

무보강 모살용접 각형강관 T형 접합부의 거동에 관한 실험적연구(Ⅱ)

An Experimental Study on the Behavior of Square Hollow Steel Section T-joints to be fillet-welded without Reinforcement

배 규 응¹⁾ · 문 태 섭²⁾
By BAE, Kyu-Woong MOON, Tae-Sup

ABSTRACT: The purpose of this paper is to investigate experimentally the strength and deformation of T-joints to improve the structural behavior of truss connection consisted in square hollow steel section. There are two-types to be changed in T-joint shape. One type is TP-series that a brace member is rotated to 45 degree, another type is TR-series that a chord member is rotated to 45 degree. The most important results obtained from the 2nd experiment on the T-joints is as follow; The yielding strength and initial stiffness of TP-series increase more than a current type(TS-series) in $0.6 \leq \beta(d/D) \leq 0.7 (0.85 \leq \beta' (= \sqrt{2} \cdot \beta) \leq 1.0)$.

1. 서 론

본 논문은 지난번 보고¹⁾에 (96년 6월) 이은 실험연구 보고로서, 각형강관 T형 접합부에 대한 2차 실험의 결과이다. 전회의 보고에서는 T형 접합부 중에서 기존에 사용하고 있는 정방형²⁾과 현재 일본에서 실용화를 위해 연구중인 마름모형³⁾ 접합부에 대한 내력 및 변형성상을 주요 변수에 대해서 파악한 바 있다.

전회의 실험연구 결과¹⁾와 기존의 연구보고 및 규준으로부터, 각형강관 접합부의 내력은 주관에

대한 지관의 폭비가 ($\beta=d/D$) 클수록, 주관의 폭 두께비가 (D/T) 작을수록 커지는 것을 확인하였다. 특히, 각형강관 T형 접합부는 $\beta=0.85$ 를 기준으로 0.85 이하에서는 β 가 커짐에 따라 내력이 완만히 증가하지만 0.85 이상에서는 내력이 급격히 증가함을 확인하였다. 기존의 설계식도 $\beta=0.85$ 를 경계로 다른 식을 사용하고 있다.

본 연구에서는 β 가 커지면 접합부의 내력이 증가한다는 점에 착안하여, 주관과 지관의 단면치수를 변화시키지 않고 β 값을 증가시키는 방안을 고려하게 되었다. 그림 1과 같이 정방형 강관을 45°

1) 한양대학교 건축공학과 박사과정

2) 한양대학교 건축학과 교수, 공박, 포항제철(주) 석좌교수

회전시키면 원래의 단면폭 D는 $\sqrt{2} \cdot D$ 로 되어 단면폭이 $\sqrt{2}$ 배 증가한다. 따라서, 지관을 45° 회전시키면 β 가 $\sqrt{2} \cdot \beta$ 로 되어 접합부 내력이 $\sqrt{2}$ 배 증가한다고 생각할 수 있다. 정확히 $\sqrt{2}$ 배 만큼은 아니더라도 어느정도는 증가시킬 수 있다는 생각하에 T형 접합부에 대한 2차실험을 계획하였고, 내력 및 변형성상에 관한 개선효과를 확인하고자 실험을 수행하였다.

2. 재료 시험

2.1 강재 인장강도시험

2차실험에 사용된 강재의 기계적 성질을 파악하기 위해 KS B 0801규준에 따라 각형강관의 평판부에서 각각 2개씩 총 18개의 인장 시험편을 절취하여 강재의 인장강도 시험을 실시한다. 강재는 일반구조용 강재인 SPSR41을 사용하며, 변형도는 각 시험편에 2개의 스트레인 게이지(W.S.G.)를 부착하여 측정한다. 시험결과는 표 1에 나타났다.

표 1. 강재 인장강도 시험결과

재원	σ_y (t/cm ²)	σ_u (t/cm ²)	σ_y/σ_u	ϵ_y ($\times 10^{-6}$)	E (t/cm ²)	Elo. (%)
150 ² ×9	4.18	4.93	0.85	2142	1951	20
150 ² ×6	3.78	4.65	0.81	2452	1542	20
150 ² ×4.5	3.72	4.52	0.82	2319	1604	16
125 ² ×6	3.84	4.62	0.83	2015	1906	16
100 ² ×6	3.90	4.92	0.79	2047	1905	16
75 ² ×4.5	3.21	3.76	0.89	2040	1600	20
60 ² ×4.5	3.55	4.49	0.79	2044	1737	19
50 ² ×4.5	3.67	4.87	0.76	2045	1795	17
40 ² ×3.2	3.15	3.65	0.89	2193	1437	19

σ_y : 항복강도 σ_u : 인장강도 σ_y/σ_u : 항복비
 ϵ_y : 항복변형도 E: 탄성계수 Elo.: 신장률

2.2 단주 압축시험

냉간성형 각형강관의 소성가공에 의한 잔류응력의 영향을 파악하기 위하여 각형강관으로부터 시험편을 절취하여 단주압축(Stub Column)실험

을 실시한다. 실험체 길이는 휨 좌굴 영향을 받지 않고 파괴되도록 단면폭의 3배로 계획하고 강관 크기에 따라 각각 2개씩 제작한다. 시험체의 중앙부 4면에 W.S.G.를 부착하여 변형도를 측정하고 실험체 전면 및 후면에 대각선 방향으로 2개의 변위계를 대칭으로 설치하여 측변위를 측정한다. 시험결과는 표 2와 같다.

표 2. 단주 압축시험결과

재원	σ_y (t/cm ²)	P_y (ton)	ϵ_y ($\times 10^{-6}$)	P_u (ton)	P_u/P_y
150 ² ×6	4.08	127.12	2518	141.99	1.12
150 ² ×4.5	3.71	95.49	2373	96.35	1.01
125 ² ×6	4.17	106.10	2647	127.04	1.20
100 ² ×6	4.05	85.92	2383	102.69	1.20
75 ² ×4.5	3.32	39.67	2539	46.49	1.17
60 ² ×4.5	3.90	33.83	2434	46.55	1.38
50 ² ×4.5	4.25	20.00	2505	39.20	1.96
40 ² ×3.2	4.01	14.00	2503	20.38	1.46

표 3. 정방형, 마름모형과 개선형 II의 실험체 일람

시험체명	주관		지관		d/D (β)	D-d/2 (mm)	
	단면크기	D/T	단면크기	d/t			
TSA TLA	1	150 ² ×4.5	33.3	60 ² ×4.5	13.3	0.40	45.0
	2			75 ² ×4.5	16.7	0.50	37.5
	3			100 ² ×6	16.7	0.67	25.0
	4			125 ² ×6	20.8	0.83	12.5
	5			150 ² ×6	25.0	1.00	0
TSA	6	150 ² ×6	25	40 ² ×3.2	12.5	0.27	55
	7			50 ² ×4.5	11.1	0.33	50
TSB TLB TRB	1	150 ² ×6	25	60 ² ×4.5	13.3	0.40	45.0
	2			75 ² ×4.5	16.7	0.50	37.5
	3			100 ² ×6	16.7	0.67	25.0
	4			125 ² ×6	20.8	0.83	12.5
	5			150 ² ×6	25.0	1.00	0
TSB	6	150 ² ×6	25	40 ² ×3.2	12.5	0.27	55
	7			50 ² ×4.5	11.1	0.33	50
TSC TLC	1	150 ² ×9	16.7	60 ² ×4.5	13.0	0.40	45.0
	2			75 ² ×4.5	16.7	0.50	37.5
	3			100 ² ×6	16.7	0.67	25.0
	4			125 ² ×6	20.8	0.83	12.5
	5			150 ² ×6	25.0	1.00	0
	6			40 ² ×3.2	12.5	0.27	55
	7			50 ² ×4.5	11.1	0.33	50

T □ □ □
 — 지관폭(d)에 대한 주관폭(D)의 비
 — 주관두께(T)에 대한 주관폭(D)의 비
 S: 정방형, L: 마름모형
 P: 개선형 I(지관 회전형)
 R: 개선형 II(주관 회전형)

표 4. 개선형 I의 실험체 일람

시험체명	주 관		지 관		d/D (β)	β' ($=\sqrt{2}\cdot\beta$)	
	단면크기	D/T	단면크기	d/t			
TPA	1	150 ² ×4.5	33.3	75 ² ×4.5	16.7	0.50	0.71
	2			85 ² ×6	14.2	0.53	0.80
	3			95 ² ×6	15.8	0.63	0.90
	4			100 ² ×6	16.7	0.67	0.94
	5			105 ² ×6	17.5	0.70	0.99
TPB	1	150 ² ×6	25	40 ² ×4.5	8.89	0.27	0.38
	2			50 ² ×4.5	11.1	0.33	0.47
	3			60 ² ×4.5	13.3	0.40	0.57
	4			75 ² ×4.5	16.7	0.50	0.71
	5			100 ² ×6	16.7	0.67	0.94
TPC	1	150 ² ×9	16.7	80 ² ×6	13.3	0.53	0.75
	2			85 ² ×6	14.2	0.57	0.80
	3			90 ² ×6	15.0	0.60	0.85
	4			95 ² ×6	15.8	0.63	0.90
	5			100 ² ×6	16.7	0.67	0.95

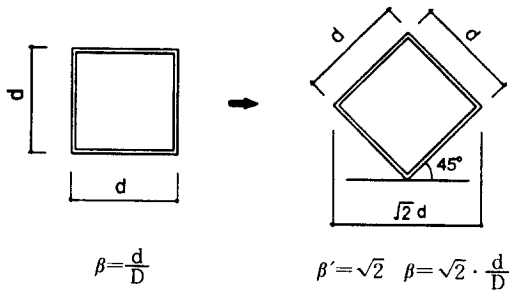
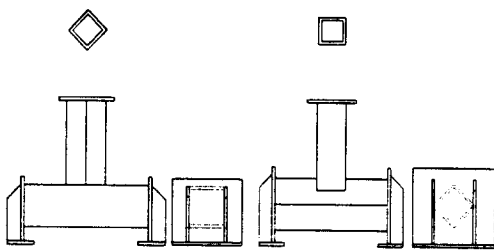


그림 1. 단면의 회전효과



(a) 개선형 I (b) 개선형 II

그림 2. 개선형 실험체 형상

3. 개선형 T형 접합부 압축실험

3.1 실험체 계획

내력 및 변형성상을 개선시키기 위해 주관과 지

관을 각각 45°회전시킨 개선형 T형 접합부 실험체 형상은 그림 2와 같다. 개선형 I은 주관을 정방향과 같이 회전시키지 않고 지관만을 45°회전시킨 지관 회전형을 말하고, 개선형 II는 개선형 I과는 반대로 주관만을 45°회전시킨 주관 회전형을 말한다.

이전의 보고¹⁾와 마찬가지로 주요 변수는 주관 단면의 폭두께비(D/T)와 주관에 대한 지관의 폭비($\beta=d/D$)로 정한다. 개선효과를 비교하기 위해서 전보의 정방향과 마름모형과 같은 단면치수를 사용한다. 표 3, 표 4은 T형 접합부 실험체의 일람을 수록한 것이다. 폭두께비(D/T)는 33.3, 25, 16.7로 3가지를 선정하고, 폭비(β)는 0.27, 0.33, 0.40, 0.50, 0.67, 0.83, 1.0 으로 하여 7가지로 변화시킨다. 주관 스펠(L)은 주관 직경의 3배(L=3D)로 통일하고, 지관 길이는 지관의 굽부좌굴 내력을 단주압축실험과 직접 비교하기 위해 지관 직경의 3배로 한다.

실험체 치수 및 셋팅 상황은 전보의 그림 2와 같다. 변위계 설치위치와 W.S.G. 부착위치도 전보의 정방향과 마름모형 실험체와 같다.

3.2 가력 및 측정방법

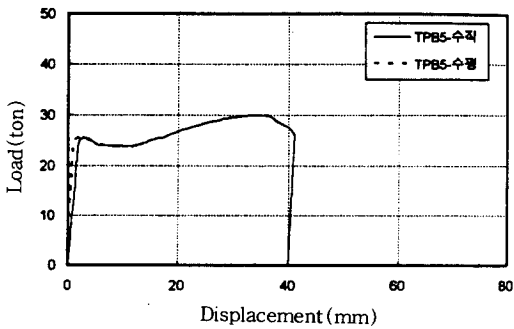
개선형 T형 접합부 실험체의 가력 및 측정방법은 지난번 보고의 정방향 및 마름모형 실험체와 같다.

3.3 실험결과

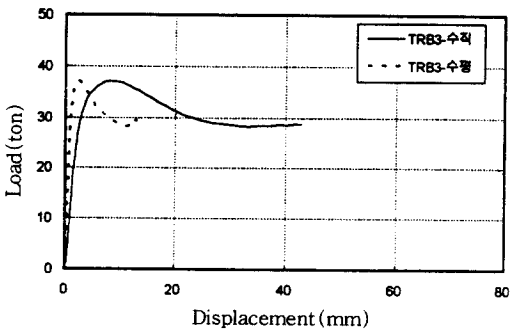
1) 하중-변위(P- δ) 관계

그림 3은 개선형인 TPB5와 TRB3 실험체의 하중에 대한 주관과 지관의 상대수직변위(δ_v) 및 주관의 수평변위(δ_H)를 나타낸 것으로, 같은 하중에서 수직변위가 수평변위보다 큰 것으로 나타났다. 따라서, 개선형 T형 접합부의 내력도 정방향 및 마름모형과 마찬가지로 수직변위로 결정됨을 알 수 있다. 그림 4는 각 실험체 계열별로 하중-변위

(δ_v) 관계곡선을 나타낸 것이다. 그림 4중의 (a), (b), (c)는 정방형에 대한 $P-\delta_v$ 곡선이고, (d), (e), (f)는 개선형 I에 대한 $P-\delta_v$ 곡선이다. (g), (h), (i)는 마름모형에 대한 $P-\delta_v$ 곡선이고, (j)는 개선형 II에 대한 $P-\delta_v$ 곡선이다. 그림 4을 살펴보면, 정방형인 TS계열 실험체와 개선형 I인 TP계열 실험체는 D/T와 β 값의 조합에 따라서 붕괴모드(전보 4.2절 참조)가 M1, M2, M3, M4, M5의 여러 가지 형태로 변한다. 반면에 마름모형인 TL계열 실험체와 개선형 II인 TR계열 실험체는 D/T 및 β 값에 관계없이 붕괴모드는 M1으로 일정하게 나타났다. 표 5는 실험으로 부터 얻은 항복하중과 최대하중 및 항복하중과 최대하중시의 상대수직변위를 수록한 것이다. 표 6, 표 7과 표 8은 각각 TP계열, TL계열과 TR계열의 실험 결과를 정리하여 수록한 것이다.



(a) TPB5 계열 실험체



(b) TRB3 계열 실험체

그림 3. 하중-수직, 수평변위 관계곡선

2) 하중 - 폭비($P-\beta$)의 관계

그림 5는 TS계열과 TP계열에서 주관의 D/T에 따른 항복하중(P_y) 및 최대하중(P_u)과 폭비(β)의 관계를 나타낸 것이다. TS계열은(전보 참조) 물론 TP계열도 D/T가 작을수록 β 가 클수록 접합부 내력은 증가함을 알 수 있고, $\beta \leq 0.6$ 에서는 항복내력의 차이는 거의 없지만, $0.6 \leq \beta \leq 0.7$ ($0.85 \leq \beta' \leq 1.0$)의 범위에서는 TP계열이 TS계열보다 항복내력이 상승하는 것을 알 수 있다. 그러나, 최대내력은 TPA계열과 TPC계열이 다소 상승하는 반면에 TPB계열은 저하하는 것으로 나타나고 있는데 이는 실험체 제작상 및 가력상의 오차인 것으로 추정된다. 실험결과를 포괄적으로 고려할 때, 최대내력도는 $0.6 \leq \beta \leq 0.7$ ($0.85 \leq \beta' \leq 1.0$)의 범위에서 TP계열이 TS계열보다 다소 큰 것으로 판단된다.

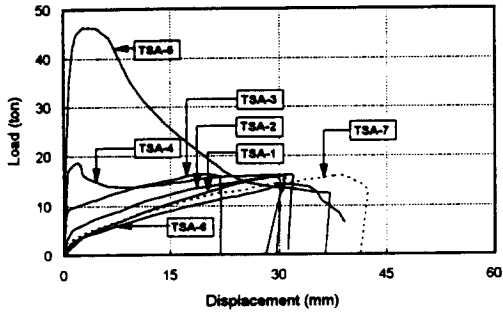
그림 6은 TS계열과 TL계열의 항복하중과 폭비 관계를 나타낸 것으로 $\beta \leq 0.85$ 일때는 TL계열이 TS계열보다 항복내력이 상당히 큰 것으로 나타났으며, $0.85 \leq \beta \leq 1.0$ 범위에서는 오히려 TS계열의 항복내력이 대체로 크게 나타난 것으로 보아 $0.85 \leq \beta \leq 1.0$ 범위에서는 TL계열의 적용 가능성이 작은 것으로 생각된다.

그림 7은 TL계열과 TR계열의 하중과 폭비의 관계를 나타낸 것으로 TS 및 TP계열과 마찬가지로 D/T가 작을수록 β 가 클수록 내력이 증가하는 것을 알 수 있다. TL계열이 TR계열보다 항복하중과 최대하중 모두에서 상당히 큰 것으로 나타났다.

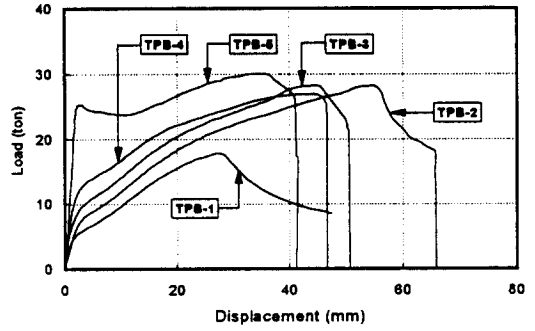
4. 분석 및 고찰

4.1 붕괴모드 및 개선효과

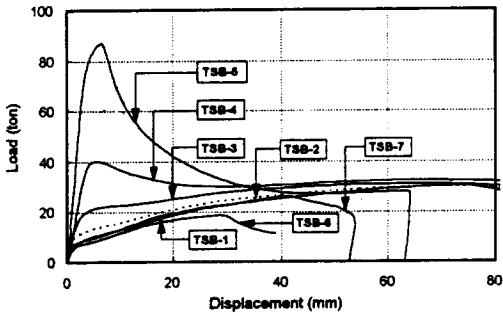
표 5, 표 6, 표 7과 표 8은 각각 TS계열, TP계열, TL계열과 TR계열 실험체의 항복내력과 최대내력 및 초기강성과 소성변형능력을 실험체별로 비교· 수록한 것이다.



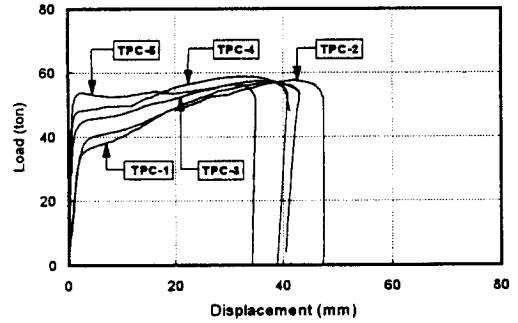
(a) TSA 계열 시험체



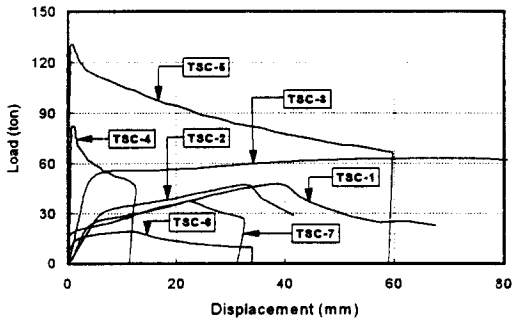
(e) TPB 계열 시험체



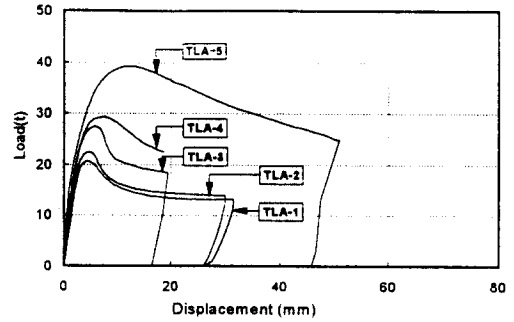
(b) TSB 계열 시험체



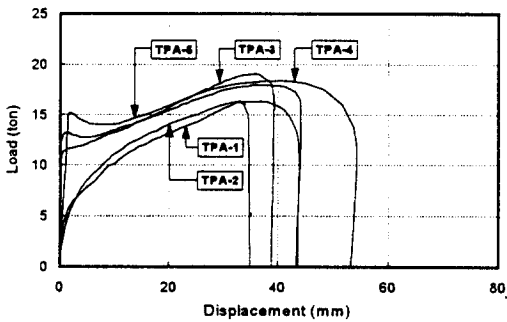
(f) TPC 계열 시험체



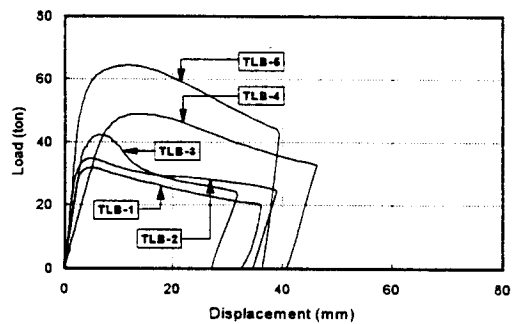
(c) TSC 계열 시험체



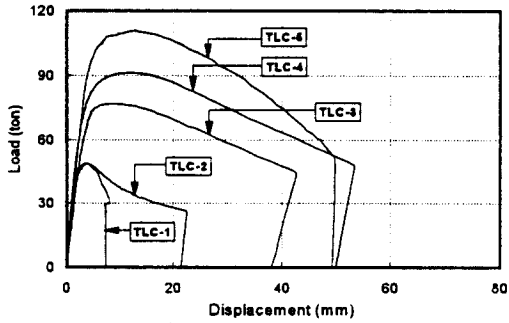
(g) TLA 계열 시험체



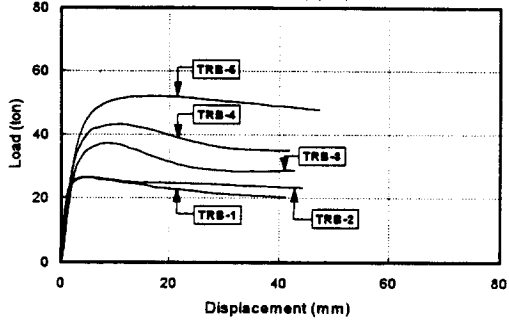
(d) TPA 계열 시험체



(h) TLB 계열 시험체

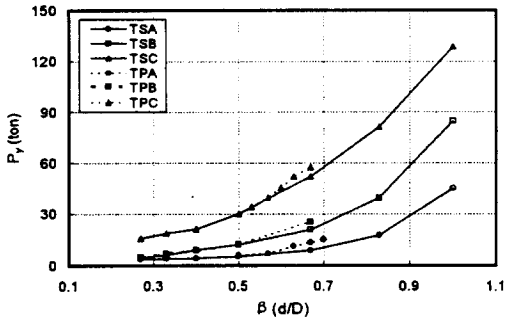


(i) TLC 계열 시험체

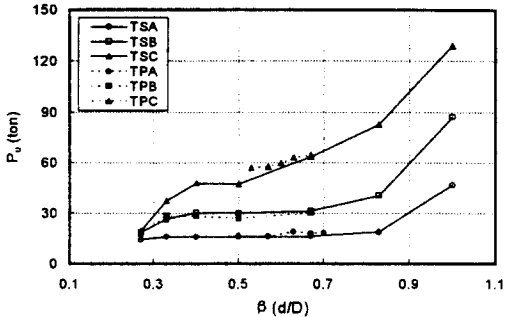


(j) TRB 계열 시험체

그림 4. 하중-수직변위($P-\delta$)관계 곡선



(a) TS 및 TP계열의 $P_y-\beta$ 관계



(b) TS 및 TP계열의 $P_v-\beta$ 관계

그림 5. 하중-폭비 관계 곡선

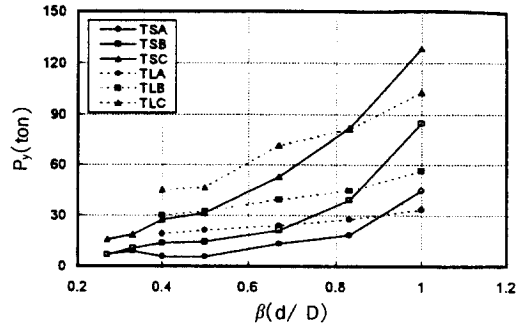
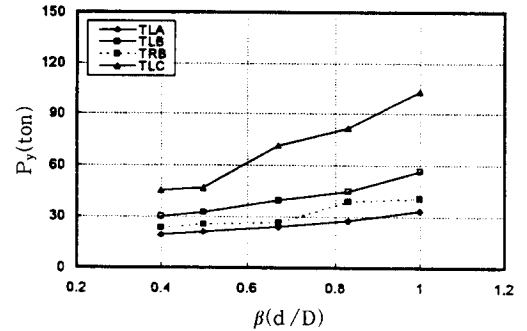
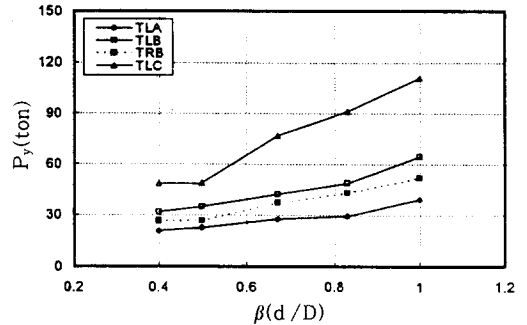


그림 6. TS 및 TL계열의 $P_y-\beta$ 관계 곡선



(a) TL 및 TR계열의 $P_y-\beta$ 관계



(b) TL 및 TR계열의 $P_v-\beta$ 관계

그림 7. 하중-폭비 관계 곡선

1) 정방형(TS계열) 실험체

TSA-1, 2, 3, 6, 7 실험체, TSB-1, 2, 3 실험체와 TSC-3 실험체는 주관 상부 플랜지면이 재하방향으로 함몰하면서 상부면이 항복하고 그이후 플랜지면의 면내력으로 이동하면서 소성역이 확산되어 내력이 계속해서 상승하는 주관 플랜지면 항

표 5. TS계열의 실험결과(정방향)

시험 체명	d (mm)	eP_y (ton)	eP_u (ton)	$\frac{eP_u}{eP_y}$	δ_y (mm)	δ_u (mm)	rK_i (t/mm)	붕괴 모드
TSA1	60	4.27	15.89	3.69	2.46	30.29	1.42	M2
TSA2	75	5.10	15.74	3.16	3.00	30.04	2.07	M2
TSA3	100	8.68	16.30	1.88	1.04	17.91	8.37	M2
TSA4	125	17.46	18.80	1.08	1.62	1.92	10.78	M4
TSA5	150	44.83	46.81	1.04	1.50	2.23	30.00	M1
TSA6	40	3.51	14.26	4.06	2.27	31.03	1.55	M2
TSA7	50	3.91	15.93	4.07	1.68	38.33	2.33	M2
TSB1	60	13.48	30.17	2.24	11.2	71.52	2.73	M2
TSB2	75	14.28	29.98	2.10	7.10	67.05	3.91	M2
TSB3	100	21.04	31.08	1.48	4.73	61.14	4.90	M2
TSB4	125	39.13	40.37	1.03	4.23	5.56	9.39	M4
TSB5	150	84.78	87.13	1.03	5.24	6.60	21.52	M1
TSB6	40	4.51	18.57	4.12	4.23	5.56	4.85	M5
TSB7	50	5.96	26.26	4.41	5.24	6.60	6.34	M5
TSC1	60	27.35	47.71	1.74	8.24	39.13	6.06	M5
TSC2	75	31.36	47.10	1.50	6.96	32.28	4.81	M5
TSC3	100	52.87	63.27	1.20	5.03	67.21	16.19	M2
TSC4	125	81.14	82.66	1.02	1.14	1.77	71.70	M1
TSC5	150	128.48	128.84	1.00	1.24	1.39	103.61	M1
TSC6	40	15.60	19.39	1.24	1.19	11.7	13.00	M5
TSC7	50	18.52	37.30	2.01	0.48	22.28	38.58	M5

eP_y : 실험치 항복하중 δ_y : 항복하중시 변위
 eP_u : 실험치 최대하중 δ_u : 최대하중시 변위
 sK_i : 정방향 초기강성 lK_i : 마름모형 초기강성
 rK_i : 개선형 I 초기강성 rK_i : 개선형 II 초기강성

표 6. TL계열의 실험결과(마름모형)

시험 체명	d (mm)	eP_y (ton)	eP_u (ton)	$\frac{eP_u}{eP_y}$	δ_y (mm)	δ_u (mm)	lK_i (t/mm)	붕괴 모드
TLA1	60	19.16	20.67	1.08	3.00	4.60	7.07	M1
TLA2	75	21.06	22.50	1.07	3.18	4.67	7.89	M1
TLA3	100	23.87	27.52	1.15	3.09	5.80	11.15	M1
TLA4	125	27.47	29.44	1.07	4.31	7.61	8.10	M1
TLA5	150	33.40	39.23	1.17	5.34	12.23	13.83	M1
TLB1	60	30.05	31.72	1.06	3.02	4.95	12.26	M1
TLB2	75	32.34	34.71	1.07	2.73	5.00	16.22	M1
TLB3	100	39.44	42.17	1.07	4.19	6.47	11.47	M1
TLB4	125	44.70	48.86	1.09	4.40	9.19	6.21	M1
TLB5	150	56.46	64.47	1.14	4.10	11.79	17.80	M1
TLC1	60	45.16	48.45	1.07	2.53	3.82	30.02	M1
TLC2	75	46.58	48.86	1.05	2.69	3.80	20.23	M1
TLC3	100	71.41	76.83	1.08	4.44	8.97	20.27	M1
TLC4	125	81.40	91.18	1.12	4.52	11.08	28.13	M1
TLC5	150	102.89	110.79	1.08	4.61	12.46	22.32	M1

복형 붕괴모드(M2)로 파괴되었다. TSB-6, 7 실험체와 TSC-1, 2, 6, 7 실험체는 주관의 플랜지면

표 7. TP계열의 실험결과(개선형 I)

시험 체명	d (mm)	eP_y (ton)	eP_u (ton)	$\frac{eP_u}{eP_y}$	δ_y (mm)	δ_u (mm)	rK_i (t/mm)	붕괴 모드
TPA1	75	5.85	16.38	2.80	1.73	32.99	3.38	M2
TPA2	85	6.79	16.30	2.40	3.00	36.25	2.26	M2
TPA3	95	11.27	19.10	1.69	0.69	35.88	16.33	M2
TPA4	100	13.2	17.96	1.36	1.06	37.81	12.45	M4
TPA5	105	15.15	18.37	1.21	1.63	40.36	9.30	M4
TPB1	40	4.70	17.87	3.80	1.24	27.32	3.79	M5
TPB2	50	6.83	28.35	4.15	2.38	54.85	2.87	M5
TPB3	60	8.58	28.32	3.30	2.23	44.4	3.85	M2
TPB4	75	12.36	26.89	2.18	2.14	44.85	5.78	M2
TPB5	100	25.26	30.05	1.19	2.20	34.46	11.48	M4
TPC1	80	33.92	56.99	1.70	2.41	38.10	14.07	M2
TPC2	85	39.50	57.63	1.54	3.16	41.88	12.50	M2
TPC3	90	45.10	59.70	1.35	1.60	35.12	28.19	M2
TPC4	95	51.76	63.07	1.24	1.63	34.23	31.75	M4
TPC5	100	57.27	64.60	1.10	1.32	31.06	43.39	M4

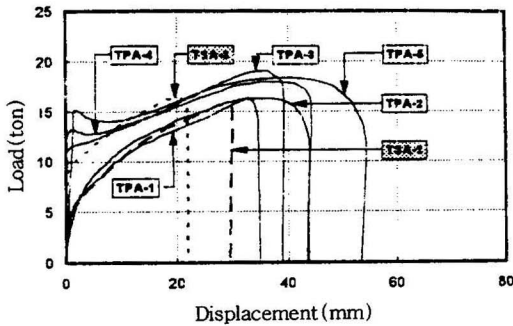
표 8. TR계열의 실험결과(개선형 II)

시험 체명	d (mm)	eP_y (ton)	eP_u (ton)	$\frac{eP_u}{eP_y}$	δ_y (mm)	δ_u (mm)	rK_i (t/mm)	붕괴 모드
TRB1	60	23.31	26.49	1.14	1.07	4.60	21.79	M1
TRB2	75	25.33	26.53	1.05	1.68	4.92	15.08	M1
TRB3	100	26.50	37.12	1.40	1.98	7.92	13.39	M1
TRB4	125	38.78	43.04	1.11	2.35	11.10	16.50	M1
TRB5	150	40.47	51.98	1.28	2.79	15.63	14.50	M1

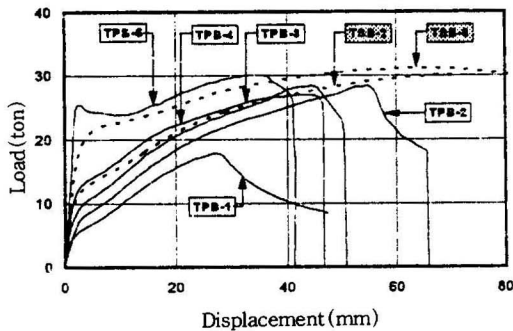
항복후 내력이 서서히 증가하다가 지관의 국부좌굴로 내력이 급격히 저하되는 붕괴모드(M5)로 파괴되었다. TSA-4, TSB-4 실험체는 주관의 Web Crippling이 발생하여 내력이 급격히 저하함과 동시에 주관 상부 플랜지면의 소성역이 확산되면서 서서히 내력을 회복하여 그때까지의 내력을 계속 유지하는 붕괴모드(M4)로 파괴되었다. TSA-5, TSB-5, TSC-4, 5 실험체는 주관의 웹면이 면외로 변형되는 Web Crippling 붕괴모드(M1)로 파괴되었다.

정방향 T형 접합부는 β 값이 커지면서 붕괴모드가 M2에서 M4 및 M1으로 전환되는 경향을 보이는데, 이는 β 값이 커지면 주관의 웹과 지관의 웹이 가까워지기 때문이다. β 가 작으면 주관과 지관의 웹사이 거리가 멀어져 주관의 상부 플랜지면이 먼저 판국부좌굴로 항복하기 때문에 항복

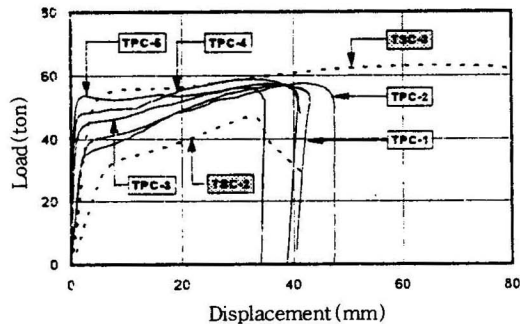
내력은 낮지만 소성변형능력은 커진다. 반면에, β 가 커지면 주관과 지관의 웨브가 가까워져 주관 웨브가 편심기동과 같이 좌굴하는 Web Crippling이 발생하기 때문에 항복내력은 크지만 소성변형능력은 작아진다. β 값이 중간 정도(0.85)일 때는 Web Crippling과 주관 상부 플랜지면 항복이 모두 나타나기 때문에 내력도 상승하고 변형능력도 어느정도 확보할 수 있는 붕괴모드(M4)를 갖는다.



(a) TSA 및 TPA계열 실험체



(b) TSB 및 TPB계열 실험체



(c) TSC 및 TPC계열 시험체

그림 8. TS계열과 TP계열의 비교 곡선

2) 개선형 I (TP계열) 실험체

그림 4.(d), (e), (f)에서 알 수 있듯이 TP계열도 TS계열과 마찬가지로 β 값에 따라 여러 가지 붕괴모드가 나타나고 있다. TPA-1, 2, 3 실험체, TPB-3, 4 실험체와 TPC-1, 2, 3 실험체는 붕괴모드 M2로 파괴되었고, TPB-1, 2는 붕괴모드 M5로 파괴되었다. TPA-4, 5 실험체, TPB-5 실험체와 TPC-4, 5 실험체는 붕괴모드 M4로 파괴되었다.

그림 8은 정방형과 개선형 I을 비교한 것이다. TPB계열 실험체는 TSB계열 실험체와 비교하기 위해서 지관의 폭을 같게, 즉 β 값을 같게 계획하여 실험을 수행하였다. TPA 및 TPC는 각각 TSA 및 TSC와 내력을 비교하면서 개선효과를 얻을 수 있는 β 의 영역을 찾고자 실험을 수행하였다. 실험결과, $\beta \leq 0.6$ ($\beta' \leq 0.85$)에서는 개선의 효과가 거의 없는 것으로 나타나고 있고, $0.6 \leq \beta \leq 0.7$ ($0.85 \leq \beta' \leq 1.0$)의 범위 이내에 있는 실험체 (TPA-3, 4, 5; TPB-5; TPC-3, 4, 5)는 내력 및 변형성상이 개선된 것으로 나타나고 있다. 즉, 지관을 45°회전시켜 개선효과를 얻으려면 $0.6 \leq \beta \leq 0.7$ ($0.85 \leq \beta' \leq 1.0$)의 범위에서 가능하다. 이때 붕괴모드도 지관회전 이전의 M2 형태에서 지관회전 이후의 M4 형태로 전환되어 내력 및 변형성상이 개선됨을 알 수 있다.

3) 마름모형 (TL계열) 실험체

TL계열 실험체는 β 값에 관계없이 붕괴모드가 M1으로 모두 같다. $\beta \leq 0.83$ 인 경우, TL계열은 같은 단면크기의 TS계열 보다 내력은 크지만 소성변형능력은 작은 것으로 나타났다. 반면에, $\beta \geq 0.83$ 인 경우에는 TS계열이 TL계열 보다 내력이 크고 변형능력은 작은 것으로 나타났다.

4) 개선형 II (TR계열) 실험체

TR계열 실험체는 TL계열과 마찬가지로 붕괴모드가 M1으로 모두 같다. TR계열은 같은 단면 크기의 TL계열 보다 내력은 작지만, 최대하중 이후에 내력의 저하율은 오히려 작다. 주관을 45°회전시킨 TR계열은 내력 및 변형성상의 효과는

그다지 크지 않은 것으로 밝혀졌지만, 시공성 개선 측면에서 고려할 때 향후, 충분한 연구의 가치가 있다고 생각한다.

4.2 내력 및 초기강성의 비교

표 9은 TS계열에 대한 TP계열의 내력, 초기강성과 소성변형능력을 비교한 것이다. 표 10은 TS계열에 대해서 TL계열을 비교한 것이고, 표 11은 TL계열에 대해서 TR계열을 비교한 것이다.

1) 항복 및 최대내력의 비교

실험으로 부터 얻은 결과만을 비교하면, TS계

열에 대한 TP계열의 항복하중비는 $\beta \leq 0.6$ ($\beta' \leq 0.85$)일때 $0.97 \leq P_{Py}/sP_{Py} \leq 1.15$ 사이에 분포하여 TP계열이 다소 높은 내력을 보이고 있고, $0.6 \leq \beta \leq 0.7$ ($0.85 \leq \beta' \leq 1.0$)일때는 $1.11 \leq P_{Py}/sP_{Py} \leq 1.52$ 사이에 분포하여 TP계열이 상당히 높은 내력을 보이고 있다. 최대내력은 두 계열이 유사하게 나타났다.

TS계열에 대한 TL계열의 항복하중비는 $\beta \leq 0.83$ 일때 $1.00 \leq L_{Py}/sP_{Py} \leq 4.49$ 사이에 분포하여 TL계열이 월등히 높은 내력을 보이고 있고, $0.83 \leq \beta \leq 1.0$ 일때는 $0.67 \leq L_{Py}/sP_{Py} \leq 1.00$ 사이에 분포하여 오히려 TS계열이 높은 내력을 보이고

표 9. 정방형과 개선형 I 실험체의 초기강성 및 내력비교

시험체명	d/D	지관 크기	정 방 형				개 선 형 I				$\frac{P_{Py}}{sP_{Py}}$	$\frac{P_{Pu}}{sP_{Pu}}$	$\frac{P_{Ki}}{sK_i}$	$\frac{PD}{sD}$
			sP _y (ton)	sP _u (ton)	sK _i (t/mm)	sD (σ_u/σ_y)	P _{Py} (ton)	P _{Pu} (ton)	P _{Ki} (t/mm)	PD (σ_u/σ_y)				
TSA	0.50	75	5.10	15.74	2.07	10.01	5.85	16.38	3.38	19.07	1.15	1.04	1.63	1.91
TPA	0.67	100	8.68	16.30	8.35	17.22	13.20	17.96	12.45	35.17	1.52	1.10	1.49	2.07
TSB TPB	0.27	40	4.51	18.57	4.85	1.31	4.70	17.87	3.79	22.03	1.04	0.96	0.78	1.68
	0.33	50	5.96	26.26	6.34	1.23	6.83	28.35	2.87	23.05	1.15	1.08	0.45	18.74
	0.40	60	8.82	30.17	2.73	6.39	8.58	28.32	3.85	19.91	0.97	0.94	1.41	3.12
	0.50	75	11.94	29.98	3.91	9.44	12.36	26.89	5.78	20.96	1.04	0.90	1.48	2.20
TSC, TPC	0.67	100	20.59	31.08	4.90	12.93	25.26	30.05	11.48	15.66	1.23	0.97	2.34	1.21
	0.67	100	51.80	62.76	16.19	13.36	57.27	64.60	43.39	23.53	1.11	1.03	2.68	1.76

표 10. 정방형과 마름모형 실험체의 초기강성 및 내력비교

시험체명	d/D	지관 크기	정 방 형				마 름 모 형				$\frac{L_{Py}}{sP_{Py}}$	$\frac{L_{Pu}}{sP_{Pu}}$	$\frac{L_{Ki}}{sK_i}$	$\frac{LD}{sD}$
			sP _y (ton)	sP _u (ton)	sK _i (t/mm)	sD (σ_u/σ_y)	L _{Py} (ton)	L _{Pu} (ton)	L _{Ki} (t/mm)	LD (σ_u/σ_y)				
TSA TLA	0.40	60	4.27	15.89	1.42	12.31	19.16	20.67	7.07	1.53	4.49	1.30	4.11	0.12
	0.50	75	5.10	15.74	2.07	10.01	21.06	22.50	7.89	1.47	4.13	1.42	3.81	0.15
	0.67	100	8.68	16.30	8.35	17.22	23.87	27.52	11.15	1.88	2.75	1.69	1.34	0.11
	0.83	125	17.46	18.80	10.78	1.18	27.47	29.44	8.10	1.77	1.57	1.57	0.75	1.50
	1.00	150	44.83	46.81	30.00	1.49	33.40	39.23	13.83	4.56	0.76	0.84	0.46	3.06
TSB TLB	0.40	60	8.82	30.17	4.42	6.39	30.3	31.72	12.26	1.64	3.44	1.05	2.77	0.26
	0.50	75	11.94	29.98	8.25	9.44	32.34	34.71	16.22	1.83	2.71	1.16	1.97	0.20
	0.67	100	20.59	31.08	8.60	12.93	39.44	42.17	11.47	1.54	1.92	1.36	1.33	0.12
	0.83	125	39.13	40.37	9.39	1.31	44.70	48.86	6.21	2.09	1.14	1.20	0.66	1.60
	1.00	150	84.78	87.13	21.52	1.26	56.46	64.47	17.80	2.88	0.67	0.74	0.83	2.29
TSC TLC	0.40	60	21.02	47.71	6.06	4.75	45.16	48.45	30.02	1.51	2.15	1.02	4.95	0.32
	0.50	75	29.88	47.10	4.81	4.64	46.58	48.86	20.23	1.41	1.56	1.04	4.21	0.30
	0.67	100	51.80	63.27	16.19	13.36	71.41	76.83	20.27	2.02	1.38	1.21	1.25	0.15
	0.83	125	81.14	82.66	71.70	1.55	81.40	91.18	28.13	2.45	1.00	1.10	0.40	1.58
	1.00	150	128.48	128.84	103.61	1.12	102.89	110.79	22.32	2.70	0.80	0.86	0.22	2.41

표 11. 마름모형과 개선형 II 실험체의 초기강성 및 내력비교

시험체명	d/D	지관 크기	마름모형				개선형 II				$\frac{RPy}{LPy}$	$\frac{RPu}{LPu}$	$\frac{RKi}{LK_i}$	$\frac{RD}{LD}$
			LP_y (ton)	LP_u (ton)	LK_i (t/mm)	LD (σ_u/σ_y)	RP_y (ton)	RP_u (ton)	RK_i (t/mm)	RD (σ_u/σ_y)				
TLB TRB	0.40	60	30.05	31.72	12.26	1.64	23.31	26.49	21.79	4.30	0.78	0.84	1.78	2.62
	0.50	75	32.34	34.71	16.22	1.83	25.33	26.53	15.08	2.93	0.78	0.76	0.93	1.60
	0.67	100	39.44	42.17	11.47	1.54	26.50	37.12	13.39	4.00	0.67	0.88	1.17	2.60
	0.83	125	44.70	48.86	6.21	2.09	38.78	43.04	16.50	4.68	0.88	0.88	2.66	2.24
	1.00	150	56.46	64.47	17.80	2.88	40.47	51.98	14.50	5.60	0.72	0.81	0.81	1.94

sP_u : 정방형 최대하중 lP_u : 마름모형 최대하중 sP_y : 정방형 항복하중 lP_y : 마름모형 항복하중
 pP_u : 개선형 I 최대하중 rP_u : 개선형 II 최대하중 pP_y : 개선형 I 항복하중 rP_y : 개선형 II 항복하중
 sK_i : 정방형 초기강성 lK_i : 마름모형 초기강성 pK_i/sK_i : 정방형에 대한 개선형 I 초기강성비
 pK_i : 개선형 I 초기강성 rK_i : 개선형 II 초기강성 rK_i/lK_i : 마름모형에 대한 개선형 II 초기강성비
 sD : 정방형 최대하중시변위에 대한 항복하중시 변위비 pD : 개선형 I 최대하중시변위에 대한 항복하중시 변위비
 lD : 마름모형 최대하중시변위에 대한 항복하중시 변위비 rD : 개선형 II 최대하중시변위에 대한 항복하중시 변위비

있다. 최대내력도 마찬가지로 $\beta \leq 0.83$ 일때 $1.02 \leq lP_u/sP_u \leq 1.69$ 사이에 분포하여 TL계열이 월등히 높은 내력을 보이고 있고, $0.83 \leq \beta \leq 1.0$ 일때는 $0.74 \leq lP_u/sP_u \leq 1.10$ 사이에 분포하여 오히려 TS계열이 비교적 높은 내력을 보이고 있다. TL계열에 대한 TR계열의 항복하중비는 β 값에 관계없이 $0.67 \leq lP_y/sP_y \leq 0.88$ 사이에 분포하여 TL계열이 월등히 높은 내력을 보이고 있고, 최대하중비는 $0.76 \leq lP_u/sP_u \leq 0.88$ 사이에 분포하여 TL계열이 월등히 높은 내력을 보이고 있다.

2) 초기강성의 비교

TS계열에 대한 TP계열의 초기강성비는 $\beta \leq 0.6$ ($\beta' \leq 0.85$)일때 $0.45 \leq pK_i/sK_i \leq 1.63$ 사이에 분포하고 있어 우열을 가리기가 곤란하다. $0.6 \leq \beta \leq 0.7$ ($0.85 \leq \beta' \leq 1.0$)일때는 $1.49 \leq pK_i/sK_i \leq 2.68$ 사이에 분포하여 TP계열의 초기강성이 매우 높은 것을 확인하였다. 최대내력은 두 계열이 유사하게 나타났다.

TS계열에 대한 TL계열의 초기강성비는 $\beta \leq 0.83$ 일때 $0.40 \leq lK_i/sK_i \leq 4.95$ 사이에 분포하여 TL계열이 상당히 높게 나타나고 있고, $0.83 \leq \beta \leq 1.0$ 일때는 $0.22 \leq lK_i/sK_i \leq 0.75$ 사이에 분포하여 오히려 TS계열이 상당히 높은 내력을 보이고 있다.

TL계열에 대한 TR계열의 초기강성비는 β 값의

대소에 관계가 없고 일관된 경향을 보이지 않기 때문에 계열간의 우열을 정하기가 곤란하다.

5. 결 론

이상과 같은 “무보강 모살용접 각형강관 T형 접합부” 2차 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 주관에 대한 지관의 폭비가 $\beta \leq 0.6$ ($\beta' \leq 0.85$) 인 경우, 개선형 I (지관회전형)은 같은 단면 크기의 정방형과 비교하면 내력 및 변형성상의 개선효과가 거의 없고, 붕괴모드도 거의 같다.
- (2) $0.6 \leq \beta \leq 0.7$ ($0.85 \leq \beta' \leq 1.0$)인 경우, 개선형 I은 정방형에 비해 항복내력은 약28% 상승하고 초기강성도 약117% 상승한다.
- (3) 반면에, 최대내력은 거의 같고 최대하중 이후의 절대변위량은 대체로 작았다.
- (4) 개선형 I의 붕괴모드는 최대하중 이후에도 그 때까지의 내력을 그대로 유지하는 M4형태로 전환된다.
- (5) 즉, $0.6 \leq \beta \leq 0.7$ 범위에서 지관만을 45°회전시키면 항복내력 및 초기강성을 증대시킬 수 있다.
- (6) 개선형 II (주관회전형)는 같은 단면 크기의

마름모형과 비교하면, 항복내력 및 최대내력과 초기강성은 상당히 작아서 개선효과가 거의 없다.

(7) 다만, 개선형Ⅱ는 최대내력 이후의 동일 변위량까지의 내력감소율이 마름모형보다 작아서 최대내력 이후의 거동은 다소 안정적이다.

(8) 시공성 개선측면에서 고려할 때, 개선형Ⅱ는 향후 충분한 연구의 가치가 있다고 생각한다.

참 고 문 헌

1. 문태섭, 배규용 : “無補強 모살접 角形鋼管 T 형

接合部の 舉動에 關한 實驗的 研究(I)”, 韓國鋼構造學會論文集, 1996. 6

2. 日本建築學會 : “鋼管構造設計施工指針·同解説”, 1990

3. 小野徹郎 : “T形分岐手の局部耐力評價”, 日本建築學會構造論文報告集 제436호, 1992. 6

4. 西山 功 : “角形鋼管構造에 關한 研究”, 東京大學工學部建築科, 1980. 12

5. J. A. Parker, J. E. Henderson : “Design Guide for Hollow Structural Section Connection”, CICS, 1992