

고력볼트 스플릿-티 인장접합부의 구조성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Structural Characteristics of Tension Joints with High-Strength Bolted Split-Tee Connection

최 성 모¹⁾ · 이 성 희²⁾ · 김 진 호³⁾
Choi, Sung Mo · Lee, Seong Hui · Kim, Jin Ho

요 약 : 최근 구조물의 정확한 해석을 위하여 접합부의 강성에 반강접 개념이 도입되고 있다. 우리나라의 경우 반강접 접합부의 실험과 이론해석에 대한 연구가 산발적으로 진행되고 있으며, 체계적인 강구조설계를 진행할 정도의 연구성과를 내지는 못 한 상태이다. 그래서 스플릿-티(Split-Tee)를 이용한 접합부의 설계는 국내의 강종과 하중특성을 고려되지 못한 선진국의 연구자료에 의존하고 있는 실정이다. 본 논문은 F10T 고력볼트를 사용한 스플릿-티 접합부의 반강접 특성을 파악하고자, 기동-보 접합부에 대한 반강접 연구 이전 단계로서 스플릿-티 인장접합부의 구조성능과 변형특성에 대해 실험을 통하여 규명하고자 한다. 플랜지 두께, 도장, 초기도입축력 및 하중가력패턴을 실험변수로 하였으며, 총 20개의 실험체를 제작하여 300ton UTM으로 인장실험을 수행하였다. 각 변수에 따른 스플릿-티 인장 접합부의 구조성능과 거동을 평가하였다.

ABSTRACT : In general, most of the beam-to-column connections for steel structures are regarded as either rigid connections or pin connections. Recently, the concept of a semi-rigid connection was introduced for a correct analysis of steel structures. Several experimental and theoretical researches have been performed regarding the structural behaviors of frames and buildings with semi-rigid connections. The results are not well known, and structural frame/building has not been designed to introduce the concept of semi-rigid connections between a beam and column until this time. To resolve this, this research depends on design specifications prepared by other advanced countries for the design of buildings with semi-rigid connections. Such a specification, however, should incorporate domestic characteristics of steel material properties and load conditions. This paper deals with structural capacities and deformable behaviors for a split-T tensile connection with F10T high-strength bolts to investigate the structural characteristics of semi-rigid frames. The experimental parameters include the thickness of T-flanges, painted or not, preloaded or not, and load pushover pattern. A total of 20 specimens were fabricated and tested with a 300-ton UTM. The structural capacities and behavior for split-T tensile connections were evaluated on each research parameter.

핵 심 용 어 : 고력 볼트, 도장, 초기축력, 반강접, 스플릿 티, 기동-보 접합부

KEYWORDS : High-strength bolt, Painting, Preload, Semi-rigid, Split-tee, Column-beam connection

1. 서 론

1.1 연구배경

최근 산업의 고도화와 건축공학의 발달에 따라 건물의 고층화, 장스팬화가 이루어지면서 철골구조의 사용이 일반화되었고, 각종 산업에서 요구되는 형태와 규모를 충족시킬 수 있는 구

조방안들이 제안되어 왔다. 또한 신강종의 개발, 지진하중에 견딜 수 있는 접합부의 디테일 개발 및 적절한 하중분산을 위한 구조시스템의 연구가 수행되면서 다양한 하중조건에 따른 접합부는 복잡한 형태로 발전하고 있으며 이들의 성능검증에 어려움이 따르고 있다. 또한 각국의 구조기준이 다른 점은 외국의 우수한 구조방식을 수용하는데 있어 어려움이 되고 있는 실정이다.

1) 정회원, 서울시립대학교 건축공학과 교수, 공학박사
(Tel : 02-2210-2396, Fax : 02-2248-0382, E-mail : smc@uos.ac.kr)
2) 정회원, 서울시립대학교 건축공학과, 박사과정(lsh@uos.ac.kr)
3) 정회원, 포항산업과학연구원 강구조연구소 책임연구원, 공학박사(jinho@rist.re.kr)

본 논문에 대한 토의를 2005년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

보와 기둥의 형상과 재료적인 특성으로부터 보-기둥 접합부의 전체 회전거동을 예상하는 것은 중요하다. 접합부의 변형능의 증가는 구조물의 휨강성을 감소시키는 장주기를 일으키고 에너지의 재분배를 통하여 구조물 전체와 국부적인 연성을 증가시킨다. 따라서 반강접 접합부의 정확한 설계를 위하여 강성의 평가와 거동에 관한 연구를 필요로 한다. 이것은 구성요소법(Component Method)에 의하여 얻어질 수 있다. 특히 볼트 접합부의 경우 변형분석을 통하여 기본모델이 제시될 수 있고, 스플릿-티 모델의 분석결과를 사용하여 스플릿-티 접합부, 엔드플레이트 접합부, 시트 앵글 접합부등에 응용할 수 있다.

스플릿-티 접합부의 연구는 C. Faella(2000)등 지난 수 십년 동안 연구되어 왔으나 초기장력과 지레력이 일으키는 집중현상 등 전체거동과 내력에 관한 것이었으며, 초기장력과 지레력에 의하여 증가되는 볼트의 축 강성 및 T-플랜지의 휨 강성에 관한 연구는 C. Faella(1998), James A. Swanson (2001)등에 의해 수행되어 왔으나 아직 충분한 고려가 이루어지지 못하고 있다.

따라서 본 연구는 최혜경(2003)의 스플릿-티 접합부의 각국 설계식 검토와 구조실험을 통한 접합부의 인장내력에 관한 연구를 기본으로 도장 및 T-플랜지의 휨 변형으로 인한 볼트와 접합부의 거동을 살펴보기 위하여 T-플랜지의 두께, 도장, 볼트의 초기도입축력, 볼트의 웅크길이를 변수로 총 20개의 실험체를 제작하여 구조실험을 수행하여 콤포넌트 해석법을 통한 반강접 접합부 연구의 기초자료를 제공하고자 한다.

1.2 기존의 연구

Douty와 McGuire(1965)는 17개의 Split-Tee 접합부 실험체를 제작하고 T-플랜지 하중에 따른 볼트하중과 지레력에 대한 Split-Tee 접합부의 수치모델을 제안하였다. 이후 Nair et al.(1974)은 27개의 4-볼트 Split-Tee에 대한 정적 및 피로실험을 수행하여 볼트의 인장력을 측정하고 지레력이 볼트의 극한 하중 성능과 피로강도를 줄인다는 결과를 도출하였으며, T-플랜지의 두께에 따른 플랜지력과 지레력의 관계를 유도하였다.

Kennedy et al.(1981)은 End-Plate 접합부를 Split-Tee 접합부의 형태와 유사한 것으로 보고 Thick, Intermediate, Thin 플레이트 거동의 3가지 거동상태를 가정하였고 결정된 플레이트 거동유형에 따라 지레력을 도입한 볼트력을 계산하는 방법을 소개하였다. Yee 와 Melcher (1986)는 End-Plate 접합부를 한개 이상의 볼트열에 의하여 연결된 Split-Tee로 모델링 하고 End-Plate 접합부의 모멘트 회전곡선의 계산법(구성요소해석법)을 개발하였다.

그 이후 구성요소해석법은 Jaspert et al.(1995), C. Faella(1998), Shi et al(1996)등에 의해 연구되어 왔으며, Split-Tee의 연구결과는 Eurocode 3을 통하여 End-Plate 접합

부의 설계식으로 확장되었다.

Faella et al.(2000) Barron & Bickford(1998) 등은 Split-Tee 접합부에서 초기장력을 갖는 볼트의 축강성과 T-플랜지의 휨강성의 강성식을 제안하였으며, James A. Swanson(2001)은 Split-Tee 변형의 탄소성 모델을 제시하고 4개로 구획된 볼트의 강성모델을 제안하는 등 Split-Tee 접합부의 볼트와 T-플랜지의 탄소성변형에 대한 강성의 연구가 진행되어 왔다.

2. 실험

2.1 실험체 계획

스플릿-티 접합부의 구조성능을 평가하기 위하여 SS400강재를 이용하여 용접 목두께 1cm의 실험체를 계획하였다. 실험체의 치수 및 개형은 그림 1 및 표 1과 같이 두께20mm, 높이 300mm의 동일한 T-웨브를 사용하고, 넓이200mm, 폭100mm의 T-플랜지의 두께를 주변수로 9mm 9개, 16mm 3개, 20mm 8개 등 20개의 실험체를 제작하였다. 또한 실험체중 9mm 2개와 20mm 2개의 실험체는 접합면을 도장하였다. 16mm 실험체는 도장을 제외한 가력방법, T-플랜지 두께, 볼트의 웅크길이등의 변수에 의한 영향을 평가하기 위하여 3개만 제작되었다.

볼트는 현재 국내에서 많이 사용되고 있는 KS D 1010에 따른 고장력 F10T 볼트를 사용하였고 웅크의 길이는 볼트의 전체길이에서 나사산과 연결부의 길이를 뺀 길이로 하였다. 본 실험에서 사용된 웅크의 길이는 전체길이에서 45mm를 뺀 길이로 한다.

표 1. 실험체 종류

실험체명	가력 방법	T-플랜지 두께(mm)	도장	볼트 웅크 길이(mm)	토크값 (ton·mm)	
S-FSN20-80	단순 인장	20	×	45	1500	
S-FPN20-80			×	45	6200	
S-FPP20-75			○	30	6200	
S-FPN20-70			×	25	6200	
S-FPN16-75		16	×	30	6200	
S-FPN16-70			×	25	6200	
S-FPN9-60			9	×	15	6200
S-FSN9-55				×	10	1500
S-FPN9-55		×		10	6200	
S-FPP9-55		○		10	6200	
S-FPN9-50		×	5	6200		
D-FSN20-75		반복 인장	20	×	30	1500
D-FPP20-75				○	30	6200
D-FPN20-75				×	30	6200
D-FPN20-70				×	25	6200
D-FPN16-70			16	×	25	6200
D-FSN9-55	9			×	10	1500
D-FPP9-55				○	10	6200
D-FPN9-55				×	10	6200
D-FPN9-50			×	5	6200	

* 강재 : SS400, 볼트 : M20

D	F	S	N	20	75
D S 반복 정적 가력 가력	F F10T 볼트	P S 2 차 조임 조임	P N 도장 O 도장 x	플레이트 두께 (mm)	볼트 길이 (mm)

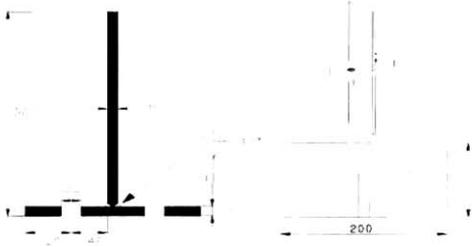


그림 1. 실험체 형상

2.2 실험체 세팅 및 측정방법

실험체는 그림 2와 같이 T-플랜지의 중앙과 볼트위치의 이 간거리를 측정하기 위하여 직경이 작은 볼트를 T-플랜지에 용접한 후 철판을 붙여 변위계(LVDT)를 설치하고 T-플랜지의 변형을 측정을 위해 사포로 게이지 설치 위치를 갈아낸 후 7 개의 소성변형률게이지(Plastic Strain Gage)를 설치하였다.

또한 T-플랜지의 변형에 따른 볼트의 변형률을 측정하기 위하여 그림 3과 같이 볼트머리에 구멍을 내고 게이지 부착위치를 갈아낸 후 나사산방향 웅크 단부에 소성변형률게이지를 부착하였다. 그림 2의 Side A 볼트는 볼트의 소성변형률 게이지의 부착면이 T-웹브와 평행하도록 체결하며, Side B 볼트는 T-웹브와 직각이 되도록 체결하였다.

볼트의 초기장력(Preload)은 다이얼 토크렌치를 사용한 토크관리법으로 토크치 1500tf·cm를 1차로 체결하고, 6200tf·cm를 2차 체결하였다. 볼트체결순서는 Side A의 볼트를 1차체결하고 Side B의 볼트를 1차체결한 후 2차체결도 1차체결과 같은 순서로 하였다. 또한 볼트 파괴시 볼트가 튀는 것을 방지하기 위하여 볼트와 너트에 안전 캡을 씌웠다.

■ 고력볼트의 2차토크 산정 과정

F10T M20의 설계 볼트 장력

$$N_0 = 0.75\sigma_y \cdot A_e$$

σ_y : 고력볼트의 항복내력 최소값

A_e : 고력볼트 나사부의 유효단면적

$$= 0.75 \times 9000 (kgf/cm^2) \times 2.45 (cm^2)$$

$$= 16537.5 kgf$$

$$\therefore 16.5 tf$$

이 설계볼트장력을 확보하기 위하여 시공시에는 설계볼트장

력에 약 10%를 할증한 표준볼트 장력으로 조임을 하여야 한다.

$$\begin{aligned} N &= N_0 \times 1.1 \\ &= 16537.5 (kgf) \times 1.1 \\ &= 18191.25 (kgf) \\ &\therefore 18.2 tf \end{aligned}$$

볼트장력 N(kgf)에 대응하는 너트 체결시에 필요한 토크 T(kgf·m)는 토크계수 k를 상수로 하여 다음식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} T &= k \cdot d_1 \cdot N \\ k &: \text{토크계수} \\ d_1 &: \text{고력볼트 직경} \\ &= 0.17 \times 0.02 (m) \times 18191.25 (kgf) \\ &= 61.85 (kgf \cdot m) \\ &\therefore 6185 tf \cdot cm \end{aligned}$$

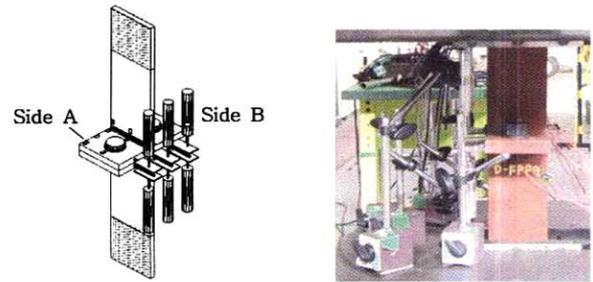


그림 2. 실험체 세팅

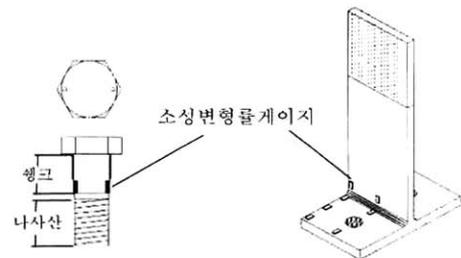


그림 3. 소성변형률게이지 설치

2.3 가력방법

단순인장 가력실험은 300ton UTM을 사용하였고 반복가력 실험은 200ton 피로시험기를 사용하였다. 단순인장 가력실험의 가력속도는 0.016mm/s의 변위제어로 가력을 하였고, 반복가력 실험은 그림 4의 가력 프로토콜을 사용하여 0tf - 20tf까지 가력속도 0.002mm/s, 20-35ton까지 가력속도 0.008 mm/s, 35tf 이상은 가력속도 0.016의 가력속도로 변위에 따른 하중제어 방식으로 가력하였다.

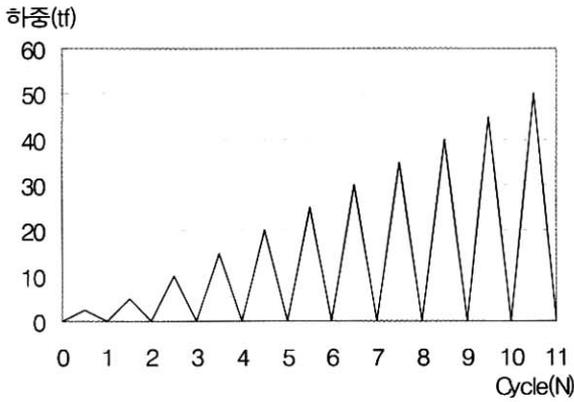


그림 4. 반복가력 프로토콜

3. 실험결과

3.1 최대내력과 초기강성

각 실험체의 최대내력 및 초기강성과 이간거리를 정리하여 표 2에 나타내고 전체 실험체의 하중-중앙이간거리 분포를 그림 5에 나타내었다. 최대내력은 실험체가 받는 인장내력을 나타낸다. T-플랜지 두께 20mm와 16mm의 최대내력은 43tf 근처에서 비슷한 최대내력을 보였으나 9mm의 최대내력은 25tf 근처로 낮게 나타났다. 초기강성은 탄성구간에서의 초기 강성 값을 나타낸 것으로 20mm가 9mm보다 높은 강성을 나타냈고 2차조임한 실험체의 초기강성이 1차조임시 보다 높게 나타났다. 또한 이간거리는 T-플랜지 상하에 설치된 LVDT의 변위를 합산하여 T-플랜지 사이의 벌어진 간격을 측정된 것으로 본 논문에서는 중앙이간거리만을 사용한다.

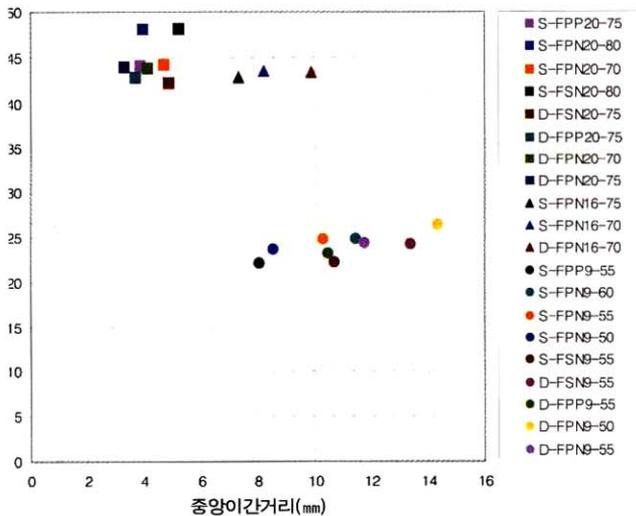


그림 5. T-플랜지의 하중-중앙이간거리 관계

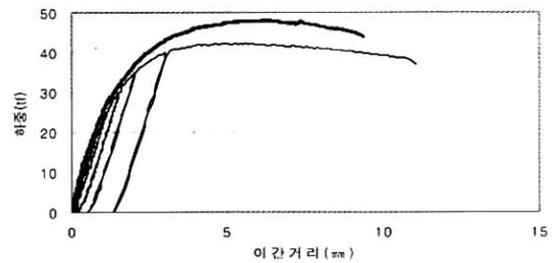
표 2. 스플릿-티 실험결과

실험체명	최대내력 (tf)	초기강성 (tf/mm)	이간거리(mm)		
			SideA	중앙	SideB
S-FSN20-80	48.08	32.7	3.44	5.24	4.46
S-FPN20-80	48.1	52.2	2.46	3.95	2.61
S-FPP20-75	44.07	49.1	2.98	3.88	2.91
S-FPN20-70	44.31	58.2	-	4.72	-
S-FPN16-75	42.82	51.3	5.43	7.32	5.31
S-FPN16-70	43.49	44.8	6.8	8.24	5.41
S-FPN9-60	24.8	52.7	7.41	11.44	9.36
S-FSN9-55	22.22	22.3	8.45	10.66	8.5
S-FPN9-55	24.87	47.6	6.64	10.3	8.65
S-FPP9-55	22.16	47.4	5.21	8.04	4.64
S-FPN9-50	23.64	48.1	7.49	8.52	6.8
D-FSN20-75	42.23	42.1	2.78	4.86	3.06
D-FPP20-75	42.78	56.8	2.8	3.7	2.33
D-FPN20-75	44.03	46.5	2.48	3.28	2.49
D-FPN20-70	43.88	56.3	2.65	4.13	3.1
D-FPN16-70	43.46	48.6	8.36	9.91	8.14
D-FSN9-55	24.21	16.5	8.22	13.36	7.66
D-FPP9-55	23.27	48.7	9.68	10.44	2.79
D-FPN9-55	24.39	43.7	10.07	11.72	9.7
D-FPN9-50	26.42	56.2	9.22	14.34	10.36

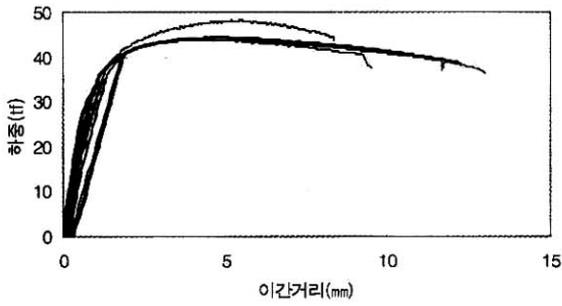
3.2 하중-중앙이간거리 관계

실험체별 하중-중앙이간거리 관계를 그림 6-8에 나타내었다. 그림 6(a), (b)에서 실험체 S-FSN20-80와 S-FPN20-80은 실험과정 중 섞여 들어간 다른 제조회사의 볼트가 사용되었다. 전체 실험체에 사용된 제조회사의 볼트는 전체 볼트의 길이가 80mm일 경우 웅크 : 35mm, 나사산 : 40mm, 경사부 : 5mm였으나 섞여들어간 다른 제조회사의 볼트는 웅크의 40mm, 나사산 : 35mm, 경사부 : 5mm로 웅크의 길이가 5mm가 더 긴 형태였다. 다른 제조회사의 볼트를 사용한 실험체의 실험결과는 그림 6(a),(b)와 같이 최대내력이 다른 실험체에 비해 약 4ton 높게 나타났다.

단순가력에 비해 반복가력시 볼트가 풀리는 현상으로 내력이 다소 떨어질 것으로 예상하였으나 그림 6(c)의 D-FPP20-75 실험체만 내력이 1.29tf 떨어졌을 뿐 그림 6(c), 그림 7, 그림 8(a),(c)에서 내력과 거동은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

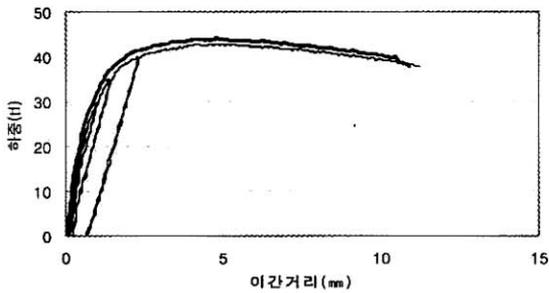


(a) FSN20



— S-FPN20-70 — S-FPN20-80
— D-FPN20-70 — D-FPN20-75

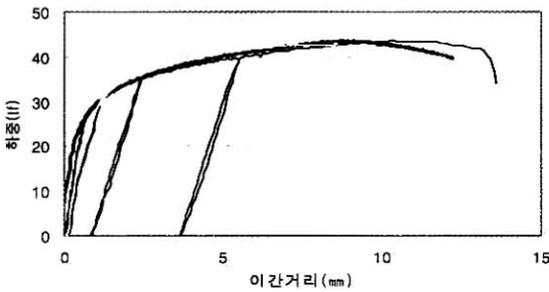
(b) FPN20



— S-FPP20-75 — D-FPP20-75

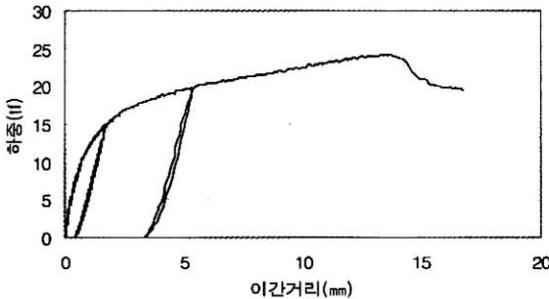
(c) FPP20

그림 6. $t_f = 20\text{mm}$ 의 하중-이간거리



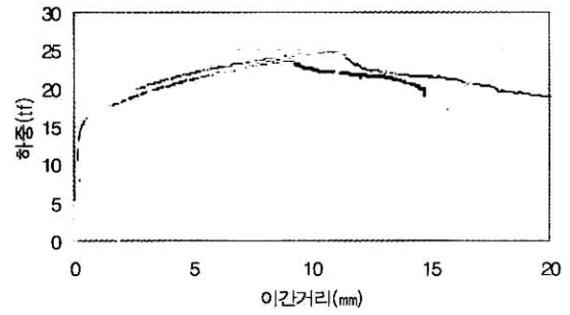
— S-FPN16-70 — D-FPN16-70 — D-FPN16-75

그림 7. $t_f = 16\text{mm}$ 의 하중-이간거리



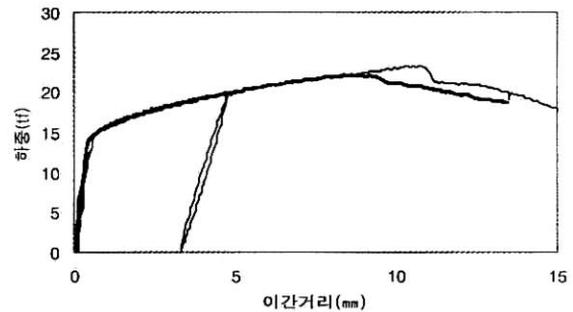
— D-FSN9-55

(a) FSN9



— S-FPN9-50 — S-FPN9-55 — S-FPN9-60
— D-FPN9-50 — D-FPN9-55

(b) FPN9



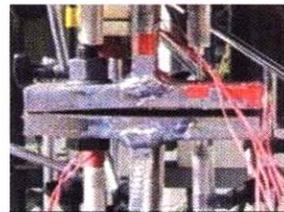
— S-FPP9-55 — D-FPP9-55

(c) FPP9

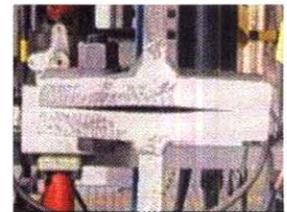
그림 8. $t_f = 9\text{mm}$ 의 하중-이간거리

3.3 실험체의 파괴형상

각 실험체의 파괴형상을 그림 9에 나타냈다. T-플랜지 두께 20mm는 최대내력에 도달한 후 큰 변형을 보이며 볼트가 파괴되는 거동을 나타내었고, 9mm는 큰 변형 후 T-웹브와 T-플랜지의 접합부가 찢어지며 파괴되는 거동을 나타냈다. 16mm는 9mm와 같이 큰 변형 능력을 나타낸 후 20mm와 비슷한 최대내력에서 볼트가 파괴되는 거동을 나타냈다.



S-FSN20-80



D-FPNP20-75

(a) $t_f = 20\text{mm}$



S-FPN16-70



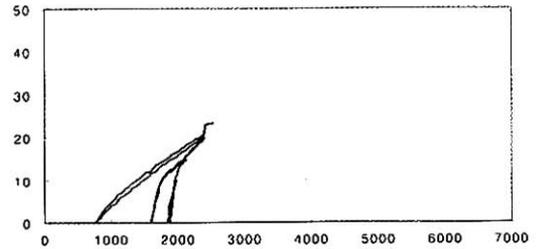
D-FPN16-70

(b) $t_f = 16\text{mm}$



S-FPN9-55 D-FPN9-55
(c) $t_f = 16\text{mm}$

그림 9. 실험체 파괴형상



(c) D-FPN9-55
그림 11. 반복기력하의 볼트 변형률변화

3.4 볼트의 변형률 변화

2차조임한 볼트의 변형률 변화를 살펴보기 위하여 Side A 볼트의 변형률 측정값의 평균을 내어 그림 10, 11에 나타내었다. 단순인장기력의 경우 볼트의 변형률은 그림 15와 같이 꾸준한 증가를 나타내었다. 반복기력의 경우 반복 사이클이 증가함에 따라 그림 11과 같이 2차조임에 의한 볼트의 변형률은 외력을 증가시키는 반복기력 횟수가 증가함에 따라 서서히 감소하였다.

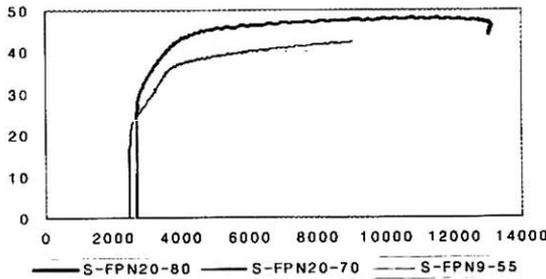
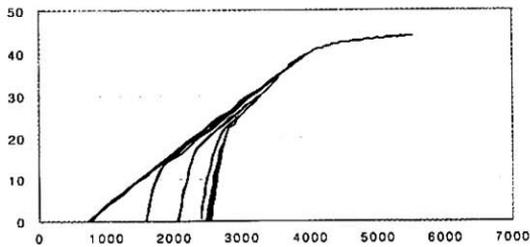
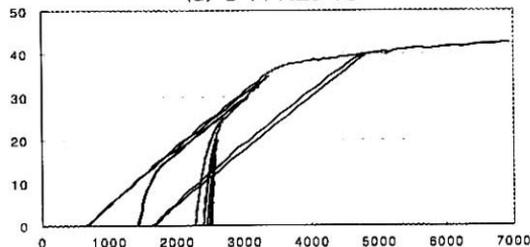


그림 10. 단순인장기력하의 볼트 변형률 변화



(a) D-FPN20-75

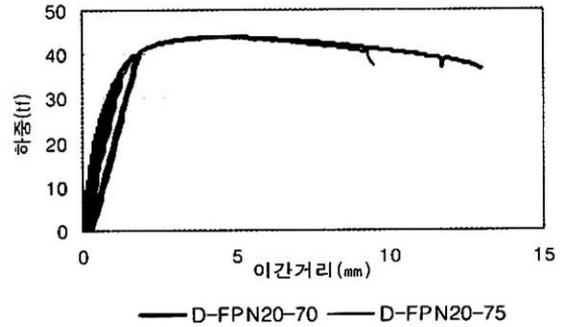


(b) D-FPN16-70

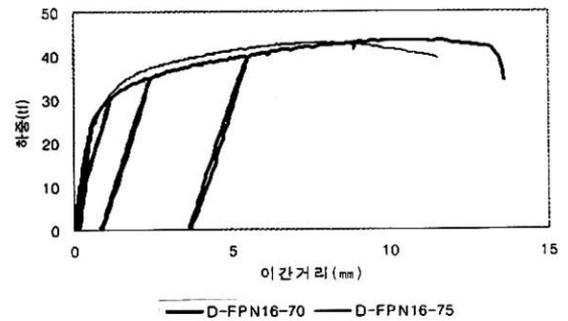
4. 분석 및 고찰

4.1 웅크 길이

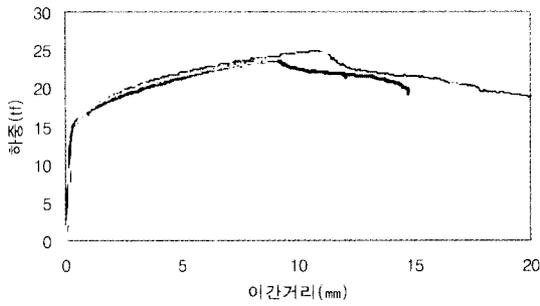
볼트로 체결되는 접합부내에 삽입되는 나사산 길이가 짧아지면 웅크 길이가 길어져 볼트의 내력을 결정하는 휨 강성과 인장강성 중 휨 강성이 증가하고 인장내력이 증가할 것으로 예상하였다. 따라서 본 실험에서는 웅크의 길이를 변수로 실험을 수행하고 그림 12에 웅크 길이에 따른 하중-이간거리 관계를 나타내었다. 실험결과 볼트가 파괴되는 T-플랜지 두께 20mm, 16mm의 실험체의 경우 그림 12(a), (b)와 같이 접합되는 웅크의 길이가 짧을수록 최대내력에 도달한 이후에 큰 연성을 나타내었으며 T-플랜지의 용접부가 파괴되는 9mm의 실험체의 경우 접합되는 웅크의 길이에는 관계가 없었다.



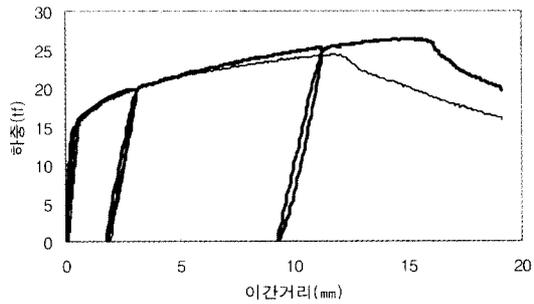
(a) FPN20



(b) FPN16



(c) FPN9-S

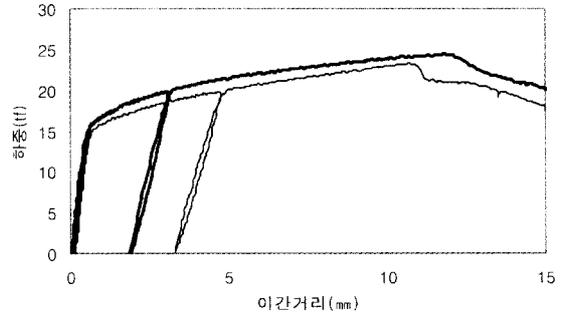


(d) FPN9-D

그림 12. 웬크 길이에 따른 영향

4.2 도장

고장력 볼트를 이용한 접합의 경우 일반적으로 마찰접합으로 생각하고 있으나 미국의 경우 엔드플레이트 접합을 고장력 볼트를 이용한 인장접합으로 보고 도장을 허용하고 있다. 따라서 도장의 안정성을 검토하고자 도장의 영향을 검토하였다. 그림 13은 도장의 영향을 나타낸 것이며 도장을 한 실험체는 도장을 하지 않은 실험체 보다 최대내력이 약5% 낮아졌지만 강성과 연성능력에는 거의 영향이 없었다.

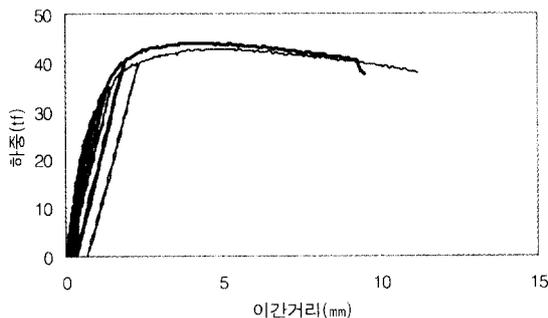


(b) $t_f = 9\text{mm}$

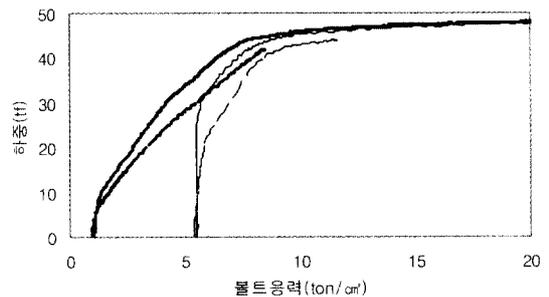
그림 13. 도장의 영향

4.3 볼트 응력 변화

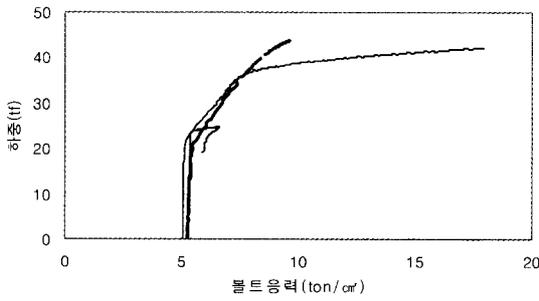
T-플랜지의 변형에 의한 볼트 응력 값의 변화를 살펴보기 위하여 Side A 볼트의 변형률 측정값을 평균내고 최대경4)의 볼트탄성계수 2106tf/cm²를 곱하여 볼트의 응력의 변화를 그림 14에 나타내었다. 그림 14(a)와 같이 1차 토크 체결한 볼트의 응력은 약 1tf/cm²였으며, 2차 토크 체결한 볼트의 응력은 약 5tf/cm²를 나타냈다. 1차 및 2차 토크 체결 후 볼트의 초기장력은 그림 14(b)와 같이 플레이트 두께에 관계없이 일정한 것으로 나타났다. 단순인장가력과 반복가력의 볼트응력의 변화를 비교하여 그림 14(c)나타내었으며 단순인장가력에 비해 반복가력에서 볼트의 초기장력은 약간 낮은 하중에서 제거되는 것으로 나타났다. 또한 도장의 영향으로 볼트의 초기장력이 낮은 하중에서 제거될 것으로 예상하였으나 그림 14(d)와 같이 도장에 의한 볼트축력의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.



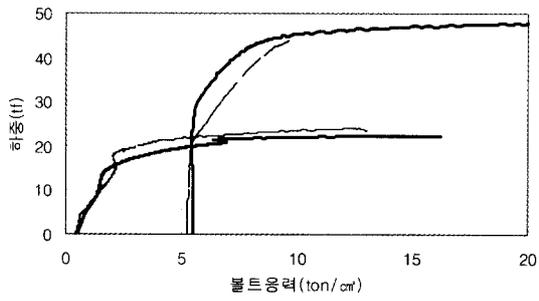
(a) $t_f = 20\text{mm}$



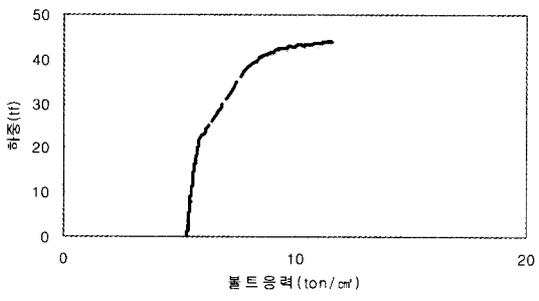
(a) 1차조임과 2차조임의 비교



(b) T-플랜지 두께별 2차조임의 볼트응력 비교

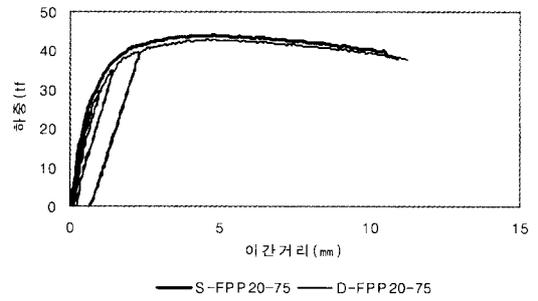


(c) 단순인장가력과 반복가력의 비교

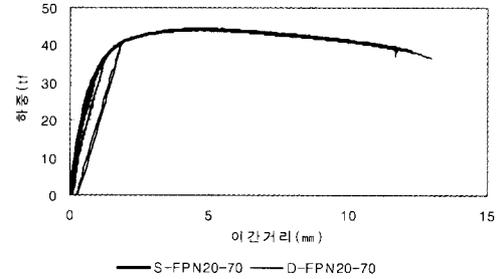


(d) 도장에 의한 볼트의 축력 비교

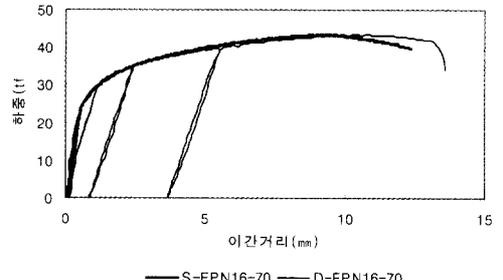
그림 14. 볼트의 응력변화



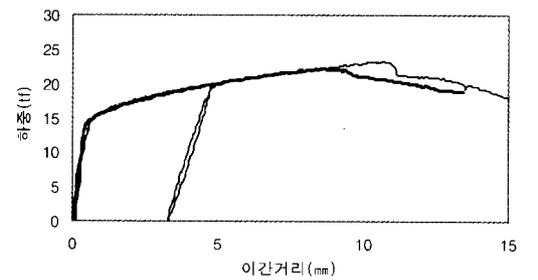
(a) FPP20-75



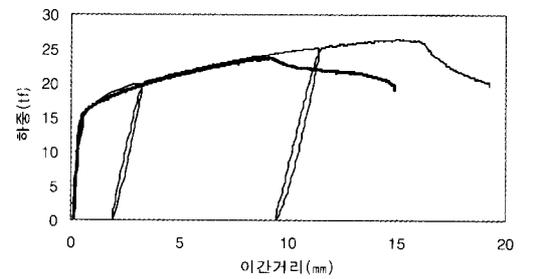
(b) FPN20-70



(c) FPN16-70



(d) FPP9-55



(e) PN9-50

4.4 하중가력 패턴

단순인장가력과 반복가력등 가력방법 변화에 따른 실험체의 거동을 비교하여 그림 20에 나타냈다. T-플랜지 두께 20mm, 16mm 실험체의 경우 반복가력시 그림 15 (a) FPP20-75만 내력이 1.29tf 낮게 나타났을 뿐 단순인장가력과 비교할 때 강성과 내력의 차이는 거의 없었다. 9mm 실험체의 경우 최대 내력의 편차는 크게 나타났으나 강성과 거동의 차이는 거의 없었다. 모든 실험체에서 반복가력시 연성능력은 단순인장가력 보다 우수하게 나타났다.

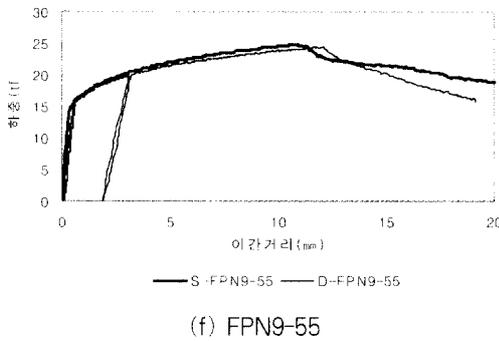


그림 15. 하중가력 패턴에 따른 실험체의 거동 비교

5. 결론

본 논문은 스플릿-티 반강접 접합부의 거동을 평가하기 위하여 T-플랜지 두께, 볼트 초기도입축력, 도장을 변수로 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실험결과 T-플랜지 두께 20mm, 16mm는 볼트가 파괴되는 거동을 나타냈으며, 9mm인 경우에는 T-플랜지 용접부 파괴의 거동을 나타냈다.
- (2) T-플랜지 두께 20mm, 16mm 실험체는 접합 되는 볼트의 웅크의 길이가 짧을수록 최대내력에 도달한 이후 큰 연성을 발휘했다. 9mm 실험체는 용접부의 파괴로 인하여 접합되는 웅크의 길이가 최대내력과 연성과는 관계가 없는 것으로 나타났다.
- (3) 스플릿-티 접합부의 맞닿는 부분이 도장된 실험체는 도장되지 않은 실험체에 비하여 최대내력은 약 5% 정도 낮아졌으나 강성과 연성능력에는 차이가 없는 것으로 나타났다.
- (4) 반복가력시 연성능력이 단순인장가력 보다 우수한 것으로 나타났으며, 볼트의 초기장력 값은 단순인장가력인 경우에 비하여 다소 낮은 하중에서 제거되는 경향을 나타냈다.

참고 문헌

최혜경, 최성모, 김진호(2003), 고력볼트 Split-Tee 접합부의 인장내력, 한국강구조학회 논문집
 이성희, 김진호, 최성모(2004), 고력볼트 Split-Tee 인장 접합부의 구조특성, 한국강구조학회 학술발표논문집
 Barron, J., Bickford, J. H.(1998), Handbook of bolts and bolted joints: Computing the strength of a fastener, Marcel Dekker, New York

C. Faella, V. Piluso, G. Rizzano(2000), STRUCTURAL STEEL SEMIRIGID CONNECTIONS, CRC Press LLC
 C. Faella, V. Piluso, G. Rizzano(1998), Experimental Analysis of Bolted Connections: Snug Versus Preloaded Bolts, *Journal of Structural engineering*, pp.765-774
 Douty, R. T., Mcguire, W.(1965), High Strength Moment Connections, *Journal of Structural engineering*, Vol.91, No.4, pp.101-128
 Geoffrey L. Kulak, John W. Fisher, John H.A. Struik(1987), Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints SECOND EDITION, JOHN WILEY & SONS
 James A. Swanson, Roberto T. Leon(2001), Stiffness Modeling of Bolted T-Stub Connection Components, *Journal of Structural engineering*, pp.498-505
 Jaspert, J.P., Stenhuis, M. and Weinand, K.(1995), The Stiffness Model of Revised Annex J of Eurocode 3, *Third International Workshop on Connections in Steel Structures*, Trento, May
 Kennedy, N.A., vinnakota, S., Sherbourne, A.(1981), The Split-Tee Analogy in Bolted Splices and Beam-Column Connections, *Joint in Structural Steelwork*, John wiley and Sons, New York, pp.2.138-2.157
 Nair, R. S., Birkemoe, P. C., Munse, W. H.(1974), High Strength Bolts Subjects to Prying, *Journal of Structural Engineering*, vol.100, No.2, pp. 351-772
 Shi, Y.J., Chan, S.L., Wong, Y.L.(1996), Modeling for Moment-Rotation Characteristics for End-Plate Connections, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.122, No. 11
 Yee, K.L, Melchers, R.E.(1986), Moment-Rotation Curves for Bolted Connections, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 112, pp.615-635
 (접수일자 : 2004. 10. 11 / 심사일 2004. 10. 11 / 심사완료일 2004. 12. 10)