

P.E.B 시스템 강골조에서 H형강 기둥 - Rafter 접합부의 구조성능

Structural Performance of H-shaped Column-Rafter Connection in the P.E.B Systematic Steel Frames

김 종 성¹⁾

Kim, Jong Sung

요 약 : 최근 들어 강구조 공장건축은 상당부분 P.E.B.시스템으로 지어지고 있으나 관련기술이 대부분 외국에서 수입된 것으로 전용프로그램(예, MBS, LTI 등)에만 의존하고 있고 국내의 설계지침이 없어서 AISC-ASD에 의해 설계하고 있다. 또한 P.E.B.골조의 구조적 거동을 검토한 연구 및 H형강을 이용한 요소기술 개발이 부족한 실정에 있다. 특히, 기둥-보(rafter) 접합부는 Extended type end plate에 의한 접합에만 의존하여 과다설계의 경향이 있으므로, 접합부에 대한 구조적 검토가 필요하다.

따라서 이 연구에서는 P.E.B.시스템 공장건물에서 H형강-보(rafter)의 접합부(Extended/Flush type)의 구조성능을 실험적으로 평가하여 구조적, 경제적으로 우수한 P.E.B. 시스템 골조의 설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

ABSTRACT : Recently, pre-engineering building (P.E.B.) systematic frames are increasingly being used in steel factory buildings, but almost of the related techniques are dependent on the engineering program (e.g. MBS, LTI), which is usually imported from other countries. These are designed under the AISC-ASD because at present there is no Korean design code for P.E.B. frames. Also, there are few studies on behaviour and we need to develop the element techniques by using H-shaped components. In particular, there is a tendency towards overestimated design because column-rafter connections have been designed with extended end plate type joint, which is treated as rigid joint, so structural examinations are needed. Therefore, this study represents a basic step in ascertaining the application of P.E.B. systematic frames by using H-shaped column-rafter connection with flush type end plate. Its structural performance is compared with that of existing extended type joint using a structural performance test. The structural behaviour of specimen was understood qualitatively and the possibility of application (e.g. design aid charts) of semi-connection (flush type) with H-shaped column-rafter was determined.

핵심용어 : P.E.B. 골조, H형강 기둥-보(rafter) 접합부, Extended/Flush type End plate, 구조성능실험, 설계도표

KEYWORDS : P.E.B. frames, H-shaped column-rafter connection, Extended/Flush type end plate, Structural performance test, Design Aid Charts

1. 서론

최근 들어 철골조의 공장건축은 상당부분 P.E.B (Pre Engineering Building System) 시스템으로 지어지고 있다. 변단면의 기둥과 보(rafter)를 Extended Type End Plate의 강접합부로 골조를 구성하고, 반자동 용접에 의해서 주요 부재를 접합하여, 현장이동 후에는 주로 고력볼트로 조

립된다. 또한 P.E.B시스템은 외국보다 상대적인 설계, 제작, 설치경험의 부족으로 일정한 품질보증이 어렵고 안전율을 정확히 판단하지 못하는 과다설계의 우려가 큰 방법으로 설치되고 있다. 그런데 이와 관련된 기술의 대부분이 외국에서 수입된 것이어서, 전용 프로그램(예, MBS, LTI 등, Source Program은 미공개)에만 의존하므로 한국기준을 감안한 프로그램개발과 이와 관련된 연구가 부족하고 아직 국내의

1) 정희원, 경일대학교 건축학부 교수, 공학박사
(Tel: 053-850-7243, Fax: 053-850-7607 E-mail: jsk@kiu.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2005년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

Design Code가 없어서 AISC-ASD 를 적용하여 설계하고 있다. 또한 골조시스템의 특성상, 약축 방향의 횡방향 하중에 대한 강성이 부족하고 부재와 부재의 이음 및 접합부 등에 구조적으로 보완이 필요한 다소 제한적인 구조시스템이다.

일반적으로 30m이상의 공장건물의 경우는 P.E.B.시스템 건물이 유리하지만, 실수요자(건축사, 건축주)들은 스패이 30m이내의 공장은 P.E.B. 시스템보다는 H형강을 사용하기를 원하고 있으며, H형강 기둥을 이용한 구조물이 P.E.B. 시스템보다 설계비, 인건비 등을 감안해 볼 때 효과적이다. 또한 P.E.B. 시스템 건물에서는 응력비(허용응력에 대한 설계응력)가 H형강을 이용한 건물보다 더 커서 부재설계에 여유가 너무 없고, 기둥-보(rafter) 접합부에서는 휨M의 집중도가 커서 상대적으로 보의 춤(depth)이 커지게 되며 재료적, 공간적인 단점이 생기지만, H형강 기둥 - 보(rafter)의 접합부를 사용한 P.E.B 시스템 건물은 이러한 단점들을 어느 정도는 보완할 수 있을 것으로 보인다.

그러나 현재 H형강의 기둥 - 보(rafter) 접합부를 갖는 골조시스템이 현장에서 가끔 적용되고는 있으나, 그 구조 성능을 실험적인 방법으로 규명한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 이 연구에서는, 스패이 30m이하의 공장건물을 대상으로 H형강 기둥-Rafter(보) 접합부의 구조성능을 파악하기 위해서 재하실험을 실시하고, 내력, 초기강성 및 변형상 등을 평가하여 Extended Type의 기둥-보 접합부와 Flush Type의 기둥-보 접합부와의 성능비교를 통한 P.E.B. 시스템에의 적용성을 검토한다. 또한 Roll H Beam을 사용한 Frame의 적정규모를 선정하기 위해 다양한 구조계산을 실시하고, H형강 기둥-보(rafter) 접합부의 설계편의를 위해, Design Aid Charts를 제공하고자 한다.

2. P.E.B. 시스템의 특성

P.E.B.의 어원은 Pre-Engineering Metal Building System에서 따온 것으로, Metal Building System, Modular Building, Prefabricated Building의 의미로도 쓰이며, 초창기에는 단지 철골부재를 이용한 Metal Building System으로 표준설계 개념이 강했으나, 근래에는 Tapered Member, 최적철골시스템, 경제적인 철골시스템이라는 의미가 부여되어 있기도 하다.

일반 중량철골의 골조에서는 최대 휨M에 의한 일률적인 부재적용과 물량과다의 요인이 있지만, P.E.B. 시스템 골조에서는 응력분포에 따른 최적의 변단면 설계로 강재를 절감할 수 있고, 보조골조의 연속스팬 시공으로 처짐 및 내력면에서 중량골조보다 유리하다. 또한 상대적인 자중감소로 건물하중

이 경감되어 기초크기의 감소가 가능하며, 일반의 중량철골에 비해, 강재중량이 절감되고, 공사기간도 단축되며, 저층의 대공간 건물(예, 공장)에는 적절하지만 짧은 스패이나 다층건물에는 부적절한 구조시스템으로 알려져 있다.

필요한 부분이 포함된 H빔 골조

그림 1. P.E.B. 골조 개념도

표 1. 기존 철골과 P.E.B.형태 철골물량비교

철골형태	라멘철골	TRUSS 철골	P.E.B 철골	비고
철골무게(t)	16.25	13.0	11.4	
기준비율(%)	100	80	70	30% 감소

(Span 48m, 높이 10.0m)

그러나, P.E.B. 시스템은, 상대적으로 큰 웨브의 춤(적절한 flange stay를 사용한 좌굴방지 시스템)을 사용해야 하고, 중도리의 강성증대와 연속스팬 처리(기존의 C형강에서 Z형강 사용으로 단면성능이 향상되고 주(主)골조의 횡좌굴 방지 효과), 연속스팬 시공(기둥 bay간격증대 및 tie beam 생략 효과), rafter-haunch 접합, rafter-rafter의 이음, column-rafter접합에 강접합만 적용하며, 주각을 핀지점으로만 처리해야 하는 등 많은 구조적인 제한점을 갖고 있다. 또한 짧은 스패, 다층건물에는 부적당하다.

3. H형강 기둥-보(rafter) 접합부의 특징

반강접 접합부 중에서 End Plate접합부는, 모멘트접합이 필요할 때 보와 기둥을 접합하는 가장 널리 쓰이는 형식이며, AISC-LRFD 규준에서 Type PR(반강접)보다는 Type FR(강접)로 취급되기 때문에 보의 모멘트를 기둥에 전달하는 모멘트 접합의 수단으로 P.E.B.시스템 골조에서 널리 사용되어 왔으며, 공장에서 보의 단부에 용접되고 현장에서 기둥에 주로 고력볼트 접합된다. 이 연구에서는 End Plate형식의 접합부 중에서, Flush End Plate 와 Extend End Plate 접합부를 대상으로 하며, 이러한 End Plate접합부의 거동은 접합부 부근 기둥Flange의 보강여부에 따라 좌우되므로, 여기서는 실험적인 방법으로, 그 구조성능을 비교하여, 기둥 Flange의 좌굴(휨)의 염려가 없으면서 접합부가 End Plate 와 Fastener의 거동에 미치는 영향을 평가하여 실용적으로

사용할 수 있는 H형강 기둥-보 접합부의 Details을 개발하고자 한다.

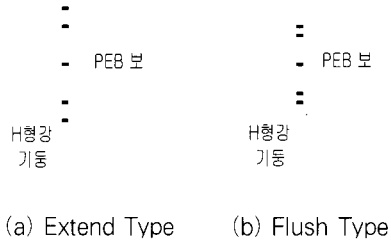


그림 2. H기둥-보(Rafter)의 접합부

4. 실험을 통한 구조성능 평가

4.1 실험체의 명칭과 실험조건

4.1.1 실험체

실험체는 End Plate의 Type(Extended/ Flush) 및 두께, 고력볼트의 개수를 주요변수로 하고, 비교를 위한 용접에 의한 실험체(NW-20), 실제 현장에 시공이 된 실험체(E4-20S)를 포함해 총 7개를 Full Scale로 제작하였다. 실험체의 형상은 H형강 기둥에 보(rafter)를 양쪽으로 접합한 역T자형으로 제작했으며, 재하실험(monotonic loading)을 하였다.

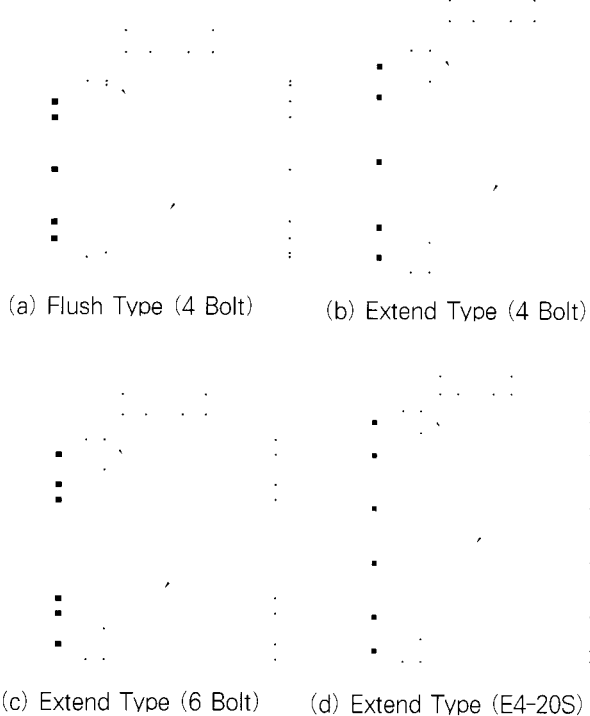


그림 3. End Plate의 형상

실험체의 표기방법
E(F) 4 - 25

- ▶ End Plate 두께(mm)
- ▶ 볼트 개수 (개)
- ▶ End Plate Type (Extend 형)
(Flush 형)

4.1.2 실험조건

보에는 하중이 걸리지 않게 하고, 기둥의 상단에 하중을 받는 H형강 기둥-보(rafter) 접합부 실험체에서 고력볼트와 End Plate의 항복순위, 보(rafter)의 Flange, Web의 두께 변화에 따른 좌굴 등의 관계 및 그 내력과 변형성상을 조사하기 위하여, End Plate의 두께(20, 25mm), HTB(F10T, M20)의 개수(4, 6), 보(rafter)의 In-Flange의 두께(6, 14, 16mm), Out-Flange두께(6, 8, 12mm)등을 실험변수로 선정하여 실험계획을 세웠다.

4.1.3 실험방법

1) 실험장치와 가력방법(Test Setup)

구조성능 실험장치는 그림 5와 같다. 수직으로 세운 일정한 길이의 보(rafter)가 수평으로 누운 H형 기둥에 연결되어 있으며, 기둥의 양지점간의 거리는 국부좌굴만 관찰되도록 가능하면 짧게 제작되었다. 그림 3은 End Plate 형상을 나타낸 것이다. 보의 좁은 웹에 볼트를 4열로 배치할 수 있도록 충분히 큰 것을 선택했다.

표 2. 실험체 일람표

실험체 명	End Plate 두께	Bolt Type	기둥	Rafter					비고		
				web 춤	flange 폭	web 두께	in-flange	out-flange			
1	NW-20	x	x						용접		
2	E4-20	20	Extended 4Bolt	H-400×400	600	300	8	14	12	E4 Bolt(20t)	
3	F4-20									Flushed 4Bolt	F4 Bolt(20t)
4	E4-25									Extended 4Bolt	E4 Bolt(25t)
5	F4-25	25	Flushed 4Bolt	F4 Bolt(25t)							
6	E6-25	Extended 6Bolt	E6 Bolt(25t)								
7	E4-20S	20	Extended 4Bolt	H-588×300×12×20	900		8	16	8	S공법	

NW : 용접에 의한 접합부(재래공법). 기둥은 다른 실험체와 동일

(a) NW-20

(b) E4-20

(c) F4-20

(d) E4-20S

그림 4. 실험체의 종류

본 실험에 사용된 실험장비 및 측정 장치의 개요는 다음과 같다

(1) Oil Jack System

*Load Cell 100tf, Stroke 50mm, Ram 속도 650mm/s

(2) Control System

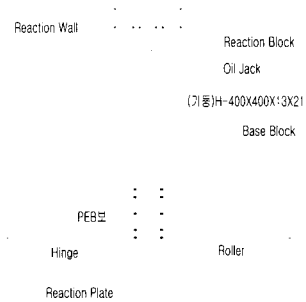
*Pressure Control Amplifier, Load Control Amplifier

*SAC 2000 Cycling(or Monotonic) loading history

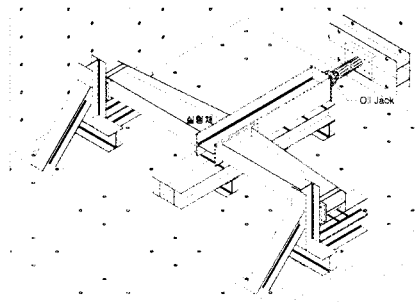
(3) Data Accumulation System

· A/D, D/A 변환기, D/I, 16ch ,MT16A, PC 586DX,

(4) 사용기기 : Oil Jack(100t), 반력벽, 반력바닥, Strong Frame LVDT 100mm, Strain Gage



(a)



(b)

그림 5. 실험장치(Test Set Up)

2) 측정방법

하중에 대한 계측은 Oil Jack의 load cell을 이용했으며, 주각의 전체 회전(처짐), 보 단부의 연직처짐, 기둥의 곡률 등을 계측하는 LVDT를 설치했다. 보의 압축 및 인장플랜지의 변형을, 보의 웨브 전단변형, 기둥의 웨브 좌굴 등을 계측하기 위해 Strain Gage를 부착하였다. 그리고 보의 End Plate와 보(rafter)의 접합은 공장에서 용접으로 접합된 상태에서, 현장에서 기둥과 고력볼트로 접합하였다.

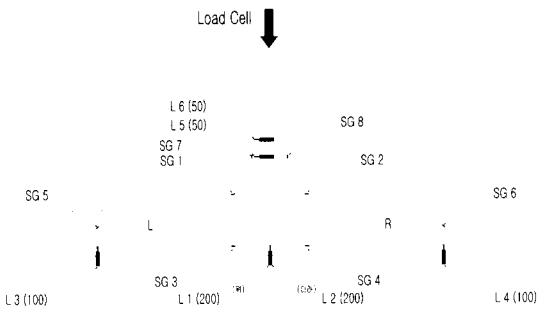


그림 6. 측정 계획

3) 재료특성

실험에 사용된 강재의 역학적 성질을 파악하기 위하여 KS B 0801의 금속재료 인장 시험편 규정에 따라 강재 인장 시험편을 제작했다. H형강과 Plate의 재질은 P.E.B 실무현장에서 주로 쓰는 SS400을 사용하였으며, 부재에서 시험편을 절취하여 인장시험편을 만들었다. 시험은 U.T.M.을 사용하여 KS B 0802-'98의 금속재료 인장 시험편 시험방법에 의해 실시하며, 시험편은 각각 1개씩 제작하였고, 소재시험결과를 (표 3)에 나타내었다.

4) 실험결과

(1) 보의 저항모멘트, 절점회전각의 정의

실험결과는 (표 4)에 나타냈다. 여기서 보의 휨저항 모멘트는 보의 길이를 일정하게(L=225cm) 하여, 각 실험체의 내력과의 곱으로 구했으며, 절점(주각) 회전각, 기둥의 처짐은 LVDT값을 이용해서 구했다.

표 3. 소재시험결과

구분	항복강도 (KN/cm ²)	인장강도 (KN/cm ²)	파단강도 (KN/cm ²)	항복비	연신율 (%)
H-1	46.55	58.31	43.81	0.80	35.98
H-2	43.32	56.06	40.47	0.77	37.94
P_1	35.28	49.49	32.05	0.71	27.61
P-2	34.99	52.33	37.83	0.67	26.33
P-3	36.55	53.70	37.93	0.68	26.42

표 4. 접합부의 실험결과

	실험체명	P _u (KN)	d _u (cm)	P _y (KN)	d _y (cm)	접합부 모멘트 (KN·cm)
1	NW-20	927.47	2.37	705.60	1.50	104,338.40
2	E4-20	758.03	2.94	539.00	1.50	85,277.25
3	F4-20	734.41	7.83	298.90	0.98	82,625.76
4	E4-25	787.92	3.56	573.30	2.05	86,825.16
5	F4-25	721.97	5.36	344.96	1.25	81,222.30
6	E6-25	968.93	3.00	842.80	2.47	108,999.80
7	E4-20S	970.89	1.81	784.00	1.55	109,225.80

(2) 하중-변위 관계

실험체는, H형강 기둥에 보(rafter)를 고력볼트로 조립했으며, End Plate와 보의 접합은 공장용접(Co2)을 하였다. 실험체의 기본 거동을 파악하기 위해서 기둥에 작용된 재하축력과 기둥의 처짐(변위) 관계를 정리한다.

① NW-20 : 이 실험체는 H형강 기둥과 보(rafter)를 용접한 것으로 HTB로 조립한 다른 실험체의 접합부와 비교하기 위한 것이다. End Plate의 두께는 20T이다. 실험에서는 기둥축력 P= 637KN일 때, 큰 소리와 함께 오른쪽 보(rafter)와 기둥의 용접부에 균열이 발생하였으며, 인장flange의 좌굴이 관측되었다. 기둥 축력 P는 927.08KN를 기록했다.

② E4-25 : 이 실험체는 196KN·m의 모멘트를 받을 수 있는 접합부로 설계되었으며, 접합부보다 보(rafter)의 파단을 유도한 것으로, End Plate보다 고력볼트가 먼저 파괴하도록 설계된 실험체이다. End Plate두께 25T, HTB 4개, Extended Type의 End Plate를 사용했다. 기둥축력 P가 764.4KN일 때, 오른쪽 보(rafter)의 중앙부 압축Flange의 좌굴이 관측되었으며, 볼트 6개가 파단되고 접합부의 Web상단에 좌굴이 관측되고 보 단부에는 Web에 전단균열이 심하게 발생했다. 또한 왼쪽 보의 압축Flange에도 좌굴이 관측되었으며 볼트에는 풀림현상이 발생했다. 그리고 왼쪽 보와 기둥 하단부에 16~17mm의 틈새(gap)가 발생했다. 이는 실험체를 Setting할 때 다소 편심이 걸린 것으로 보이며, 볼트의 내력부족으로 볼트가 심하게 튀면서 파단하는 위험한 상황이 된 것은 당초 실험체 디자인의 의도대로 나타난 거동으로 사료된다. 내력은 787.92KN이었다.

③ F4-20 : 이 실험체는 F4-25 실험체의 End Plate 두께를 상대적으로 약하게 하여, 그 변형을 보고자 한 것으로서, End Plate 두께 20T, Flush Type End Plate를 사용했으며 HTB 4개의 실험체이다. 기둥-보 접합부의 하단부 End Plate가 좌측 20-22mm, 우측 17mm 정도 변형(벌어졌음)이 생기고 Web 중앙부에는 전단균열이 발생이 짧게 여러 곳에 생겼으며 Web단부에는 길게 발생했다. 그리고 End Plate하단부의 HTB 2개가 파단되고 1개는 풀림이 생겼다. 이것은 기둥-보 접합부의 End Plate두께가 너무 얇은 것이 원인이었다고 사료된다. 기둥 축력 P가 539KN일 때 큰 소리가 났으며 내력은 734.02KN 이었다.

④ E4-20 : 이 실험체는 E4-25A 실험체의 End Plate 두께를 상대적으로 약하게 하여 End Plate의 변형을

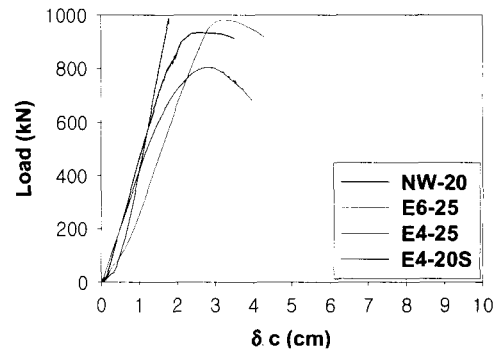
관찰하고자 한 것으로서, End Plate두께 20T, HTB 4개, Extended Type의 접합부이다. 오른쪽 보의 HTB 5개가 파단 되었으며 왼쪽 보의 HTB는 풀림이 생겼다. 이는 하중 재하 시에 다소 편심이 걸린 것으로 보인다. 기동축력P는 757.54KN이었다.

⑤ F4-25 : E4-25 실험체의 접합부를 Flushed Type의 End Plate로 바꾸어 HTB의 파단을 관찰하기 위한 것으로 실험체로서, End Plate 두께 25T, HTB 4개를 사용했다. 오른쪽 보 Web중앙에 전단좌굴이 많이 관측되었고 Flange에 좌굴이 발생했으며, End Plate의 HTB 1개가 파단 되고 1개는 풀림이 생겼다. 왼쪽 보의 Flange에도 좌굴이 관측되었다. 기동 축력 P가 362.6KN일 때 End Plate가 벌어지기 시작했으며 내력은 721.28KN이었다.

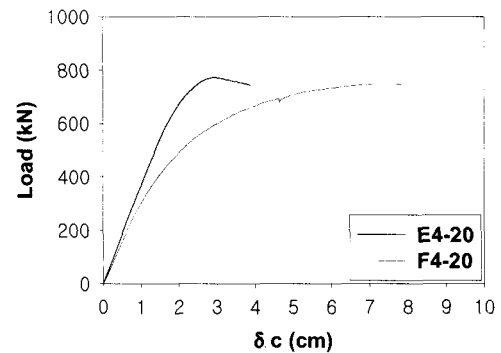
⑥ E6-25 :이 실험체는 기존의 4볼트 Type과의 내력차이를 비교하기 위하여 HTB를 6개 배치한 소위 6볼트 Type의 접합부를 갖는 실험체로서, 6 볼트 Type으로 할 경우, 볼트의 내력이 상승되므로 End Plate의 두께를 25T로 하고 볼트와 End Plate의 어느 쪽이 먼저 파단(변형)하는 지에 관심을 갖고 제작한 것이다. End Plate의 중앙부에, (통상 P.E.B. 실무에서는 전단보강용 볼트를 4-볼트 Type, 6-볼트 Type 관계없이 배치하고 있다), 전단보강용 볼트를 배치하지 않았으며, 기동 축력 P가 960.4KN 될 때까지 가력 한 후, 실험장치(Oil Jack)의 용량제한으로 실험을 종료하게 되었다. 보의 Web 중앙부에 짧은 길이의 전단균열이 생기고 단부에는 긴 길이의 균열이 발생했다. 압축 Flange에는 좌굴이 관측되었으며, 왼쪽 보의 HTB 1개가 풀림이 생겼다.

⑦ E4-20S : 이 실험체는 특별히 S공업(진량공단)에 의해 제작된 P.E.B. 공장건물에 사용했던 설계도면으로 제작한 것이다. H형강 기둥과 보(rafter)의 Flange의 두께가 다른 실험체보다 크며, HTB 4개로 제작된 것이다. End Plate두께 20T, Extended Type의 End Plate가 사용되었고, E6-25실험체와는 달리, End Plate중앙에 전단보강용 HTB 1개를 배치하였다.

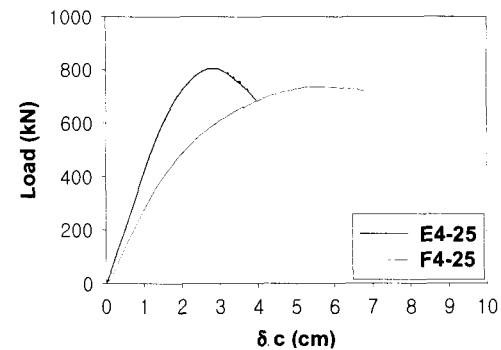
기동축력 P가 735KN일 때 큰 소리가 발생했으며 이 경우도 E6-25실험체와 같이 실험장치의 용량제한으로 970.2KN에서 가력을 중단시켰다. 그러나 이 실험체는 실무설계시 예상했던 접합부의 휨저항M (372.4KN·m)보다 더 컸으며, 이것은 이 실험체가 과다설계된 것을 의미한다.



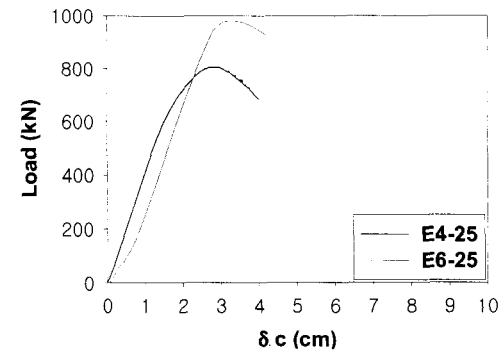
(a) NW-20, E6-25, E4-25, E4-20S



(b)



(c)



(d)

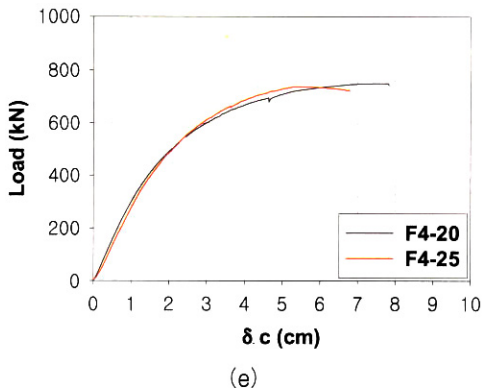
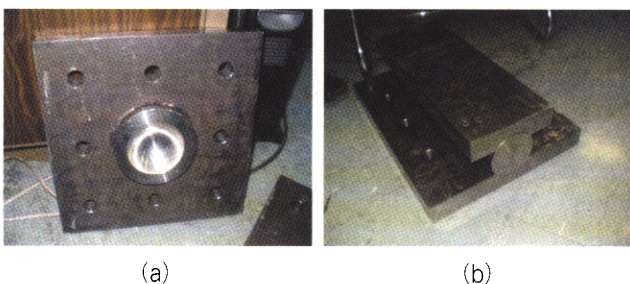


그림 7 하중-변형관계도

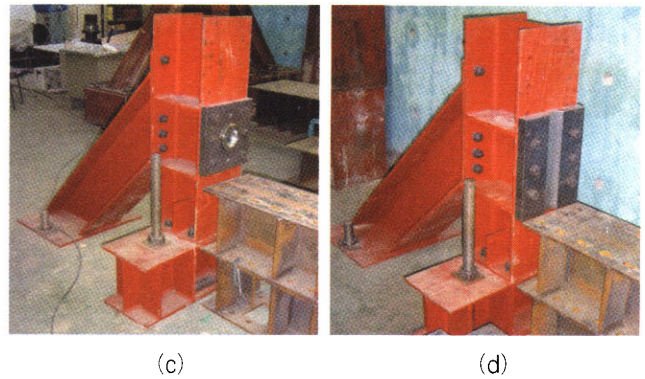
그림 7(b), (c)에서, Extended Type의 접합부가 Flush Type의 접합부보다는 내력이 다소 크지만 변형능력은 떨어짐을 알 수 있다. 이는 Flush Type의 접합부에 사용되는 볼트의 소성변형때문인 것으로 보이며 기둥-보 접합부의 Details 여부에 따라서는 접합부의 구성요소(End Plate, 고력볼트, 용접 등)들의 파괴순서가 정해짐을 알 수가 있다. 그림 7(d), (e)에서는 같은 Extended Type 접합부라도 볼트개수가 많은 실험체가 내력이 커지지만, 같은 Flush Type에서는 보의 End Plate 두께의 영향은 적게 받는 것을 알 수가 있다. 그리고 그림 7(a)에서, 용접에 의한 NW실험체는 Extended Type의 실험체(E6-25)보다는 내력이 낮으며, E4-25실험체와는 내력이 거의 같은 것을 알 수가 있다. 따라서 기존의 용접에 의한 기둥-보 접합부는 Extended Type의 접합부에서 고력볼트의 개수에 따라서는 충분히 보다 편리한 방법으로 대체됨을 알 수가 있다. 그러나 실제로 시공이 된 실험체(E4-20S)의 경우는 실험장비의 용량부족 문제로 다소 하중변위 곡선이 불완전하지만, 내력 및 강성은 다른 실험체보다 크게 평가됨을 알 수가 있다. 이것은 P.E.B.실무에서 설계하는 것이 다소 과대설계하고 있음을 의미한다고 할 수 있다.

한편 Impact Wrench로 조립한 모든 실험체의 도입축력을 재하실험에 앞서, 검토한 결과 모두 표준보다 더 크게 조립되었음을 알 수가 있었으며, 그림 8에는 실험체 Setting 전경 및 고력볼트의 파단광경을 보여준다.

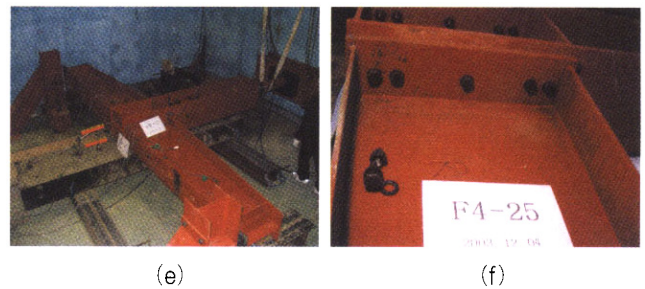
(3) 실험 Setting 전경 및 결과



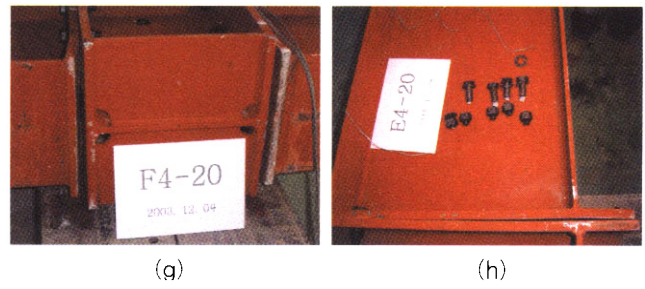
(a) (b)



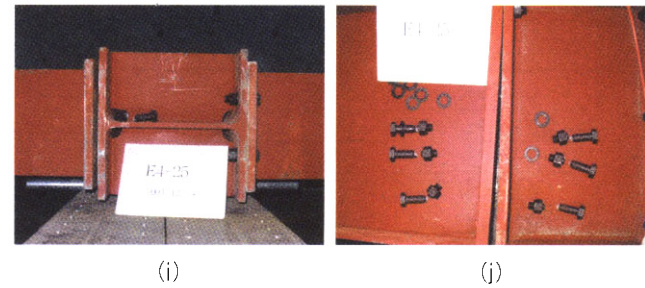
(c) (d)



(e) (f)



(g) (h)



(i) (j)

그림 8. 실험체 Setting 전경

5) 실험결과 분석 및 고찰

(1) 항복강도와 변형능력의 산정법

각 실험체의 초기접선이 항복하중(P_y) 시 갖는 변위를 항복변위(δ_y)로 하였고, 이 때의 내력을 항복하중으로 하였다. 그리고 변형능력은 최대하중(P_u)시 변위와 실험에 의한 항복변위와의 비로 하였다. (표 5)에 그 실험결과를 정리하였다.

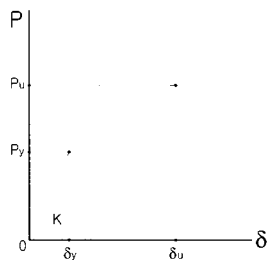


그림 9. 항복강도와 변형능력의 정의

(2) 초기강성 K

항복하중에 대한 항복변위의 비(比)인 초기강성 K와 각 실험변수와의 관계는 다음과 같다.

- ① End Plate의 두께가 두꺼울수록 초기강성은 커지는데, Extended Type 접합부의 실험체는 약 13%, Flush Type은 약 10% 더 커진다.
- ② Extended Type의 접합부가 Flush Type보다 약 10~17% 초기강성이 더 커진다.
- ③ HTB(고력볼트)의 개수가 많아질수록, 예를 들어, 소위 4 볼트Type보다는 6 볼트 Type의 경우가 강성이 더 커진다. 한편 E4-20S실험체는 실제로 S공업(진량)에 시공이 된 것이지만, 소위 4 볼트 Type의 다른 Extended Type의 접합부의 실험체보다 보(rafter)의 크기만 다소 큰 것이지만, 강성이 E4-25보다 약 18% 큰 것을 알 수가 있었다.

(3) 내력비 φ

최대하중에 대한 항복하중의 비로 평가한 내력비와

표 5. 접합부 실험결과

	실험체명	K	μ	φ	M / Mp
1	NW-20	48.00	1.58	1.31	1.43
2	E4-20	36.67	1.96	1.72	1.17
3	F4-20	31.12	7.99	2.46	1.13
4	E4-25	28.54	1.74	1.35	1.19
5	F4-25	28.16	4.29	2.09	1.11
6	E6-25	34.82	1.21	1.15	1.49
7	E4-20S	51.61	1.17	1.24	0.95

각 실험변수와의 관계는 다음과 같다.

- ① End Plate의 두께가 두꺼울수록 Extended Type접합부는 약 13%, Flush Type의 경우는 약 17% 정도 내력비가 작아진다.
- ② Extended Type의 접합부가 Flush Type의 경우보다 내력비가 End Plate두께가 20mm인 경우는 약 43%, 25mm인 경우는 약 15% 작다. 그러나 최대내력을 비

교하면 Extended Type이 Flush Type보다 약 3~11% 크다. 또한, 용접에 의한 NW-20실험체는 타 실험체보다 내력은 크다. 예를 들면, E4-20과 비교하면, 약 22% 내력이 더 크다.

한편, 휨내력(M/Mp; Mp는 보의 소성모멘트)의 경우는, End Plate두께가 두꺼울수록 휨내력이 커지며, Extended Type접합부가 Flush Type보다 약 3~7% 정도 더 크다.

(4) 변형능력 μ

최대하중시의 변위와 실험에 의한 항복하중시의 변위의 비로 나타내는 변형능력은 다음과 같은 관계가 있다.

- ① End Plate의 두께가 얇은 것이 두꺼운 것보다 변형능력이 더 커지며, Extended Type접합부는 Flush Type보다 변형능력을 기대하기 어렵다. 그리고, 용접 접합의 NW-20실험체는 변형능력은 Extended Type나 Flush Type보다 훨씬 작은 것을 알 수가 있다.
- ② HTB(고력볼트)의 개수의 영향은, 소위 4 볼트Type이 6 볼트 Type의 경우보다는 변형능력이 더 크다.

(5) MBS(Metal Building Software) 프로그램에 의한 P.E.B. 시스템 공장 설계상의 문제

① 실험체의 거동과 내력에 따른 평가

P.E.B. 시스템 공장의 설계에서는, 기둥-보 접합부는 강접합으로 간주되는 Extended TypeEnd Plate로 주로 제작되며 변단면의 기둥-보(rafter)의 접합부는 제작상의 오차나 일반인들의 H형강 기둥에 대한 요구로, H기둥-보(Rafter)의 접합부를 필요에 따라 가끔 설계되고 있는 실정에 있었다. 그리고 P.E.B. 시스템 에서는, Flush Type의 End Plate에 대한 설계는 P.E.B. 전용 구조계산용 프로그램인 M.B.S.으로는 해결이 안되고 별도의 프로그램을 개발하여 사용해야 하는 실정이다.

따라서 이 연구에서는, 이러한 점을 감안하여, 구조성능 실험을 하였고, 그 결과, Extended Type의 기둥-보 접합부는 Flush Type의 접합부에 비해, 초기강성은 더 크며 최대내력은 약 3-11% 정도로 약간 더 크다. 그러나 내력비(응력비)는 Flush Type이 약 13-15% 정도 더 크고 변형능력은 Extended Type에 비해 2~4배로 훨씬 더 컸다. 이는 횡방향 좌굴에 대한 위험성을 내포하고 있는 P.E.B. 시스템 골조에서는 골조의 규모(스팬, 처마높이, 지붕물매 등)에 따라서는 Flush Type의 기둥-보 접합부를 적용할 수 있음을 보여 주는 것이다. 또한 Flush Type으로 접합부를 개선하면 접합부의 휨저항M에 따라 부재의 크기도 조절할 수가 있어서 과다설계의 가능성을 줄일 수가 있다.

② 시공편의성에 따른 평가

P.E.B. 시스템의 공장설계에서는, 변단면 부재의 제작시 반자동용접에 의해 부재접합을 하는 관계로 제작품질의 오차가 생기는 문제 외에, 접합부의 휨M에 대한 보(rafter)의 Size가 크게 되고 rafter-to-rafter의 이음위치나 플랜지나 웨브의 두께가 과다하게 자동으로 선정되는 관계로, 그 때의 정확한 안전율의 검토가 불가능하게 된다. 또한 M.B.S. 프로그램에서는 최적설계 개념이 부재크기 선정시에 적용되므로 추가하중이 발생하거나 설계하중의 설정(특히 Live Load)에 오차가 생기면 큰 문제가 생길가능성을 갖고 있다. 따라서 P.E.B. 시스템에 의한 공장건물의 보급을 위해서는 이에 대한 준비(예를 들면, Design Aids Charts)를 할 필요가 있다.

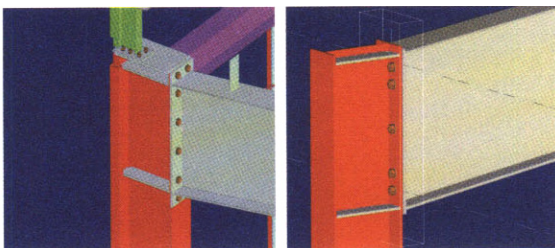
③ M.B.S.를 사용한 P.E.B.시스템의 보급을 위한 앞으로의 과제

우선 Design Aids Charts를 다양하게 준비해서 일반인(건축사)들의 쉽게 설계할 수 있도록 해야 하고, Source가 공개되지 않은 M.B.S.의 내용을 보완하는 프로그램 개발이 필요하며, 약축 방향의 취약성을 보완하는 골조시스템의 개발도 필요하다.

이와 같은 개발을 통해, 현재 주각이 핀지지의 단층의 공장 건물에만 사용되는 적용상의 한계를 극복할 수가 있을 것이다. 또한 현재는 P.E.B.시스템의 설계 시에 미국의 기준(Code)를 적용하여 설계하므로 시급히 한국 실정에 맞는 기준을 마련해야 한다.

따라서 이 연구에서는 한 예로, 변단면의 기둥대신에 Roll beam를 사용한 P.E.B. Frame의 적정규모를 선정하기 위하여, 지붕하중, 처마높이(4.9, 6.2, 7.3m), 지붕구배(1/10, 1/12), 기둥간격(7, 10, 12m), 스패น(21, 30m)의 다양한 설계조건에 대해 구조설계를 실시하여, 표 6과 같은 Design Aids Charts를 마련했다.

그리고 그림 10에는 이 연구에서 대상으로 한 Extended/Flush Type의 End Plate의 형상을, 그림 11에는 H형강 기둥-rafte(보)를 사용한 P.E.B. 골조 시스템을 보여준다.



(a) Extend Type

(b) Flush Type

그림 10. End Plate 형상

표 6. (a) H형강 기둥-보(rafter) Design Aids Charts (Span 21m)

높이	기둥 간격	지붕 구배	H-Column	Rafter				
				Web(mm)		Flange(mm)		
				Depth	Thick	Width	Out	In
4.9	7	1/10	H-500×200×30×12	700	6	200	6	10
		1/12	H-500×200×30×12	700	6	200	6	10
	10	1/10	H-600×200×11×17	700	6	250	8	12
		1/12	H-600×200×11×17	750	6	250	8	12
	12	1/10	H-606×201×13×23	800	6	250	8	12
		1/12	H-606×201×13×23	850	6	250	8	12
6.2	7	1/10	H-500×200×30×12	750	6	200	6	10
		1/12	H-500×200×30×12	750	6	200	6	10
	10	1/10	H-600×200×11×17	750	6	250	8	12
		1/12	H-600×200×11×17	750	6	250	8	12
	12	1/10	H-606×201×13×23	850	6	250	8	12
		1/12	H-582×300×12×17	850	6	250	8	12
7.3	7	1/10	H-500×200×30×12	900	6	200	6	10
		1/12	H-500×200×30×12	900	6	200	6	10
	10	1/10	H-606×201×13×23	750	6	250	8	12
		1/12	H-606×201×13×23	750	6	250	8	12
	12	1/10	H-582×300×12×17	850	6	250	8	12
		1/12	H-582×300×12×17	850	6	250	8	12

D.L : 35kg/m², L.L : 60kg/m², S.L : 50kg/m², V₀=30m/s

표 6. (b) H형강 기둥-보(rafter) Design Aids Charts (Span 30m)

높이	기둥 간격	지붕 구배	H-Column	Rafter				
				Web(mm)		Flange(mm)		
				Depth	Thick	Width	Out	In
4.9	7	1/10	H-582×300×12×17	1200	8	200	8	14
		1/12	H-582×300×12×17	1200	8	200	8	14
	10	1/10	H-594×302×14×23	1300	8	250	8	14
		1/12	H-594×302×14×23	1300	8	250	8	14
	12	1/10	H-700×300×13×24	1300	9	250	9	16
		1/12	H-700×300×13×24	1350	9	250	9	16
6.2	7	1/10	H-588×300×12×20	1200	8	200	8	14
		1/12	H-588×300×12×20	1200	8	200	8	14
	10	1/10	H-700×300×13×24	1300	8	250	8	14
		1/12	H-700×300×13×24	1300	8	250	8	14
	12	1/10	H-792×300×14×22	1300	9	250	9	16
		1/12	H-792×300×14×22	1350	9	250	9	16
7.3	7	1/10	H-588×300×12×20	1200	8	200	8	14
		1/12	H-588×300×12×20	1200	8	200	8	14
	10	1/10	H-700×300×13×24	1300	8	250	8	14
		1/12	H-700×300×13×24	1300	8	250	8	14
	12	1/10	H-800×300×14×26	1350	9	250	9	16
		1/12	H-800×300×14×26	1350	9	250	9	16

D.L : 35kg/m², L.L : 60kg/m², S.L : 50kg/m², V₀=30m/s

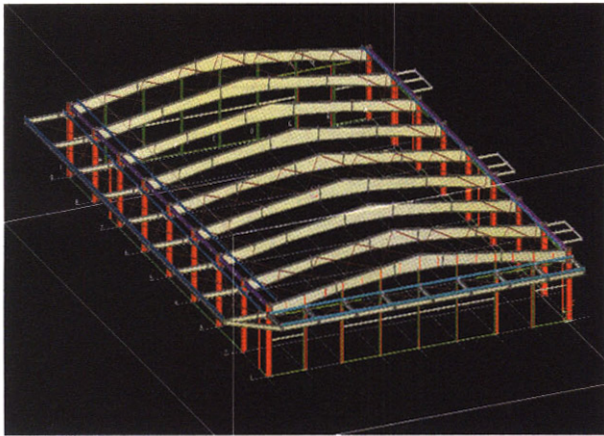


그림 11. H형강 기둥-보(rafter)접합부를 갖는 P.E.B. 골조 시스템

5. 결론

P.E.B. 시스템 공장의 설계에서는, Extended Type의 End Plate를 사용하여 변단면 기둥-보(rafter)의 강접합으로 간주되는 접합부를 사용하므로, 휨 저항M에 비해 과다하게 설계되고, 제작상의 오차나 일반인들의 H형강 기둥에 대한 요구로, 최근에는 H기둥-보(Rafter)의 접합부의 설계가 필요하게 된 실정에 있었다. 또한 P.E.B.업체에서는 반강접 접합부인 Flush Type의 End Plate의 설계가 필요한 경우에는, 상용 프로그램인 M.B.S.으로는 설계가 불가능한 실정에 있었다.

따라서 이 연구에서는 구조성능 실험을 통해서 Extended Type와 Flush Type의 H형강 기둥-보(rafter) 접합부의 구조성능을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Extended Type의 기둥-보 접합부는 Flush Type의 접합부에 비해, 초기강성 및 최대내력은 약 3~11% 정도로 약간 더 크지만, 내력비는 Flush Type이 약 13~15% 정도 더 크고 변형능력은 Extended Type에 비해 2~4배로 훨씬 더 컸다.
- (2) 이는 골조의 규모에 따라서는 Flush Type의 기둥-보 접합부를 P.E.B.에 적용할 수 있음을 보여주는 것이다. 또한 Flush Type으로 접합부를 개선하면 접합부

의 휨저항 M에 따라 부재의 크기도 조절할 수가 있어서 과다설계의 가능성을 줄일 수가 있다.

- (3) 이 연구의 결과 H형강 기둥-보(rafter) 접합부를 갖는 P.E.B. 시스템 공장의 보급을 위한 Design Aids Charts(표 6)를 다양한 구조계산을 통해 얻었으며, 실무 설계에 도움이 될 것으로 기대된다.
- (4) 한편 실제로 현장에 시공된 E4-20S실험체의 경우는 다른 실험체에 비해서 과다설계된 것이고, 이는 P.E.B.업체의 설계현실을 보여 주는 것이다.

앞으로 P.E.B.골조 시스템의 보안을 위해서는 접합부의 위치에 따른 해석과 설계방법, 횡방향 가새시스템에 대한 연구 및 프로그램 개발이 더 필요한 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 서용식(2002), 중저층 철골조 건축 설계매뉴얼, INI Steel 한국강구조학회(1995), 강구조편람, 제3권, pp.303-317
 일본건축학회(2001), 강구조접합부설계지침, 일본건축학회, pp.111-124
 Kenichi OHI, Ruben GUZMAN(2000), Rotation capacity of end-plate connections ; Extended and Flush Type, Journal of Constructional Steel, Vol.8, pp.63-70
 Ruben GUZMAN, Kenichi OHI(2002), An experimental study on semi-rigid partial-strength connections with local deformation of column skin plate, Journal of Engineering Structures, Vol. 48B, pp.281- 288
 Load & Resistance Factor Design(1994), AISC, 2nd Edition,
 田中淳夫(1996), 高力ボルトによる梁端部接合工法, 鐵構技術, STRUTECH, (株)鋼構造出版, pp.19-22
 岩田衛 外(2001), 建築鋼構造のシステム化, (株)鋼構造出版
 (접수일자 : 2005. 3. 15 / 심사일 2005. 3. 24 / 심사완료일 2005. 4. 13)