



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2009年 8月  
碩士學位論文

고장력 볼트구멍의 크기와 과대  
볼트 구멍의 위치가 마찰이음부  
인장 내하력에 미치는 영향

朝鮮大學校 大學院

土木工學科

趙 康 均

고장력 볼트구멍의 크기와 과대  
볼트 구멍의 위치가 마찰이음부  
인장 내하력에 미치는 영향

Effect on Load Carrying Capacity following the  
size do the High Tension Bolt and the  
location of the Over Bolt Hole.

2009年 6月 1日

朝鮮大學校大學院

土木工學科

趙康均

고장력 볼트구멍의 크기와 과대  
볼트 구멍의 위치가 마찰이음부  
인장 내하력에 미치는 영향

指導教授 朴 正 雄

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함

2009年 6月

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

土 木 工 學 科

趙 康 均

趙康均의 碩士學位論文을 認准함.

委員長 朝鮮大學校 教授\_\_\_\_\_ (印)

委 員 朝鮮大學校 教授\_\_\_\_\_ (印)

委 員 朝鮮大學校 教授\_\_\_\_\_ (印)

2009年 6月

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

## 목 차

### ABSTRACT

제 1 장 서론.....	1
1.1 연구배경 및 목적.....	1
1.2 기존 연구 동향.....	2
1.3 연구범위 및 방법.....	3
제 2 장 고장력볼트 이음부의 설계기준.....	5
2.1 과대공에 관한 규정.....	5
2.2 고장력볼트 마찰이음의 역학적 거동.....	7
가. 고장력볼트의 마찰이음과 마찰법칙.....	7
나. 고장력볼트 마찰이음.....	7
2.3. 미끄럼계수.....	9
가. 접촉면의 상태에 따른 미끄럼계수.....	9
나. 마찰면의 처리방법 및 유의사항.....	11
다. 마찰면의 상태와 미끄럼계수.....	12
2.4 고장력볼트.....	12
가. 고장력볼트의 등급과 접합방법의 종류.....	12
나. 볼트의 기계적 성질.....	14
다. 고장력볼트(High Tension Bolt)의 규격 및 치수.....	16
2.5 고장력볼트의 허용력.....	18
가. 마찰연결.....	18
나. 지압연결.....	21
다. 인장연결.....	22
제 3 장 고장력볼트 인장실험.....	23
3.1 설계기준 및 강재 물성치.....	23
3.2 설계식.....	25
가. 설계미끄럼강도.....	25
나. 설계파단강도.....	26

다. 설계미끄럼계수.....	27
3.3 시험편 치수 및 일람표.....	28
가. M22 고장력볼트 시험편.....	28
나. M22 고장력볼트 시험편.....	29
다. M24 고장력볼트 시험편.....	30
라. M24 고장력볼트 시험편.....	31
3.4 시험준비.....	32
3.5 인장실험에 대한 고찰.....	35
가. M22 고장력볼트 인장실험.....	35
나. M24 고장력볼트 인장실험 .....	47
다. M22와 M24 고장력볼트 인장실험 비교.....	58
제 4 장 결론.....	63

## 그 림 목 차

그림 2.1	마찰이음부에 인장하중이 작용할 때의 힘과 변위의 양상.....	8
그림 2.2	고장력볼트 구성(볼트 1개, 너트 1개, 와셔 2개).....	13
그림 2.3	고장력볼트 접합방법의 종류.....	14
그림 2.4	H/T볼트의 규격과 치수.....	16
그림 2.5	너트의 규격 및 치수.....	17
그림 2.6	와셔의 규격 및 치수.....	17
그림 3.1	M22 고장력볼트 시험편.....	28
그림 3.2	M24 고장력볼트 시험편.....	30
그림 3.3	시험편 조립과정.....	33
그림 3.4	인장실험 모습.....	34
그림 3.5	M22_ST2_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	37
그림 3.6	M22_ST2_1 시험편 인장실험 후 파괴 모습.....	37
그림 3.7	M22_0B4_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	38
그림 3.8	M22_0B4_1 시험편 인장실험 후 파괴모습.....	38
그림 3.9	M22_0B6_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	39
그림 3.10	M22_0B6_1 시험편 인장실험 후 파괴모습.....	39
그림 3.11	M22_0C4_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	40
그림 3.12	M22_0C4_1 시험편 인장실험 후 파괴모습.....	40
그림 3.13	M22_0C6_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	41
그림 3.14	M22_0C6_1 시험편 인장실험 후 파괴 모습.....	41
그림 3.15	M22_0D4_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	42
그림 3.16	M22_0D4_1 시험편 인장실험 후 파괴모습.....	42
그림 3.17	M22_0D6_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	43
그림 3.18	M22_0D6_1 시험편 인장실험 후 파괴모습.....	43
그림 3.19	M22 고장력볼트 시험편의 미끄럼강도와 최대하중 비교.....	44
그림 3.20	M22 고장력볼트 시험편의 미끄럼강도에 의한 신장량.....	44
그림 3.21	M22 미끄럼계수.....	45
그림 3.22	시험편 하중-변위곡선.....	45
그림 3.23	M24_ST2_1 시험편 하중-변위곡선 .....	48

그림 3.24 M24_ST2_1 시험편 인장실험 후 파괴모습.....	48
그림 3.25 M24_0B4_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	49
그림 3.26 M24_0B4_1 시험편 인장실험 후 모습 .....	49
그림 3.27 M24_0B6_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	50
그림 3.28 M24_0B6_1 시험편 인장실험 후 모습.....	50
그림 3.29 M24_0C4_1,2 시험편 하중-변위곡선 .....	51
그림 3.30 M24_0C4_1 시험편 인장실험 후 모습.....	51
그림 3.31 M24_0C6_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	52
그림 3.32 M24_0C6_1 시험편 인장실험 후 모습.....	52
그림 3.33 M24_0D4_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	53
그림 3.34 M24_0D4_1 시험편 인장실험 후 모습.....	53
그림 3.35 M24_0D6_1,2 시험편 하중-변위곡선.....	54
그림 3.36 M24_0D6_2 시험편 인장실험 후 파괴모습.....	54
그림 3.37 M24 고장력볼트 시험편의 미끄럼강도와 최대하중 비교.....	55
그림 3.38 M24 고장력볼트 시험편의 미끄럼강도에 의한 신장량.....	55
그림 3.39 M24 미끄럼계수.....	56
그림 3.40 M22 & M24_ST2_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교 .....	59
그림 3.41 M22 & M24_0B4_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교 .....	59
그림 3.42 M22 & M24_0B6_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교 .....	60
그림 3.43 M22 & M24_0C4_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교 .....	60
그림 3.44 M22 & M24_0C6_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교 .....	61
그림 3.45 M22 & M24_0C6_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교 .....	61
그림 3.46 M22 & M24_0D6_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교 .....	62

## 표 목 차

표 2.1 국가별 설계기준상 고장력볼트 구멍 규정.....	6
표 2.2 국가별 설계기준상의 미끄럼계수 비교.....	10
표 2.3 무기징크리치 페인트의 도장조건.....	11
표 2.4 마찰면의 상태와 미끄럼계수.....	11
표 2.5 고장력볼트의 종류와 등급.....	13
표 2.6 고장력볼트의 기계적 성질.....	15
표 2.7 제품의 기계적 성질.....	15
표 2.8 너트의 기계적 성질.....	15
표 2.9 와셔의 기계적 성질.....	16
표 2.10 마찰이음용 고장력볼트의 한 개당 1마찰면에 대한 허용력.....	20
표 2.11 지압이음용 고장력볼트 허용전단응력.....	21
표 2.12 지압이음용 고장력볼트의 허용지압력.....	22
표 3.1 볼트의 최소 및 최대간격.....	23
표 3.2 최소 및 최대 연단 거리.....	23
표 3.3 강재의 재료정수.....	24
표 3.4 강재의 화학성분.....	24
표 3.5 강재의 기계적 성질.....	24
표 3.6 M22 고장력볼트 시험편 일람표.....	29
표 3.7 M24 고장력볼트 시험편 일람표.....	31
표 3.8 M22 고장력볼트 인장실험 결과값.....	46
표 3.9 M24 고장력볼트 인장실험 결과값.....	57

## 식 목 차

식 2.1 마찰력.....	7
식 2.2 설계볼트축력.....	18
식 2.3 체결토크.....	19
식 2.4 마찰연결의 내하력.....	19
식 2.5 마찰연결의 내하력.....	20
식 2.6a 1면전단의 허용전단력.....	21
식 2.6b 2면전단의 허용전단력.....	21
식 2.7 허용지압력.....	21
식 3.1a M22 설계 미끄럼강도.....	25
식 3.1b M24 설계 미끄럼강도.....	25
식 3.2a M22 설계 파단강도.....	26
식 3.2b M24 설계 파단강도.....	26
식 3.3a M22 설계 미끄럼계수.....	27
식 3.3b M24 설계 미끄럼계수.....	27

## ABSTRACT

Effect on Load Carrying Capacity following the size do  
the High Tension Bolt and the location of the  
Over Bolt Hole.

CHO KANG KYUN

Advisor : Prof. PARK JEONG UNG Ph.D

Department of Civil Engineering

Graduate School of Chosun University

Recently, There is the current of trend along with the progress of industrialization and a bigger, wider social overhead capital structure than before and the importance of a way to unite stress structure is growing. Uniting part of stress structure is a structure factor about design and construction overall having effect on the design of structure, a field construction and a factory processing of plate, safety of structure, being economical about the cost of construction. In these things, The High Tension Bolt is the best method to unite frictions.

However, Even if the product was completely made by the strict management, an over hole precedent more than it's own size occurs by a change according to the temperature, an execution error of a precedence construction progress, a poor execution. Moreover, there is no policy about an over hole in korea, and It is quite insufficient to study relatively than an advanced nation.

This studied Load carrying capacity according to bolt hole size and hole's location is investigated using tensile testing. An existing research only was carried on size of oversize hole of base plate. This research is carried on location of overhole, base plate, cover plate and both plate and hole size(standard, overhole). To investigate the resistance ability of the over

hole of high tension bolt are analyzed and compared with load carrying capacity of the standard bolt hole using results of tensile test.

We could get the result like this by doing a tension experiment.

1. Even if when we got a result of a tension experiment about The High Tension Bolt M22, M24, The Slip strength have not effect on a diameter of bolts, in the maximum load, when a diameter of bolts is the biggest, the decrease is distinct. But, when a diameter of bolts is " $d+6\text{mm}$ " in overhole, the maximum load do not matter with safety, because it is bigger than the allowance of frictions. But when a diameter of bolts is closer " $d+2.5\text{mm}$ ", the maximum load and the Slip strength is enoughly big.

2. We got a Slip coefficient(0.32 ~ 0.51) by doing a tension experiment. And there is not a large changeable Slip coefficient about a basic / over hole. And there is no problem in regulating specifications.

3. We can know that All of the Slip strength and maximum load by the study have a sufficient Load Carrying Capacity by producing bigger than the specified strength.

## 제 1 장 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근 산업화의 진전과 더불어 사회기반시설 구조물이 거대화, 장대화 되는 추세에 있으며 이에 따라 콘크리트 구조물과 비교하여 상대적으로 자중이 작고 강성이 큰 강구조물이 많이 건설 되고 있다. 강구조물은 재료의 특성상 많은 이음 부위가 발생되며, 가장 많이 사용되는 이음방식은 용접이나 리벳, 그리고 고장력볼트를 이용하여, 연결되고 있다.

이 중 용접에 의한 이음방법은 공장용접의 경우 공업규격에 따른 품질관리규정에 의해 시공되므로 대체적으로 그 신뢰성이 인정되지만, 실제적으로는 반드시 현장용접이 필요하게 되고 현장용접인 경우 용접기능공의 숙련도 및 작업 조건에 따라 이음부의 신뢰성이 좌우되어 현장에서의 품질관리가 어렵다. 또한 용접시공 후, 각종 비파괴시험에 의해서 용접검사를 확실하게 수행하기 어렵기 때문에 주로 품질관리가 용이한 고장력볼트를 이용한 이음방식을 채택하고 있다.

우리나라에서 고장력볼트에 대한 규정이 최초로 사용된 것은 1966년 강철도교설계표준시방서이며, 1972년 도로교표준시방서의 개정을 통해 리벳을 대신하여 강구조물의 현장이음방식으로 널리 사용되어 오고 있다. 고장력볼트 이음은 응력전달기구의 형태에 따라 마찰이음, 지압이음 및 인장이음의 세 가지로 분류된다. 이 중에서 교량의 주요 구조부재의 이음에는 마찰이음이 채용되고 있으며, 지압이음 및 인장이음은 특별한 경우를 제외하고는 거의 사용되지 않고 있다. 마찰이음은 모재에 덮개판을 부착하여 고장력볼트의 항복응력에 가까운 높은 체결력을 높은 압축력을 전달하여 외력을 전달하는 힘의 기구를 가지고 있다. 고장력볼트 이음부는 보통 볼트나 리벳을 사용하여 연결하는 경우 주로 발생하는 국부적인 응력집중현상이 나타나지 않고 응력이 보다 원활하게 전달되어 반복적으로 작용하는 하중에 대해서 높은 피로강도를 나타낸다.

일반적으로 고장력볼트 마찰접합부의 구조거동은 접합재 마찰면의 미끄럼계수, 마찰면수, 볼트의 장력에 따라 달라진다. 따라서 고장력볼트 마찰접합부를 실제구조물에

적용할 경우에는 접합부의 품질확보를 위해서 설계 및 시공 면에 대한 검토가 필요하다. 하지만 철저한 품질관리를 통해 만들어진 제품이라 할지라도, 온도에 따른 변화나 선행공정의 시공오차로 인해 발생하게 되거나, 부실시공에 의해 현장에서 규격치 이상의 확공 사례가 발생한다. 또한, 재료의 생산오차, 강구조물의 제작오차, 현장시공에서의 불가피한 공차 등으로 인해 표준볼트구멍공차(2~3mm)로는 시공이 불가능하여 새로 제작하거나 용접으로 보강하는 등 시간적, 경제적 손실을 초래하고 있다. 그리고 강부재의 현장조립 시 부재간의 불일치 등으로 인하여 볼트 구멍의 확장을 통해 볼트 삽입을 용이하게 할 필요가 발생한다. 그러나 국내 시방기준에는 과대공에 대한 규정이 없고, 이에 대한 연구도 선진국에 비해 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 고장력볼트 구멍의 크기와 과대볼트 구멍의 위치를 변화시켜 정적 인장실험을 수행하여 고장력볼트의 인장 내하력을 검토하였다. 기존 과대볼트구멍에 대한 연구에서는 모재의 볼트구멍만을 크게 하였으나, 본 연구에서는 모재, 덮개판 그리고 모재와 덮개판 모두가 과대볼트구멍인 경우에 대해 인장실험을 실시하였다. 실험으로부터 재하하중에서 다른 재료의 변형, 미끄럼강도, 최대파단강도를 측정하여 과대볼트구멍을 갖는 고장력볼트 마찰부의 저항능력을 표준볼트구멍과 비교분석하여, 볼트구멍의 크기 및 설치위치에 따른 마찰면의 미끄럼계수 및 미끄럼량을 산출하여 표준볼트구멍의 내하력과 비교하였다.

## 1.2 기존 연구동향

과대공을 갖는 고장력볼트 마찰이음부에 대한 초기의 연구에서 미국 일리노이대의 Wilson(1938)과 워싱턴대의 Hechtman(1949)은 볼트의 구멍 틈을 1.5mm까지 허용할 수 있음을 보고하였다. 한편, Kelly(1948)는 구멍 틈의 증가는 볼트가 지지할 수 있는 인장력을 한정하는 유효 전단면적을 감소시키며, 허용 틈은 볼트 머리 크기의 함수라고 결론지었다. Chesson(1964)은 구멍 틈이 볼트 축력에 미치는 영향을 검토한 결과, 구멍 틈 3.2mm의 과대공 시험편에서는 볼트의 축력에 미치는 영향이 거의 없음을 밝혔다. Allan(1968)은 6.5mm의 구멍 틈을 가진 과대공 시험편의 평균 미끄럼계수가 1.5mm의 구멍 틈을 가진 표준공 시험편의 평균 미끄럼계수와 거의 같음을 보여 주었다.

일본에서는 田島(1969) 등이 M22 고장력볼트를 이용해서, 볼트 구멍 직경 23.5mm의 표준공 시험편과 30mm와 35mm의 과대공 시험편 및 23.5×40.0mm의 긴 구멍(slotted hole) 시험편에 대한 비교실험을 실시하였으며, 그 결과 미끄러짐 내력의 저하는 나타나지 않고, 평균치가 상승하는 것도 있었다고 보고하였다. 田中(1974) 등은 M19, F11T 고장력볼트를 이용해서 볼트 구멍 직경 21.5mm의 표준공 시험편과 23.0mm, 24.5mm 및 26.0mm인 과대공 시험편을 이용해서 구멍의 중심에 볼트를 체결한 경우, 편측에 치우쳐 응력방향에 미끄러짐 양이 최대가 되는 경우 및 반대로 미끄러짐 양이 최소가 되는 경우에 대해서 미끄럼계수를 구하였다. 그 결과, 어떠한 경우에도 미끄럼계수는 큰 차이가 나타나지 않았으며, 평균치는 과대공 시험편에서 오히려 증가한다고 보고하였다.

또한, 西村(1979) 등은 M24(F11T) 고장력볼트를 사용해서 최대 37.5mm까지 1.5mm씩 볼트 구멍 직경을 증가시켜서 미끄럼계수의 저하율은 15% 정도이고, 구멍 틈이 어느 정도 이상으로 커지면 미끄럼계수가 오히려 상승하는 경향이 있다고 보고하고 있다. 한편, 피로강도에 대한 연구에서는 西村(1971) 등에 의해 실험이 행해졌으며, M22 고장력볼트에 대해서 볼트 구멍 직경 23.5mm의 표준공 시험편과 28.5mm의 과대공 시험편에 대해 모재만 과대공으로 한 경우 및 모재와 이음판 모두를 과대공으로 한 경우에 대해서 비교하였다. 또한, 西村(1971, 1972) 등의 실험 예에서는 볼트 구멍 직경 24.5mm의 표준공 시험편에 대해서 26mm의 과대공에서는 피로강도에 영향이 없고, 31mm의 과대공이 되면 영향을 미친다고 발표하였다.

그러나, 우리나라의 경우 최근 개정된 시방기준상에서도 과대공의 허용에 대한 조항이 추가되지 않아 실제 강구조물의 시공에 있어 이러한 문제점의 발생 시 이에 대한 적절한 조치가 이루어지지 못하는 실정이다. 따라서 과대공을 갖는 고장력볼트 이음부에 대한 미끄러짐 내력, 피로강도 등의 역학적 거동의 평가를 위한 일련의 실험적인 연구결과는 과대공의 허용범위를 결정함에 있어서 중요한 사항이라고 생각된다.

### 1.3 연구범위 및 방법

본 연구에서는 고장력볼트 이음부에 관한 국내외의 설계기준을 비교, 검토하여 고장력볼트 이음부의 설계에서 가장 중요한 인자인 미끄럼계수, 인장부재의 단면설계법,

그리고 볼트 구멍의 크기에 대한 규정을 비교, 분석하였다.

실제 시공현장에서는 허용차 이내로 부재를 접합하기가 어려운 실정이고, 이 허용차를 초과하는 경우에도 별도의 규정이 없이 보수작업을 거친 채 부재접합이 이루어지고 있다. 볼트구멍의 크기에 따른 보수작업에 의한 접합부의 내력변화는 구조물 전체에 미치므로, 이 접합부의 내력변화에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 고장력볼트 마찰접합부의 구조거동 중 볼트구멍의 크기에 따른 접합부 구조거동변화를 검토하기 위하여 고장력볼트 마찰접합부 내력에 관한 이론을 검토하고, M22와 M24 고장력볼트에 대한 2면 전단 시험편의 인장실험을 실시하였다. 고장력볼트 마찰접합부 내력에 관한 이론은 고장력볼트의 품질과 마찰접합부 거동의 특성, 허용내력, 미끄럼시험방법 등을 검토하고, 각국의 기준을 살펴보았다.

실험은 고장력볼트 마찰접합부의 구조거동에 영향을 미치는 여러 변수 중에서, 구멍의 크기, 볼트종류를 실험변수로 하여 2면전단 시험편으로 실험하였다. 실험 방법은 200t 만능시험기(UTM)로 시험편을 단순인장가력하여, 변위제어로 파괴 시까지 일정하게 가력하였으며, 실험변수에 따라 인장 실험의 결과를 시험편 별로 미끄럼강도, 최대하중, 미끄럼계수를 설계 및 기준 값과 비교하여 표를 작성하고, 하중 - 변위선도로 도출하여, M22와 M24 고장력볼트 시험편을 비교 분석하였다.

## 제 2 장 고장력볼트 이음부의 설계기준

### 2.1 과대공에 관한 규정

고장력볼트 마찰이음에 있어서 볼트 구멍의 직경의 제한은 현장 이음 시 구조부재들 사이에 거의 완벽한 정렬을 요구하게 된다. 그러나 실제조건에서는 때때로 구조물의 한쪽이 태양이나 찬바람에 노출되어 부재의 팽창이나 수축이 일어나게 되고 이것은 조립 시 구멍간의 정확도를 떨어뜨린다. 또한 기존 구조물에 새로운 부재를 연결시키는 경우, 구조물의 제작에 있어서 용접 등에 의한 변형량을 정확하게 예측할 수 없는 경우, 강상형교 및 강바닥판교 종리브의 경우, 경사가 심한 직교 격자형 사교를 가설할 경우 및 지보공이 충분하지 않은 경우 등에 있어서도 볼트 구멍이 일치하지 않은 경우가 종종 발생한다. 이러한 경우에는 허용직경을 초과하여 볼트 구멍을 확장함으로써 볼트 삽입을 용이하게 하여 조립 능력의 향상과 건설시간, 비용 및 노력 등의 절감을 도모할 수 있다.

이러한 필요성에 의해 최근 외국의 시방기준에서는 표 2.4에 나타난 바와 같이 고장력볼트 이음부에서 어느 정도의 범위까지 과대공을 허용하는 규정을 두고 있으나, 국내의 경우는 아직 과대공에 대한 규정이 없다. 강교량의 건설시 주로 사용되고 있는 M22 고장력볼트에 대한 과대공의 허용범위를 보면, 일본의 도로교시방서(2002)는 26.5mm(표준공 24.5mm), 미국의 AASHTO(2002)는 26.5mm(표준공 23.5mm), 유럽의 Eurocode(2003)은 26mm(표준공 24mm), 영국의 BS5400(2000)은 27mm(표준공 23mm)로 규정하고 있다. 대부분 26~27mm범위로 허용하고 있는 실정이다. 따라서 국내의 시방기준에서도 고장력볼트 이음부에서 불가피하게 존재하는 제작오차를 흡수하기 위하여 과대공이 불가피한 경우에는 단면결손을 고려한 최대 내하력이 안전측으로 평가 된다면 외국의 시방기준에서 허용하는 범위 내에서의 과대공(볼트직경 + 4mm)을 허용하여도 무방할 것으로 판단된다.

표 2.1 국가별 설계기준상 고장력볼트 구멍 규정

설계기준	표 준 공		과 대 공		
	볼트직경	구멍직경	볼트직경	구멍직경	보정계수
도로교표준시방서 (2005)	d = 20mm d = 22mm d = 24mm	d + 2.5mm	규정없음	규정없음	규정없음
일본도로교시방서 (2002)	d = 20mm d = 22mm d = 24mm	d + 2.5mm	d = 20mm d = 22mm d = 24mm	d + 4.5mm	1.00
일본철도구조물 등 설계표준 (1992)	d = 16mm d = 20mm d = 22mm d = 24mm	d + 2mm d + 2.5mm	d = 16mm d = 20mm d = 22mm d = 24mm	d + 4.5mm	1.00
일본강구조접합부설계지침 (2001)	d < 27mm d ≥ 27mm	d + 2.0mm d + 2.5mm	d < 24mm d = 24mm d > 24mm	d + 4.0mm d + 6.0mm d + 8.0mm	0.85
ISO (1997)	d < 27mm d ≥ 27mm	d + 2.0mm d + 3.0mm	d ≤ 22mm d = 24mm d ≥ 27mm	d + 4.0mm d + 6.0mm d + 8.0mm	1.00
AASHTO (LRFD) (1998)	d < 27mm d ≥ 27mm	d + 2.0mm d + 3.0mm	d < 22mm d = 22mm d = 24mm d > 27mm	d + 4.0mm d + 6.0mm d + 8.0mm	0.85
AASHTO (2002)	5/8 inch 3/4 inch 7/8 inch 1 inch ≥ 1 1/8 inch	11/16 inch 13/16 inch 15/16 inch 1 1/16 inch d+1/16 inch	5/8 inch 3/4 inch 7/8 inch 1 inch ≥ 1 1/8 inch	13/16 inch 15/16 inch 1 1/16 inch 1 1/4 inch d+5/16 inch	0.85
Eurocode (2003)	d ≤ 14mm d < 27mm d ≥ 27mm	d + 1.0mm d + 2.0mm d + 3.0mm	d = 12 d ≤ 22mm d = 24mm d ≥ 27mm	d + 3.0mm d + 4.0mm d + 6.0mm d + 8.0mm	0.85
BS5400 (2000)	d < 24mm d ≥ 24mm	d + 1.0mm d + 1.5mm	d ≤ 22mm d ≤ 27mm d ≥ 30mm	d + 5.0mm d + 6.0mm d + 8.0mm	0.85

## 2.2 고장력볼트 마찰이음의 역학적 거동

### 가. 고장력볼트의 마찰이음과 마찰법칙

서로 접촉하고 있는 두 개의 금속물체가 상대 미끄럼 운동을 유발하려는 하중이 가해질 때, 접촉면에는 그 운동을 방해하려는 마찰력이 발생한다.  $N$ 을 수직압축력(Compressive Normal Force),  $F$ 를 마찰력(Friction Force)이라 하고 금속 물체는 잘 정의된 접선 상대속도를 가진 강체라고 한다면, 마찰법칙은 다음 식으로 나타낸다.

$$|F| = \mu \cdot N \quad (\text{식 2.1})$$

이는 발생하는 마찰력이 수직 압축력에 비례한다는 점을 의미하고 있고, 이때 비례상수  $\mu$ 를 마찰계수(Coefficient of Friction)라고 한다. 마찰계수는 흔히 미끄럼직전에 적용되는 정지마찰계수(Coefficient of Static Friction)와 미끄럼운동 중에 적용되는 운동마찰계수(Coefficient of Kinetic Friction)의 두 가지 마찰계수가 쓰이고 있다. 마찰계수가 겹보기 접촉면과는 무관하다는 것, 정지마찰계수가 운동마찰계수보다 크다는 것도 역시 마찰법칙에 포함되고 있다.

### 나. 고장력볼트 마찰이음

마찰이음의 매커니즘을 살펴보면, 연결할 부재와 덮개판으로 구성된 볼트 구멍에 고장력볼트를 삽입하고, 볼트를 체결하여, 목표축력  $N_i$ 를 도입한다. 도입된 축력은 덮개판을 통해 전달되어 덮개판, 모재간의 접촉면에 접촉압력이 발생하게 된다. 이후 이음부 양측에 인장하중  $P$ 가 재하되면 모재와 덮개판의 양쪽 강판 사이 접촉면에서 마찰력이 발생하면서 모재에 작용되는 인장력을 덮개판에서 부분적으로 분담하게 되며 이때 작용하는 인장하중이 증가함에 따라 마찰력이 증가한다. 하중  $P$ 가 계속 증가하여 마찰력이 어떤 한계 값을 넘어가면 미끄럼이 발생하기 시작하는데 이때의 하중을 미끄

림하중이라고 하고, 도입한 축력 합계에 대한 미끄림하중의 비를 미끄림계수라고 한다. 이후 하중이 지속되면, 미끄러지던 강판이 볼트 축부와 접촉하기 시작하면서 이음의 하중은 볼트의 전단저항, 강판의 지압저항 및 저하된 마찰저항으로 분담되게 된다.

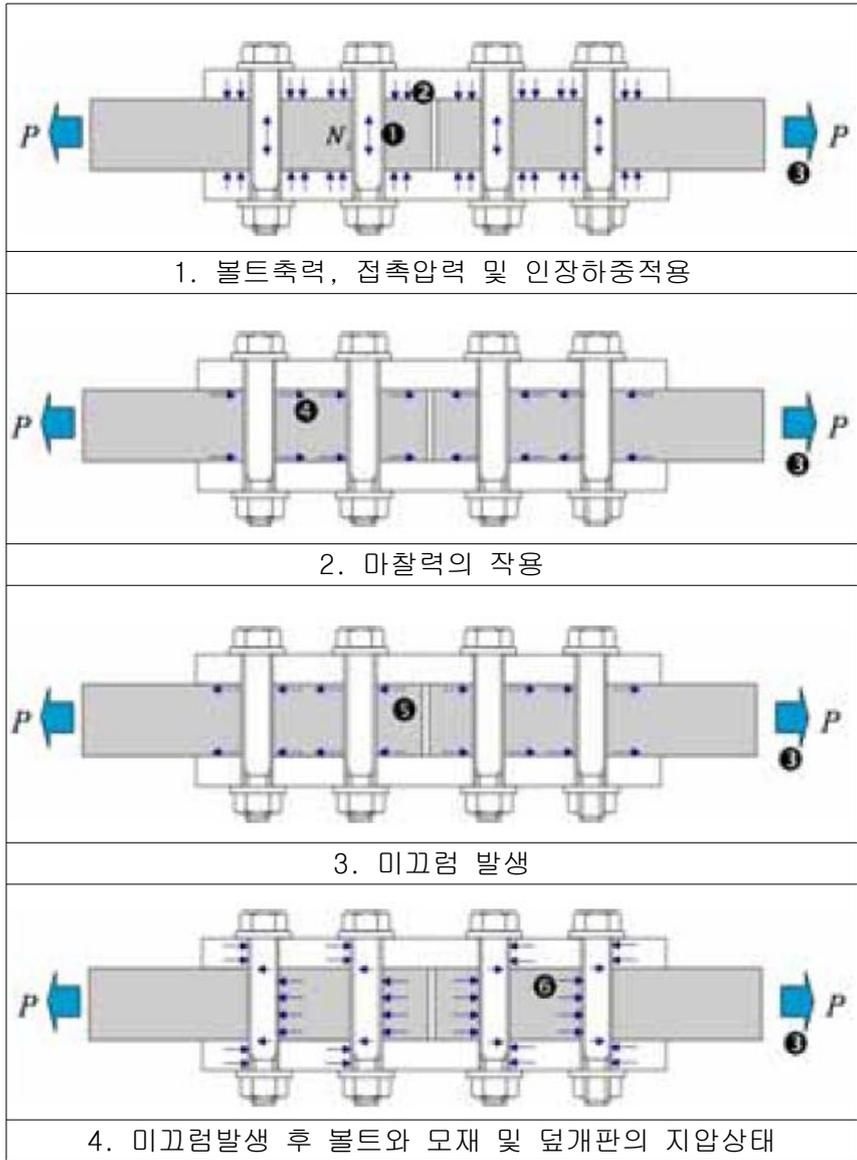


그림 2.1 마찰이음부에 인장하중이 작용할 때의 힘과 변위의 양상

미끄럼 발생 이전의 거동과 미끄럼 시점의 거동에 대해서 볼트 축력과 발생마찰력 및 미끄럼하중의 관계, 미끄럼 발생 시 모재의 강체 운동 성격 등을 감안하면 마찰이음에 마찰법칙이 그대로 적용되고 있다고 사료되며, 이에 따라 마찰이음 설계에 미끄럼계수와 미끄럼하중을 도입하고 있는 것으로 판단된다.

## 2.3 미끄럼계수

### 가. 접촉면의 상태에 따른 미끄럼계수

고장력볼트 마찰접합의 미끄럼 강도의 기본적인 잣대로는 미끄럼계수가 거론된다. 미끄럼계수에 대해서 국내외의 설계 기준 값을 표 2.2에 나타내었다. 여기서 대상으로 한 설계기준은 우리나라의 도로교표준시방서(2005), 일본도로교표준시방서(1996), 및 일본강구조설계기준(1988), 미국의 AASHTO(1994), AASHTO LRFD(2004), 유럽의 Eurocode(2003), 영국의 BS(2003)이다.

국내외의 설계기준에 있어서 미끄럼계수 값은 표 2.2에서와 같이 접촉면의 처리 상태에 따라 큰 차이가 있는 것을 알 수 있는데, 접촉면의 처리 상태의 세분화에 따라서 0.2 ~ 0.5 사이의 값으로 규정되고 있다. 이에 비해 우리나라의 도로교설계기준(2005)에서는 미끄럼계수를 표면처리에 관계없이 0.4로 규정하고 있고, 도로교표준시방서(2005)에서도 시공성을 고려하여 볼트 연결부의 표면처리는 블라스트 등에 의해 녹, 흑피 등을 제거하여 마찰계수가 0.4 이상 얻어지도록 규정하고 있으며, 무기징크리치 페인트의 도장조건을 표 2.3과 같이 규정하고 있다.

한편, 일본도로교시방서에서는 흑피를 제거한 거친 면의 경우 및 접촉면에서 후막형 무기징크리치 페인트를 도장한 경우에 대해서 0.40의 값이 규정되어 있다. 또한 일본 강구조설계기준에서는 흑피를 제거한 후 옥외에서 자연 방치하여 붉은 녹이 발생한 상태에 대해서는 0.45로 규정하고 있다. 흑피를 제거하는 방법으로 그라인딩 처리와 블라스트 처리(숫블라스트, 그리트블라스트)가 있지만 블라스트 처리가 일반적으로 실시된다. 어느 쪽의 처리에 의한 접촉면에 대해서도 설계상으로는 동일한 미끄럼계수를

적용하고 있다.

또한, 흑피를 제거하고 옥외 폭로한 접촉면(블라스트 처리하지 않은 경우)에 대해서 Eurocode와 BS에서는 각각 0.30, 0.45를 규정하고 있으며, 블라스트를 처리한 접촉면에 대해서는 0.50으로 규정하고 있다. 깨끗한 흑피상태의 접촉면에 대한 미끄럼계수도 규정되어 있는데 AASHTO에서는 0.33으로 규정하였다.

표 2.2 국가별 설계기준상의 미끄럼계수 비교

설계기준	미끄럼계수	접촉면의 처리 또는 상태
도로교표준시방서 (2005)	0.40	블라스트 등에 의해 녹, 흑피등을 제거한 상태 무기질 아연말 프라이머(징크리치 페인트) 접촉면 편면당 30 $\mu$ m 이상
일본도로교시방서 (1996)	0.40	흑피를 제거한 거친상태
	0.40	후막형 무기징크리치 페인트 도장
일본강구조설계기준 (1988)	0.45	흑피를 제거한 후, 옥외에서 자연 방치하여 발생한 붉은 녹 상태
AASHTO (1994)	0.33	흑피제거 상태
	0.33	블라스트 처리 후 A등급의 코팅
	0.40	아연도금한 거친 면
	0.50	블라스트 처리
	0.50	블라스트 처리 후 B등급의 코팅
AASHTO LRFD (2004)	0.33	무도장의 흑피제거 상태 또는 블라스트 처리 후 A등급의 코팅
	0.33	아연도금한 후 와이어브러쉬에 의한 거친 면
	0.50	무도장의 흑피제거 상태 또는 블라스트 처리 후 B등급의 코팅
Eurocode (2003)	0.20	무처리한 면
	0.30	와이어브러쉬 또는 프레임 클리닝에 의해 깨끗이 하고, 들뜬 녹을 제거한 면
	0.50	숫블라스트 또는 그리트 블라스트 처리 후, 최소 미끄러짐 계수 0.5를 보증하는 아연계 금속사용
	0.50	숫블라스트 또는 그리트블라스트 처리
BS (1982)	0.35	무기징크리치 페인트 도장
	0.45	흑피를 제거한 후 옥외폭로
	0.50	숫블라스트 또는 그리트블라스트 처리

표 2.3 무기징크리치 페인트의 도장조건

항 목	조 건
접촉면 편면당 최소건조 도막두께	30 $\mu$ m 이상
접촉면의 합계 건조 도막두께	90 ~ 200 $\mu$ m
건조 도막중 아연함유량	85% 이상
아연분말 입경(평균입경:8 $\pm$ 2 $\mu$ m)	50% 이상

이와 같이 접촉면의 미끄럼계수에 대해서는 외국의 설계기준에서는 접촉면의 처리 상태에 따라 여러 값이 규정되어 있고, 또한 미끄럼 시험에 의해 결정되고 있다. 이에 비해 국내의 설계기준에서는 미끄럼계수는 접촉면의 처리 상태에 관계없이 일률적으로 규정되어 있다. 따라서 향후 국내의 설계기준에도 접촉면의 처리 상태에 따라 미끄럼 계수를 세분화 하여 규정함으로써 설계의 합리화를 꾀할 필요가 있다고 생각된다.

또한, 마찰면의 상태에 따른 미끄럼계수는 표 2.4와 같고 녹을 제거한 붉은 녹 면을 표준 마찰면이라 부르며, 표준 마찰면은 미끄럼계수 0.50이상 확보 된 것으로 한다.

표 2.4 마찰면의 상태와 미끄럼계수

마찰면의 상태	미끄럼계수
광명단 마감	0.05 ~ 0.20
아연 도금 면	0.10 ~ 0.30
흑피인 면	0.20 ~ 0.45
갈아낸 면	0.20 ~ 0.45
샌드페이퍼 면	0.25 ~ 0.45
산화염 뿌리기	0.30 ~ 0.60
녹을 제거한 붉은 녹 면	0.45 ~ 0.75
숫블라스트 면	0.40 ~ 0.75
샌드블라스트 면	0.45 ~ 0.75

## 나. 마찰면의 처리방법 및 유의사항

미끄럼계수가 0.50이상 확보되도록 하고 가능한 마찰면의 처리방법은 자연 녹 또는 블라스트 처리 중 어느 한 가지 방법으로 하고, 이외의 특수한 마찰면의 처리방법은 공사시방에 따른다.

- (1) 자연발생 녹 : 마찰면은 디스트 그라인더 등으로 원칙적으로 이음판 전면에 대해 흑피 등을 제거한 후 옥외방치하여 자연 발생시킨 붉은 녹 상태를 확보한다.
- (2) 블라스트 처리 : 마찰면은 슛 블라스트 또는 그릿 블라스트 처리하며, 이 표면 거칠기는 50 $\mu$ m 이상으로 하고 붉은 녹은 발생시키지 않아도 좋다.
- (3) 마찰면 처리의 유의사항
  - a) 마찰면 및 와셔가 닿는 면의 들뜬 녹, 먼지, 기름, 도료, 용접스패터 등은 제거한다.
  - b) 이음판을 부재에 임시 고정하는 경우에는 기름이 묻지 않은 가볼트를 사용한다.
  - c) 블라스트 후에 볼트구멍 주위를 그라인더로 정리하는 경우, 이 부분은 붉은 녹 상태가 되도록 한다.

## 2.4 고장력볼트

### 가. 고장력볼트의 등급과 접합방법의 종류

KS B 1010(JIS B 1186)에 규정된 고장력볼트 세트는 그림 2.2과 같이 볼트 1개, 너트 1개, 평와셔 2개로 구성되어 있으며, 세트의 종류에 따라 표 2.5와 같이 각각의 등급을 정하고 있다. 고장력볼트 머리 및 너트의 윗면에는 각각의 기계적 성질에 따른 등급을 나타내는 기호가 표시되어 있기 때문에 쉽게 확인할 수 있다. 현재는 2종(F10T)의 세트만이 표준으로 사용되고 있다.



그림 2.2 고장력볼트 구성(볼트 1개, 너트 1개, 와셔 2개)

표 2.5 고장력볼트의 종류와 등급

세트의 종류		적용하는 구성부품의 기계적 성질에 따른 등급		
기계적 성질에 따른 종류	토크 계수 치에 따른 종류	볼 트	너 트	와 셔
1종	A	F8T	F10	F35
	B		(F8)	
2종	A	F10T	F10	
	B			
(3종)	A	F11T		
	B			
4종	A	F13T	F13	
	B			

※표에서( )를 붙인 것을 되도록 사용하지 않는다.

고장력볼트는 담금질(Quenching)과 뜨임(Tempering) 등 열처리한 800 ~ 1200N/mm<sup>2</sup>의 높은 인장강도의 재질로 되어 있다. 고장력볼트 연결은 볼트체결로 인한 인장력에 의해 연결부재간에 일정한 압축력이 발생 되도록 하는 접합방법이며, 그 하중전달 방법에 따라 마찰접합과 인장접합 그리고 지압접합으로 분류된다. 마찰접합은 그림 2.3(a)에 나타난 바와 같이 하중의 전달이 볼트체결에 의한 부재간의 마찰에 의해서만 이루어지고, 미끄럼에 따른 볼트의 지압응력이 생기지 않는 접합형식을 말한다. 이와 반대로 지압접합에서는 그림 2.3(b)에 나타난 바와 같이 연결부재간의 미끄럼이 발생하여 하중의 전달이 연결부재간의 지압에 의해서 이루어지는 접합형식이 된다. 대개의 경우

고장력볼트 접합은 마찰접합에 속한다. 한편 마찰접합과 지압접합에서는 볼트가 전단력을 지지하면서 연결재간의 하중을 전달하게 되나, 인장접합에서는 그림 2.3(c)와 같이 볼트가 인장력을 지지하게 된다.

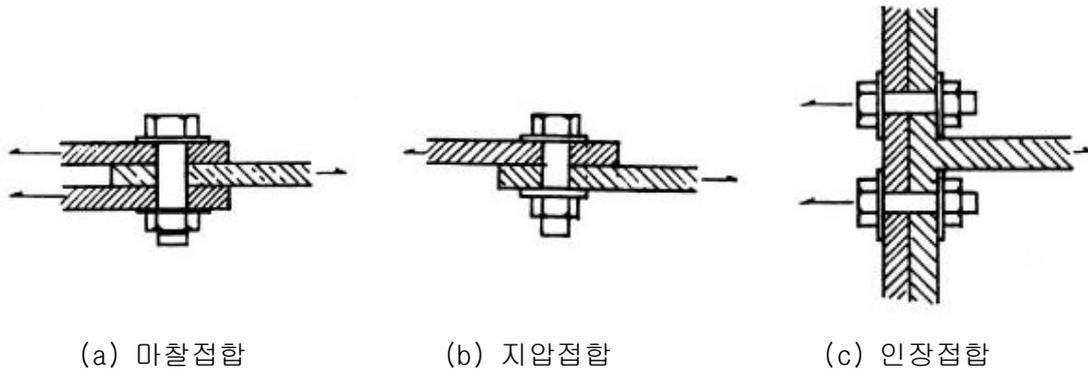


그림 2.3 고장력볼트 접합방법의 종류

고장력볼트 연결에 사용되는 마찰접합용 볼트의 종류로서는 F8T와 F10T가 있으며, 지압접합용 볼트에는 B8T와 B10T가 있다. 일반적으로 F10T가 널리 사용되며, F11T도 있으나 지연파괴문제 등으로 가능한 사용하지 않는다. 고장력볼트 연결은 용접연결에 비하여 열에 의한 영향이 발생하지 않고 숙련된 기술을 필요로 하지 않으며 작업능률이 높은 반면에, 볼트구멍으로 인하여 단면적이 손실되고 연결판을 필요로 하며, 지연파괴나 체결력의 이완 등에 유의하여야 하는 단점이 있다. 그러나 강구조물의 현장연결에서는 고장력볼트 연결, 그 중에서도 특히 마찰연결이 널리 사용되고 있다.

## 나. 볼트의 기계적 성질

볼트에 대한 기계적 성질을 파악하기 위해서는 볼트로부터 채취한 시험편에 의한 인장시험과 제품인장시험을 실시하는데 시험편의 기계적 성질은 표 2.6에 의한 규정에 적합하여야 하고, 제품인장시험은 표 2.7에 적합하여야 한다.

다만 제품인장시험을 실시하였을 때, 표 2.7의 인장하중(최소) 미만에서 파단 되는

일이 없고 인장하중을 증가시켰을 때, 볼트 머리가 떨어져 나가서는 안 된다. 또한 표 2.7의 경도 규격에 적합하여야 한다.

표 2.6 고장력볼트의 기계적 성질

볼트의 기계적 성질에 따른 등급	항복강도 (MPA)	인장강도 (MPA)	연신율 (%)	단면수축율 (%)
F8T	640 이상	800 ~ 1000	16 이상	45 이상
F10T	900 이상	1100 ~ 1300	14 이상	40 이상
F11T	990 이상	1100 ~ 1300	14 이상	40 이상
F13T	1170 이상	1300 ~ 1500	12 이상	35 이상

표 2.7 제품의 기계적 성질

볼트의 등급	인장하중 (최소) (MPA)				경도
	나사의 호칭				
	M16	M20	M22	M24	
F8T	125.4	195.8	242.7	282.0	HRC 18 ~ 31
F10T	156.7	244.8	303.4	352.5	HRC 27 ~ 38
F11T	172.4	269.3	333.7	387.8	HRC 30 ~ 40
F13T	203.7	318.2	394.4	458.3	HRC 40 ~ 45

표 2.8 너트의 기계적 성질

너트의 기계적 성질에 따른 등급	경도		보증하중
	최소	최대	
F8T	HRB 85	HRB 100	표 2.7 볼트 인장하중(최소)와 같다.
F10T	HRB 95	HRC 35	
F13T	HRC 35	HRC 40	

규격치를 내력표시로 한 이유는 열처리를 고장력강에서는 통상 항복점의 판정이 곤란한 경우가 많기 때문에 응력-변형도 곡선의 0.2% 영구 변형 값으로 한다. 너트 및

와셔의 기계적 성질은 제품에 대해 시험 할 때 각각 표 2.8와 표 2.9의 규정에 적합하여야 한다.

표 2.9 와셔의 기계적 성질

와셔의 기계적 성질에 따른 분류	경 도
F35	HRC 35 ~ 45

### 다. 고장력볼트(High Tension Bolt)의 규격 및 치수

최근 시공현장에서 작업성과 품질관리 및 안정성 등의 이유로 H/T볼트를 주로 사용한다. H/T볼트는 접합부의 전단력의 국부적인 집중현상 제거, 반복하중에 대해서 높은 피로강도 발휘, 시공 시 소음이 적어 환경조건 개선 등의 장점이 있다. 아래 그림 2.4 ~ 2.6은 H/T볼트의 규격과 치수를 정리 놓았다.

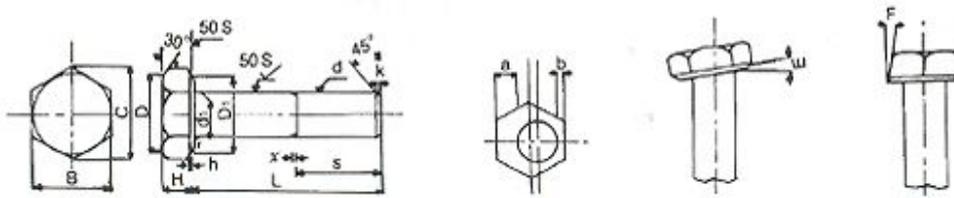


그림 2.4 H/T볼트의 규격과 치수

볼트 호칭	d1		H		B		C	D	D1	r	K	a-b	E	F	h	S	
	기준	허용	기준	허용	기준	허용	약	약	최소		약	최대	최대	최대		기준	허용
M12	12	+0.7	8	±	22	0	25.4	20	20	0.8~1.6	2	0.7	1°	2°	0.4	25	+5
M16	16	-0.2	10	0.8	27	-0.8	31.2	25	25	1.2		0.8				30	0
M20	20	+0.8 -0.4	13	±	32	0 -1	37	30	29	~	2.5	0.9	~	~	0.8	35	+6
M22	22		14		36		41.6	34	33	2.0		1.1				40	
M24	24		15		41		47.3	39	38	1.6	1.2	45					
M27	27		17		46		53.1	44	44	~2.4	1.3	50					
M30	30		19	±1.0	50		57.7	48	47	2.0~2.8	3.5	1.5			55	0	

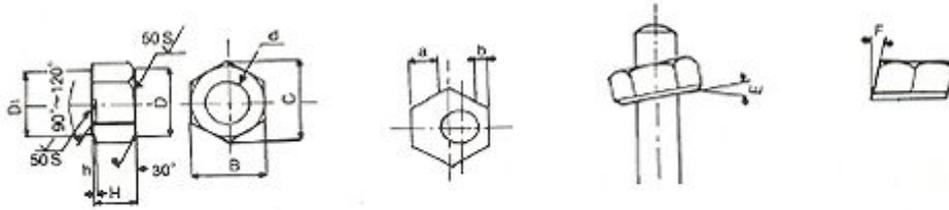


그림 2.5 너트의 규격 및 치수

볼트 호칭	너트 외경	H		B		C	D	D1	a-b		E	F	h
		기준	허용	기준	허용	약	약	최소	최대	최대	최대		
M12	12	12	±	22	0	25.4	20	20	0.5	1°	2°	0.4 ~0.8	
M16	16	16	0.35	27	-0.8	31.2	25	25	0.8				
M20	20	20	± 0.4	32	0 -1	37	30	29	0.9				
M22	22	22		36		41.6	34	33	1.1				
M24	24	24		41		47.3	39	38	1.2				
M27	27	27		46		53.1	44	44	1.3				
M30	30	30		50		57.7	48	47	1.5				

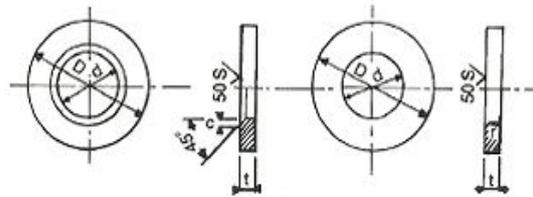


그림 2.6 와셔의 규격 및 치수

와셔 호칭	d		D		t		C or r
	기준	허용	기준	허용	기준	허용	약
12	13	+0.7	26	0, -0.8	3.2	± 0.4	1.5
16	17	0	32	0 -1	4.5	± 0.5	
20	21	+0.8	40		0 -1.2	6	± 0.7
22	23		44	2.4			
24	25	0	48	2.8			
27	28	+1.0	56	-1.2	8		
30	31		60				

## 2.5 고장력볼트의 허용력

### 가. 마찰연결

마찰연결에서 연결부재간의 마찰저항은 접촉면 사이의 압력, 즉 볼트 체결력에 비례한다. 따라서 가능한 한 커다란 축력을 도입할 수 있어 유리하게 되지만, 체결력 증가에 따른 비틀림 응력이나 볼트나사부에서의 응력집중 그리고 지연파괴 등을 고려하면 항복응력보다 어느 정도 낮게 할 필요가 있다. 즉 설계볼트축력  $N$ 은 식 2.2와 같이 주어진다.

$$N = \alpha \cdot f_y^b \cdot A_e^b \quad (\text{식 2.2})$$

$N$ : 설계볼트축력

$\alpha$ : 비틀림이나 응력집중으로 인한 항복응력의 감소계수(현행 도로교설계기준에서는 F8T에 대하여 0.85, F10T에 대하여 0.75로 정하고 있다.)

$f_y^b$ : 볼트의 항복

$A_e^b$ : 볼트의 응력단면적(나사부의 유효단면적)

시공 시에는 릴렉세이션이나 여러 가지 원인으로 인하여 볼트 체결력이 일정치 못한 경우가 있으므로 체결시의 볼트축력은 설계축력보다 약간 크게 한다. 이와 같은 축력을 도입하는 대표적인 방법으로는 토크 제어법과 너트 회전법 등이 있다.

토크 제어법은, 고장력볼트를 본조임 완료 후 모든 볼트에 대해서 1차조임 후에 표시한 금매김에 의해 너트의 회전량을 육안으로 검사하고, 너트의 회전량이 현저하게 차이가 나는 볼트군은 토크렌치를 사용하여 추가 조임에 따른 평균 토크값의 적부를 확인 한다. 평균 토크값을 토대로 반입검사 때 얻어진 평균 토크값에  $\pm 10\%$  이내의 것을 합격으로 하고, 평균 토크값 범위를 넘은 볼트는 교체한다. 조임을 잊어버리거나 조임 부족이 인정된 볼트군은 볼트 검사 및 소요 토크값 까지 추가로 조인다. 본 연구에서는 토크관리법을 적용하여 볼트를 체결하였다.

너트 제어법은 고장력볼트를 본조임 완료 후 모든 볼트에 대해서 1차조임 후에 표시한 금매김에 의해 너트의 회전량을 육안으로 검사하고, 1차 조임 후, 2차 조임 시 너트의 회전량이  $120^\circ \pm 30^\circ$  의 범위에 있는 것을 합격으로 하고, 합격 범위를 넘어서 조여진 볼트는 교체하고, 너트의 회전량이 부족한 너트는 소요 너트 회전량까지 추가로 조이는 방식이다.

토크 제어법에서 체결토크 T와 축력 N 간의 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$T = k \cdot d \cdot N \quad (\text{식 2.3})$$

$k$  : 토크계수로서 0.1~0.2정도(표면처리가 되지 않은 너트 등을 사용할 수록 값이 크다)

$d$  : 볼트 직경

이 방법에서는 식 2.3의 관계를 이용하여 일정한 크기로 토크를 제어하게 된다. 한편 너트회전법은 너트회전각에 의해 도입축력을 제어하는 방법으로서 볼트 축에 가해지는 비틀림 응력이 항복을 초과하게 되므로 자연파괴에 대한 안전성이 높은 F8T에 한해서만 사용하는 것으로 하고 있다.

마찰연결은 볼트에 높은 인장력을 가하여 볼트로 접합되는 부재의 접촉면에 마찰저항을 일으킴으로써 부재 간에 작용하는 전단력을 마찰력으로 지지하는 것이다. 이와 같은 마찰연결의 내하력은 부재 간에 작용하는 전단력이 마찰저항에 의한 지지능력을 넘게 되어 부재 접촉면에서 미끄럼(Slip)이 생길 때의 한계하중 값으로 정의되며, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_s = m \cdot \mu \cdot N \quad (\text{식 2.4})$$

$R_s$  : 마찰연결의 내하력

$m$  : 마찰면의 수

$\mu$  : 정지마찰계수

N : 설계볼트축력

마찰연결에서 1마찰면당 허용되는 볼트 한 개의 허용력은 식 2.4에서 얻은 저항력을 안전율로 나눈 값이 되며, 다음과 같이 주어진다.

$$\rho_a = \frac{R_s}{S.F} = \frac{\mu \cdot (\alpha \cdot f_y^b \cdot A_e^b)}{1.7} \quad (\text{식 2.5})$$

$R_s$  : 마찰연결의 내하력

$\alpha$  : 비틀림이나 응력집중으로 인한 항복응력의 감소계수(현행 도로교설계기준에서는 F8T에 대하여 0.85, F10T에 대하여 0.75로 정하고 있다.)

$f_y^b$  : 볼트의 항복

$A_e^b$  : 볼트의 응력단면적(나사부의 유효단면적)

$S.F$  : 안전율(1.7)

고장력볼트의 허용력은 볼트 재질 및 크기에 따라 다르며, 현행의 도로교설계기준에서는 식 2.5로 구한 허용력을 표 2.10과 같이 정하고 있다.

표. 2.10 마찰이음용 고장력볼트의 한 개당 1마찰면에 대한 허용력

볼트 등급	호칭	S	$\mu$	N(식2.1)				$\rho_a$ (kN)	허용력(kN) 도로교 설계기준
				$\alpha$	$F_y^b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$A_e^b$ (mm <sup>2</sup> )	N (kN)		
F8T	M20	1.7	0.4	0.85	64	244.8	133.2	31.3	31
	M22					303.4	165.1	38.8	39
	M24					352.5	191.8	45.2	45
F10T	M20	1.7	0.4	0.75	90	244.8	165.2	38.8	39
	M22					303.4	204.8	48.2	48
	M24					352.5	237.9	56.0	56
F13T									F10T의 1.3배 수준 제시예정

## 나. 지압연결

지압연결에서 발생 가능한 파괴형태는 볼트의 전단파괴와 접합된 부재의 지압파괴이다. 따라서 지압연결의 허용 내하력  $\rho_a$ 는 다음에서 구하는 볼트의 전단파괴에 대한 허용전단력  $\rho_s$ 와 접합부재의 지압파괴에 대한 허용 지압력  $\rho_b$  중 작은 값이 된다.

먼저 볼트 한 개에 대한 허용전단력  $\rho_s$ 는 볼트단면적에 볼트의 허용전단응력을 곱한 값으로서 다음과 같이 주어진다.

$$\rho_s = \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot f_{va}^b \quad (\text{1면전단의 경우}) \quad (\text{식 2.6a})$$

$$\rho_s = 2 \cdot \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot f_{va}^b \quad (\text{2면전단의 경우}) \quad (\text{식 2.6b})$$

$f_{va}^b$  : 지압연결용 고장력볼트의 허용전단응력

표. 2.11 지압이음용 고장력볼트 허용전단응력

볼트의 등급	B8T	B10T
허용전단응력 (MPa)	150	190

이에 대하여 볼트 한 개의 허용지압력  $\rho_b$ 는 연결부 형식에 관계없이 다음과 같이 구한다.

$$\rho_b = f_{ba}^b \cdot d \cdot t \quad (\text{식 2.7})$$

$f_{ba}^b$  : 지압연결용 볼트의 허용지압응력

$t$  : 접합부재중 얇은 쪽의 두께

표 2.12에서 강재의 지압강도는 인장강도에 비하여 훨씬 큰 값이 되므로  $f_{ba}^b$  역시

항복 응력으로 높게 택한 것이다.

표. 2.12 지압이음용 고장력볼트의 허용지압력

모재 및 기세트판의 강종 강재판 두께(mm)	SS400	SM490	SM490Y	SM570
	SM400		SM520	SMA570
	SMA400		SMA490	
40이하 (MPa)	240	320	360	460
40초과 75이하 (MPa)	220	300 (320)	340 (360)	440 (460)
75초과 100이하 (MPa)			300 (360)	430 (460)

#### 다. 인장연결

인장연결에서도 고장력볼트에 높은 체결력을 도입하여 연결재간의 압축력으로 볼트 축방향으로 작용하는 인장력을 상쇄하는 형태로 하중을 전달하게 된다. 즉, 연결재간에 압축력이 존재하는 범위에서만 그 기능을 기대할 수 있는 것을 기본개념으로 하고 있다. 그러나 인장력으로 인하여 연결재간에 틈새가 생기거나, 볼트축력이 연결부 강성에 따라 변화하게 되므로 연결재 간에 생기는 응력상태는 연결부 구조에 따라 매우 다르게 된다. 현재는 건축구조물의 보-기둥 접합부나 강관의 연결부 등에 사용되고 있으나, 강교량에서는 아직 인장연결에 대한 설계기준이 규정되어 있지는 않다.

## 제 3 장 고장력볼트 인장실험

### 3.1 설계기준 및 강재 물성치

과대 구멍을 갖는 2면 전단 고장력볼트 마찰접합부의 시험편 설계는 도로교설계시방서를 참고하여, 표 3.1 볼트의 최소 및 최대간격과 표 3.2 최소 및 최대 연단거리는 강구조설계기준(ASD)에 적합하도록 배치하였으며, 고층건물이나 장 경간 철강 구조물 시공현장에서 시공공차를 흡수하는 가장 편리하고 간단한 방법에 유사하게 설계하였다.

표 3.1 볼트의 최소 및 최대간격

볼트호칭	최소중심간격(mm)	최대중심간격	
		P(mm)	g(mm)
M20	65	12t이하 지그재그인 경우 ⇒ 15t(3/8)g 또는 12t의 작은 쪽	24t 단, 300 이하
M22	75		
M24	85		

표 3.2 최소 및 최대 연단 거리

볼트 호칭	최소연단거리(mm)		최대연단거리(mm)
	절단연, 수동가스절단연	압연연, 다듬질연, 자동가스연	
M20	32	28	연결판 두께의 8배 이하, 단 150이하
M22	37	32	
M24	42	37	

시험편 강재는 표 3.3과 같이 탄성계수(E)는 206,000N/mm<sup>2</sup>, 전단 탄성계수(G)는 79,500N/mm<sup>2</sup>, 포아송비(ν)는 0.3, 선팽창계수(α)는 0.000012[1/°C] 이고, 강재의 화학 성분은 표 3.4와 같고, 강재의 기계적 성질은 표 3.5와 같다. 시험편은 모재와 덮개판 그리고 고장력볼트 세트에 구성되는데 모재와 덮개판은 일반 구조용 강재로 사용되는 SM 490B, 고장력볼트는 고장력 육각볼트를 사용하였고, 고장력볼트 재질은 F10T 이다.

표 3.3 강재의 재료정수

정 수 재 료	탄성계수(E) (N/mm <sup>2</sup> )	전단탄성계수(G) (N/mm <sup>2</sup> )	포아송비 (ν)	선팽창계수 [1/°C]
강 재	206,000	79,500	0.3	0.000012

표 3.4 강재의 화학성분

강재 종류	두께 (mm)	화 학 성 분 (%)				
		C	Si	Mn	P	S
SM490B	12	0.15	0.38	1.42	0.017	0.006
	18	0.16	0.39	1.44	0.022	0.003

표 3.5 강재의 기계적 성질

두께	두께 (mm)	기 계 적 성 질		
		항복강도(N/mm <sup>2</sup> )	인장강도(N/mm <sup>2</sup> )	연신율(%)
SM490B	12	353	526	24
	18	345	531	26

## 3.2 설계식

본 시험에 들어가기 전에 설계미끄럼강도, 설계파단강도, 설계미끄럼계수를 이론식에 적용하여, 시험에 들어가기 전에 실제 실험값과 비교해 보았다.

### 가. 설계미끄럼강도

마찰 시험편의 설계 미끄럼강도는 허용응력 설계법을 적용하여 계산하면 식 3.1(a),(b)와 같다.

(1) M22 설계 미끄럼강도

$$\begin{aligned}
 P_s &= \frac{1}{S} \times \mu \times N \times N_s && \text{(식 3.1a)} \\
 &= \frac{1}{1.7} \times 0.4 \times 201.1 \times 4 \\
 &= 189.17KN
 \end{aligned}$$

(2) M24 설계 미끄럼강도

$$\begin{aligned}
 P_s &= \frac{1}{S} \times \mu \times N \times N_s && \text{(식 3.1b)} \\
 &= \frac{1}{1.7} \times 0.4 \times 237.9 \times 4 \\
 &= 223.9KN
 \end{aligned}$$

S : 안전율,  $\mu$  : 정지마찰계수, N : 설계볼트축력,  $N_s$  : 마찰면수

## 나. 설계파단강도

마찰 시험편의 설계 파단강도는 단면 손실을 최대가 되는 위치에서의 유효단면적을 산정하여 적용하면 식 3.2(a), (b)와 같다.

### (1) M22 설계파단강도

$$\begin{aligned}
 P_p &= A_e \times F_u && \text{식 3.2(a)} \\
 &= 812 \times 0.49 \\
 &= 397.88KN
 \end{aligned}$$

### (2) M24 설계파단강도

$$\begin{aligned}
 P_p &= A_e \times F_u && \text{식 3.2(b)} \\
 &= 1664 \times 0.49 \\
 &= 815.3KN
 \end{aligned}$$

$P_p$  : 설계최소파단강도(t)

$A_e$  : 하중방향에 수직하고 볼트구멍을 고제한 유효단면적(mm)

$F_u$  : 최소인장강도 : 0.49

## 다. 설계미끄럼계수

볼트 중심선을 따라 파단 되면서 미끄럼 현상으로 얻어진 하중-변위 관계에서 미끄럼 하중은 최초 미끄럼이 발생이 되었을 때를 말하며, 미끄럼계수를 구하는 공식은 식 3.3 (a), (b)와 같다.

(1) M22 설계미끄럼계수

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{P_s}{N \times N_s} && \text{식 3.3(a)} \\ &= \frac{189.1}{201.1 \times 4} \\ &= 0.23 \end{aligned}$$

(2) M24 설계미끄럼계수

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{P_s}{N \times N_s} && \text{식 3.3(b)} \\ &= \frac{402.5}{237.9 \times 4} \\ &= 0.42 \end{aligned}$$

$P_s$  : 미끄럼 강도  $N$  : 설계볼트축력,  $N_s$  : 마찰면수

### 3.3 시험편 치수 및 일람표

#### 가. M22 고장력볼트 시험편

시험편의 구성은 그림 3.1과 같이 부재와 상부판과 하부강판으로 이루어지며 폭은 고장력볼트 M22의 표준연단거리인 41mm를 적용하여, 82mm로 하고, 길이는 표준연단거리와 볼트의 표준피치 90mm, 접합부간격 4mm, 시험기 고정이 충분한 250mm를 고려하여 939mm로 한다.

시험편의 재료는 현장에서 용접구조물 공사에 주로 사용하는 KS D 3515 용접 구조용 강재인 SM490B, 모재판 두께는 14mm를 사용하고, 접합용 볼트는 KS B 1010 F10T 마찰 접합용 고장력볼트 M22를 적용한다.

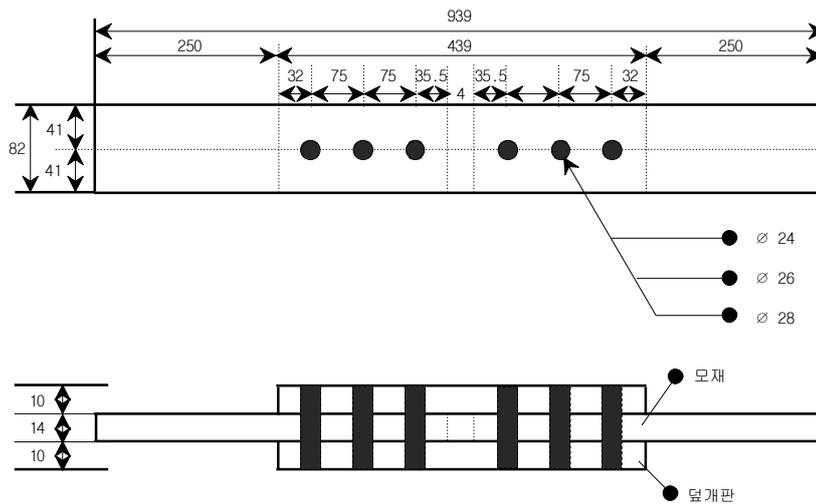


그림 3.1 M22 고장력볼트 시험편

## 나. M22 고장력볼트 시험편

시험편은 2면 전단으로 표준구멍  $\varnothing 22$ 와 과대구멍  $\varnothing 24$ ,  $\varnothing 26$ ,  $\varnothing 28$  각각 2조씩 표준 구멍과 과대 구멍  $\varnothing 24 \sim \varnothing 28$  2조씩 각각 총 14개의 시험편을 제작하여, 인장 실험을 실시하였다. 시험편의 일람표는 표 3.6과 같다.

표 3.6 M22 고장력볼트 시험편 일람표

번호	접합형태	구멍형태	시험편명	Base 가공치수	Cover 가공치수	수량
1	2면전단	표준구멍	M22-ST2	$\varnothing 24$	$\varnothing 24$	2
2	2면전단	과대구멍	M22-OB4	$\varnothing 26$	$\varnothing 24$	2
3	2면전단	과대구멍	M22-OB6	$\varnothing 28$	$\varnothing 24$	2
4	2면전단	과대구멍	M22-OC4	$\varnothing 24$	$\varnothing 26$	2
5	2면전단	과대구멍	M22-OC6	$\varnothing 24$	$\varnothing 28$	2
6	2면전단	과대구멍	M22-OD4	$\varnothing 26$	$\varnothing 26$	2
7	2면전단	과대구멍	M22-OD6	$\varnothing 28$	$\varnothing 28$	2
합계						14

ST : Standard, OB : Over hole Base,  
 OC : Over hole Cover, OD: Over hole Double  
 2 : 2mm Over, 4 : 4mm Over, 6 : 6mm Over

### 다. M24 고장력볼트 시험편

시험편의 구성은 그림 3.2와 같이 부재와 상부판과 하부강판으로 이루어지며 폭은 고장력볼트 M24의 표준연단거리인 45mm를 적용하여, 90mm로 하고, 길이는 표준연단거리와 볼트의 표준피치 80mm, 접합부간격 5mm, 시험기 고정이 충분한 250mm를 고려하여 845mm로 한다.

시험편의 재료는 현장에서 용접구조물 공사에 주로 사용하는 KS D 3515 용접 구조용 강재인 SM490B, 모재판 두께는 26mm를 사용하고, 접합용 볼트는 KS B 1010 F10T 마찰 접합용 고장력볼트 M24를 적용한다.

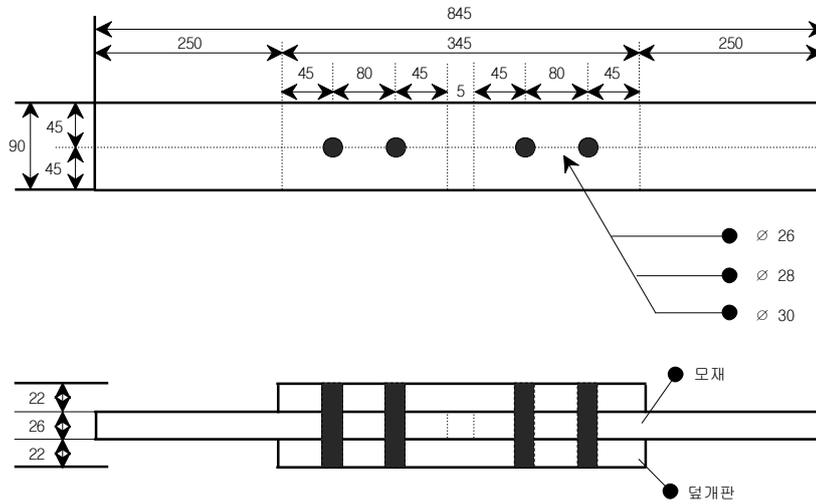


그림 3.2 M24 고장력볼트 시험편

## 라. M24 고장력볼트 시험편

시험편은 2면 전단으로 표준구멍  $\varnothing 24$ 와 과대구멍  $\varnothing 26$ ,  $\varnothing 28$ ,  $\varnothing 30$  각각 2조씩 표준 구멍과 과대 구멍  $\varnothing 24 \sim \varnothing 30$  2조씩 예비시험편 2개와 본 시험편 14개 총 16개의 시험편을 제작하여, 인장실험을 실시하였다. 시험편의 일람표는 표 3.7과 같다.

표 3.7 M24 고장력볼트 시험편 일람표

번호	접합형태	구멍형태	시험편명	Base 가공치수	Cover 가공치수	수량
1	2면전단	표준구멍	M24-ST2-Tri	$\varnothing 26$	$\varnothing 26$	2
2	2면전단	표준구멍	M24-ST2	$\varnothing 26$	$\varnothing 26$	2
3	2면전단	과대구멍	M24-OB4	$\varnothing 28$	$\varnothing 26$	2
4	2면전단	과대구멍	M24-OB6	$\varnothing 30$	$\varnothing 26$	2
5	2면전단	과대구멍	M24-OC4	$\varnothing 26$	$\varnothing 28$	2
6	2면전단	과대구멍	M24-OC6	$\varnothing 26$	$\varnothing 30$	2
7	2면전단	과대구멍	M24-OD4	$\varnothing 28$	$\varnothing 28$	2
8	2면전단	과대구멍	M24-OD6	$\varnothing 30$	$\varnothing 30$	2
합계						16

ST : Standard, OB : Over hole Base,  
 OC : Over hole Cover, OD: Over hole Double  
 2 : 2mm Over, 4 : 4mm Over, 6 : 6mm Over

### 3.4 시험준비

본 연구에서 실험 시험편 조립은 다음과 같이 정리 할 수 있으며, M22와 M24 시험편은 모두 똑같은 조건으로 조립을 하였으며, 아래 그림 3.3과 같이 순서를 정리해 보았다.

(1) 시험편 준비

모재 2개, 덮개판 2개, M22 고장력볼트 6개, M24 고장력볼트 4개, 와서는 각각 12개, 8개, 너트는 각각 6개, 4개를 준비한다.

(2) 볼트 예비 조임

렌치를 이용하여 예비 조임을 실시한다. 이때 모재가 서로 4mm, 5mm 정도 떨어지게 하고, 부재의 직진성을 확인하면서 조인다. 예비조임이나 볼트의 조임 순서를 정하여 일정한 축력이 도입되도록 한다.

(3) 축력계와 토크렌치로 토크값 설정

축력계는 SKIMORE-WILHELM 모델을 사용하였다. 동일 고장력볼트를 가지고 축력계를 이용하여, 설계축력의 10% 축력이 나올 때의 토크값을 설정한다. 본 시험체의 M22 설계볼트축력은 220kN이며, 시공축력은 240kN이다. 한편 M24 설계볼트축력은 235kN이며, 시공축력은 258.5kN으로 결정하였다.

(4) 1차 조임

시방서에 따라 1차 조임은 소요 토크값의 60%정도로 전체볼트를 조인다. M22 1차 조임 토크값은 510kN이며, M24 1차 조임 토크값은 750kN으로 설정한다.

(5) 2차 본조임

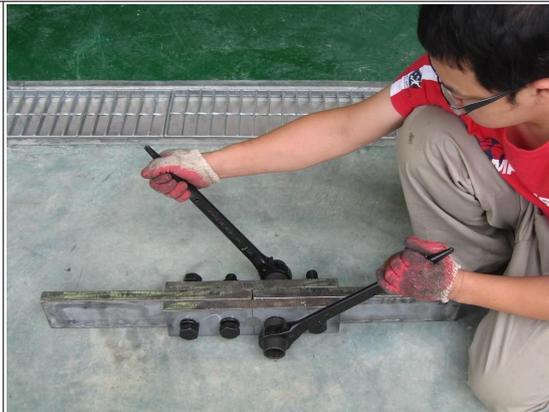
최종 축력에 도달 할 때까지 2차 본조임을 실시한다. M22 2차 본조임 토크값은 850kN이며, M24 2차 본조임 토크값은 1100kN으로 설정한다.

(6) 최종형상

완성된 각각의 시험편에 스트레인게이지와 변위계를 부착한다.



1. 시험편 준비



2. 렌치로 예비조임



3. 토크값 설정



4. 1차 조임



5. 본 조임



6. 완성된 시험체

그림 3.3 시험편 조립과정

실험체는 하중 재하 시 편심이 발생하지 않도록 실험체의 볼트선과 그립선의 중앙선이 일치하도록 하였고, 실험체의 미끄러짐 현상이 일어나지 않도록 접합 플레이트를 그립 전 길이가 밀착되도록 설치하였다. 하중 가력속도는 5mm/min 속도이며, 하중을 가하면서 면내 변형과 면외 변형 발생 시의 작용하중을 측정하였으며, 시험편의 파단 시 최대하중을 측정하였다. 시험편의 가력은 시험편 양단에서 인장력을 가해 미끄러짐이 일어나기 전과 미끄러짐이 발생한 후에는 변위제어로 파괴 시까지 일정하게 재하 하였다. 본 실험에 사용된 기기는 구조용 만능시험기(Universal Testing Machine) 용량 200t 이며, 스트레인 게이지(Strain Gage)YFLA-5-3L Tokyo Sokki Kenkyujo Co.를 사용하였으며, 변위계는(Displacement Transducers) CDP-100C, Tokyo Sokki Kenkyujo Co.를 사용 하였다.

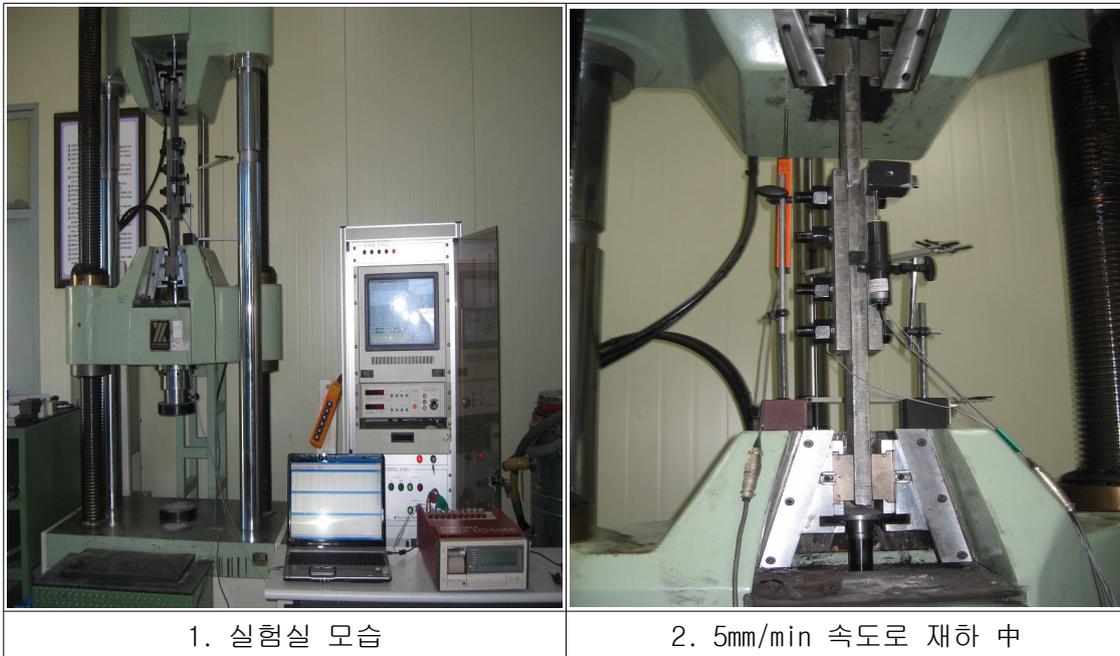


그림 3.4 인장실험 모습

### 3.5 인장실험에 대한 고찰

#### 가. M22 고장력볼트 인장실험

본 실험은 시험편의 모재, 덮개판의 각 구멍의 크기 형태에 따라 2개씩 총 14개의 시험편에 인장실험을 실시하였고, 그림 3.5 ~ 3.18은 인장 실험을 실시한 결과를 표준 볼트구멍과 과대볼트 구멍설치 위치에 따른 하중 - 변위곡선과 실험 후 파단 모습을 보여주고 있다.

실험결과 전체적인 시험편들의 하중 - 변위 관계는 그래프에서 나타나듯이, 초기 미끄럼이 발생하기 전까지는 구멍직경 크기와 관계없이 하중증가에 비해 변위증가가 미소한 탄성변형을 보였다. 미끄럼은 일정하중에 도달 후 큰 소음을 동반하면서 발생하였고, 미끄럼 발생 시 내력이 급격히 감소하여 변위가 증가하였고, 미끄럼이 연속적으로 발생하여, 하중 - 변위 관계 그래프가 톱날형태로 나타났는데, 본 연구에서는 과대 구멍이 커질수록 뚜렷한 톱날형태가 보였다.

이러한 미끄럼은 볼트가 지압이 될 때까지 계속 되었으며, 미끄럼이 종료되어 볼트가 지압을 받기 시작하면서 하중 - 변위 관계는 하중증가에 비해 변위증가가 급격해졌고, 최대하중이후에 하중이 급격히 떨어지면서 모재판이 파단 되는 일반 강재의 인장 실험 시 나타나는 하중 - 변위 곡선을 그릴 수 있었다.

그림 3.19는 인장실험에 의해 각 시험편 미끄럼강도와 최대하중을 비교 분석해보았는데 시방서의 설계허용마찰력 보다 크게 나타나서, 안전상에는 큰 문제가 없는 것을 보여주고 있으며, 과대볼트 구멍의 미끄럼강도와 최대하중은 표준 볼트구멍의 설계 미끄럼강도와 설계 최대하중보다 모두 크게 발생하였다.

그림 3.20은 볼트구멍의 크기에 따른 신장량을 보여주고 있다. 표준단면에 비교하여 과대볼트 구멍의 경우 신장량이 점점 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 모재와 덮개판 모두 과대볼트구멍인 경우가 전체적으로 크게 발생하였으며, 특히, 표준구멍일 때 시험편에서 신장량이 약 10mm로 제일 크게 발생하였다.

미끄럼강도로 부터 구한 미끄럼계수는 0.38 ~ 0.51로 구할 수 있었고, 그림 3.21에 서와 같이 대부분 고장력볼트 지압에 의한 인장파괴에 미끄럼계수 흑피표면 범위 안에

포함되는 것으로 보아 미끄럼 계수는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

그림 3.22는 시험편 응력분포도를 나타내는데 다음 그림에서 보여줄 시험편 파단모습 사진을 보면, 모든 시험편의 파단은 모재 끝부분에서 일어났는데, 그림 3.22에서 보인 바와 같이 시험편 끝부분에 응력집중현상이 일어나 하중이 증가해가면서 동시에 큰 소음과 함께 파단 되는 것을 확인할 수 있었고, M24 실험에서도 똑같은 현상을 볼 수 있었다.

표 3.8은 M22 고장력볼트 인장실험 결과 값을 토대로 설계와 실험 미끄럼강도와 최대강도, 미끄럼계수를 정리하여 보여주고 있다. 미끄럼강도는 306.6kN ~ 416.3kN 범위로 나타났으며, 미끄럼강도 변화율은 4.2 ~ 18%의 변화율을 보였다. 또한 시험편의 미끄럼 강도는 설계 미끄럼 강도 189.18kN보다 162 ~ 220% 크게 발생하였다. 한편, 최대하중은 421.7kN ~ 488.1kN 범위로 나타났으며, 최대하중 역시 각 시험편의 변화율도 1 ~ 8%의 변화율을 보였다. 최대하중의 경우에도 실험에 의한 최대하중은 표준볼트구멍의 설계 최대하중 397.88kN보다 113 ~ 122%이상 발생하였다.

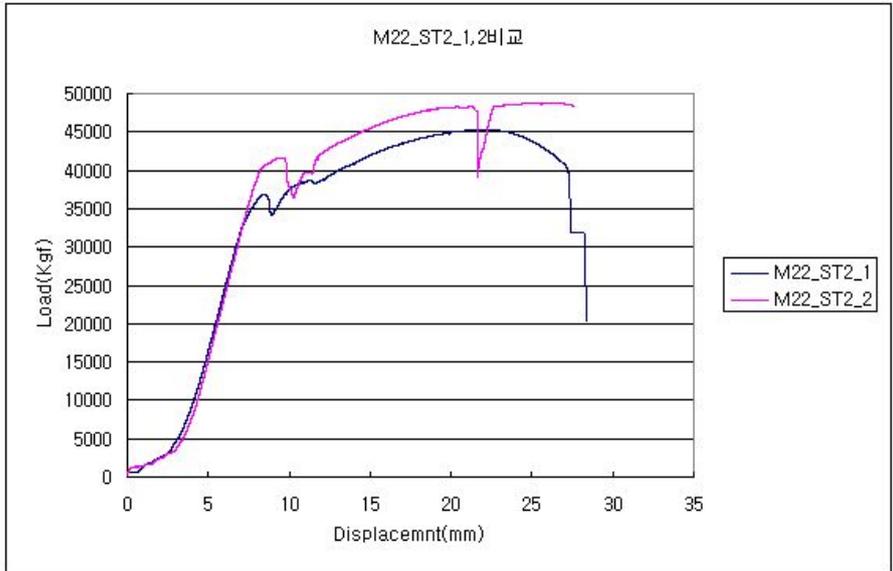


그림 3.5 M22\_ST2\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.6 M22\_ST2\_1 시험편 인장실험 후 파괴모습

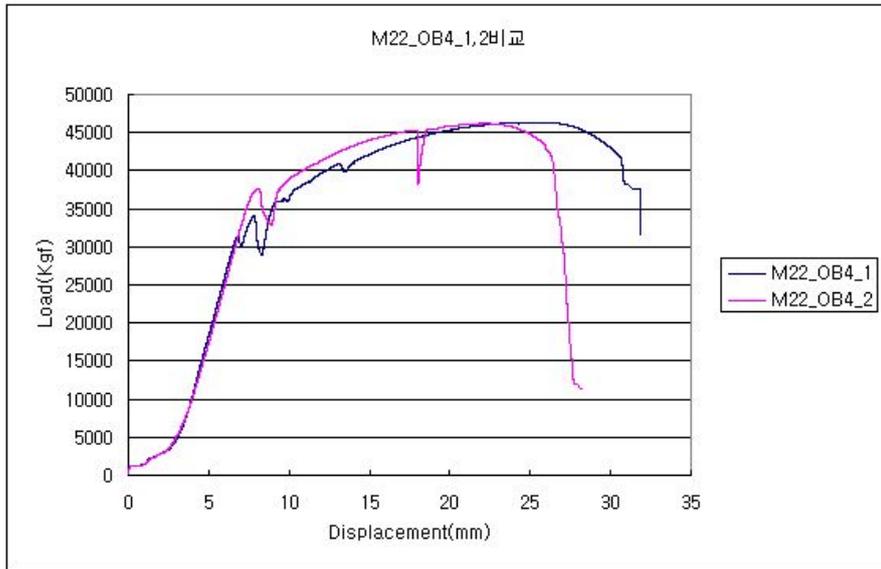


그림 3.7 M22\_OB4\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.8 M22\_OB4\_1 시험편 인장실험 후 파괴모습

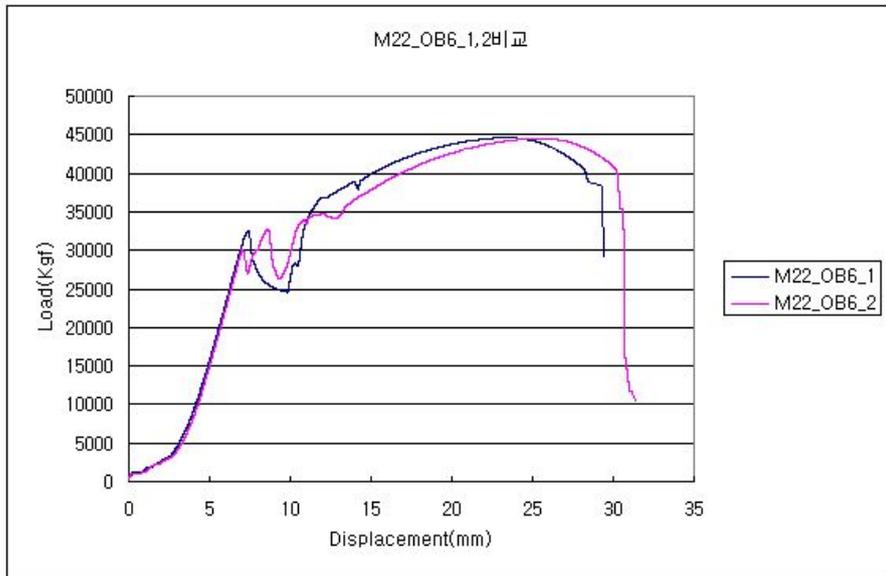


그림 3.9 M22\_OB6\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.10 M22\_OB6\_1 시험편 인장실험 후 파괴모습

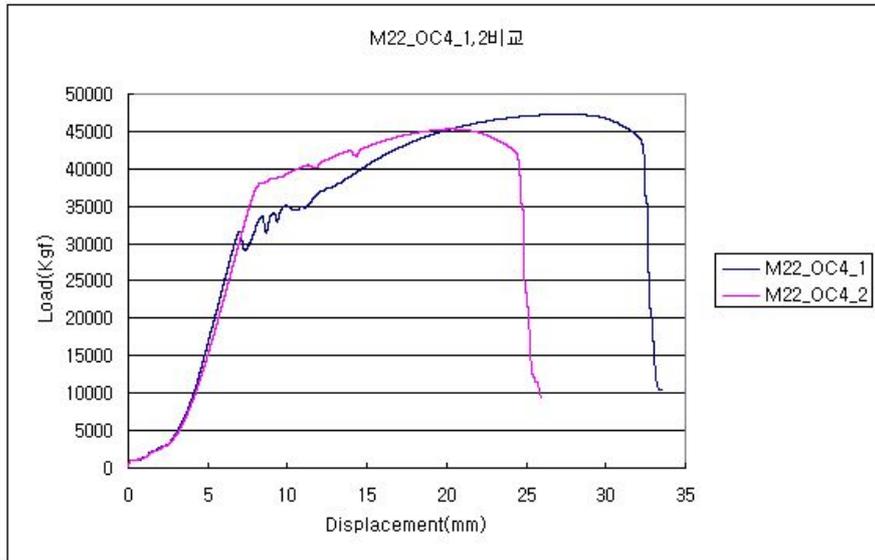


그림 3.11 M22\_OC4\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.12 M22\_OC4\_1 시험편 인장실험 후 파괴모습

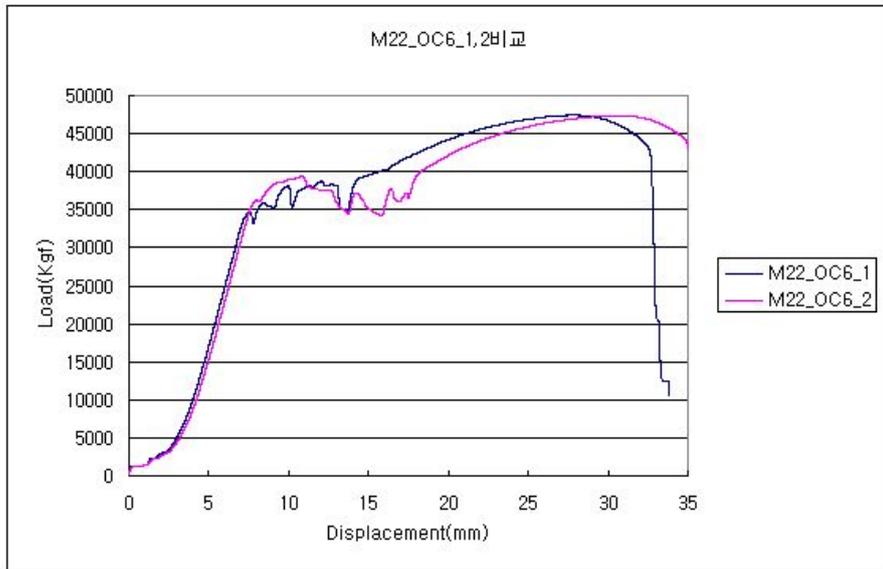


그림 3.13 M22\_OC6\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.14 M22\_OC6\_1 시험편 인장실험 후 파괴모습

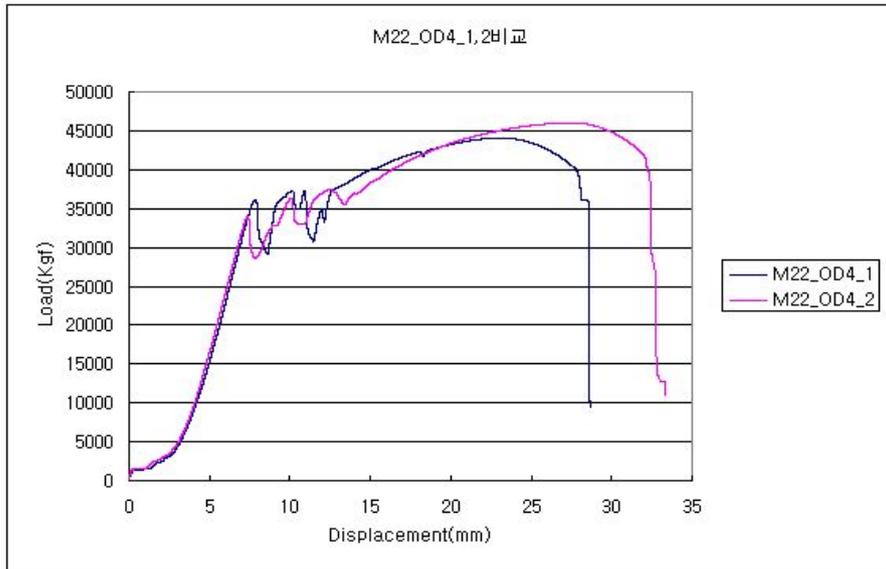


그림 3.15 M22\_OD4\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.16 M22\_OD4\_1 시험편 인장실험 후 파괴모습

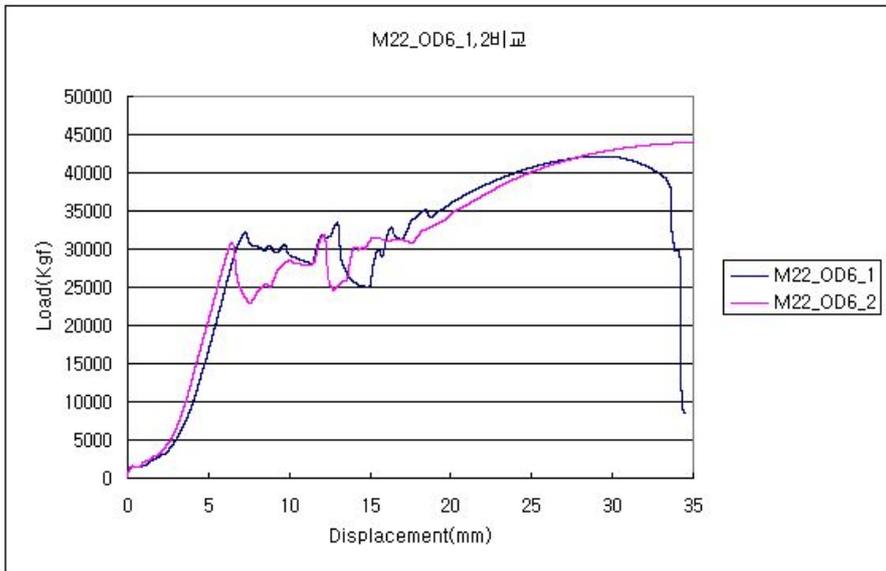


그림 3.17 M22\_OD6\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.18 M22\_OD6\_1 시험편 인장실험 후 파괴모습

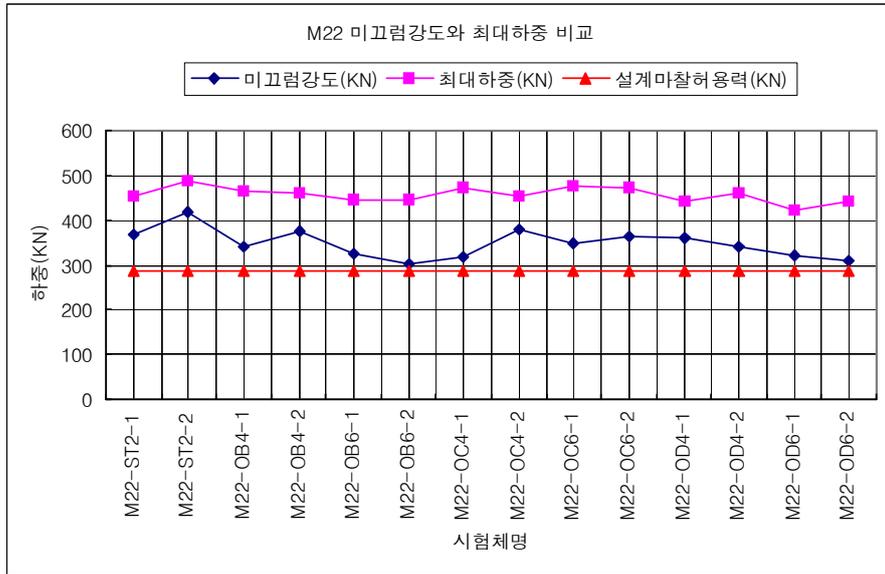


그림 3.19 M22 고장력볼트 시험편의 미끄럼강도와 최대하중 비교

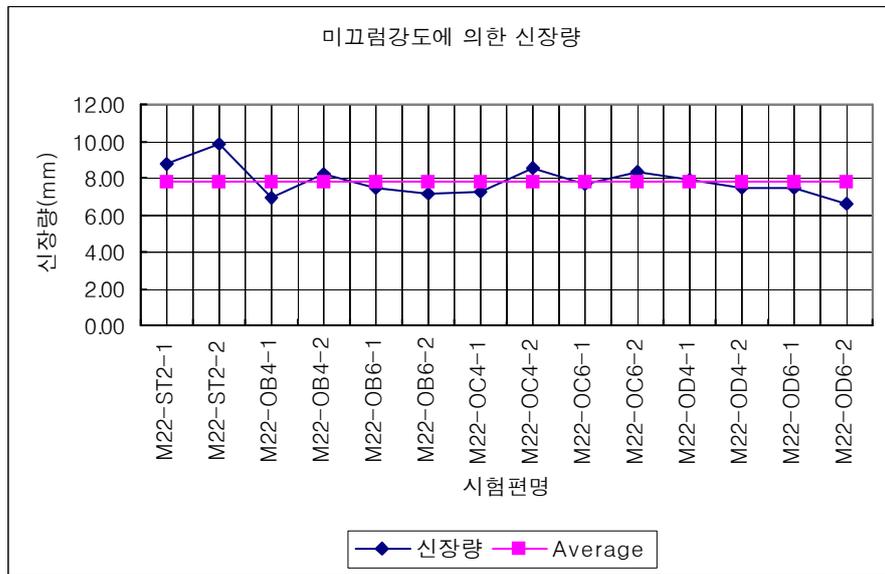


그림 3.20 M22 고장력볼트 시험편의 미끄럼강도에 의한 신장량

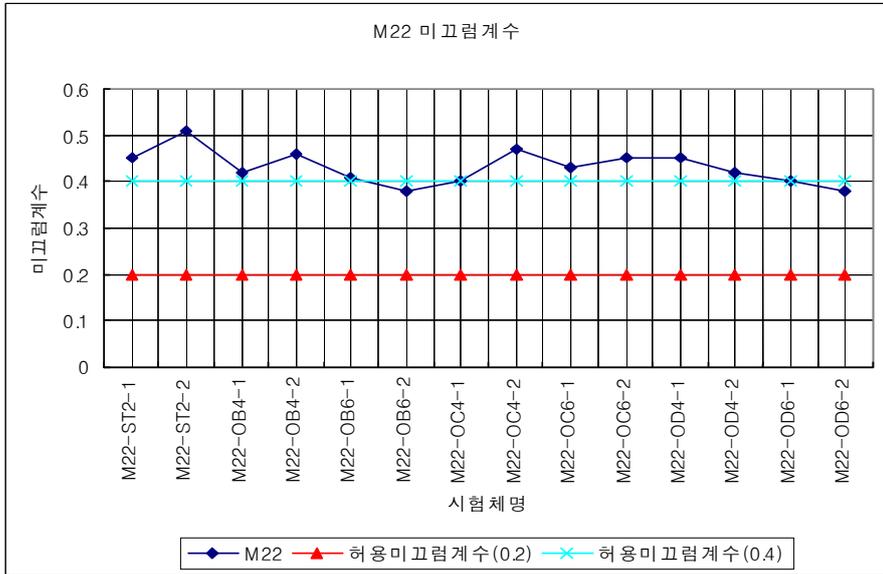


그림 3.21 M22 미끄럼계수

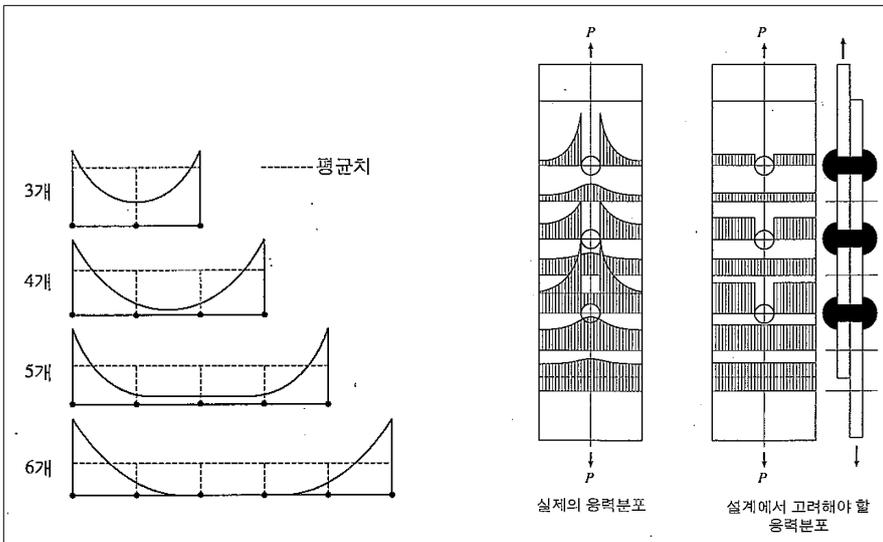


그림 3.22 시험편 응력분포도

표 3.8 M22 고장력볼트 인장실험 결과값

시험체명	미끄럼강도 (kN)		최대하중 (kN)		미끄럼계수 ( $\mu$ )	
	설계	실험	설계	실험	기준	실험
M22-ST2(1)	189.18	369.2	397.88	453.1	흑피 표면  0.20 ~ 0.40  고장력 볼트 지압에 의한 인장 파괴	0.45
M22-ST2(2)	189.18	<u>416.3</u>	397.88	<u>488.1</u>		0.51
M22-OB4(1)	189.18	339.2	384.16	463.6		0.42
M22-OB4(2)	189.18	376.1	384.16	461.8		0.46
M22-OB6(1)	189.18	325.5	370.44	446.0		0.41
M22-OB6(2)	189.18	<u>306.6</u>	370.44	445.2		0.38
M22-OC4(1)	189.18	316.3	397.88	472.8		0.40
M22-OC4(2)	189.18	381.2	397.88	453.1		0.47
M22-OC6(1)	189.18	347.7	397.88	474.2		0.43
M22-OC6(2)	189.18	362.3	397.88	473.3		0.45
M22-OD4(1)	189.18	361.1	384.16	440.8		0.45
M22-OD4(2)	189.18	340.3	384.16	460.4		0.42
M22-OD6(1)	189.18	322.1	370.44	<u>421.7</u>		0.40
M22-OD6(2)	189.18	309.2	370.44	439.5		0.38

## 나. M24 고장력볼트 인장실험

M24 고장력볼트 인장실험 또한 시험편의 모재, 덮개판의 각 구멍의 크기 형태에 따라 본 시험편 2개씩 총 14개의 시험편에 인장실험을 실시하였고, 인장 실험을 실시한 결과를 그림 3.23 ~ 3.36은 표준볼트구멍과 과대볼트 구멍설치 위치에 따른 하중 - 변위곡선과 실험 후 파단된 모습과 실험 후 보여주고 있다.

실험결과는 각 시험편들의 하중 - 변위곡선은 M22 고장력볼트 시험편의 하중 - 변위곡선과 거의 동일하게 나타났는데, 초기 미끄럼전의 변위량과 초기 미끄럼 후 내력의 저하량은 M22 고장력볼트에 비해 크게 나타났다.

그림 3.37에 인장실험에 의해 각 시험편 미끄럼강도와 최대하중을 비교 분석해보았는데 시방서에 나오는 허용마찰력 보다 크게 나타나서, 안전상에는 큰 문제가 없는 것을 보여주고 있으며, 과대볼트 구멍의 미끄럼강도와 최대하중은 표준 볼트구멍의 설계 미끄럼강도와 설계 최대하중보다 모두 크게 발생하였다. 따라서 과대볼트 구멍의 미끄럼강도와 최대하중은 표준 볼트구멍의 설계 미끄럼강도와 설계 최대하중보다 모두 크게 발생하였다. 그림 3.38 볼트구멍의 크기에 따른 신장량을 보여주고 있다. 표준단면과 비교하여 과대볼트 구멍의 경우 신장량이 점점 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 모재와 덮개판 모두 과대볼트구멍인 경우가 전체적으로 크게 발생하였으며 특히, M24-0D4 시험편에서 신장량이 최대 8mm로 제일 크게 발생하였다.

미끄럼강도로 부터 구한 미끄럼계수는 0.32 ~ 0.44로 구할 수 있었고, 그림 3.39에 서와 같이 대부분 고장력볼트 지압에 의한 인장파괴에 미끄럼계수 흑피표면 범위 안에 포함되는 것으로 보아 미끄럼 계수는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

표 3.9는 M24 고장력볼트 인장실험 결과 값을 토대로 설계와 실험 미끄럼강도와 최대강도, 미끄럼계수를 보여주고 있다. 미끄럼강도는 302kN ~ 418.2kN 범위로 나타났으며, 미끄럼강도 변화율은 2 ~ 22%의 변화율을 보였다. 또한 시험편의 미끄럼 강도는 설계 미끄럼강도 223.9kN보다 140 ~ 184% 크게 발생하였다. 한편, 최대하중은 867kN ~ 979.3kN 범위로 나타났으며, 최대하중 역시 각 시험편의 변화율은 1 ~ 3%의 변화율을 보였다. 최대하중의 경우에도 실험에 의한 최대하중은 표준볼트구멍의 설계 최대하중 815kN보다 106 ~ 120%이상 발생하였다.

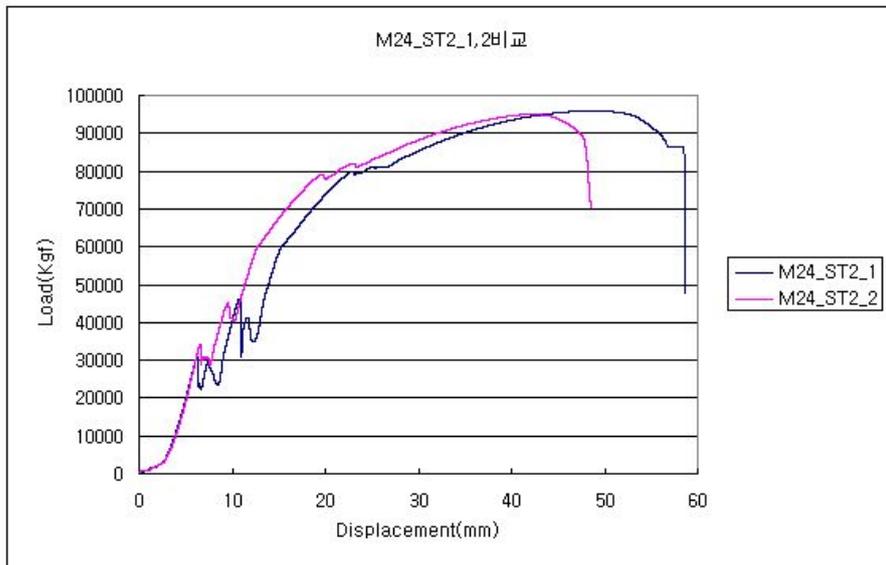


그림 3.23 M24\_ST2\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.24 M24\_ST2\_1 시험편 인장실험 후 파괴모습

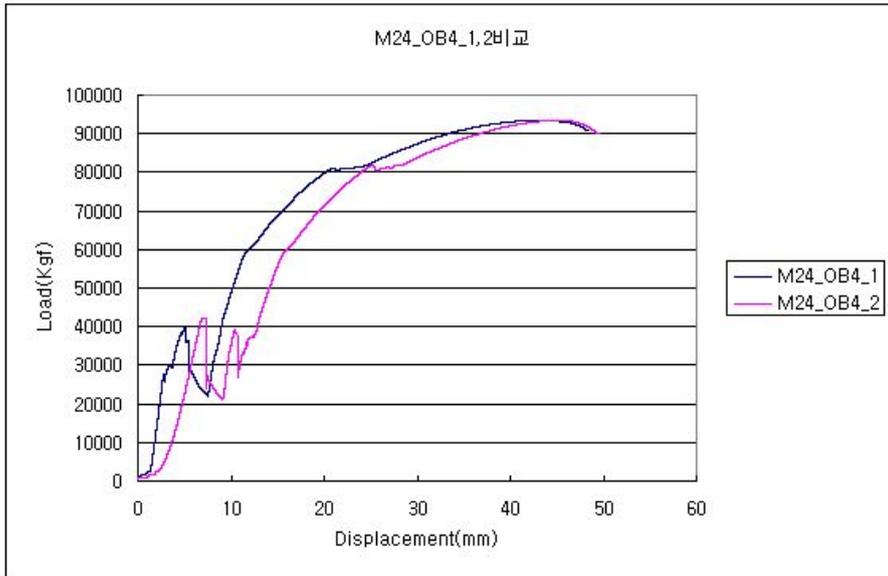


그림 3.25 M24\_OB4\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.26 M24\_OB4\_1 시험편 인장실험 후 모습

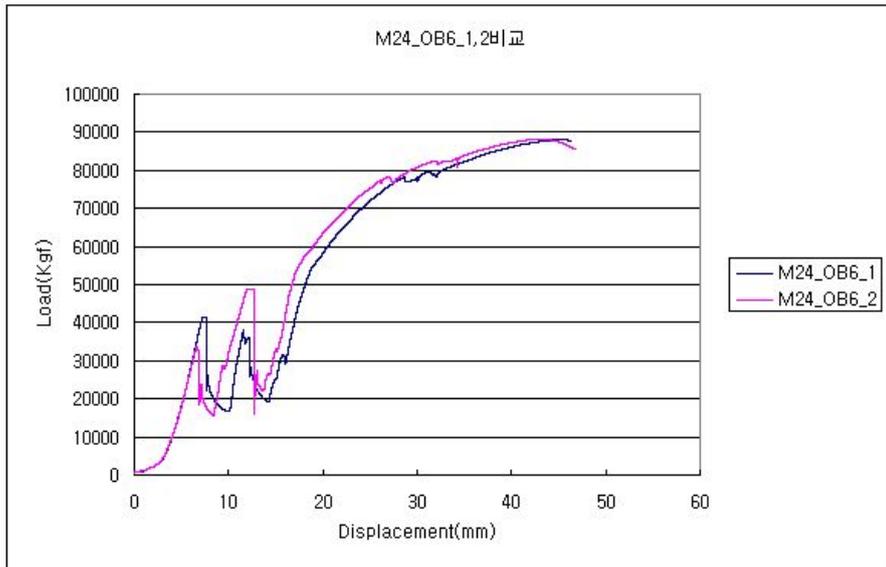


그림 3.27 M24\_OB6\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.28 M24\_OB6\_1 시험편 인장실험 후 모습

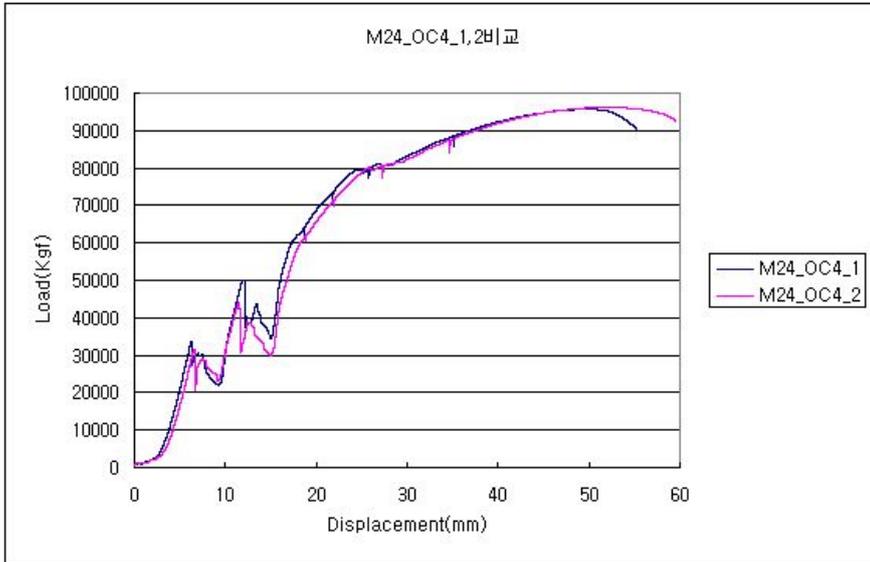


그림 3.29 M24\_OC4\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.30 M24\_OC4\_1 시험편 인장실험 후 모습

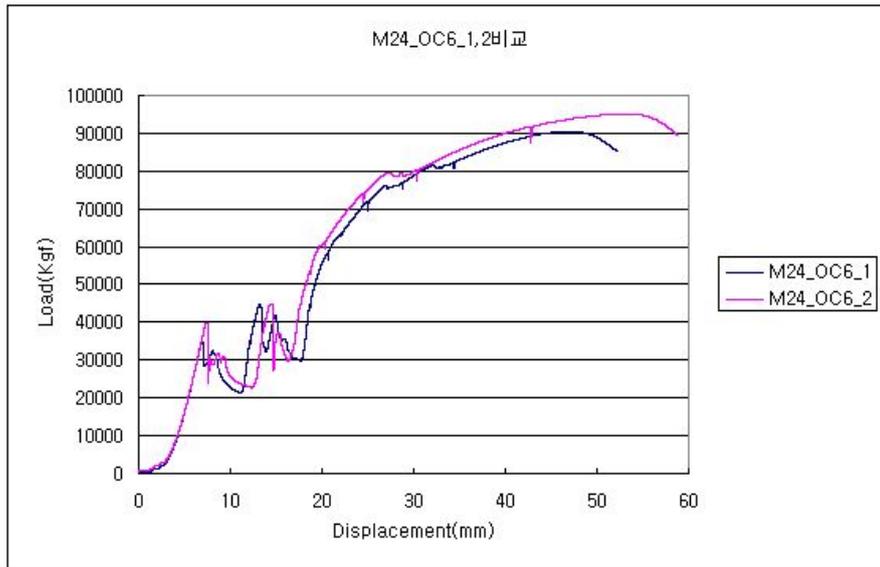


그림 3.31 M24\_OC6\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.32 M24\_OC6\_1 시험편 인장실험 후 모습

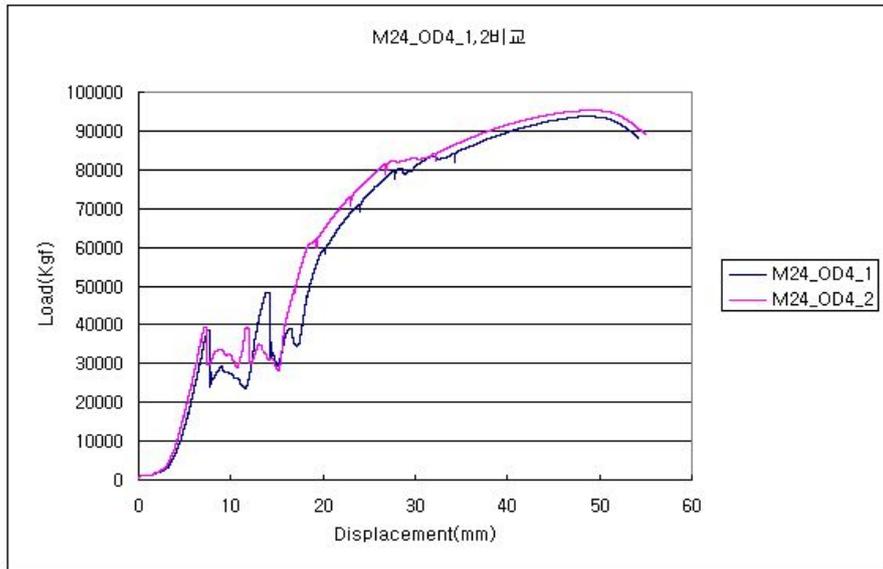


그림 3.33 M24\_OD4\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.34 M24\_OD4\_1 시험편 인장실험 후 모습

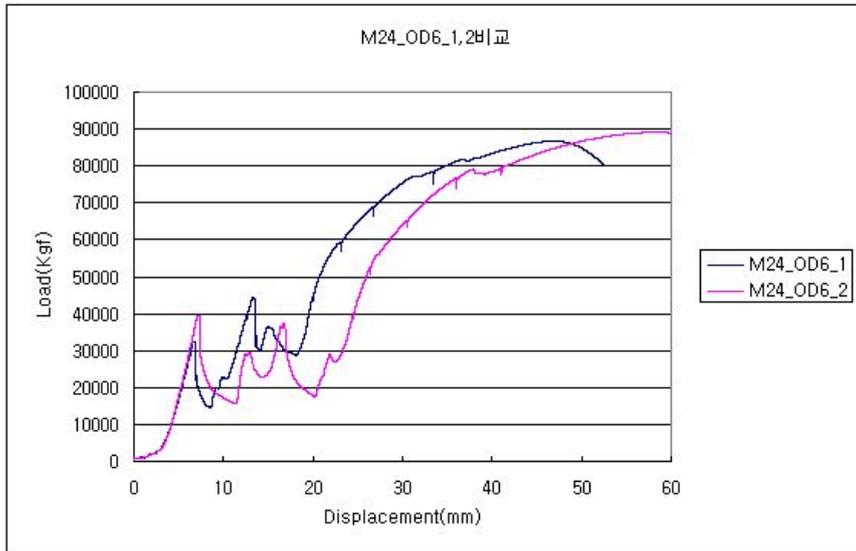


그림 3.35 M24\_OD6\_1,2 시험편 하중-변위곡선



그림 3.36 M24\_OD6\_2 시험편 인장실험 후 파괴모습

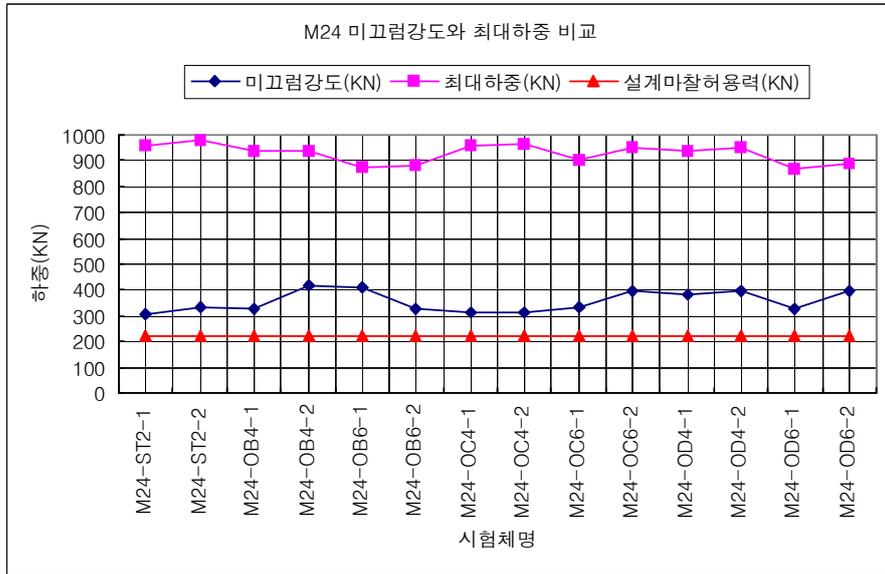


그림 3.37 M24 고장력볼트 시험편의 미끄럼강도와 최대하중 비교

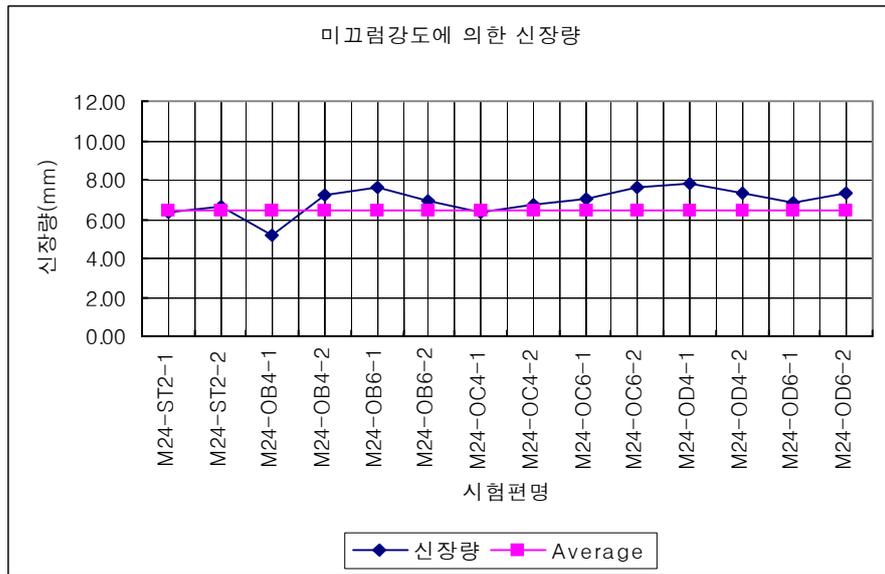


그림 3.38 M24 고장력볼트 시험편의 미끄럼강도에 의한 신장량

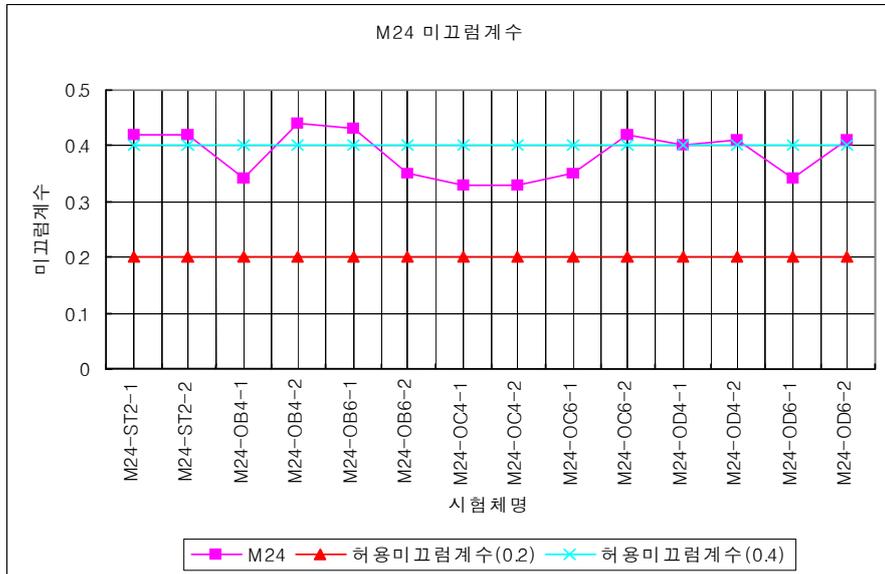


그림 3.39 M24 미끄럼계수

표 3.9 M24 고장력볼트 인장실험 결과값

시험체명	미끄럼강도(kN)		최대하중(kN)		미끄럼계수( $\mu$ )	
	설계	실험	설계	실험	기준	실험
M24-ST2(1)	223.9	402.5	815.6	973	흑피 표면  0.20 ~ 0.40  고장력 볼트 지압에 의한 인장 파괴	0.42
M24-ST2(2)	223.9	396.3	815.6	972.4		0.42
M24-ST2(3)	223.9	<u>302</u>	815.6	958.6		0.32
M24-ST2(4)	223.9	336.6	815.6	<u>979.3</u>		0.35
M24-OB4(1)	223.9	327.6	789.8	934.4		0.34
M24-OB4(2)	223.9	<u>418.2</u>	789.8	934.1		0.44
M24-OB6(1)	223.9	412.8	764.4	878.2		0.43
M24-OB6(2)	223.9	329.5	764.4	880.9		0.35
M24-OC4(1)	223.9	315.4	789.8	957.5		0.33
M24-OC4(2)	223.9	314.5	789.8	962		0.33
M24-OC6(1)	223.9	334.5	764.4	905.6		0.35
M24-OC6(2)	223.9	397.8	764.4	950.9		0.42
M24-OD4(1)	223.9	384.5	789.8	937.1		0.40
M24-OD4(2)	223.9	392.6	789.8	953.1		0.41
M24-OD6(1)	223.9	324.9	764.4	<u>867</u>		0.34
M24-OD6(2)	223.9	392.8	764.4	891.1		0.41

#### 다. M22와 M24 고장력볼트 인장실험 비교

M22와 M24 고장력볼트 인장실험을 거친 결과 미끄럼강도는 과대구멍의 크기에 따라 큰 변화는 없었으나, 최대하중에서는 커다란 변화가 있었다. M22의 모재의 두께가 14mm이며, M24의 26mm로, M24가 M22에 비해 1.8배 두꺼웠는데, 최대하중에서도 약 2배 차이가 나는 값이 나타났고, 단면적에서 약 2배 차이가 나는 재미있는 결과를 뽑을 수 있었다.

또한 M22\_OD6과 M24\_OD6일 때, 즉 과대구멍이 가장 클 때 최대하중이 가장 작게 나오는 결과 얻을 수 있었고, 하중 - 변위 그래프도 불안정하게 나타났다. 여기에서 과대구멍이 최대하중에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었다. 그림 3.40 ~ 3.46은 M22와 M24 고장력볼트 인장실험 결과를 그래프로 비교해보았다.

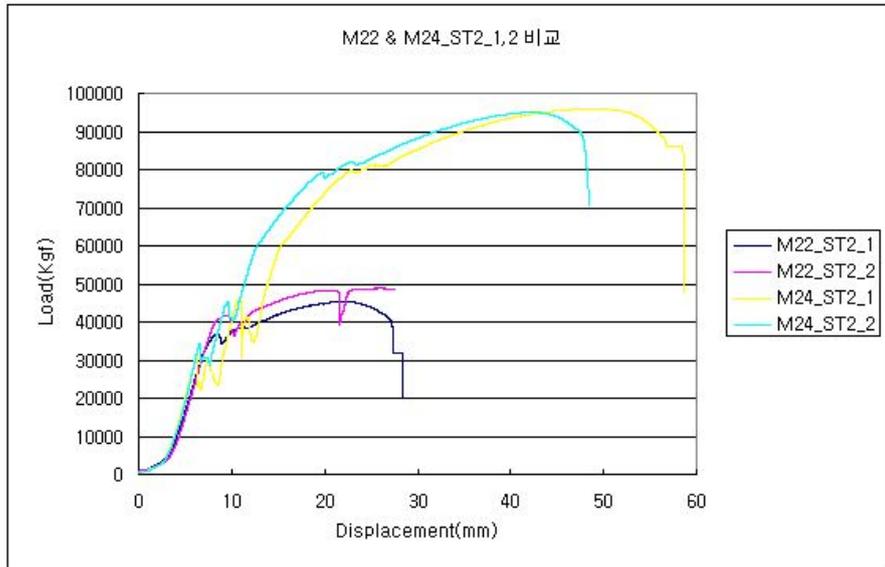


그림 3.40 M22 & M24\_ST2\_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교

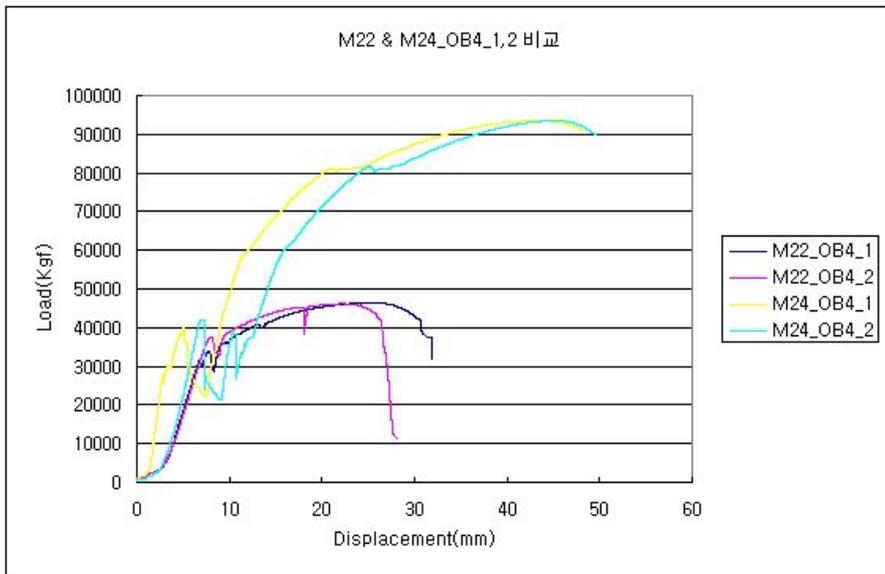


그림 3.41 M22 & M24\_OB4\_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교

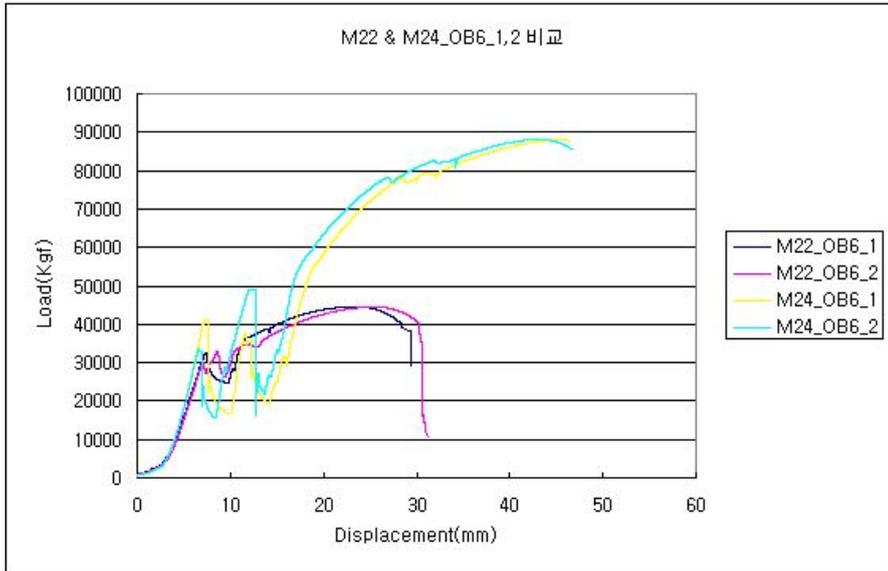


그림 3.42 M22 & M24\_OB6\_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교

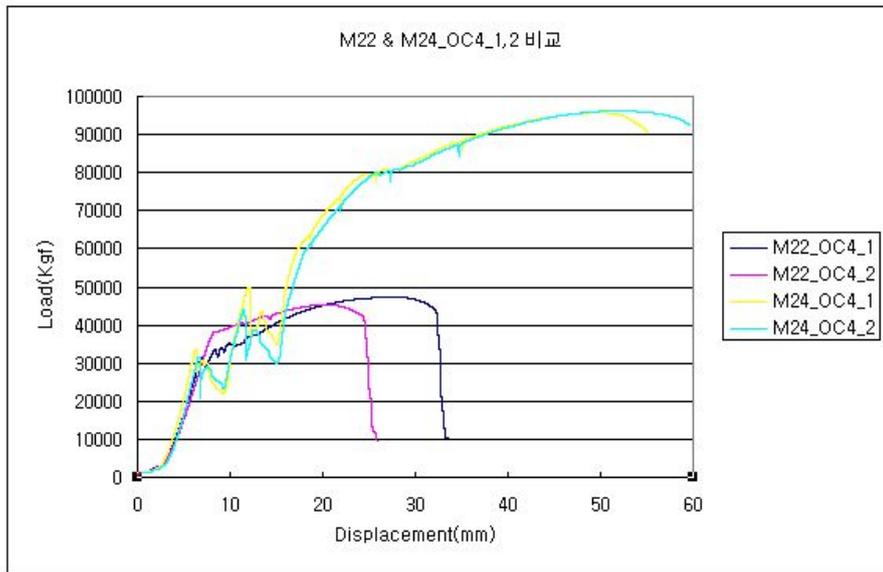


그림 3.43 M22 & M24\_OC4\_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교

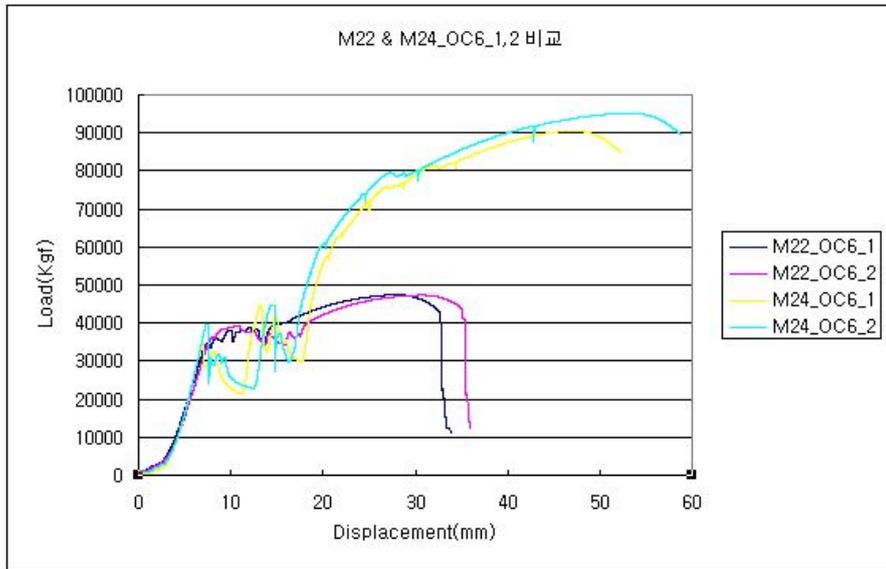


그림 3.44 M22 & M24\_OC6\_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교

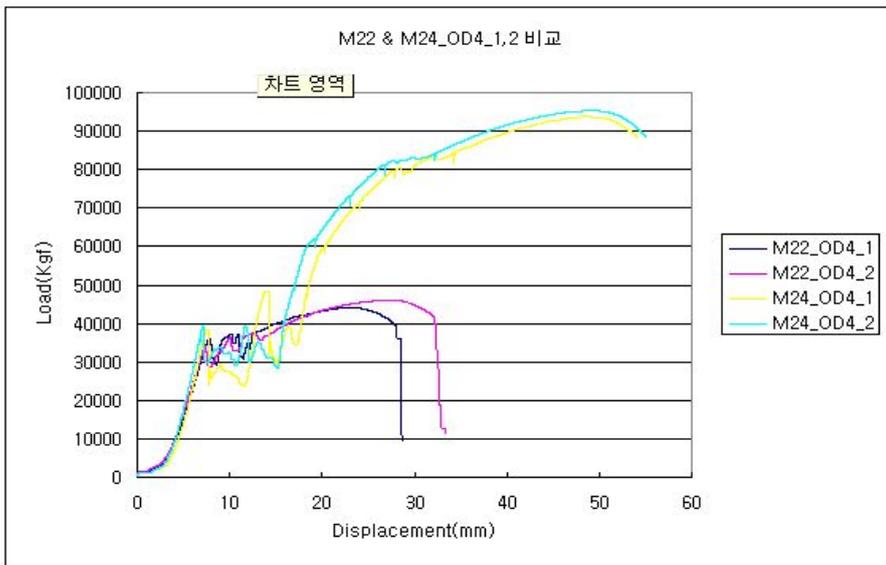


그림 3.45 M22 & M24\_OD4\_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교

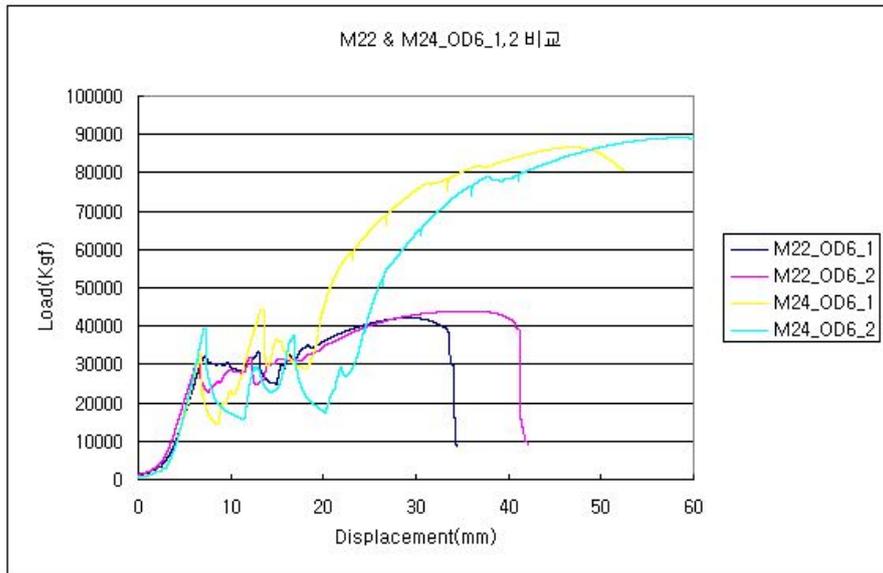


그림 3.46 M22 & M24\_OD6\_1,2 시험편 하중-변위곡선 비교

## 제 4 장 결 론

본 논문에서는 고장력볼트 마찰접합부에 대하여 볼트의 종류, 구멍크기를 실험변수로 하여 2면전단 시험편을 단순 인장 실험을 하였다. 실험결과는 고장력볼트 미끄럼접합부의 거동변화, 미끄럼강도, 최대하중, 미끄럼계수, 시험편의 파괴형상을 검토하고, 표준구멍일 때와 과대구멍일 때를 비교하여 다음과 같은 결과를 구할 수 있었다.

가. 고장력볼트 마찰접합부의 거동은 인장실험 시 나타나는 전형적인 탄성변형을 보였으며, 표준구멍보다 구멍의 직경이 커질수록 하중과 변위의 관계가 매우 불안정하게 변화하였다. 또한 시험편의 파단은 모재에서 인장에 의한 지압파괴가 발생하였으며, 파단은 볼트의 시작 또는 마지막에서 발생하였다.

나. M22와 M24 고장력볼트 인장실험 결과 미끄럼강도는 볼트직경의 크기에는 큰 영향을 받지 않았지만, 최대하중의 경우에는 모재와 덮개판의 직경이  $d+6\text{mm}$  인 경우 약간 감소하였다. 그러나 설계마찰허용력 보다는 최대하중이 더 크게 나타나서 안전상에 문제는 없지만, 시방서에 규정한  $d+2.5\text{mm}$ 에 가까울수록 미끄럼강도와 최대하중이 큰 것으로 나타났다.

다. 미끄럼계수 값은 0.32 ~ 0.51로 나타나, 표준구멍과 과대구멍에 대한 미끄럼계수 값은 큰 변화가 없었으며, 시방서에서 규정한 범위 내에서 발생하였다.

라. 과대볼트 구멍의 위치 따른 모재, 덮개판, 모재 + 덮개판에 미끄럼강도, 최대하중의 큰 차이가 없어 과대볼트구멍을 어느 위치에 설치하여도, 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

마. M22 볼트 미끄럼강도는 설계 미끄럼강도 보다 162 ~ 220% 크게 발생하였으며, 최대하중도 설계최대하중보다 113 ~ 122% 크게 나타났다. M24 볼트 미끄럼강도는 설계 미끄럼강도보다 140 ~ 184% 크게 발생하였으며, 최대하중도 설계최대하중보다 106 ~ 102% 크게 나타났다. 이 결과로 부터 모든 미끄럼 강도와 최대하중이 설계 강도 보다 크게 발생하여 충분한 내하력을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. 박용명, 성택룡, “내후성강재 고장력볼트 이음부 미끄럼계수 평가 실험(1)” 한국강구조학회 논문집 제 12권 2호 2000년 4월
2. 박용명, 성택룡, “내후성강재 고장력볼트 이음부 미끄럼계수 평가 실험(2)” 한국강구조학회 논문집 제 12권 2호 2000년 4월
3. 성택룡, 황민오, 이종관, 윤태양, “고장력볼트 마찰이음에 있어서 미끄럼계수와 마찰계수에 대한 고찰” 한국강구조학회 학술기사 제 19권 3호 2007년9월
4. 조선규, 홍성욱, “표면상태에 따른 고장력볼트 마찰이음부의 거동특성에 관한 연구” 한국강구조학회 논문집 제 9권 3호 1997년9월
5. 이승용, 박영훈, 조선규, 장동일, “과대공을 갖는 고장력볼트 이음부의 역학적 거동에 관한 실험 및 해석적연구” 한국강구조학회 논문집 제 10권 3호 1998년9월
6. 이승용, 경갑수 “고장력볼트 마찰이음의 합리적 설계 및 시공에 관한 연구” 대한토목학회논문집 제26권 제3A호 2006년 5월
7. 이승용, 경갑수, 박용걸(2001) 고장력볼트 마찰이음에서 모재 틈새간격의 영향. 대한토목학회논문집, 제 21권, 제 2-A호, pp.269 ~ 278
8. 이승용, 경갑수, 성기태(2000) 채움판을 갖는 고장력볼트 이음부의 미끄러짐 거동, 대한토목학회논문집, 제 20권, 제 6-A호, pp.1005 ~ 1015
9. 이승용, 경갑수, 장동일(1999) 방청처리한 고장력볼트 이음부의 릴렉세이션 및 미끄러짐 거동에 관한 실험적 연구. 대한토목학회논문집, 제 19권, 제 1-5호 pp.697 ~ 705
10. 경갑수, 이승용, 김기현 “도장처리한 고장력볼트 연결부의 미끄러짐 특성에 관한 연구” 대한토목학회논문집 제28권 제5A호 2008년 9월
11. 김홍영, 양성철, 신철호, 나도상 “고장력볼트(F10T등급) 조임방법의 개선 한국강구조학회 논문집 제 17권 4호 2005년 12월
12. 노원경, 김진호, 최성모, “과대구멍 또는 슬롯구멍을 갖는 고력볼트 마찰이음부의 거동에 관한 실험적 연구” 한국강구조학회학술발표 논문집 2004년 6월
13. 임동영, 김석중, “過대구멍을 가진 高力볼트 摩擦接合部の 構造的 舉動” 한국강구조학회학술발표 논문집
14. “강구조공학” 한국강구조학회, 구미서관, 2007년 1월
15. “강구조공학” 송기범, 형설출판사, 1999년 8월

16. 건설교통부제정 “도로교 표준시방서” (2005)
17. 강구조 볼트접합 설계기준 및 시방서 개선 연구 (2007)
18. 이승용 “고장력볼트 이음부의 역학적 거동에 영향을 미치는 제인자의 평가” 박사학위논문, 한양대학교(1998)
19. 한지만 “과대구멍을 가진 고력볼트 마찰접합부의 구조거동에 관한 실험적 연구” 석사학위 논문, 강원대학교(2000)
20. 노원경 “ SM570 강재 마찰접합부의 미끄럼계수 및 특성에 관한 연구” 석사학위논문, 서울시립대학교(2004)
21. 이통우 “과대구멍을 갖는 고장력볼트 이음부의 거동에 관한 실험적 연구” 석사학위논문, 중앙대학교(2005)
22. 이종화 “고장력볼트 마찰이음의 합리적 설계 및 시공에 관한 연구” 석사학위논문, 충주대학교(2005)
23. 성택룡 “극후판 마찰이음의 미끄럼계수 및 단차의 영향에 관한 연구” 서울대학교, 박사학위논문(2007)
24. “MANUAL of STEEL CONSTRUCTION” , AISC, Load and factor Design, Third Edition, Novemver 2001.
25. "Manual of STEEL CONSTRUCTION", ALSC, Allowable Stress Design, Ninth Edition,1989.
26. "DESIGN OF STEEL STRUCTURES", Third edition, Edwin H. Gaylord, Jr, Charles N. Gaylord, James E. Stallmeyer, McGraw-Hill, Inc. 1992
27. Peter C. Birkemoe, and Ramachandran Srinivasan, "Fatigue of Bolted High Strength Structural Steel",Journal of the Structural Division,1971.3.
28. John W, Fisher, Theodore V. Galambos, Geoffery L. Kulak, Mayasandra K. Ravindra, "Load and Resistance Factor Design Criteria for connectors", 1978.9
29. Ronald N. Allan, A.M. ASCE and John W. Fisher. M. ASCE, "Bolted Joints with Oversize or Slotted Holes", Journal of the Structural Division, ASCE, September.1968
30. Geoffrey L. Kulak, John W. Fisher, john H,A.Struik, "Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints", second edition, John Wiley & Sons, Inc.1987

31. AASHTO LRFD Bridge Design Specification.1998
32. AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges, 17th Edition. 2002
33. Eurocode3 Part2, Steel Bridges. 2003
34. ISO Steel Structures – Part1 Material and Design. 1997
35. Allan, R.N and Fisher, J W, Bolted Joints with Oversize or Slotted Holes, Journal of Structural Division, Proc of the ASCE, Vol.94, No.ST, pp2061~2079 1968
36. Chesson, E, Jr.and Munse, W.H, Studies on the Behavior of High Strength Bolts and Bolted Joints, Bulletin No.469, Vol.62, No.26, University of illinois Engineering Experiment Station, University of illinois. 1964
37. Hectman, R. A. Condition Affecting the Slip of Structural Steel Bolted Joints, The Trend in Engineering, University of Washington, Vol.1, No.4, pp12~18. 1949
38. Wilson, W.M. and Thomas, F.P. Fatigue Test on Riveted Joints, Bulletin No.302 University of illinois Engineering Experiment Station, University of illinois. 1938
40. 日本道路協會, 道路橋示方書. 同解説 II 鋼橋編. 2002
41. 日本建築學會, 鋼構造接合部設計指針. 2001
42. 西村昭, 山野繁行, 石澤成夫(1971) : 過大穴を有する摩擦接合の力學的成狀について, 日本土木學會第26回年次學術講演會概要集
43. 西村昭, 島田喜十郎, 今村成雄, 湯治秀郎(1972) : 高力ボルト継手の疲勞強度におよぼす諸要因の影響, 日本土木學會第27回年次學術講演會概要集
44. 西村昭, 松本忠夫, 宇藤滋(1979) : 高力ボルトのすべり係數についての實驗, 日本土木學會關西支部概要集, pp. 1501 ~ 501
45. 田島二郎, 吉田定太郎, 三塚寅雄, 富澤光男(1969) : 大きなボルト孔の摩擦係數のすべり 耐力, 日本土木學會第24回年次學術講演會概要集
46. 田中淳夫, 小久保勲, 夏本憲正(1974) : 高力ボルト摩擦接合に関する研究(過大穴と目違いの問題について), 日本建築學會學術講演會概要集