

熔接H型鋼 보의 局部挫屈에 관한 實驗的 研究

金 錫 中*

An Experimental Study on the Local Buckling of Welded H-Shape Steel Beam

Seok-Jung Kim

Abstract

In the steel Structural design, buckling is the main factor to determine member size, particularly in compression member.

Buckling may sometimes occur in the form of wrinkles in thin elements, such as webs, flanges, and other parts that make up a section.

This phenomenon is called local buckling.

The strength of the steel and the rigidity of the frame are considerably deteriorated by the local buckling.

The specimens used for this experiment, H-Shape Steel beams composed by fillet-welding, are desiffied classified into two groups, ie one for web test and another for flange test.

The aim of this study is to define the influences by the local buckling on the resisting forces, deformation and the phenomena of the internal forces in the section, and to collect the basic data for design of steel beams.

1. 序 論

근래에 鐵骨構造는 산업의 발달로 철근콘크리트구조와 함께 대표적인 建築構造가 되었다.

특히 고층화, 장대화가 요구되는 建築物들은 강도가 큰 鐵骨構造로 많이 건설되고 있다.

鐵骨構造의 斷面形狀은 鋼板要素로 구성되어 있기 때문에 局部挫屈 現象이 構造設計에 있어

서 대단히 중요하다.

보와 같은 휨재들은 강도가 크기 때문에 斷面이 작아도 되지만 강성은 작아지기 쉽다.

局部挫屈은 部材 전체가 限界荷重에 이르기 전에 板要素 일부에서 塑性化 되면서 파동현상으로 變形되는 것을 말한다.

보 플랜지 및 웨브의 局部挫屈은 보 전체의 剛성과 耐力를 저하시키게 되며 早期彈性挫屈로써 강도가 결정된다.

* 工科大學 建築工學科 專任講師

지금까지 局部挫屈에 관하여 研究되어 온 것을 보면 1823년 Navier가 처음으로 板의 挫屈을 미분방정식으로 유도한 후 많은 연구가 되어지고 있으며, 지금까지 알려진바에 의한 주로 H型鋼보의 局部挫屈은 板의 幾何學的 조건과 外力 조건 및 材料의 特性이 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

現在 大韓建築學會 鋼構造計算規準에서는 “部材의 板要素가 거의 항복점에 달할 때까지 局部挫屈이 생기지 아니하기 위한 나비두께比의 限界를 정한다”라고 되어 있으며, 보 플랜지 및 웨브플레이트 局部挫屈 방지를 위하여 각종 鋼材에 대하여 $b/t \leq 24/\sqrt{F_y} \cdot d/t \leq 110/\sqrt{F_y}$ ($F_y=2.4t/cm^2$ 일때 $b/t \leq 16 \cdot d/t \leq 71$)로 규정하고 있다.

本 研究에서는 鐵骨 보의 板要素에 주목하여 實驗을 통하여 局部挫屈이 보의 耐力과 變形能力 및 履歷現象에 어떠한 영향을 주는가를 검토하고, 鋼構의 보設計에 필요한 設計基礎資料를 얻고자 함에 있다.

2. 試驗體計劃 및 試驗方法

2-1. 鋼材의 引張試驗

現在 사용되고 있는 SS41의 鐵板을 KS B 0801의 다호에 따라 加工하여 KS B 0802의 급속재료 引張試驗方法에 의해서 測定하였다.

鐵材의 機械的 性質은 표 1과 같다.

표 1. 鋼材의 機械的 性質

區分	E (t/cm ²)	σ_y (t/cm ²)	σ_{max} (t/cm ²)	σ_y/σ_{max}	신율(%)
鐵板	2.19×10^3	2.87	4.15	0.7	22.8

部材試驗體의 제작에는 鋼材의 引張試驗에 사용한 鋼材를 사용하여 제작하였다.

2-2. 部材試驗體

部材試驗體는 그림 1과 같이 H形斷面으로 中央에서 線集中荷重을 가하는 단순보로 하였다.

試驗體의 종류는 플랜지시험용과 웨브시험용

으로 두 종류를 제작하였다. (이하 本 論文에서 플랜지시험용 시험체를 SB試驗體, 웨브시험용 시험체를 H試驗體로 칭한다)

鐵板을 절단하여 모살용접으로 제작하였고, 應力集中 현상을 방지하기 위하여 SB試驗體들은 2개 H試驗體들은 1개의 荷重點 스티프너를 보강하였으며 지점에도 지점스티프너를 보강하였다.

그림 1과 표 2에 試驗體들의 形狀과 斷面性能을 표시하였다.

2-2-1. SB試驗體

鋼構造計算規準의 보 플랜지 限界 板나비—두께比를 기준으로 板나비—두께比(b/t_f) 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 計 8개의 試驗體를 제작하였다.

플랜지 板두께(t_f)는 6mm로 하였고 폭(b)은 板나비—두께比에 따라 정하였다.

웨브의 두께는 6mm로 하고 좁은 플랜지의 폭과 같은 크기로 하였다.

그림 1에서와 같이 各 試驗體마다 12개소의 스트레인게이지를 부착하여 플랜지의 變形度를 測定하였다.

2-2-2. H試驗體

剪斷力과 힘이 작용하는 보에 있어서 웨브플레이트 局部挫屈 방지를 위하여 板폭—두께比는 $d/t_w \leq 110/\sqrt{F_y}$ 로 규정되고 있다.

웨브시험용 시험체에서는 이를 고려하여 웨브의 板폭—두께比가 56, 59, 62, 65, 68, 71, 74, 77, 80, 85되게 총 10개의 試驗體를 제작하였다.

웨브의 板 두께는 3mm이고, 플랜지의 두께는 6mm로 하고, 보 폭은 웨브 幅의 1/2이 되게 모살용접하였다.

스트레인게이지는 중앙에서 양쪽으로 H/4떨어진 곳에 대칭이 되게 플랜지와 웨브에 10개소 부착하였다.

또한 各 試驗體에 塑性域 擴散過程과 現象을 조사하기 위하여 웨브와 플랜지의 한쪽면에 백색 유성페인트를 칠하였다.

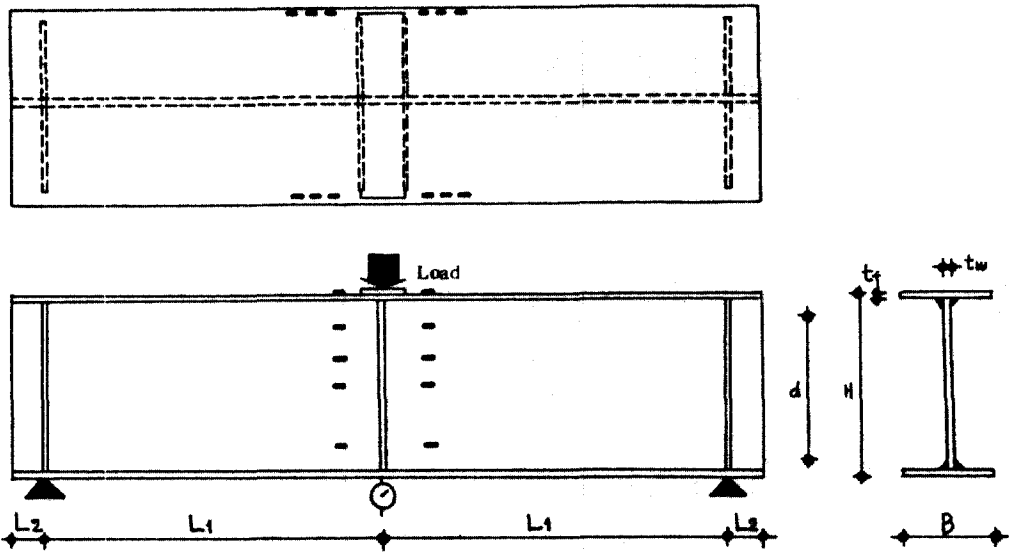


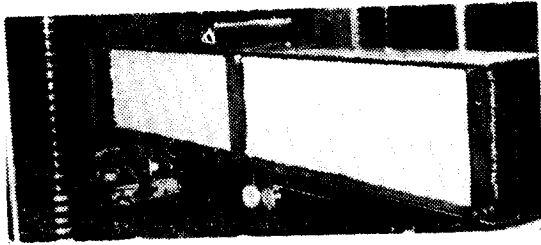
그림 1. 試驗體

표 2. 試驗體形狀 및 斷面性能

시험체명	$b/t_f(d/t_w)$	H(mm)	c(mm)	B(mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	L_1 (cm)	L_2 (cm)	A(cm^2)	I_x (cm^4)
SB-1	13	156	138	156	6	6	55	7	27.36	1202
SB-2	14	168	150	168	6	6	55	7	29.52	1513
SB-3	15	180	162	180	6	6	55	7	31.68	1872
SB-4	16	192	174	192	6	6	55	7	33.84	2285
SB-5	17	204	186	204	6	6	55	7	36.00	2754
SB-6	18	216	198	216	6	6	55	7	38.16	3283
SB-7	19	228	210	228	6	6	55	7	40.32	3876
SB-8	20	240	222	240	6	6	55	7	42.48	4536
H-1	(56)	186	168	93	6	3	75	5	16.38	1036
H-2	(59)	195	177	97.5	6	3	75	5	17.19	1198
H-3	(62)	204	186	102	6	3	75	5	18.00	1377
H-4	(65)	213	195	106.5	6	3	75	5	18.81	1572
H-5	(68)	222	204	111	6	3	75	5	19.62	1786
H-6	(71)	231	213	115.5	6	3	75	5	20.43	2017
H-7	(74)	240	222	120	6	3	75	5	21.24	2268
H-8	(77)	249	231	124.5	6	3	75	5	22.00	2539
H-9	(80)	258	240	129	6	3	75	5	22.86	2830
H-10	(85)	273	255	136.5	6	3	75	5	24.21	2364



SB 試驗體



H 試驗體

사진 1. 部材 試驗體

2-3. 試驗方法

보 스패의 中央點 아래에 그림 1과 같이 다이알 게이지를 설치하여 보 중앙점의 變位를 測定하였고, 各 試驗體에 부착한 스트레인게이지에 의해 載荷時마다 各 部分의 變形度를 測定하였다.

加力方法은 萬能試驗機로 彈性範圍에서는 荷重을 0.5t씩 증가하여 載荷하고, 塑性域이라 생각되는 부분에서는 만능시험기의 $P \sim \delta$ 자동 기록계를 보고 적절히 載荷하면서 그때마다 처짐량과 變形度를 測定하였다.

또한 H 試驗體들은 載荷時마다 페인트 칠한 부분에서 페인트의 表面變化狀態를 눈으로 관찰하여 塑性域확산 과정과 현상을 조사하였다.

그리고 荷重을 계속 載荷하여 最大荷重을 지나서도 보의 耐力와 變形能力을 관찰하고자 大變形이 생길 때까지 계속 載荷 實驗을 하였다.

3. 試驗結果 및 考察

3-1. SB 試驗體

各 試驗體들의 載荷荷重과 보 中央點의 變位量에 관한 荷重-變位量($P \sim \delta$) 曲線은 그림 2

이고 表 3은 試驗體 試驗結果值이다.

또한 그림 3은 荷重과 스트레인게이지에 의한 플랜지의 變形度分布의 變化狀態를 荷重에 따라 測定한 結果로서, 各 試驗體에 부착한 스트레인게이지 중에서 局部挫屈 현상을 가장 빨리 나타낸 것을 표시한 것이다.

各 試驗體의 初期 처짐의 증가율은 荷重과 일정한 비례관계를 보였으나 降伏荷重을 지나서는 처짐량의 증가율이 많았다.

플랜지의 變形度의 증가율도 초기에는 일정한 비례관계를 보였으나, 局部挫屈이 시작되고 부터는 變化量이 많았다.

SB-1, SB-2, SB-3 試驗體에서는 局部挫屈이 降伏荷重을 지나서 일어났고 SB-4, SB-5, SB-6, SB-7, SB-8 試驗體에서는 局部挫屈이 降伏荷重 前에 일어났다.

또한 표 3에서 局部挫屈時試驗體의 모멘트(M_L)와 全塑性모멘트比에서 그 값이 1보다 작은 試驗體들은 보의 내력이 局部挫屈에 의해서 결정되고, M_L/M_p 값이 1보다 큰 값의 試驗體들은 보의 내력이 국부좌굴의 영향을 받지 않았음을 알 수 있다.

그림 4는 各 試驗體의 降伏荷重時 휨應力과 局部挫屈時 휨應力을 검토한 것이다.

여기서 板나비-두께비가 13, 14, 15의 試驗體는 局部挫屈時 휨應力이 降伏荷重時의 휨應力보다 높았으며 板나비-두께비가 작을수록 局部挫屈時 휨應力과 降伏荷重時 휨應力과의 差가 많았다.

板나비-두께비 16, 17, 18, 19, 20 試驗體에서는 前述과 반대로 局部挫屈時 휨應力이 降伏荷重時 휨應力 보다 낮았으며, 板나비-두께비가 클수록 應力差가 많았다.

降伏荷重時 휨應力의 직선과 局部挫屈時 휨應力의 직선이 교차되는 점의 板나비-두께비가 設計에서 가장 경제적이라 생각할 수 있으며 이 實驗에서는 板나비-두께비가 15와 16사이 에 있었다.

또한 局部挫屈時 휨應力度 분포선이 降伏荷重時 휨應力度 분포선의 기울기가 큰 것으로 보아서 局部挫屈이 板나비-두께비에 따라서

영향이 큰 것으로 나타났다.

그림에서 理論值 曲線은

$$F_{cr} = \frac{k_{\pi}^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2}$$

의 式에 따라 표시한 曲線이다.

k 의 값은 0.46으로 사용하였다.

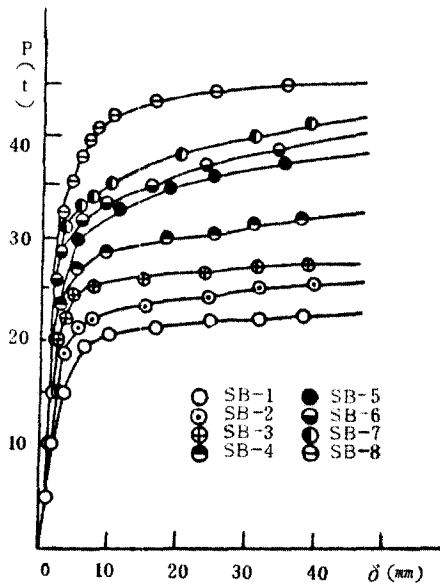


그림 2. 荷重-變位置(P-δ) 曲線

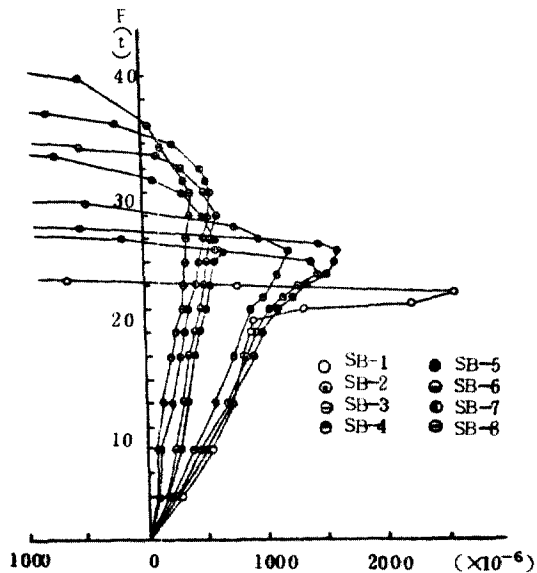


그림 3. 荷重-變形度圖

표 3. SB試驗體 結果

試驗體	b/t _f	P _p (t)	P _{max} (t)	P _L (t)	M _p (t·cm)	M _L /M _p
SB-1	13	19.5	23.42	22t	499	1.21
SB-2	14	22	27	25	581	1.18
SB-3	15	24.5	29.5	25	670	1.02
SB-4	16	27.5	35.5	25	764	0.90
SB-5	17	30	40.8	25	865	0.79
SB-6	18	32	41.8	28	972	0.79
SB-7	19	34	44.8	29	1,086	0.73
SB-8	20	39	47.5	30	1,205	0.68

P_p: 降伏荷重

P_L: 局部挫屈荷重

P_{max}: 最大荷重

M_p: 全塑性모멘트

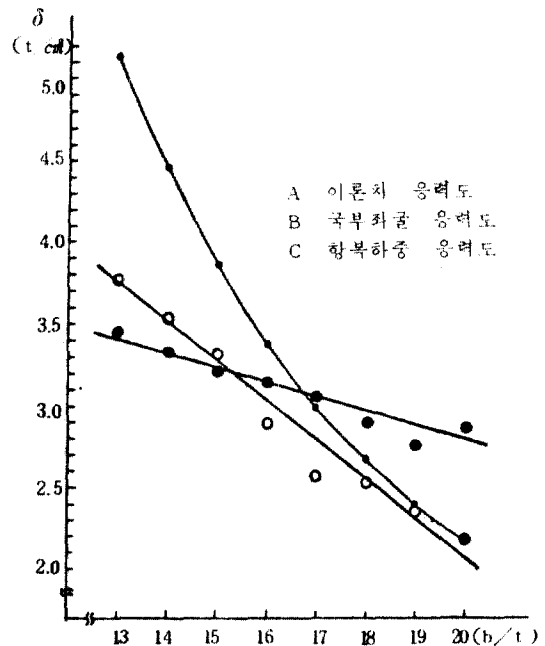


그림 4. 應力-板要素圖

3-2. H 試驗體

그림 5는 各 試驗體들의 載荷荷重과 보 中央點의 變位置에 관한 荷重-變位置(P~δ) 曲線이고 表 4는 試驗體들의 試驗結果值이다.

剪斷 및 휨의 初期剛性은 시험체의 斷面이 클수록 강하게 나타났으나 큰 변화는 없었다.

降伏強度는 H-1~H-5의 試驗體에서 상승하였고 降伏後에도 어느 정도 變形과 耐力이 증대하여 상당량의 變形 能力을 보이다가 最大荷

重에 도달된 後 파괴되었다.

H-6~H-7 試驗體들은 降伏 약간의 變形能力을 보이다가 最大荷重에 이르러 파괴되었고, H-8~H-10 試驗體들은 降伏이 나타나지 않고 彈性範圍內에서 最大荷重에 도달된 後 변형능력이 떨어져 파괴되었다.

變形狀況을 살펴보면 H-1~H-4 試驗體들은 보 전체가 降伏 후 웨브와 플랜지 巨視的인 局部挫屈現象이 거의 동시에 나타났다.

H-5~H-7 試驗體들은 보 전체항복과 웨브의 局部挫屈이 거의 동시에 나타났고, 그후 플랜지의 局部挫屈現象이 나타났다.

그리고 H-8~H-10의 試驗體들은 웨브의 局部挫屈이 먼저 발생되고 계속 웨브의 局部挫屈이 진전되면서, 플랜지의 局部挫屈은 발생되지 않은 상태로 파괴되었다.

페인트의 表面變化狀態는 모든 시험체가 거의 유사하게 荷重點 근방의 웨브板에서 수직선들이 나타났고, 또한 수평방향으로도 나타났다. 그리고 웨브板의 대각선 방향으로는 박리선들이 등고선현상으로 발생하였다.

全 試驗體의 최후 파괴현상은 웨브板의 대각선 방향으로 剪斷力에 의한 局部挫屈과 플랜지 길이방향의 局部挫屈의 형태가 동시에 나타나는 형태와 웨브板의 局部挫屈만으로 파괴되는 두가지로 나눌 수 있었다.

試驗을 통하여 各 試驗體의 剪斷力-變位曲線을 그림 6은 같이 3가지 패턴으로 구분할 수가 있었다.

여기서 $V_p = \tau_v A_w$ A_w : 웨브의 斷面積

$V_{pe} = \tau_v A_{we}$ A_{we} : 기준의 유효폭을 고려한 웨브의 斷面積

本 試驗에서 A패턴 H-1~H-6 試驗體들로 板폭-두께비가 비교적 작은 경우 剪斷力값이 $V_{max} > V_p$ 형태이고, 板폭-두께비가 큰 試驗體인 H-7~H-10 試驗體들은 B패턴의 경우로 剪斷力값이 $V_p > V_{max} > V_{pe}$ 의 형태이다.

C패턴은 板폭-두께비가 약 100 이상으로 추정되고 剪斷力값이 $V_p > V_{pe} > V_{max}$ 로 될 것이며, 本 試驗에서는 板폭-두께비가 대단히 큰 실험을 하지 않았으므로 찾을 수 없었다.

그림 7은 板폭-두께비와 延性率에 관한 것으로 δ_y 와 δ_{max} 는 降伏荷重時의 變位量 및 最大荷重時의 보 중앙의 變位量이다.

各 試驗體들의 값들은 쌍곡선과 유사한 형태로써 板폭-두께비가 71인 것은 1부근에 가까왔고, 板폭-두께비가 작은 것은 延性率이 큰 것으로 나타났다.

그림 8은 板폭-두께비와 耐力 및 기준의 유효폭과의 관계를 나타낸 것으로써, 횡축은 板폭-두께비이고 종축은 試驗體의 剪斷力을 기준의 유효폭을 고려한 전단력의 값으로 무차원

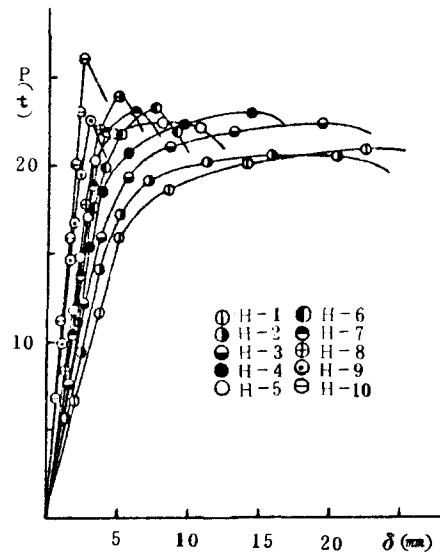


그림 5. H 試驗體 荷重-變位曲線

표 4. 實驗結果

시험체	d/t _w	P _{max}	V _p	V _{max} /V _p	V _{max} /V _{pe}	δ _{max} /δ _s
H-1	56	21	9.26	1.14		4.3
H-2	59	20.5	9.71	1.06		3.6
H-3	62	22.5	10.16	1.11		3.4
H-4	65	23.0	10.61	1.08		3.2
H-5	68	22.6	11.06	1.02	1.07	2.5
H-6	71	23.2	11.5	1.01	1.09	1.3
H-7	74	23	11.95	0.96	1.08	1.4
H-8	77	24	12.40	0.97	1.13	1.1
H-9	80	22.5	12.85	0.88	1.07	1.0
H-10	85	26	13.60	0.96	1.23	1.0

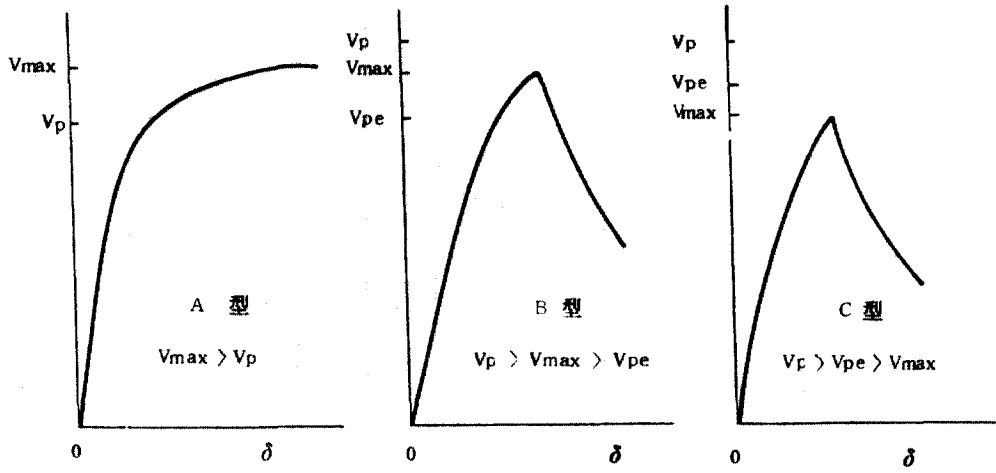


그림 6. V- δ 곡선

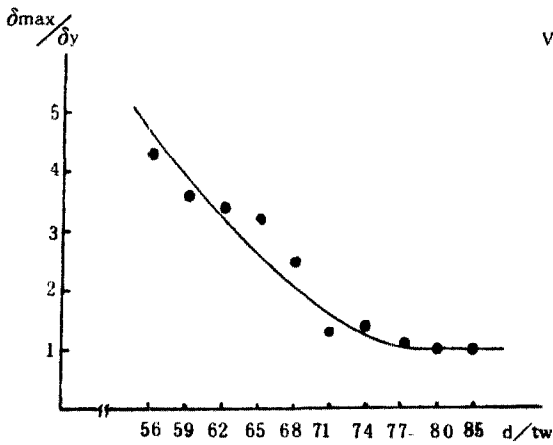


그림 7. $\delta_{max}/\delta_y - d/t_w$ 곡선

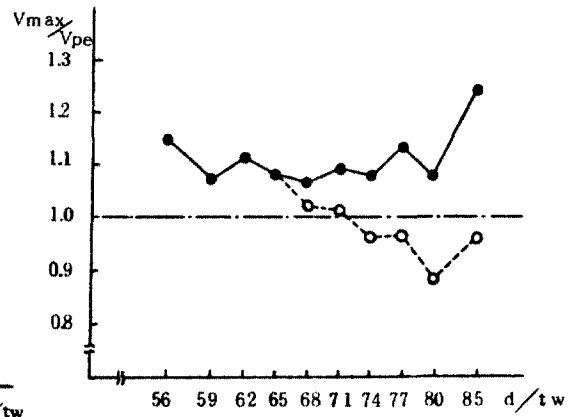


그림 8. $V_{max}/V_{pe} - d/t_w$ 圖

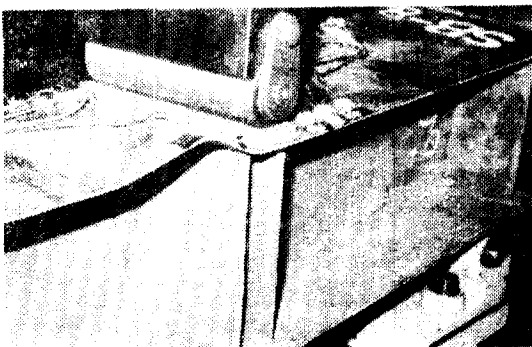


사진 2. SB 試驗體 結果

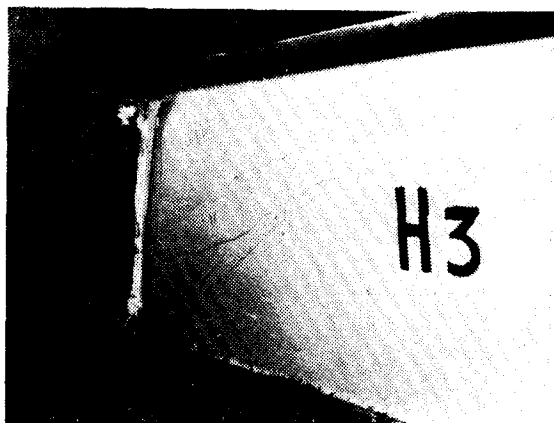


사진 3. H 試驗體 結果

화한 값이다.

그림중 점선은 규준의 유효폭을 고려하지 않은 값이고, 실선은 유효폭을 고려한 값이다. 板폭—두께비가 71 이상의 試驗體는 V_{max}/V_P 의 값이 1 이상이고, 板폭—두께비가 71 이하인 1 이하의 값이었다.

試驗體의 V_{max}/V_P 값들이 1 이상의 값일 경우는 安全側에 들어가는 것으로 생각되고, 1 이하의 값인 試驗體의 有效幅을 고려하면 1 이상이 되므로 안전측에 든다고 할 수 있다.

4. 結 論

이상과 같이 모살熔接에 의한 H形斷面의 단 순보를 두 종류로 製作하여 試驗하였다.

各 試驗體들의 試驗으로 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

1. SB 試驗點에서 M_L/M_P 의 값이 1보다 큰

SB-1, SB-2, SB-3($b/t=13, 14, 15$) 試驗體의 耐力는 局部挫屈의 影響을 받지 않았고, M_L/M_P 의 값이 1보다 적은 SB-4, SB-5, SB-6, SB-7, SB-8($b/t=16, 17, 18, 19, 20$) 試驗體의 耐力는 局部挫屈의 影響으로 떨어졌다.

2. 大韓建築學會 規準에 의한 H型鋼 보의 국부좌굴을 방지하기 위하여 플렌지와 웨브의 板要素比를 $b/t=14, d/t=65(F_y=2.87t/cm^2)$ 로 규정하고 있으나, 본 試驗에서는 약간 높은 경향으로 15.2, 70정도임을 알 수 있다.

3. H 試驗體에서 板폭—두께비가 70 이상이더라도 웨브의 有效춤을 고려하면 V_{max}/V_P 값이 1 이상이 되므로 安全側의 보 設計가 가능함을 알 수 있다.

끝으로 보의 局部挫屈은 보의 剛性和 耐力에 대단히 큰 影響을 주고 있으므로, 板要素에 관한 研究를 계속하고자 한다.

參 考 文 獻

1. 金圭石, 金錫中: 熔接H型鋼 보 플렌지의 板나비—두께비에 관한 연구, 大韓建築學會誌, 제23권 제90호, 1976.
2. 大韓建築學會: 鋼構造計算規準·同解説, 大韓建築學會, 1973.
3. 鈴木敏郎의 2人: せん斷面げを受ける 鐵骨H型斷面梁の局部座屈舉動と塑性變形能力, 日本建築學會論文報告集, 제260호, 1977.
4. LAMBET TALL: STRUCTURAL STEEL DESIGN, RORALD, 1974.