

## 타이바의 풀림 특성에 관한 연구

배봉국\*(성균관대 기계공학부), 박홍선(성균관대 대학원),  
석창성(성균관대 기계공학부), 박대열(쥬스틸코리아)

### A Study on the Looseness Property of a Tiebar

B. K. Bae(School of Mechanical Engineering, SKKU), H. S. Park(Department of Mechanical Design, SKKU)  
C. S. Seok(School of Mechanical Engineering, SKKU) D. Y. Park(Steel Korea Co. LTD.)

#### ABSTRACT

The tiebar is used by joint for keeping from deformation by conserving tensile load between two structure. The tiebar, bolt joining type, is combined by tiebar and clevis like bolt and nut. By coupled, it maintains tensile load. While it goes through repeated load, it occurs to loose because joining force between clevis and nuts is reduced. So, continuous maintenance is needed such as making tighter periodically, repairing the broken part and so on. For that reason, this paper calculates necessary torque unfastening joint for conventional tiebar and presenting tiebar theoretically and then consider the reason that conventional bolt-typed tiebar unties. Also, through vibration untied test for two types of tiebar we confirm that presenting tiebar have a improvement of unfastening when we compare with the conventional one.

**Key Words** : Tiebar (타이바), Clevis (클레비스), Looseness property (풀림 특성), Tensile load (인장력), Vibration untied test (가진 풀림 시험)

#### 1. 서론

두 부재를 연결시키는 기계요소로는 핀, 축 이음, 나사, 볼트 등이 있으며, 그 중 케이블로 지지하는 현수교나 건축물 부재간의 연결에는 타이바(tiebar)가 사용된다. 타이바는 주로 두 부재간의 인장력을 유지하여 변형을 방지하기 위한 조인트로써 사용되며, 타이바를 체결하는 방법에는 용접, 리벳접합, 볼트접합의 세 가지 방법이 있다. 그 중 볼트접합 방식은 단순히 볼트를 조임으로써 간편하게 시공이 가능하므로 많이 이용되지만, 용접이나 리벳접합에 비해 상대적으로 진동이나 충격에 약하다는 단점이 있다. 볼트접합 방식의 타이바는 타이바(bar)와 클레비스(clevis)를 볼트와 너트처럼 체결하여 인장력을 유지하며, 오랜 시간동안 반복하중을 받으면 클레비스와 연결된 이음부의 체결력이 약해져서 풀림이 발생하므로, 정기적으로 조여주거나 균열이 발생된 부위를 교체하는 등의 지속적인 관리가 필요하며, 안전성에 문제가 있으므로, 타이바의 체결과 풀림 방지에 관

한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 기존 볼트접합 방식의 타이바가 풀리는 이유에 대하여 고찰하고, 이를 개선하여 쉽게 풀리지 않도록 하는 방안을 연구하였다.

#### 2. 타이바의 설계

##### 2.1 구조물에 사용되는 타이바의 원리

Fig. 1은 타이바를 구조물에 적용하여 사용하는 프리스트레스(pre-stress)공법의 예를 나타낸 것이다. 건축물의 부재인 철골이 굽은 선과 같다고 하였을 때, 수평방향의 부재는  $F_s$ 의 인장하중을 받는 상태에 있다. 부재의 자중을 무시하면 이 부재의 량을 많이 사용할수록 하중을 지탱할 수 있는 능력이 커지지만 공사비용 또한 많이 들기 때문에 되도록 부재의 량을 줄여야 한다. 따라서 제한된 량의 부재로 되도록 큰 하중을 지지하는 것이 필요하다. 프리스트레스 공법에서는 부재에 가해지는 하중의 부담을 줄이기 위하여 그림에서와 같이 클레비스(clevis)를 설치하고

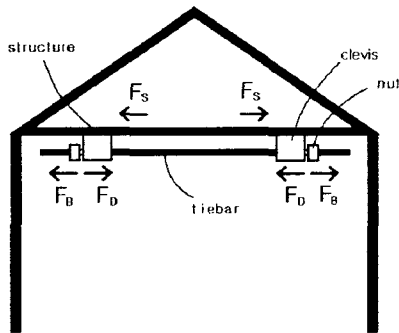


Fig. 1 Schematic of pre-stress method

너트(nut)와 타이바(tiebar)를 체결하여 조여준다. 그러면  $F_B$  만큼의 인장이 타이바에 발생하고 그 반작용력인  $F_D$ 가 클레비스에 발생하여  $F_s$ 의 일부 하중이  $F_D$ 에 의해 상쇄되므로 부재에 걸리는 하중을 해소시킬 수 있다. 이처럼 타이바를 이용하면 한정된 부재로 구조물의 안전성을 향상시킬 수 있다.

## 2.2 기존 타이바의 구조적 문제

기존 타이바의 구조를 단면도로 나타내면 Fig. 2와 같다. 각 타이바의 바깥쪽 끝단은 각각 다른 부재에 고정되어있고 안쪽 끝단에는 각각 왼나사와 오른나사가 가공되어 중앙부분에서 클레비스에 의해 연결되어있다. 클레비스의 내부에는 왼나사와 오른나사가 가공되어있으므로, 클레비스를 회전시켜서 나사를 조이면 타이바에 인장력을 가할 수 있다. 중앙부분의 클레비스와 타이바 사이의 순수한 나사 마찰력에 의하여 인장력이 유지되므로, 만일 충격이나 진동에 의하여 클레비스가 반대방향으로 회전하면 타이바가 풀려버리는 문제점이 있다.

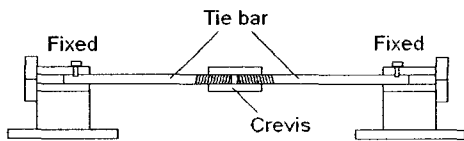


Fig. 2 Schematic diagram of an conventional tiebar

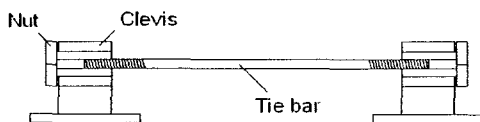


Fig. 3 Schematic diagram of an advanced tiebar

## 2.3 풀림 방지 기구

두 개의 클레비스가 각각 다른 부재에 고정되어 있고, 양단에 오른나사가 가공된 타이바를 이용하여 연결을 한다면 Fig. 3과 같은 구조가 된다. 이때 타이바는 각각 클레비스 내부에 삽입되는 너트를 이용하여 체결된다. 이 경우 타이바가 충격이나 진동에 의하여 어느 한쪽 방향으로 회전한다고 하더라도 어느 쪽으로도 풀어지지 않게 된다. 즉 좌측 너트에 대하여 풀리는 방향으로 회전하면 반대로 우측 너트에서는 조여지므로 타이바의 회전은 인장력에 영향을 미치지 않는다.

타이바가 풀리는 유일한 경우는 너트가 풀어지는 경우이다. 이 경우 기존의 타이바와 달리 타이바와 너트 사이의 나사 마찰력 이외에도 너트와 클레비스 사이의 마찰력이 작용하므로 기존의 타이바에 비하여 나사가 쉽게 풀리지 않는다.

기존의 타이바와 개량형 타이바에 작용하는 인장력과 토크의 관계를 다음에서 수식으로 유도하여 비교해 보고자 한다.

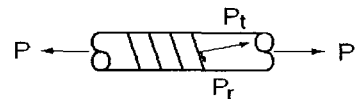


Fig. 4 Free body diagram of tiebar

Fig. 4에서 나사의 평균지름이  $D$ 인 타이바에 인장력  $P$ 가 작용할 때, 나사산의 기울기와 마찰계수를 각각  $\theta$ 와  $\mu$ 라고 하면, 나사가 풀리는데 필요한 토크  $T$ 는 다음과 같다[1].

$$T = \frac{D}{2\cos\theta} (P_r + \mu P_t) \quad (1)$$

이때  $P_r$ 과  $P_t$ 는 각각 인장력의 나사산에 대한 접선 성분과 법선 성분에 해당하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_r &= P \sin\theta \\ P_t &= P \cos\theta \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)를 식 (1)에 대입하면 토크를 다음과 같이 나타낼 수 있다[2].

$$\begin{aligned} T &= \frac{D}{2\cos\theta} (P \sin\theta + \mu P \cos\theta) \\ &= \frac{D(\tan\theta + \mu)}{2} P \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서 마찰계수가 일정하면, 토오크와 인장 하중은 선형비례 관계를 갖는다. 따라서 타이바에 큰 인장력이 작용하고 있을수록 타이바를 풀기 위해서는 큰 토오크가 필요하며, 반대로 타이바에 큰 인장력을 작용시키기 위해서는 그에 비례하여 큰 토오크가 필요함을 알 수 있다.

식 (3)은 순수한 나사산의 마찰만을 고려한 경우로서 기존의 타이바에 해당한다. 개량형 타이바의 경우 너트와 클레비스 사이의 마찰력을 추가적으로 고려해주어야 한다[3]. 만일 너트와 클레비스 사이의 마찰계수를  $\mu'$ , 접촉면의 평균지름을  $D'$  라고 하면 풀리는데 필요한 토오크는 다음과 같다.

$$T = \frac{D(\tan\theta + \mu)}{2} P + \frac{\mu' D'}{2} P \quad (4)$$

식 (4)에서 두 번째 항이 클수록 타이바의 체결은 어려워지고, 또한 풀리기도 어려워질 것이다. 본 연구에서는 체결 가능한 범위에서 두 번째 항을 증가시켜 풀림 방지 기능을 갖는 개량형 타이바를 개발하고자 하였으며, 이를 위하여 너트와 클레비스 사이의 접촉면의 마찰계수를 높이거나 접촉면의 형상을 변화시키는 방법을 적용하여 개량형 타이바의 시제품을 설계하였다.



Fig. 5 Schematic of an advanced tiebar

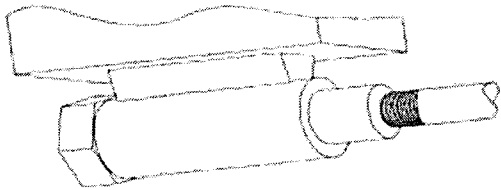


Fig. 6 Assembly of an advanced tiebar

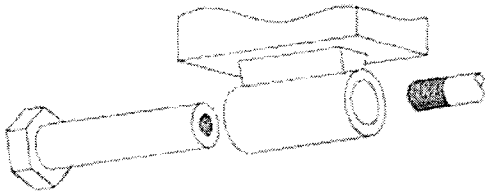


Fig. 7 Decomposition of an advanced tiebar

## 2.4 개량형 타이바

개량형 타이바는 Fig. 5와 같이 구조물에 클레비스를 장착하여, 클레비스 내부를 통해 타이바와 너트를 체결하는 구조를 갖고 있다. 이러한 구조로 인하여 나사산의 마찰력뿐만 아니라 클레비스와 너트가 닿는 부분의 마찰력이 더해져서 우수한 체결력을 갖는다.

Fig. 6, Fig. 7은 개량형 타이바에 관한 도면으로, 구성요소는 평면형 클레비스, 타이바, 너트이다. 클레비스와 너트 사이의 접촉면이 평면이고, 그림에서와 같이 나사산의 마찰력뿐만 아니라 클레비스와 너트가 닿는 부분의 마찰력이 더해져서 기존 타이바에 비해 체결이 우수한 장점을 갖고 있다.

## 3. 가진 풀림 시험

### 3.1 시험 내용

2절에서 유도된 수식으로부터 개량형 타이바와 기존 타이바를 각각 제작하고 초기 체결 하중을 달리하여 가진 풀림 시험을 수행하고 타이바의 풀림 여부를 확인하였다. 개량형 타이바의 경우 Fig. 8과 같이 기존의 타이바와 동일한 재료인 스프링강으로 제작하고 장치를 구성하여 실험하였다. 오른쪽을 고정시키고 가진 했을 때 왼쪽의 너트가 풀리는지 여부를 조사하였다. 기존 타이바의 경우 Fig. 9와 같이 개량형 가진 시험 장치의 일부를 변경하여 실험하였다. 양 끝단을 모두 고정시키고 가진 했을 때 클레비스가 풀리는지 여부를 조사하였다.

실험은 개량형 타이바를 기준으로 초기 인장력에 따른 풀림의 정도를 파악하고, 특정 인장력에서 기존 타이바와 개량형 타이바의 성능을 비교하는 순서로 진행하였다.

### 3.2 시험결과 및 고찰

Fig. 10은 개량형 타이바를 대상으로 초기 인장력을 각각 20, 30, 40, 50 kN으로 증가시키며 시험한 가진 풀림 시험 결과를 나타낸 것이다. 초기 인장력이

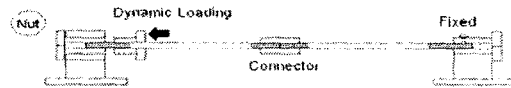


Fig. 8 Schematic of vibration test for an advanced tiebar



Fig. 9 Schematic of vibration test for conventional tiebar

20 kN일 때 가진을 시작한지 65초만에 풀렸으며 30kN에서는 약 130초만에 풀렸다. 초기 인장력이 40 kN 보다 크면 더 이상 풀리지 않았다.

Fig. 11은 기존 타이바를 대상으로 초기 인장력이 각각 30, 40, 50, 60, 70, 80 kN일 때 가진 풀림 시험 결과를 나타낸 것이다. 초기 인장력이 30 kN일 때 가진을 시작하자마자 풀려버렸으며, 초기 인장력이 50 kN일 때 약 30초, 70 kN일 때 약 115초까지 버텼으며, 80 kN의 초기 인장력이 가해지는 경우 풀림이 둔화되었다.

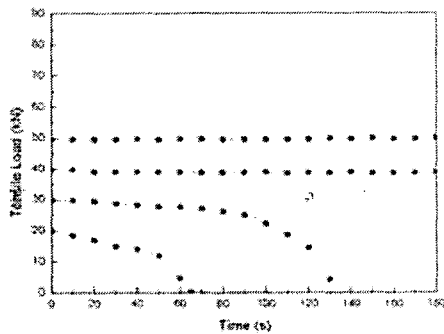


Fig. 10 Vibration test results of a conventional tiebar

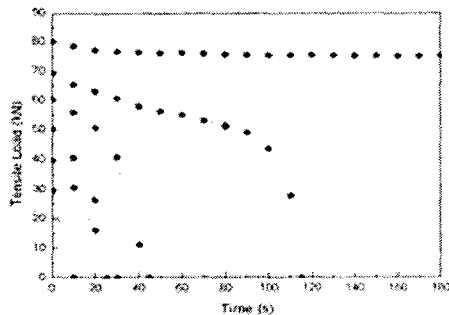


Fig. 11 Vibration test results for an advanced tiebar

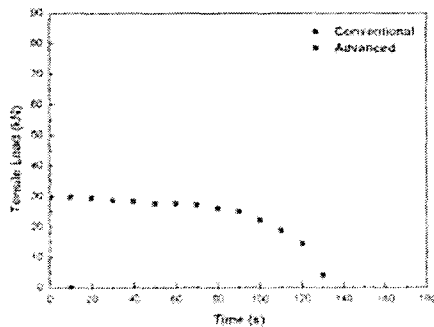


Fig. 12 Comparison of a conventional tiebar and an advanced tiebar for 30kN tensile load

Fig. 12는 두 종류의 타이바에 대하여 30kN의 시험 결과를 비교한 것으로써 개량형 타이바의 경우 같은 진동에서 기존 타이바의 10배 이상의 시간동안 인장력을 지속하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 개량형 타이바를 실 건축물의 시공에 적용하면 기존 타이바에 비하여 충분한 안정성을 보장할 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

기존 타이바와 새로운 타이바에 대하여 체결이 풀리는데 필요한 토크를 이론적으로 산출하고, 가진 풀림 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기존 타이바가 쉽게 풀리는 원인을 분석하고, 이를 개선하여 풀림 방지 기능을 갖는 개량형 타이바를 설계하였다.

(2) 타이바에 작용하는 인장력과 토크의 관계식을 유도한 결과, 개량형 타이바의 경우 너트와 클레비스 사이의 접촉 마찰력으로 인해 기존의 타이바에 비하여 쉽게 풀리지 않을 것으로 예상되었다.

(3) 가진 풀림 시험 결과, 개량형 타이바가 기존 타이바에 비하여 10배 이상 체결력을 지속하는 것을 확인할 수 있었다. 이로부터 관계식으로부터 예상한 결과와 일치하는 것이다.

#### 후기

이 논문은 두뇌한국21사업과 (주)스틸코리아에 의하여 지원되었습니다.

#### 참고문헌

1. Joseph Edward Shigley, Charles R. Mischke, 1989, Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill, New York, pp. 325-350.
2. Y. Jiang, J. Chang and C. H. Lee, "An Experimental Study of the Torque-Tension Relationship for Bolted Joints", International Journal of Materials and Product Technology, Vol. 16, pp. 417-429, 2001.
3. Tae-won Park, Gwi-su Shin, Yanyao Jiang, Ming Zhang, "The Friction Properties on the Loosening of Bolt Joints (I: Thread Friction Experiments)", Journal of the KIIS, Vol. 18, No. 2, pp. 1-5, 2003.