

◆ 특집 ◆ 초소형 체결부품의 설계 및 생산기술

## 소재와 나사산 변화에 따른 정밀나사의 체결력 향상에 관한 연구

### A Study on the Clamping Improvement of Precision Screws according to the Materials and Thread Changes

황우채<sup>1</sup>, 나승우<sup>1,✉</sup>

Woo Chae Hwang<sup>1</sup> and Seung Woo Ra<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> (주)서울금속 기술연구소 (Technology Research Center, Seoul Metal Co., Ltd.)  
✉ Corresponding author: raswoo@hanmail.net, Tel: +82-32-562-0234

Manuscript received: 2015.5.15. / Revised: 2015.5.22. / Accepted: 2015.5.26.

*In this study, we compare the performance of the screw through the Clamping force of the test materials to change shape and structure, one of the ways to maintain and improve the engaging force to cope with the miniaturization of the fastener threads are further thinner and lighter precision way that can improve the fastening force of the screw results were as follows. The clamping force according to the materials was 7.57N-cm in SUS XM7 and SWCH18A was 5.97 N-cm. This result was to be found to average 13.5% high in the Clamping force of SUS XM7 materials. In the case of the clamping force of the screw thread shape change, the clamping force of symmetrical and asymmetrical thread was 6.78 N-cm and 7.57 N-cm. The clamping force of the asymmetrical thread showed an average high of 11.6%.*

KEYWORDS: Precision screw (정밀나사), Clamping force (체결력), Thread change (나사산 변화), SUS XM7 (스테인리스강)

#### 1. 서론

최근 IT전자제품들의 슬림화 및 경량화되는 추세에 따라 각각의 부품을 조립하기 위한 체결부품도 소형/정밀화 되는 추세이다. 특히 스마트기기의 슬림화 및 경량화가 두드러지고 있으며, 따라서 체결부품의 소형화가 필수적이며, 스마트기기에 사용되는 체결부품의 사이즈가 작아질수록 실제 접합부의 면적이 줄어들어 체결력은 감소한다. 이러한 체결력에 영향을 주는 주요한 요소로는 나사

의 설계형상, 마찰, 나사 체결용 비트의 정확성, 이완 등으로 분류할 수 있다.<sup>1</sup>

나사는 나선형의 나사산과 골을 이용 다수의 부품을 고정시키는 체결부품으로 다양한 분야에 활용되고 있다.<sup>2,3</sup>

나사 체결력을 향상시키기 위하여 와서 또는 집착제 가 사용 되고 있으며,<sup>4,6</sup> 체결부 마찰과 체결력의 관계에 대한 연구도 진행되고 있고, 고장력 볼트를 개선하기 위한 나사 치수의 변화와 유한요소해석을 통한 응력분포도 연구 진행 되었다.<sup>7</sup>

또한, 높은 체결력을 갖기 위한 최적의 조임토크 설정에 대한 연구도 수행 되었다.<sup>8</sup>

또한, 나사에 적용되는 소재로는 SWCH 18A 와 SUS XM7이 있으며, SWCH 18A 는 탄소강의 일종으로 0.18%의 탄소가 함유된 강이며, 주로 대형볼트, 너트 등으로 만들어져 자동차부품 및 산업기계분야에 폭넓게 사용된다. 하지만 탄소를 많이 함유하고 있어 외부 환경에 약한 단점을 지니고 있다. 이에 반하여 SUS XM7 은 내식강이라고 하며 표면이 아름답고 내식성이 우수하다. 내식 합금강재로서 녹이 슬지 않는 성질을 유지하기 위하여 철(Fe)에 12%이상의 크롬(Cr)을 합금하며, 대부분 12~18%의 크롬이 포함되어 있다. 또한 SUS XM7 은 기본적으로 SUS 304 에 Cu 를 첨가하여 냉간 성형성과 내산성을 개량한 제품이다. 또한 초소형 나사 및 기능성 나사로 주로 사용되며, 기계적 성질이 SWCH18A 에 비하여 높아, 열악한 환경에 적용하기 쉽기 때문에 사용할 수 있는 분야가 다양하다.

따라서, 본 연구에서는 체결부품의 소형화에 대응하기 위하여 체결력을 유지 및 향상시킬 수 있는 방법 중 하나인 나사산의 구조형태의 변경과 소재변경에 따른 파단토크 실험을 통하여 나사의 성능을 비교 분석하여 향후 슬립화 경량화되는 정밀나사의 체결력을 향상 시킬 수 있는 방안을 연구하였다.

## 2. 정밀나사 체결력 향상

### 2.1 체결토크

토크(Torque)는 물체의 일정한 부분 혹은 축을 중심으로 일정거리 떨어진 지점에서 수직력에 의해 발생하는 비틀림 모멘트 혹은 회전을 유발시키는 회전력이다.<sup>1</sup> Fig. 1은 삼각나사에 작용하는 수직력을 표현한다.

삼각나사에서는 나사면을 누르는 힘 R에 의하여 마찰저항의 크기가 결정된다. 삼각나사의 나사면을 수직으로 누르는 힘 R과 축방향으로 미는 힘 Q와의 관계는 식(1)과 같다.

$$R = \frac{Q}{\cos \beta} \tag{1}$$

나사면을 수직으로 누르는 힘 R에 의한 마찰저항은 식(2)와 같다.

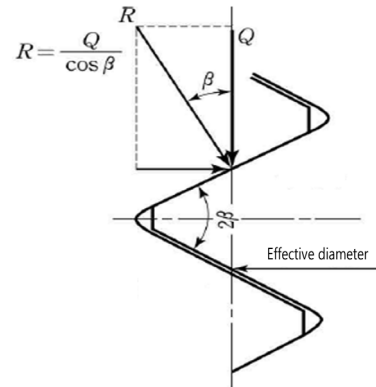


Fig. 1 Normal force of triangular screw

$$\mu R = \mu \frac{Q}{\cos \beta} = \mu' Q \tag{2}$$

여기서  $\beta$  는 플랭크각으로서 나사산각의 절반이다. 축방향 하중에 대한 상당 마찰계수  $\mu'$  는 식 (3)과 같다.

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos \beta} = \tan \rho' \tag{3}$$

여기서  $\rho'$  는 상당마찰각이며,  $\mu$  는 나사면의 마찰계수이다. 삼각나사의 회전력은 사각 나사의 관계식을 상당마찰계수로 보정하면 된다.

### 2.2 삼각나사의 회전력

삼각나사의 회전력은 사각 나사의 관계식을 상당마찰계수로 보정하면 된다. 나사를 쫓을 때 나사면의 마찰력에 의하여 이송되는 회전력은 식(4)와 같다.

$$P = Q \frac{\mu' + \tan \alpha}{1 - \mu' \tan \alpha} = Q \cdot \tan(\rho' + \alpha) \tag{4}$$

삼각나사의 회전토크는 너트와 와셔 사이의 마찰을 무시하고 나사면의 마찰만을 고려한 경우 사각 나사의 식을 상당마찰계수로 수정한 T(식 (5))와 너트와 와셔 사이에 발생하는 마찰로 인한 토크 저항을 고려한  $T_1$  (식(6))을 더하여 결정한다. 나사면의 마찰과 와셔의 마찰을 고려한 체결 토크는 식(7)과 같다.

$$T = \frac{d_2}{2} P = \frac{d_2}{2} \cdot Q \cdot \tan(\rho' + \alpha) \tag{5}$$

Table 1 Chemical composition of SWCH18A(%)

	C	Si	Mn	P (max)	S (max)	Al (min)
SWCH18A	0.15-0.20	0.10 max	0.60-0.90	0.03	0.035	0.02

Table 2 Chemical composition of SUS XM7(%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	etc (Cu)
SUS XM7	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.03	8.50-10.50	17.00-19.00	3.00-4.00

$$T_1 = r_n \cdot \mu_n Q \quad (6)$$

$$T_2 = T + T_1 = Q \left( \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\rho' + \alpha) + r_n \mu_n \right) \quad (7)$$

### 2.3 정밀나사의 소재

#### 2.3.1 SWCH18A

일반 screw에 사용되는 소재는 냉간 압조용 탄소강선(SWCH)이며, 일반적으로 SWCH18A를 사용한다. SWCH18A는 0.18%의 탄소를 포함하는 고탄소강이며, 주로 고강도와 고경도, 내마모성이 필요한 제품에 사용된다. 일반적으로 제품의 형상을 가공한 후에 열처리를 하며, 탄소량이 많을수록 열처리 후에 경도, 강도, 내마모성이 향상된다.

Table 1은 SWCH18A의 화학성분을 표현하고 있다. 탄소는 강의 근본이 되는 원소로서 강의 기계적 성질에 가장 큰 영향을 주며, 탄소 함량이 증가하면 경도, 강도는 증가하나 연신율, 단면 수축율은 감소하며 용접성은 0.20%C 이상인 경우 저해된다.

#### 2.3.2 SUS XM7

스테인리스강(stainless steel)은 내식강(corrosion)이라고도 하며 표면이 아름답고 내식성이 우수하다. 내식합금강재로서 녹이 슬지 않는 성질을 유지하기 위하여 철(Fe)에 12% 이상의 크롬(Cr)을 함유하며, 대부분 12~18%의 크롬이 포함되어 있다.

본 연구에서 사용되는 SUS XM7은 기본적으로 SUS 304에 Cu를 첨가하여 냉간 성형성과 내산성을 개량한 제품이며, 냉간 가공성에 극히 양호하다. Table 2은 SUS XM7의 화학성분을 나타낸다.

### 2.4 정밀나사의 대칭/비대칭 나사산 설계 및 제작

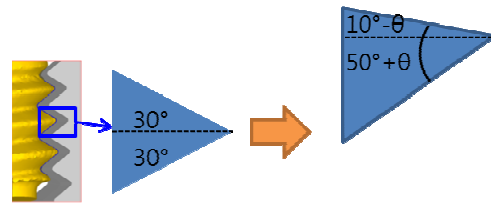


Fig. 2 Design of asymmetric threads

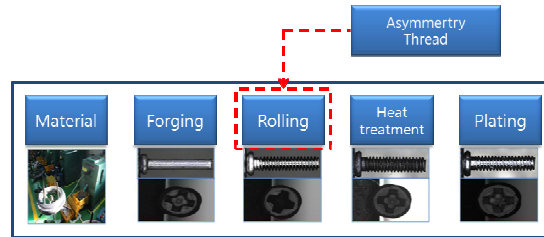


Fig. 3 Product process for precision screw

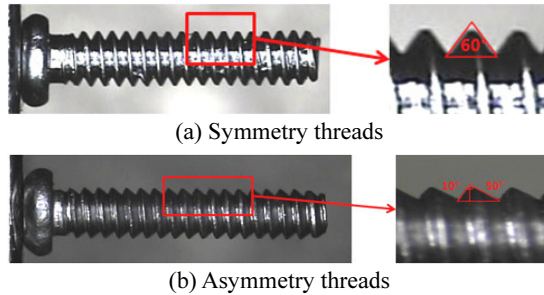


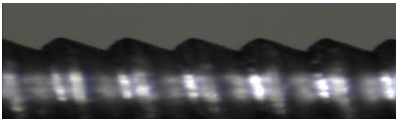
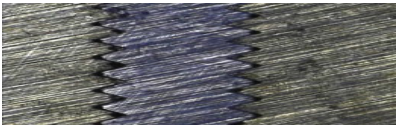
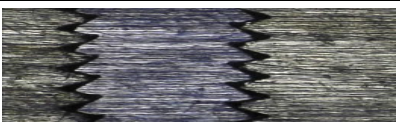
Fig. 4 Symmetry and asymmetric precision screw

일반 나사의 각도는 KS, JIS 규격에 준하여 일반적으로 60°를 기준으로 제작하여 사용되고 있으나, 특수기능을 요구하는 제작은 30~60°의 나사산을 개량하여 극소수 나사에 적용하고 있는 추세이다.

비대칭 나사산의 편심각은 10°와 50°, 20°와 40°, 40°와 20°, 50°와 10°로 구분하였으며, 체결력 해석을 실시한 결과, 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 나사의 위쪽부분은 10°, 아래쪽부분은 50°로 선정하였다.<sup>2,3</sup> 비대칭 나사산을 제작하는 공정은 Fig. 3과 같다. 일반적으로 나사를 생산하는 공정은 총 5단계로 이루어져 있으며, 비대칭 나사산은 전조공정에서 비대칭 나사산을 적용한 금형을 이용 함으로써 형성된다.

Fig. 3의 제작공정을 이용하여, 비대칭 나사산이 적용된 정밀나사를 제작하였다. Fig. 4는 대칭과 비대칭 나사산을 적용한 정밀나사를 보여주고 있다. Table 3는 비대칭나사산의 체결 후 단면형상을 보

Table 3 The Photograph of precision screw used asymmetry thread

Model	M1.0×0.25P
Threads type	
Symmetry threads	
Asymmetry threads	

여주고 있다. Table 3에서 보면 알 수 있듯이 간극의 차이는 크지 않지만 비대칭나사산의 경우 너트의 나사산을 파고들어 마찰면적이 다소 높아지는 것으로 보인다. 또한, 시험편인 정밀나사의 직경과 피치는 M1.0×0.25P이며 시험편의 길이는 평균 4.7mm이었으며, 본 연구에서는 정밀나사의 소재변화와 나사산 형태 변화에 따른 체결토크 시험을 비교분석 하였다.

3. 파단토크 시험 및 분석

나사의 성능은 체결토크나 풀림토크 혹은 체결력으로 판별한다. 하지만 초소형 나사는 시험장치 및 시험규격이 정립되어 있지 않는 상황이다. 그러므로 파단토크를 측정하여 나사의 성능을 판단한다. 대칭 나사산이 적용된 일반적인 초소형 나사와 파단토크와 비대칭 나사산이 적용된 초소형 나사의 파단토크를 비교하였다. 파단토크 시험에 사용된 토크드라이버는 CDEAR 社의 DI-5M을 사용하여 측정하였으며, 시험조건은 나사를 시험용 지그에 고정시킨 후 파단이 일어나는 시점까지 토크를 증가 시켰으며, 이때 최대 토크값을 파단토크로 판단하였다. Table 4, Table 5 및 Table 6은 각각 시험편 소재 SWCH18A(M1.0×0.25P)의 대칭나사산, SUS XM7(M1.0×0.25P)의 대칭나사산 및 SUS XM7(M1.0×0.25P)의 비대칭나사산의 파단토크 시험 결과를 보여주고 있다.

Table 4과 5는 소재변화에 따른 체결토크를 보여주고 있다. Table 4과 5에서 보면 알 수 있듯이

Table 4 Clamping force of SWCH18A(M1.0×0.25P)/symmetry threads

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	Avg
Clamping force [N·cm]	6.27	6.08	5.78	5.68	5.59	6.27	6.17	5.97

Table 5 Clamping force of SUS XM7(M1.0×0.25P)/symmetry threads

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	Avg
Clamping force [N·cm]	6.86	6.76	6.57	6.66	6.96	6.76	6.86	6.78

Table 6 Clamping force of SUS XM7(M1.0×0.25P)/asymmetry threads

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	Avg
Clamping force [N·cm]	6.96	7.87	6.96	7.55	8.33	7.55	7.74	7.57

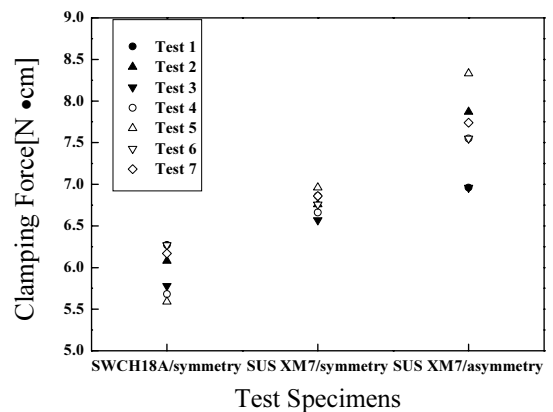


Fig. 5 Clamping force of test specimens

소재변화에 따른 체결토크는 SUS XM7의 소재가 평균 6.78 N·cm이며 SWCH18A의 경우는 5.97N·cm였다. 이와 같은 결과로 SUS XM7 소재의 체결토크가 평균 13.5% 높음을 알 수 있었으며 이는 SWCH18A의 경우 취성의 성질이 높아 SUS XM7보다 체결토크가 적은 것으로 사료된다.

Table 5와 6는 SUS XM7 소재의 나사산 형태 변화에 따른 체결토크를 보여주고 있다. Table 5와 6을 보면 알 수 있듯이 나사산 형태 변화에 따른 체결토크는 대칭나사산이 6.78N·cm이며 비대칭나사산의 경우는 7.57N·cm이었으며 체결토크는 평균

11.6% 높음을 알 수 있었다. 이는 대칭나사산에 비하여 비대칭 나사산의 경우 비대칭나사산이 너트의 나사산을 파고들기 때문에 비대칭나사산과 너트사이의 마찰력을 증가시켜 나사의 체결토크가 더 향상 되는 것으로 사료된다. Fig. 5는 시험편에 따른 체결력을 보여주고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 체결부품의 소형화에 대응하기 위하여 체결력을 유지 및 향상시킬 수 있는 방법 중 하나인 나사산의 구조형태의 변경과 소재변경에 따른 파단토크 실험을 통하여 나사의 성능을 비교 분석하여 향후 슬립화 경량화되는 정밀나사의 체결력을 향상시킬 수 있는 방안을 연구하였으며 연구결과는 다음과 같다.

첫 번째, 소재변화에 따른 체결토크에서는 SUS XM7의 소재의 체결토크는 평균 6.78 N·cm이며 SWCH18A의 경우는 5.97N·cm였다. 이와 같은 결과로 SUS XM7 소재의 체결토크가 평균 13.5% 높음을 알 수 있었다. 이는 SWCH18A의 경우 취성의 성질이 높아 SUS XM7보다 체결토크가 적은 것으로 사료된다.

두 번째, 나사산 형상변화에 따른 체결토크는 대칭나사산이 6.78N·cm이며 비대칭나사산의 경우는 7.57N·cm이었으며 체결토크는 평균 11.6% 높음을 알 수 있었다. 이는 대칭나사산에 비하여 비대칭 나사산의 경우 비대칭나사산이 너트의 나사산을 파고들기 때문에 비대칭나사산과 너트사이의 마찰력을 증가시켜 나사의 체결토크가 더 향상 되는 것으로 사료된다.

세 번째, 향후 더욱더 소형화 되는 정밀나사의 경향에 따라 체결력 향상을 위한 소재변경과 나사산형태의 변화에 대한 연구를 진행할 예정이다.

#### 후 기

본 논문은 산업통산자원부 산업기술혁신사업(우수기술연구센터사업)으로 지원된 연구임(No. 10045724)

#### REFERENCES

1. Bickford, J. H., "An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints" CRC Press, 3<sup>rd</sup> Ed., 1995.

2. Min, K. B., Kim, J. B., Park, K., and Ra, S. W., "Evaluation of Clamping Characteristics for Subminiature Screws according to Thread Angle Variation," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 31, No. 9, pp. 839-846, 2014.
3. Yan, Y., Wen, W.-D., Chang, F.-K., and Shyprykevich, P., "Experimental Study on Clamping Effects on the Tensile Strength of Composite Plates with a Bolt-filled Hole," Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 30, No. 10, pp. 1215-1229, 1999.
4. Dréan, M., Habraken, A.-M., Bouchaïr, A., and Muzeau, J.-P., "Swaged Bolts: Modelling of the Installation Process and Numerical Analysis of the Mechanical Behaviour," Computers & Structures, Vol. 80, No. 27, pp. 2361-2373, 2002.
5. Izumi, S., Yokoyama, T., Iwasaki, A., and Sakai, S., "Three-dimensional Finite Element Analysis of Tightening and Loosening Mechanism of Threaded Fastener," Engineering Failure Analysis, Vol. 12, No. 4, pp. 604-615, 2005.
6. Croccolo, D., De Agostinis, M., and Vincenzi, N., "Failure Analysis of Bolted Joints: Effect of Friction Coefficients in Torque-preloading Relationship," Engineering Failure Analysis, Vol. 18, No. 1, pp. 364-373, 2011.
7. Han, J. W., Kim, J. H., and Park, Y. S., "Evaluation of Structural Performance and Improvement of Screw Thread Shape on 1,300 MPa High Strength Bolts," Journal of the Korean Society of Civil Engineering, Vol. 31, No. 3A, pp. 189-198, 2011.
8. Hwang, H. Y., "Bolted Joint Torque Setting using Numerical Simulation and Experiments," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 27, No. 5, pp. 1361-1371, 2013.