

H形鋼 보의 橫挫屈에 關한 研究

金 錫 中*

A Study On Lateral Buckling Of H-Section Steel Beams

Seok-Jung Kim*

ABSTRACT

Buckling is a significant behavior to be considered whenever we design steel structures.

In the case of H-shape beams, the lateral buckling occurred by bending moment must be considered.

Because of the lateral buckling of H-shape beams, the bending strength of the beams are determined by the lateral buckling stress instead of the allowable bending stress.

Lateral buckling stress equation, consisting of two terms, i. e. $\sigma_{cr}(v, w) = \sqrt{[\sigma_{cr}(v)]^2 + [\sigma_{cr}(w)]^2}$, has been using, but for the practical purpose of use the following equations are using two, i. e.

$$\sigma_{cr}(v) = \frac{0.65E}{\ell_h/A_t}, \quad \sigma_{cr}(w) = \frac{\pi^2 E}{(\ell_b/i_b)^2}$$

When we use the above equations, the results are different according to the shape of beam section, and they are rather complex.

In this study lateral buckling stress equation is derived, and the proposed formula($\sigma_{cr}(t)$) is compared with above mentioned two basic and practical equations.

To verify the proposed formula experimentally, 16 H-shape beams which have different slender ratios are tested by applying pure bending moment.

Through the experiments the buckling behavior of H-shape beams is clarified, and the results shows that the proposed formula($\sigma_{cr}(t)$) is accurate enough for practical purpose.

1. 序 論

鐵骨構造의 挫屈現象은 構造設計에 있어서 중요한 意味를 지나고 있는데, 部材 構造設計에 있어서도 휨에 의한 橫挫屈의 檢討가 중요시 된다.

보에 휨모멘트가 作用되면 초기에는 荷重面 內로만 變形되지만 휨모멘트가 어느 값이상 증가되면 보가 橫方向으로 變形됨과 동시에 回轉을 일으키며 耐荷能力을 잃게 되는데 이를 보의 橫挫屈이라 하고 휨모멘트 이외에도 轉方向

力, 뒤틀림모멘트에 의해서도 發生된다.

大韓建築學會에서 1983년에 補完改正된 “鋼構造計算基準 및 解說”에서 許容휨應力度는 순 휨을 받는 보의 橫挫屈모멘트(M_{cr})式을 基本으로 하여 複公式으로 규정하고 있는데, 實用的으로 어느 한 쪽을 무시하고 취한 橫挫屈應力度에서 算出해 내고 있다.

이것은 構造設計에 安全을 고려할 때 實用的 면에서 가능하나 斷面에 따라서 오차가 크게 나타난다.

本 研究에서는 理論式으로 橫挫屈應力度를 基本公式의 두 개의 항중 어느 한 쪽도 무시하

* 江原大學校 工科大学 建築工學科 助教授

* Assistant Professor, Dept. of Architectural Eng. Kangweon Natl. University.

지 않고 간단한 單公式로 誘導하여 하나의 橫挫屈應力度曲線을 얻고자 하며, 또한 實驗으로 는 H形鋼 보 部材를 細長比(λ)에 따라 實驗體를 製作·實驗하여 實驗結果와 理論값을 比較檢討한다.

이렇게 함으로써 보어나은 H形鋼 보構造設計의 基礎資料를 얻는데 그 目的이 있다.

2. 研究方法과 範圍

建築鐵骨構造에 있어서 橫挫屈의 對象이 되는 部材 I形, H形 斷面部材가 가장 많으며 學會規準式도 이를 前提로 하고 있으므로, 本研究에서도 H形鋼을 택하였다.

橫挫屈耐力는 材의 斷面, 材質, 荷重形態, 橫支持의 間隔, 支點의 拘束度 등에 따라 달라진다.

現行 規準의 許容 휨應力度는 보의 支點이 단순지지이고 等 휨모멘트가 作用할 경우의 基本 橫挫屈耐力式으로부터 두 개의 항으로 算出하고 있으나, 本研究에서는 휨材가 挫屈時 휨縮壓側 斷面은 壓縮材와 같은 舉動을 고려하여 橫挫屈應力度式을 壓縮材와 같은 하나의 式으로 提案하고자 한다.

實驗體의 조건은 理論式과 같이 하기 위하여 支點은 單純支持가 되게 하였고, 보의 전 구간에는 等 휨모멘트 만이 作用되도록 荷重을 載荷하였다(Fig. 1 참조)

3. 휨應力度 提案式

H形 斷面 보가 等 휨모멘트를 받고 材端이 單純支持이면 基本 橫挫屈耐力式은 다음과 같다.

$$M_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^4}{\ell^4} EI_y EC + \frac{\pi^2}{\ell^2} EI_y GJ} \dots \dots \dots (1)$$

EI_y : 弱軸 휨剛性 EC : 휨 뒤틀림剛性

GJ : St. Venant 비틀림剛性

(1) 式을 정리하면

$$M_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^4 E^2 I_y C}{\ell^4} \left(1 + \frac{\ell^2 GJ}{\pi^2 EC}\right)} \\ = \frac{\pi^2 EI_y h}{2\ell^2} \sqrt{1 + \frac{\ell^2 GJ}{\pi^2 EC}} \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式을 斷面係數로 나누어 橫挫屈應力度式으로 나타내면 (3) 式과 같이 된다.

$$\sigma_{cr} = \frac{M_{cr}}{Z_x} = \frac{\pi^2 EI_y h}{2\ell^2} \left(1 + \frac{\ell^2 GJ}{\pi^2 EC}\right)^{1/2} \cdot \frac{1}{(\Delta_f + 1/6 \Delta_w) h} \dots \dots \dots (3)$$

橫挫屈應力度를 壓縮材의 應力度式과 같이 細長比의 함수로 유도해 보면,

$$\sigma_{cr} = \frac{\frac{\pi^2 E}{(\sqrt{2} \ell)^2}}{\left[I_y \sqrt{1 + \frac{\ell^2 GJ}{\pi^2 EC}} \right]^2 \frac{1}{\sqrt{\Delta_f + 1/6 \Delta_w}}} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_1^2} \dots \dots \dots (4)$$

여기서

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_y}{\alpha \cdot \beta} \dots \dots \dots (5)$$

$$\alpha = \left(\frac{\Delta_f + \Delta_w/2}{\Delta_f + \Delta_w/6} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (6)$$

$$\beta = \left(1 + \frac{\ell^2 GJ}{\pi^2 EC} \right)^{1/4} \dots \dots \dots (7)$$

α 의 값은 斷面에 따라 달라지는 係數로 각종 壓延H形鋼을 조사하였더니 그 값은 약 1.08~1.22 범위로 평균값으로 $\alpha=1.15$ 로 하였고, β 값은 식을 정리하여 다음과 같은 근사식을 유도할 수가 있다.

$$\beta = 1 + 0.1974 \left(\frac{\ell}{b} \right) \left(\frac{t_f}{h} \right) \dots \dots \dots (8)$$

(8) 式중 t_f/h 값은 각종 壓延H形鋼을 조사한 結果로써 $t_f/h=0.035$ 로 하고 ℓ/b 값을 λ_y 항으로 고치면 $\ell/b = \lambda_y / 2\sqrt{3}$ 이 된다. 결국 (5) 式의 細長比(以下 換算細長比)는 근사적으로 (9) 式과 같이 된다.

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_y}{1.15 + 0.0023\lambda_y} \dots \dots \dots (9)$$

(9) 式인 換算細長比를 使用하면 橫挫屈應力度를 壓縮材의 挫屈應力度와 같이 하나의 式인 (4) 式으로 구할 수 있다.

4. 實 驗

4. 1 實驗體 및 測定方法

實驗體는 實驗器機의 容量上 市販되고 있는 壓延H形鋼中 H-125×60×6×8($Z_x=66.1$, $i_y=$

1.32)를 택하였다.

實驗體의 種類는 細長比(λ_y)에 따라서 50~200 사이로 총 16개를 製作하였으며, 各 實驗

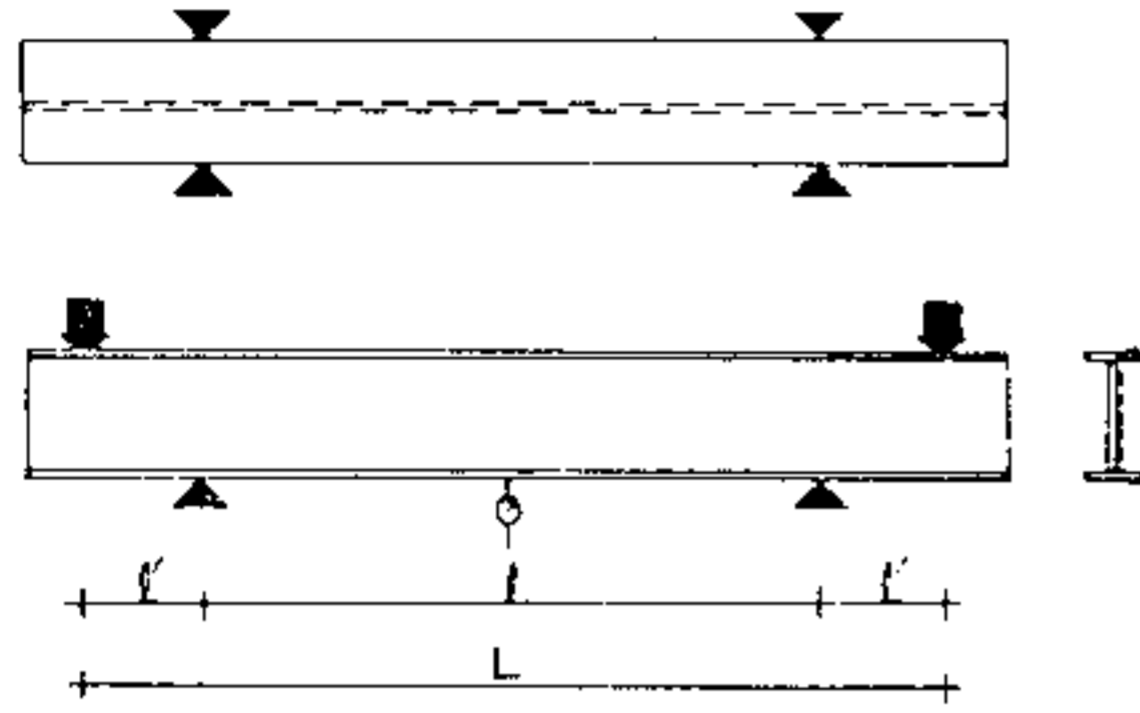


Fig. 1. SPECIMEN

體들의 形象과 寸수는 Fig. 1과 Table 1과 같다. (Fig. 2 참조)

實驗體의 機械的 性質은 母材를 引張實驗한



Fig. 2. SPECIMEN

Table 1. TEST RESULT OF SPECIMEN

Specimen	λ_y	e (cm)	L (cm)	P_{max} (t)	M_{max} (tcm)	σ_{max} (t/cm ²)	P_p (t)	M_p (tcm)	σ_p (t/cm ²)	σ_t	σ_{cr} (w)	σ_{cc} (v)	$\sqrt{\sigma(w)^2 + \sigma(v)^2}$
H-1	50	66.0	106.0	26.75	267.5	4.05	24.50	245.0	3.71	13,709	12.11	8.21	14.63
H-2	60	79.2	119.2	27.75	277.5	4.20	25.50	255.0	3.86	9,869	8.41	6.84	10.84
H-3	70	92.4	132.4	25.00	250.0	3.78	24.50	245.0	3.71	7,512	6.18	5.86	8.52
H-4	80	105.6	145.6	26.00	260.0	3.93	24.50	245.0	3.70	5,955	4.73	5.13	6.98
H-5	90	118.8	158.8	24.00	240.0	3.63	23.00	230.0	3.48	4,869	3.74	4.56	5.90
H-6	100	132.0	172.0	24.00	240.0	3.63	22.50	225.0	3.40	4,079	3.03	4.10	5.10
H-7	110	145.2	185.2	23.75	237.6	3.59	22.50	225.0	3.40	3,484	2.50	3.73	4.49
H-8	120	158.4	198.4	22.25	222.5	3.37	21.75	217.0	3.29	3,024	2.10	3.42	4.01
H-9	130	171.6	211.6	22.75	227.5	3.44	22.25	210.0	3.37	2,661	1.79	3.16	3.63
H-10	140	184.8	224.8	22.95	229.5	3.47	22.75	227.5	3.44	2,368	1.54	2.93	3.31
H-11	150	198.0	238.0	22.30	223.0	3.37	21.50	215.0	3.25	2,127	1.35	2.74	3.05
H-12	160	211.2	252.2	21.30	212.4	3.21	21.00	222.0	3.18	1,928	1.18	2.56	2.82
H-13	170	224.4	261.4	21.00	210.0	3.18	21.00	222.0	3.18	1,760	1.05	2.41	2.63
H-14	180	237.6	277.6	20.00	200.0	3.00	19.75	197.5	2.99	1,617	0.94	2.28	2.48
H-15	190	250.8	290.8	18.75	187.5	2.83	18.75	197.5	2.83	1,494	0.84	2.16	2.31
H-16	200	264.0	304.0	19.50	195.0	2.95	19.50	195.0	2.95	1,388	0.76	2.05	2.19

結果 Table. 2와 같다.

Table 2. MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL MEMBER

t (mm)	σ_y (t/cm ²)	E (t/cm ²)	σ_t (t/cm ²)	σ_y/σ_t	ELONGA- TION (%)
6	2.98	2.17×10^3	4.14	0.72	26

各 實驗體들은 하중대를 사용하여 部材內에

等 휨모멘트만 사용되도록 하였고, 支點에서는 橫方向 變形을 拘束하도록 하였다.

實驗體의 變形은 Dial Gage(30mm, 1/100)를 보의 中央아래 플랜지 양쪽과 支點에 설치하여 測定하였다. 또한 스트레인게이지를 보 中央部에 Fig. 1과 같이 설치하여 變形을 측정하였다.

加力은 하중대를 통하여 載荷하였고 荷重載荷速度는 比較的 일정하게 維持하였으며, 0.25t

씩의 荷重증분이 있을 때마다 各 部材에 設置한 Dial Gage와 스트레인게이지로 變形을 測定하였다.

4. 2 實驗結果

各 實驗體들의 實驗結果 載荷時 變形性狀과 最大荷重(P_{max}), 降伏荷重(P_p), 最大 휨모멘트(M_{max}), 降伏휨모멘트(M_p)는 Table. 1과 Fig. 3와 같다.

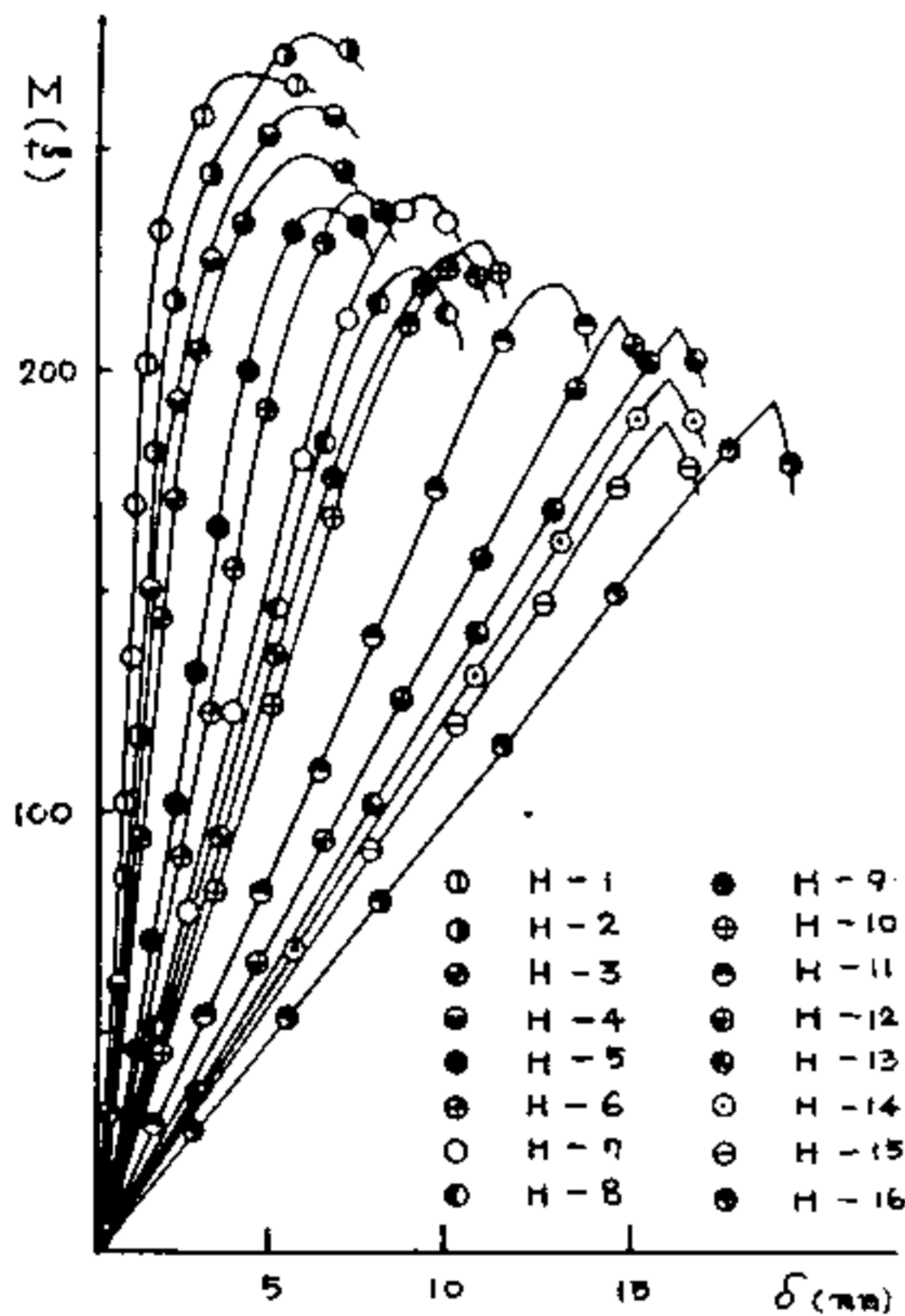


Fig. 3. RELATIONSHIP BETWEEN MOMENT & DEFORMATION



Fig. 4. TEST RESULT OF SPECIMEN

Fig. 3에서 종축은 載荷時 部材의 휨모멘트로 하고 횡축은 보 中央點에 設置한 Dial gage에서 測定한 各 實驗體의 수직 變位이다.

그림에서와 같이 細長比가 작은 部材(H-1~H-7)일수록 휨剛性이 컸고 細長比가 큰 部材(H-8~H-16)일수록 휨剛性이 적어 載荷時 상당한 變形 後 橫挫屈이 發生되어 파괴되었다.

또한 細長比가 작은 實驗體들은 降伏點이 細長比가 큰 것에 比하면 상당히 높았고 部材가 降伏된 後에도 상당한 耐力을 보인 後 橫挫屈로 파괴되었다.

細長比가 큰 實驗體들은 降伏과 거의 同時에 最高點에 도달되면서 橫挫屈을 일으켰고 最高點에 도달후에는 곧바로 橫挫屈이 진전되면서 耐力을 보이지 못하고 파괴되었다.

實驗體 中央에 設置한 스트레인게이지에 의한 變形은 細長比가 적은 實驗體에서 상당한 變形量을 보인 후 部材가 降伏點에 도달되었다.

5. 理論解析과 實驗結果의 考察

現行 鋼構造規準에서 限界橫挫屈應力度는 (10)식과 같다.

$$\sigma_{cr} = \frac{M_{cr}}{Z} = \sqrt{\left[\frac{0.65EA_f}{e_b h} \right]^2 + \left[\frac{\pi^2 E}{(e_b/i_b)^2} \right]^2} \dots (10)$$

Fig. 5~8은 壓延H形鋼의 代表的인 斷面을 λ_y 에 따라서 基本理論式($\sigma = \sqrt{\sigma_{cr}^2(v) + \sigma_{cr}^2(w)}$), 實用式($\sigma_{cr}(w), \sigma_{cr}(v)$), 提案式(σ_c)를 比較한 것이다.

그림에서 實用式은 理論式보다 작은값이어서 안전측이라 할 수 있다.

또한 提案式값은 보 높이가 큰 部材들은 理論式의 값과 거의 같고, 보 높이가 낮은 部材들은 다소 작은 값들이었으나 안전측에 든다고 할 수 있고, 提案式의 값이 實用式 값보다 理論式에 접근하고 있음을 알 수가 있었다.

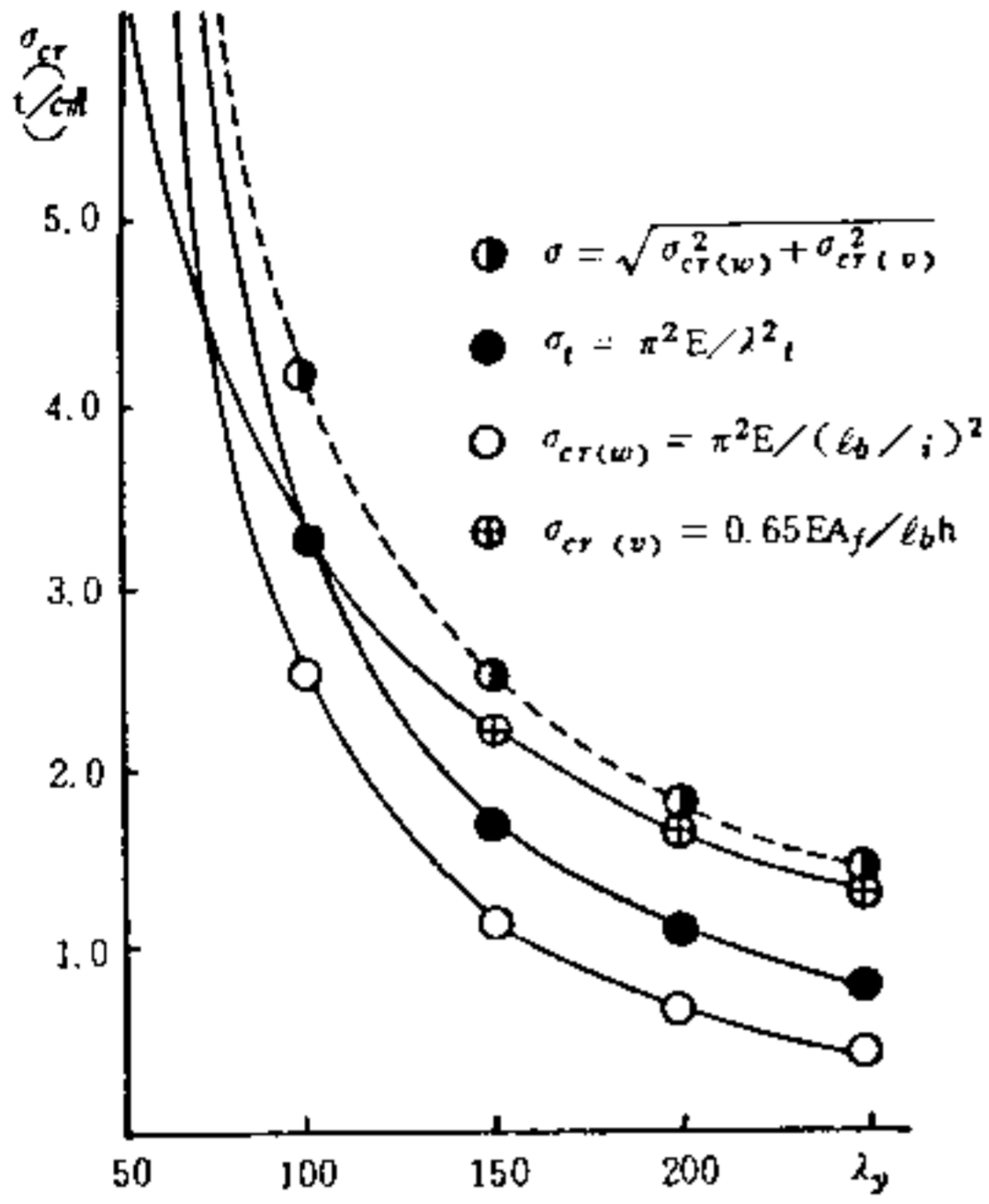


Fig. 5. H-20×20×0.8×1.2

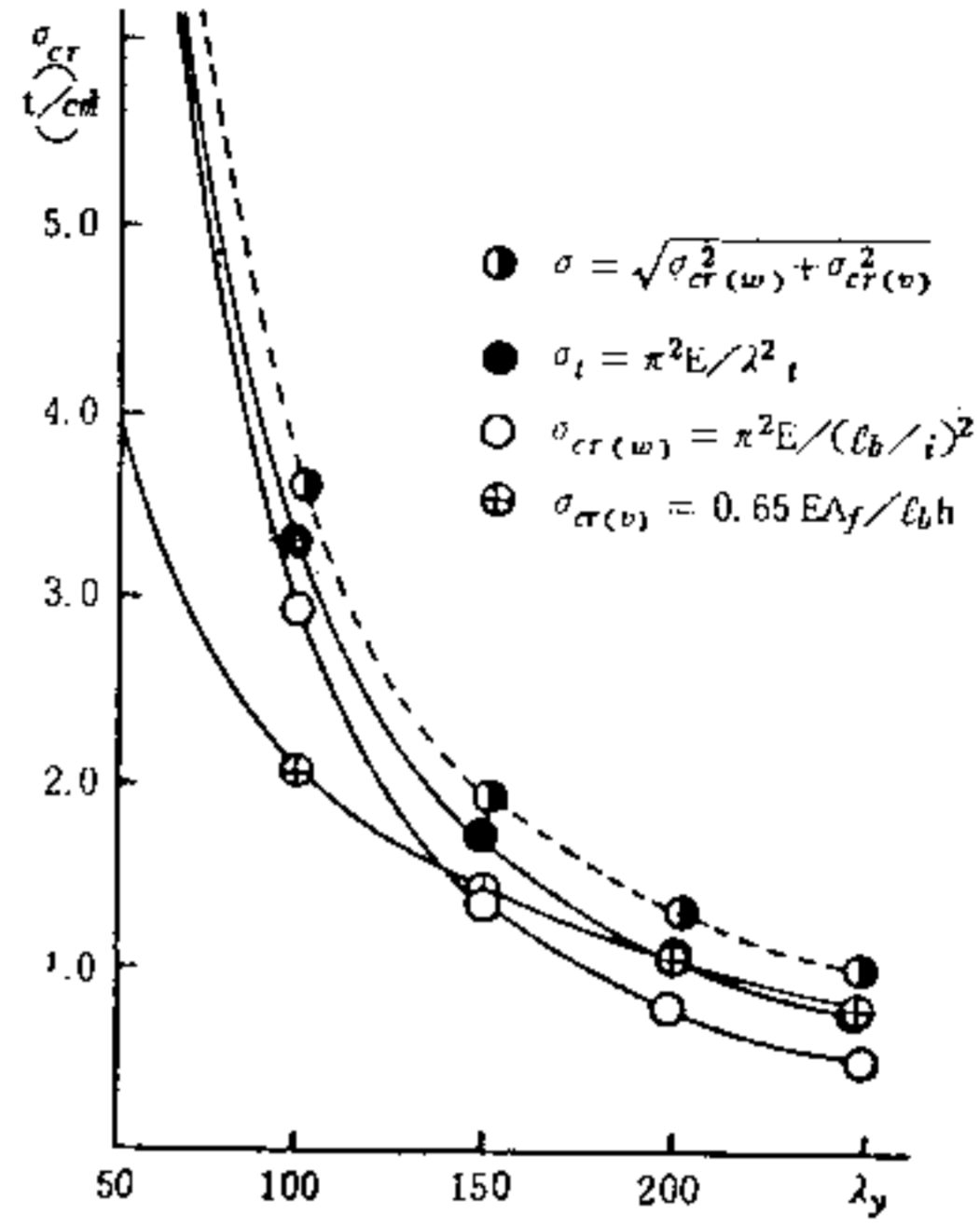


Fig. 6. H-50×30×1.1×1.5

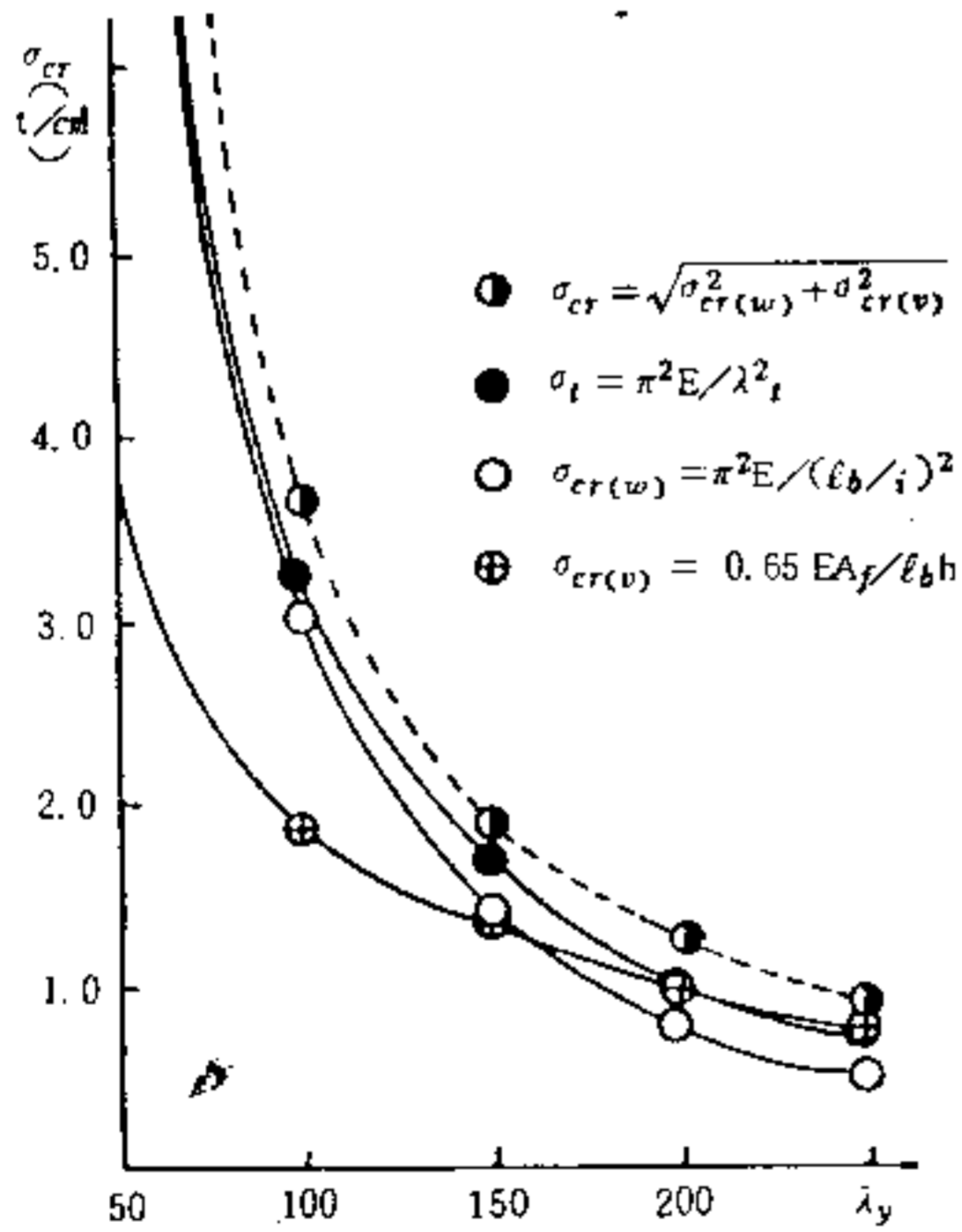


Fig. 7. H-60×30×1.2×1.7

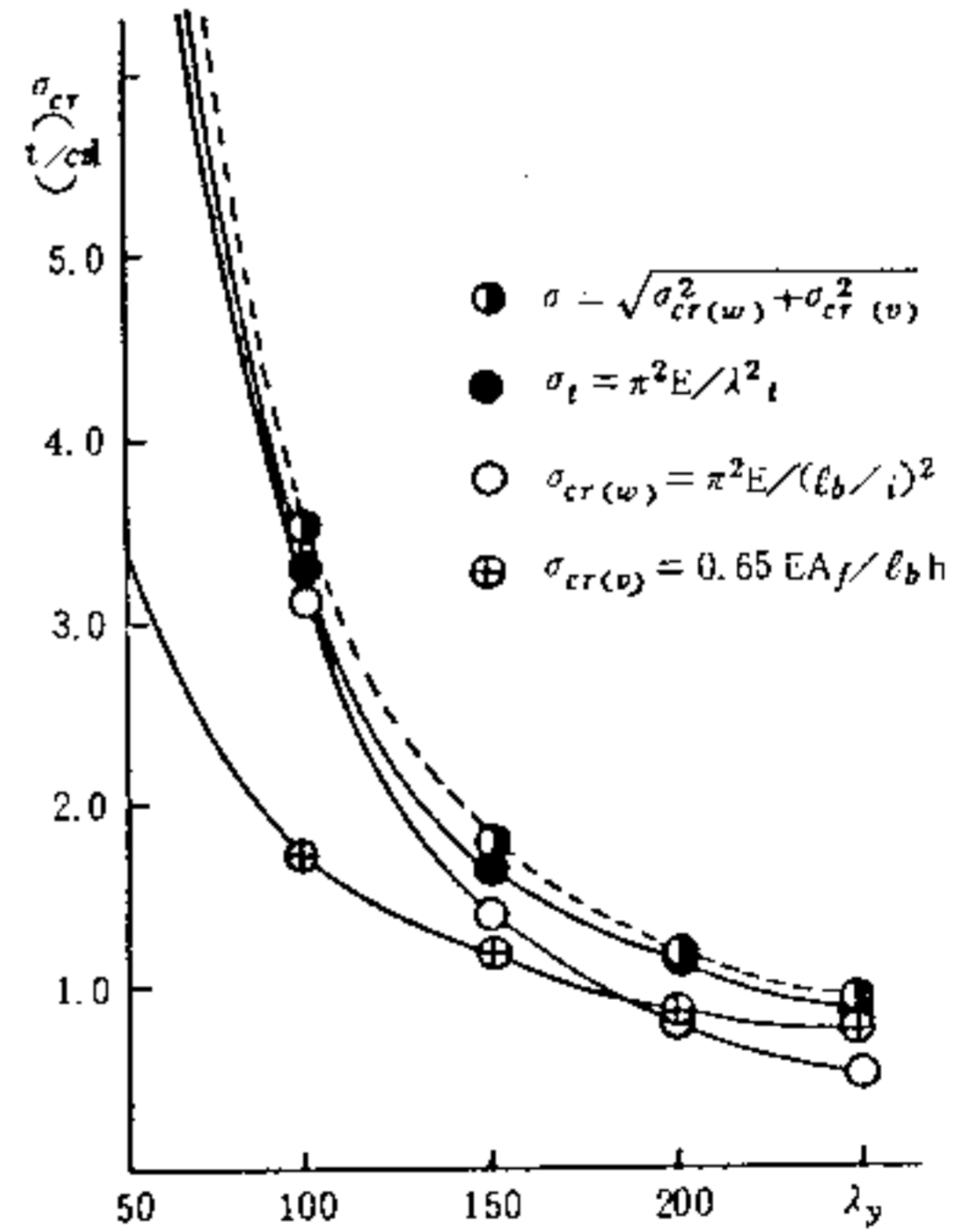


Fig. 8. H-90×30×1.5×6.3

RELATIONSHIP BETWEEN λ_y & σ_{cr}

Fig. 9은 본 실험에서 사용한 部材를 細長比에 따라 각각의 應力度를 表示한 값이며, 實驗값들은 實驗結果 部材가 降伏時 應力度이다.

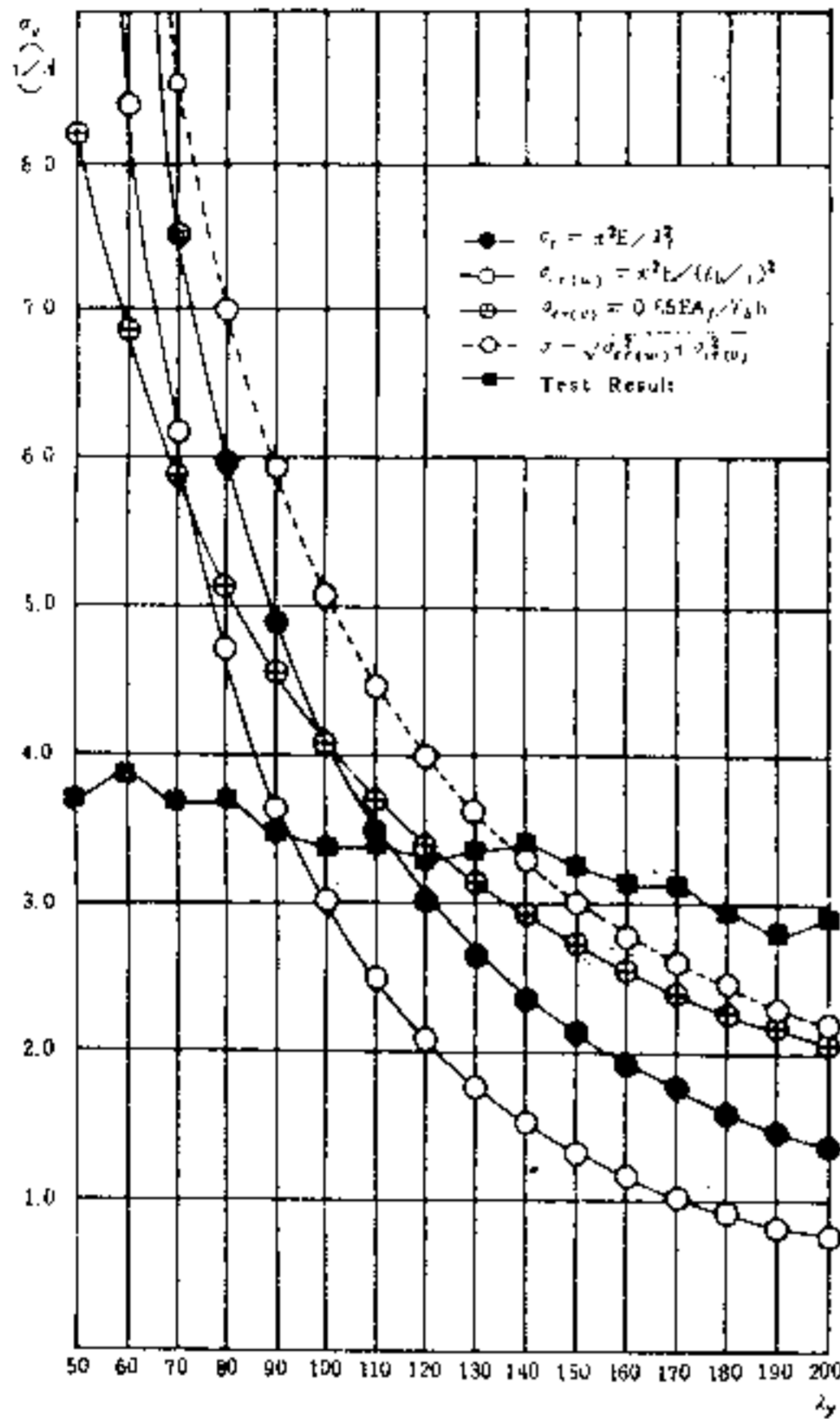


Fig. 9. RELATIONSHIP BETWEEN λ & σ_{cr}

細長比가 120以下 實驗體(H-1~H-8)들은 細長比가 적어짐에 따라 應力度값이 점점 높은 값이 있으며 理論式이나 實用式 보다는 상당히 적은 값이었다. 細長比가 130以上 實驗體(H-9~H-16)들은 實驗體의 應力度값이 學會式보다 큰 값을 나타내고 있다.

提案式값과 實驗값을 比較해 보면 細長比 110을 경계로 110以上은 實驗값이 크고 110以下는 實驗값이 적은 값으로 나타나고 있다.

限界細長比 ($\lambda_p = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 F_y}}$) 를 약 110이라고 할 때 限界細長比 以上의 部材들은 許容應力度 算出時 學會式이나 提案式을 使用하여도 實驗값이 크므로 안전측임을 알 수 있다.

細長比 110以下 部材들은 非彈性挫屈을 하고 있으므로 許容應力度 算出時 非彈性挫屈式을 適用하여야 할 것으로 고려되는데, 本 研究의 提案式은 壓縮材의 應力度式과 같은 형태를 하고 있으므로 非彈性 部分에서도 壓縮材와 같은 形式의 非彈性挫屈式을 適用할 수 있을 것으로 고려된다.

6. 結 論

H形鋼 보의 橫挫屈에 對하여 理論 및 實驗을 통하여 研究한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

現行 學會規準의 橫挫屈應力度는 橫挫屈基本耐力式으로부터 實用式으로 複合式을 使用하고 있으나, 本 研究에서는 壓縮材의 應力度式과 같은 형태의 部材細長比(λ)의 函數로된 橫挫屈應力度(4)式을 單一式으로 誘導하여 提案式을 낼 수가 있었다.

그리고 提案式의 값은 斷面의 종류에 따라 다소 차가 있으나 學會 實用式의 값보다는 基本橫挫屈應力度式에 가까운 값으로 안전측임을 알 수 있었다.

또 H形鋼을 實驗한 結果 限界細長比 以上의 部材들은 學會實用式과 提案式의 값이 實驗값보다 모두 큰 값으로 안전측임을 알 수 있었고, 限界細長比 以下의 部材들은 實驗값과 理論값에 큰 차이를 보였는데 이것은 許容應力度 算出時 非彈性挫屈式을 適用하여야 할 것으로 고려되며, 本 研究의 提案式은 壓縮材와 같은 형태를 하고 있으므로 非彈性 範圍에서 壓縮材와 같은 形式을 適用할 수 있을 것으로 고려된다.

끝으로 本 研究는 理論式에서 荷重 및 材端 拘束條件을 고려하지 않았고 실험기용량상 여러가지 斷面을 實驗 할 수가 없었는데 이 部分에 관한 研究는 계속하고자 한다.

參 考 文 獻

1. 대한건축학회: 강구조 계산규준 및 해설, 1983

2. 김석중·김석규 : H형강보의 횡좌굴 내력에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 제2권 제2호, 1982. 10
3. AISC : Manual of steel construction, 1980
4. Joseph A. Yura, Theodore V. Galambos, and Mayasandra K. Ravindra : The Bending Resistance of steel Beams, ASCE 104, STP, 1355—1370
5. T. V. Galambos : Inelastic Lateral Bucking of Beams Proc. ASCE., Vol. 89, ST .5
6. M. G. Lay, T. V. Galambos : Inelastic Steel Beams Under Uniform Moment, Proc. ASCE., Vol. 91, ST. 6
- 7.鈴木敏郎 : H形鋼部材の横座屈應力度にフリて, 日本建築學會論文報告集, 第229號, 1975. 3
- 8.若林實, 中村武 : 端モーメントと等分布荷重を受けるH形はりの弾性横挫屈に對する數値解析, 日本建築學會論文報告集, 第208號, 1973
9. 谷口元, 秋山宏 : H形 斷面梁に關する 横座屈設計式の提案, 日本建築學會論文報告集, 第295號, 1980.