

# 고력볼트 Split Tee 접합부의 인장내력

## Structural Tensile Capacities of Split-Tee Connection with High Strength Bolts

최혜경<sup>1)</sup> · 최성모<sup>2)</sup> · 김진호<sup>3)</sup>

*Choi, Hye kyoung Choi, Sung mo Kim, Jin ho*

요약 : 고력볼트 인장접합 형식인 Split Tee 접합은 접합부의 효율성과 시공성이 우수하여 유럽 등지에서는 중저층의 건축물에 많이 적용되고 있으나 국내에서는 널리 사용되지 않은 상황이다. 이는 고력볼트와 Split-Tee를 구성하는 판재의 강성에 따라 지레작용의 효과를 포함하는 볼트의 인장·전단파괴와 Split-Tee의 소성파괴가 상호작용을 일으켜 해석과 설계가 복잡하다는 점과 시공상의 정밀도 확보가 쉽지 않기 때문이다. Split Tee 접합에 관한 연구는 미국, 일본, 유럽 등지에서 다양한 방법으로 진행되고 있지만 국내의 경우 아직 초보적 단계에 머물고 있다. 본 연구에서는 실험을 통한 Split-Tee 접합부의 거동, 즉 지레작용의 영향과 그에 따른 반력작용의 특성을 파악하여 Split-Tee 접합 설계를 하는데 있어 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

ABSTRACT : Split-tee connection with High Strength Bolts is normally used in low and middle rise buildings in Europe, because the structural efficiency and installation work of connections are excellent. However, the domestic situation is different from that in Europe. The analysis and the design for the T-split connection are complicated, because the structural behavior of the T-split connection with High Strength Bolt is governed by so many parameters, i.e., prying action, bolt's tension, shear failure and plastic failure of flange plates. Many researches regarding the structural behavior of the split-tee connection have been undertaken in other parts of the world, such as the, Americas, Japan and Europe, but in the domestic context, this is a pioneering study. Therefore, the purpose of this paper is to supply basic data for the design of T-split connection, and to verify the structural characteristics that define reactions to prying action, based on an experimental study.

핵심용어 : 고력볼트, Split Tee(T-stub), 기둥-보 접합, 지레작용, 인장·전단 파괴, 소성파괴

KEYWORDS : High Strength Bolt, Split Tee(T-stub), Column-Beam Connection, Prying action, Tension·Shear Failure, Plastic Failure

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근 구조물의 거대화 및 세장화 됨에 따라 콘크리트 구조물에 비해 자중이 작고 강성이 큰 강구조물의 비중이 커지고 있다. 이에 따라 강구조의 골조를 이루는 기둥-보의 접합부, 주각 및 각 부재의 이음 부분에 대한 중요성이 어느 때보다 더욱 부각되고 있다.

Split-Tee 접합은 고력볼트를 이용한 기둥-보 접합으로, 용접접합에 비하여 품질 관리가 용이하고, 내력과 변형 능력

이 우수하여 설계 방법에 따라 반강접 또는 기타 강접 접합부에 가까운 거동을 낼 수 있다는 장점이 있다. 그러나 고력볼트와 Split-Tee를 구성하는 판재의 강성에 따라 지레작용 효과를 포함하는 볼트의 인장·전단파괴와 Split-Tee의 소성파괴가 상호작용을 일으켜 해석과 설계가 복잡하다는 점 때문에 국내에서는 널리 사용되지 않은 상황이다. Split-Tee 접합에 관한 연구는 미국, 일본, 유럽 등지에서 다양한 방법으로 진행되고 있지만, 국내의 경우 아직 초보단계에 머물고 있다.

본 연구는 우혜성 등(2002)과 마영민 등(2002)의 각국 설계기준 비교를 기본으로 Split-Tee 접합부에 지레작용이 미치는 영향과 T-플랜지 및 볼트 축력 작용의 특성을 파악하

- 1) 정희원, 강원대학교 건축공학과 산업대학원 석사과정 (Tel:011-376-7256, FAX:033-250-6219 E-mail:treehom21@empal.com)
- 2) 정희원, 서울시립대학교 건축공학과 조교수, 공학박사(sm@uos.ac.kr)
- 3) 정희원, 포항산업과학연구원 강구조연구소 책임연구원, 공학박사(jinho@rist.re.kr)

본 논문에 대한 토의를 2004년 4월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

여 Split-Tee 접합 설계를 하는데 있어 필요한 기초 자료 제 공을 목적으로 한다.

## 1.2 연구내용 및 방법

본 연구는 고력볼트를 이용한 Split-Tee 접합을 대상으로 하였다. Split-Tee 접합은 강구조의 기둥-보 접합에서 보에 모멘트가 발생하면 보의 상부 플랜지는 인장력을, 하부 플랜지는 압축력을 받게 된다. 이때 상단 플랜지의 인장력은 Split-Tee와 볼트를 통해 기둥으로 전달된다. 이와 같은 인장력으로 T-플랜지에 지레작용이 일어나면서 휨 변형을 일으 키게 된다.

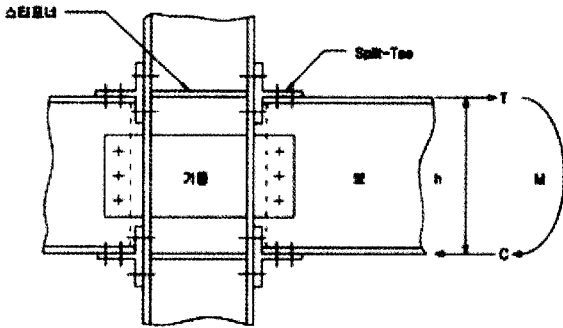


그림 1. 기둥-보 Split-Tee 접합부의 작용

실험은 접합 내력에 영향이 가장 큰 T-플랜지 두께를 주변 수로 하고, 볼트 내력(여기서는 볼트 지름을 말함), 볼트 위치(볼트와 T-플랜지의 연단/편심거리를 말함), Shim의 설치 여부, 초기장력을 보조변수로 하였다.

실험방법은 Split-Tee를 대칭으로 하여 T-플랜지 양측에 각각 볼트 하나만 체결하는 것으로 한정하였다. 각각의 실험 체들에 대하여 접합부의 거동특성을 파악할 수 있도록 접합부 가 내력을 잃을 때까지 가력 하였다.

## 2. Split-Tee 인장접합부의 거동

### 2.1 인장접합의 특징

Split-Tee 접합은 고력볼트를 이용한 기둥-보 접합에서 강접합의 방식으로 사용되는 형태로, Split-Tee를 이용하여 기둥-보 접합을 할 경우 인장력에 의한 지레작용을 생각해야 한다.

인장력이 작용할 때에 부재의 압축력과 균형된 상태가 되면 볼트에 부가된 축력은 미소하게 된다. 이때 접합부의 변형이 작게 나타나고 강성이 크게 작용하면 조립·시공시에 편리

한 상태가 된다. 그러나 볼트에 일어나는 부가 응력의 정도, 이음부의 강성, 이음부 재편에 일어나는 응력 상태 등의 변동 폭이 이음부의 구조세목 여하에 따라 다르게 나타난다.

또한 인장외력이 볼트의 체결력에 가까워지면 부재가 분리 되기 시작하면서 이음부의 강성이 저하된다.(강구조학회, 1995)

## 2.2 Split-Tee 접합부 연구의 기본 이론

각 국의 연구자들은 Split-Tee 접합을 연구할 때 공통적으로 다음의 가정을 세운다.

첫째, T-플랜지를 보로서 취급한다(T-플랜지 폭 방향의 변화를 무시하며 선재로서 취급한다. 휨의 영향을 중시해 전단력의 영향은 생각하지 않는다.).

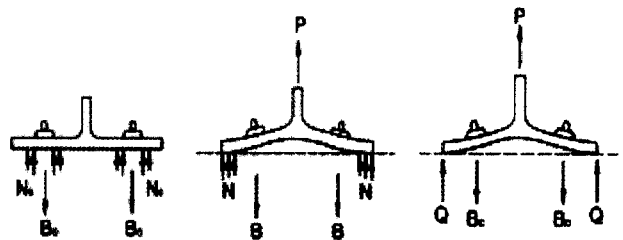
둘째, 지렛대 반력은 집중력이라고 생각한다.

셋째, 접합부의 형상은 T-웹에 관해 대칭을 원칙으로 한다.(일본건축학회, 1993 ; Roberto T. Leon, 1999; Geoffrey L. Kular외 2인, 1987 ; Eurocode 3, 1992)

## 2.3 지레작용의 영향

그림 2에서는 하중의 영향으로 압축력이 플랜지 끝단 쪽으로 이동하면서 발생한 플랜지의 휨을 볼 수 있다.

볼트 인장은 적용된 모든 힘과 관련하여 변화되면서 증가한다. 충분히 단단하게 접합된 부분은, 힘이 이동해도 휨이 일어나지 않으며 지레작용도 일어나지 않는다. 여기서 추가력 Q는 지레작용을 일으키며, 이것을 지레력(prying force)이라 부른다. 외부 하중 보다 먼저 볼트 중심 주위에는 압축력 N<sub>0</sub>가 일반적으로 적용된다.(William T. Segui, 1994.)



(a)외부하중 적용 전 (b) 외부하중 적용 후 (c) 지레력이 최대일 때

그림 2. 지레력에 의한 Split-Tee의 변형

## 2.4 T-플랜지 두께의 영향

T-플랜지의 두께가 얇으면, 지레력이 크게 일어나 T-플랜지의 휨과 그에 따른 볼트 반력이 크게 작용한다. 그러나

T-플랜지의 두께가 두꺼우면, 플랜지의 휨이 일어나지 않으며 볼트 반력도 크게 작용하지 않는 것으로 나타나고 있다.

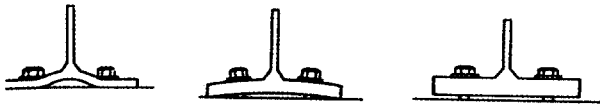


그림 3. 하중에 따른 지레력과 플랜지 두께와의 관계

T-플랜지의 두께에 따라 지레작용에 차이가 나는 것은 접합 내력과 고력볼트 내력 차이로, 플랜지의 두께가 얇으면 고력볼트 접합부분에 이간이 발생하기 전에 플랜지에 항복이 발생하여 최종적으로는 T-웨브와의 연결부분 가까이에서 플랜지가 휘면서 과도하게 된다. 이것은 접합 내력이 고력볼트내력에 비해 상당히 작기 때문에 과도한 지레반력이 작용한다고 볼 수 있다. (日本鋼材價樂部 1997. 3)

### 2.5 볼트축력의 영향

2장의 판이 고력볼트의 초기장력  $T_0$  로 체결되면, 압축력  $C_0 = T_0$  가 된다. 고력볼트로 접합된 2장의 판에 인장력  $P$  가 작용하면, 볼트축력은 그림 4와 같이 작용한다.

그림 4(a)는 고력볼트의 초기장력  $T_0$  에 의해 체결된 2장의 판 내부에 인장력  $P$  가 작용하는 것으로, 인장력  $P$  의 영향으로 판 두께가 수축되는 것이 정상적인 현상이지만, 고력볼트로 인해 초기에 주어진 압축력  $C_0$  가 인장력  $P$  와 대등한 힘의 작용을 하기에 판 두께가 변하는 현상은 나타나지 않는다. 따라서 그림 4(a)는,

$$P + (T_0 - P) = T_0$$

가 된다. 이때, 볼트의 인장응력은 변하지 않는다.

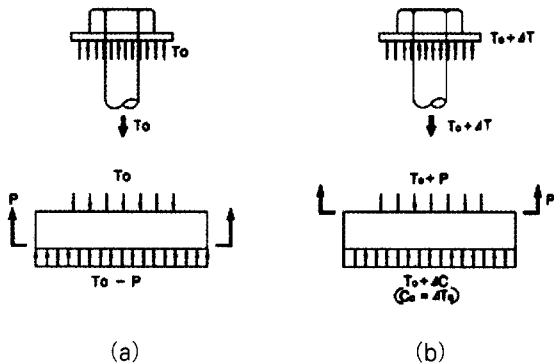


그림 4. 하중 작용에 의한 볼트의 거동

그림 4(b)는 판과 고력볼트가 접촉하고 있는 면에 인장력  $P$  가 작용하는 것으로, 인장력  $P$  가 판 내부에 있는 압축력  $C_0$  보다 크게 작용함으로써 볼트 장력의 변화를 가져온다. 이때, 인장력  $P$  가 작용하기 전의 판 두께를  $T$  라고 하고, 인장력  $P$  에 의해서 늘어난 판 두께를  $\phi T$  라 하면, 판에 생기는 변형도는  $\epsilon = \frac{\phi T}{T}$  가 된다. 이때,  $\phi T$  은 인장력  $P$  에 의해 늘어난 단순한 판 두께의 크기뿐만 아니라, 2장의 판을 접하고 있는 볼트에 영향을 주는 요인으로 작용하고 있기에,  $\phi T$  을 다음 식과 같이 나타낸다.

$$\phi T = A_B E \epsilon \quad (A_B \text{ 는 볼트의 단면적}) \text{가 된다.}$$

인장력  $P$  가 작용하면, 고력볼트의 응력  $T$  는,

$$T = T_0 + \frac{A_B}{A_P + A_B} P \quad (1)$$

가 되고,

판의 압축력  $C$  는,

$$C = T_0 - \frac{A_B}{A_P + A_B} P \quad (2)$$

가 된다.

이때, 이간하중  $P_s$  를  $C = 0$  로 놓으면,

$$P_s = \left( 1 + \frac{A_B}{A_P} \right) T_0 \quad (3)$$

가 된다.

실제로 Split-Tee 접합부에 인장력이 작용하면, 그림 4(b)와 같이 작용하는 것으로 나타나고 있다. (日本鋼材價樂部, 1997)

## 3. 실험

### 3.1 실험체 계획

Split-Tee 접합 거동에 영향을 주는 변수 중에서 접합 내력에 영향이 가장 큰 T-플랜지 두께를 주 변수로 하고, 볼트 위치(볼트와 T-플랜지의 연단/편심거리를 말함), 볼트 내력(여기서는 볼트지름을 말함), Shim의 설치여부, 초기

장력을 보조변수로 하였다. 실험체는 2개의 T형 부재(Split-Tee)를 대칭의 형태로 T-플랜지를 맞붙힌 후 T-웨브에 대하여 양측에 볼트를 하나씩 체결하였다. T형 부재는 SS 400 강종 H형강의 웨브 부분을 절단하여 제작한 것이며, 볼트는 현재 국내에서 많이 사용되고 있는 F10T로 지름이 M20, M22를 사용하였다.

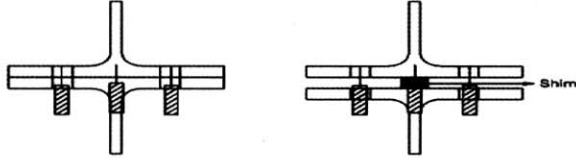


그림 5. Shim 설치 유·무에 따른 형상

표 1. 실험체 치수

실험체명	a	b	tf	tw	r	전체 폭	w	볼트 지름	Shim 설치	초기 장력
ST10T-17a	60	60							무	
ST10T-17a-S	60	60							유	
ST10T-17b	50	70	17	12					무	100%
ST10T-17c	40	80							무	
ST10T-17d	30	90							무	
ST10T-20a	60	60							무	
ST10T-20b	50	70	20	13					무	100%
ST10T-20c	40	80							무	
ST10T-20d	30	90							무	
ST10T-24a	60	60							무	
ST10T-24a-S	60	60							유	
ST10T-24b	50	70	24	14				M20	무	100%
ST10T-24b-S	50	70							유	
ST10T-24c	40	80			28	240	150		무	
ST10T-28a-1	60	60							무	1차 조임
ST10T-28a-2	60	60							무	40%
ST10T-28a-3	60	60							무	60%
ST10T-28a-4	60	60	28	16					무	80%
ST10T-28a	60	60							무	100%
ST10T-28a-S	60	60							유	100%
ST10T-28c	40	80							무	100%
ST10T-17a	60	60	17	12					무	100%
ST10T-20a	50	70	20	13				M22	무	100%
ST10T-24a	40	80	24	14					무	100%
ST10T-28a	30	90	28	16					무	100%

-S : Shim이 쓰인 실험체

ST10T-17 a-S

- Split Tee강종 : S (SS 400)
- 볼트 종류 : F10T
- tf 두께 : 17, 20, 24, 28
- 볼트 구멍 위치 : a (a/b = 60/60)
- b (a/b = 50/70)
- c (a/b = 40/80)
- d (a/b = 30/90)
- Shim 설치 유·무

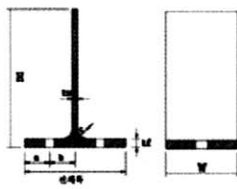


그림 6. 실험체 형상

### 3.2 실험방법

고력볼트 체결은 토크계수치의 0.17를 적용하여 1차 조임과 2차 조임으로 나누어 다음과 같이 하였다.

표 2. 볼트의 조임량

볼트지름	볼트유효 단면적 (cm <sup>2</sup> )	설계볼트 장력 (tf)	표준볼트 장력 (tf)	1차조임 토크(T) (kgf.cm)	2차조임 토크(T) (kgf.cm)
F10T M20	2.45	16.5	18.2	1500	6200
F10T M22	3.03	20.5	22.6	1500	8400

T-플랜지의 이간거리를 측정하는 다이얼게이지 부착을 위하여 T-웨브 부분에 직경이 작은 볼트를 용접하였다. 볼트 위치의 T-플랜지의 축방향 변위측정은 변위를 증가시킴에 따라서 T-플랜지가 휘어지기 때문에 LVDT로는 정확한 거리를 측정할 수 없어서 줄 변위계를 사용하였으며, Setting 된 상태에 대하여 위에서 볼 때 대각선 방향으로 상부 T-플랜지에 2부분, 하부 T-플랜지 변위의 차를 볼트 위치 T-플랜지의 이간거리로 하였다. T-웨브 위치의 T-플랜지의 변위 측정은 변위가 증가하여도 휨이 미세하기 때문에 다이얼 게이지를 이용하여 직접 측정하였고, 양측에 각 하나씩 2개를 설치하였다.

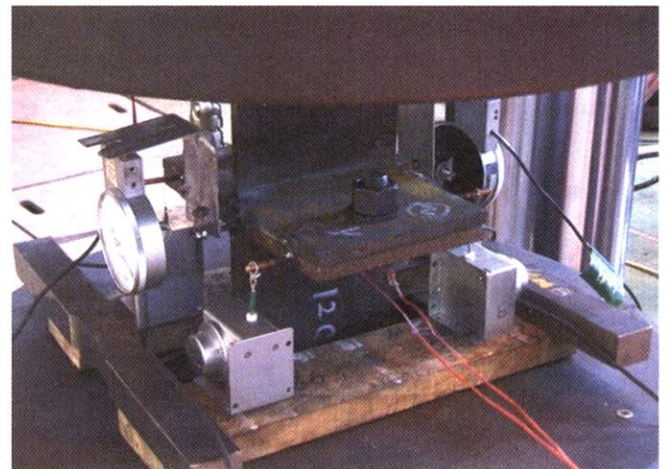


그림 7. 실험체 Setting 전경

### 3.3 재료 시험

볼트의 재료 시험은 별도로 하지 않았으며, 접합내력이 주로 볼트의 내력에 의해 결정되는 실험체(즉, T-플랜지가 비교적 두꺼운 실험체(28a-20s))의 데이터로 볼트의 항복 및 인장강도를 결정하였다.

표 3. 재료 시험 결과

시험체	탄성계수 (tf/cm <sup>2</sup> )	항복점 (tf/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (tf/cm <sup>2</sup> )	연신율 (%)	
					강종
SS400	17	2049	3.86	5.57	16.4
	20	2106	3.86	5.31	24.7
	24	2046	3.83	5.48	20.0
	28	2253	3.70	5.40	18.9

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 내력 및 변위

내력 및 변위를 정리하면 표 4와 같다. '변위'는 중앙 변위를 말한다. '최대'는 실험체가 최대 내력 값에 도달했을 때의 내력과 변위이고, '파단'은 파괴할 때의 내력과 변위이다.

표 4. 최대·파단의 내력 및 변위

실험체명	최대		파단		파단/최대	
	내력	변위	내력	변위	내력	변위
ST10T-17a	43.5	5.5	36.1	7.6	0.83	1.38
ST10T-17a-S	46.2	19	46.2	19	1.00	1.00
ST10T-17b	36.7	21.3	34.3	24.5	0.94	1.15
ST10T-17c	31.3	22.9	26.1	25.1	0.83	1.09
ST10T-17d	26.4	28.0	20.4	32.4	0.77	1.16
ST10T-20a	44.0	5.8	38.1	9.1	0.87	1.57
ST10T-20b	39.3	6.6	30.5	11.2	0.78	1.69
ST10T-20c	33.8	10.5	30.2	15.2	0.89	1.44
ST10T-20d	28.1	12.4	22.2	17.3	0.79	1.39
ST10T-24a	54.3	2.5	49.5	4.6	0.91	1.84
ST10T-24a-S	55.3	2.2	46.1	3.1	0.83	1.41
ST10T-24b	56.6	3.3	50.8	4.8	0.90	1.45
ST10T-24b-S	54.5	2.6	47	3.7	0.86	1.42
ST10T-24c	40.4	4.3	37.2	7.8	0.92	1.82
ST10T-28a-1	54.4	1.9	47.3	3.4	0.87	1.79
ST10T-28a-2	55.7	1.8	46.3	3	0.83	1.67
ST10T-28a-3	55.4	1.6	47.6	3.4	0.86	2.13
ST10T-28a-4	55.2	1.7	47	2.9	0.85	1.71
ST10T-28a	55	1.7	47.8	2.8	0.87	1.65
ST10T-28a-S	54.4	1.2	45	2.3	0.83	1.92
ST10T-28c	51.6	4.8	50.1	5.5	0.97	1.15
ST10T-17a(M22)	49.3	25.7	46.7	26.7	0.95	1.04
ST10T-20a(M22)	53.2	14.4	44.7	23.6	0.84	1.64
ST10T-24a(M22)	59.4	4.2	55.4	8.9	0.93	2.12
ST10T-28a(M22)	66.3	1.9	55.2	5.1	0.83	2.71

\* ST10T-17a-S의 실험체만 최대내력과 동시에 파괴되었음.

ST10T-17a와 ST10T-17a-S(데이터 불안전)를 제외한 실험체들의 무차원화 평균값은 내력이 0.87, 변위가 1.61로 나타나고 있다. Shim 설치 유·무에 관계없이 실험체들의 내력 및 변위(최대/파단)는 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 그러나 T-플랜지 두께에 따라 내력과 변위의 차가 다르게 작

용하는 것으로 나타나고 있다. 즉, T-플랜지 두께가 얇아질수록 내력은 작아지면서 변위는 커지는 현상이 나타났으며, T-플랜지 두께가 두꺼워질수록 내력은 커지면서 변위는 작아지는 현상이 나타났다.

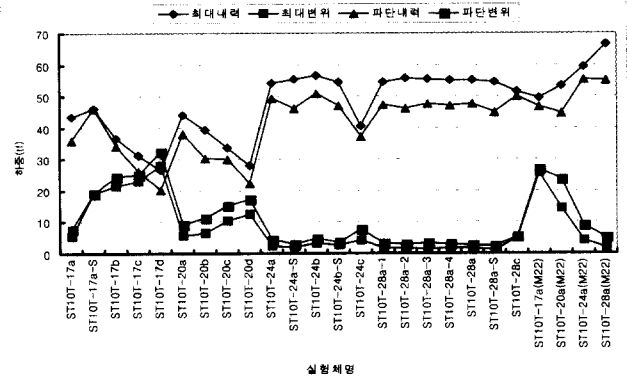


그림 8. 최대·파단의 내력 및 변위

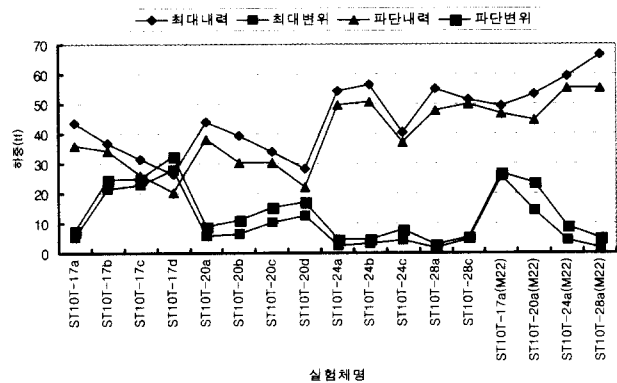


그림 9. 볼트위치에 따른 내력과 변위

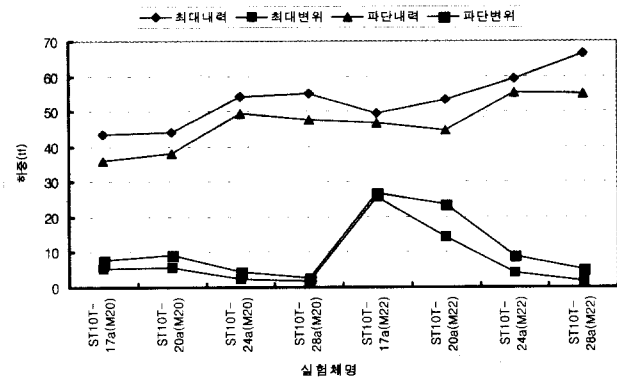


그림 10. T-플랜지 두께와 볼트지름에 따른 내력과 변위

볼트위치에 따른 비교 실험에서도 위와 비슷한 현상이 나타나고 있는데, T-플랜지 두께가 얇고 볼트 위치가 T-웹에서 멀수록 지레작용의 영향을 받아 T-플랜지의 휨이 점점

커지는 것으로 나타나고 있다. 이와 반대로, T-플랜지 두께가 두껍고 볼트위치가 T-웹에서 멀수록 T-플랜지의 휨은 없지만, 볼트가 파괴되는 현상이 나타났다. 볼트위치가 따라 위와 같은 현상이 나타나는 것은, 볼트위치가 T-웹에서 멀수록 볼트축력의 작용이 적용되는 하중보다 작게 작용하기에 나타나는 현상으로 분석된다.(2.4 T-플랜지 두께의 영향, 2.5 볼트축력의 영향 참조)

## 4.2 하중-변위 관계

### 4.2.1 볼트 a-M20 그룹과 a-M22 그룹

볼트 지름과 T-플랜지 두께에 따른 「하중-변위관계」를 그래프로 나타내면 그림 11과 같다. T-플랜지 두께에 따라 볼트 지름이 커지는 경우에 접합 내력이 높아지고, 변위가 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 M22의 볼트를 사용할 경우 M20볼트를 사용할 때 보다 하중에 따른 변형 능력과 에너지 흡수 능력이 더 높게 작용하기 때문이다.

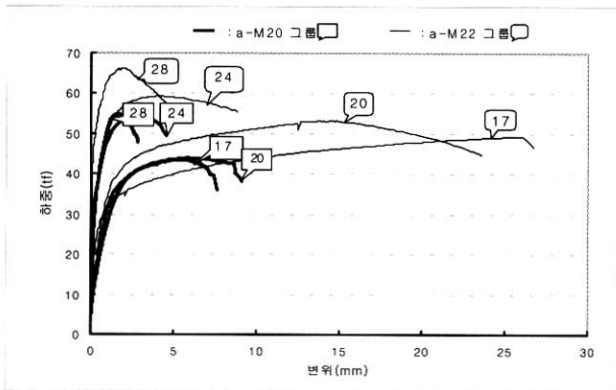
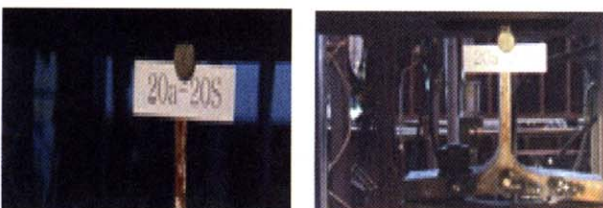


그림 11. 볼트 지름과 T-플랜지 두께에 따른 중앙이간



(a) ST10T-17a-M20

(a') ST10T-17a-M22



(b) ST10T-20a-M20

(b') ST10T-20a-M22



(c) ST10T-24a-M20

(c') ST10T-24a-M22



(d) ST10T-28a-M20

(d') ST10T-28a-M22

그림 12. 볼트지름과 T-플랜지에 따른 실험체 파괴 형상

### 4.2.2 볼트위치가 따른 변화

연단/편심거리(a:60/60mm, b:50/70mm, c:40/80mm, d:30/90)와 T-플랜지 두께(17mm, 20mm)의 변화에 따른 하중-변위 관계를 정리하면, 전반적으로 T-플랜지 두께가 17mm인 경우, 20mm에 비하여 최대내력은 떨어지지만 파괴할 때의 변위는 2배 가까이 이르렀다. ST10T-17 그룹은 최대내력 이후 파괴될 때까지의 변위가 미소하였지만, ST10T-20 그룹은 최대내력 이후 파괴될 때까지의 변위가 비교적 크게 나타났다.

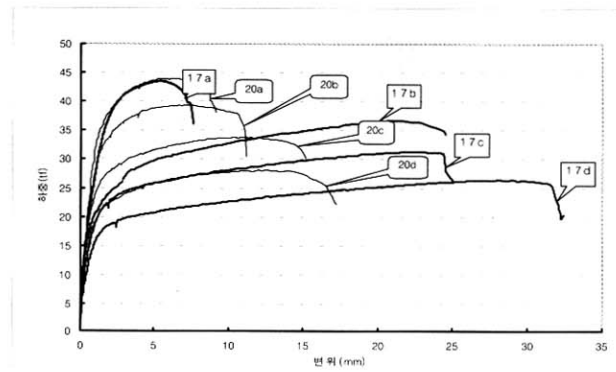


그림 13. ST10T-17 그룹 및 ST10T-20 그룹의 중앙이간

## 4.3 Shim 설치 유·무에 따른 변화

### 4.3.1 내력 및 변위

실험에 Shim의 설치 유·무를 포함한 것은 Shim이 단부구속을 없어서 지레 반력을 제거하면서 연성능력을 높이는 장점이 있기에, 접합부의 연성능력 및 지레반력의 영향을 알아보기 위해서였다. 그러나 Shim을 설치할 경우 실험체의 내력에는 영향이 크지 않을 것으로 예상했지만, 최대내력

이 6%의 차이를 보였다. 또한, 파단내력은 Shim을 설치함으로써 변형 능력이 30% 정도 감소되는 현상이 나타났다.

Shim을 삽입한 경우에 무차원화값이 비교적 높게 나온 것은, Shim을 설치하지 않은 경우 변위가 주로 볼트의 변형률로 발생하는 반면, Shim을 설치한 경우 단부가 구속되지 않아서 볼트변형 없이 T-플랜지의 휨만으로 변위가 발생하기 때문이다.

표 5. Shim 설치에 따른 내력과 변위의 무차원화

실험체명	최대		파단	
	내력	변위	내력	변위
ST10T-17a	43.5	5.5	36.1	7.6
ST10T-17a-S	46.2	19	46.2	19
ST10T-24a	54.3	2.5	49.5	4.6
ST10T-24a-S	55.3	2.2	46.1	3.1
Shim 유/무	1.02	0.89	0.93	0.67
ST10T-24b	56.6	3.3	50.8	4.8
ST10T-24b-S	54.5	2.6	47	3.7
Shim 유/무	0.96	0.78	0.93	0.77
ST10T-28a	55	1.7	47.8	2.8
ST10T-28a-S	54.4	1.2	45	2.3
Shim 유/무	0.99	0.75	0.94	0.80

\* ST10T-17a-S의 실험체만 최대내력과 동시에 파괴되었음.

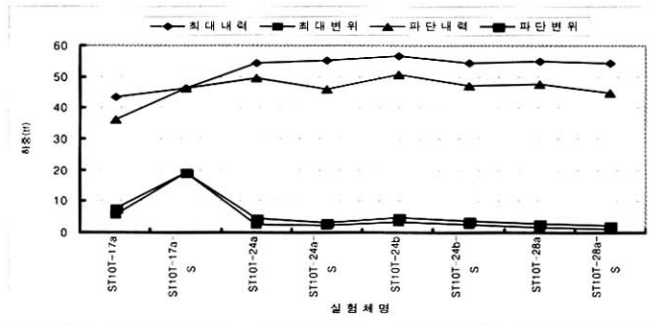


그림 14. Shim 설치 유·무에 따른 내력과 변위

최대내력 및 파단내력의 차는 별로 나지 않지만, 변위에서는 T-플랜지 두께가 가장 얇은 17a가 다른 실험체에 비해 4배 정도 크게 나타나고 있다.

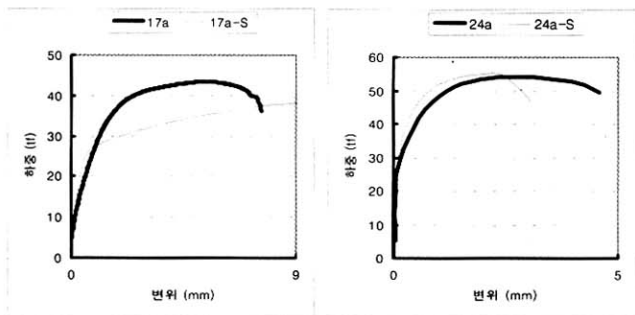


그림 15. ST10-17내력과 변위    그림 16. ST10-24a 내력과 변위

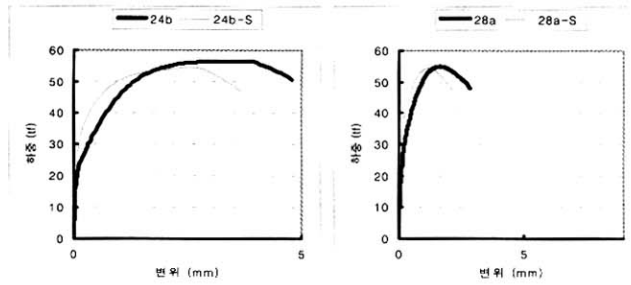


그림 17. ST10-24b내력과 변위    그림 18. ST10-28a 내력과 변위

변위의 차가 이렇게 나타나는 것은 T-플랜지 두께가 얇을수록 볼트 내력과는 관계없이 T-플랜지의 변위만으로 전체 처짐이 결정되기 때문이다. 또한 T-플랜지 두께가 24mm인 실험체들의 내력 및 변위가 차이나는 것은 하중을 받는 볼트위치에 따른 볼트축력의 영향으로 분석된다.



(a) ST10T-17a

(a') ST10T-17a-S



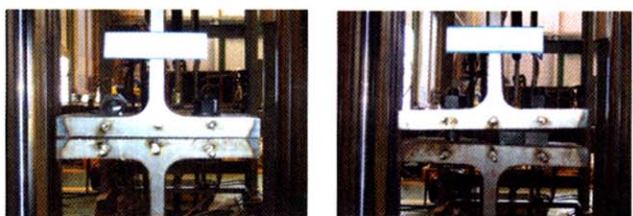
(b) ST10T-24a

(b') ST10T-24a-S



(c) ST10T-24b

(c') ST10T-24b-S



(d) ST10T-28a

(d') ST10T-28a-S

그림 19. Shim 설치에 따른 실험체 파괴 형상

### 4.3.2 실험체 형상에 따른 하중-볼트 관계

Shim을 설치한 경우 지레반력이 소멸되면서 볼트의 변형률이 감소하게 된다. 지레반력은 T-플랜지 두께가 증가함에 따라서 감소하게 되고 어느 정도의 두께가 되면 지레반력은 작용하지 않으면서 Shim의 유·무에 관계없이 동일해 지는 것으로 나타나고 있다. 이것은 Shim을 설치한 경우 단부가 구속되지 않아서 볼트축력의 영향력이 약해지기 때문이다.

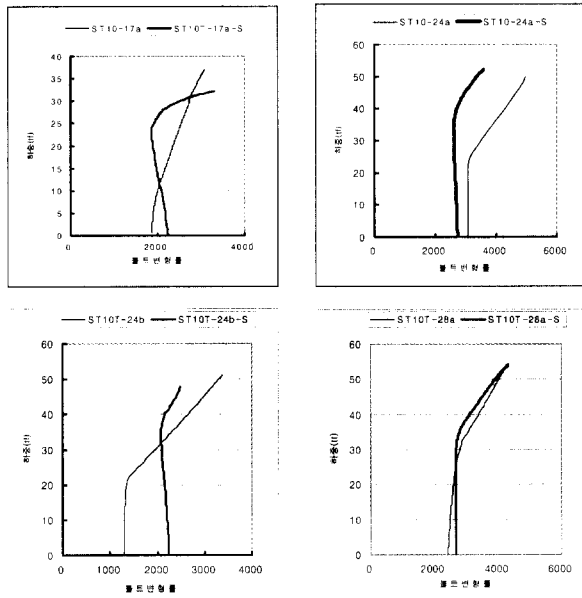


그림 20. Shim 설치 유·무에 따른 하중-볼트변형률 관계

### 4.4 초기도입축력의 영향

고력볼트를 이용한 인장 접합부는 높은 초기도입축력의 도입으로 초기강성을 유지하게 된다. 따라서 초기도입축력이 감소하게 되면 초기강성과 이간하중의 저감을 초래하게 된다. 본 실험에서는 이런 초기도입축력의 영향을 알아보기 위해 T-플랜지 두께가 28mm 실험체에만 초기도입축력을 1차 조임과 2차조임(40%, 60%, 80%, 100%)로 하여 볼트 체결을 하였다. 그 결과 1차 조임을 한 ST10T-28a-1 실험체가 최대 내력에서는 가장 낮게, 최대 변위에서는 가장 높게 작용한 것으로 나타나고 있다. 다른 실험체들은 초기강성이 높아질수록 최대내력 및 최대변위가 낮아지는 현상이 나타났다. 파단내력에서는 ST10T-28a-2가 가장 낮은 내력을 보였으며, 파단변위에서는 ST10T-28a가 가장 낮은 변위를 나타냈다.

초기강성에 따라 내력 및 변위의 차가 나는 것은 도입축력이 작을수록 볼트 체결부에 의한 T-플랜지의 구속력이 작아져서 T-플랜지의 휨이 커지기 때문이다.

표 6. 초기도입축력에 따른 내력 및 변위

실험체명	최대		파단		파단/최대	
	내력	변위	내력	변위	내력	변위
ST10T-28a-1	54.4	1.9	47.3	3.4	0.87	1.79
ST10T-28a-2	55.7	1.8	46.3	3	0.83	1.67
ST10T-28a-3	55.4	1.6	47.6	3.4	0.86	2.13
ST10T-28a-4	55.2	1.7	47	2.9	0.85	1.71
ST10T-28a	55	1.7	47.8	2.8	0.87	1.65

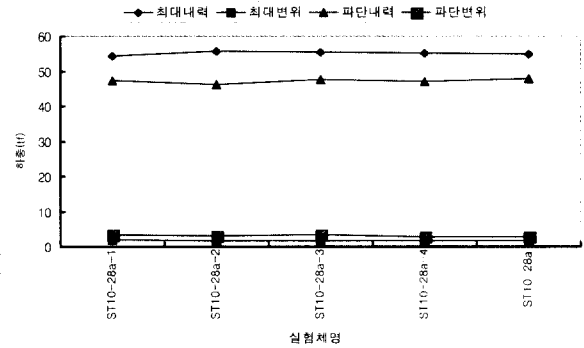


그림 21. 초기도입축력 변화에 따른 내력 및 변위

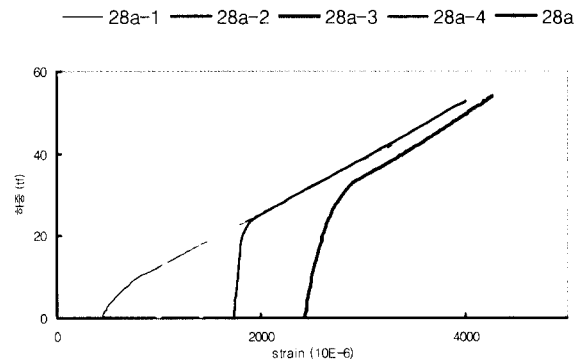


그림 22. 초기도입축력 변화에 따른 하중-변위 관계

그림 22를 보면, 각 실험체가 초기도입축력을 일정하중까지 유지한 후, 초기도입축력이 하중과 동일해지는 시점에서 하중과 같은 값으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

### 5. 결론

이 연구는 Split-Tee 접합부에 지레작용이 미치는 영향과 T-플랜지 및 볼트 축력 작용의 특성을 파악하기 위하여, Split-Tee 접합 거동에 영향을 주는 변수 중에서 접합 내력에 영향이 가장 큰 T-플랜지 두께를 주 변수로 하고, 볼트 위치(볼트와 T-플랜지 연단까지의 거리를 말함), 볼트내력(여기서는 볼트지름을 말함), Shim의 설치여부, 초기장력을 보조변수로 하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.



- (1) T-플랜지 두께가 얇을수록 내력과 변위의 차는 작지만, T-플랜지의 두께가 두꺼울수록 내력과 변위의 차가 커지는 현상이 나타났다. 이와 같은 결과가 나오는 것은 T-플랜지의 두께가 얇을수록 하중에 대한 반력작용이 작게 작용하여 T-플랜지의 휨이 크게 일어나기 때문이다.
- (2) 볼트위치가 T-웹에서 멀수록 적용되는 하중보다 반력작용이 작게 작용하는 것으로 나타났다.
- (3) T-플랜지 두께와 볼트지름에 따라 접합 내력과 변위가 높아지는 것은, 볼트지름이 큰 M22를 사용할 경우 M20볼트를 사용할 때보다 하중에 따른 변형 능력과 에너지 흡수 능력이 더 높게 작용하기 때문이다.
- (4) Shim를 설치함으로써 최대내력이 6%의 차이를 보였으며, 파단내력은 변형 능력이 30% 정도 감소되는 현상이 나타났다.
- (5) Shim를 설치 유·무에 따라 변위가 다르게 나타나는 것은 Shim를 설치하지 않은 경우 볼트변형률로 변위가 발생하지만, Shim를 설치한 경우 T-플랜지 휨만으로 변위가 발생하기 때문이다.
- (6) 고력볼트를 이용한 인장접합부는 초기도입축력의 도입으로 초기강성을 유지하게 된다. 초기강성에 따라 내력 및 변위의 차가 다르게 나타나는 것은, 초기도입축력이 작을수록 볼트 체결부에 의한 T-플랜지의 구속력이 작아져서 T-플랜지의 휨이 커지기 때문이다.

### 감사의 글

본 연구를 수행하는데 열정의 지도를 해주신 고 김석중(강

원대학교 건축공학과 교수, 공학박사) 교수님께 마음으로 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- 우해성, 김진호, 최성모(2002) 고력볼트 마찰접합부 각국 설계기준의 비교연구, 2002년도 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, P. 423-430
- 마영민, 최성모, 김진호, 김석중(2002) Split Tee 인장접합부 각국설계기준의 비교연구, 2002년도 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, P. 438-445
- 韓國鋼構造學會(1995), 강구조편람 제2권 -강구조접합-, P. 42-44
- 日本建築學會(1993), 高力ボルト接合設計施工指針, P. 52-54
- 日本鋼材價樂部(1997.3), 鋼構造 接合資料集成, -リベット接合・高力ボルト接合-, P. 549-571
- Eurocode 3(1992), Design of steel structure, P154-155, 160-161, 296-299
- Geoffry L. Kular외 2인(1987), Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, P. 263-288
- William T. Segui(1994), LRFD STEEL DESIGN, CHAPTER 3. TENSION MEMBERS 『7.5 HIGH STRENGTH BOLTS』, PWS Publishing Company, P. 271-273, 283-293

(접수일자 : 2003. 6. 13 / 심사일 2003. 7. 4 /  
심사완료일 2003. 9. 30)