

관통형 고력볼트를 사용한 엔드플레이트형식 콘크리트 충전 각형강관 기둥·H형강 보 접합부의 거동에 관한 실험적 연구 (Ⅱ)

Experimental study on the Behavior CFT Column to H-Beam Endplate Connections with Penetrated High Strength Bolts (Ⅱ)

김 재 건¹⁾ · 문 태 섭²⁾

Kim, Jae Keon · Moon, Tae Sup

요 약 : 본 논문은 관통형 고력볼트를 사용한 엔드플레이트형식 콘크리트 충전 각형강관 기둥·H형강 보 접합부에 대한 단조가력하에서의 실험적 연구이다. 본 실험의 목적은 전회(前回)¹⁾에서는 파악되지 않았던 엔드플레이트의 두께와 볼트의 배열에 대한 영향을 정확하게 평가하는데 있다. 실험의 주요변수는 엔드플레이트의 두께(12mm, 16mm)와 볼트의 배열 (EP1, EP2, EP3)이다. 변수에 따른 실험결과를 비교, 분석하였다. 1) 실험체는 Bjorhovde와 EC3의 분류법에 의해 분류하였다. 2) T-stub 모델에 근거한 접합부의 최대 모멘트 예측식에 의해 계산된 이론치(tM_u)는 실험치(eM_u)에 잘 대응하였다.

ABSTRACT : This paper presents an experimental study on the behavior of CFT Column to H-Beam Endplate Connections with penetrated H/T bolts under monotonic loading. The object of this study is to estimate accurately the effect about the thickness of endplate and the arrangement of H/T bolts which was not got a grip on the results reported in the previous paper¹⁾. Main parameters are the thickness of endplates (12mm, 16mm) and the arrangement of H/T bolts (EP1, EP2, EP3 Type). The experimental results compared and analysed. 1) The specimens were classified by Bjorhovde's and EC3's method. 2) A formula to predict the ultimate moment of connection was derived based on the T-stub model, and theoretical value (tM_u) computed by the formula corresponded to the experimental value (eM_u).

핵 심 용 어 : 초기강성, 모멘트-회전각 곡선, 강절, 반강절, 최대/항복강도

KEYWORDS : initial stiffness, moment-rotation curve, rigid, semi-rigid, maximum/yield strength, T-stub

1) 한양대학교 건축공학과 박사과정
2) 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수, 포철석좌교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 1999년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

건축물이 대형화, 고층화되어가고 있는 추세에 따라, 본 실험에서 사용된 콘크리트 충전 각형강관 부재는 기둥부재로서 압축력의 상당부분을 콘크리트가 분담하여, 강관의 국부변형을 구속하므로, 단면이 줄어들고, 내력을 증대시킬 수 있어서 매우 적합하지만, 보-기둥의 접합부가 다소 복잡한 단점이 있으며, 볼트접합은 용접접합과는 달리, 구조물의 연속성이 없고 엔드플레이트와 기둥간의 접촉면에서의 접촉현상 등과, 볼트연결에 의한 비선형적인 응력변화와 변형 등 매우 복잡한 거동을 가지므로 이에 대한 고찰이 필요하다.

이와 같이, 구조부재로서의 우수성을 지닌 콘크리트 충전 각형강관이 실용화, 공업화되기 위해서는 우수한 시공법 개발과 함께 효율적인 접합부 보강법에 대한 연구개발이 요구된다.

본 실험은 엔드플레이트의 두께를 전회(前回)¹⁾보다 얇게 하여, 접합부의 최대내력이 엔드플레이트의 소성화에 의해 결정되도록 하였으며, 전회에서 볼트의 위치를 '기본형(EP1)'으로 하여 볼트의 위치가 보 플랜지에 더 가까이 위치한 경우(EP2)와 더 멀리 위치한 경우(EP3)에 따라 실험을 수행하여, 이들 변수에 대한 접합부의 거동과 변형특성을 파악하고자 하였다.

2. 재료 시험

2.1 강재 인장강도 시험


본 실험의 실험체 제작에 사용된 강재의 기계적 성질을 파악하기 위해, KS규준 6호 및 7호에 준하여 규준에 따라, 각형강관에서 용접부를 제외한 2곳의 평판부에서 관축방향으로 평행하게 2개, H형강의 플랜지 및 웹, 그리고 엔드플레이트를 두께별로 2개씩 인장시험편을 절취하였고, 각 시험편에 2개의 변형도게이지(이하 W.S.G)를 부착하여 변형도를 측정하였다. 시험에 사용한

강재의 재질은 SS400 및 SPSR400이다.

강재의 인장강도 시험결과는 표 1에 응력도-변형도 관계곡선은 그림 1에 나타내었다.

표 1. 강재 인장강도 시험결과

시험체	σ_y (t/cm ²)	σ_u (t/cm ²)	σ_y/σ_u	E_{10} (%)
SC-6	4.43	5.21	0.85	29
HW-7	3.68	4.93	0.75	35
HF-11	3.14	4.61	0.68	33
PL-12	2.92	3.88	0.75	39
PL-16	2.56	4.32	0.59	34
F10T M20	10.10	10.98	0.92	18


 두께 (mm)
 강종(SC : 각형강관, HF : H형강 플랜지, HW : H형강 웹, PL : 엔드플레이트)
 σ_y : 항복점, σ_u : 인장강도, σ_y/σ_u : 항복비, E_{10} : 연신율

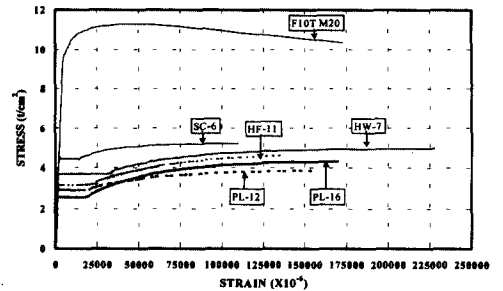


그림 1. 응력-변형도 관계 곡선

2.2 콘크리트 압축강도 시험

표 2. 콘크리트 압축강도 시험결과 (평균치)

설계기준강도 (kg/cm ²)	$f'c$ (kg/cm ²)	E_c (kg/cm ²)	slump (cm)
210	234	2.27×10^5	12

$f'c$: 콘크리트 압축강도 E_c : 콘크리트 탄성계수

설계강도 210kg/cm²인 콘크리트를 레미콘으로 입수하여 공시체를 실린더형 모울드를 사용하여 1회 3개씩 총 6개를 제작하여 28일 압축강도 시험을 실시하였다. 응력을 풀고루 전달시키기 위하여 유황캡핑을 하였으며, 편심하중을 막기위해 가력부위에 구좌를 설치하였다. 압축강도 시험결과를 평균하여, 표 2에 나타내었다.

3. 접합부 실험

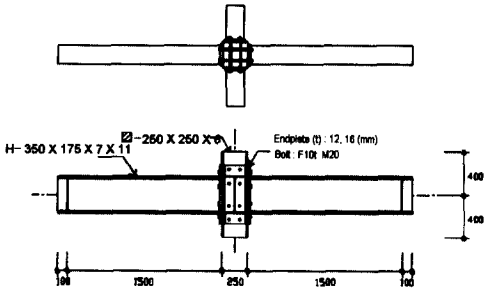
3.1 실험체 계획

본 실험체는 H형강보(SS400, H-350×175×7×11)에 엔드플레이트를 용접하고, 이를 기둥 부재인 각형강관 (SPSR400, □-250×250×6 (mm))에 8개의 관통형 고력볼트(F10T M20)로 접합하였다.

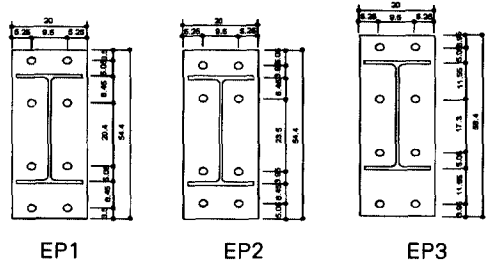
엔드플레이트의 두께가 22mm, 26mm, 30mm로 두껍게 계획된 전회¹⁾에서는 접합부에서의 파단보다는 보의 국부좌굴로 인해 최대내력에 결정되어 엔드플레이트와 볼트의 정확한 내력평가를 할 수가 없었다. 따라서, 본 실험은 엔드플레이트의 두께를 12mm, 16mm로 계획하여, 엔드플레이트의 소성화에 의해 결정되도록 하였다.

엔드플레이트형식 볼트접합을 설계하는데 있어서, 4개의 볼트가 플랜지 주위에 위치하는 것으로 하여, 볼트의 배열을 전회에서 사용한 기본형(EP1)과, 볼트의 위치가 보 플랜지에서 더 가까이 위치한 경우(EP2)와, 더 멀리 위치한 경우(EP3)에 대한 실험도 수행하여 볼트의 위치에 따른 접합부의 내력평가도 검토하였다. 이와같이, 실험의 주요변수는 엔드플레이트의 두께(12mm, 16mm)와 볼트의 위치(EP1, EP2, EP3)이다.

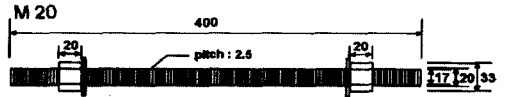
이 실험체의 일람은 표 3에 나타내었고, 그림 2에 실험체의 형상, 치수 및 엔드플레이트와 고력볼트의 상세치수를 나타내었다.



(a) 접합부 실험체의 형상 및 치수



(b) 엔드플레이트 상세치수



(c) 볼트의 상세치수
그림 2. 실험체의 상세치수

표 3. 본 실험의 접합부 실험체의 상세치수

시험체명	엔드 플레이트	강관 기둥	H형강보	고력볼트	
LBE-12B-1	12 mm	□-250 × 250 × 6	H-350 × 175 × 7 × 11	F10T M20	
LBE-12B-2					EP1
LBE-12B-3					EP2
LBE-16B-1	16 mm	□-250 × 250 × 6	H-350 × 175 × 7 × 11	F10T M20	
LBE-16B-2					EP1
LBE-16B-3					EP2

LBE-□□□

- 볼트의 위치 (EP1, EP2, EP3 type)
- A : 전회에 사용된 고력볼트로서, F10T M22인 경우
- B : 고력볼트가 F10T M20인 경우
- 엔드 플레이트 두께

3.2 고력볼트의 체결

본 실험에 사용된 고력볼트의 도입축력은 설계 볼트장력에 10%를 할증한 표준볼트장력(F10T M20의 경우, 18.2ton)을 목표로 한다. 볼트는 토크관리법에 의해 2회 체결하는 것으로 하고, 강관에 콘크리트를 충전시키기 전에 표준볼트장력의 80%, 콘크리트충전 경화후에 표준볼트장력의 100%를 수동토크렌치를 사용하여 체결한다.

3.3 가력 및 측정방법

가력방법은 그림 3에 나타낸 것과 같이 보 양

단을 단순지지하고, 유압식 만능시험기(U.T.M.)로 기둥상부에서 단순재하하여, 접합부에 휨모멘트가 가해지도록 하였으며, 접합부가 항복하기 전에는 일정한 하중속도로 하중제어를 하였고, 항복 후에는 변형도 게이지 값을 이용한 변위제어를 실시하였다. 시험은 보 하부 인장측의 상위열의 볼트가 파단되어 더 이상 가력하기에 불안정한 상태가 되었을 때 종료하였다.

측정방법은 충전콘크리트 각형강관 및 H형강보의 플랜지 및 웨브에 변형도게이지(strain gauge)를 설치하여 응력전달상황을 관찰하고, 다이얼 게이지(displacement transducer, 이하 D로 표기)를 이용하여 부재변형 및 접합부의 변형을 측정하였다.

D1은 각형강관 기둥의 하부에 설치하여 시험체의 중앙부의 처짐을, D2, D3는 보의 상대회전각을, D4, D5는 양 지점의 변위를 보정하기 위한 것이다.

접합부의 상대회전각은 D2, D3에 측정된 절대치의 합을 D2, D3사이의 거리로 나눈 값이다.

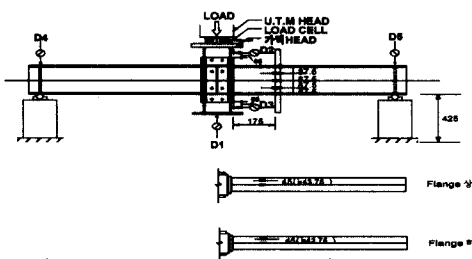


그림 3. 가력 및 측정방법

3.4 실험결과

3.4.1 파괴상황

본 실험에서, 엔드플레이트는 하부인장측 보플랜지 선상에서 면외변형을 일으켰고, 인장플랜지 상위열볼트가 파단하여 실험이 종료되었다. 특히, LBE-16B-2의 실험체의 경우에는 보 하부 플랜지와 용접부가 끝나는 곳에서 엔드플레이트가 완전히 파단하였다.

3.4.2 항복내력 및 최대내력

본 실험(엔드플레이트의 두께가 16mm이하)에 의하면, 항복내력(M_y)는 11.11(tm)~21.59(tm)의 분포로서 엔드플레이트의 두께를 12mm에서 16mm로 33% 증가시킴에 따라 볼트배열이 같은 형태에 대해 각각 16%, 28%, 28%씩 증가하는 값을 나타내고 있다. 여기서, 엔드플레이트의 두께가 같은 실험체에 대해, 볼트의 위치가 플랜지에서 가장 가까운 EP2 시험체의 경우 항복내력에서나, 최대내력에서 다소 높게 나타나고 있다.

최대내력(M_u)는 23.12(tm)~26.69(tm)의 분포로서 엔드플레이트의 두께증가에 따른 내력의 증가가 나타나지 않고 있는데, 이는 최대내력이 인장측 플랜지 상위열의 볼트파단으로 결정되었기 때문이라고 사료된다

3.4.3 내력상승률 및 변형능력

본 실험(엔드플레이트의 두께가 16mm이하)에 의하면, 내력상승률(M_u/M_y)은 1.23~2.08의 분포로서, 엔드플레이트의 두께가 두껍거나, 볼트배열이 플랜지에 가까이 배치될수록 낮은 내력상승률을 나타낸다. 변형능력(θ_u/θ_y)는 볼트열의 위치에는 별다른 영향을 받지 않고 엔드플레이트의 두께가 얇을수록 높은 변형능력을 나타내고 있다.

3.4.4 모멘트-회전각 관계

본 실험에 각각의 실험체에 대한 접합부만의 $M-\theta$ 관계를 그림 4와 표 4에 나타내었다.

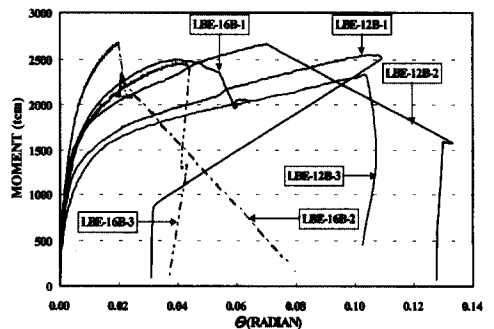


그림 4. 실험체의 $M-\theta$ 관계 곡선

표 4. 1차 실험체의 M-θ비교

실험체	M _y (tm)	M _u (tm)	M _u /M _y	θ _y	θ _u	θ _u /θ _y
				(rad.)		
LBE-22A-1	23.36	29.40	1.26	0.0032	0.0302	9.56
LBE-26A-1	23.06	30.74	1.33	0.0030	0.0380	12.56
LBE-26B-1	21.11	28.82	1.37	0.0034	0.0420	12.41
LBE-30A-1	27.04	30.84	1.14	0.0026	0.0246	9.35
LBE-12B-1	13.08	25.51	1.95	0.0033	0.1061	32.15
LBE-12B-2	16.90	26.69	1.62	0.0022	0.0702	31.91
LBE-12B-3	11.11	23.12	2.08	0.0038	0.1042	27.64
LBE-16B-1	15.23	25.00	1.64	0.0025	0.0406	16.46
LBE-16B-2	21.59	26.66	1.23	0.0027	0.0196	7.26
LBE-16B-3	14.43	25.54	1.77	0.0024	0.0406	16.86

M_y : 항복 모멘트 θ_y : 항복 회전각
 M_u : 최대 모멘트 θ_u : 최대 회전각
 M_u/M_y : 항복 모멘트 비 (M : 보 단부 모멘트)

4. 분석

4.1 초기강성

그림 5에 의하면, 전회¹⁾와 본 실험에서의 초기 강성(K_g)은 2946.95~10277.46(tm/rad.)의 분포를 나타내고 있다.

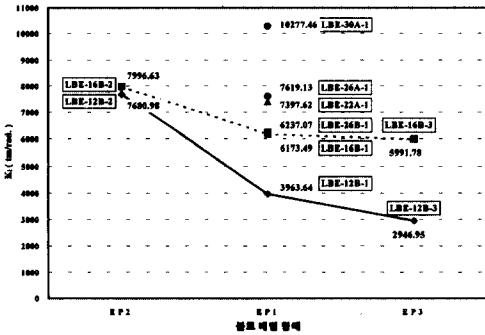


그림 5. 실험체별 초기강성 비교

특히, 볼트열 상호간의 거리가 가까운 LBE-12B-2와 LBE-16B-2는 각각 7080.98과 7996.63(tm/rad.)으로 엔드플레이트의 두께가 같은 다른 시험체들에 비해 높게 나타나고 있으며, 볼트열 상호간의 거리가 기본형(EP1)보다 먼 EP3의 실험체의 경우, 초기강성이 가장 낮게 나타났다. 또, 볼트배열 타입과 볼트직경이 같은

실험체에 대해 엔드플레이트의 두께가 두꺼울수록 높은 초기강성을 보였으나, LBE-12B-2의 값에서 볼 수 있듯이, 엔드플레이트의 두께 보다는 볼트의 배열에 따른 영향이 더 큰 것으로 사료된다.

4.2 접합부의 내력검토

4.2.1 Maquoi(1991)의 모델⁷⁾

볼트접합 T-stub또는 엔드플레이트 접합부가 인장력을 받을 때, 엔드플레이트의 휨에 의한 지레반력(prying force)이 발생하여 볼트에는 볼트 도입축력이외에 부가적으로 볼트에 지레반력이 작용하여 볼트파단의 원인이 된다. 주로, 볼트도입축력은 볼트중심에 작용하는 집중하중으로 가정하여 볼트와 와셔의 실제크기의 크기 등을 설명하지는 않는데, 이 두가지는 항복선의 위치와 메카니즘에 관련된 가상일에 대한 영향력을 가진다.

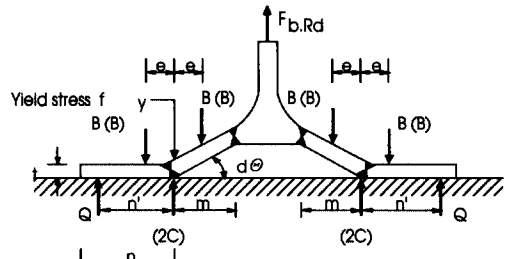


그림 6. 가정한 T-stub모델의 소성메카니즘

그림 6과 같이 볼트도입축력의 합력(2B)는 볼트축으로부터 편심거리 $e = \pm 0.25D$ 에 작용하는 두 개의 동일한 등가하중성분 B로 대체되고, 가상일의 원리와 평형방정식을 적용하여 소성메카니즘의 개시에 의한 붕괴와 관련된 한계력 ($F_{b,Rd}$)은 다음과 같다.

$$F_{b,Rd} = \frac{(8n' - 2e)b_m m_p}{2mn' - e(m + n')}$$

여기서, $n' = \text{Min}[n ; 1.25m]$

$$m_p = 0.25 f_y t^2$$

b_m 은 EC3에 따른다.

볼트도입축력의 효과를 고려하면 아래의 식과 같은 한계력의 수정표현식과 같다.

$$F_{b.Rd}^* = \frac{[8n' - 2(1 - K^*)e]b_m m_p + 4n'eS}{2mn' - e(1 - K^*)(m + n')}$$

그러나, 이 식은 플레이트의 분리 이전의 범위에서 유효하며, 아래의 조건이 만족될 때 가능하지만, 본 실험체에서는 조건이 만족되지 않으므로, $F_{b.Rd}$ 값을 사용한다.

$$2B \equiv (F_{b.Rd}^* n' + 2b_m m_p) / (2n' - e) \neq N_{bD}$$

여기서, $N_{bD} = 2S/K^*$

S : 볼트당 초기장력 (preloading force)

$$K^* = 1 / (1 + 1/\xi)$$

$\xi = A_t / A_b$ (유효플레이트 압축면적 A_t 와 저항 볼트단면적 A_b 의 축강성의 비로 평균적으로 5를 취한다.) (Agerskov, 1976)⁷⁾

따라서, Maquoi(1991) 제안식을 사용한 이론치(tM_u)와 실험치(eM_u)를 비교(eM_u/tM_u)하면 그림 7에서와 같이 1.83~4.82의 분포로 최대내력을 충분히 안정적인 측면에서 다루고 있다.

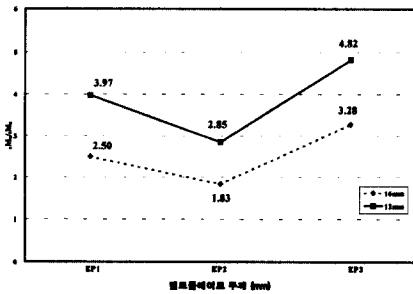


그림 7. Maquoi 제안식의 이론치와 실험치의 비교

4.2.2 T-stub 모델의 수정

그림 8과 같이, 한쪽 편의 외부인장력은 T , 볼트력은 B , 지레력은 Q 라고 가정한다. 또, 인장플랜지를 중심으로 상하 볼트의 간격이 비대칭이므로, 인장플랜지를 중심으로 양측의 볼트를 평균하

여 m 을 구하였고, 인장플랜지 내측의 n 은 AISC LRFD규준에 의해 최대 1.25m(여기서, m 은 인장플랜지 중심과 내측볼트의 거리)로 가정하여 반대편과 평균하여 계산하였다.

식(3)에서, m 은 (볼트와 인장플랜지 중심거리)에서 0.5t (t :인장플랜지의 두께), 용접두께 a 의 1/2(5mm), e (너트직경의 1/2)값을 뺀 값이고, n 은 엔드플레이트의 끝단까지의 거리에 e 값을 더한 값으로 AISC LRFD규준에 의해 1.25m을 초과해서는 안된다.¹⁰⁾ 지레반력(prying force) Q 는 엔드플레이트의 두께, 볼트배열 등에 따라 작용위치가 일정하지 않으며, 대개 지레반력의 작용위치를 엔드플레이트의 끝단에 집중하중으로 가정하지만, Suzuki¹¹⁾는 등변분포로 가정하는 등 다양한 접근이 시도되었다. 본 모델은 지레반력의 작용위치 n' 를 0.6n으로 가정하였다.⁸⁾

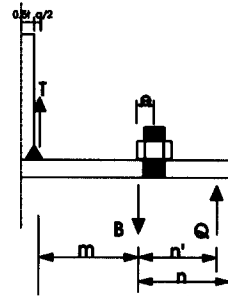


그림 8. 평균거리를 고려한 T-stub

이와 같은 모델은 플랜지와 웨브의 접합부에서 소성힌지의 발생과 함께 최대하중에 이른다고 가정하면 보다 간단하다.⁹⁾

그림 8에서의 평형방정식은 다음과 같다.

$$T + Q = B \quad (1)$$

$$Tm - Qn' = M_p \quad (2)$$

여기서, Q : 지레반력 (prying force)

$$M_p = \frac{b_e \cdot t_e^2 \cdot \sigma_y}{4}$$

b_e : 엔드플레이트의 폭

t_e : 엔드플레이트의 두께

B : 볼트력 ($c \cdot \sigma_u \cdot A_e$)

c : 한쪽 T-stub의 볼트갯수
 식(1),(2)를 정리하면, 외부인장력 T 는

$$T = \frac{Bm + M_p}{m + n'} \quad (3)$$

으로 나타낼 수 있고, 최대모멘트 예측식은

$${}_tM_u = 2T \times D_F \quad (4)$$

이며, D_F 는 H형강의 춤에서 플랜지의 두께를 뺀 값이다.

식(3),(4)를 이용하여 최대모멘트의 이론치 (${}_tM_u$)와 실험치(${}_eM_u$)를 비교(${}_eM_u/{}_tM_u$)하면 그림 9에서와 같이 1.001~1.116으로 잘 대응하였다.

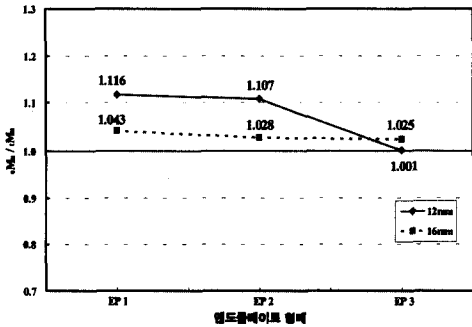


그림 9. T-stub모델을 이용한 이론치와 실험치의 비교

4.3 접합부의 분류의 검토

접합부는 강도(strength), 강성(stiffness), 연성(ductility)에 따라 분류될 수 있으며, 접합부 강성과 보 강성의 비를 고려해야 한다.

Bjorhovde 분류법은 골조의 전체거동을 고려하지 않고, 다양한 보-기둥 접합부에 대한 많은 실험자료의 평가를 기초로 하여, 보의 길이는 기준길이(reference length)인 $L_b = 5d$ 로 일원화 하였다. 한편, Eurocode3 분류법은 Bjorhovde와는 달리 접합부의 연성요구조건(ductility requirement)을 제시하지 않았으며, 골조의 전체 거동을 기초로 하였다.

4.3.1 Bjorhovde 분류법에 의한 접합부 분류

Bjorhovde분류법³⁾⁵⁾에 의한 접합부 실험결과는 그림 10과 같다. 초기강성측면에서 2차 실험체는 강절영역에 속하고 있으며, 최대내력에 있어서도 강절영역에 속하는 것으로 나타났다. 특히, LBE-16B-2 실험체는 연성능력의 검토가 요구된다.

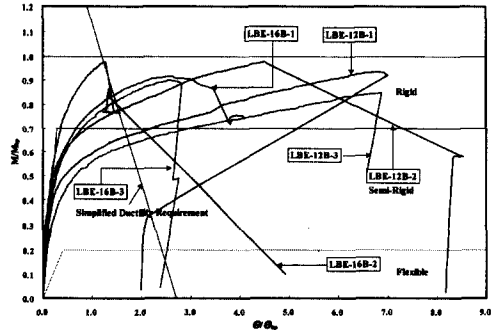


그림 10. Bjorhovde 분류법에 의한 접합부분류

4.3.2 EC3에 의한 접합부 분류

EC3에 의한 접합부 분류법⁵⁾에 따른 실험체별 분류는 그림 11과 같이 나타난다.

본 실험체는 초기강성 측면에서 반강절(semi-rigid)영역에 속하며, 최대내력에서도 마찬가지로 반강절(semi-rigid)영역에 속한다. 또한 실험체는 M/M_{bp} 가 1.2보다 낮은 값을 나타내므로, 회전능력의 검토가 필요한 것으로 나타났다.

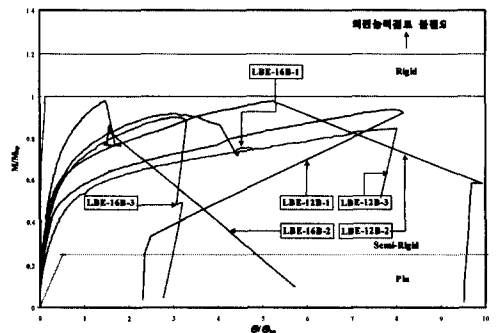


그림 11. Eurocode3 분류법에 의한 접합부분류

5. 결론

(1) 접합부의 최대내력이 볼트의 파단으로 인

해 결정되었기 때문에 보 부재가 H-350×175×7×11 ($Z_p=867.9\text{cm}^3$) 이상의 단면성능을 갖는 보에는 F10T M20의 볼트보다는, 전회¹⁾에서 사용한 F10T M22 이상의 볼트가 사용되어야만 인장플랜지 상위엿의 볼트파단을 방지할 수 있다.

(2) 초기강성과 최대내력은 엔드플레이트의 두께보다는 볼트배열에 따라 영향을 받았으며, 볼트가 보 플랜지에 가까이 배치할수록 증가하였다.

(3) T-stub모형을 이용하여 지레반력 Q의 위치를 0.6n의 위치로 가정한 경우⁸⁾, 최대모멘트의 이론치와 실험치를 비교(eM_u/tM_u)한 결과, 1.001~1.116의 분포로 좋은 대응을 보였다.

(4) Bjorhovde 분류법에 의하면, 모든 실험체가 초기강성측면에서 강절영역에 속하고, 최대내력에 있어서도 강절 영역에 속한다. 또한, LBE-16B-2 실험체의 경우 연성능력의 검토가 요구되었다.

(5) EC3분류법에 의하면 모든 실험체는 초기강성 측면에서나 최대내력측면에서 반강절 영역에 속하였고, 회전능력의 검토가 필요하였다.

감사의 말

본 연구는 포항제철(주)의 석좌교수기금과 한양대 초대형 구조시스템 연구센터 (STRESS)의 지원으로 수행한 연구입니다.

참고 문헌

(1) 원동연, "관통형 고력볼트를 사용한 엔드-플레이트형식 콘크리트 충전 각형강관 기둥·H형강 보 접합부의 거동에 관한 실험적 연구", 한국강구조학회 제10권 제2호, 1998. 6. 1998.4, p.783-790

(2) R. Hasan, N. Kishi, W.F. Chen, M. Komuro, "Evaluation of Rigidity of Extended End-Plate Connections" Journal of Structural Engineering, Vol.123 NO.12, December, 1997, p.1595~1602

(3) R. Bjorhovde, "Classification System for Beam-To-Column Connection", Journal of Structural Engineering, Vol.116, No. 11, Nov.1990, ASCE, p.3059~p.3076

(4) Paul Grundy, Ian R. Thomas, Ian D. Bennetts, "Beam-to-Column Moment Connections" Journal of the Structural Division, Vol. 106, No.ST1, January, 1980, p313~329

(5) W.F.Chen, Yoshiaki Goto, J.Y.Richard Liew "Stability Design of Semi-Rigid Frames"

(6) Yoke Leong Yee, Robert E. Melchers, "Moment-Rotation Curves for Bolted Connection", Journal of Structural Engineering, Vol.112, No. 3, March, 1986, p615~635

(7) Jean-Pierre Jaspart and Rene Maquoi, "PLASTIC CAPACITY OF ENDPLATE AND FLANGE CLEATED CONNECTIONS-PREDICTION AND DESIGN RULES"

(8) Cameron P. Chasten, Le-Wu Lu, and George C. Driscoll, "Prying and Shear in End-Plate Connection Design", Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No. 5, May, 1992, p. 1295~p.1311

(9) Edwin H. Gaylord, Jr., Charles N. Gaylord, James E. Stallmeyer, "Steel Structures", McGraw-Hill international editions

(10) MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION Second Edition, LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN, Volume II Connections, AISC

(11) 千田 光, 鈴木敏郎, 小河利行 "スプリットティによる高力ボルト引張接合部の塑性変形性状" 日本建築學會構造系論文集第476号, 159-168

(접수일자 : 1999년 2월 5일)