

관통형 고력볼트를 사용한 엔드플레이트형식 콘크리트 충전 각형강관 기둥-H형강 보 접합부의 거동에 관한 실험적연구

An experimental study on the Behaviour of Concrete-Filled Square Steel Tubular Column · H-Beam End-plate Connections with Penetrated HT-Bolts

김 재 건¹⁾ · 이 명 재²⁾ · 이 승 준³⁾ · 문 태 섭⁴⁾
Kim, Jae Keon Lee, Myong Jae Lee, Seung Joon Moon, Tae Sup

요 약 : 본 논문의 목적은 단순재하시 관통형 고력볼트를 사용한 엔드플레이트형식 콘크리트충전 각형강관기둥·H형강 보 접합부의 구조적 거동에 관해 파악하는 것이다. 보를 포함한 5개의 시험체에 대해 단순가력 실험이 이루어졌다. 실험의 주요변수는 엔드플레이트의 두께가 증가할수록, 볼트직경이 커질수록 증가하는 것으로 나타났다. 각 시험체에 대한 Bjorhovde와 Eurocode 3에 의한 분류방법에 따르면 초기강성과 최대내력에 대해서 모두 강접영역에 속하는 것으로 나타났다.

ABSTRACT : The objective of this study is to investigate the structural behavior of Concrete-Filled Tubular Column · H-Beam End-plate Connections with Penetrated HT-Bolts under monotonic load. Simple bending tests are carried out with 5 kinds of specimens including beam specimen. The parameters of these tests are the thickness (T=22, 26, 30mm) of End-plates and the diameter (M=20, 22mm) of bolts. From the tests, the increasing values of yielding strength and initial stiffness of each specimen were gained as the thickness of End-plates and diameter of bolts are increasing. And the application of Bjorhovde et al and Eurocode 3 classification method by non-dimensional moment-rotation curves to the connections showed that all

1) 한양대학교 건축공학과 석사과정
2) 중앙대학교 건축공학과 교수, 공박
3) 아주대학교 건축공학과 교수, 공박
4) 한양대학교 건축공학과 교수, 공박, 포항제철(주) 석과교수

본 논문에 대한 토의를 1998년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

of them are included in rigid region as far as initial stiffness is concerned and all of them are also rigid as far as ultimate strength.

핵심용어 : 콘크리트 충전강관, 국부좌절, 초기강성, 항복/최대내력, 연성요구치, 접합부 거동
KEYWORDS : concrete filled tubular steel column, local buckling, initial stiffness, yielding/ultimate strength, ductility demand, behavior of connection

1. 서론

국내 건축면적의 90% 이상이 10층 이하의 건물이라는 점을 감안하면 중저층 규모의 건축물에 철골구조를 적용하는 연구가 활성화 되는 것이 바람직하다고 생각된다. 이를 위해 가장 중요한 점은 기둥·보 접합부의 해결이다. 기존의 철골구조 접합부 설계 형태는 강접합(rigid)과 핀접합(hinge)이 있다. 강접합(rigid)은 큰 강성을 보유할 수 있으나 이의 조립을 위한 현장용접에 따른 인건비 상승을 초래하며, 핀접합(hinge)은 강성이 약하여 보의 단면을 확대할 수밖에 없으므로 재료상의 낭비를 가져온다. 이의 해결을 위해서 반강접(semi-rigid)의 접합개념이 도입될 수 있다. 이로써 철골구조의 접합부는 단순히 기둥·보 연결방식이 아닌 기둥-연결부위-보의 3가지 요소를 갖춘 해석이 등장하게 되었다. 본 논문은 충전형 각형강관 콘크리트구조로 보강관이 없는 방식의 기둥·보 접합부로서 관통형 고력볼트를 사용한 엔드플레이트 형식이다. 더우기 강관의 구속효과와 함께 충전콘크리트의 3축응력효과도 기대할 수 있으며 패널부의 강성이 높은 것 등이 추천된다.

따라서 본 연구는 고장력 볼트관통형 엔드플레이트 접합형식에 대해서 기둥·보 접합부의 초기 강성 및 내력을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 시험

2.1 강재 인장강도 시험

강재의 기계적 성질을 파악하기 위해 KS B

0801의 금속재료 인장 시험편 규정에 따라 각형강관 기둥은 용접부를 제외한 단면의 평판부에서 2개, H형강의 플랜지 및 웨브부분과 엔드 플레이트에서도 각각 두께별로 2개씩 인장시험편을 절취하여 강재의 인장강도 시험을 실시하였다.


강재의 재질은 각형강관은 SPSR400, 강관은 SS400이며, 변형도는 각 시험편에 2개의 스트레인 게이지(W.S.G.)를 부착하여 측정한다. 시험 결과는 표 1에, 응력도-변형도 관계는 그림 1에 나타내었다.

대부분 각 시험편의 항복점은 잘 관찰되었으며 이는 SPSR400과 SS400의 공칭항복점인 2.4 t/cm²보다 높은 수치로 나타났으며, 엔드플레이트용 CEP-30만은 항복점과 인장강도가 지나치게 낮은 것으로 나타났다.

2.2 콘크리트 압축강도 시험

표 1. 강재 인장강도 시험결과

시험체	σ_y (t/cm ²)	σ_u (t/cm ²)	σ_y/σ_u	Elo. (%)
SC-6	3.85	4.70	0.82	30
HW-7	3.72	5.38	0.69	27
HF-11	3.03	4.50	0.67	42
CEP-22	2.77	4.53	0.61	34
CEP-26	2.22	4.28	0.52	34
CEP-30	1.91	3.14	0.61	46
CDS-9	3.12	4.14	0.71	38

SC-6 (탄성계수: E=2,100t/cm², 강관: SPSR400, 강판: SS400)
 두께 (mm)
 강종(SC: 각형강관, HF: H형강 플랜지, HW: H형강 웨브, CEP: 엔드플레이트, CDS: 강판)
 σ_y : 항복강도 σ_u : 인장강도, σ_y/σ_u : 항복비, Elo: 연신율

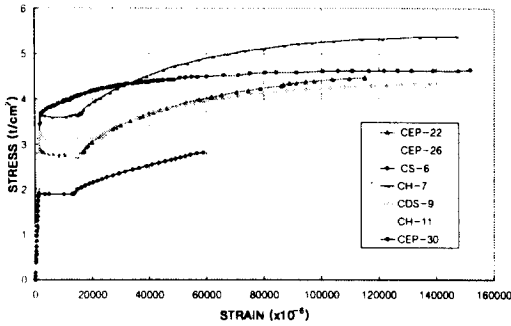


그림 1. 응력-변형도 관계 곡선

재료의 기계적 성질을 파악하기 위해서 콘크리트 압축강도 시험을 실시하였다. 설계강도 210kg/cm²인 콘크리트를 레미콘으로 입수하여 공시체를 실린더형 몰드를 사용하여 1회 3개씩 총 9개를 제작하여 28일압축강도 시험을 실시하였다. 응력을 골고루 전달시키기 위하여 유황캡핑을 하였으며, 편심하중을 막기위해 가력부위에 구좌를 설치하였다. 압축강도 시험결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. 콘크리트 압축강도 시험결과

시험체명	설계기준 강도(kg/cm ²)	f'c (kg/cm ²)	Fc (kg/cm ²)	slump (cm)
CYL-1	210	241.92	233.3	12
CYL-2	210	236.19	230.5	13.5
CYL-3	210	201.81	213.1	14

f'c : 콘크리트 압축강도

Fc : 콘크리트 탄성계수

3. 충전 각형강관 기둥-H형강 보 접합부

3.1 시험체 계획

본 연구에서는 현장용접을 배제시킬 수 있는 관통형 고장력볼트를 사용한 접합부를 대상으로 위와같은 목적을 충족시킬 수 있는 접합부를 고안하여 실험을 실시하였다. 특히, 본 시험체는 국부 좌굴을 방지하기 위한 콘크리트충전 강관기둥을 이용하였고 보플랜지로부터 도입된 인장력을 관통

형 장볼트를 통해 강관기둥의 후면으로부터 충전 콘크리트에 전달하도록 하였으며 장볼트 기둥관통에 따르는 패널부를 엔드플레이트로 보강하여 강성을 높게한 후 단순가력을 하여 그 접합부의 거동을 관찰하였다.

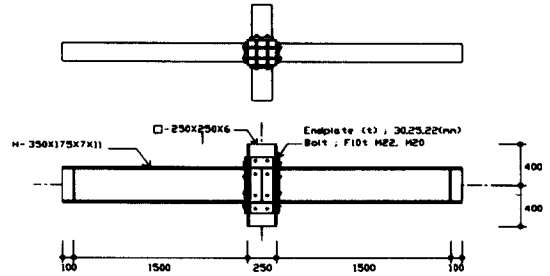
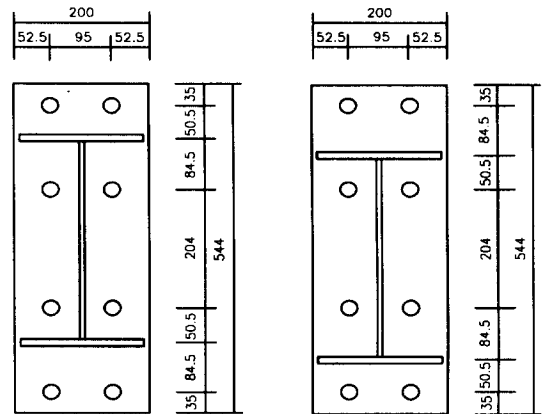
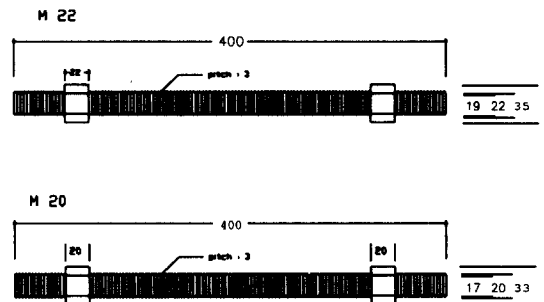


그림 2. 접합부 시험체의 형상 및 치수



(a) 엔드플레이트 상세치수



(b) 볼트의 상세치수

그림 3. 엔드플레이트와 고력볼트의 상세치수

시험체에 사용한 기둥 부재인 각형강관은 강종 SPSR400의 □-250×250×6이며, 보부재인 H형강은 SS400의 H-350×175×7×11이고, 엔드 플레이트의 재질은 기둥 및 보와 동일 재질인 SS400을 사용한다. 또한 고력볼트는 F10 T M20, F10T M22을 사용한다.

실험의 주요변수는 엔드플레이트의 두께와 고력볼트의 직경이다.

접합부 시험체의 형상 및 치수는 그림2에 나타내었고, 엔드플레이트와 고력볼트의 상세치수는 그림3에 나타내었다. 이들 시험체에 대한 일람은 표3에 나타내었다.

표 3. 접합부 시험체 일람

시험체	강관 기둥	엔드 플레이트	H형강보	고력볼트
LBE-22A	□-250×250 ×6	22	H-350×175 ×7×11	F10T M22
LBE-26A	□-250×250 ×6	26	H-350×175 ×7×11	F10T M22
LBE-26B	□-250×250 ×6	26	H-350×175 ×7×11	F10T M20
LBE-30A	□-250×250 ×6	30	H-350×175 ×7×11	F10T M22
B2	-	-	H-350×175 ×7×11	-

LBE-□□

- A : 고력볼트가 F10T M22인 경우
- B : 고력볼트가 F10T M20인 경우
- 엔드 플레이트 두께 (22, 26, 30mm)

3.2 가력 및 측정방법

가력방법은 유압식 만능 시험기를 사용하여 그림4와 같이 시험체 양단을 단순지지 조건으로 3점 휨가력 단조재하방법을 하여 접합부에 휨모멘트가 가해지도록 한다. 가력은 충전콘크리트 각형강관과 H형강 보 접합부의 하부 인장측 볼트가 파단되거나, 접합부의 압축측이 심한 국부변형으로 인하여 시험체가 가력하기에 불안정한 상태가 되었을 때 종료하였다.

변형도의 측정을 위해 보플랜지 및 웨브에 7개

의 변형도 게이지(W.S.G.)를 부착하여 응력전달을 관찰하고 변위계(Displacement Transducer, 이하 D.T.로 표기)를 이용하여 부재변형 및 접합부의 변형을 측정하였다. D.T.1은 시험체 중앙에 설치하여 중앙부의 처짐량을, D.T.2와 D.T.3는 보의 상대회전각을, D.T.4와 D.T.5는 양 지점의 변위를 보정하기 위한 것이다. 수직방향 변위는 $\delta = D1 - (D4 + D5)/2$ 을 이용하여 구하였다.

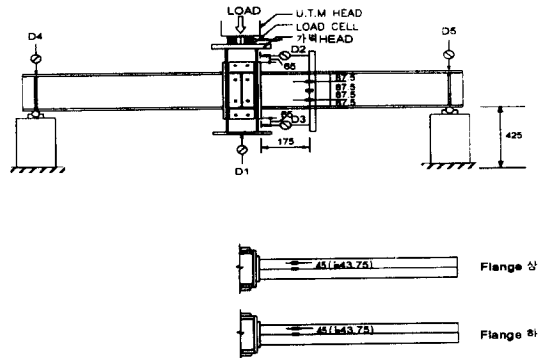


그림 4. 가력 및 측정방법

또한, H형강 보의 응력 분포 상황을 파악하기 위하여 W.S.G.를 그림4와 같이 H형강 보와 각형강관이 접합되는 용접부로부터 각각 15cm 떨어진 곳의 H형강 플랜지 및 웨브에 부착하여 변형도 분포를 측정하였다.

3.3 실험 결과

각 시험체의 단순 휨가력 실험결과를 표4에 나타내었으며, 그림5에 각 시험체의 하중-변위관계를 나타내었다. 그림에서 종축은 가력하중이고 횡축은 시험체 중앙점의 변위를 나타낸다. 항복하중 P_y 는 초기강성 구배를 갖는 직선과 구배의 1/3인 직선을 평행이동시켜 실험결과와 접선을 이룰 때 두 직선이 만나는 교점을 항복하중으로 취하였으며 이때의 처짐을 항복변위 δ_y 로 했다.

표 4. 접합부 시험체의 실험결과

시험체	P_y (ton)	δ_y (mm)	P_u (ton)	δ_u (mm)	K_i (ton/mm)	K_i/bK_i	P_u/P_y
LBE-22A	30.89	11.53	39.20	55.46	2.68	1.01	1.26
LBE-26A	31.33	10.88	40.98	69.39	2.88	1.09	1.31
LBE-26B	28.33	9.91	38.42	64.00	2.86	1.08	1.36
LBE-30A	35.50	12.77	41.14	53.70	2.78	1.05	1.16
B2	32.81	12.43	37.63	57.04	2.64	1.00	1.15

P_y : 항복내력 δ_y : 항복변위
 P_u : 최대내력 δ_u : 최대변위
 K_i : 초기강성 bK_i : 보 부재의 초기강성

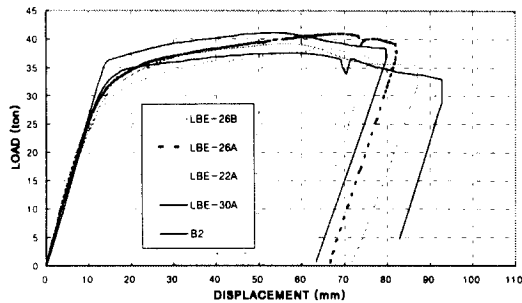


그림 5. 시험체의 하중-변위관계 곡선

3.3.1 초기강성

초기강성을 의미하는 K_i 는 고력볼트가 F10T M22인 시험체에서는 2.68~2.88(t/mm)의 분포로서 LBE-26A > LBE-30A > LBE-22A의 관계를 보이고 있다. 또 LBE-26 시험체인 경우 고력볼트가 F10T M22인 경우와 고력볼트가 F10T M20인 경우가 거의 같게 나타나고 있다. 또 보부재의 초기강성과의 비교치인 K_i/bK_i 는 보 부재의 초과 거의 같거나 약간 크게 나타났다

3.3.2 항복내력과 최대내력

항복내력 P_y 는 고력볼트가 F10T M22인 시험체에서는 30.89~35.50(ton)의 분포로서 엔드플레이트의 두께가 증가할수록 높은 값을 보이고 있다. 또 LBE-26 시험체에서는 고력볼트가 F10T M22인 경우가 고력볼트가 F10T M20인 경우

보다 약 10%정도 높게 나타나고 있다. 최대내력 P_u 는 39.20~41.14(ton)의 분포를 보이고 있다. LBE-26A 시험체와 LBE-30A 시험체는 거의 같은 P_u 값을 보이고 있는데 이는 최대내력이 보의 좌굴에 의해서 결정되었기 때문이라고 사료된다. 또 LBE-26 시험체인 경우 고력볼트가 F10T M22인 경우가 고력볼트가 F10T M20인 경우보다 약 6%정도 높게 나타나고 있다.

3.3.3 내력상승률

내력상승률 P_u/P_y 는 1.15~1.36의 분포로 보 시험체와 LBE-30A 시험체를 제외하고는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 또 LBE-26 시험체인 경우 고력볼트가 F10T M22인 경우가 고력볼트가 F10T M20인 경우보다 약 3%정도 낮게 나타나고 있다.

3.3.4 파괴상황

파괴상황을 보면 LBE-22A 시험체인 경우 하부 인장축 보플랜지 선상에서 강관벽이 부풀어 오른다. 상부 압축축 보플랜지가 국부좌굴한 후 보 웨브 부분이 좌굴하였고 LBE-26A와 LBE-30A 시험체의 경우 인장축 엔드플레이트가 강관벽에서 미세하게 분리되면서 면의변형이 생겼다. LBE-26B 시험체는 LBE-26A와 LBE-30A 시험체와 비슷한 거동을 보이다가 하부인장축 볼트(상부 2개)가 파단하였다.

4. 분석 및 고찰

4.1 내력 및 강성비교

표5는 하중-변위관계 곡선에서 각 시험체의 항복 및 최대하중 그리고 초기강성을 보 시험체와 비교한 것이다.

항복내력은 LBE-30A 시험체를 제외한 모든 시험체가 보 시험체에 비해 낮게 나타났으며 최대내력과 초기강성은 모두 보 시험체에 비해 높게 나타났다.

표 5. 접합부 시험체의 실험결과

시험체	Py (ton)	Pu (ton)	Ki (t/mm)	Py /bPy	Pu /bPu	Ki/ bKi
LBE-22A	30.89	39.20	2.68	0.94	1.04	1.01
LBE-26A	31.33	40.98	2.88	0.96	1.09	1.09
LBE-26B	28.33	38.42	2.86	0.86	1.02	1.08
LBE-30A	35.50	41.14	2.78	1.08	1.09	1.05
B2	32.81	37.63	2.64	1	1	1.00

Py : 항복내력 Py : 시험치 최대내력
 Ki : 시험치 초기강성 bPy : 보의 항복내력
 bPu : 보의 최대내력 bKi : 보의 초기강성

4.2 접합부의 모멘트-회전각 관계

실험에서 얻은 각각의 시험체에 대한 M-θ 관계를 그림6과 표6에 나타내었다. 그림6에서 세로축은 보 단부에 작용하는 모멘트를 나타내

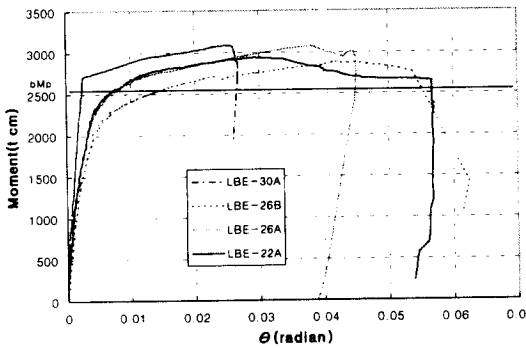


그림 6. 시험체의 M-θ관계 곡선

표 6. 접합부 시험체의 M-θ비교

시험체	My (tcm)	Mu (tcm)	Mu /My	Mu /bMp	θy (×10 ⁻³)	θu (×10 ⁻³)
LBE-22A	2282.26	2940.00	1.29	1.15	1.23	36.46
LBE-26A	2291.43	3073.50	1.34	1.21	2.31	45.72
LBE-26B	2121.62	2881.50	1.36	1.13	2.81	42.16
LBE-30A	2764.45	3084.00	1.12	1.21	1.78	35.80

My : 항복 모멘트 θy : 항복 회전각
 Mu : 최대 모멘트 θu : 최대 회전각
 Mu/My : 항복 모멘트 비
 Mu/bMp : 보의 전소성 모멘트와 최대 모멘트 비
 bMp : 보의 전소성모멘트 (계산치, =2547.76 tcm)

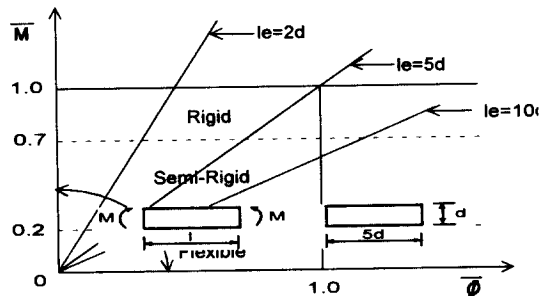
고, 가로축은 가력점의 수직변위를 단부에서 기동중심점까지의 거리로 나누어 구한 부재회전각을 나타내며, bMp는 보단부의 전소성 모멘트이다.

그림6에서 보는 바와 같이 보의 전소성모멘트와 최대모멘트의 비교(Mu/bMp)는 1.13~1.21의 분포로 모든 시험체가 보의 전강도를 전달하고 있다.

4.3 접합부의 분류

본 연구에서 실시한 시험체를 대상으로 Bjorhovde의 분류방법과 Eurocode3 (Ec 3)에 의한 분류방법으로 각 시험체를 무차원화 모멘트-회전각 관계로 나타내어 접합부를 분류하였다.

Bjorhovde의 접합부 분류방법은 그림7에 나타나 있듯이 보와 접합부의 강성비를 고려하여 보의 표준길이 5d를 사용한 분류체계로 다음과 같이 접합부를 분류하고 있다.



$$\bar{M} = M/M_p, \quad \bar{\theta} = \theta / \theta_p, \quad \theta_p = \frac{M_p}{\left(\frac{EI}{5d}\right)}$$

그림 7. Bjorhovde 분류방법에 의한 접합부의 무차원 분류

여기서 αd는 보에 접합부처럼 동일한 강성을 부여한 보의 상당길이(Equivalent Length)이다. 전소성 모멘트와 동일한 극한모멘트 그리고 보 기준길이 5d를 사용해서 무차원의 연성조건을 제시한다. 무차원 연성조건은 보의 전소성모멘트에 대한 접합부 극한모멘트의 비에 따르며 접합부

초기강성에는 반비례한다. 즉 접합부가 유연할수록 더 큰 연성이 요구된다.

이 분류방법에 의하면 그림8과 같이 모든 시험체는 연성요구치를 상회하고 있으며, 초기강성에 대해서도 최대하중에 대해서도 모두 강절접합영역에 속하는 것으로 나타났다.

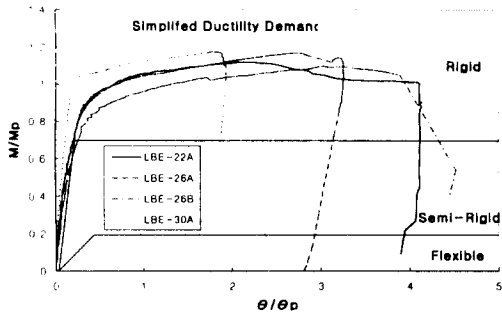
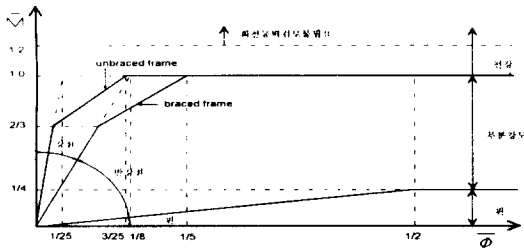


그림 8. Bjorhovde 분류의 무차원화 모멘트-회전각 관계 곡선

그림9는 Eurocode3 (Ec 3)에 의한 분류법을 도식화 한 것이다.



$$\bar{M} = M/M_p \quad \bar{\phi} = \phi/\phi_p$$

$$\phi_p = (M_p I_{bh}/EI_h)$$

M_p = 보의 전소성모멘트
 EI_b/I_b = 보의 강성도

그림 9. Eurocode 3 분류에 의한 접합부의 무차원 분류

EC 3의 분류에 의한 무차원화 모멘트-회전각 관계를 그림10에 나타내었는데 초기강성의 측면에서 강절접합에 속하고, 최대내력 측면에서도 모든

시험체가 강절접합영역에 속하는 것으로 나타났다. 그리고 모든 시험체가 $\bar{M} = M/M_p < 1.2$ 로서 회전능력검토를 필요로 하는 것으로 나타나고 있다.

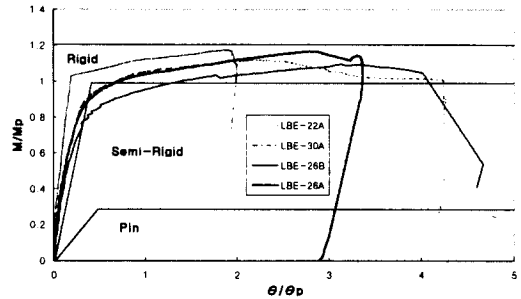
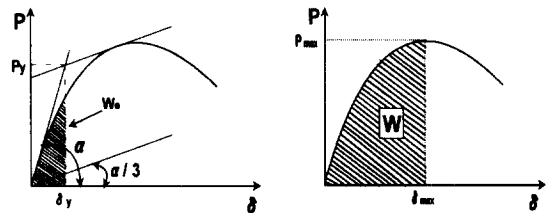


그림 10. EC 3 분류에 의한 접합부의 모멘트-회전각 관계

4.4 변형능력

구조부재의 변형능력은 외력에 대한 에너지 흡수능력(소산능력)을 의미한다고 볼 수 있다.

본 실험에서는 그림 11(a)와 같이 가해진 하중이 모두 변형에너지로 작용한다고 가정하여 실험으로부터 얻은 하중-변위곡선에서 하중의 최대점과 이때의 최대변위점으로 둘러싸인 면적(W)으로 전체 에너지 흡수능력을 평가하였고 그림 11(b)처럼 항복하중에 대응하는 항복변위에서의 에너지 흡수량을 탄성에너지 흡수능력으로 산정하였다. 그리고 항복 이후의 에너지 흡수능력을 소성변형능력으로 하였다.



(a) 탄성 에너지 흡수능력 (b) 전체 에너지 흡수능력

그림 11. 하중-변위곡선에서의 에너지 흡수능력

분석결과를 표7과 그림 12에 나타낸 바와 같다. LBE-22A 시험체와 LBE-30A 시험체는 보 시험체와 거의 같은 변형능력을 보이고 있으며 LBE-26A 시험체와 LBE-26B 시험체는 다소 우수한 변형능력을 나타내고 있다. 이것은 초기강성과 비교했을 때 초기강성이 큰 시험체가 변형능력면에서도 우수한 것으로 나타났다. 항복이후의

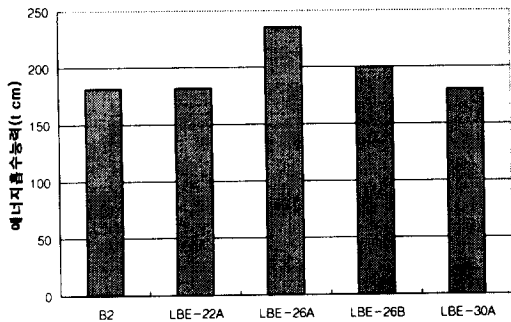


그림 12. 에너지 흡수능력 비교

표 7. 변형능력 비교

시험체명	W_e (t cm)	W_p (t cm)	W_t (t cm)	W_t/W_i
LBE-22A	25.623	156.05	181.67	1.00
LBE-26A	26.414	209.04	235.45	1.29
LBE-26B	21.908	177.96	199.86	1.10
LBE-30A	25.870	154.16	180.03	0.99
B2	25.157	156.07	181.226	1.00

W_e : 탄성 에너지 흡수능력 (t cm)

W_p : 소성 에너지 흡수능력 (t cm)

W_t : 전체 에너지 흡수능력 (t cm)

W_t/W_i : 각 시험체와 보의 에너지 흡수능력과의 비교

변형능력인 소성변형능력도 전체 변형능력과 똑같은 양상을 보이고 있다. 그러나 탄성변형능력은 22mm 고력볼트를 사용한 LBE-22A, 26A, 30A 시험체가 보시험체와 같게 나타나고 20mm 고력볼트를 사용한 LBE-26B 시험체만 다소 낮게 나타나고 있다.

5. 결 론

본 연구에서 관통형 고력볼트를 사용한 엔드플레이트형식 콘크리트충전 각형강관 기둥·H형강 보 접합부의 구조적 거동을 파악하기 위하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 초기강성은 LBE-26 시험체까지는 증가했으나 LBE-30 시험체에서는 다시 감소했다. 내력상승율을 나타내는 P_u/P_y 도 모든 시험체가 약 30%정도의 증가를 보이고 있지만, 보 시험체와 LBE-30A 시험체인 경우는 각각 15%, 16% 정도로 다소 낮게 나타나고 있는데 이는 최대하중이 보의 국부좌굴에 의해 결정되었기 때문이라고 사료된다.

(2) 시험체의 변형능력은 LBE-26A 시험체 보 시험체에 비해 30% 증가로 가장 크게 나타났고, LBE-26B 시험체가 10%의 증가를 보이며 나머지 LBE-22A, 30A 시험체는 보 시험체와 거의 같은 변형능력을 보이고 있다.

(3) Bjorhovde와 Eurocode 3에 의한 접합부 분류법에 의하면 모든 접합부 시험체는 초기강성과 최대내력에 대해서 강절(Rigid) 접합영역에 속하는 것으로 나타났다. 그리고 Bjorhovde 분류법에 의하면 모든 시험체는 연성요구치를 상회하고 있지만 회전능력검토가 필요한 것으로 나타났다.

(4) 본 연구에서 각 시험체의 초기강성, 내력상승율, 변형능력을 측정해본 결과 LBE-26A(M2 2, t=26mm) 시험체가 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 주어진 볼트의 직경에서 엔드플레이트의 두께를 30mm 이상으로 하는 것은 구조적 성능에 큰 의미가 없는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) R. Bjorhovde, "Classification System for Beam-To-Column Connection", Journal of Structural Engineering, Vol. 116, No. 11, Nov. 1990 ASCE, p.3059~p.3076
- (2) Robert E. Melchers, "Moment- Rotation Curves For Bolted Connections", Journal of Structural Engineering, Vol. 112 NO. 3. MAR.1986, p615~p.635
- (3) H. Agerskov, " High-Strength Bolted Connections Subject To Prying", Journal of the Structural Division, Vol. 102 NO.ST1. JAN. 1976, p.161~p.175
- (4) A. Azizinamini, J. H. Bradburn, "Initial Stiffness of Semi-Rigid Steel Beam-To Column Connections", J. Construct. Steel Research 8, 1987, p.71~p.90
- (5) R. Bjorhovde, Jacques brozzetti, Andre colson, "Connections in steel structures", Elsevier Applied Science, 1988
- (6) C. G. Salmon, J. E. Johnson, "Steel Structures : Design and Behaviour, Emphasizing Load and Resistance Factor Design, Third Edition", Harper&Row, 1990, p.905~p.917
- (7) W. F. Chen, Yoshiaki Goto, J. Y. Richard Liew, " Stability Design of Semi-Rigid Frames " . 1996, p361~365
- (8) W. F. Chen & N. Kishi, "Semi-rigid Steel Beam-to-Column Connections : Data Base and Modelling", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.115, No.1, January, 1989; p.105~p.119
- (9) 李 小蓮, 金容 弘외 3인, "長締高力ボルト引張接合によるコンクリート充てん角形鋼管柱・梁接合部に關する研究, その1 ボルト 軸力導入時の舉動, 日本建築學 會剛構造論文報告集 第414號, 1990年 8月, p.35~p.44
- (10) 李 小蓮, 金容 弘외 3인, "長締高力ボルト引張接合によるコンクリート充てん角形鋼管柱・梁接合部に關する研究, その2 對稱荷重實驗, 日本建築學會剛構造論文報告集 第425號, 1991年 7月, p.37~p.46
- (11) 李 小蓮, 金容 弘외 3인, "長締高力ボルト引張接合によるコンクリート充てん角形鋼管柱・梁接合部に關する研究, その3 水平荷重實驗, 日本建築學會 剛構造論文報告集 第432號, 1992年 2月, p.69~p.76
- (12) 유영찬, "콘크리트 충전 각형강관 구조의 거동에 관한 연구", 한양대학교 박사학위 논문, 1997
- (13) 김태용, "플러쉬 엔드-플레이트 형식 각형강관 기둥-H형강 보 접합부의 거동에 관한 연구" 한양대학교 석사학위 논문, 1997
- (14) 신상훈, 강석봉, 박순규, "H형강보-각형강관 기둥의 단부 평판 접합부 거동 분석에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 제5권 제1회, 1995.5
- (15) 강현식, "콘크리트 충전 원형강관 기둥-H형강 보합부의 구조적 거동에 관한 연구", 한양대학교 박사학위 논문, 1997

(접수일자 : 1998. 3. 18)