에 전단 진동 하중을 가하여 초기 체결력이 유지되는 시간을 측정함으로써 나사의 풀림방지 성능을 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 진동시험 구조를 일부 수정하여 만능유압시험기로 수행할 수 있도록 하였다. 이를 위해 지그와 부싱이 제작되었다. Fig. 3는 진동시험기의 단면구성도를 나타낸다.

Fig. 3에서 보듯이 볼트가 지그와 로드셀을 관통하여 끝단이 너트에 의해 체결되어있다. 볼트와 지그 사이의 부싱은 볼트에 전달되는 진동의 손실을 막아주고, 로드셀과 볼트머리 부분의 와셔는 체결시의 마모를 방지해준다. 진동시험 시 상단의 지그가 고정된 상태에서 하단의 지그가 진폭 ±0.5mm, 진동수 10Hz로 진동하면 전단 진동 하중이 부싱을 통하여 볼트에 전달되고 이로인해 끝단에 고정시킨 너트가 풀리면 로드셀에 의해 체결력의 변화를 감지할 수 있다.

3.3 장비구성 및 실험

로드셀은 하중을 측정하는 센서로서 스트레인 게이지가 내장되어있다. 본 실험에서는 나사의 체결력을 측정하기 위하여 나사의 크기와 체결력을 고려하여 시험조건에 적합한 형상과 용량의 로드셀을 자체 제작하여 이용하였다. 시험하중은 M24 규격의 최대 허용인장 하중이 약 13.8 ton이므로 볼트에 무리가 가지 않으면서 성능측정이 가능한 3 ton~4 ton으로 정하고 이에 맞추어 로드셀을 제작하였다.

로드셀은 두 개의 일단굽힘보의 윗면과 아랫면에 각각 4개의 스트레인 게이지를 붙인 형태이다. 이때 일단 굽힘보의 길이와 폭과 두께가 각각 20mm, 25mm, 20mm이고 항복강도가 약 400MPa이므로, 형상으로부터 사용 가능한 로드셀의 용량을 환산해보면 약 6.6 ton을 얻을 수 있다. 또한 스트레인 게이지의 선형 변형율 한계인 2%를 고려하였을 때 약 4.3 ton까지 선형 측정이 가능하므로, 시험하중 범위에서 충분히 사용이 가능하다.

조립된 진동시험기 세트에 대하여 만능 유압시험기를 변위모드로 제어하여 진동을 가하였다. 진동을 가하는 시점부터 체결력의 시간에 따른 변화를 로드셀 인디케이터로 측정하여 오실로스코프(OSC)로 확인하고 PC로 저장하여 실험결과를 관찰하였다. 개당 시험시간은 100 초로서, 총 1000 사이클의 진동을 가하여 실험하였다.

Table. 1 Test specimen

Screw	Standard
Normal single screw	M24
Normal duplication screw	M24
Multiplex thread screw	M24 variation
Duplication screw	M24, M22

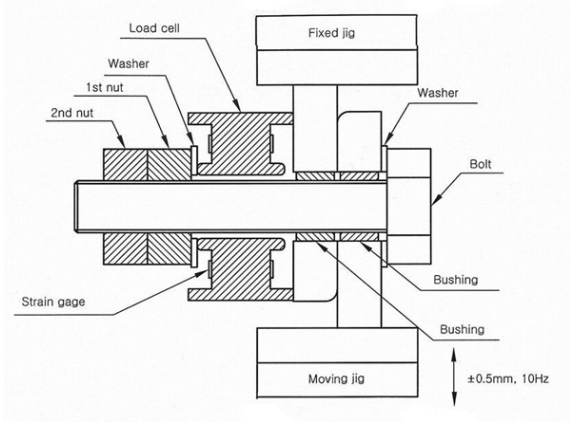

Fig. 3 Schematic diagram of Junker vibration test

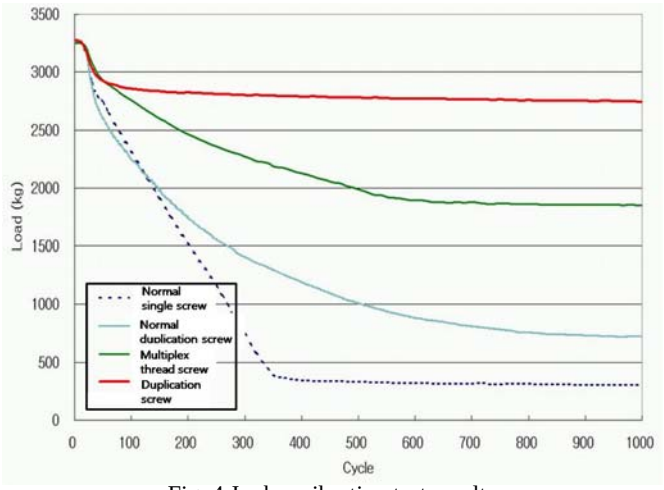

Fig. 4 Junker vibration test results

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험결과

체결된 나사에 진동하중이 가해질 때 나사의 체결력의 변화를 로드셀로 측정하고 이를 특성곡선으로 환산하여 가해진 사이클수에 따라 정리하여 Fig. 4와 같은 결과를 얻었다. 보이는 것처럼 일반나사의 단일너트 체결 시 350 사이클만에 체결력이 예하중의 12%로 떨어지는 것이 관찰되었고, 일반나사에 이중너트를 체결하는 경우 조금 향상되었으나 마찬가지로 떨어져서 1000 사이클에서 예하중의 22%로 떨어지는 것이 관찰되어 일반 나사의 경우 진동하중에 매우 취약함을 알 수 있었다. 이에 반해 본 연구에서 개발한 다중나사의 경우 초기에 체결력이 제법 감소하지만 600 사이클만에 58%로 떨어진 이후는 풀림이 둔화되어 체결력이 유지되고, 이단나사의 경우 초기의 100 사이클까지 88%로 떨어진 이후 체결력이 유지되는 것을 관찰할 수 있다.

4.2 실험결과 고찰

실험결과 일반 단일 나사보다. 일반 이중나사가 2배이상의 체결력을 가지는 것으로 보였고 다중나사와 이단나사은 일반 이중나사보다 큰 체결력을 가지는 것으로 보였다.

다중나사가 일반나사에 비해 우수한 체결력을 가지지만 초기에 체결력의 감소가 일어나는 이유는 이미 생성되어있던 두 줄 나사 위에 새로이 한줄 나사를 깎으면서 두 줄 나사산의 일부를 손상시켰기 때문에 그만큼 취약해 졌기 때문으로 판단된다. 이에 반해 이단나사는 두 개의 단을 분리하여 나사산의 손상을 방지하면서 풀림방지 메커니즘이 잘 적용되어 진동에 우수한 성능이 나옴을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 풀림방지형 나사인 다중나사산을 가진 나사와 이중나사를 제안하였으며, 이를 제작하고 진동실험을 통하여 그 가능성을 검토하였다.

시제품에 대한 실험결과 진동조건에서 다중나사산을 가진 나사산은 2.6배, 이단나사는 4배 큰 결합유지력을 갖는것을 확인할 수 있었으며, 이로서 이단나사와 다중나사의 적용 가능성을 확인하였다.

후기

본연구는 BK21 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Wkiyama Kozo, Tada Mohide, Kim jinho, Kobayashi Masaki,"A Testing Investigation on the Basic Mechanical Properties of Super High Strength Bolt, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting" Architectural Institute of Japan, 1991.10, pp.1057~1058
2. 심기철,이재석,김원기,김진호.,“F10T급 고력볼트를 이용한 마찰접합부의 실험적 연구”대한건축학회, 학술발표대회 논문집 - 구조계 제24권 제2호, 2004. 10, pp. 63~663.
3. 김진호,“고력볼트의 마찰접합에 관한 기초적 연구”대한건축학회,대한건축학회논문집제10권제10호,1994.10,pp.251~257