

풀림방지 Curved-Nut 설계 및 성능 시험

차민철* · 강호성* · 김도엽* · 이석용* · 정희종** · 이응석*

* 충북대학교 기계공학부, ** 바이브록

Design and Performance Test of Locking Curved-Nut

Min Cheol Cha*, Ho Sung Kang*, Do Yeop Kim*, Suk Yong Lee*, Hui Jong Jeong** and Eung Suk Lee**†

* Dept. of Mechanical Engineering, Chungbuk Nat'l Univ.,
** Viblock Company

(Received August 22, 2016 ; Revised November 1, 2016 ; Accepted November 5, 2016)

Key Words: Locking Nut(풀림방지너트), Curved-Nut(커브드너트), Elastic Energy(탄성에너지), Friction Energy(마찰에너지)

초록: 현재 진동이 심한 산업현장에서 많은 종류의 풀림방지 너트가 사용되고 있다. 왜냐하면 진동의 풀림은 큰 사고를 유발할 수 있기 때문이다. 하지만 대부분의 풀림방지너트는 복잡한 가공과정을 거치기 때문에 가격 경쟁력에서 불리하다. 때문에 본 연구에서는 가공이 쉬운 새로운 유형의 커브드 너트를 개발 하고자 한다. 탄성에너지와 너트의 풀림메커니즘 사이의 탄성에너지를 연구하고 분석한 뒤, 나사의 풀림테스트를 한다. 커브드 너트는 기존너트에 밀링 공구를 이용하여 수직으로 한번 또는 두 번 너트의 밀면을 가공한다. 결과적으로 너트의 탄성에너지가 클수록 너트의 풀림을 막게 된다. 본 연구에서는 NAS3350의 진동테스트 장비를 이용하여 시험을 하고 결과를 분석한다.

Abstract: Many types of locking nut are commercializing in the various industries where has heavy vibration. Because nut's loosening causes a serious accident. But the most locking nuts are too expensive as the complicate manufacturing process. In this study, we design the new type of locking nut, "Curved-Nut" that is relatively simple making process. We study a relation between the elastic energy and the nut loosening mechanism. So it is analysed, the elastic energy of Curved-Nut comparing with the locking test. The Curved-Nut was manufactured on the commercial nut using a milling tool with horizontal cutting, one or two time under the nut. As the result, the more elastic energy the more prevent the loosening of the nut. We verified the performance of the loosening nut using the vibration testing equipment (NAS3350).

1. 연구 배경

볼트와 너트는 구조가 간단하고 체결이 쉬워 여러 산업현장에서 널리 쓰이고 있다. 하지만 이렇게 구조물에 체결된 볼트와 너트는 풀림에 있어 민감한 문제를 가지고 있다. 이러한 풀림은 진동이 심한 기차나 교량, 항공기 등에 있어 큰 위험과 사고가 될 수 있다. 나사의 풀림의 원인은 나사의 축직각 방향에 따른 진동이 가장 큰

원인으로 알려져 있으며 너트와 나사의 풀림방지를 위한 제품으로 Hardlocknut, Hyperloadnut, Lanfranconut 등이 개발되어 판매되고 있다. 그 중 Hardlocknut는 두 개의 너트가 한 쌍으로 이루어져 있으며, 편심을 이용한 쉐기효과를 이용한 너트이다. 이 너트는 체결에 강한 토크가 필요하며 가공과정이 복잡하고 너트의 소성변형을 일어날 수 있기 때문에 영구적인 사용이 불가하다. 또한 일본의 KHI사의 Hyperloadnut는 너트의 안쪽에 스프링을 고정하여 너트와 나사산사이의 마찰력을 증대하는 효과를 가지고 있다. 하지만 마찬가지로

† Corresponding Author, eungsuk@chungbuk.ac.kr
© 2017 The Korean Society of Mechanical Engineers

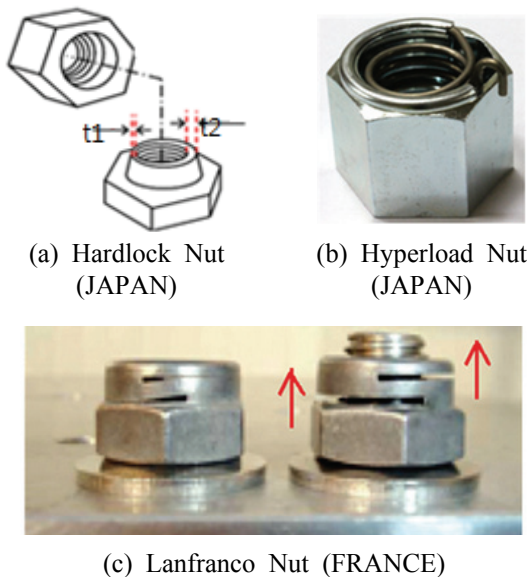


Fig. 1 Conventional locking nuts

지로 가공과정이 복잡하여 고가라는 단점이 있다. 그 외에도 Lanfranco의 너트는 슬롯을 이용하여 너트와 볼트의 체결 시 늘어난 슬롯의 장력을 이용한 풀림방지 너트인데, 장력을 이용하여 풀림방지 기능이 뛰어나나 구조적인 취약점을 가지고 있다. Fig. 1에서 앞서 언급한 세 가지 모델을 나타내었다. 또한 풀림방지역할을 하기 위하여 너트자체의 직접적인 변형이 아니라 풀림방지 와셔도 시중에서 많이 판매되고 있다. 그중 대표적으로는 풀림방지 와셔가 있다. 풀림방지 와셔는 볼트와 너트의 결합 시 모재와 너트 사이에 들어가는 와셔로 초기 볼트와 너트의 결합력이 와셔의 변형을 유도하여 스프링과 같은 효과를 낸다. 압축된 와셔가 모재와 너트를 밀어내는 힘을 발생하여 너트와 나사산사이의 마찰력을 증가시키게 된다. 다만 너트와 별개로 구입해야 하며 탄성한계를 넘으면 영구적인 소성변형이 일어난다는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 개발된 풀림방지역할의 기술들이 가공이 복잡하고 고가라는 단점을 극복하기 위하여 가공이 쉽고 단가가 낮은 풀림방지 너트를 개발을 위하여 설계하고자 한다. 즉 너트와 스프링와셔의 일체형인 Curved 너트를 설계하고 성능시험을 하고자 한다.

2. Curved 너트 설계 및 제작

KS규격에 의한 M16너트의 기본 사양에 Curved

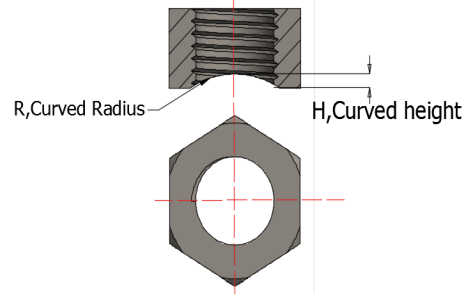


Fig. 2 Basic Curved-Nut structure (Single Curve)

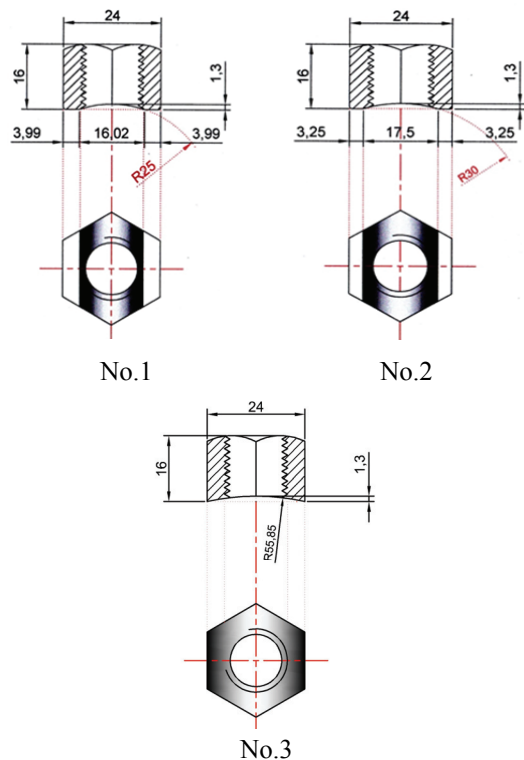


Fig. 3 Single Curved-Nut design(M16)

되는 너트의 하단 부분을 고려하여 너트의 두께가 16mm가 되는 너트를 고려하였다. 볼트와 너트가 체결될 때 Curved 된 너트 하부가 벌어지면서 큰 변형에너지가 발현 될 것이다. 이 변형에너지는 모재와 너트를 미는 탄성력을 발생시켜 나사산 사이의 마찰력을 증대하여 풀림방지 기능을 수행 하게 된다. Fig. 2에서 Curved 너트의 기본적인 형상을 나타내었다. 본 연구에서는 커브드 높이가 H를 고정시키고 반지름 R값을 변화시켜 너트의 변형에너지와 풀림방지 능력을 살필 것이다.

Fig. 3에 단일커브너트 No.1~No.3의 모델을 나타내었다. 모든 모델의 가공, 커브의 높이는 1.3mm로 동일하게 구축하였으며 No.1~No.2 모델은 가공하는 반지름이 각 R25, R30이다. No.3는

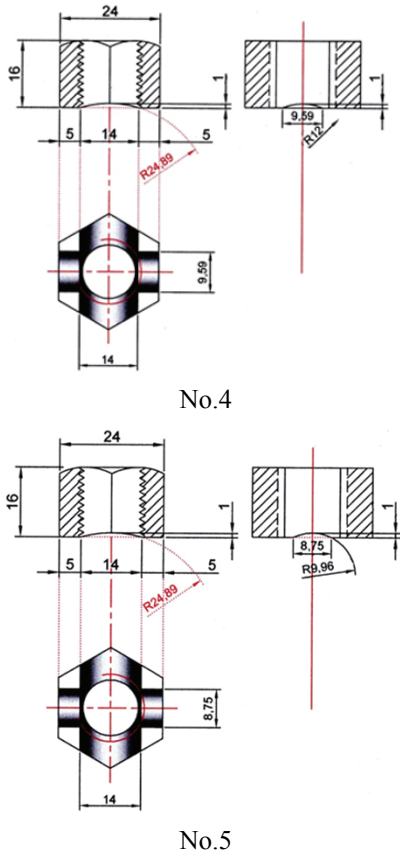


Fig. 4 Double Curved-Nut design(M16)



Fig. 5 Manufactured Curved-Nut for different types (single curve, double curve)

가공하는 반지름이 너트의 양쪽 끝부분과 맞닿을 수 있도록 R56.03으로 설계하였다. 또한 Fig. 4에 이중커브너트의 모델링 No.4~No.5 두 가지 형상을 나타내었다. 이중커브 모델링은 너트 밑 부분을 단일커브 보다 한 단계 더 많이 가공하기 때문에 가공 높이를 1mm로 낮추어 십자형태로 설계하였다. No.4는 R12와 R24.89로 설계하였으며 No. 5는 반지름 R24.89는 전과 동일하며 R9.96으로 설계하였다. Curved-Nut 제작은 기존의 M16 너트에서 End 밀링(드릴링)공구를 사용하여 수평

Table 1 Material property of AISI 1045 steel for Curved-Nut modeling

Density	Modulus of elasticity
7850 kg/m ³	2.05×10 ¹¹ N/m ²
Poisson Ratio	Yield Strength
0.29	530Mpa

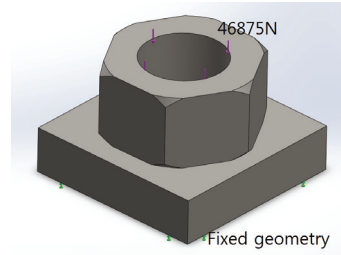


Fig. 6 Setting of curved nut on the fixed edge base for modeling (SolidWorks)

으로 1회 또는 90°차이로 2회 가공하는 조건으로 설계하였다. Fig. 5는 실제로 제작한 Curved-Nut의 모습을 나타내고 있다.

3. Curved 너트 탄성에너지 해석

3.1 해석방법

토크와 축력의 관계를 식 (1)에서 정리하였다. ISO 2320기준 M16 보통나사 육각 너트의 적용토크는 115N·m~174N·m이다. 그 중 150N·m 가정하여 (1)의 식에 대입하고 너트의 직경 d에 16mm, 토크계수 K에 0.2를 대입하면 토크에 상응하는 축력을 구할 수 있다. 150N·m에 상응하는 상당축력은 약 46,875N의 힘임을 계산할 수 있고 이 축력을 너트의 유효직경에 면에 너트 아랫방향으로 가하였다. Fig. 5는 해석프로그램에서 경계조건 및 Mesh 설정 모델링을 나타내고 있다. 이때 모재는 강체로 가정하였으며 너트와 모재의 접촉조건은 관통없음(No Penetration) 조건으로 해석하였다. 또한 너트의 재질은 AISI 1045 steel이며 물성치는 Table 1에 나타내었다. Curved 형상에 따라 단일커브, 이중커브로 설계하였다.

$$F = \frac{T}{K \times d} \tag{1}$$

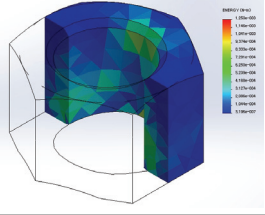
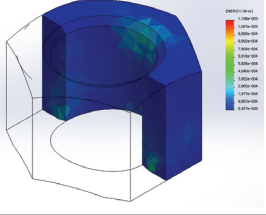
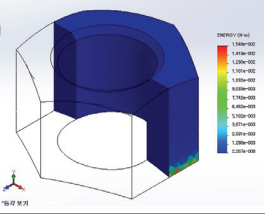
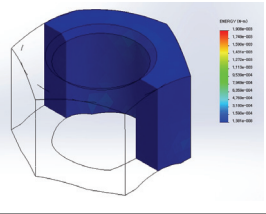
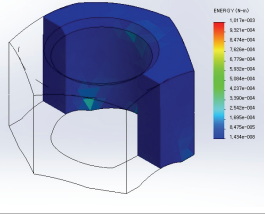
where, F = initial tension or preload

T = torque

d = diameter

K = torque coefficient(0.2 for dry surface)

Table 2 Simulation result for the elastic energy of Curved-Nut for different types

	
0.34503(N·m)	0.42377(N·m)
Single Curve No.1	Single Curve No.2
	
1.81390(N·m)	0.37188(N·m)
Single Curve No.3	Double Curve No.4
	
0.34989(N·m)	
Double Curve No.5	

3.2 해석 결과

해석결과 단일커브에서는 No.3 모델이 No.1 모델과 No.2 모델에 비하여 약 3~4배의 높은 수치의 변형에너지결과가 나왔다. 커브 되는 높이를 고정하였을 때, 반지름 R값이 클수록 가장 높은 수치의 변형에너지가 발생한다는 사실을 알 수 있었다. 이중커브에서는 반지름 R12의 No.4모델이 반지름 R 9.96의 No.5 모델보다 큰 변형에너지를 나타내었다. 하지만 단일커브너트의 변형에너지보다는 작게 나왔으며 No.1 모델과 비슷한 수치의 결과를 나타내었다. Table 2에 시뮬레이션 실험결과와 변형에너지 값(N·m)를 나타내었으며 가장 변형에너지가 큰 No.3 모델이 풀림방지 효과가 클 것으로 예상 되었다.

4. 풀림방지성능 진동 시험

진동시험은 진동시험기인 NAS3350를 사용하였

Table 3 Geometry of nut and bolt clamping jig for NAS3350, and the testing condition

Long hole width A	31.8 (mm)
Long hole width B	50.7 (mm)
Washer-tube internal dia	16.3 (mm)
iner-tube external dia	31.5 (mm)
Washer external dia	43.2 (mm)
Washer thickness	5.4 (mm)
Washer unit weight	58.4 (g)
Frequency	1800(c.p.m)
Angular frequency	188.4(rad/s)
Vibration amplitude	1.9(cm)
Vibration velocity	34.4(cm/s)

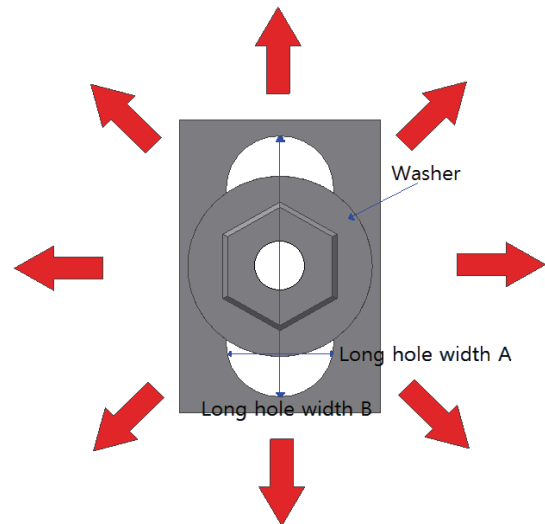


Fig. 7 Vibration mode of nut with clamping jig for NAS3350 forced direction of vertical axis

다. NAS3350시험기는 National Aerospace Standard 3350의 약자이며 NASA에서 볼트와 너트의 체결을 시험하기 위해 고안된 장치이다. NAS3350은 육각너트 M5~M16까지 진동테스트가 가능하다. 최대 17분 동안 가진이 가능하며 17분 동안 최대 30,000번의 회전운동이 가능하다.

본 시험에서 가해진 가진 조건은 Table 3에 나타내었다. 진동수는 30Hz, 진폭은 1.9cm로 하였으며 시험에 사용된 지그구멍의 길이와 와셔의 내외경, 무게와 두께를 Table 3에 나타내었다. 너트의 진동 방향은NAS3350을 통해 너트와 지그에 수직방향으로 반복 가진을 하면 Fig. 7과 같이 너트가 회전운동하며 각 방향으로 흔들리게 된다. Fig. 8은 진동시험 모습을 나타내고 있다. 너트가

Table 4 Result of vibration performance test, Un-locking times

Single Curve No.1		Single Curve No.2	
Torque	Time	Torque	Time
70N·m	00:19	70N·m	00:20
100N·m	00:55	100N·m	02:42
120N·m	09:15	120N·m	07:26
150N·m	17:00	150N·m	17:00
Single Curve No.3		Double curve No.4	
Torque	Time	Torque	Time
70N·m	00:44	70N·m	00:19
100N·m	16:16	100N·m	00:49
120N·m	16:44	120N·m	14:39
150N·m	17:00	150N·m	17:00
Double curve No.5			
Torque	Time		
70N·m	00:18		
100N·m	01:32		
120N·m	09:59		
150N·m	17:00		



Fig. 8 Vibration testing machine NAS3350 for locking Curved-Nut

체결된 하중 토크를 70, 100, 120, 150N·m로 나누어 시험하였다. 각 모델 당 24번의 시험을 하였으며 각 토크 당 6번의 시험을 통하여 너트가 풀린 시간을 기록하였다. 너트의 풀린 시간을 평균으로 산출하여 기록하였다. Table 4에 진동시험 결과를 나타내었다. 실험결과 변형에너지가 가장 컸던 No.3 모델이 전체 토크에 걸쳐 가장 뛰어난 플립방지 결과를 나타내었다.

5. 결과 분석

너트의 플립은 너트와 볼트의 나사산사이의 마

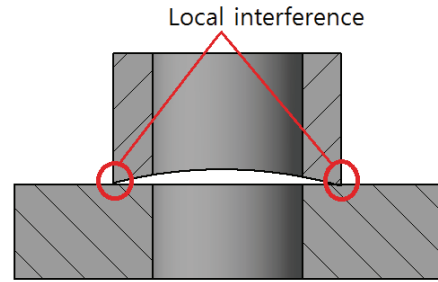
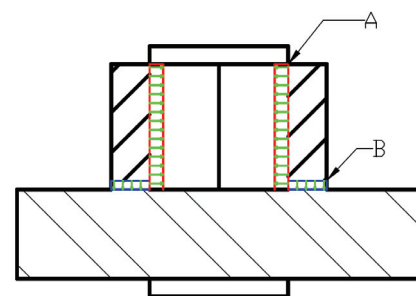
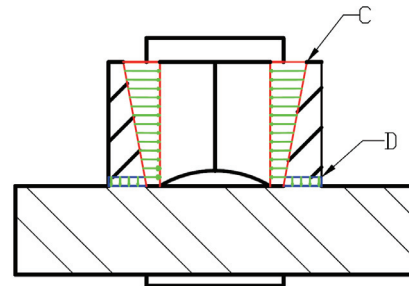


Fig. 9 Local interference with the base of No.3 Curved-Nut (section-view)



A. Conventional nut



B. Curved-Nut

Fig. 10 Friction energy analysis of locking for conventional nut and Curved-Nut

찰력 뿐만 아니라 너트의 밑면과 모재와의 마찰 면적에도 관련이 있다. 하지만 앞선 실험결과는 모재와의 마찰면적이 가장 적었던 No.3 모델이 가장 크게 나타났다. 이는 Fig. 9와 같이 모재와 너트의 밑면이 닿는 마찰면적이 적고, 형상이 바닥면과 에지형태로 접촉 및 변형된다.

따라서 모재와 너트가 국부적인 파임 간섭이 발생하여 회전마찰력이 상승하고, 이로 인해 플립이 방지되는 결과가 나타난 것으로 보인다.

또한 Curved-Nut은 Fig. 10에 나타나 있듯이 기존 너트에서 넓었던 모재와 너트의 밑면 면적과 마찰에너지(B<D)를 소폭 잃는 대신 모재와 너트의 나사산사이의 마찰에너지(C>A)를 극대화 하여 너트의 플립방지 기능을 수행하게 된다.

6. 결 론

본 연구에서는 Curved-Nut의 설계 및 성능시험을 위해 설계프로그램을 통한 시뮬레이션과 진동 시험을 통하여 Curved형상을 고찰하였다. 이러한 연구를 통하여 Curved-Nut에 발생하는 변형에너지가 클수록 풀림방지역할을 잘 수행할 수 있다는 것을 입증하였다. 또한 변형에너지는 Curve형상의 반지름 R값에 비례한 다는 사실을 알 수 있었다. 그러나 이는 모재와 너트의 밀면의 마찰면적이 적어 국부적인 파임 간섭이 생긴 결과일 수 있다. 다만 너트의 변형에 의한 변형에너지의 증가와 나사산사이의 마찰력 증대 또한 풀림방지 기능을 수행한다는 사실을 입증하였다.

따라서 본 논문에서 기재된 기술과 너트를 사용할 경우 가공과정이 대폭 줄어들 것이며 낮은 제작 단가의 풀림방지너트를 사용할 수 있을 것이다. 또한 반영구적으로 사용할 수 있으므로 여러 산업 분야에 걸쳐 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌
(References)

- (1) NASA, "NAS(National Aerospace Standard)3350 Manual," 2015, Standards Industry 3. Requirements, 3.4.2.9.
- (2) Jung, S.P., Park, T.W., Chung, W.S. and Song, H. S., 2009, "Optimum Design of the Shape of the Spring for a Loose-proof Lock Nut," *Proceedings of the KSPE Spring Conference*, pp. 149~150.
- (3) ANSEL C. UGURAL, 2012, "MECHANICAL DESIGN An Integrated Approach," *McGrawHil*, pp. 600~627.
- (4) Lee, C.W. and Kim, H.J., "Characteristics of Tightening Torque of Self-locking Nuts for KTX Trains," *Proceeding of the KSME Fall conference*, pp. 3638~ 3639.
- (5) Kim, S.H. and Seok, C.S., "The Comparative Evaluation for Factors Effecting on Anti-loosening of Bolt," *Proceeding of the KSME Fall conference*, pp. 226~ 227.