

계단형 나사산을 이용한 영구 체결용 나사개발에 관한 연구

김민주*, 김세민, 이승수(동아대 대학원 기계공학과), 김순경(동의공업대 자동차과),
전연찬(동아대 기계·산업시스템공학부)

A Study on the Development of the Screw for Permanent Fixing using Stairs Type Screw Threads

M. J. Kim*, S. M. Kim, S. S. Lee(Mech. Eng. Dept., DAU), S. K. Kim(Automobile Dept., DEI),
E. C. Jeon(Mech. Eng. Dept., DAU)

ABSTRACT

This study is an introduction of ADS in which we have written out programs which can design three-dimensional machine parts and reduce the required time for design them comparing with other CADs. Among the machine parts, screws are commonly used in joining one part to another because of easy handing but welding and rivet are used to join permanently them even though hard operation. Consequently, we have developed the screw for permanent fixing using stairs type screw threads, which is considered as the main machine parts in joining. For that, we designed permanent fastened screws according to the different rotation angle using VisualLISP and transferred it to ANSYS, structural solution program, to find out allowance load, maximum equivalent stress and where it occur.

Key Words : ADS(Automatic drawing system), rotation angle, VisualLISP, ANSYS

1. 서론

나사는 그 사용의 편리함이나 재활용성에도 불구하고, 금속재료를 영구적으로 결합하는 데 사용되지 못한다. 그리고 현재 리벳과 용접 등이 대안으로 사용되어진다. 이는 나사산의 형상에 관계없이 진동-하중에 의한 나사의 풀림 및 파손 등이 발생하기 때문이다.¹⁾

그리고 영구체결용으로 사용되고 있는 리벳 및 용접은 한 번 시공하면, 수리 및 보수시에 이를 파괴-재시공해야 하는 불편함을 가지고 있다. 따라서 나사의 편리함과 리벳 및 용접의 단점을 보완한 체결용 기계요소나 체결방법 개발의 필요성이 제기되고 있다.

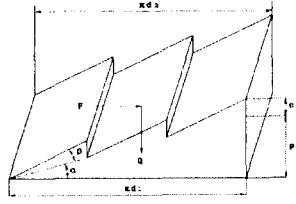
체결용 기계요소나 체결방법에 관한 연구는 국내 외에서 많이 진행되고 있지만 나사의 장점과 리벳 및 용접의 단점을 보완하는 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 크게 두가지 점을 고려하여 영구체결용 나사를 설계하고자 한다. 첫째는 진동 및 하중에 의한 역회전 및 파손을 방지하는 것

이고, 두 번째는 사용자가 풀고자 할 때 무리 없이 풀려야 한다는 것이다. 그리고 3차원 요소 자동설계 프로그램 라이브러리 구축의 일환으로 모델링에 걸리는 시간을 최소화하고, 모델링 정보의 피드백 및 재수정을 용이하게 수행하기 위한 자동설계 프로그램을 개발하고자 한다. 또한 영구체결용 나사설계의 타당성을 검증하기 위해 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 나사산에 걸리는 최대 응력을 해석하고자 한다.^{2),3)}

2. 영구체결용 나사산의 설계

영구체결용 나사를 설계하는 데 있어서 진동 및 하중에 의한 역회전 및 파손 방지와 사용자가 풀고자 할 때 무리 없이 풀려야 한다는 사실을 고려하여 Fig. 1과 같은 계단형 나사산을 설계하였다. 계단형 구조를 이용하여 진동 및 하중에 의한 역회전을 방지하고, 와셔를 이용한 체결방법을 통하여 풀고자 할 때 풀림 반대방향으로 힘을 가하면서 나사단 사

이의 클리어런스를 생성시켜 분리하는 메커니즘을 설계하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 계단형 나사단이 너트에 있는 계단형 나사산과 면 접촉하여 영구 체결하는 구조이다.



α = 나선각 d_1 = 나사산 직경
 β = 이빨각 d_2 = 나사골 직경
 F = 회전력
 Q = 축방향하중 $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$; 나사유효직경
 e = 이빨의 높이 μ = 나산면사이의 마찰계수

Fig. 1 Formation of the screw for permanent fixing using stairs type screw threads

2.1 계단형 나사의 역학 (나사를 체결할 때)

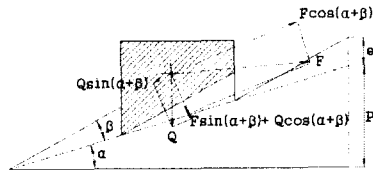


Fig. 2 Load on stairs type screw threads (when screwing)

영구체결용 나사 체결시 작용하는 힘의 크기 및 방향을 Fig. 2에 나타내었다. 그리고 계단 경사면에 수직한 힘을 식 1)에 나타내었고, 계단 경사면에 평행한 힘을 식 2)에 나타내었다.

$$F \sin(\alpha + \beta) + Q \cos(\alpha + \beta) \quad 1)$$

$$F \cos(\alpha + \beta) - Q \sin(\alpha + \beta) \quad 2)$$

나사 체결이 시작되는 순간 계단 경사면을 따라 밀어 올리는 평행력은 수직력에 의해 발생하는 마찰력과 평행이 되므로 식 3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu(F \sin(\alpha + \beta) + Q \cos(\alpha + \beta)) = F \cos(\alpha + \beta) - Q \sin(\alpha + \beta) \quad 3)$$

그러나 여기서 삼각나사이므로 나사의 절단면을 나타낸 Fig. 3을 보면, $\mu' = \frac{\mu}{\cos \beta}$ 가 되므로

$$R = \frac{Q}{\cos \alpha} \text{ 이다.}$$

이를 식 3)에 대입하면 식 4)와 같이 된다. 여기서 $(\tan(\alpha + \beta) = \frac{p+e}{\pi d_1})$ 이다.

$$\begin{aligned}
 F &= Q \frac{\mu' + \tan(\alpha + \beta)}{1 - \mu' \tan(\alpha + \beta)} \\
 &= Q \frac{\mu' \pi d_1 + (p+e)}{\pi d_1 - \mu'(p+e)} \quad 4)
 \end{aligned}$$

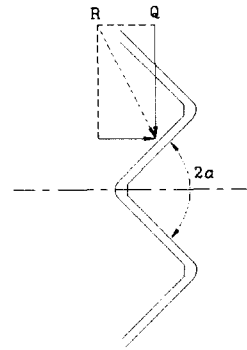


Fig. 3 Sectional plan of a triangular screw

2.2 계단형 나사의 역학 (나사를 풀 때)

영구체결용 나사를 풀 때 작용하는 힘의 크기 및 방향을 Fig. 4에 나타내었다. 일반나사의 경우 F' 가 0보다 크면 풀리게 되나 영구체결용 나사의 경우에는 $F' > 0$ 크더라도 볼트와 너트의 접촉면 e 에 강한 체결력이 발생하여 풀리지 않는다. 그리고 접촉면 e 에 발생하는 체결력은 식 5)와 같으며

$$F' \cos(\alpha + \beta) + Q' \sin(\alpha + \beta) \quad 5)$$

계단 경사면에 작용하는 힘은 식 6)과 같다.

$$Q' \cos(\alpha + \beta) - F' \sin(\alpha + \beta) \quad 6)$$

여기서 이빨의 개수를 n 이라 하면, F'/n 와 Q'/n 가 각 이빨에 걸리는 회전력과 축방향 하중이다.

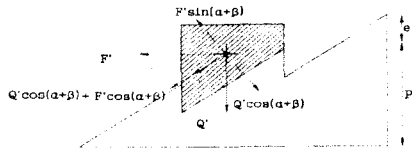


Fig. 4 Load on stairs type screw threads (when unthreading)

계단형 나사산 하나에 걸리는 힘의 작용방향과 크기는 Fig. 5에서 보는 것과 같다.

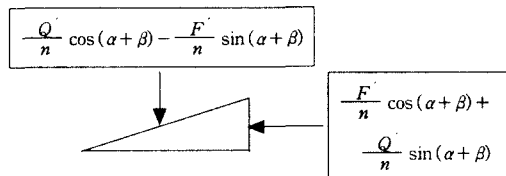


Fig. 5 Load on one stairs type screw thread (when unthreading)

3. 영구 체결용 나사 자동설계 프로그래밍

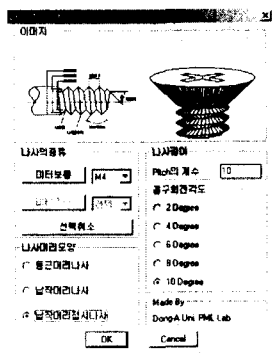


Fig. 6 Dialog box of modeling the screw for permanent fixing

Fig. 6은 3차원 자동설계 프로그램 라이브러리 구축의 일환으로서 영구체결용 나사 자동설계 프로그램의 대화상자와 그 결과 모델링을 나타낸 것이다.

대화상자에 몇 가지 요소를 입력하여 Fig. 7과 같은 3D 모델을 생성할 수 있다. 사용자는 대화상자에서 먼저 나사의 KS 규격을 선정하고, 나사머리 모양을 선택한다. 그리고 피치의 갯수를 입력하고, 회전각도를 선택한다. 그 후 사용자는 오케이 버튼을 클릭함으로써 1분 이내에 3D 모델을 얻을 수 있다. 그리고 3차원 모델을 생성하기 위해 프로그램에서 사용한 수학적 알고리즘은 2장에서 소개한 계단형 나사산의 역학을 이용하였다. 3차원 모델이 생성되

는 시뮬레이션 과정을 살펴보면 나사본체를 생성시킨 후 절삭에 사용될 공구를 생성한다. 그리고 나사본체의 하단부부터 공구를 접촉시키고, 절삭깊이를 입력된 피치에 따라 셋팅한다. 입력된 공구회전 각도에 따라서 공구를 회전시키고, 피치/360° 씩 공구를 위로 이동시키면서 계단형 나사산을 생성시킨다. 이와 같은 과정을 피치와 공구 회전 각도에 의해 결정된 횟수(n)만큼 반복한다.

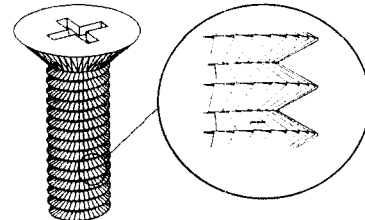


Fig. 7 Modeling the three-dimensional screw for permanent fixing

4. 영구체결용 나사의 강도해석

4.1 ANSYS를 이용한 체결용 나사의 응력해석

본 연구에서는 체결용 나사의 역학을 이용하여 3차원 모델을 자동설계하고, 이 모델을 유한요소해석하여 최대 등가응력을 구한다. 그리고 최대 등가응력이 이빨 하단 부분에서 발생할 것으로 예측되기 때문에 공구회전각도와 피치의 갯수에 변화를 주어서 설계하였다. 기존 데이터를 얻기 위한 설계 조건은 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 이를 이용하여 수평하중 F 와 수직하중 Q 이 작용할 때 공구회전각도에 따라 이빨 하나에 걸리 수 있는 최대 응력을 해석하고자 한다. (각 이빨에 걸리는 하중은 동일하다고 가정한다.)

본 연구에서 해석할 체결용 나사의 치수는 미터 보통나사 M4에 이빨각(β) = 4°, 피치의 갯수를 10개로 선정하여 모델링하고, 그 나사산에 Table 1과 같이 공구회전각도에 따라 단을 생성한다.

Table 1 Created number of stairs type screw threads according to rotation angle

rotation angle(°)	2	4	6	8	10
number of stairs type screw threads(n)	1800	900	600	450	360

이때 계단형 나사산 하나에 작용하는 힘은 Fig. 5에 나타나 있다. 그리고 본 연구에 사용된 유한요소

모델은 Fig. 6과 같은 자동설계프로그램을 이용하여 만들어진 3D 모델을 사용하였다.

Fig. 8은 공구회전각도가 2° 일 때 생성된 계단형 나사산의 유한요소모델을 나타낸 것이다. 솔리드 모델을 사용하였으며, Fig. 5의 수식을 사용하여 단에 걸리는 힘을 계산하고, 응력 해석을 반복 수행하였다. 그리고 각 공구회전각도에 따라 비례한도 내에서 발생하는 최대 힘을 구하고자 한다. 재질은 탄소강(C=0.15이하)을 사용하였으며 비례한도는 20kgf/mm²이며 물성치는 Table 2와 같다.

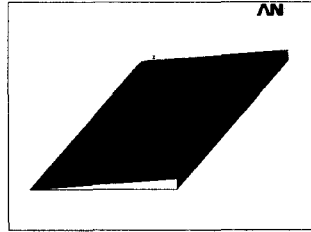


Fig. 8 Finite element model of a stairs type screw thread

Table 2 Specification of finite element model

Items	Spec.
Element type	Hex(6)
Modulus of elastic	2.1× 10 ⁶ (kgf/mm ²)
Poison's ratio	0.29

Fig. 9는 유한요소해석을 수행하기 위하여 계단형 나사산의 유한요소모델에 요소망을 생성한 그림이다. 요소망(Mesh)은 여섯 개의 절점을 가진 요소로 구성되어 있으며 절점(Node)수는 1,069개이고, 요소(Element)수는 180개이다.

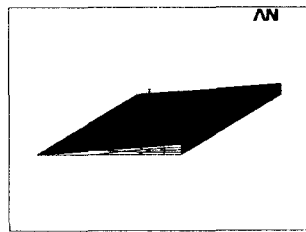


Fig. 9 Mesh generation of finite element model

본 연구에 사용된 유한요소모델인 계단형 나사산에 적용된 경계 조건을 Fig. 10에 나타내었다. 이빨의 아랫면과 옆면은 수나사에 고정되어 있으므로 변위량 UX, UY 및 UZ가 0이다. 따라서 아랫면과 옆면

을 구속하였다.

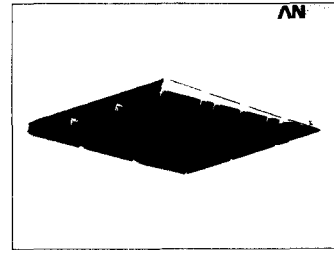


Fig. 10 Boundary condition of finite element model

Fig. 11은 유한요소모델에 작용하는 하중조건을 나타낸 그림이다. Fig. 5의 수식과 같이 나선각, 이빨각, 그리고 수평 및 수직하중이 주어질 때 모델을 나타내고 있다.

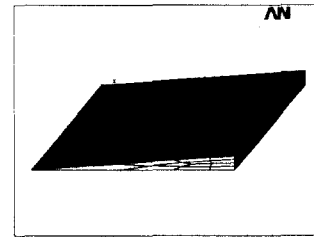
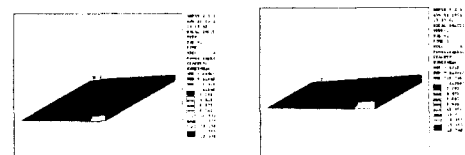


Fig. 11 Load condition of finite element model

자동설계 프로그램에 의하여 생성된 영구체결용 나사의 계단형 나사산 모델에 유한요소해석을 적용하여 최대 등가 응력을 해석한 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 예상된바와 같이 이빨 모서리 부위에서 최대 등가 응력(MX)이 발생한 것을 볼 수 있다. 공구회전각도가 2° 일때 하중을 달리하여 비례한도 20kgf/mm²내에서 나사에 가할 수 있는 최대 수평하중 $F = 215\text{kgf}$, 최대수직하중 $Q = 10\text{kgf}$ 을 구했고, 최대등가응력 19.48kgf/mm²이 모서리 부분에 발생하였다. Fig. 12의 (a)부터 (e)까지는 공구회전각도를 2° 부터 10° 까지 각도를 2씩 증가시키면서 최대등가응력을 구하였다.



(a) rotation angle = 2°

(b) rotation angle = 4°

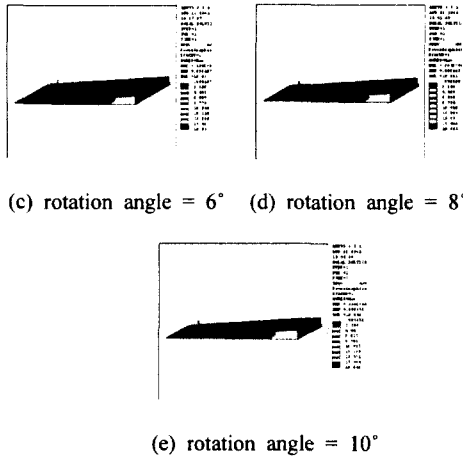


Fig. 12 Distributed equivalent stress each rotation angle

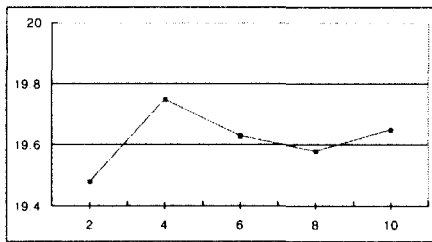


Fig. 13 Maximum equivalent stress according to rotation angle

Fig. 12의 (a)부터 (e)까지의 결과 그림들은 회전 각도별 최대 등가응력분포 해석결과이며 이를 종합적으로 검토하기 위하여 Fig. 13에 회전각도별 최대 등가응력분포를 종합적으로 나타내었다. 예상했던 바와 같이 최대 등가응력은 나사산의 하단 부위에서 발생하였으며, 회전 각도가 2° 일 때 19.479kgf/mm², 가 최소 등가응력이 발생함을 알 수 있었다. 이는 회전각도가 증가할수록 나사산의 크기가 커지나 계단형 나사산의 수가 감소하기 때문에 단에 걸리는 응력이 증가함을 알 수 있다. 따라서 회전각도를 줄이고, 나사산의 수를 증가시키는 것이 나사의 체결력을 분산시키는 효과를 거둘 수 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 영구체결용 나사의 구조를 설계하고, 이를 모델링하는 자동설계 프로그램을 작성하였다. 그리고 이를 검증하기 위한 방법으로 ANSYS를 이용한 등가응력해석을 수행한 결과 다음과 같은 결

론을 얻었다.

- 1) 나사의 장점과 리벳 및 용접의 단점을 보완한 영구체결용 나사구조를 고안하였다.
- 2) 영구체결용 나사 자동설계 프로그램과 나사가공 시뮬레이터를 개발하였다.
- 3) 공구회전각도와 계단형 나사산에 걸리는 최대 등가응력의 상관관계를 규명하였고, 최대 수평하중 215kgf, 최대수직하중 10kgf까지 견딜 수 있음을 해석하였다.

후 기

본 연구는 2001년도 동아대학교 지능형 통합 항공관리연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음

참고문헌

- 1) Sopwith, D. G., "The Distribution of Load in Screw Threads", Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Vol. 159, pp. 373~383
- 2) C. B. Tsay, "Helical Gears with Involute Shaped Teeth: Geometry, Computer Simulation, Tooth Contact Analysis, and Stress Analysis", ASME, Vol. 110, pp. 481-491, 1998
- 3) 이상범, "단순유한요소 모델을 이용한 차체필라 형상최적설계", 한국공작기계학회지, Vol. 9, No. 6, pp. 133-139, 2000