

Metal Fastening 공법을 위한 Reverse Screw의 견인력 특성에 관한 연구

김태형[#], 이성욱^{*}, 한근조^{**}

A Study on the Pulling Force Characteristic of the Reverse Screw for the Metal Fastening Method

Tae-Hyung Kim[#], Seong-Wook Lee^{*}, Geun-Jo Han^{**}

(Received 8 December 2009; received in revised form 10 February 2010; accepted 16 February 2010)

ABSTRACT

The metal fastening method is the new technology to repair cracks in the casting material using specially designed reverse screws. In this study, we conduct the finite element analysis to analyze the pulling force characteristic of a reverse screw, the core component of the metal fastening method, with respect to the change of the applying torque, frictional coefficient and front screw angle. The simplified analysis model with single screw pitch is proposed for convergency of the non-linear contact analysis. As a results, the pulling force of a reverse screw increase in proportion to the applying torque but exponentially decrease according to frictional coefficient. And also we can find the optimum front screw angle with the largest pulling force is 20°.

Key Words : Metal Fastening Method(금속 균열수리 공법), Reverse Screw(역나사), Pulling Force(견인력), Non-linear Contact Analysis(비선형 접촉해석)

1. 서 론

균열이 발생된 주물제품을 수리하기 위해 용접을 하게 되면 국부 가열로 인한 열응력이 균열 부위에 2차 균열을 발생시키거나 용접부를 경화시켜 더 큰 문제를 발생될 수 있으므로 주물제품의 용접 시에는

이러한 단점을 보완하고자 균열부가 아닌 제품 전체를 정해진 온도까지 가열하고 서서히 냉각시키는 작업을 수행하게 된다. 그러나 박용엔진이나 터빈과 같은 대형 주물제품은 이러한 작업이 어려우므로 발생된 균열에 대한 수리 방법이 전무하였다^[1,2].

하지만 영국과 미국 등과 같은 선진국에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 Fig. 1과 같이 균열이 발생된 주물 제품에 특수하게 역(reverse) 방향으로 디자인 된 나사(screw)를 이용하는 metal fastening 공법을 사용하고 있다.

일반적인 나사는 기계 구조물을 결합하기 위한 용도에서부터 자동차, 조선, 항공기, 척추 결합용 나사

교신저자 : 경남정보대학 기계설계과
E-mail : kimth@kit.ac.kr

* (주)효성 중공업연구소

** 동아대학교 기계공학과



Fig. 1 Casting crack repairing using reverse screws



Fig. 2 Various diameters of reverse screw

등 생체역학 분야에 이르기까지 다양한 용도에 사용되고 있으며, 그 특성에 관한 연구가 활발하게 실시되어 왔다^[3,4]. 최근에는 체결부의 피로강도, 진동상태에서의 나사산의 풀림 방지 특성 등에 관한 연구가 Minguez, Bhattacharya 등에 의해 이루어지고 있다^[5,6].

이와 같은 일반 나사는 체결을 위한 토크를 작용시킬 경우 수평방향으로 확산력을 발휘하여 나사와 모재를 서로 벌어지게 하는 특성이 있으나, metal fastening 공법의 reverse screw의 경우 이와 반대로 견인력(pulling force)을 발휘하여 벌어지려는 모재를 잡아당기는 힘을 작용시키게 되어 균열을 수리하는 특성이 있다고 알려져 있으나 국내에서는 이에 관한 특성 분석이 전혀 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 주물제품의 균열 발생 시 열을 가하지 않고 특수 나사를 사용하여 수리할 수 있는 신공법인 metal fastening 공법의 핵심인 reverse screw의 견인력 특성을 비선형 접촉현상을 고려한 유한요소해석을 통하여 분석하고자 한다.

2. 유한요소해석

2.1 Reverse screw

본 연구의 대상인 reverse screw는 Fig. 2, 3과 같이 기존의 나사산과 달리 역방향의 나사산이 가공되어 있어 토크 작용 시 Fig. 4의 자유물체도에 표시된 바와 같이 수평방향으로 견인력(H)을 발생시키게 되

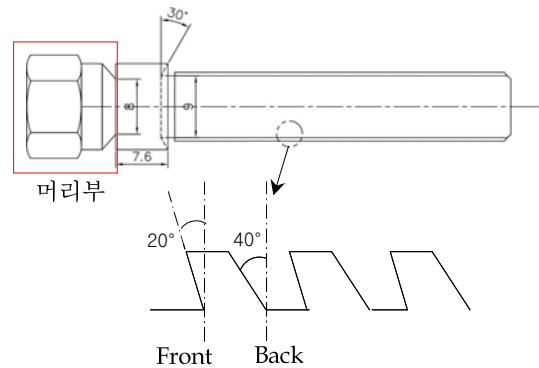


Fig. 3 Geometrical shape of a reverse screw

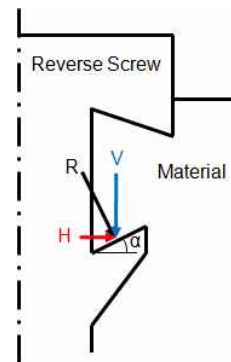
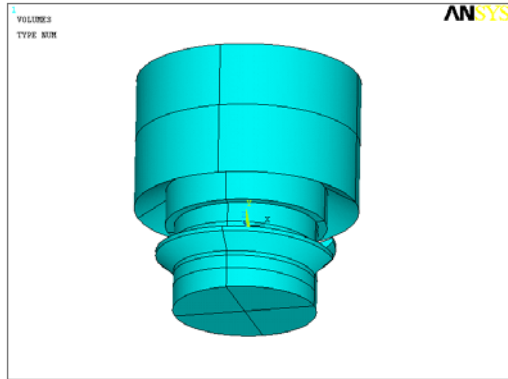
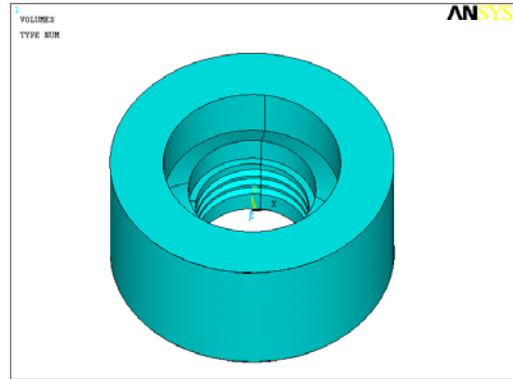


Fig. 4 Free body diagram of the fastening part

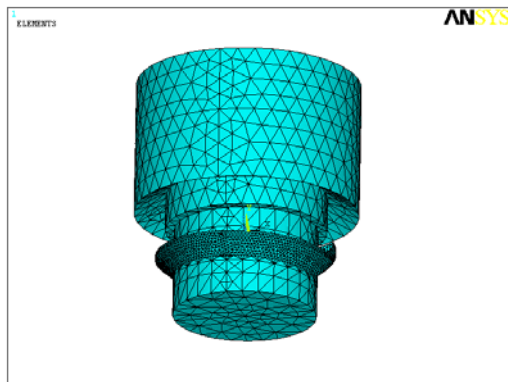
고, 체결이후 추가 토크 작용 시 어깨부와 나사산 사이 모재의 변형에 의한 견인력이 발생되는 특성이 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 국내에서는 이러



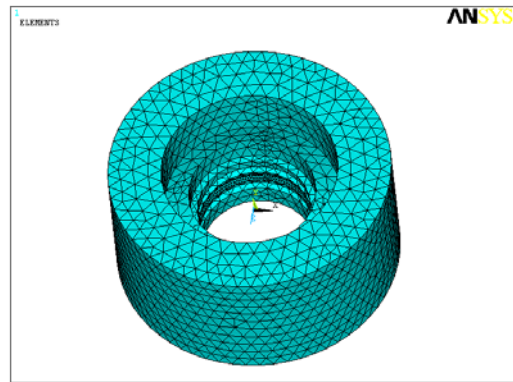
(a) Geometrical shape of a reverse screw



(a) Geometrical shape of a outer cylinder



(b) Finite element model of a reverse screw



(b) Finite element model of a outer cylinder

Fig. 5 Reverse screw model

Fig. 6 Outer cylinder model

한 견인력에 관한 분석이 이루어지지 않고 단순히 국외에서 사용되고 있는 형상을 그대로 적용하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 reverse screw의 작용토크, 마찰계수, 나사산각의 변화가 견인력에 미치는 영향을 분석하기 위하여 가장 일반적으로 사용되는 Fig. 3과 같은 직경 10 mm인 reverse screw를 대상으로 screw와 모재 사이의 접촉에 의해 발생하는 재료의 변형을 고려할 수 있는 비선형 접촉해석을 실시하였다.

Screw 주요부의 기하학적 특징은 상단에서 균열 부를 가압하게 되는 어깨부의 각도가 30°이고, pitch 3 mm, 나사산의 reverse angle는 front 20°, back 40°로 가공되어 있다.

2.2 유한요소모델

Fig. 5는 비선형 접촉해석을 위해 구성된 reverse screw의 유한요소모델을 나타낸 것으로 screw 최상단의 머리 부분은 체결토크가 작용되면 제거되므로 이를 가정하여 해석에 고려하지 않았으며, 동일한 형상의 나사산이 반복되므로 해석 수렴성과 해석시간을 단축하기 위하여 하나의 pitch에 대하여 해석을 수행하였다.

또한 작용 토크에 따른 견인력 특성을 분석하기 위하여 Fig. 6과 같이 스크류 외부에 내경 10mm, 외경 20mm, 높이 10mm의 원통을 모델링하여 reverse screw의 체결대상으로 적용하였으며, 각 나사산부분에는 요소의 크기를 주변의 1/5로 줄여 해석의 수렴성 및 신뢰성을 높일 수 있도록 하였다.

Table 1 Mechanical properties of each material

Mechanical Property	SUM24L	Gray Cast Iron
Elastic Modulus	200 GPa	113 GPa
Yield Strength	415 MPa	-
Tensile Strength	540 MPa	214 MPa
Elongation	10 %	-
Poisson's Ratio	0.29	0.29

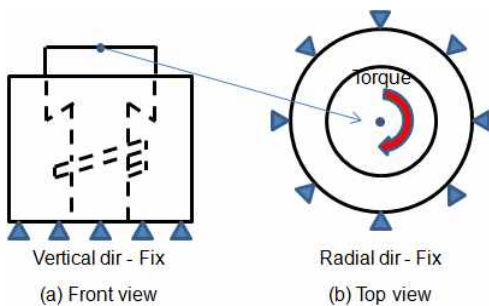


Fig. 7 Boundary conditions for finite element analysis

유한요소모델은 각 절점당 3개의 자유도(u_x , u_y , u_z)를 가지고 있는 사면체 요소와 비선형 접촉요소를 사용하여 구성하였으며, 사용된 요소는 97,265개, 절점은 128,487개 이다^[7].

2.3 재료의 기계적 특성

Reverse screw에 사용된 재료는 SUM24L(KS D 3567, 황 및 황 복합 쾌삭강재)이며, 외부 원통은 회주철로 가정하여 해석을 수행하였다^[8].

Table 1은 사용된 재료의 기계적 특성을 나타내고 있다.

2.4 하중 및 경계조건

작용 토크에 따른 reverse screw의 견인력 특성 변화를 분석하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 7과 같이 screw 상부 중앙에 대표절점(master node)를 생성하고 이 master node에 축방향 중심으로 설정된 회전 모멘트를 적용하였다.

그리고 회전 모멘트 작용으로 인하여 발생하는 접촉현상을 고려하기 위하여 reverse screw와 외부 원통에서 서로 접촉하는 모든 부분에 접촉요소를 생성

Table 2 Pulling load with respect to the applied torque

Torque(Nmm)	200	400	600	800	1000
Pulling Load(N)	22.6	45.4	67.2	89.5	111.0

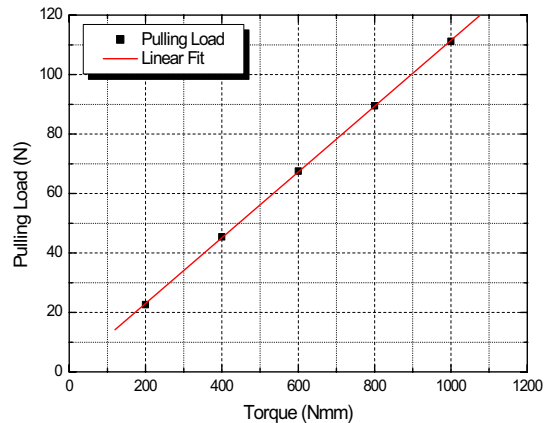


Fig. 8 Pulling load change with respect to the applied torque

하였으며, Fig. 7에 나타난 바와 같이 reverse screw와 체결되는 원통형상의 외부 원주면을 반경방향으로 고정하여 발생하는 반력을 통하여 reverse screw의 견인력을 분석하였으며, 수직방향의 자유도를 위하여 외부 원통의 하부면을 수직방향으로 고정하였다.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 토크 변화에 따른 견인력

Fig. 8은 2장에 제시된 해석모델에 대하여 접촉면상의 마찰계수를 0.2로 가정할 때 screw 상단의 master node에 작용되는 토크를 200~1,000 Nmm로 200 Nmm씩 증가시키며 비선형 접촉해석을 수행하여 발생하는 외부 원통의 반경방향 반력을 분석한 결과를 나타내고 있으며, Table 2는 그 값을 나타내고 있다.

토크 증가에 따라 발생하는 reverse screw의 견인력(F)은 Fig. 7과 같이 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Table 3 Pulling load with respect to the frictional coefficient

Frictional coefficient	0.2	0.4	0.6	0.8
Pulling Load(N)	22.6	11.3	7.4	5.5

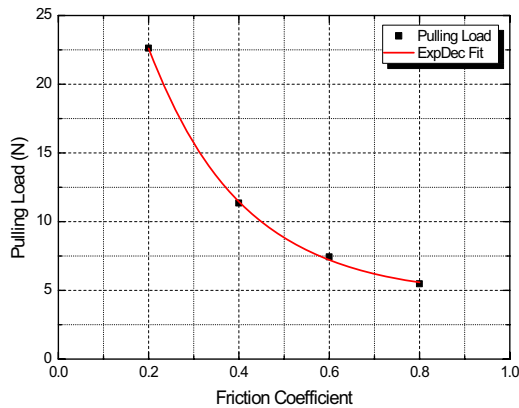


Fig. 9 Pulling load change with respect to the frictional coefficient

3.2 마찰계수 변화에 따른 견인력

마찰계수(μ) 변화에 따른 reverse screw의 견인력 변화를 분석하기 위하여 3.1절과 동일한 해석모델에 대하여 screw 상단의 작용 토크를 200 Nmm로 할 때 마찰계수를 0.2~0.8까지 0.2 간격으로 변화시키며 접촉해석을 수행하였다.

해석결과 마찰계수 변화에 따른 reverse screw의 견인력(F)은 작용된 200Nmm의 토크에 따른 모재의 변형에 의해 비선형적으로 감소하는 경향을 나타내었으며 이를 지수함수를 이용하여 curve fitting한 결과 식 (1)과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

이와 같이 마찰계수 증가에 따라 견인력이 지수감소 형태로 감소하는 이유는 접촉면에서의 마찰저항 증가로 인하여 동일 토크 작용 시 견인력이 감소되기 때문인 것으로 판단된다.

$$F = 4.59143 + 47.23363 \text{Exp}\left(\frac{-\mu}{0.20745}\right) \quad (1)$$

Fig. 9는 마찰계수에 따른 견인력 변화를 나타내고 있으며, 그 값은 Table 3과 같다.

Table 4 Pulling load with respect to the front screw angle

Front angle(°)	15	17	20	23	25
Pulling Load(N)	21.0	22.2	22.6	22.1	20.6

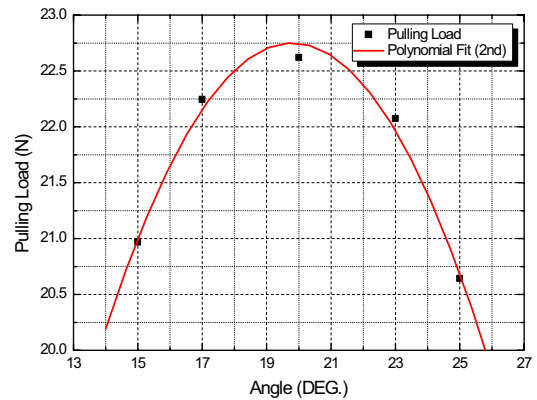


Fig. 10 Pulling load change with respect to the front screw angle

3.3 나사산각 변화에 따른 견인력

Fig. 3의 reverse screw front angle(α) 변화에 따른 견인력을 분석하기 위하여 동일 모델에 대하여 마찰계수 0.2, 상단 작용 토크가 200 Nmm로 작용될 때 front angle을 15~25°까지 2~3° 간격으로 변화시키며 해석을 수행하였다.

해석결과, 견인력 F는 front angle(α)의 tangent에 비례하지 않고 Fig. 10과 같이 기본 형상인 20°의 front angle에서 발생되었으며, 이는 식 (2)와 같이 2차 곡선으로 curve fitting 시 거의 일치함을 확인할 수 있었다.

이러한 원인은 reverse screw 상단에 토크 작용 시 나사산과 어깨부 사이에 존재하는 모재의 변형에 의해 2차적으로 어깨부에 발생하는 견인력에 기인하는 것으로 판단되므로 이에 관한 추가 연구를 통하여 분석할 필요가 있다.

$$F = -0.07624\alpha^2 + 3.01802\alpha - 7.11854 \quad (2)$$

Fig. 10과 Table 4는 나사산각 변화에 따른 reverse screw의 견인력 특성을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 주물제품의 균열 발생 시 열을 가하지 않고 특수한 형상의 나사를 이용하여 이를 수리할 수 있는 신공법인 metal fastening 공법의 핵심인 reverse screw의 견인력 특성 분석을 위하여 비선형 접촉해석을 고려한 유한요소해석을 수행함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비선형 접촉해석을 이용하여 reverse screw의 견인력 특성을 분석할 수 있는 단순화된 해석모델을 제시할 수 있었다.
2. Reverse screw의 견인력은 작용되는 토크에 비례하여 증가되었다.
3. 마찰계수 증가는 reverse screw의 견인력을 기하급수적으로 저하시키는 특성을 가지므로 이를 회피할 수 있도록 탭의 가공 시 정밀도 향상이 필요하다.
4. Reverse screw의 견인력을 최대로 발휘할 수 있는 front screw angle은 20° 이다.

후 기

본 논문은 2009년도 경남정보대학 교육역량강화사업의 지원을 받아 얻어진 결과물입니다.

참고문헌

1. Kim, H. S., "International Classification of Common Casting Defects," J. of the KFS, Vol. 11. No. 5, pp. 373-381, 1991.
2. You, S. Y., "Cast Iron Welding," J. of the KWS, Vol. 7. No. 2, pp. 1-11, 1989.
3. Bickford, J. H., "An Introduction to the Design and Behavior of Bolt Joints, 2nd Ed," Marcel Dekker Inc., 1990.
4. Park, J. S., Choi, J. H., Cho, M. W and Choi, G. W., "Prediction of Mechanical Behaviors of Bio-mechanical Materials," J. of the KSMPE,

Vol. 3, No. 1, pp. 72-78, 2004.

5. Minguez, J. M. and Vogwell, J., "Effect of Torque Tightening on the Fatigue Strength of Bolted Joints," Engineering Failure Analysis, Vol. 13, pp. 1410-1421, 2006.
6. Bhattacharya, A., Sen, A and Das, S., "An Investigation on the Anti-loosening Characteristics of Threaded Fasteners under Vibratory Conditions," Mechanism and Machine Theory, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2008.08.004, 2009.
7. ANSYS Inc., "ANSYS User's Manual V11," 2007.
8. KS D 3567, "Free Cutting Carbon Steels," Korea Industrial Standard, 2002.