

T-stub를 이용한 접합부의 초기강성 평가

Initial Stiffness Evaluation of T-stub Connection

이 명 재)¹⁾

Lee, Myung Jae

요 약 : 이 논문은 T-stub를 이용한 접합을 반강접이 아닌 강접합의 범주에 두고 그 적용 가능성을 확인하기 위한 초기단계의 연구로서 초기강성에 관한 실험과 유한요소해석을 통하여 T-stub접합과 강접합의 초기강성을 비교하였다. 또한 해석결과를 통하여 T-stub를 이용한 기둥-보 접합부의 초기강성의 영향인자를 조사하였다.

ABSTRACT : The objective of this study is to ascertain the applicability of T-stub connection for rigid connections. Tests and analysis are focused on the initial stiffness and their results are compared with the case of general rigid connections. Influential factors are investigated from the analysis results.

핵심용어 : 강접합, 기둥-보 접합부, 유한요소해석, 초기강성, T-stub

KEYWORDS : Rigid connection, Beam to column connection, Finite Element Analysis, Initial stiffness, T-stub

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

강구조 건축물에서의 접합부는 완전강접합(rigid), 반강접합(semi-rigid), 단순접합(pin)으로 분류되는데 T-stub 접합(그림 1)은 강성 및 내력 면에서 강접합에 가까운 거동을 보이고 있다. T-stub는 스플릿 티(split tee)라고도 하는 것으로 현재로서는 T-stub를 이용한 접합부 형식을 완전강접합이 아닌 반강접합의 범주에 두고 있다.

T-stub를 이용한 접합은 고력볼트를 이용한 기둥-보 접합으로 용접접합에 비하여 시공 및 품질관리가 용이하고 내력과 변형 능력이 우수하여 강접합 거동을 나타낼 수 있다.

이 연구는 T-stub 접합을 강접합으로 사용하기 위한 초기단계의 연구이다. 따라서 이 연구는 접합부의 초기강성의 확보라는 관점에서 T-stub 접합부의 거동을 실험과 수치해석으로 조사하여 T-stub를 이용한 기둥-보 접합부의 강접합으로서의 가능성을 조사하기 위한 것이 연구 목적이다.

1.2 연구방법

연구방법으로서 T-stub 접합부의 강접합으로서의 가능성을

확인하기 위해 실험을 통하여 T-stub 접합부의 거동을 강접합과 비교하고 유한요소해석으로 초기강성을 고찰하였다.

실험으로는 T-stub를 이용한 접합부와 일반적인 강접합에 대하여 단조가력실험을 실시하였다. 실험결과에서 T-stub를 이용한 접합부의 모멘트-회전각 관계를 구하고 이를 강접합부의 모멘트-회전각 관계와 비교하여 T-stub 접합부의 초기강성이 강접합으로서의 가능성을 검토하였다. 또한 유한요소해석을 통하여 접합부의 거동을 파악하고 초기강성 영향인자를 조사하였다.

2. T-stub 접합부의 실험

2.1 실험계획

그림 2와 같은 접합부 실험을 통하여 T-stub를 이용한 접합부와 강접합부의 모멘트-회전각 관계를 통하여 초기강성에 대한 역학적 거동을 알아보았다.

T-stub를 이용한 접합부 실험은 기둥의 경계조건은 편지지로 하여 가력지점으로부터 접합부 중심까지의 간격은 1.7m이다.

실험에 사용된 기둥 부재는 H-300×300×10×15이고 보 부재는 H-350×175×7×11이며 강재의 재질은 모두 SM490이

1) 교신저자. 정회원, 중앙대학교 건축공학과 교수, 공학박사
(Tel. 031-670-3345, Fax. 031-675-1776, E-mail: mjlee@cau.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2007년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

다. T-stub는 두께를 변수로 하여 5, 6, 7mm와 18, 20mm를 제작하여 사용되었다.

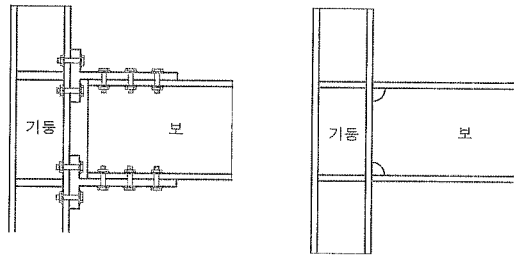


그림 2. 접합부와 일반 강접합부

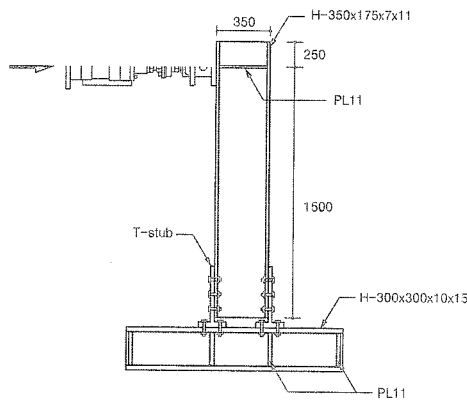


그림 3. T-stub를 이용한 접합부 실험체

기둥 길이는 1250mm, 보 길이는 1750mm로 하였다. T-stub로 구성된 실험체는 기둥부재에 스티프너가 없는 것으로 하여 T-stub의 두께가 5, 6, 7, 18, 20mm를 제작하였고, 18mm와 20mm의 경우 스티프너를 설치한 실험체도 제작하였다. 강접합부 실험체는 기둥부재에 스티프너가 있는 것과 없는 것 2개를 제작하였다. 이와 같이 총 9개의 실험체를 제작하였으며, 실험체 일람을 표 1에 나타낸다.

T-stub로 구성된 모든 접합부 실험체는 F10T M24 고력볼트를 보 플랜지 부분에 6개씩, 기둥 플랜지 부분에 4개씩 표준장력으로 체결하여 접합하였다. T-stub의 형상을 그림 3에 나타낸다.

2.2 가력 및 측정방법

접합부 실험은 가력 프레임 면에서 25mm 띄워서 기둥을 고정시키고 보를 캔틸레버 형태의 실험체에 기둥 플랜지 면으로부터 1500mm되는 지점에 490kN 성능의 오일잭(oil jack) 1대를 사용하여 최대하중 또는 접합부 회전각이 일정량 이상 발생할 때까지 단조가력을 하였다. 가력하중 측정은 490kN 용량의 로드셀을 사용하였다. T-stub접합 실험체에는 8개의 변위측정기(LVDT)와 4개의 와이어 스트레인 게이지(W.S.G)

를 사용하여 변위와 변형도를 측정하였고, 강접합 실험체에는 6개의 변위측정기와 2개의 와이어 스트레인 게이지를 사용하여 계측하였다.

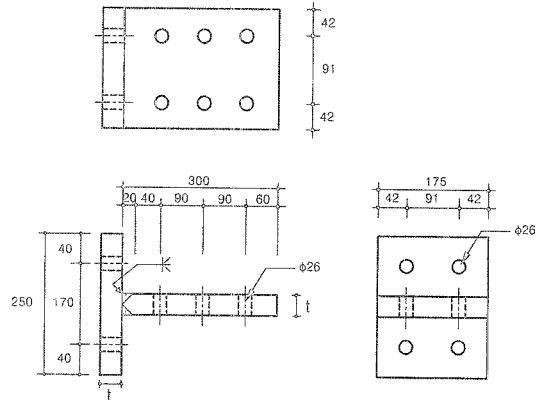


그림 4. T-stub의 형상

표 1. 실험체 일람

실험체 명	접합형식	스티프너
CR-O	강접합	무
CR-S		유
CT5-O	T-stub의 두께(mm)	5
CT6-O		6
CT7-O		7
CT18-O		18
CT18-S		18
CT20-O		20
CT20-S		20
		유

이 중 변위측정기 D1, D2는 보 부재의 횡변위 측정을 위해 사용되었다. 기둥 웨브의 중앙부 지점에 T형강을 부착하고 변위측정기(D3, D4) 2개를 설치하여 접합부 변위를 측정하여 접합부의 순수 회전각을 측정하였다. 기둥부재의 중앙에 부착된 변위측정기(D3, D4) 2개의 변위값을 더하고 변위측정기 설치거리(300mm)로 나누어 계산하여 접합부 순수회전각을 구하였다. 와이어 스트레인 게이지를 보 플랜지에 부착하여 부재의 변형도를 측정하였다.

가력 및 실험체 계측상황을 그림 4에 나타내었다.

2.3 실험결과

2.3.1 강재의 소재시험

접합부실험에 앞서 실험체에 사용된 강재의 기계적 특성과 재료적 성질을 파악하기 위하여 실험에 사용된 기둥부재와 보 부재 및 T-stub 강재의 소재시험을 하였다.

모든 부재 및 T-stub제작에 사용된 강재의 재질은 SM490으로서 인장강도에 사용된 시험편은 한국공업규격의 금속재료 인장시험편 B 0801에 제시된 시험편 중 1A호 시험편에 준하여 제작하였다.

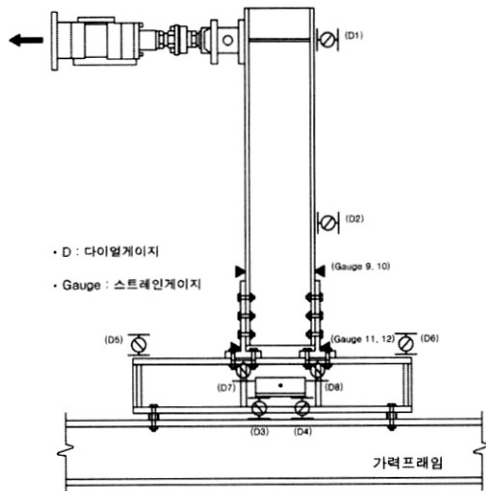


그림 4. T-stub 접합 실험체의 가력 및 계측

기둥부재와 보부재 단면의 플랜지 및 웨브에서 각각 2개씩 총 8개, T-stub제작에 사용된 강재에서 2개의 인장시험편을 절취하여 총 10개의 인장시험편을 제작하였다.

가력은 980kN 성능의 만능재료시험기(U.T.M.)를 사용하였다. 강재의 인장시험의 결과를 표 2에 나타내었다.

강재의 인장시험결과 실험체 제작에 사용된 강재는 모두 SM490 강재의 공칭항복강도 $F_y=325\text{N/mm}^2$ 을 초과하였다. 항복비는 0.64에서 0.79사이의 값을 나타내었다. 또한 연신율은 21%에서 23%사이의 값을 나타내고 있다.

인장강도시험 결과 본 실험에 사용된 강재는 설계기준에서 제시하고 있는 공칭항복강도를 만족하고 있으며, 구조용 강재에 요구되는 적절한 항복비와 연신율을 나타내고 있다. 따라서 실험체 제작에 사용된 강재의 기계적 특성에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

2.3.2 접합부 실험결과

1) 강접합 실험체

(1) CR-O(스티프너 없음) 실험체

실험결과를 표 3에 나타내고 하중-변위 관계, 모멘트-회전각 관계를 그림 5, 그림 6에 각각 나타낸다.

실험결과 전체적으로 완만한 하중-변위 관계를 보이고 있고 명확한 탄성구간이나 소성구간이 나타나지 않았다. 가력도중

183kN에서 기둥-보 용접 접합부에 파단이 생기면서 하중이 떨어져 그 시점에서 제하하였다.

표 2. 소재시험 결과

강재	위치	시험번호	단면적 (mm ²)	항복강도 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	항복비	연신율 (%)
H-300×300×10×15	플랜지	1	594	384.2	546.8	0.70	22
		2	586	357.7	538.0	0.66	23
		평균	590	370.9	542.4	0.68	22.5
	웨브	1	394	385.1	543.9	0.71	23
		2	392	398.9	552.7	0.72	21
		평균	393	392	548.3	0.71	22
H-350×175×7×11	플랜지	1	432	360.6	559.6	0.64	21
		2	420	367.5	569.4	0.65	21
		평균	426	364.1	564.5	0.65	21
	웨브	1	280	395.0	569.4	0.69	22.5
		2	268	407.7	598.8	0.68	23
		평균	274	401.3	584.1	0.69	22.8
T-stub		1	218	441	560.6	0.79	22.6
		2	223	428.3	553.7	0.77	23.1
	평균	221	434.6	557.1	0.78	22.9	

(2) CR-S(스티프너 있음) 실험체

기둥부재에 스티프너가 설치된 실험체로 매끄러운 하중-변위 곡선을 나타낸다. 스티프너가 설치되지 않은 CT-O 실험체와 비교하면 비슷한 초기강성과 내력을 나타내나 CT-S 실험체가 다소 높은 내력을 나타냈다. CT-O의 실험체와 같은 방법으로 접합부의 순수 회전각을 측정하였으며 최대하중 218kN에서 제하하였다. 가력종료 상황을 그림 7에 나타낸다.

2) T-stub 접합 실험체

(1) CT5-O 실험체

T-stub의 두께가 5mm인 실험체의 실험결과를 하중-변위 관계와 모멘트-회전각 관계로 나타낸 결과 전체적으로 명확한 탄성구간이나 소성구간이 나타나지 않고 완만한 하중-변위 곡선을 보이고 있다. 가력초기에는 접합부의 강성이 높게 나타나다가 인장측의 T-stub가 항복거동을 하면서 강재의 인장력에 의해 완만한 회전강성을 나타내고 있다. T-stub가 항복 후에는 강재의 재료적인 변형에 의해서 변위가 증가한 것으로 판단된다. 최대하중 70kN에서 제하하였다.

(2) CT6-O 실험체

T-stub의 두께가 6mm인 실험체의 실험결과를 보면, CT5

표 3. 접합부 실험체 단조가력 실험결과

실험체 명	접합형식	스티프너	최대 하중 (kN)	최대 하중시 횡변위 (mm)	최대 모멘트 (kN·mm)	최대 모멘트시 접합부 회전각 (rad)	
CR-O	강접합	무	183.3	47.0	302,400	0.02	
CR-S		유	217.6	57.1	359,100	0.02	
CT5-O	T-stub 두께 (mm)	5	무	69.6	190.2	113,700	0.112
CT6-O		6	무	77.4	176.2	127,300	0.105
CT7-O		7	무	89.2	190.2	147,800	0.112
CT18-O		18	무	177.4	161.1	292,000	0.091
CT18-S		18	유	170.5	150.2	281,600	0.083
CT20-O		20	무	195.0	137.1	322,100	0.074
CT20-S		20	유	191.0	162.1	306,800	0.091

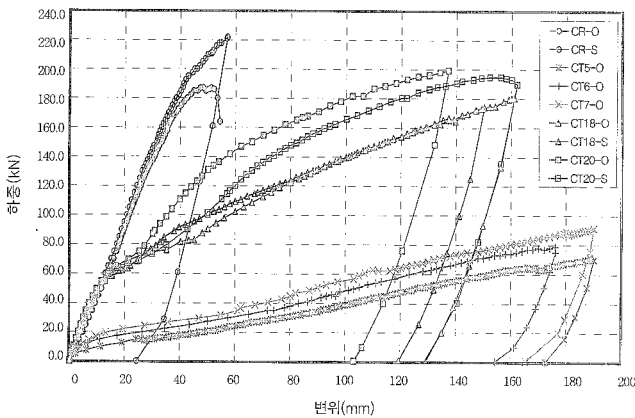


그림 5. 접합부 실험체의 하중-변위 관계

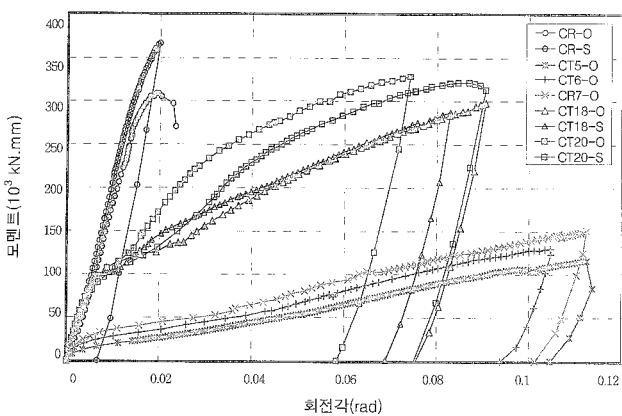


그림 6. 접합부 실험체의 모멘트-회전각 관계

-O 실험체와 같은 거동을 보이고 있으나, T-stub의 두께의 영향으로 CT5-O보다 초기강성 및 내력 면에서 좀더 크게 나타났다. 최대하중 77kN에서 제하하였다.

(3) CT7-O 실험체

T-stub의 두께가 7mm인 실험체의 실험결과를 하중-변위 관계와 모멘트-회전각 관계로 나타내었다. CT6-O 실험체와 마찬가지로 유사한 거동을 보이고 있으며, T-stub의 두께가 두꺼울수록 높은 초기강성 및 내력을 보였다. 최대하중 89kN에서 제하하였다.

(4) CT18 실험체

T-stub의 두께가 18mm인 실험체이다. 실험결과를 하중-변위 관계와 모멘트-회전각 관계로 나타내었다. 가력초기의 탄성 구간에서는 접합부의 강성이 높게 나타나다가 인장측의 T-stub의 플랜지가 항복거동을 하면서 강재의 인장력에 의해 완전한 회전강성을 나타내고 있다. T-stub가 항복 후에는 강재의 재료적인 변형에 의해서 변위가 증가한 것으로 판단된다. 기둥부재의 스티프너 설치 유, 무(CT18-O, CT18-S)에 따른 강성이나 내력의 차이는 나타나지 않고 있다. CT18-O는 최대하중 177kN에서 CT18-S는 최대하중 171kN에서 제하하였다.

(5) CT20 실험체

T-stub의 두께가 20mm인 실험체 실험결과를 보면 전체적으로 CT18 실험체와 유사한 거동을 보이고 있으며, 초기가력구간의 초기강성은 T-stub의 두께의 영향 없이 일정하게 나타나고 있다. T-stub가 항복한 후에는 두께에 대한 영향으로 두께가 두꺼울수록 강성 및 내력이 우수하게 나타나고 있다. 기둥부재의 스티프너의 유, 무(CT20-O, CT20-S)에 따른 강성이나 내력의 차이는 거의 나타나지 않았다. T-stub의 항복 후 스티프너가 없는 것(CT20-O)이 다소 높게 나타난 것은 오일잭을 이용한 가력 속도에 따른 잔류변형능력에 의한 것으로 판단된다. CT20-O는 최대하중 195kN에서 CT20-S는 최대하중 191kN에서 제하하였다. 그림 8, 9에 가력종료시의 상황을 나타내었다.

3) 접합부 실험 요약

강접합부와 T-stub접합부의 역학적 거동에 의하여 접합부 초기강성을 조사한 실험결과는 다음과 같다. 강접합부 실험결과에서 스티프너의 유, 무에 따른 초기강성에 대한 영향은 나타나지 않았지만 내력면에서는 스티프너가 있는 경우가 더 크게 나타났다. T-stub를 이용한 접합부의 모멘트-회전각 관계에서 T-stub의 플랜지 두께변화가 초기강성 및 내력에 영향이 있음을 확인하였다. 접합부 실험결과에서 T-stub의 두께가 18, 20mm인 실험체가 초기가력구간에서 강접합의 초기강성과 유사한 거동을 나타내었고, 어느 정도까지는 T-stub의 초기강성이 강접합의 강성을 만족하고 있음을 확인하였다. 따라서 T-stub접합의 강접합으로서의 가능성을 확인하였다.

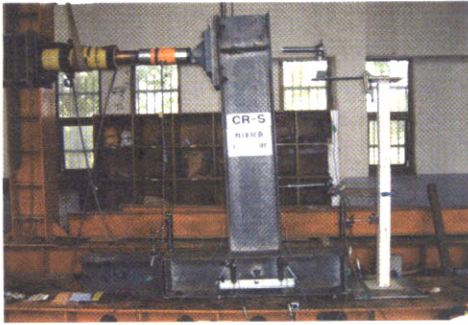


그림 7. 강접합 실험체의 가력종료

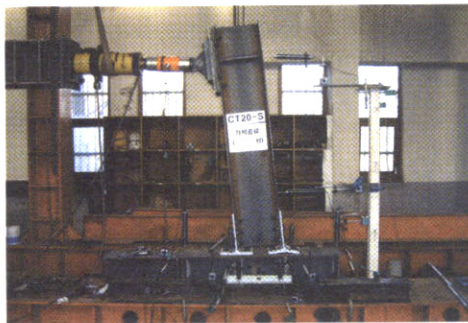


그림 8. T-stub 접합 실험체의 가력종료

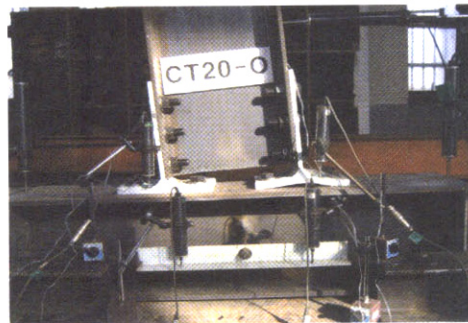


그림 9. T-stub의 변형상태 (CT20-O)

3. 유한요소해석

접합부 실험에 사용된 강접합부에 대하여 유한요소해석을 통하여 모멘트-회전각 관계를 산출하였다. 그 결과를 접합부 단조가력실험의 모멘트-회전각 관계와 비교하였다.

3.1 모델링

실험결과를 해석결과와 비교하여 T-stub 접합의 강접합으로의 거동을 확인하기 위해 유한요소해석을 실시하였다. 유한요소해석용 프로그램은 Ansys(ver. 5.7.1)를 사용하였다. 해석에서는 실제 실험에 사용된 강재 SM490과 고력볼트로써 F10T M24를 사용하여 볼트의 크기 및 실험체의 크기, 두께

등을 실제 실험체와 동일하게 하여 해석을 실시하였다.

실제 실험체 모습과 같은 형상을 위해 Shell Element type으로 모델링을 하였으며, 볼트부분은 Volume type으로 모델링 하였다. Element 형성은 기둥과 보 그리고 T-stub 부분은 Shell181, 볼트부분은 Solid45로 하였다. 메쉬(mesh)는 볼트가 체결되어 있는 T-stub부분을 프리 메쉬(free mesh)하였고 그 외 부분은 맵트 메쉬(mapped mesh)로 하였다. 경계조건은 기둥부재의 하부 프레임에 체결된 실제 실험에서 볼트 위치와 같은 위치에 고정단으로 하였다.

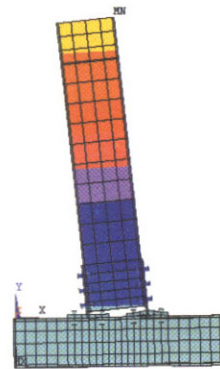


그림 10. 변형상태

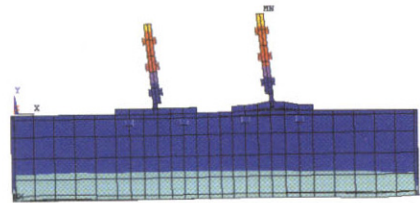


그림 11. T-stub의 변형상태

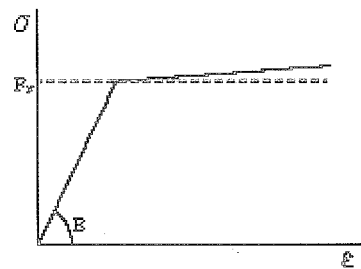


그림 12. 강재의 응력-변형도 관계

유한요소해석 프로그램을 이용한 해석결과와 실제 실험 결과와 같은 결과를 얻기 위해 그림 10과 같은 형상으로 모델링을 하였다. 그림 11은 T-stub의 변형상태를 나타낸다. 하중은 보부재의 가력지점에 하중을 증가시켜 가하는 방법을 사용하였다. T-stub의 탄소성 해석을 위하여 bi-linear로 재료의 응력-변형도 관계를 사용하였다. 응력-변형도 관계는 그림 12와 같

다. 재료의 탄성계수 및 항복응력은 공칭값을 사용하였다. 소성구간 해석은 Ansys 프로그램에서 뉴턴-랩슨법(Newton - Raphson Method)을 사용하였고, 접합부의 순수 회전각은 보부재의 회전각에서 기둥부재의 회전각을 감하여 산정하였다.

3.2 결과비교

T-stub를 이용한 기둥-보 접합부를 Ansys 프로그램을 이용하여 유한요소해석한 후 모멘트-회전각 관계를 산출하여 실험 결과와 비교하였다. 해석과 실험의 결과를 그림 13과 그림 14에 각각 나타내었다. 그림 13은 T-stub의 플랜지 두께가 20mm인 실험체의 해석결과와 실험결과를 비교한 것으로 해석결과는 실험결과와 전체적으로 유사한 거동을 보이고 있다. 그림 14은 T-stub의 플랜지 두께가 7mm인 실험체에 대한 해석결과를 실험결과와 비교한 것으로 해석결과가 실험결과와 유사함을 확인할 수 있다. T-stub의 플랜지 두께의 차이에 관계없이 전체적으로 해석은 실험결과를 정량적으로 확인할 수 있으므로 해석방법을 바탕으로 하여 T-stub를 이용한 기둥-보 접합부의 거동 예측이 가능하다고 판단된다.

4. 강접합이 되기 위한 조건

T-stub를 이용한 기둥-보 접합부의 실험결과를 강접합 실험 결과와 비교했을 때 초기강성은 확보되었지만 보의 항복강도까지의 강성은 유지되지 못하였다. 따라서 T-stub로 구성된 접합에서 보의 초기강성에 영향을 주는 인자를 선정하여 T-stub 접합이 강접합으로의 거동을 할 수 있도록 기존 실험 결과를 바탕으로 해석대상을 선정하였다.

4.1 T-stub 플랜지 두께의 변화

T-stub 플랜지 두께(이하 T-f로 표기)변화를 변수로 선정하여 실험결과와 해석결과를 비교하였다. T-stub의 플랜지 두께가 20mm인 실험결과와 T-stub의 플랜지 두께를 20mm에서부터 증가시켜가며 해석한 결과를 그림 15에 나타내었다. 실제 실험 결과와 실험에서의 해석 변수와 동일한 두께인 T-f가 20인 해석결과에서는 실험결과와 유사한 거동을 보였으며 T-f가 증가할수록 강성이 점차 강해지는 경향을 보인다. 또한 플랜지 두께가 40mm가 되었을 때 강접합의 거동과 유사한 거동을 보인다. 그러나 강접합 거동을 하기 위해서는 플랜지 두께가 40mm 이상이 되어 T-stub의 플랜지 두께가 비현실적으로 커지게 된다.

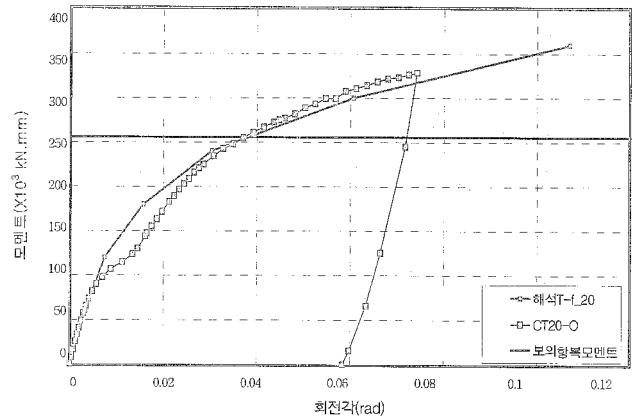


그림 13. CT20-O의 실험결과와 해석결과와의 비교

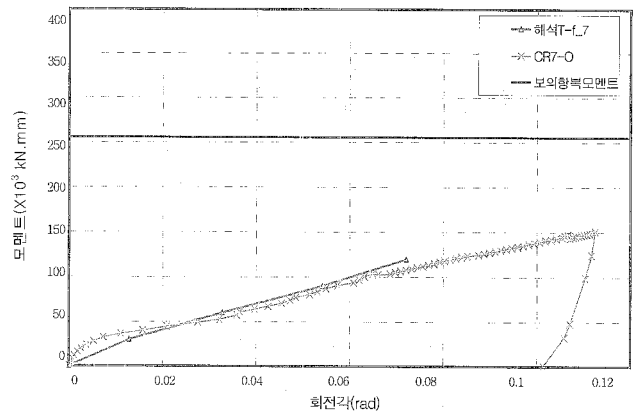


그림 14. CT7-O의 실험결과와 해석결과와의 비교

4.2 리브(rib)의 보강

일반적으로 접합부의 강성을 증가시키기 위해서 리브(rib)를 이용하여 보강한다. 따라서 T-stub 접합의 강성을 증가시키기 위해 리브의 보강을 강접합 거동을 위한 해석변수로 선정하여 강성의 증가 및 강접합으로 가능성을 확인하였다. T-stub의 두께 20mm인 실험체와 동일한 형상으로 모델링을 한 후 T-stub의 내부와 외부 양쪽으로 리브를 보강하여 해석하였다. 실험결과와 리브의 두께와 크기를 변수로 두어 해석한 결과를 비교하여 접합부의 거동의 변화를 확인하였다. 리브의 크기는 가로와 세로의 길이가 40mm, 80mm, 120mm로 이등변 삼각형 형상으로 하였고(그림 16), 리브의 두께는 보의 웹 두께와 동일한 7mm인 것을 포함하여 12mm, 15mm의 3가지로 하였다.

그림 17, 18, 19에 리브의 두께 변화에 따른 강성의 변화를 리브 크기로 구분하여 나타내었다. 리브의 크기가 증가할수록 접합부의 강성이 증가하였으며, 또한 리브의 두께가 증가할수록 강성이 커짐을 확인할 수 있다.

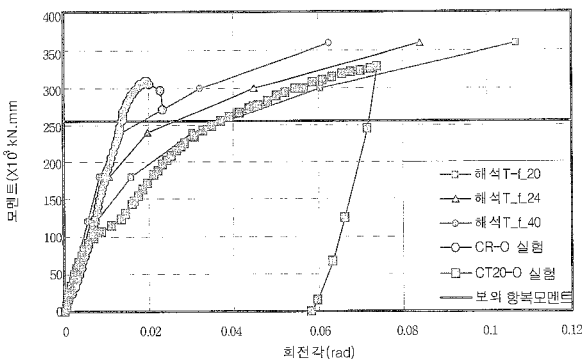


그림 15. 플랜지의 두께변화

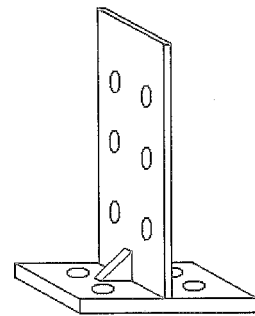


그림 16. T-stub의 리브 보강 형상

그러나 리브의 크기가 가장 큰 120mm일 때에도 강접합으로의 거동에 미치지 못하였다. 이 결과로부터 리브를 보강한 접합부의 거동을 강접합으로 거동이 되게 하기 위해서는 해석에 사용된 리브 형상의 크기 및 두께가 더욱 크게 증가하여야 한다고 판단된다.

실제로 접합부의 강성을 증가시키기 위해 리브를 보강할 때 용접접합으로 이루어진다. 본 연구에서 T-stub접합의 강접합은 적용 가능성을 확인하는 연구목적에서 시공의 간편함이 주요한 이유 중 하나였다. 그러나 리브를 보강할 때 용접접합이 불가피하며 이로 인해 시공의 번거로움이 발생한다. 그리고 보강을 하였을 때에도 강접합 거동을 위한 성능 또한 우수하지 못해 본 연구가 가지는 연구목적과 거리가 있다. 따라서 리브의 보강은 T-stub 접합부의 초기강성을 위한 영향인자로서는 거리가 멀다고 사료된다.

4.3 T-stub 플랜지의 볼트 간격의 변화

강접합이 되기 위한 해석 변수로서 T-stub 플랜지의 볼트 간격의 변화를 선정하였다. T-stub 플랜지의 볼트에 작용하는 모멘트 크기를 낮추기 위해 볼트 간격을 단축시켜서 T-stub의 강성을 증가시키기 위함이다.

볼트의 간격은 기존 실험모델에서는 170mm였으나 해석에서는 볼트 간격을 100mm와 65mm 두 가지로 변화하여 해석하였다(그림 20). 볼트 간격을 변화시킨 해석결과를 실험결과와 비교하여 그림 21에 나타내었다. 볼트 간격을 변화한 결과 볼트 간격이 점차 단축될수록 접합부의 더욱 강성이 증가하였다. 또한 볼트간격이 65mm 일 때 강접합의 거동과 유사한 거동을 나타내었다. 따라서 해석결과를 통해 T-stub 플랜지의 볼트간격이 강성에 큰 영향이 있음을 확인할 수 있다. 그러나 볼트간격이 단축 될수록 접합부의 강성은 증가하지만 현실에서는 볼트 체결을 위한 공간 등의 제약이 발생한다.

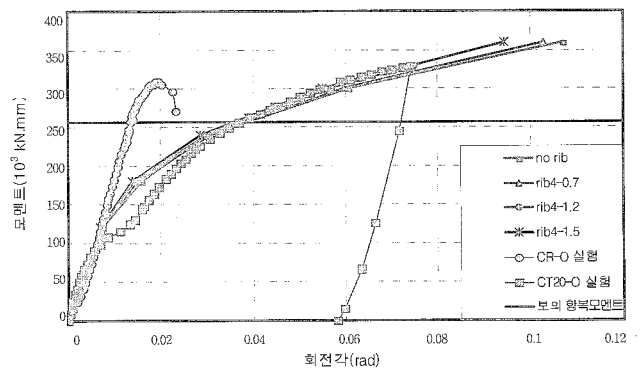


그림 17. 실험결과와 리브(40mm)의 보강

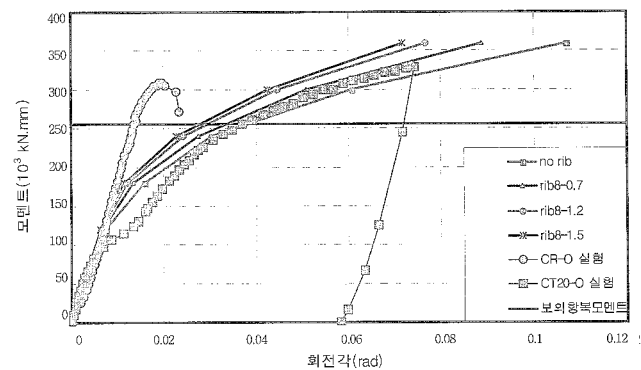


그림 18. 실험결과와 리브(80mm)의 보강

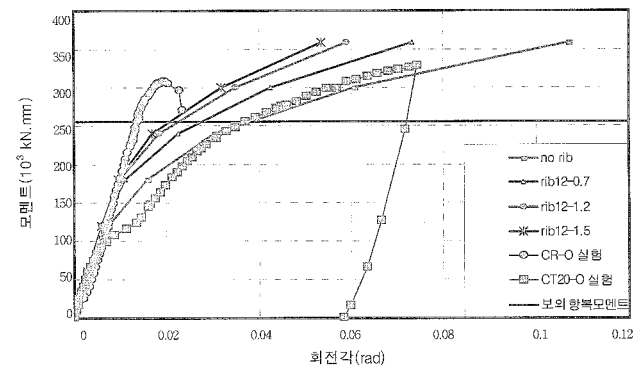


그림 19. 실험결과와 리브(120mm)의 보강

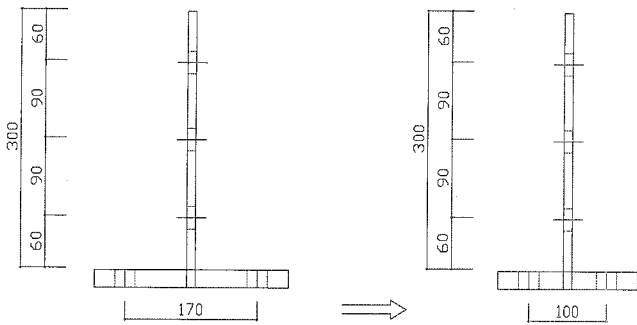


그림 20. T-stub 접합부의 볼트간격 변화

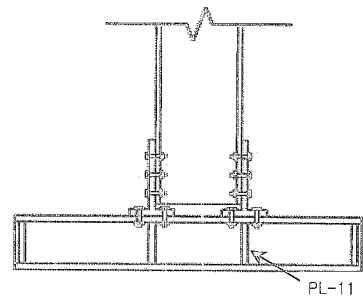


그림 22. 기둥 스티프너 설치

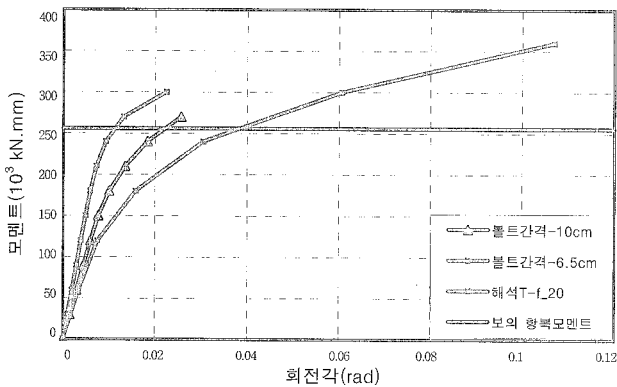


그림 21. 실험결과와 볼트간격의 변화

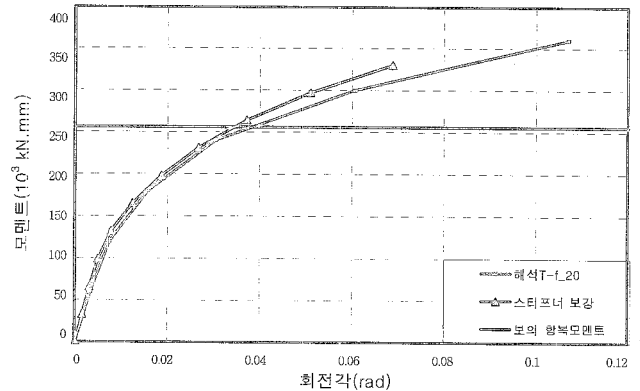


그림 23. 실험결과와 기둥 스티프너 유무의 비교

따라서 강접합 거동을 위한 T-stub 접합부를 실제 모델에 적용하기 위해서 T-stub 플랜지의 볼트 간격은 볼트 체결에 필요한 공간이 고려가 된 후 그 거리가 최대로 단축된 100mm가 가능하다고 판단된다.

4.4 기둥 스티프너 유무

접합부의 회전강성을 증가시키는 영향인자로서 기둥부재의 스티프너 설치를 선정하였다(그림 22). 기둥에 보의 폭과 같은 거리이며 T-stub가 체결되는 지점에 기둥의 플랜지와 웨브 사이에 스티프너를 설치하여 접합부의 회전강성을 비교하였다. 스티프너를 설치하지 않았을 때와 비교하면, 스티프너의 설치 후 접합부의 강성 변화가 발생하였고 이는 그림 23의 그래프를 통해 확인할 수 있다. 스티프너를 설치하였을 때가 설치하지 않은 경우보다 강성이 높게 나타났다. 그러나 스티프너가 설치되었을 경우와 스티프너가 설치되지 않았을 경우의 강성의 차이가 크지 않아 스티프너의 설치 유무는 접합부의 강성의 변화에 주요 영향인자가 아닌 것으로 판단된다. 다만 기둥 플랜지의 판폭두께비가 세장판 요소인 경우에는 영향을 미칠 것이 예상된다.

4.5 영향인자에 관한 요약

T-stub로 구성된 접합이 강접합으로 거동을 하기 위해 4가지의 해석변수를 선정하였다. 첫 번째로 T-stub의 플랜지 두께의 변화는 접합부의 강성에 영향을 미쳤으나 두께가 비현실적으로 커져야 하는 문제점이 있었다. 두 번째로 T-stub에 리브를 보강하는 방법으로 리브의 보강으로 인해 접합부의 강성이 증가하였으나 강접합 거동을 위해서는 리브가 설치되어야 하며 그로 인해 용접으로 인한 시공의 불편함이 문제점으로 지적되었고, 리브가 설치되었을 경우의 접합부의 강성변화도 크지 않았다. 세 번째로는 T-stub 플랜지의 볼트간격이 단축된 경우이다. 해석결과를 비교해보면 T-stub 플랜지의 볼트간격이 단축될수록 접합부에서의 강성의 증가가 현저하게 나타났으며 간격이 65mm 인 경우에는 강접합 거동과 유사한 거동을 보였다. 마지막 네 번째 변수는 기둥부재에 스티프너의 설치로 스티프너를 설치할 경우에 강성이 다소 높게 나타났다. 그러나 스티프너의 영향이 크지 않아 T-stub의 강접합 거동을 위한 초기강성의 주요 영향인자로 보기에 어려움이 있었다.

따라서 T-stub 접합부의 초기강성 영향인자의 해석 결과를 종합해보면 T-stub 플랜지의 볼트간격이 주요 영향인자이며 그에 적절한 T-stub 플랜지 두께가 병행될 때 강접합 거동이 가능한 것으로 판단된다.

참고 문헌

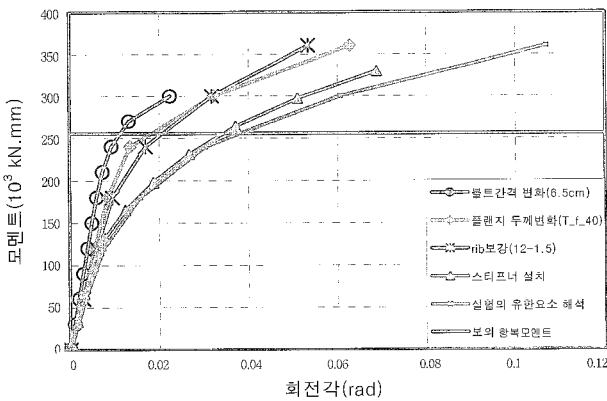


그림 24. 초기강성 영향인자의 비교

5. 결론

T-stub 접합에 대하여 강접합으로서의 가능성을 확인하기 위한 초기단계의 연구로서 강접합부와 T-stub 접합부에 관한 실험과 수치해석으로 접합부 초기강성을 조사한 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) T-stub를 이용한 접합부의 모멘트-회전각 관계에서 T-stub의 플랜지 두께변화가 초기강성 및 내력에 영향이 있음을 확인하였다.
- (2) 강접합부 실험결과에서 스티프너의 유, 무에 따른 초기강성에 대한 영향은 나타나지 않았지만 내력면에서는 스티프너가 있는 경우가 내력이 증가하였다.
- (3) 접합부 실험결과에서 T-stub의 두께가 18, 20mm인 실험체가 초기가력구간에서 강접합 실험결과의 초기강성과 유사한 거동을 나타내었고 T-stub 접합의 강접합으로서의 가능성을 확인하였다.
- (4) T-stub가 적용된 접합부의 초기강성 영향인자의 연구를 통하여 T-stub 플랜지의 볼트간격이 주요 영향인자이며 그에 적절한 T-stub 플랜지 두께가 병행될 때 강접합 거동이 가능한 것을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 중앙대학교 학술연구비(일반연구비) 지원에 의한 것입니다. 이 논문에 관한 실험 및 수치해석에는 전 대학원생인 유승민(현 (주)전우에이피엠 근무), 윤혜민(현 (주)플러스구조엔지니어링 근무)이 수고하였습니다. 또한 이 연구를 위하여 H형강을 현대제철(주)로부터 제공받았습니다. 이에 진심으로 감사드립니다.

유봉현, 이명재, 김원기 (1997.12) 개량 T-stub 반강접합부의 기초적 연구, 한국강구조학회 논문집, 제9권 제4호 (통권33호)

유봉현 (1998.2) 개량 T-stub를 이용한 기둥-보 접합부의 역학적 거동, 중앙대학교대학원 석사학위 논문

양명숙 (1999) 개량 T-stub 반강접합부의 거동에 관한 실험적 연구, 중앙대학교대학원 석사학위 논문

이명재 외 1인 (2000.8) 개량 T-stub를 이용한 반강접 골조의 거동, 한국강구조학회논문집, 제 12권 4호

이명재 외 2인 (1999.4) SS400 강재를 사용한 개량 T-stub 반강접합부의 역학적 거동, 한국강구조학회논문집, 제 11권 2호

加藤 勉 (문태섭 외 2인 번역) (1971) 철골구조, 형설출판사

R. F. Lorenz, B. Kato and W. F. Chen (1993) Semi-rigid connection in Steel Frames, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, McGraw Hill

The Commission of the European Communities (1992) Design of Steel Structure, Eurocode No 3

N. Kishi and R. Hasan, W. F. Chen, Y. Goto (1997) Study of Eurocode 3 Steel connection classification, Engineering Structures, Vol. 19, No. 9, pp. 772~779

R. Bjorhovde (1990) Classification system for beam-to-column connection, Journal of Structural Engineering, ASCE Vol 116, No.11, Nov

E. M. Lui, W. F. Chen (1986) Analysis and Behavior of Flexibly Jointed Frames, Engineering Structures 1 Vol.8

AISC (1989) Steel Construction Manual ASD, 9th edition.

AISC (2001) Manual of Steel Construction LRFD, 3rd edition.

R. Narayanan (1989) Structural Connections Stability and Strength, Elsevier Applied Science

Lui and Chen (1991) Stability Design of Steel Frames, CRC Press

J. C. McCormac, J. K. Nelson, Jr. (1997) Structural Analysis, Addison-Wesley

Charles G. Salmon and John E. Johnson (1996) Steel Structures Design and Behavior, Emphasizing Load and Resistance Factor Design, 4th edition

Geoffrey Kulak (2002) High Strength Bolts A Primer for Structural Engineers, AISC Steel Design Guide 17

(접수일자 : 2006. 9. 15 / 심사일 2006. 10. 13 / 심사완료일 2006. 12. 5)