

과대구멍과 슬롯구멍을 갖는 고력볼트 마찰이음부의 거동에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Behavior of High Strength Bolted Friction Joint with Oversized and Slotted Holes

김 용 환¹⁾ · 노 원 경²⁾ · 이 성 희³⁾ · 김 진 호⁴⁾ · 최 성 모⁵⁾†

Kim, Yong Hwan Roh, Won Kyoung Lee, Seong Hui Kim, Jin Ho Choi, Sung Mo

요 약 : 철골세우기를 할 때, 볼트의 가체결은 유용하게 이용될 수 있다. 그러나 만약 부재의 제작오차나 시공현장에서의 환경 등으로 인해 부재간 볼트 구멍이 일치하지 않는다면, 시공현장에는 이를 맞추기 위해 많은 노력과 수고를 피할 수 없을 것이며, 이는 시공기간이 길어지는 원인이 될 수 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 접합부재를 과대구멍 또는 슬롯구멍을 만드는 방법이 있고, 이는 이미 유럽과 미국에서 연구되어 설계방법까지 제시하고 있다. 그러나 국내 설계방법에는 과대구멍 및 슬롯구멍에 대해 언급되고 있지 않다. 한편 국내의 설계방법 및 건설환경은 유럽과 미국과는 다소 차이가 있다. 따라서 국내 실정에 적합한 과대구멍과 슬롯구멍에 대한 설계방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 실험을 통해 고력볼트 마찰접합부의 모재가 과대구멍 및 슬롯구멍에 대한 마찰계수를 결정하고 거동을 평가하였다.

ABSTRACT : When steel fabricators erect structural members in field, temporary tightening of fastener should be useful. However, if bolt holes are not aligned by production error or natural condition, additional effort and pain should be provided to align bolt holes. It lead to longer period than times of construction (a primarily day of construction) and more cost than originally cost. This problem will be overcome by oversize or slotted holes. Early, AISC and Eurocode have included provision for design process such oversize or slotted holes. But, domestic design method is not refered about oversize and slotted holes. Meanwhile, domestic design method and construction environment are variance with Europe and the United States of America. Therefore, a suitable design method for oversize and slotted holes in domestic real condition is needed. In this study, we evaluated behavior of the joints and decided the friction coefficient on oversize and slotted holes of friction joints with high strength bolts.

핵심용어 : 과대구멍, 슬롯 구멍, 고력볼트, 마찰접합부, 미끄럼계수

KEYWORD : oversize hole, slotted hole, high-strength bolt, friction-joint, friction coefficient

1. 서론

강구조물 접합에서 보편적으로 널리 사용되고 있는 고력볼트 구멍의 과대한 유격은 구조물의 거동에 좋지 못한 영향을 줄 수 있기에 제한되고 있다. 그래서 현재까지 국내 고력볼트 이음부에 관한 연구들은 주로 표준볼트 구멍지름을 갖는 이음부에 대해 진행되었다. 이러한 이음부의 구멍 유격($d \leq 20\text{mm}$

일 때 2mm, $d > 27\text{mm}$ 일 때 3mm)(한국강구조학회(2000))은 현장에서 철골세우기를 할 때 유용하게 이용되지만 종종 부재 간 볼트 구멍이 일치되지 않아 현장에서 직접 볼트 구멍을 넓혀야 하거나 불량한 구멍을 가공해야 하는 경우가 발생한다. 이 같은 경우 볼트 구멍을 가공하기 위해 많은 노력과 시간을 들여야 한다. 이는 시공기간과 시공비용을 증가시키는 원인이 되기도 한다. 따라서 여유 있는 볼트 구멍의 유격을 갖는 과대구멍과 슬롯구멍은 위의 문제를 해소시킬 수 있어

1) 양주시청 건축과 과장, 박사수료(yhwan@kg21.net)

2) (주)전우에이피엔 대리, 공학석사(billiard-2000@hanmail.net)

3) 서울시립대학교 건축공학과 연구원, 공학박사(ish@uos.ac.kr)

4) 포항산업과학연구원 강구조연구소, 수석연구원, 공학박사(jinho@rist.re.kr)

5) 교신저자, 서울시립대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(Tel. 02-2210-2396, Fax. 02-2248-0382, E-mail : smc@uos.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2009년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

시간과 노력 모두를 절약할 수 있다. 과대구멍은 모든 방향에 대하여 같은 클리어런스를 가질 수 있어 어떤 방향의 이음부에도 유용하며, 슬롯구멍은 특별한 방향에 대해 보다 많은 볼트구멍의 유격이 필요한 경우에 이용될 수 있다. 과대구멍 및 슬롯구멍을 설계에 적용할 경우, 현장에서 철골의 조립은 보다 쉽게 이루어질 것이다. 그러나 지금까지 국내 강구조계산서에는 이런 이음부에 과대구멍이나 슬롯구멍에 대한 조항이 없어 설계에 반영하고 있지 못하는 실정이다. 반면, 미국과 유럽에서는 과대구멍 및 슬롯구멍에 대한 연구들이 이미 진행되었고 설계에도 반영하고 있다.

미국(AISC)과 유럽(Eurocode 3)의 표준볼트 구멍의 크기는 구멍의 크기와 형상에 따라 standard, oversize, short-slotted, long-slotted로 구분하고 볼트의 직경에 따른 최대 구멍크기를 표 1, 2와 같이 정의 하고 있다. 또한 미끄럼강도 산정 시 표 3에 나타난 구멍의 종류에 따른 계수 (AISC2005 : h_{sc} , Eurocode 3 : k_s)를 사용하여 산출하고 있다.

표 1. 볼트 직경에 따른 최대 구멍크기-AISC2005

Bolt Diam	Hole Dimemsions			
	Standard (Diam)	Oversize (Diam)	Short Slot (Diam)	Long Slot (Diam)
$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{9}{16} \times \frac{11}{16}$	$\frac{9}{16} \times 1 \frac{1}{4}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{11}{16} \times \frac{7}{8}$	$\frac{11}{16} \times 1 \frac{9}{16}$
$\frac{3}{4}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{13}{16} \times 1$	$\frac{13}{16} \times 1 \frac{7}{8}$
$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{16}$	$1 \frac{1}{16}$	$\frac{15}{16} \times 1 \frac{1}{8}$	$\frac{15}{16} \times 2 \frac{3}{16}$
1	$1 \frac{1}{16}$	$1 \frac{1}{4}$	$1 \frac{1}{16} \times 1 \frac{5}{16}$	$1 \frac{1}{16} \times 2 \frac{1}{2}$
$\geq 1 \frac{1}{8}$	$d + \frac{1}{16}$	$d + \frac{5}{16}$	$(d + \frac{1}{16}) \times (d + \frac{3}{8})$	$(d + \frac{1}{16}) \times (2.5 \times d)$

d : 공칭볼트지름

표 2. 볼트 직경에 따른 최대 구멍크기-Eurocode(1992)

Bolt Diam	Hole Dimemsions			
	Standard (mm)	Oversize (mm)	Short Slot (mm)	Long Slot (mm)
M12	1	3	$(d+1) \times (d+4)$	$(d+1) \times 2.5d$
M14	1	3	$(d+1) \times (d+4)$	$(d+1) \times 2.5d$
M16	2	3	$(d+2) \times (d+6)$	$(d+2) \times 2.5d$
M22	2	3	$(d+2) \times (d+6)$	$(d+2) \times 2.5d$
M24	2	6	$(d+2) \times (d+8)$	$(d+2) \times 2.5d$
M27이상	3	8	$(d+3) \times (d+10)$	$(d+3) \times 2.5d$

d : 공칭볼트지름

표 3. 볼트 구멍의 종류에 따른 계수-AISC2005, Eurocode 3(1992)

h_{sc}	볼트구멍의 종류
1.0	standard size holes
0.85	oversized and short-slotted holes
0.70	long-slotted holes

이와 같이 국내에서도 고장력 볼트를 이용한 보다 융통성 있는 설계와 편리한 시공을 위해 과대구멍 및 슬롯 구멍에 대한 규정이 필요한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 표준 볼트 구멍, 과대구멍, 슬롯구멍을 변수로 총 18개의 마찰접합 실험체를 제작하여 구조실험을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험체 계획

실험체는 일본건축학회(1993)에서 정하는 마찰이음부 표준 실험편으로 하였으며 실험체의 항복내력이 미끄럼계수에 영향을 주지않도록 식 1과 같이 모재의 항복내력(P_y)이 미끄럼하중(미끄럼계수 0.6으로 가정) 이상이 되도록 설계하였다.

$$P_y > n \times P_{slip} \tag{1}$$

P_y : 모재의 항복내력

n : 볼트의 개수

P_{slip} : 볼트 1개의 미끄럼 내력

실험체의 형상은 그림 1과 같이 2개의 모재와 2개의 이음판으로 총 4개의 덧판(Splice)이 1조를 이루며, 2면 전단이 되도록 제작하였다. 사용된 강재는 모두 SM570이며, 볼트는 F10 M20을 사용하였다.

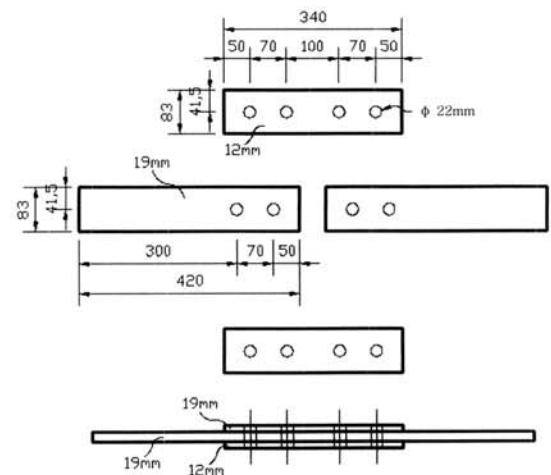
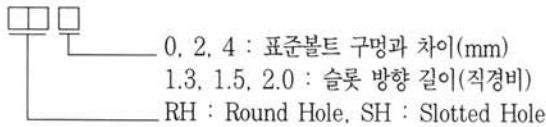


그림 1. 실험체 형상 및 크기

실험체의 변수는 크게 표준볼트 구멍, 표준 볼트 구멍보다 각각 2mm, 4mm 큰 과대구멍 그리고, 응력의 전달 방향으로 1.3d, 1.5d, 2.0d 슬롯구멍이며, 슬롯구멍의 응력 전달 직각 방향 구멍의 크기는 표준볼트 구멍으로 계획하였다. 또, 김진호(2003)에서 동일한 마찰면 처리를 가진 경우에도 미끄럼계수의 편차가 다소 나타나는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 실험에서는 모든 실험체의 면 처리는 상대적으로 편차가 적은 쇼트블라스크 처리하였다. 실험체는 동일 실험체를 3개씩 제작하였고 이들 목록을 표 4에 정리하였다.

표 4. 실험체 일람표

실험체명	Hole(변수)		Surface	Bolt	Number of Joint
	Shape	Size			
RH0	Round	d+2mm	Shot Blast	F10 M20	3
RH2	Round	d+4mm			3
RH4	Round	d+6mm			3
SH1.3	Slot	1.3d			3
SH1.5	Slot	1.5d			3
SH2.0	Slot	2.0d			3



* d : 볼트의 공칭지름 (20mm)

2.2 재료시험

본 실험에 사용된 강재의 기계적 성질을 알아보기 위하여 KS B 0802 규준에 따라 두께별로 채시험편을 3개씩 취하여 인장 시험을 하였고, 고력볼트는 KS B 1010 규정에 따라 제품시험을 하였으며 각 시험결과를 표 5, 6, 7, 8에 정리하였다.

표 5. 모재 및 이음판의 기계적 성질

	강종	판 두께 (mm)	항복 강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
이음판	SM570	12	527	635
모재		19	522	624

표 6. 볼트 소재인장시험

	Fy(MPa)	Fu(MPa)	Fy/Fu(%)	Elo(%)	단면수축률 (%)
1	1,000	1,076	0.93	19.4	68.0
2	1,007	1,070	0.94	16.9	65.8
3	1,015	1,078	0.94	16.9	67.6

표 7. 볼트 제품인장시험

	Fy(MPa)	Fu(MPa)	Fy/Fu(%)	Elo(%)
1	1,020	1,091	0.94	9.9
2	995	1,084	0.92	10.4
3	1,011	1,094	0.92	10.0

표 8. 볼트 썬기인장시험

	Fy(MPa)	Fu(MPa)	Fy/Fu(%)	Elo(%)
1	962	1,082	0.89	7.7
2	958	1,078	0.89	8.6
3	917	1,087	0.84	7.4

2.3 실험방법 및 측정계획

실험은 3,000kN급 U.T.M을 사용하여 단순인장 가력하였다. 볼트 체결방법은 시험체의 양단부를 가력기의 지그로 고정된 상태에서 수동 토크렌치를 사용하여 토크관리법에 의해 볼트를 체결하였다.

하중이 증가하는 동안 모재와 이음판 사이 발생하는 변위를 측정하기 위해 그림 2에서 처럼 실험체 좌측상부와 우측하부에 변위계를 설치하였다. 또한 하중 증가에 따른 볼트의 초기 도입축력의 변화를 살펴보기 위하여 같은 형태 가진 실험체 3개중 하나의 실험체에만 볼트 축부에 변형률 게이지를 2개씩 부착하였다.

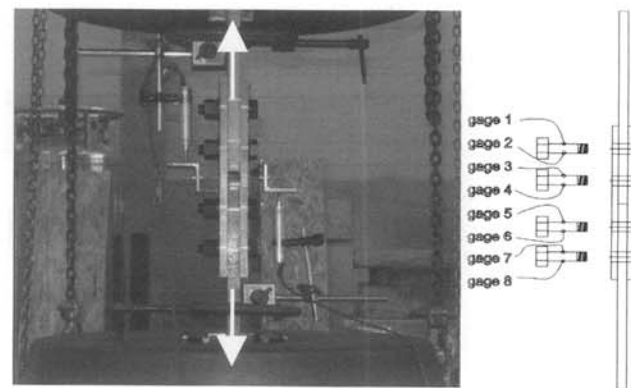


그림 2. 실험체 설치 및 변위계 설치

가력속도는 최초 미끄러짐(Major slip)이 발생 하기전 까지의 초기구간에는 0.01mm/s로 가력 하였고, 최초 미끄러짐이 발생한 이후에는 0.03mm/s로 변위 제어로 가력 하였다. 실험은 모재와 덧판 사이에 미끄러움이 발생하고, 최대내력 발휘 이후 최대내력 약 70%정도의 내력을 보일 때 실험을 종료하였다.

3. 실험결과

실험체의 형상이 상하대칭으로 이루어져 있어서 실험체별 2개의 하중-변위 관계를 얻었다. 또 실험체 타입별 하중변화에 따른 볼트의 축력의 변화를 미리 부착한 변형률 게이지를 통하여 볼 수 있었다.

미끄럼하중은 하중-변위에서 최초 미끄러짐이 발생하였을 때를 말하며, 미끄럼계수(μ)는 미끄럼하중을 P_{slip} 으로 하고, 볼트의 초기 도입축력을 N_i 로 하여 식 1과 같이 산출하였다.

$$\mu = \frac{P_{slip}}{n \cdot N_i} \quad (2)$$

또한, 접합면에서 명확한 미끄럼을 보이지 않는 실험체의 경우에 미끄럼하중은 AISC(2001)에서 정하는 접합면의 상대변위가 0.02inch(≒ 0.5mm) 발생하였을 때 하중을 미끄럼하중으로 간주하여 미끄럼계수를 산정하였다.

하중-축력 관계는 초기도입 장력(N_i)으로 하중별 장력(N)을 나누어 초기도입 장력에 대한 하중별 장력의 비로 나타내었다.

3.1 볼트 구멍 종류별 미끄럼하중 및 계수

위에 설명된 방법으로 산출한 각 실험체의 미끄럼하중, 미끄럼계수 등을 표 9에 정리하였다. 여기서 각 실험체마다 2개의 하중-변위 관계가 얻어지므로 표 9의 평균값은 3개의 실험체에 대한 총 6개의 데이터를 평균한 값이다.

RH0 실험체의 평균 미끄럼하중은 486kN 이며 미끄럼 계수는 0.68이었다. 과대 구멍 및 슬롯 구멍을 갖는 실험체도 유사한 값을 보였으며 오히려 큰 값을 갖는 실험체도 있었다. 이러한 이유는 마찰이음부의 다양한 변수들에 의해 생기는 결과라 사료된다.

3.2 하중-변위 관계

볼트 구멍 종류별 대표적인 하중-변위 관계를 그림 3~8에 나타내었다. 가력이후 미끄럼하중 이전까지는 큰 강성을 나타냈으며 미끄럼하중에 도달 하였을 때 "퐁"하는 소리와 함께 하중이 급격히 떨어졌다. 이후 미끄럼하중보다 작은 하중에서 여러 번 미끄럼 현상이 나타났다. 이런 현상은 실험체 별로 횡수는 달랐으나 모든 실험체에서 나타났으며 볼트가 지압상태가 되기까지 계속 일어났다. 그림 4, 5, 6에서 미끄럼하중 이후 지압상태에서 하중이 급격히 떨어졌다가 올라간 곳은 실험체가 상하 대칭으로 이루어져 있어 반대편 쪽이 미끄럼 하중에 도달하였을 때 나타나는 현상이다.

표 9. 실험체의 마찰계수와 내력

실험체명	$\mu 1$	$\mu 2$	P_{slip}^1 (kN)	P_{slip}^2 (kN)
RH0-1	0.68	0.61	486	433
RH0-2	0.69	0.69	494	494
RH0-3	0.75	0.66	537	470
평균	0.68		486	
RH2-1	0.75	0.75	536	536
RH2-2	0.68	0.67	485	477
RH2-3	0.71	0.75	508	538
평균	0.72		514	
RH4-1	0.67	0.67	476	476
RH4-2	0.69	0.69	490	493
RH4-3	0.66	0.70	473	498
평균	0.68		484	
SH1.3-1	0.80	0.71	573	504
SH1.3-2	0.70	0.72	498	516
SH1.3-3	0.73	0.81	517	579
평균	0.75		531	
SH1.5-1	0.69	0.69	491	490
SH1.5-2	0.72	0.82	512	583
SH1.5-3	0.74	0.74	528	528
평균	0.73		522	
SH2.0-1	0.66	0.59	468	418
SH2.0-2	0.64	0.64	457	457
SH2.0-3	0.72	0.75	511	536
평균	0.67		474	

최대 하중은 모재가 최대내력에 도달하였을 때 나타났으며, 미끄럼하중 이후에 지압상태로 되기 이전에 볼트구멍의 크기에 따른 변위만을 제외하면 모두 유사한 거동을 보였다.

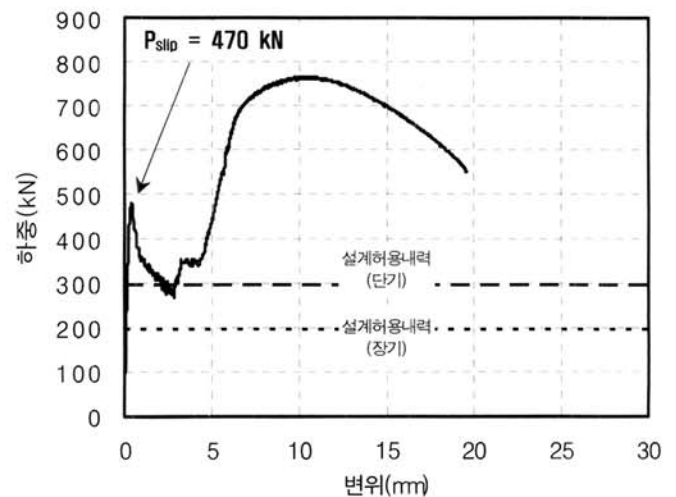


그림 3. RH0-3(하부)

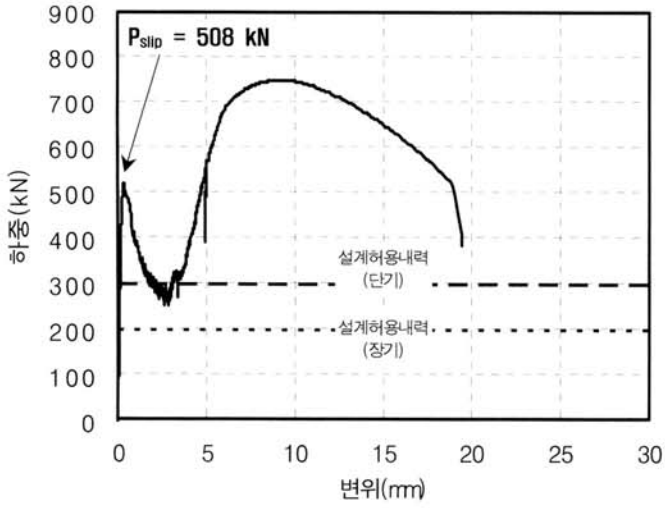


그림 4. RH2-3(상부)

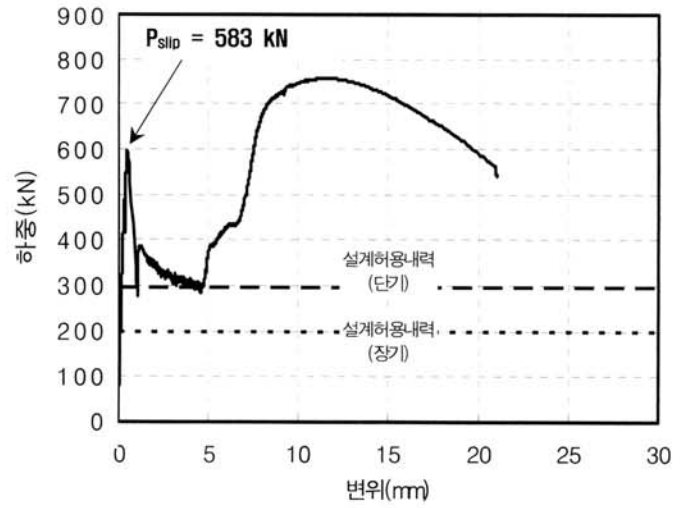


그림 7. SH1.5-2(하부)

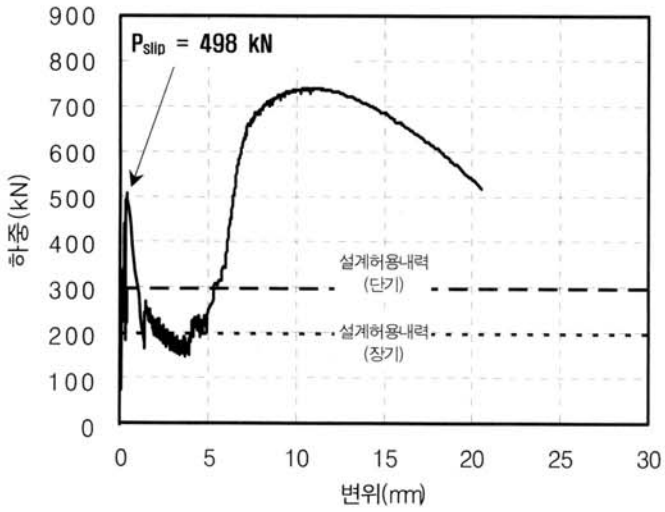


그림 5. RH4-3(하부)

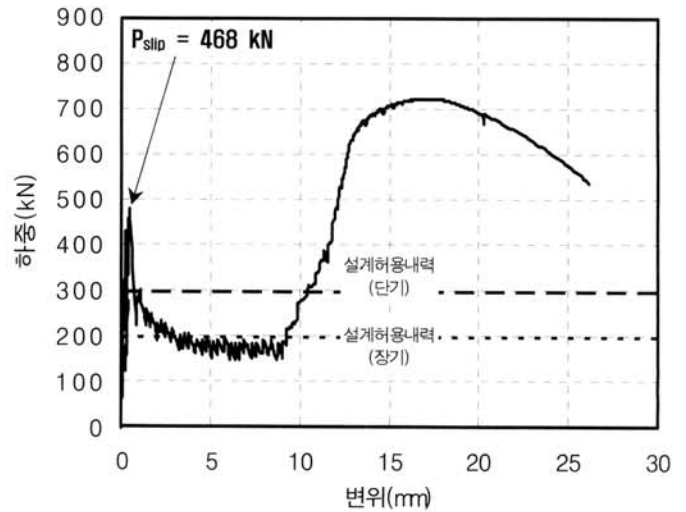


그림 8. SH2.0-1(상부)

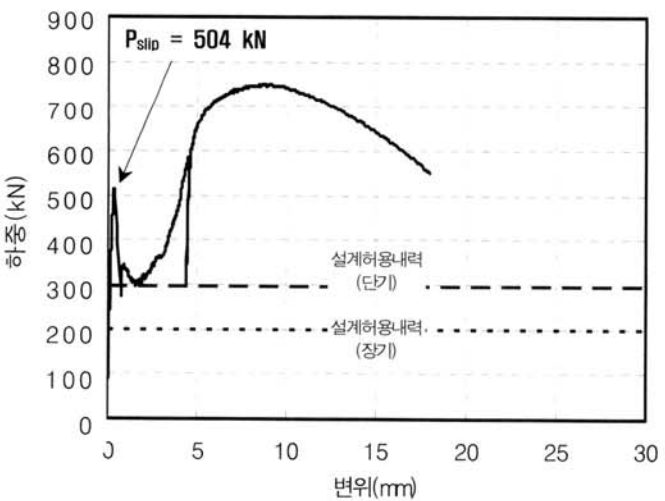


그림 6. SH1.3-1(하부)

3.3 하중-축력의 변화를 관계

볼트 구멍의 종류별 한개의 실험체에 대한 미끄럼하중 까지의 볼트 축력의 변화율을 그림 9~14에 나타내었고, 미끄럼하중의 감소율은 표 10과 같다. RH0 실험체는 10%로 축력의 감소가 가장 작았으며, RH2 실험체는 17%로 가장 많은 축력의 감소를 나타내었다. 그러나 앞서 본 것처럼 미끄럼하중에 대한 감소는 보이지 않았다. 축력의 감소가 이처럼 상이하게 난 것은 변형률 게이지의 부착의 오차와 방향의 영향이 있었으리라 사료된다. 축력의 변화를 전체적으로 볼 때 과대구멍과 슬롯 구멍의 영향은 크지 않다고 판단된다.

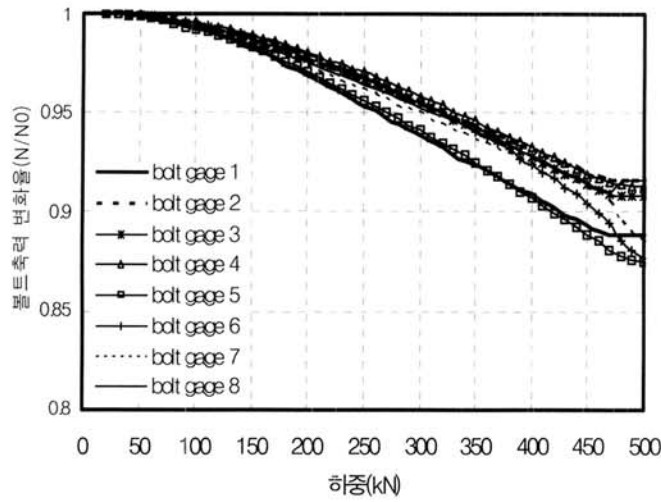


그림 9. RHO 축력변화를

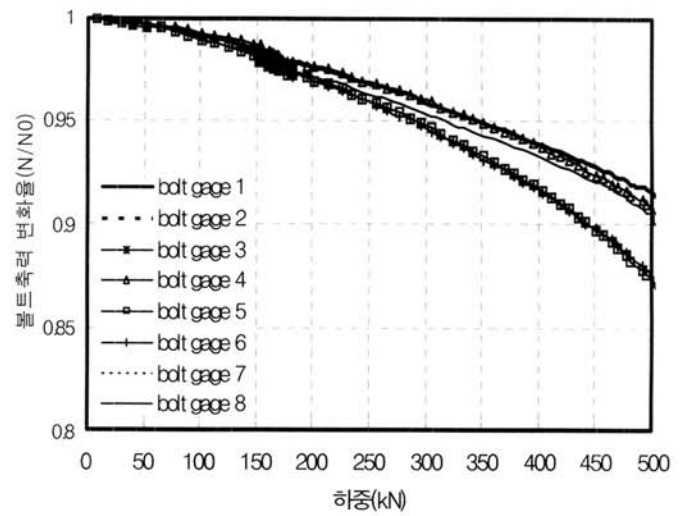


그림 12. SH1.3 축력변화를

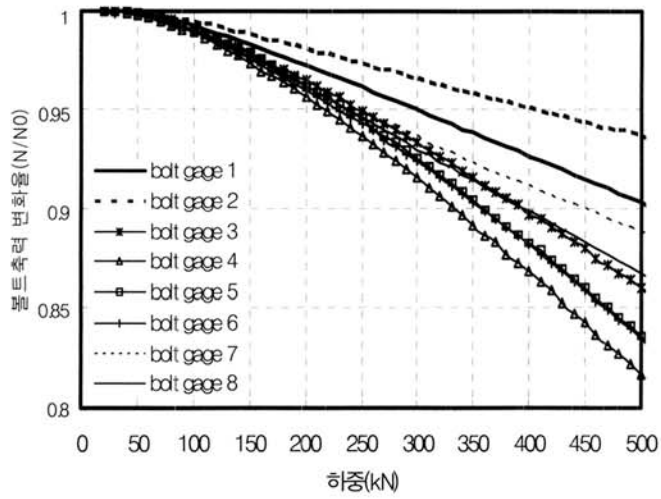


그림 10. RH2 축력변화를

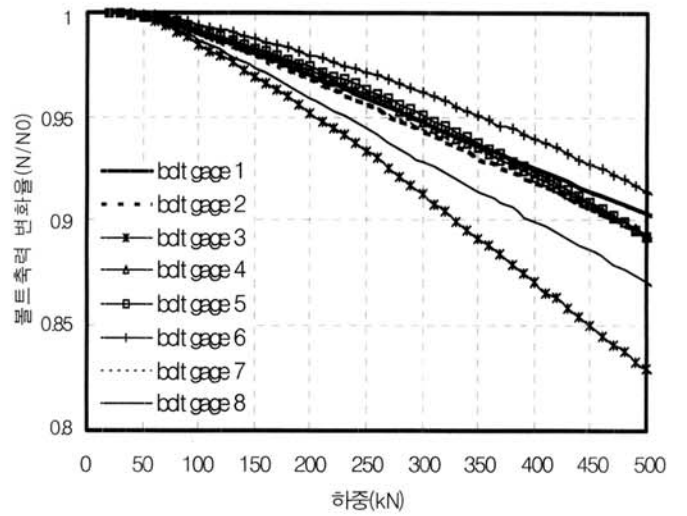


그림 13. SH1.5 축력변화를

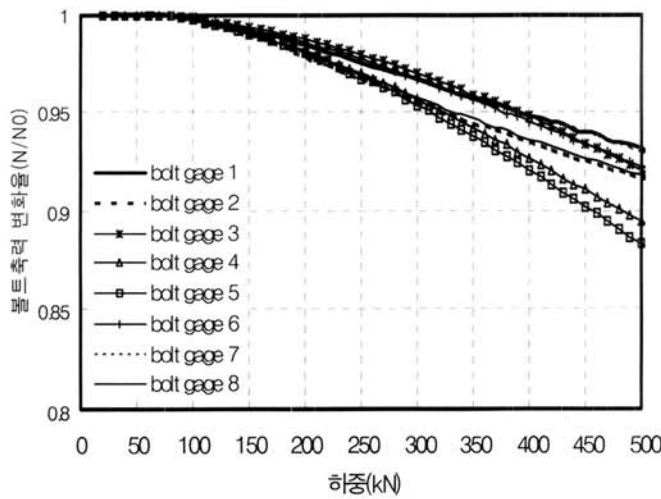


그림 11. RH4 축력변화를

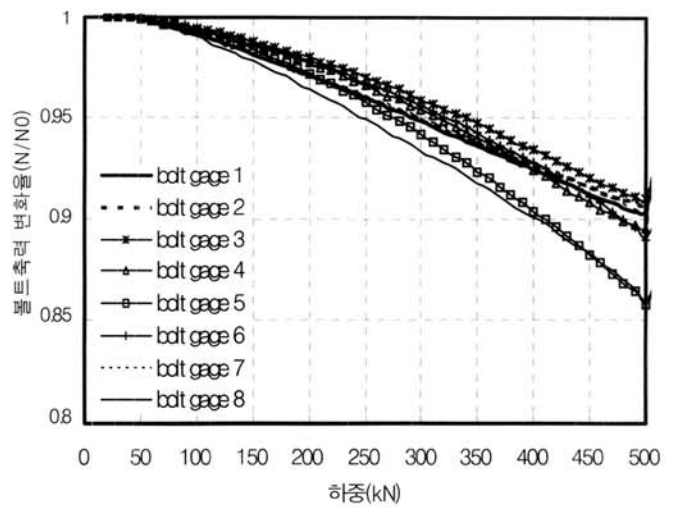


그림 14. SH2.0 축력변화를

표 10. 축력 변화율

실험체명	N_i (kN)	축력 변화율(%)	실험체명	N_i (kN)	축력 변화율(%)
RH0-1	178	10	SH1.3-1	178	12
RH2-1		17	SH1.5-1		14
RH4-1		11	SH2.0-1		12

4. 분석 및 고찰

4.1 미끄럼계수

각 실험체의 미끄럼계수와 볼트구멍의 종류에 따른 미끄럼 계수의 평균값을 그림 15에 나타내었다. 구멍의 종류에 따른 미끄럼계수의 큰 차이는 보이지 않았다. 특히 표준 볼트구멍을 갖는 RH0 실험체와 비교하여 과대구멍(d+4mm, d+6mm) 및 슬롯구멍(1.3d, 1.5d, 2.0d)을 갖는 실험체에서 높은 미끄럼계수가 나타났으며 이는 볼트 아래의 줄어든 단면적이 미끄럼계수에 큰 영향을 미치지 않았기 때문에 나타난 것으로 판단된다.

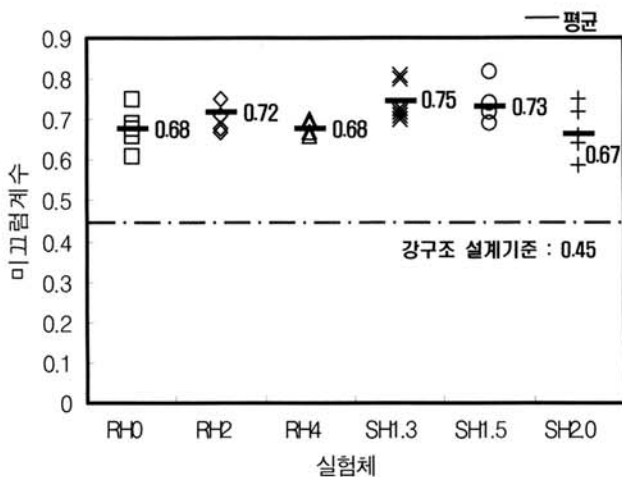


그림 15. 각 실험체 별 미끄럼계수

4.2 실험값과 설계내력의 비교

각 실험체의 미끄럼하중과 볼트구멍의 종류별 평균값을 그림 16에 나타내었다. 그림에서 국내설계내력은 한계상태설계의 사용한계상태의 내력, AISC2005는 LRFD의 작용하중 단계의 내력 그리고 Eurocode 3(1992)의 내력은 중국한계상태의 내력이다. 그림에 나타난 것처럼 AISC와 Eurocode 3은 서로 다른 설계식을 사용하고 있으나 결과적으로 같은 내력을 나타낸다. 모든 실험값들이 규준을 충분히 만족시킴을 볼 수 있다.

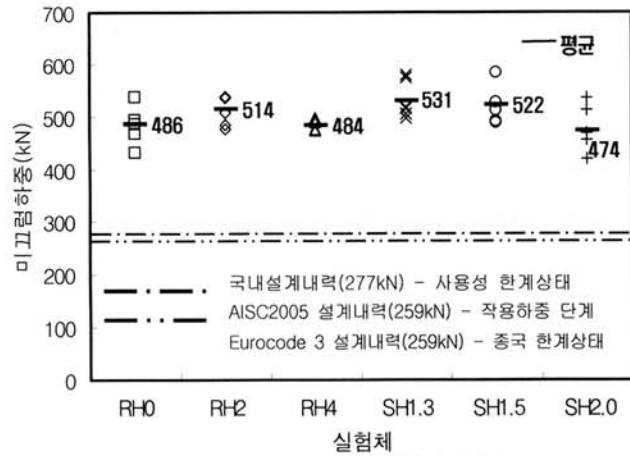


그림 16. 표준볼트 구멍의 내력과 실험값

다음은 AISC2005와 Eurocode 3에서 정하는 과대구멍 및 슬롯구멍에 대한 설계값과 실험값을 비교하여 그림 17에 나타내었다.

그림 17에서 과대구멍, 슬롯구멍의 실험값은 AISC2005와 Eurocode 3에서 정하는 실험체의 미끄럼내력을 모두 만족시키며, 실험값이 매우 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 현상의 원인은 본 실험에서 채택한 쇼트블라스트 면 처리는 조도에 따라 높은 미끄럼계수가 나타난다는 점과, AISC2005의 규준에 대한 검증실험인 Geoffry(1987), Allan(1968)등에서 주로 너트회전법이 이용되었기 때문으로 판단된다.

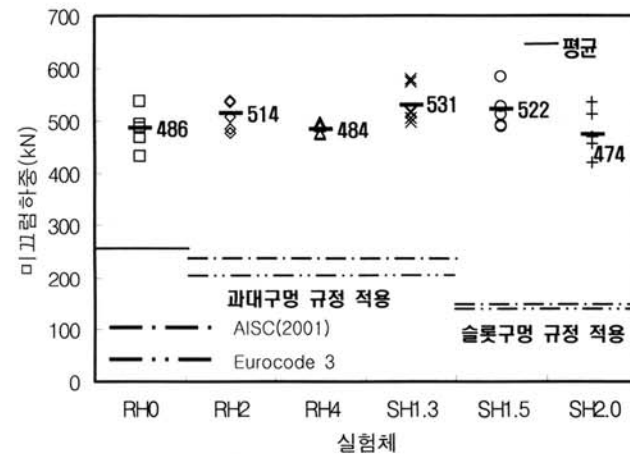


그림 17. 과대구멍 및 슬롯구멍의 감소계수를 적용한 AISC2005와 Eurocode 3의 설계내력과 실험값

일찍이 1960년대 과대구멍 및 슬롯구멍에 관한 연구에서 너트회전법에 의한 실험이 이루어 졌고 이런 실험의 결과가 설계규준의 바탕이 되었기 때문이다. 실험의 결과에서 과대구멍 슬롯구멍이 있을 경우 너트회전법은 구멍의 종류에 따라 볼트의 도입축력을 10~30%까지 감소시키는 것으로 나타났다.

그러나 본 실험에는 토크관리법에 의해 볼트를 체결하였기 때문에 도입축력의 감소는 없었다고 볼 수 있다. 따라서 비록 과대구멍 및 슬롯구멍이 있었지만 미끄럼내력을 결정하는 미끄럼계수와 도입축력이 표준볼트구멍과 차이가 없었기에 위의 실험결과는 기대될 수 있는 결과라 하겠다. 다만 이는 SM570, 모재의 두께(19mm), 이음판 두께(12mm) 등에 제한된 실험이며 실험결과를 바로 모든 이음부에 확대 적용하기에는 여러 가지 검토가 필요하다고 판단된다.

4.3 최대내력

실험체의 최대내력은 그림 18과 같이 RH0에서 가장 큰 내력을 나타냈고 RH2, RH4순으로 최대내력이 감소하였다. 이는 모재의 결단단면을 포함하는 유효단면에서 최대내력이 결정되었기 때문으로 판단된다. 한편 유효단면의 변화가 없는 SH2.0에서 최대내력의 감소가 나타났으며 이는 슬롯구멍의 영향으로 판단되지만 마찰이음부의 내력을 결정하는데 영향을 주지는 않은 것으로 판단된다.

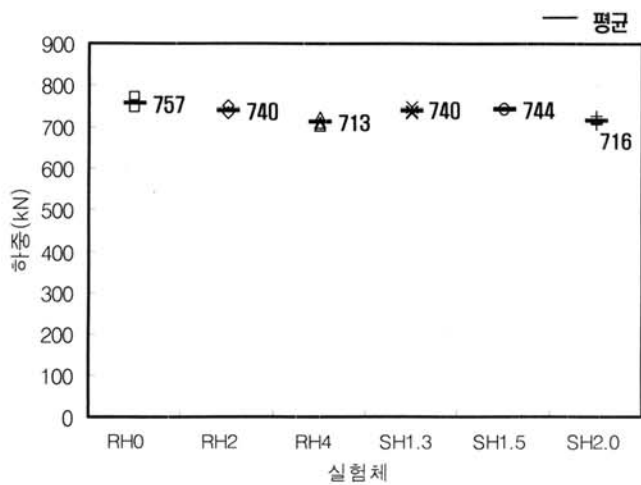


그림 18. 실험체 별 최대 하중

5. 결론

SM570 강재와 F10T M20 고력볼트를 사용하여 토크관리법에 의해 체결된 과대구멍 또는 슬롯구멍 마찰이음부의 거동 및 특성에 관한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 표준 볼트구멍을 갖는 RH0 실험체와 비교하여 과대구멍(d+4mm, d+6mm) 및 슬롯구멍(1.3d, 1.5d, 2.0d)을 갖는 실험체에서 높은 미끄럼계수가 나타났으며 이는 볼트 아래의 줄어드는 단면적이 미끄럼계수에

큰 영향을 미치지 않았기 때문에 나타난 것으로 판단된다.

- (2) 과대구멍, 슬롯구멍을 갖는 실험체의 내력은 AISC 2005와 Eurocode 3에서 정하는 실험체의 미끄럼내력에 비해 매우 높게 나타났다. 이러한 현상은 본 실험에서 채택한 쇼트블라스트 면 처리로 조도에 따라 높은 미끄럼계수가 나타날 수 있기 때문이며, 또한 실험체의 볼트가 토크관리법으로 체결된 반면 설계식은 너트회전법을 기준으로 제정되어 조임 후 풀림현상이 반영되었기 때문으로 판단된다.
- (3) 실험체의 최대내력은 유효단면의 내력이 결정하였다. 한편 유효단면의 변화가 없는 SH2.0에서 최대내력의 감소가 나타났으며 이는 슬롯구멍의 영향으로 판단되지만 마찰이음부의 내력을 결정하는데 영향을 주지는 않은 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R0A-2007-000-10047-0)

참고 문헌

- 노원경, 김진호, 최성모(2004), 과대구멍 또는 슬롯구멍을 갖는 고력볼트 마찰이음부의 거동에 관한 실험적 연구, 2004 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, p.138-144.
- 김진호, 우해성, 최성모(2003), 고력볼트 마찰접합부의 설계기준 및 내력에 대한 연구, 대한건축학회 구조계, 19권 제 1호.
- 한국강구조학회(2000), 강구조의 설계, 구미서관.
- 日本建築學會(1993), 高力ボルト接合設計施工指針.
- Geoffry L. Kulak 외 2(1987), Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, JOHN WILEY & SONS.
- AISC(2001), Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts.
- AISC2005, Sepcification for Structural Steel Buildings British Standards Institution(1992) : Eurocode 3 Design of Steel Structures.
- Allan, R. N., Fisher, J. W.(1968), Bolted Joints with Oversize or Slotted Holes, Jouranal of the Structural Division, ASCE, Vol94 ST9, p.6113.
- (접수일자 : 2008. 7. 7 / 심사일 2008. 7. 25 / 게재확정일 2008. 12. 10)