

# 斷面構成要素에 關한 木質複合 I 및 Box形 보의 構造的 性能 分析(II)<sup>\*1</sup> —最大荷重의 計算 및 解析—

吳世昌<sup>\*2</sup> · 李弼宇<sup>\*2</sup>

## Analysis of Structural Performance of Wood Composite I and Box Beam on Cross Section Component (II)<sup>\*1</sup> — Calculation and Analysis of Ultimate Loads —

Sei Chang Oh<sup>\*2</sup> · Phil Woo Lee<sup>\*2</sup>

### ABSTRACT

An evaluation of bending test of composite I and Box beams for determining the ultimate strength limit design criteria was presented. Maximum loads of composite I beams were found in beams composed of thicker upper flanges and/or vertical LVL flanges. These loads of plywood web beams were greater than those of PB web beams. Maximum loads of unsymmetrical box beams were less than those of symmetrical box beams. Thus, it took on different phase in box type beams. Ultimate loads of composite beams were greater than those of solid.

The failure of composite beams were abrupt and failure mode was classified into following categories ; Edgewise shear failure in web, delamination in flange-web joint, tension failure and tearing in LVL flanges, and web delamination. These failures of composite beams were appeared at the mixed mode.

The influence factor affecting the performance of tested composite beams was shear strength of PB-web composite beams and compressive strength in plywood-web composite beams. It was also assumed that the influence factors on structural performance on composite beams were flange quality, web material and geometry of cross section.

As one of the design methods resisting to compressive stress that was required in the case of small span to depth ratio and deep beams, composite I-beams composed of thicker upper flanges comparing to lower flanges were very effective in structural performance.

\*1. 接受 1991年 7月 22日 Received July 22, 1991

\*2. 서울大學校農科大學 College of Agriculture, Seoul National University, Suwon 441-744,  
Korea.

## 1. 緒論

I 및 Box形으로 제조된 複合보는 그 構成의 特성과 더불어 재료의 效率적인 면에서 상당한 이점을 지닌 재료로 평가된다. 第1報에 발표된 보의 处置 및 解析에 이어 본 연구에서는 최종적으로 보가 破壞에 이를 때 까지의 最大 하중과 破壞樣相을 고찰하고, 각 構成材料의 強度치에 根據를 둔 보의 最大性能을 預測하여 보다 適合한 보 구성을 방법을 제시하고자 하였다. 제조된 시험체 및 시험방법은 第1報<sup>3)</sup>에 나타난 바와 같다.

## 2 結果 및 考察

### 2.1 複合보의 最大荷重 및 破壞樣相

#### 2.1.1 I 형의 G-P, H-P 및 I-P형 복합보

복합보의 최대 하중은 각기 857kgf, 768kgf, 950kgf로 나타났으며 두꺼운 flange를 상부에 배치한 경우 가장 높은 최대하중값을 보여주었다. 이때 보의 파괴 형태는 web재로 사용된 파티클보드에서 파괴가 사선형으로 진행되는 파괴양상을 보여 주었으며, 상부에 얇은 flange를 배치한 H형 보의 경우 하중점부근의 flange부위에서 보의 길이 방향으로 찢어지는 현상이 발생하였으며, 이로 인하여 최대하중이 적게 나타난 것으로 생각된다. 파티클보드를 web재로 한 흠가공 복합보의 경우 전체적인 파괴양상은 web부에서의 파괴이며 이는 Johnson등(1976)<sup>3)</sup>, Percival등(1977)<sup>4)</sup>이 파티클보드를 web재로 한 I 형 복합보의 파괴 양상을 조사한 결과 복합보의 파괴양상은 web부에서 파괴가 사선형으로 진행되는 shearing action에 따른 파괴양상(edewise shear failure)이 나타남을 밝힌바 있으며 이는 본실험의 결과와 일치하는 현상으로 생각된다.

#### 2.1.2 I 형의 D-P, E-P 및 F-P형 복합

## 보

수직 LVL을 web양면에 접합한 경우 최대하중은 각기 867kgf, 1,250kgf, 1,155kgf로 나타났으며, 복합보의 파괴 양상은 보의 web에서 파티클보드의 박리 현상으로 인한 파괴 양상이 많이 나타났다. 최대의 하중치는 상부에 얇은 flange를 배치한 E형보의 경우였으며 E형보의 경우 직접 압축하중을 받은 flange부의 접착면적이 감소함으로 인하여 flange와 web부 사이의 접착층의 파괴양상이 나타났으며 접착층의 박리로 인한 형상을 제외하면, 최대의 하중치는 F형보에서 나타난다. 이 역시 전술한 바와 같이 압축용력에 대한 저항성능의 차이로 인한 것이라 생각된다.

한편 파티클보드를 web 재료로 채택한 복합보의 구조에서 수직 LVL로 web에 접착하여 구성된 복합보의 형태가 수평 LVL로 web재를 삽입하여 제조된 복합보 보다 단면성상에 관계 없이 공히 높은 최대하중치를 보여주어 보구성 시 접착제로 flange재를 접합하는 것이 흠가공한 구조보다 유리함을 보여 주었다.

#### 2.1.3 I 형의 G-W, H-W 및 I-W형 복합보

각각의 최대하중은 1,055kgf, 853kgf, 1,080kgf로 나타났으며 파괴 형태는 I-W형 보의 경우 표판의 터짐에 의한 파괴 형태가, G-W 및 H-W보는 압축부 flange의 표면에서 보의 길이 방향에 따른 찢어짐 현상이 각기 관찰되었으며, 따라서 지간이 짧고 상대적으로 보의 깊이가 깊은 경우 압축용력 및 전단 용력에 의한 영향이 클 것으로 생각되며 압축부 flange재의 두께가 작은 경우 흠가공한 flange부위에 압축력이 작용할 때 접합부는 압축용력을 web재에 전달하나 web재와 접촉하지 않는 flange부위에는 압축력으로 인한 bending moment가 작용하여 표면에서 찢어짐 현상이 나타나는 것으로 사료된다.

#### 2.1.4 I 형의 D-W, E-W 및 F-W형 복합보

각 보의 파괴시 최대 하중은 1,050kgf, 895kgf, 1,195kgf로 나타났으며 파괴 형태는 D 및 F형 보의 경우 압축으로 인한 표판의 터짐에 의한 파괴가, E형 보의 경우 보의 압축 부위에서 합판의 보의 장축 방향에 따른 갈라짐 현상이 나타났다. 후자의 경우 합판 자체의 결함(starved joint)으로 인한 영향으로 생각된다.

파티클보드와 마찬가지로 web재로 합판을 채택한 경우에 수직 LVL을 flange재로 사용한 경우가 수평 LVL을 사용한 구조보다 보의 최대하중이 보다 더 큼을 보여 주었으며, 각 구조에서 공히 두꺼운 flange재를 상부에 배치한 구조가 대칭 단면 및 두꺼운 flange를 하부에 배치한 구조보다 높았으며, 이들 구조에서 특히 flange 표면에서 찢어짐 현상으로 인한 파괴 양상 및 web재의 박리 현상이 관찰되었다.

### 2.1.5 Box형의 A, B 및 C형 복합보

Box 형태로 된 복합보의 경우 각각의 최대 하중치는 1,335kgf, 1,047kgf, 1,050kgf로 나타났으며 C형 보인 경우 최대 하중치는 1290kgf로 나타났으나, 동일한 보에서 반복간 압축부에서 web재로 쓴 3매 합판의 중층에서 합판 자체의 결함으로 인한 파괴가 나타남을 보여주어 평균 최대 하중치는 낮게 나타났다. A, B형 보에서는 flange와 web joint간의 파괴 양상이 많이 관찰되었으며, 수평전단에 의한 파괴 양상도 나타났다.

## 2.2 複合보 應力의 計算

### 2.2.1 垂直應力 및 剪斷應力

Timoshenko(1968)<sup>5)</sup>에 의하면 보에 하중이 작용하여 휨모멘트가 생기면 보의 응력은 中立軸으로부터의 거리에 비례하여 나타나며 특히 탄성적으로 성질이 서로 다른 재료를 사용하여 제조할 경우 각 요소의 성질을 사용하여 다음과 같이 된다. (Johnson 등, 1976)<sup>2)</sup>

$$\sigma_i = \frac{E_i \cdot M}{EI} \cdot C_i \quad (1)$$

$\sigma_i$  : Stress of ith component

$E_i$  : Elastic modulus of ith component

$C_i$  : Furthest point from neutral axis of ith component

$\overline{EI}$  : Flexural rigidity of composite beam

식(1)로 부터 양 flange재의 最外側에 생기는 휨응력은 보의 단면이 대칭단면이고, 양 flange의 탄성계수가 같을 경우 flange재의 탄성계수 값을 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_f = \frac{E_f}{EI} \cdot M \cdot \frac{h}{2} = \frac{E_f \cdot M \cdot h}{2 \cdot \overline{EI}} \quad (2)$$

$\sigma_f$  : Stress of flange

$E_f$  : Elastic modulus of flange material

$h$  : Beam depth

여기서 양 flange 재료의 弹性係數값이 다르므로 최대모멘트에 의한 flange최외측의 휨응력을 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma_f = \frac{E_f}{EI} \cdot \frac{P \cdot 1}{4} \cdot C_1 \quad (3)$$

이식으로부터 도출된 보단면에 대한 應力模式圖는 Fig. 1과 같으며, 가장 큰 휨응력은 식에서 나타났듯이 중립축으로부터 가장 멀리 떨어진 flange부위 즉 보의 최외측 flange부에서 발생함을 알 수 있으며 보 깊이에 따라 직선적으로 변화하는 경향을 띠게 된다. 이때 flange의 탄성계수값이 web의 탄성계수값보다 크기 때문에 응력의 차이가 크게 생기므로 경계부에서 급격히 감소하는 경향을 보여준다. 또 접합한 flange와 web간에는 전단력이 작용하며 이 경우 합판을 web재료로 사용할 경우에는 rolling shear 응력이 발생하게 되고 이는 각 요소의 성질로 부터 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\sigma_r = \frac{V}{2 \cdot d} \cdot \frac{E_f \cdot Q_f}{EI} \quad (4)$$

$\sigma_r$  : Rolling shear stress

$V$  : Vertical force

$Q_f$  : First statical moment of flange in relation to neutral axis

$d$  : Flange-web contact-depth

한편 복합보에서 web의 역할은 가하여진 외

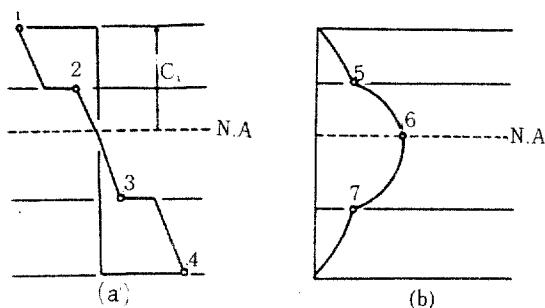


Fig. 1. Normal stress(a) and shear stress(b)  
distribution of composite beams

력에 의해 발생한 전단응력에 대하여 저항하는 것으로 보가 하중을 받을 경우 전단응력이 발생하게 되며 web재료가 剪斷抵抗이 약할 경우 전단응력에 의하여 web부위에서 破壞가 발생하게 된다. 이때 생기는 응력은 식(5)와 같이 표시되며 요소의 성질이 다른 복합보의 경우 역시 각 요소의 성질로부터 다음과 같이 나타낼 수 있으며 그 모식도는 역시 Fig. 1과 같다.

$$\sigma_s = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \dots \dots \dots (5)$$

b : Beam width

V : Vertical shear force ( $= P/2$ )

$Q$  : Statical moment

$\sigma_s$ : Shear stress of web

구성부재의 성질이 다를 경우 식(5)는 각 구성 부재의 성질을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$t$ : Web thickness

$E \cdot Q$ : Weighted statical moment above plane of interest ( $= E_f Q_f + E_w Q_w$ )

보내에 생기는 최대전단응력은 휨응력이 零이 되는 中立面에서 생기며 전단력의 분포양상은 parabolic한 모양으로 된다.

이상의 모든 경우에서 보듯이 각 요소의 탄성계수가 각기 다르기 때문에 휨응력의 보조에 따른 분포양상은 연속적인 직선적 경향으로 변화하지는 않고 전단응력의 분포 역시 연속적인 parabolic한 경우로 변화하지 않을 것으로 생각된다.

중앙집중하중을 받는 단순보의 경우 처짐은 span의 중앙부에서 최대로 일어나며, 이때 모멘트는 최대가 된다.

Table. 1 Maximum calculated bending and shear stress in composite I and box beams.(unit : kgf/cm<sup>2</sup>)

Beam type	Bending stress				Shear stress		
	Stress-1*	Stress-2*	Stress-3*	Stress-4*	Stress-5*	Stress-6*	Stress-7*
A	427.45	119.34	128.14	433.70	17.90	193.45	18.60
B	418.02	141.84	60.91	282.12	13.12	149.57	15.71
C	322.76	76.73	137.56	404.52	12.61	149.20	18.69
D-P	292.81	26.04	25.84	292.03	11.59	64.42	11.55
E-P	483.36	55.33	22.20	403.88	20.98	91.47	14.06
F-P	373.20	20.94	51.95	447.45	12.96	85.88	19.64
D-W	334.05	72.79	83.85	345.80	12.77	73.21	13.57
E-W	308.01	89.97	44.06	264.83	13.07	59.35	9.37
F-W	369.47	57.98	139.76	449.98	13.07	87.92	19.80
G-P	243.98	24.60	24.81	244.51	11.67	62.33	11.72
H-P	252.78	27.19	10.59	216.77	13.16	57.76	9.04
I-P	257.72	20.26	31.27	328.14	11.41	72.25	16.72
G-W	303.64	79.54	79.90	303.93	14.48	75.59	14.48
H-W	277.32	80.52	49.21	230.04	14.20	61.56	10.21
I-W	296.77	39.43	79.26	355.41	12.93	78.38	18.32

\*: The number means each position of composite beams shown Fig 1. P: Particleboard web W: Plywood web

각 보의 형태에 따라 Fig. 1에서 표시된 각 지점에서의 응력치는 Table 1에서 나타난 바와 같다.

최외층 flange에서 발생한 휨응력은 모두 500kgf 이하로 나타났고 flange 자체의 파괴계수 값은 모두 이 응력치를 초과하므로 flange 자체에서 파괴는 일어나지는 않을 것으로 생각되며, 보 실제 시험시에도 flange 자체의 파괴는 발생하지 않았다. 또 본 시험의 조건과 같이 지간이 짧고, 보의 깊이가 상대적으로 깊은 경우 보의 거동을 지배하는 응력은 Burgess (1977)<sup>11)</sup>가 언급한 바와 같이 압축응력일 것으로 생각되며, 실제위치 1의 압축부위에서 큰 응력이 발생하는 보의 최대하중은 크게 나타났으며, 전술한 바와 같이 Box보를 제외하고는 비대칭 구조 특히 압축부위에 두꺼운 부재를 배

치한 경우가 E-P 및 F-P의 경우를 제외하고는 가장 높은 응력치로 인해, 최대하중은 크게 나타난 것으로 사료된다.

한편 보의 각 위치에서의 전단강도는 역시 Table. 1에 나타난 바와 같으며 중립축에서 가장 큰 전단응력(수평전단)이 발생하였다. 수평전단 응력의 크기는 I형 보의 경우 53~92kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다.

파티클보드를 web재로 사용한 경우 수평전단력은 G, E, F형 보의 경우 62~73kgf/cm<sup>2</sup>로, 파티클보드의 전단강도 치인 59.5kgf/cm<sup>2</sup>를 초과하기 때문에 파괴는 web부에서 발생한 것으로 생각된다. D-P, E-P, F-P형 보의 경우에도 보다 파티클보드의 전단강도치를 초과하는 수평전단 응력치를 보여 주었으며, 이 경우에도 web부에서 파괴가 관찰되었으며 web부의 박리는 파티클보드의 박리강도(6.54kgf/cm<sup>2</sup>)보다 web재에 걸리는 압축력이 큼으로 인하여 나타난 결과로 생각된다.

합판을 web재로 사용한 경우 web재의 전단강도는 97.5kgf/cm<sup>2</sup>로 G, H, I보의 경우 61~75kgf/cm<sup>2</sup>, D, E, F형 보의 경우 53~71kgf/cm<sup>2</sup>로 나타나 web재 자체의 전단강도가 큼으로 인하여 수평전단에 의한 파괴는 발생치 아니하였다. 이때 파괴는 web재 상하단에 걸리는 응력이 합판의 압축강도(306.16kgf/cm<sup>2</sup>)보다 크므로 압축응력에 의해 web재의 파괴가 일어난 것으로 생각된다.

Rolling shear의 경우 각 응력치는 20kgf/cm<sup>2</sup> 이하로 나타났으며 이 경우 두께가 비슷한(8.9mm) 나왕합판의 rolling shear강도치(22.9kgf/cm<sup>2</sup>, 平井 등 :1976)<sup>12)</sup> 보다 낮게 나타나 rolling shear에 의한 파괴 양상은 나타나지 않은 것으로 사료된다. Box형 보의 경우 수평전단응력은 전단강도치를 초과하여 web부에서 파괴가 예상 되었으나 한 보의 경우를 제외하고는 접착부의 박리로 인하여 web에서의 파괴는 나타나지 않은 것으로 생각된다.

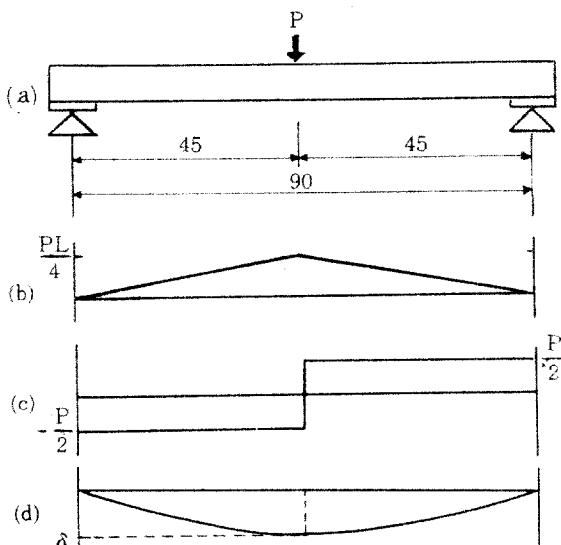


Fig. 2. Diagram of load arrangement of composite beams.

- (a) : Bending test of composite beam
- (b) : Bending moment diagram of composite beam
- (c) : Vertical shear force of composite beam
- (d) : Maximum deflection of composite beam

### 2.3 實測值와 理論值의 最大荷重

보에 가하여 지는 최대 하중은 각 구성요소의 강도적 성질로 부터 추측할 수 있다. 각 요소의 보의 응력을 구하는 식에서

$$\sigma_i = \frac{E_i \cdot C_i}{EI} \cdot M(x) \text{로 부터}$$

$$M(x) = \frac{\sigma_i \cdot EI}{E_i \cdot C_i} \quad (7)$$

$EI$ : Flexural rigidity

$\sigma_i$ : Stress of ith component

$M(x)$ : Applied moment

$E_i$ : Elastic modulus of ith component

$C_i$ : Distance from neutral axis to furthest point of ith component

이 때 최대 모멘트는 중앙집중 하중을 받는 단순보의 경우

$$M = \frac{P}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{P \cdot 1}{4}$$

P : applied load

1 : span

이 되므로

$$\frac{P \cdot 1}{4} = \frac{\sigma_i \cdot EI}{E_i \cdot C_i} \quad (8)$$

$$P = \frac{EI}{E_i \cdot C_i} \cdot \frac{4}{1} \cdot \sigma_i \\ = S_i \cdot \sigma_i \quad (9)$$

여기서

$$S_i = \frac{EI}{E_i \cdot C_i} \cdot \frac{4}{1}$$

이때 응력  $\sigma_i$ 는 각 위치에서 생기는 인장(또는 압축) 응력이므로 그 위치에 있는 보 구성 재료의 인장(또는 압축) 강도 값에 근거를 둔 보의 예상 최대 하중치를 구할 수 있다. 또

$$\tau_i = \frac{1}{b_i} \cdot \frac{EQ}{EI} \cdot V \text{로 부터}$$

$$V = \tau_i \cdot b_i \cdot \frac{EI}{EQ} \quad (10)$$

Q : first statical moment

$\tau_i$  : shear stress

V : vertical shear force

$b_i$  : width of web

전단력  $V = P/2$ 이므로

$$V = \frac{P}{2} = b_i \cdot \frac{EI}{EQ} \cdot \tau_i \quad (11)$$

$$P = 2b_i \cdot \frac{EI}{EQ} \cdot \tau_i \\ = R_i \times \tau_i \quad (12)$$

여기서

$$; R_i = 2b_i \cdot \frac{EI}{EQ}$$

이 때 응력  $\tau_i$ 는 각 위치에서 생기는 剪斷應力이므로 그 위치에 있는 구성 재료의 전단강도 값에 근거를 둔 보의豫想最大荷重値를 구할 수 있다.

구성 web재료의剪斷強度値는 파티클보드의 경우 wood handbook(1974)<sup>6</sup>에서 중밀도 0.59~0.80) 파티클보드의 전단강도값 200~1,800psi 범위에서 중간치인 800psi(56kgf/cm<sup>2</sup>)를 채택하였으며, 합판의 경우에는 I형 보의 web재인 두꺼운 합판의 경우 9mm와 12mm의 2급 나왕합판의 전단강도치의 평균값 97.5kgf/cm<sup>2</sup>, Box형 보의 web재인 얇은 합판의 경우 두께 5.5mm 2급 나왕합판의 강도치인 106kgf/cm<sup>2</sup>를 합板(1976)<sup>7</sup>에서 채택하여 사용하였다.

식(9)과 식(12)으로부터 구한 최대 하중 예상치는 Table. 2에 나타난 바와 같다.

#### 2.3.1 I형의 G-P, H-P 및 I-P형 복합보

파티클보드를 web재료로 한 복합보의 경우 각 위치에서 구한 보의 예상 최대하중에서 가장 작은 값은 web부에서 나타났으며, 따라서 보의 파괴는 web부에서 발생할 것으로 예측되었다. 실제 보의 파괴는 하중점과 지지점 사이에서 지지점에 가까운 곳에서 사선형으로 파괴가 진행되고, 이때 실측 최대하중 값은 예측 하중값보다 약간 높은 하중치를 보여 주었으며, 예측 하중치는 각기 평균 741kgf, 743kgf 및 736kgf으로 나타났다.

따라서 파티클보드를 web 재료로 쓴 보인 경우, 파티클보드의 전단 강도가 보의 최대 하중 성능에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

### 2. 3. 2 I형의 D-P, E-P 및 F-P형 복합 보

수직 LVL을 접합한 구조인 경우에 각각의 예상 최대 하중치는 768kgf, 756kgf 및 787kgf로 나타났으며 이때 최소의 하중치가 나타난 부위는 web 부이며 실제 이론에 따라 파괴된 양상은 D형 보에서 관찰되었고 나머지 보들은

Table. 2 Maximum load bearing capacity of composite beams.(unit : kgf)

Beam type	P-Max-1	P-Max-2	P-Max-3	P-Max-4	P-Max-5	P-Max-6	P-Max-7
A-1	1099.09	3357.75	6604.88	1096.44	801.22	751.68	803.57
A-2	1118.27	3574.65	6222.40	1084.57	827.50	775.39	845.60
A-3	1097.90	3548.71	6365.03	1071.90	834.30	780.36	848.68
A-4	1105.21	3427.64	6800.98	1103.27	809.28	758.71	810.59
B-1	982.80	2636.58	8487.94	1211.59	824.93	760.03	948.29
B-2	913.60	2241.35	12164.81	1320.35	861.68	783.24	1088.03
B-3	883.93	2057.03	12595.54	1354.42	873.71	788.82	1113.58
C-1	1162.44	4362.61	5097.27	1000.03	838.47	785.34	914.84
C-2	1086.67	3975.80	4555.98	924.80	824.97	771.25	908.97
C-3	1143.53	4368.92	4661.11	955.22	837.45	758.01	933.13
D-P-1	1035.51	5100.02	1824.25	991.74	780.53	769.11	786.57
D-P-2	951.54	4047.77	1934.74	981.02	782.73	762.03	778.47
D-P-3	985.73	4320.72	2021.57	1010.57	793.75	774.58	791.31
E-P-1	792.90	3042.52	3253.19	989.54	804.59	759.64	772.97
E-P-2	805.38	3002.53	3163.88	1015.45	818.41	755.22	785.00
F-P-1	1019.13	7591.59	1330.47	820.65	778.42	786.98	809.62
F-P-2	977.23	7097.38	1184.99	765.80	777.49	788.96	813.44
D-W-1	1043.33	3832.67	5462.11	998.95	1559.46	1400.71	1602.16
D-W-2	1052.14	3765.05	6205.57	1038.99	1556.03	1394.98	1556.52
E-W-1	873.49	2583.62	8285.00	1053.67	1619.82	1410.41	1487.70
E-W-2	841.61	2431.22	9239.76	1035.68	1628.90	1407.23	1472.18
F-W-1	1025.56	5275	3775.65	798.19	1443.81	1312.89	1631.47
F-W-2	1069.62	5614.09	4081.61	844.88	1464.09	1338.32	1642.80
G-P-1	1343.94	4340.19	1815.29	1334.20	744.60	736.44	744.90
G-P-2	1351.47	4408.01	1831.13	1345.41	735.81	727.92	736.22
G-P-3	1010.12	4509.14	1966.61	1018.10	762.84	754.55	762.45
G-P-4	1032.34	4711.01	1985.06	1029.10	755.27	747.68	755.44
H-P-1	955.68	3777.80	4524.97	1299.34	760.21	745.89	747.67
H-P-2	938.66	3780.23	3900.71	1225.55	757.49	743.93	746.20
H-P-3	943.67	3736.89	4056.71	1234.18	754.03	740.31	742.42
I-P-1	1079.63	6031.17	1701.74	818.54	738.49	733.81	744.55
I-P-2	1102.63	6446.22	1728.36	826.03	751.43	747.13	758.09
I-P-3	1105.60	6370.34	1762.65	834.23	733.73	729.51	739.60
G-W-1	1101.37	3074.91	5210.75	1094.23	1356.73	1315.05	1358.96
G-W-2	1208.83	3076.14	5305.73	1206.70	1363.14	1320.56	1363.81
G-W-3	1056.78	3776.54	6701.27	1061.38	1419.31	1380.77	1417.70
G-W-4	1080.36	3934.40	6837.77	1080.36	1357.51	1324.00	1357.51
H-W-1	982.85	2810.51	7231.46	1015.37	1395.50	1335.31	1362.11
H-W-2	954.92	2784.80	6947.89	973.88	1423.54	1363.05	1391.75
H-W-3	1014.71	2788.26	10540.95	1192.52	1430.09	1358.63	1373.13
I-W-1	1322.94	7541.26	6191.67	970.81	1383.80	1371.81	1427.23
I-W-2	1296.82	7043.78	6355.82	974.70	1375.24	1361.86	1412.87
I-W-3	1292.92	7115.95	6200.21	961.30	1315.20	1303.33	1351.88

P-Max: Expected maximum load based on each component properties. The number means each position of composite beams shown Fig. 1. P: Particleboard web W: Plywood web

압축부에서 박리 및 flange와 web joint부의 접착층의 박리로 인하여 web부의 파괴양상은 관찰되지 않았다. 예상최대 하중치는 F형 보의 경우이며 실제 측정값도 F형보가 가장 크게 나타났다.

따라서 파티클보드를 web 재료로 한 복합보의 경우에는 web재의 전단 강도가 보의 최대 하중성능에 영향을 미치므로, 보다 전단 강도가 큰 파티클보드를 사용하고, flange-web접합시 보다 완전한 접합을 이루도록 하고, 전술한 바와 같이 본 시험의 경우와 같은 경우, 압축응력에 보다 더 크게 저항할 수 있는 부재의 배치가 중요하며, 상부 flange 두께를 두껍게 하는 것이 보다 효율적이라 생각된다.

### 2.3.3 I형의 G-W, H-W 및 I-W형 복합보

예상된 보의 최대 하중치는 역시 보의 압축응력에 근거를 둔 경우의 것으로 나타났으며, 각기 1,110kgf, 984kgf, 968kgf였다. 이 경우에는 파티클보드를 web 재료로 한 경우 web재에서의 파괴예측과는 달리 G와 H형 보의 압축부에서 파괴를 예측할 수 있으며, 특히 G와 H형 보인 경우 flange 표면의 찢어짐으로 인한 강도저하현상이 일어났다. 이 경우에도 역시 예상최대치는 H가 I형보다 크나, 압축부에서 파괴로 인하여 실제 하중치는 적게 나타났다. 전술한 바와 같이 두꺼운 재료를 flange 상부에 배치하는 것이 효과적이라 생각된다.

### 2.3.4 I형의 D-W, E-W 및 F-W형 복합보

최소의 예상치는 E형보의 경우 압축부위에서 예상되었으며, 실제 파괴양상도 역시 압축으로 인하여 표판이 터지면서 보의 압축 부위에서 합판이 갈라짐 현상이 발생하였다. 또 D와 F형 보인 경우 인장부에서 파괴가 예측되었으나 joint부의 박리로 인한 현상이 주로 나타났다. 예상최대 하중치는 각기 1,018kgf, 857kgf, 821kgf이며, 다른 형태의 보와 마찬가

지로 압축부위에 두꺼운 재료를 댄 보의 예상최대 하중치가 가장 적었음에도 불구하고 최대의 실측 하중치를 보인 것은 보 구성시 시간이 짧고, 보 깊이가 상대적으로 깊은 경우 보에 미치는 영향은 Burgess(1970)<sup>11)</sup>가 지적한 바와 같이 압축응력의 영향이 클 것으로 생각되며 이로 인해 압축 부위에 보다 두꺼운 재료를 배치한 F구조가 실제 최대 하중치가 가장 크게 나타난 것으로 사료된다.

### 2.3.5 Box형의 A, B 및 C형 복합보

Box형 보의 경우 측정된 예상 하중치로 인한 파괴 부위는 web 부이며 이때 최대 하중치는 766kgf, 777kgf 및 780kgf로 예측되었으나, 실측치는 1,000kgf를 상회하는 높은 값을 나타내었으며, 이는 web 재로 사용된 합판의 전단 강도치가 과소 평가된 결과로 생각된다. 예상 최대 하중치는 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며, flange와 web 접합부 및 합판 표층의 박리로 인한 파괴양상을 고려한다면 접합이 완전할 경우 파괴는 A형 보의 경우와 같이 전단으로 인한 파괴가 일어날 것으로 생각된다.

대체적으로 보의 최대 하중의 크기는 상부에 두꺼운 flange를 배치한 구조, 대칭구조, 하부에 두꺼운 flange를 배치한 구조의 순으로 나타났으며, 특히 대칭구조 및 두꺼운 flange 부재가 하부로 간 경우에는 압축부위에서 찢어짐 및 박리 현상으로 인한 파괴의 양상이 나타남을 보여주었다.

따라서 시간이 짧고 보의 깊이가 깊은 경우 압축응력에 저항 할 수 있는 부재 구성 방법이 고려되어야 하며, 본 연구의 경우에는 상부에 두꺼운 flange재를 배치하는 것이 보다 효율적임을 알 수 있었다. 또 보의 형태상에 있어서 수직 LVL을 web재에 접합한 경우가 web재를 흡가공하여 수평 LVL로 접합한 경우보다 더 유리함을 알 수 있었다.

소재의 경우 최대 하중치는 800kgf로 나타났으며 복합보의 최대 하중치는 모두 소재의 최

대 하중치를 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 Johnson(1976)<sup>2)</sup>, Koch와 Burke(1985)<sup>3)</sup>등에 의해 밝혀진 바와 같이 복합보의 성능은 저등급 소재의 성능보다 더 우수함을 알 수 있으며 본 실험 결과와도 잘 일치하는 현상으로 사료된다.

파티클보드를 web 재료로 한 복합보인 경우 보의 최대하중 예측의 기준이 되는 것은 파티클보드의 전단강도이며 얇은 합판을 사용한 Box형 보인 경우에도 마찬가지로 전단강도가 최대하중 예측의 기준됨을 알 수 있었다. 합판을 web 재료로 한 경우 전단강도에 의한 예측보다는 압축강도에 근거를 둔 예측이 가능하였으며 이는 합판의 전단 강도 값( $77.5 \text{kgf/cm}^2$ )이 파티클보드 ( $56 \text{kgf/cm}^2$ )보다 높은 결과로 인하여 나타난 양상으로 풀이된다.

또 흄가공한 구조에서 압축부 flange 표면의 갈라짐 현상은 합판을 web재로 한 경우 G, H 구조에 나타났으며 파티클보드를 web재로 한 경우 H 구조에서 나타난 바, 이는 본 시험의 경우 보에 미치는 응력의 영향은 압축응력으로 인한 영향이 클 것으로 생각되며, 따라서 삽입깊이를 상부 flange 깊이에 대하여 0.15배 이하로 하여야 이러한 현상을 방지할 수 있는 것으로 생각된다.

### 3. 結 論

- 보의 最大荷重은 동일 구조에서台板을 web 재로 한 보가 파티클보드를 web재로 한 보보다 크게 나타났으며 I형보에서는 대칭단면보다는 두꺼운 flange를 上부에 배치한 보의 最大荷重이 크게 나타났다. Box형 보의 경우에는 대칭단면인 A형 보에서 가장 큰 하중값을 보여 주었으며 垂平 LVL을 flange로 사용한 보보다 垂直 LVL을 flange로 사용하여 제조한 보의 最大荷重이 더 크게 나타났다.

- 보를 구성하고 있는 각 부재의 강도치에

근거를 두고 계산된 最大荷重 값으로부터 보의 파괴하중을 예측할 수 있었으며 이때 최소의 파괴하중을 나타낸 보의 각 要素의 위치에서 보의 破壞를豫測할 수 있었고 실제 실험결과와 잘 일치하는 경향을 보여주었다.

- 본 연구에서 채택한 보의 파괴는 급속히 이루어졌으며, 破壞樣相은 그들 보의 형태 및 web재료에 따라 달리 나타났다. 파괴 형태는 web부의 剪斷破壞와 剥離, flange부의 개열과 인장 flange부의 휨에 의한 파괴 그리고 접착층의 剥離 현상으로 大別되었으며 각 요소에서 두가지가 복합된 파괴 형태가 많이 관찰되었다.

- 복합보의 構造的 性能에 미치는 영향인자는 각 요소의 性質에 根據를 둔 최대 하중치의 예측에서 파티클보드를 web재로 사용한 경우의 전단강도로서, 전단강도가  $80 \text{kgf/cm}^2$ 를 상회하는 파티클보드를 web재로 채택하였을 경우 보의 파괴는 web부 이외의 부분에서 일어날 것으로 추정된다. 합판을 web재로 사용한 경우 흄가공한 보에서는 flange재의 압축강도가, 수직 LVL을 접합한 보에서는 web재의 압축강도가 그리고 Box형 보에서는 합판의 전단강도가 각기 영향인자로 나타났다.

- 본 시험의 조건과 같이 빔 길이에 대한 span길이의 비가 작고, 빔의 깊이가 깊고, 처짐이 작게 일어날 경우 보 設計時 요구되는 응력은 壓縮應力이며, 이 압축응력에 저항하는 設計方式으로 상부 flange의 두께를 두껍게 하여 보의 抵抗最大荷重을 증대시킬 수 있다고推定되었다.

### 參 考 文 獻

- Burgess, H. J. 1970. Introduction to the design of ply-web beams. Information Bulletin E/IB/24. Timber Research and Development Association. Hugenden Vally.

- High Wycombe, Bucks.
2. Johnson, J. A., G. Ifju and H. W. Rogers. 1975. The performance of composite wood/particleboard beams under two-point loading. *Wood and Fiber.* 8(2): 85-97.
  3. Koch, P. and E. J. Burke. 1985. Strength of fabricated joists with flanges of minimally machined whole or half stem of lodge pole pine. *Forest Prod. J.* 35 (1): 39-47.
  4. Percival, D. H., M. O. Hunt, Q. B. Comus and S. K. Suddarth. 1977. Pilot test of four 16-foot, wood-base composite garage headers. *Forest Prod. J.* 27(9): 45-48.
  5. Timoshenko, S. P. and D. H. Young. 1968. *Elements of strength of materials.* 5th edition. Prentice Hall. 377pp.
  6. U.S. Forest Products Lab. 1974. *Wood Handbook.* U.S.D.A. Agr. Handbook No. 72
  7. 日本合板工業組合聯合會. 1976. 新版 合板. 横書店. 433pp.
  8. 吳世昌, 李弼宇. 1991. 斷面構成要素에 관한 木質複合 I 및 Box形 보의 構造的 性能 分析(I)－부재剛性과 처짐의 計算 및 解析－. 목재공학 19(2): 40-55