

힘을 받는 고장력볼트 체결부에서 과대공에 따른 사용성에 관한 연구

박정웅¹, 양승현^{2*}, 장석인¹

¹조선대학교 토목공학과, ²조선이공대학 토목건설과

A Study on Serviceability of Oversized Bolt Hole in High-Tension Bolt Joint Subjected to Bending

Jeong-Ung Park¹, Seung-Hyun Yang^{2*} and Suk-In Jang¹

¹Chosun University, Department of Civil Engineering

²Dept. of Civil Construction Engineering, Chosun College University of Science & Technology

요 약 고장력볼트를 이용한 강부재의 연결부에서 마찰력을 초과하는 설계하중이 작용하여 미끄럼이 발생하는 점을 기점으로 볼트와 모재의 전단강도 및 지압강도에 의해 설계하중을 지지하게 된다. 미끄럼량은 볼트의 장력, 접촉면의 마찰계수, 모재구멍내에서 볼트의 위치에 따라 결정되어 질 수 있다.

본 연구에서는 모재 및 덮개판에 대하여 볼트구멍의 크기를 변화시켜 제작된 고장력볼트 체결부에 순수굽힘과 인장력이 작용하는 경우 표준공과 과대공에 따른 미끄럼을 측정하고 비교분석하였다. 표준공을 가지는 경우보다 과대공을 가지는 경우에 74~94% 작은 하중에서 미끄럼이 발생하였다. 인장력을 받는 부재에서는 과대공치수가 클수록 미끄럼 하중비가 작게 나타났으며 모재의 과대공치수가 덮개판의 과대공치수보다 미끄럼하중변화와 연관성이 많은 것으로 나타났다.

Abstract If a design load exceeding the frictional force of the contact surface is applied to the connection of steel members using a high-tension bolt friction joint, sliding occurs and the connection of the steel members bears the design load through the shear strength and bearing strength of the bolt and the base plate. The sliding distance can be determined by the tensile force of the bolt, the friction coefficient of the contact surface, and the position of the bolt in the base plate hole.

This study measured and analyzed sliding according to standard bolt hole and oversize bolt hole when pure bending moment and tensile force were applied to high-tension bolt joints with different sizes of bolt holes made in the base plate and the cover plate. In a high-tension bolt joint receiving pure bending moment and tensile force, the load causing sliding in an oversize bolt hole was 74~94% of that in a standard bolt hole. In a member receiving tensile force, the sliding load ratio was lower when the size of oversize bolt holes in the base plate and the cover plate was large. In addition, the size of the oversize bolt hole in the base plate was more closely correlated with the change of sliding load than the size of the oversize bolt hole in the base plate.

Key Words : Serviceability, Frictional force, Standard bolt hole, Oversize bolt hole

1. 서론

고장력볼트의 마찰이음은 도입된 축력에 의하여 접촉

면에서 압력이 발생하게 되며 설계하중이 작용하는 시점에서 접촉면의 마찰력에 의하여 설계하중을 각 부재가 부담하게 된다. 마찰력을 초과하는 설계하중이 작용하면

본 논문은 2008년도 조선대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

*교신저자 : 양승현(ttury@daum.net)

접수일 09년 09월 07일

수정일 09년 10월 12일

게재확정일 09년 10월 14일

접촉면에서 미끄럼이 발생하며 미끄럼이 완료된 후에는 볼트의 나사부와 모재 및 덮개판이 직접 부착하게 되고 볼트의 전단 체결부에서는 전단강도 및 지압강도가 발휘되며, 모재 및 덮개판에서는 인장강도 및 지압강도가 발휘되어 설계하중에 대하여 저항하게 된다. 그러므로 미끄럼 발생시점을 기준으로 하여 설계하중에 대한 저항매카니즘이 변화하게 된다. 설계하중에 비하여 미끄럼하중이 큰 경우에는 모재 및 고장력볼트의 강도발휘가 적게되어 강구조물의 체결부에서의 사용성이 증가하게 된다. 미끄럼량 및 미끄럼하중은 볼트의 장력, 접촉면의 마찰계수 및 모재구멍내에서 볼트의 위치에 따라 결정되어 질 수 있다.

본 연구에서는 모재 및 덮개판에 대하여 볼트구멍의 크기를 변화시켜 제작된 고장력볼트 체결부에 순수굽힘 및 인장력이 작용하는 경우 표준공과 과대공에 따른 미끄럼하중을 측정하고 비교분석하였다.

2. 순수굽힘 실험

2.1 시험편 제작 및 조립

SM490, H-400×200×8×13의 모재를 F10T M22의 고장력볼트를 이용하여 2면 전단방식으로 연결하였으며 모재 및 덮개판을 표준구멍 및 과대구멍으로 제작하였다.

시험편의 체결시 필요한 볼트조임 축력은 설계볼트축력에 10% 증가시킨 축력 값으로 설정하였다. 따라서 M22 시험체의 설계볼트축력은 200kN이고, 조임축력은

220kN이다. 도로교표준시방서에 따라 1차조임은 소요 토크값의 60%정도이므로 1차조임의 축력값 144kN, 토크값 510kN·mm 이고, 본조임의 축력값 220kN, 토크값 850kN·mm 로 볼트를 체결하였다.

[표 1] 시험편의 규격 및 치수

구분	구멍 형태	접합 형태	시험편 명칭	모재 구멍	덮개판 구멍	수량
1	표준	2면전단	FM-ST	Ø24	Ø24	1
2	과대	2면전단	FM-OB6	Ø28	Ø24	1
3	과대	2면전단	FM-OD4	Ø26	Ø26	1
4	과대	2면전단	FM-OD6	Ø28	Ø28	1
계						4

ST : 모재 및 덮개판의 표준공 제작

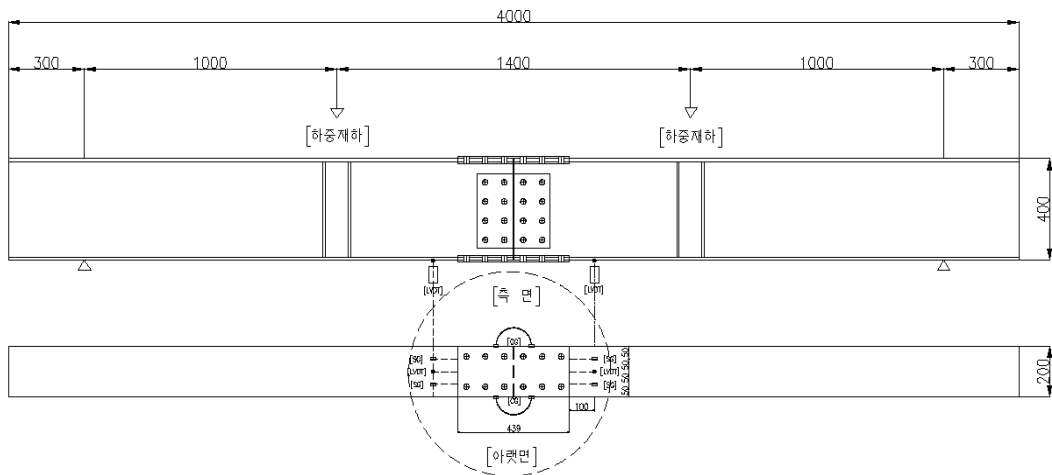
OB : 모재의 과대공 제작

OD : 모재 및 덮개판의 과대공 제작

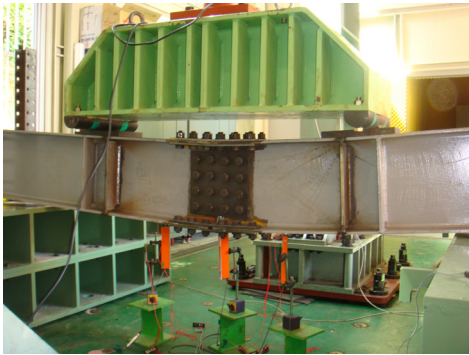
4.6 : 과대공 치수(볼트직경 + 4.6mm)

2.2 굽힘실험

체결이 완료 된 후에는 모재의 연결부에 크랙 게이지를 설치하고 최대 처짐이 예상되는 고장력볼트 체결부의 하부플랜지에 3개의 변위계를 부착하고 200ton 유압실린더를 이용하여 5tonf/min의 속도로 하중을 가하면서 수직 변위와 미끄러짐 변위를 측정하였다. 강축에 대한 굽힘실험은 일정한 하중이 작용하면 횡좌굴이 발생할 수 있으므로 위험할 뿐 아니라 본 실험은 미끄러짐 발생 시점을 주목하여 실시하였으므로 시험편의 가력은 시험편에 미끄러짐이 발생하면 실험을 종료하였다.



[그림 1] H-Beam 시험편의 현황 및 게이지 부착



[그림 2] 휨실험 전경

2.3 실험결과

수직하중은 수직변위가 10.3~14.5mm사이에서 급격히 감소하고 수직변위는 지속적으로 증가하였다. 미끄럼 하중은 그림 3과 같이 하중이 급격히 저하되는 시점의 하중을 사용하였는데 표준볼트구멍(FM-ST)인 경우 402kN으로 가장 컸으며 6mm 과대공 시험편(FM-OD6)에서 330kN으로 가장 작게 나타났다. 수직하중과 크랙개이지에 의한 미끄러짐 변위량을 나타낸 그림이다. 이에 따르면 하중의 증가에 따라 중앙부 모재에 부착된 크랙개이지의 미끄러짐 변위는 완만히 증가하다가 0.12~0.3mm에서 미끄러짐 변위는 증가하나 하중이 감소하는 현상이 발생하였다. 이는 그림 3의 수직하중과 수직변위의 관계에서 보인 바와 같이 동일한 하중에서 크랙개이지의 미끄러짐 변위량이 급격히 변화하는 것을 알 수 있었다. 크랙개이지의 미끄러짐 변위량은 LVDT에 따른 수직변위량과 유사한 거동특성을 나타냈으며 표준 시험편(FM-ST)에서 약 0.3mm로 가장 크게 발생한 후 미끄러짐이 발생하였고 그 밖의 시험체에서는 약 0.2mm에서 미끄러짐이 발생하였다. 그림 3의 수직하중-수직변위 선도 및 그림 4의 수직하중-미끄러짐변위 선도의 기울기는 OB6, ST, OD6, OD4순으로 작게 나타났다. 표 2는 각 시험체의 미끄럼하중을 나타낸 것으로서 이 값은 설계미끄럼강도보다 작은 것으로 측정되었다.

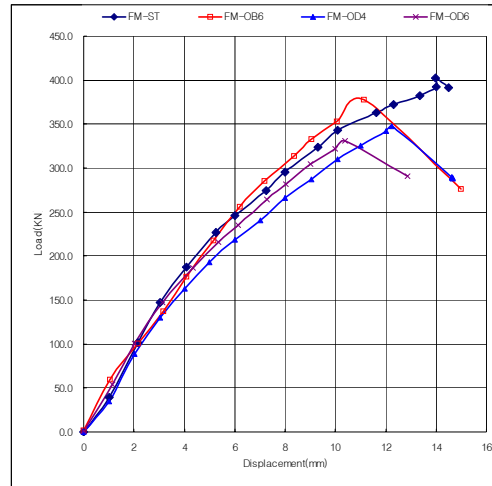
[표 2] 휨실험 결과

시험편	미끄러짐 재하하중 (kN)	체결부 휨모멘트 (kN·m)	하부플랜지 미끄럼하중 (kN)
FM-ST	402.00	201.00	441.01
FM-OB6	377.99	189.00	414.67
FM-OD4	347.70	173.85	381.42
FM-OD6	330.95	165.48	363.06

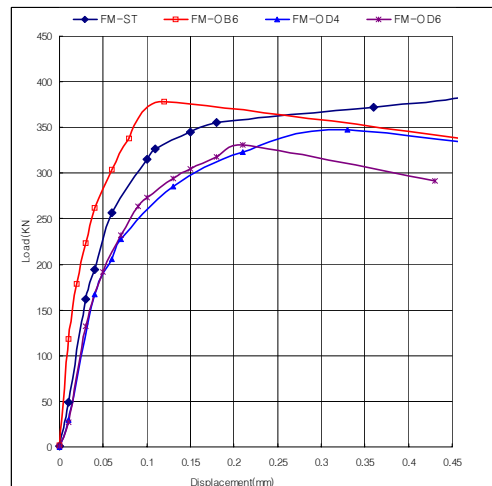
허용 미끄럼강도는 다음과 같이 산정하였다.

$$P_s = \frac{1}{S} \times \mu \times N \times m \quad (1)$$

여기서, P_s : 미끄럼강도
 S : 안전율
 m : 마찰면의 수



[그림 3] 수직하중-수직변위 선도



[그림 4] 수직하중-미끄러짐변위 선도

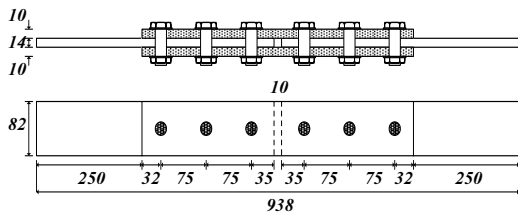
3. 고장력볼트 인장실험

본 연구에서는 과대공에 따른 고장력볼트 체결부의 사

용성을 보다 다양하게 평가하기 위하여 굽힘실험과 더불어 인장실험을 실시하였다.

3.1 시험편 제작 및 인장실험

인장실험은 굽힘실험에 비해 시험편 제작이 용이하고 규모가 작아 모재 및 덮개판의 표준공 및 과대공 제작을 통하여 총 14개의 시험편을 제작하였다. SM490B의 강부재를 M22, F10T의 고장력볼트로 2면전단 연결하고 모재와 덮개판을 볼트직경에 2mm, 4mm 또는 6mm의 구멍으로 가공하였다. 또한 시험편의 연단거리, 볼트 및 부재간격 등은 도로교 표준시방서에 제시된 값을 준수하였다.



[그림 5] M22 고장력볼트 시험편

[표 3] 시험편의 규격 및 치수

구분	구멍 형태	접합 형태	시험편 명칭	모재 구멍	덮개판 구멍	수량
1	표준	2면전단	M22-ST2	∅24	∅24	2
2	과대	2면전단	M22-OB4	∅26	∅24	2
3	과대	2면전단	M22-OB6	∅28	∅24	2
4	과대	2면전단	M22-OC4	∅24	∅26	2
5	과대	2면전단	M22-OC6	∅24	∅28	2
6	과대	2면전단	M22-OD4	∅26	∅26	2
7	과대	2면전단	M22-OD6	∅28	∅28	2
계						14

ST : 모재 및 덮개판의 표준공 제작

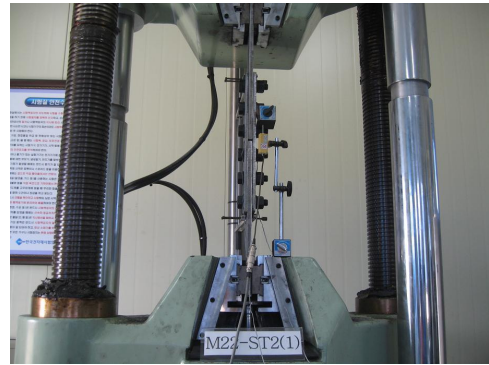
OB : 모재의 과대공 제작

OC : 덮개판의 과대공 제작

OD : 모재 및 덮개판의 과대공 제작

2,4,6 : 과대공 치수(볼트직경 + 2,4,6mm)

정적인장실험을 위하여 제작된 시험편은 순수굽힘실험에 사용된 시험편과 동일한 방법으로 조임을 실시하였으며 완성된 시험체의 편측에 변위계를 각각 설치한 후 5mm/min의 가력속도로 시험편이 극한상태에 도달할 때까지 하중을 가하여 작용하중 및 변위량을 측정하였다.



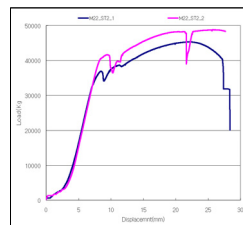
[그림 6] 인장실험 전경

3.2 실험결과

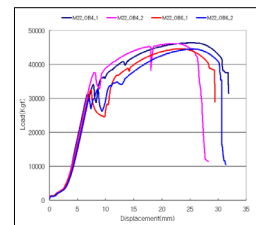
정적 인장실험에 의한 미끄럼하중은 굽힘실험과 동일하게 하중이 급격하게 감소하는 점에서의 하중을 취하였다. 표준시험편의 미끄럼하중은 369kN 및 416kN으로 각 계열에서 가장 크게 나타났으며 모재 6mm 과대공 시험편과 덮개판 4mm 과대공 시험편에서 306kN 및 316kN으로 미끄럼하중이 가장 작았으나 설계 미끄럼강도를 훨씬 상회하는 것으로 측정되었다.

[표 4] 설계미끄럼강도 및 미끄럼하중(kN)

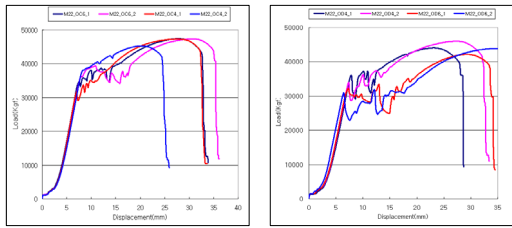
시험체명	설계 미끄럼 강도	미끄럼 하중	
		계열1	계열2
M22-ST2	282.35	369.2	<u>416.3</u>
M22-OB4	282.35	339.2	376.1
M22-OB6	282.35	325.5	<u>306.6</u>
M22-OC4	282.35	316.3	381.2
M22-OC6	282.35	347.7	362.3
M22-OD4	282.35	361.1	340.3
M22-OD6	282.35	322.1	309.2



(a) M22-ST



(b) M22-OB(4,6)



(c) M22-OC(4,6) (d) M22-OD(4,6)
 [그림 7] 정적인장실험에 의한 하중-변위선도

4. 실험결과 고찰

힘부재에서는 모재 및 덮개판에 대하여 6mm과대공으로 제작된 고장력볼트 체결부에서 표준공 미끄럼하중의 82%만으로 미끄럼이 발생하였으며 모재 6mm 과대공의 경우에는 94%, 모재 및 덮개판 4mm과대공에서 87%의 하중만으로 미끄럼이 발생하였다. 이는 과대공으로 제작된 고장력볼트 체결부에서는 표준공으로 제작된 고장력볼트 체결부의 경우보다 82~94% 작은 하중에서 볼트 및 모재의 강도발휘가 시작됨을 알 수 있었다.

인장부재의 경우에도 힘부재의 경우와 유사한 결과를 나타내었는데 모재 및 덮개판의 과대공치수가 클수록 미끄럼하중비가 작게 나타났으며 모재의 과대공치수가 덮개판의 경우보다 미끄럼하중변화와의 연관성이 많은 것으로 나타났다.

[표 5] 힘부재의 미끄럼하중비

시험편	미끄러짐 재하하중	하부플랜지 미끄럼하중	미끄럼 하중비
FM-ST	402.00	441.01	1
FM-OB6	377.99	414.67	0.940
FM-OD4	347.70	381.42	0.865
FM-OD6	330.95	363.06	0.823

[표 6] 인장부재의 미끄럼하중비

시험체	계열1		계열2	
	미끄럼 하중	미끄럼 하중비	미끄럼 하중	미끄럼 하중비
M22-ST2	369.2	1	416.3	1
M22-OB4	339.2	0.919	376.1	0.903
M22-OB6	325.5	0.882	306.6	0.736
M22-OC4	316.3	0.857	381.2	0.916
M22-OC6	347.7	0.942	362.3	0.870
M22-OD4	361.1	0.978	340.3	0.817
M22-OD6	322.1	0.872	309.2	0.743

5. 결론

본 연구에서는 모재 및 덮개판의 볼트구멍 크기를 변화시켜 제작된 고장력볼트 체결부에 굽힘 및 인장력이 작용하는 경우 표준공과 과대공에 따른 미끄럼하중을 측정하고 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 힘을 받는 고장력볼트 체결부에서 표준 볼트 구멍을 가지는 경우보다 과대 볼트구멍을 가지는 경우에 82~94% 작은 하중에서 볼트와 모재의 사용하중에 대한 저항이 시작되었다.
- 2) 인장을 받을때에는 표준 볼트구멍을 가지는 경우보다 과대 볼트구멍을 가지는 경우에 74~98%가 작은 하중에서 볼트 및 모재의 사용하중에 대한 저항이 시작되었다.
- 3) 인장력을 받는 부재에서는 모재 및 덮개판의 과대공치수가 클수록 미끄럼하중비가 작게 나타났으며 모재의 과대공치수가 덮개판의 경우보다 미끄럼하중변화와의 연관성이 많은 것으로 나타났다.
- 4) 힘을 받는 고장력볼트 체결부에서는 압축측에서 부재간 압착이 되어 고장력볼트 체결부가 가지는 최대미끄럼강도가 발휘되지 않을 수 있으므로 부재간 이격거리에 대한 연구가 수행되어야 한다고 판단된다.

참고문헌

- [1] 건설교통부, “도로교표준시방서”, pp.93~99, 2005.
- [2] 건설교통부, “도로교설계기준”, pp.66~68, 101~108, 2005.
- [3] 한국강구조학회, “강구조공학,” pp.191~202, 2002.
- [4] 한국강구조학회, “강구조의 설계,” pp.56~61, 2000.
- [5] 한중욱, 박영석, “F13T급 고장력볼트를 이용한 마찰연결부 피로강도에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회 논문집 제28권 5A호, pp. 623 ~ 629, 2008.
- [6] 한진희, 최종경, 허인성, 김성보, “압축력을 받는 고장력볼트 이음부의 미끄러짐 거동”, 한국강구조학회 논문집 제20권 2호, pp. 279~288, 2008.
- [7] 이승용, 경갑수 “고장력볼트 마찰이음의 합리적 설계 및 시공에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집 제26권 제3A호, pp. 513~521, 2006.

박 정 응(Jeong-Ung Park)

[정회원]



- 1992년 2월 : 조선대학교 조선공학과 (공학사)
- 1995년 4월 : 오사카대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 11월 : 오사카대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1998년 1월 : 삼성중공업 책임연구원

- 2001년 9월 ~ 현재: 조선대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>

토목구조, 용접강도, 피로, 용접잔류응력, 용접변형

양 승 현(Seung-Hun Yang)

[정회원]



- 1992년 2월 : 조선대학교 토목공학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 조선대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 조선대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 조선이공대학 겸임교수

<관심분야>

토목구조, 교량유지관리,

장 석 인(Seok-In Jang)

[정회원]



- 2008년 8월 : 조선대학교 토목공학과 (공학사)
- 2008년 9월 ~ 현재 : 조선대학교 토목공학과 석사과정

<관심분야>

토목구조, 강구조공학