

# Pre-stress를 導入한 Steel Beam에 關한 實驗的 研究

## [Experimental Study on Pre-Stressed Steel Beam

曹 鎮 久\*·朴 炳 基\*\*  
Jin Goo Cho. Byung Kee Park

### Summary

This research was carried out to investigate several mechanical characteristics of pre-stressed steel beams.

The configuration of specimens used for this study were as follows; a cover plate having permissible fiber stress of  $4,000 \text{ kg/cm}^2$  was welded at bottom having the allowable bending stress  $2500 \text{ kg/cm}^2$  steel beam, the section ratios of pre-stressed steel beam and cover plate were 0.5 and 0.6.

Adopted pre-stresses were 0%, 50%, and 100% of an allowable fiber stress of a steel beam.

The results obtained from the study may be summarized as follows;

1. The elastic range of a beam was increased by the application of pre-stress to the beam, which leads to a lighter section.
2. The permissible moment capacity of a pre-stressed steel beam was greater than that of a steel beam without pre-stressing.
3. The equivalent allowable stress induced by adopting the different section ratio of pre-stressed beam to cover plate were figured out
4. The optimum value of section ratio of beam and cover plate was 0.3 to 0.4 in case of a 1.5m span composite beam, a combination of an allowable stress  $2,500 \text{ kg/cm}^2$  steel beam and a permissible fiber stress  $4,000 \text{ kg/cm}^2$  steel cover plate, was used.
5. The magnitude of the pre-stress was desirable to be same as the allowable stress of a steel beam.
6. It was concluded that if the construction techniques in the field are developed and improved, the practicing of pre-stress to the steel structure has a promising future.

### I. 序 論

最近 數年 동안 構造工學의 分野에 있어서 보다 經

濟的인 構造物의 設計를 위한 많은 研究가 進行되고 있다. 그 가운데서 특히 눈에 뜨인 새로운 形式은 構造材料에 初期應力을 導入한 鋼材보 合成 보 P.C beam 等の 發展이다. 그러나 이들은 初期應力을 導入 하므로서 많은 利點이 있는 反面에 많은

\* 慶尙大學 農工學科

\*\* 全南大 工大 土木工學科

制限을 받는다. 특히 鋼材보에 있어서는 미리 決定된 荷重을 初期應力으로 導入시킬 경우 이 荷重으로 인한 部材內에서의 應力의 分布狀態에 의하여 載荷重의 應力은 어떤 制限을 받게 된다.

鋼材보에 初期應力을 導入하는 方法은 3가지의 실제적인 方法이 있다.

첫째는 端部碇着의 wire나 bar를 利用하여 應力을 導入하는 것으로서 오래전 부터 많이 利用되어 온 方法이다.

둘째는 初期荷重에 의해서 보를 變形시킨후 高強度의 添接板을 熔接하는 方法

셋째는 變形된 보에 콘크리트를 打設하는것 등이 다.

鋼材보에서 初期應力 導入의 目的은 콘크리트 構造物의 경우 에서는 같이 材料의 引張強度의 缺陷을 補充하기 위해서가 아니고 初期應力을 導入하여 줄으므로 載荷重에 의해서 發生되는 反對方向의 應力을 相殺하려는 것이다.

그러므로 初期應力이 導入된다는 것이 다들분 普通의 合成보와 비슷하다\*.

콘크리트를 打設 하기전 高強度의 케이블에 의해서 初期應力을 導入하는 合成 鋼材보의 解析은 Hoadley\*\*에 의해서 最初로 提案되었으며 그의 研究에서는 普通보다. 初期應力을 導入한 보의 耐荷力이 比較되어 있다. 그후 Reagan과 Krahl\*\*에 의해서 初期應力을 導入하는데 高強度 케이블의 使用 대신에 添接板을 使用하여 初期應力을 導入하여 주는 方法이 더 効果의 이라는것이 提案되었다. 왜냐하면 前者의 應力導入의 方法은 斷面二次모-멘트를 顯著히 증가시켜 주지 못하지만 添接板을 使用하는 方法은 큰 斷面二次모-멘트의 증가를 가져오기 때문이다. 그러나 지금까지 이같은 方法에 의한 構造物의 築造에 있어서는 前者의 方法이 거의 採擇되어왔다. 이것은 後者의 方法은 施工上 많은 어려움이 있기 때문으로 思料된다. 그러나 未發表 資料이지만 初期應力을 導入한 合成보를 使用 하므로서 橋梁의 設計에 있어서 25%의 무게를 減縮시킬수 있다는 研究\*\*나 또는 Subhash C. Anand\*\*의 研究論文에 의하면는 添接板을 利用하는 경우의 斷面의 節約 價格의 節減 무게의 減縮에 대한 理論의인 資料가 提示되어 있다. 따라서 머지않아 施工上의 問題點이 解決되면 添接板을 利用한 Pre-stressed Steel member의 利用이 활발해 지리라 期待된다. 또한 이와같은 利用面을 떠나서도 鋼材에 人爲의인

變形을 주고 여기에 添接板을 熔接하여 應力을 緩和 내지는 除去했을때 初期應力이 導入된 添接板과 母材는 어떠한 力學的 變動을 할 것인가 하는것은 材料性質의 改善이란 立場에서 볼때 매우 重要하고 興味있는 問題 이기도하다. 본 研究은 이와같은 立場에서 위와같이 初期應力을 導入한 單純보에 대해서 여러가지 實驗을 통하여 그 基本的인 特性變化를 研究해 본 것이다. 먼저 主桁과 添接板의 斷面積比에 따른 許容應力의 變化를 檢討하여 斷面의 引張應力과 壓縮應力이 同時에 許容值에 達하는 最適斷面積比의 값을 究明하고 다음에는 初期應力의 變化에 따른 굽힘 耐荷力의 比較및 最適初期應力의 값을 推定코자 함에 있다 본 研究은 實驗에 앞서 試驗材料에 대하여는 다음과같은 假定을 한다.

試驗材料는 許容應力 以內에서는 彈性的이며 鋼材보는 橫方向으로는 挫屈이 생기지 않도록 支持되어 있다.

## II. 理論的 考察

添接板에 의한 主桁의 應力 導入은 圖式的으로 그림-1과 같이 說明된다. 이때 보에 作用하는 荷重은 等距離의 2個의 集中荷重이며 이 荷重에 의하여 一定한 應力狀態에 놓인 보(母材)에 一定斷面의 添接板을 熔接하고 마지막으로 荷重을 除去하면 이 合成斷面보에 初期應力이 導入된 狀態가 된다. 이 應力 導入의 操作을 各 段階別로 應力圖와 對比해서 說明하면 다음과 같다.

이때 보의 斷面은 그림-2과 같이 定한다.

먼저

1 段階에서

$$M_i = \sigma_{bi} \cdot Z_b \dots (1)$$

여기서

$$Z_b = I_b / (cd/2) \text{ 보의 斷面係數}$$

$$\sigma_{bi} = \text{初期荷重에 의한 보의 굽힘應力}$$

이때 보의 緣端部 에서의 應力은  $\pm \sigma_{bi}$  (+tension, -compression)과 같다.

2 段階에서 高強度 添接板을 보의 上端 flange에 熔接한다.

3 段階에서 初期荷重을 除去한다.

이때 보의 緣端部에서의 應力은  $+\frac{M_i}{Z_{nb}}$  와  $-\frac{M_i}{Z_{ap}}$

로 바뀌고 添接板에서의 應力은  $+\frac{M_i}{Z_p}$  로된다. 따라

4 段階에서 보는 위 아래가 뒤집어지며 5 段階에서 載荷重을 받는다. 이때 載荷重은 合成보가 받게 된다.

보와 高強度 添接板의 合應力은 初期荷重에 의한 應力과 載荷重에 의한 應力의 合計와 같다.

보에서 初期應力과 載荷重에 의한 應力은 서로 反對의 符號를 갖게되며

添接板에서는 같은 符號를 갖는다 따라서 보의 壓縮側 및 引張側 緣端部の 許容應力 및 添接板의 許容應力은 各各 다음과 같이 計算된다.

$$\sigma_{enp} = \sigma_{ab} - (-\sigma_{bi} + \frac{\sigma_{bi} \cdot Z_b}{Z_{np}}) = \sigma_{ab} + \sigma_{bi} - \frac{\sigma_{bi} \cdot Z_b}{Z_{np}} \quad (5)$$

$$\sigma_{eap} = -\sigma_{ab} - (\sigma_{bi} - \frac{\sigma_{bi} \cdot Z_b}{Z_{ap}}) = -\sigma_{ab} - \sigma_{bi} + \frac{\sigma_{bi} \cdot Z_b}{Z_{ap}} \quad (6)$$

$$\sigma_{ep} = \sigma_{ap} - \sigma_{rp} = \sigma_{ap} - \frac{\sigma_{bi} \cdot Z_b}{Z_p} \quad (7)$$

지금 그림-2와 같은 添接板을 갖는 鋼材 보의 斷面二次 모멘트는 다음과 같다.

$$I_{bp} = I_b + \frac{A_b A_p (d + t_p)^2}{4(A_b + A_p)} \quad (8)$$

따라서 對應되는 斷面係數는 다음 式과 같이 表現된다.

$$Z_{np} = \frac{I_{bp}}{d_{np}} = \frac{A_b A_p (d + t_p)^2 + 4I_b (A_b + A_p)}{2(A_b d - A_p t_p)} \quad (9)$$

$$Z_{ap} = \frac{I_{bp}}{d_{ap}} = \frac{A_b A_p (d + t_p)^2 + 4I_b (A_b + A_p)}{2[A_b d + A_p (2d + t_p)]} \quad (10)$$

$$Z_p = \frac{I_{bp}}{d_p} = \frac{A_b A_p (d + t_p)^2 + 4I_b (A_b + A_p)}{2[A_b (d + 2t_p) + A_p t_p]} \quad (11)$$

方程式 (9)(10)(11)의 값을 方程式 (5)(6)(7)에 代入하면 許容應力은 다음과 같다.

$$\sigma_{enp} = \sigma_{ab} + \sigma_{bi} - \frac{2(A_b d - A_p t_p) \sigma_{bi} \cdot Z_b}{A_b A_p (d + t_p)^2 + 4I_b (A_b + A_p)} \quad (12)$$

$$\sigma_{eap} = -\sigma_{ab} - \sigma_{bi} + \frac{2[A_b d + A_p (2d + t_p)] \sigma_{bi} \cdot Z_b}{A_b A_p (d + t_p)^2 + 4I_b (A_b + A_p)} \quad (13)$$

$$\sigma_{ep} = \sigma_{ap} - \frac{2[A_b (d + 2t_p) + A_p t_p] \sigma_{bi} \cdot Z_b}{A_b A_p (d + t_p)^2 + 4I_b (A_b + A_p)} \quad (14)$$

위 式은 初期應力이 導入된 部材가 發揮할수 있는 許容應力으로서 等價許容應力(equivalent allowable stress)라고 부른다.

다음에 初期應力 導入後의 굽힘 耐荷力은 다음과 같은 式으로 나타낼수 있다.

$$M_{eap} = \sigma_{eap} \cdot Z_{ap} \quad (15a)$$

$$M_{enp} = \sigma_{enp} \cdot Z_{np} \quad (15b)$$

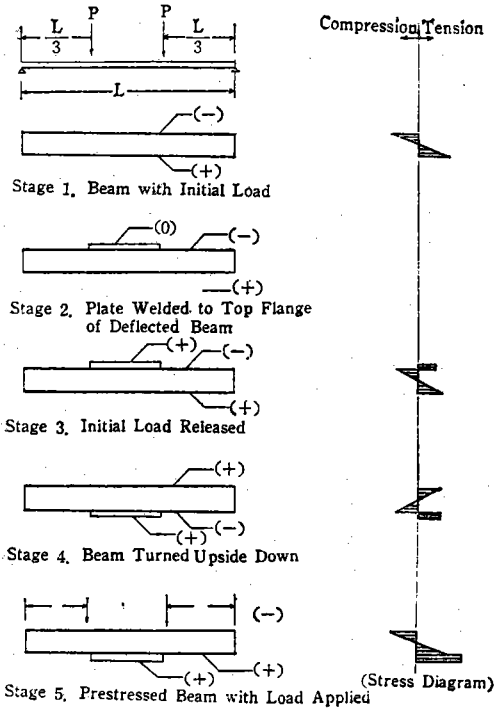


Fig 1. Prestressing mechanism

서 보와 添接板에 남아있는 應力은 다음과 같다.

$$\sigma_{rnp} = -\sigma_{bi} + \frac{M_i}{Z_{np}} = -\sigma_{bi} + \frac{\sigma_{bi} \cdot Z_b}{Z_{np}} \quad (2)$$

$$\sigma_{rap} = \sigma_{bi} - \frac{M_i}{Z_{ap}} = \sigma_{bi} - \frac{\sigma_{bi} \cdot Z_b}{Z_{ap}} \quad (3)$$

$$\sigma_{rp} = \frac{M_i}{Z_p} = \frac{\sigma_{bi} \cdot Z_b}{Z_p} \quad (4)$$

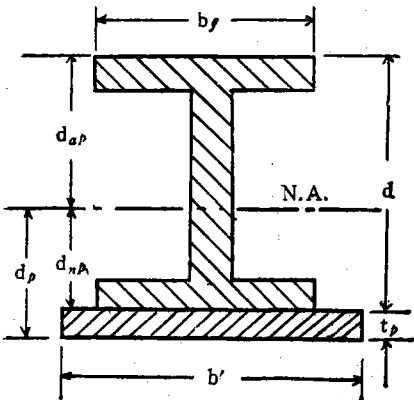


Fig 2. Steel beam cross-section with cover plate

$$M_{ep} = \sigma_{ep} \cdot Z_p \quad (15c)$$

그런데 初期應力을 導入한 大部分의 鋼材보에서 合應力이 許容應力을 超過하는 경우는 다음 두가지의 경우가 支配的이다 즉

(1) 보의 壓縮側에서 許容應力을 超過하는 경우

(2) 添接板이 먼저 許容應力을 超過하는 경우

따라서 실제로 載荷重에 의해서 위의 두 條件가운데 어느것이 選擇될 것인가는 다음 條件式에 의해서 決定된다.

$$\frac{A_b d + A_p(2d + t_p)}{A_b(d + 2t_p) + A_p t_p} > \frac{\sigma_{cap}}{\sigma_{ep}} \text{ 보의 壓縮과피}$$

$$\frac{A_b d + A_p(2d + t_p)}{A_b(d + 2t_p) + A_p t_p} < \frac{\sigma_{cap}}{\sigma_{ep}} \text{ 添接板의 引張과피}$$

이와같은 條件式을 支配條件(governing condition)이라고 부른다.

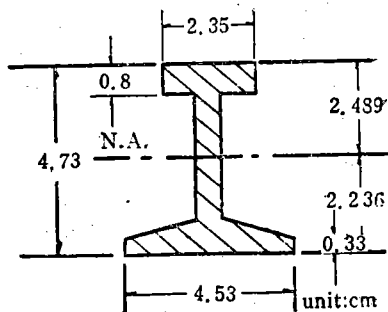


Fig. 3. Section of Specimen

使用한 供試體는 國內에서 市販되고 있는 가장 작은 레일을 그림-3과 같이, 成形하여 母材로 使用했고 그의 物理的 性質은 表과 같다. 또한 添接板은 市販의 鋼板(두께 4mm)을 使用하였으며 그의 物理的 性質은 表(1)에 나타난바와 같다.

### III. 實驗材料 및 實驗方法

#### 1. 實驗材料

Table 1. Properties of test specimen.

Item	remaining Stress(kg/cm <sup>2</sup> )	Yield Stress $\sigma_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Allowable Stress $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulus of Elasticity E(kg/cm <sup>2</sup> )	Length (cm)	Thickness (mm)	Moment of Inertia (cm <sup>4</sup> )	Section area (cm <sup>2</sup> )
Main beam	Variable	4200	2500	1,900,000	150	Fig.3	18.8269	5.8557
Cover plate	Variable	6700	4000	1,900,000	60	4	Variable	Variable

#### 2. 實驗裝置

初期應力의 導入은 보(母材)를 두군데서의 集中荷重으로 굽힌 狀態에서 添接板을 摺接하고 荷重을 除去하여 얻는다 다음에는 初期應力이 導入된 供試體를 여러 段階의 集中荷重 (等距離 2 個所)을 주어 그 耐荷力을 實驗하게 되므로 載荷틀(load frame)의 幅은 供試體의 길이(150cm) 이상이라야하며 마

음대로 集中荷重을 調節할수 있는 載荷裝置 및 檢力裝置가 必要하다.

이같은 目的으로 그림-4에서 처럼 Channel과 Angle로 載荷틀을 製作하였으며 載荷裝置는 市中販賣의 Hydraulic Jack 2 基를 上部에 設置하여 移動할수 있도록 하였고 手動 Pump로 Jack의 Stroke를 進退시켜 載荷點에 載荷할수 있도록 하였으며 이때 Stroke의 끝에 CBR用 Proving Ring(3Tcap)을 부

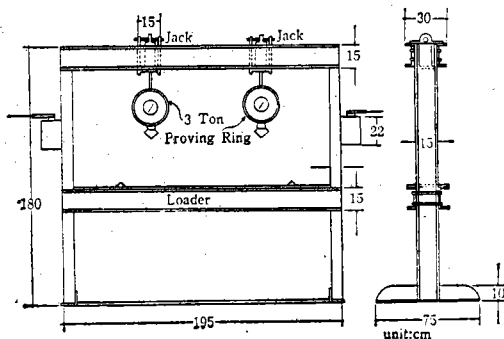


Fig 4. Load frame



Fig 5-(a) Prestressing.

작하여 作用壓력을 調節한다. 그 大要는 그림-4와 5-a에서와 같다.

### 3. 實驗方法

#### (1) 初期應力 導入

初期應力 導入을 위하여 그림-5에서 처럼 보의 中間에 2個의 支點을 두고 보의 兩端에서 荷重을 作用시키는데 over-hanging beam으로 한다. 이때 兩

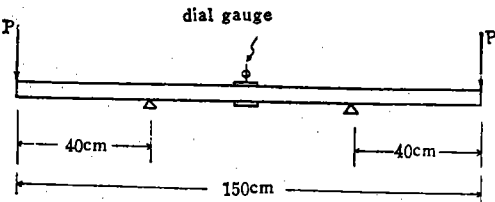


Fig 5-(b) Prestressing and location of strain gauge.

端의 荷重은 3T Proving Ring을 통해 읽게 된다.

이때 加하는 荷重을 初期荷重이라 하며는 初期荷重에 의한 보의 應力이 許容應力의 100% 및 50%가 되도록 作用시킨뒤 固定하고 壓縮側에 두께 4mm 길이 60cm 幅은 88mm 및 73mm 되는 2種의 添接板을 準備하여 電氣容接한다. 또한 初期應力을 導入하기 위하여 보에 載荷할때 보의 中央部 壓縮側 및 引張側에 Strain gauge(120 $\Omega$ , gauge fatcor 2, 11 Kyowa)를 부착하여 Static strain meter에 의해서 Strain을 測定한다. 또한 同位置에 Dial gauge(1/100mm)를 設置하여 變形을 測定한다.

電氣熔接에 있어서는 實際의 경우와는 달리 供試體가 小型 이므로 熔接으로 熱이 發生하여 固定했던 初期應力의 損失이 일어난다. 따라서 이 損失을 最小限 막기 위하여 添接板의 全長이를 熔接하지 않고 事전에 豫備實驗을 통해 必要한 荷重 범위내에서 熔接部가 破斷되지 않도록 等間隔으로 9個所(Throat 4~5mm 길이 3cm정도) 熔接하였다. 初期應力 導入의 方法을 段階의으로 간추리면 다음과 같다.

(i) 供試體를 定位置에 設置하고 兩端의 載荷裝置를 手動 Pump로 降下시켜 供試體에 接觸시킨다.

(ii) 보의 中央部에 부착한 Strain gauge와 Strain meter를 連結하고 同一 場所에 Dial gauge(1/100mm)를 設置하여 載荷에 의한 Edge Stress의 計算과 deflection測定の 準備을 한다.

(iii) 手動 Pump로 두군데서 同時에 載荷한다. 目標荷重은 供試體 許容荷重의 50%와 100%의 2

種으로서 一次로 50%에 이르면 荷重을 固定하고 Strain 測定이 끝난뒤 引張側 Strain gauge를 除去하고 幅 88mm 길이 60cm (斷面積比  $\xi=0.6$ )의 添接板을 電氣熔接한다. 同一한 方法으로 새로운 供試體에 대해서 載荷하여 幅 73mm 길이 60cm (斷面積比  $\xi=0.5$ )의 添接板을 熔接한다.

다음에 許容荷重과 같은 100%에 대해서 같은 方法으로 2種의 添接板을 熔接한다. 별도로 比較를 위해서 無荷重(0%) 狀態에서 2種의 幅을 갖는 添接板을 各各 熔接한다. 合計 6個의 供試體에 대해서 耐荷力을 比較하게 된다.

(iv) 添接板의 熔接이 끝나면 初期應力이 상당히 損失되지만 同一한 手法으로 熔接하면 消失量이 一定하다. 따라서 熔接後 Proving Ring의 最終읽음과 Strain gauge의 값을 各各 熔接後의 殘留應力 및 初期變形으로 한다.

以上과같이 初期應力이 導入되려는 이들 供試體를 뒤집어서 그림-6과같은 載荷狀態로 耐荷試驗한다. 載荷速度는 파괴하중 까지를 20等分하여 各段階마다 荷重을 固定하고 中央 兩端 上下 6개의 Strain gauge에 의해서 Strain meter로 Strain을 測定하고 다음 段階로 넘어간다.



Fig 6. Welding of Cover plate.

#### (2) 應力의 測定

위에서 說明한 方法으로 Strain을 測定하여 Hook의 法則에 의하여 各點에 있어서의 應力을 計算한다. Strain gauge부착 位置는 그림-7과같다.

그러나 보의 引張側 緣端部에서의 應力은 이곳에 添接板을 熔接해야 되기 때문에 Strain gauge부착이 不可能하여 Strain을 測定하지 못하였다.

添接板에도 그림과같이 Strain gauge를 부착하여 應力을 計算한다.

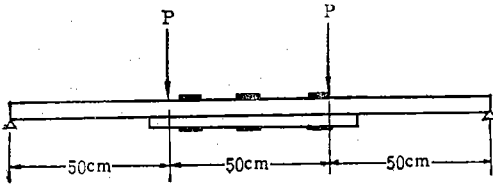


Fig 7. Location of Strain gauge

이들의 測定結果는 顯示하면 Fig. 9 및 10에 나타낸다.

(3) 耐荷力 實驗

初期變形後 添接板을 熔接하고 兩端에 2個의 支點을 갖는 單純보의 中央 3分點에서 加壓하였는데 이는 剪斷應力의 影響을 排除하기 위하여 中央部分을 純粹 굽힘 狀態로 하기위한것이다.

굽힘 耐荷力은 荷重-應力曲線(그림-10)을 作成한후 等價許容應力에서의 모멘트를 求하여 그 값을 보의 許容 굽힘 모멘트로 하였다. 이 計算結果는 그림-11와같다.

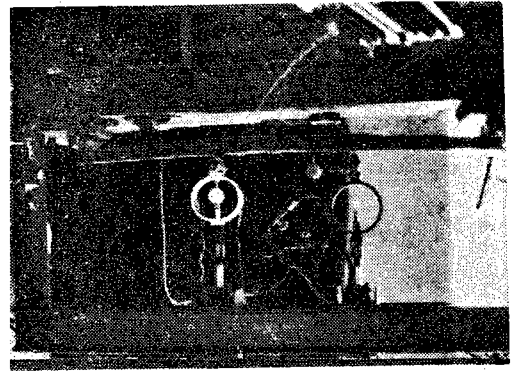


Fig 8. Prestressed beam with logd applied

IV. 實驗結果 및 考察

1. 許容應力

初期應力을 導入한 후의 許容應力의 값의 變化를 여러가지의 斷面積比에 대하여 求한 結果는 다음 表와같다.

Table. 2.  $\sigma_{enp}$ ,  $\sigma_{eap}$  and  $\sigma_{ep}$  for Various Values of  $\xi$

Unit : kg/cm<sup>2</sup>

Yield Stress	Allowable Stress	$\xi$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
4200	2,500	$\sigma_{enp}$	2,874	3,255	3,511	3,694	3,832	3,939	4,026	4,096	4,155	4,205
		*	2,687	2,878	3,006	3,097	3,166	3,220	3,263	3,299	3,328	3,353
		$\sigma_{eap}$	-2,932	-3,040	-3,113	-3,165	-3,204	-3,235	-3,259	-3,279	-3,296	-3,311
		*	-2,716	-2,770	-2,806	-2,832	-2,852	-2,867	-2,880	-2,890	-2,898	-2,905
		$\sigma_{ep}$	1,795	2,218	2,501	2,704	2,856	2,977	3,072	3,151	3,216	3,271
		*	2,898	3,109	3,251	3,352	3,429	3,488	3,536	3,575	3,608	3,636
6700	4,000	$\sigma_{enp}$	2,874	3,255	3,511	3,694	3,832	3,939	4,026	4,096	4,155	4,205
		*	2,687	2,878	3,006	3,097	3,166	3,220	3,263	3,299	3,328	3,353
		$\sigma_{eap}$	-2,932	-3,040	-3,113	-3,165	-3,204	-3,235	-3,259	-3,279	-3,296	-3,311
		*	-2,716	-2,770	-2,806	-2,832	-2,852	-2,867	-2,880	-2,890	-2,898	-2,905
		$\sigma_{ep}$	1,795	2,218	2,501	2,704	2,856	2,977	3,072	3,151	3,216	3,271
		*	2,898	3,109	3,251	3,352	3,429	3,488	3,536	3,575	3,608	3,636

\* The Value of  $\sigma_{enp}$ ,  $\sigma_{eap}$  and  $\sigma_{ep}$  when applied prestress was 50% allowable stress

主桁과 添接板의 斷面積比의 증가에 따라 許容應力의 증가는 引張側은 급격한 증가현상이 일어나지만 壓縮側 緣端部の 許容應力 증가는 緩慢하다 그 理由는 添接板의 熔接으로 因하여 合成斷面의 中立軸이 引張側(下向)으로 옮겨 지므로 壓縮側 斷面係數의 증가는 緩慢한 反面 引張側의 斷面係數 증가는 급격하기 때문이다. 따라서 斷面의 中立軸이 壓縮側에 옮겨진 斷面形이나 引張보다 壓縮에 대해서 강한 材料에 이와같은 初期應力을 導入하는 方法을 使用 한다면 큰 效果를 期待할수 있음은 明白하다. 그러나 본 實驗에 使用한 供試體는 當初부터 中立軸이 引張側에 가까운 斷面形이었기 때문에 그 效果가 半減되었다.

또 初期應力의 크기를 달리했을 경우 즉 許容應

力의 100%를 導入한 경우와 許容값의 50%를 導入한 경우의 等價 許容應力의 값을 比較하여보면 前者가 等價許容應力의 값이 크다는 것을 알수있다. 다만 添接板의 等價許容應力은 初期應力과 反比例의 關係에 있으므로 添接板 에서의 應力이 그 許容값을 超過하지 않도록 充分한 強度를 갖는 鋼板을 使用하는것이 더욱 有利하다는것이 明白한다.

2. 荷重과 變形曲線

그림-9은 荷重과 變形과의 關係를 初期應力을 導入한 보와 普通의 보에 대해서 比較한 것이다. 그림에서 보는바와같이 初期應力을 導入하여 主부로서 極限荷重이 증가될은 물론 彈性域(Elastic

Range)의 증가 현상도 보이고있다. 이는 初期應力과 載荷重에 의한 應力이 서로 反對的 符號를 갖기 때문에 荷重이 作用하는 처음 얼마동안은 應力이 서로 相殺作用을 하기 때문에 일어나는 結果이며 당

초 예상했던바와 같다.

따라서 이같은 方法을 利用하면은 斷面이 節約되고 보다 가벼운 構造物의 設計가 可能하다는 것을 意味한다.

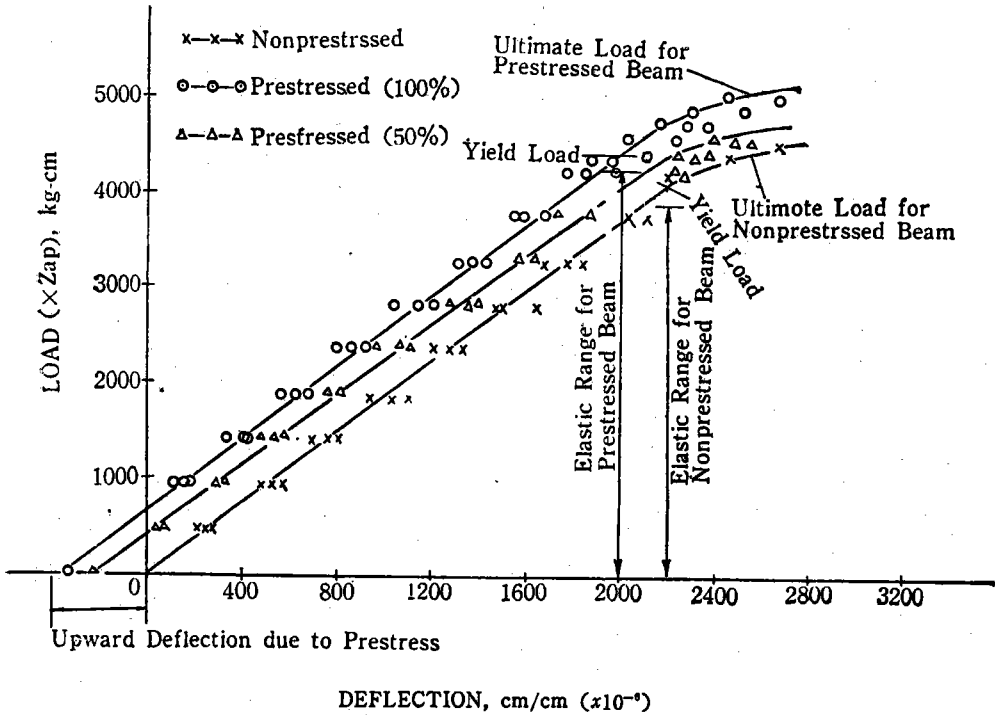


Fig 9. Load-deflection curves for prestressed and nonprestressed steel beams

### 3. 許容荷重

그림-10은 荷重(굽힘 모멘트)과 應力과의 關係를 보여주는 것이고 同時에 初期應力을 導入한 경우와 普通의 경우를 比較한 것이다. 즉 縱軸을 最大 굽힘應力橫軸에 荷重(굽힘 모멘트)의 크기를 나타내었다. 3개의 線은 各各 初期應力 導入率(100% 및 50%)와 普通보를 나타낸다. 例를들어 許容굽힘應力의 크기를  $2500\text{kg/cm}^2$ 으로 보는 경우  $\xi=0.6$ 일 때 100%의 初期應力 導入의 경우 許容荷重은  $33,530\text{kg-cm}$ 이며 同一한 斷面의 보에 初期應力을 50% 導入한 경우와 普通보의 경우 對應되는 값은 各各  $30,100\text{kg-cm}$  및  $26,450\text{kg-cm}$ 이다. 즉 許容荷重의 증가율은 普通보에 比較해서 100% 導入의 경우 26.7% 50% 導入의 경우 13.8%이다.

물론 構造物 設計의 경우는 耐荷力만이 問題가 되는 것은 아니고 剛性의 問題가 있기 때문에 이 數値만큼의 斷面의 節約이 可能하다는 것을 뜻하는 것은 아니겠지만 斷面節約의 效果가 可能하고 同時에 무

게의 減縮이 可能하다는 것은 明白하다. 다시 말하면 部材 設計時 部材의 永久變形이 일어남이 없이 보다 큰 荷重에 抵抗할 수 있다는 有利한 事實을 말하여 준다.

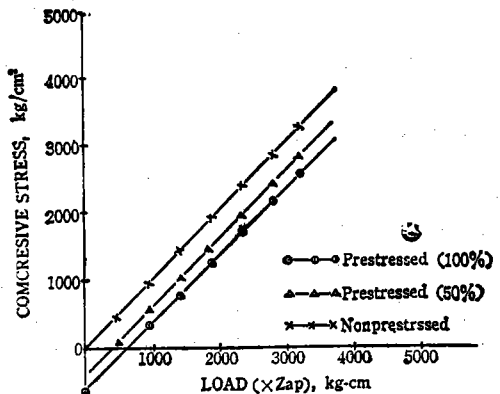


Fig 10. Relationships between stress and load for prestressed and nonprestressed beams

#### 4. 굽힘 耐荷力

初期應力の 크기를 달리했을 경우의 보의 굽힘耐荷力은 그림-11와 같다.

3개의 直線은 보의 壓縮側 緣端部 引張側 緣端部 및 添接板의 應力을 考慮 하였을 경우의 굽힘耐荷力을 나타낸다. 여기서  $\xi=0.5$  및  $0.6$ 에 대한 曲線은 實驗值이며 나머지의 斷面積 比에 대한 굽힘耐荷力 曲線 및 보의 引張側 緣端部의 應力을 考慮할 경우의 굽힘耐荷力 曲線은 實驗值에서 推定한 값이다.

添接板의 굽힘耐荷力은 初期應力이 증가함에 따라 점차로 減少되는데 이것은 初期應力과 載荷重에 의한 應力이 서로 같은 符號를 갖기 때문이다.

引張側에 比해서 壓縮側의 굽힘耐荷力의 증가가 緩慢한것은 添接板을 附着하므로써 合成斷面의 斷面 2次모멘트는 증가하지만 中立軸이 引張側으로 下向 하게되므로 壓縮側 緣端部가 中立軸으로부터 멀어지므로 壓縮側의 斷面係數 증가가 둔해진 反面에 中立軸으로부터 壓縮側 緣端部 까지의 距離가 멀어지므로 載荷重이 作用할때 큰 應力이 壓縮側 緣端에 誘發되기 때문이다.

본 實驗에 使用한 供試體의 경우 모든 斷面積 比에 대해서 壓縮側 緣端이 引張側 緣端 보다 먼저 許容應力의 값에 到達함을 알수있다.

#### 5. 初期應力 및 $\xi$ 의 最適值

前節에서 引張側 緣端에서 보다 壓縮側 緣端에서 먼저 降伏이 始作된다는 것을 알았다. 그러나 母材와 添接板의 斷面積 比  $\xi$ 의 값이 적은 경우는 添接板의 應力이 먼저 許容값에 到達하게 된다.

즉 添接板의 引張파괴가 일어난다 添接板은 母材인 鋼材보의 耐荷力을 증가 시켜 줄 목적으로 使用된 補助材이므로 添接板의 파괴는 바람직한 일이 되지 못한다. 그림-11에서 初期應力의 값이 증가함에 따라 굽힘耐荷力은 점차로 증가하여 初期應力으로서 許容값의 100%를 導入하였 경우 굽힘耐荷力은 最大의 값을 갖는다. 이는 바꾸어 말하면 初期應力은 母材의 許容應力의 값까지 導入하여 주는 것이 가장 有利하여 이때 添接板에서의 引張파괴가 일어나는것을 防止하기 위해서는 어떤 一定값以上으로 하여주는 것이 바람직 하다는것을 意味한다. 그러나 부득이 添接板을 크게 할수 없을 경우는  $\xi$ 의 값을 크게 할수 없으므로 初期應力의 값을 調節하여 주어야한다.

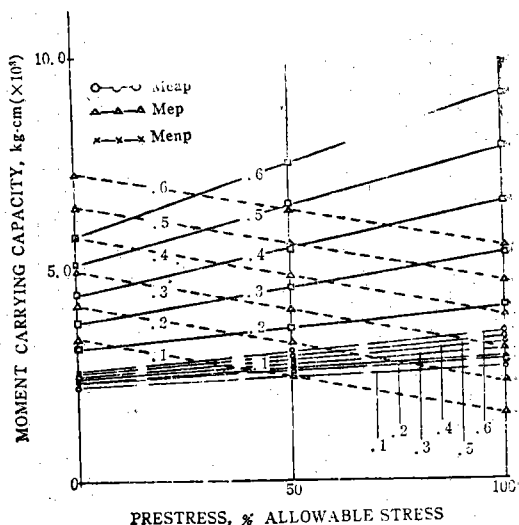


Fig 11. Relationships between prestress and moment carrying capacity

지금 그림-11에서  $\xi$ 값의 증가에 따른 보의 굽힘耐荷力의 증가 현상을 살펴보면은  $\xi=0.2$ 까지는 添接板이 먼저 許容값에 到達함을 알수있으며  $\xi=0.3$ 일때는 壓縮側 緣端部에서의 應力과 添接板에서의 굽힘應力이 거의 同時에 許容값에 到達함을 알수있다.

$\xi=0.4$ 의 값에 대해서는 壓縮側 緣端의 應力을 考慮 하였을 경우의 굽힘耐荷力과 添接板의 應力을 考慮 하였을 경우의 굽힘耐荷力을 比較할때 兩者間에 큰 差異가 없음을 알수있다.

그러나  $\xi=0.5$  이상의 값에 대해서는 兩者間에 甚한 격차를 보이고 있다.

즉 壓縮側 緣端의 應力은 許容값에 到達하여 그 以上の 荷重을 받을수 없으나 添接板에는 아직 많은 여유가 있다. 이것을 考察할때  $\xi=0.5$  이상의 큰 값은 바람직 하지 못하다. 그러므로 본 實驗을 통해서 본 結果는  $\xi$ 값의 바람직한 범위는  $0.3 \sim 0.4$ 임을 알수있다.

#### V. 結 論

본 研究는 鋼材보에 初期應力을 導入하여 使用하므로써 일어나는 力學의 特性을 究明하기 위한 基礎的 實驗研究이다. 材質이 비슷한 母材와 添接板으로 보를 만들어 實驗한 것이지만 萬一 添接板이 보다 許容應力이 큰 特殊材料를 使用하거나 中立軸이 壓縮側에 가까운 斷面形의 보를 使用한다면은 위에서의 實驗 結果는 보다 顯著한 有意義성을 보



일것은 分明하다.

본 實驗에서는 初期應力을 보의 許容 應力의 0%, 50% 및 100%의 率準으로 導入하여 製作된 供試體에 보와 添接板의 斷面積 比를 0.5 및 0.6의 2가지 경우로 나누어 實驗을 實施 하였으며 그 結果는 다음과같이 要約 할수있다.

1. 初期應力을 導入하여 주므로서 普通의 경우에 比하여 彈性域이 증가된다.
2. 同一한 許容應力의 값에 대해서 耐荷力이 증가된다.
3. 보와 添接板의 斷面積 比의 증가에 따른 等價 許容應力의 값은 表(2)와같다.
4.  $\xi$ 의 最適值는 許容應力 2500kg/cm<sup>2</sup>의 보와 許容應力 4000kg/cm<sup>2</sup>의 添接板을 組合해서 支間 1.5m

의 合成보로 使用하는 경우 0.3~0.4이다.

5. 初期應力의 크기는 보의 許容應力의 값으로 하는 것이 바람직하다.

6. 施工法의 開發이 先行된다면 鋼材 보에 初期應力을 導入하여 使用하는 方法은 앞으로 그 利用度가 많으리라 믿는다.

끝으로 本 研究는 文敎部 學術 研究 造成費에 의해서 遂行 되었다. 本 紙面을 통하여 文敎部 및 大學當局에 깊은 감사를 올린다. 또 本 研究를 위하여 施設이나 기타 많은 편의를 도모해 주신 全南大學 校 工科大學 土木工學敎室 敎수님 諸位에 심심한 사의를 표하며 實驗에 직접 참여해주신 畏友 李 春植 敎授任께 깊은 감사를 드린다.

### Notrtion

The following symbols are used in this paper:

$A_b, A_p$  = area of main beam and high strength steel cover plate respectively;

$d$  = depth of main beam;

$d_{ab}, d_{np}, d_p$  = distances from neutral axis of steel section shown in Fig. 2;

$\sigma_{ab}, \sigma_{ap}$  = allowable erending stress for beam and coverplate, respectively;

$\sigma_{eap}, \sigma_{enp}$  = equivalent allowable stress in extreme fiber of beam away from cover plate due to prestressing and corresponding value for beam fiher near cover plate;

$\sigma_{ep}$  = equivalent allowaele stress in plate due to

prestressing;

$\sigma_{by}, \sigma_{cy}$  = Yield stress for beam and cover plate, respectively;

$\sigma_{rab}, \sigma_{rnp}, \sigma_{rp}$  = stress due to prestressing in extreme fibers, of main beam away from cover plate and near cover plate and, of cover plate, respectively;

$I_b, I_{bp}$  = moment of inertia of main beam and composite section, respectively;

$Z_{ab}, Z_{np}, Z_p$  = section moduli at Various fibers of beam with cover plate;

$\xi = A_p/A_b$  rection ratio of beam and cover plate;

### Referances

1. Anon, "American Engineer Studies prestressing of Sructural steel," civil Engineer ASCE, Vol. 20, Not 11, Nov., 1950, p.746
2. \_\_\_\_\_, "Mexico Opens New Rail Line to the Pacific," Engineering News-Record Dec. 14, 1961, pp. 30-34
3. \_\_\_\_\_, "Prestressed Steel Makes a Bridge," Engineering Newa-Record, Nov. 5, 1964.
4. \_\_\_\_\_, "Prestressing Steel Stringers Reduces Bridge weight by 25%," Engineering News-Record, Oct. 19 1961, pp.32-33.
5. Barnett, R.L., "Prestressed Truss-Beams," Transactions, ASCE, Vol. 124, pp.472-490.
6. Chapman, J.C., "The Behavior of Compasite Beams in Steel and Concrete," Structural Engineer, Vol. 42, No.4, Apr., 1964.
7. "Development and use of prestressed steel Flexural Members," Report by Subcommittee 3 on prestressed Steel of Joint ASCE-AASHO Committee on Steel Flexural Members, C.E. Eckberg, Jr., Chmm., Journal of the structural division, ASCE, Vol. 94, No. ST. 9, Proc. Paper 6112, September, 1968, pp. 2033-2060.
8. Finn, E.V., "The use of prestressed Steel in Elevated Roadways," Structural Engineer, Vol. 42, No.1, Jan., 1964, pp.5-18.

9. Hadley, H.M., "Steel Bridge Girders with Prestressed Composite Tension Flanges," *civil Engineering, ASCE*, Vol. 36, No. 5, May, 1966. pp.70-72.
10. Higgins, T.R., "More Strength, Less Weight in Prestressed Steel," *Architectural Record* Jan., 1962.
11. Hoadley, P.G., "An Analytical Study of the Behavior of prestressed Steel Beams," The presented to the University of Illinois, at Urbana, Illinois, in 1961, in Partial fulfillment of the requirements for Doctor of philosophy.
12. \_\_\_\_\_, "Behavior of Pre Stressed Composite Beam," *Proceedings, ASCE*. 89, No. ST.3, June, 1963, pp. 21-34
13. Knee, O.K. "The Prestressing of Steel girders," *Structural Engineer*, Vol. 44, No. 10, Oct. pp. 20-27
14. Lavoie, Donald A., "An Experimental Study of Prestressed Steel wide Flange Beams Means of Draped Cables," thesis Presented to Clemson University, at Clemson, S.C. Dec., 1965, in partial fulfillment for the degree of Master of Science.
15. Lin, T.Y. and Bresler, Boris, "Design of Steel Structures," John Wiley and Sons, Inc., 1960. pp. 267-273
16. Magnel, G., "Precompressed Steelwork," *Publication International Association of Bridge Structural Engineers*, Vol. 11, 1951, pp.325-336.
17. \_\_\_\_\_, "Prestressed Structures," *The Structural Engineer*, Vol. 28, No. 11, Nov., 1950 pp. 285
18. Reagan, R.S., and Krahl, N.W., "Behavior of prestressed composite Beams," *Journal of the structural division, ASCE*, Vol. 93, No. ST-6 Proc. paper 5663, Dec. 1967, pp. 8-108
19. Samuely, Felix J., "Structural Prestressing," *The Structural Engineer*, Vol. 28, No. 2, Feb. 1955. pp. 41-54
20. Subhash C. Anand and Ahmed Talesstchi, "Prestressed composite Steel Beam Design," *Journal of the structural division, ASCE*, Vol. 99, No. ST. 3, proc. paper 9594, Mar., 1973 pp. 301-319
21. Szilard, R., "Design of prestressed composite steel structures," *Journal of the structural division, ASCE*, Vol.85, No. ST. 9, proc paper 2262, Nov., 1959, pp. 97-123
22. "Manual of steel Construction," American Institute of Steel Construction, New York, 1963.
23. Uri kirsch, "Optimum Design of prestressed plates," *Journal of the structural division, ASCE*, Vol. 99, No. ST. 6 proc. paper 9777, June 1973, pp. 1075-1090.
24. 奥村敏恵, 前田幸雄, "プレビューム合成ゲタ橋設計施工指針", *橋梁と基礎* Vol. 9, No. 4. 1975 pp 1-7.
25. 加藤佐夕木・三品, "プレビューム橋の一施工例", *橋梁と基礎* Vol. 4, No. 3, 1907, pp. 5-13.
26. 富山縣道路建設, "課福光橋に関するプレビューム實驗報告書"昭 48. 12.