

積層木質材(Glulam)의 中立軸과 強度的 性質에 관한 研究*¹

朴 憲*²

Study on the Neutral Axis of Glulam and its Mechanical Properties¹

Heon Park*²

SUMMARY

In this study, thick. 24mm glulams were composed of thick. 3, 4, 6, 8mm Larch laminas to study that the theoretical analysis and the experimental analysis regarding the location of neutral axis of the glulams were compared, and to study on the effect of location of neutral axis on mechanical properties of glulam.

The variation of location of neutral axis after proportional limit(or elastical limit) was studied to offer basic data to make the better composition method of glulam.

The result obtained can be summarized as follows :

1. The theoretical neutral axis was 0.547 in solid wood, and also 0.547 in glulams because glulams were composed of only Larch laminas.
2. In solid wood, the deviation of the theoretical and the experimental neutral axis location was 0.1%, But in glulams, the deviation from -12.2% to +7.8% showed nonuniform pattern but no large deviation. Because laminas was only of Larch and so the mechanical properties of laminas were monotonous.
3. The neutral axis exerted no influence on the elasticity of glulam, which meant that the maximum shear strength in the neutral axis showed no influence on elasticity limit.
4. The only minutely lower elasticities of glulam than that of solid wood were shown. This was because of influence of glue lines of glulam on the elasticities.
5. The failure type of glulam was wholly simple tension failure and the horizontal shear failure near neutral axis was not taken place, which was that glue line was complete in bonding and the strength of the lamina was not various but uniform.

*1. 接受 1990年 7月 20日 Received July 20, 1990.

본 논문은 1989년 산학협동재단의 지원을 받아 연구되었음.

*2. 건국대학교 자연과학대학 College of Natural Sciences, Konkuk University, Chungju 380-150, Korea

6. The ratio of tension strain(ϵ_t) / compression strain(ϵ_c) initially showed uniform level. After the elasticity limit, the ratio was increased with the flow of time and so the tension strain was more increased than compression strain. So this proved *tension lamination* technique, which is that the mechanical properties of glulam could be improved, if the lamina of more superior strength would be added on the bottom side of the glulam.

1. 緒 論

세계적인 木材資源의 減少趨勢는 이미 여러 학자들이 지적한 바와 같이 人口增加와 生活水準의 向上으로 인한 木材의 需要增加에 따른 현상으로서 앞으로 그 趨勢는 더욱 악화되리라 判斷된다.

이에 따라 木材사용 및 그 활용에 있어서의 그 기술을 좀 더 향상시킴으로써 감소하는 木材資源을 效率의으로 이용하고자 多角的인 노력이 행하여지고 있다.

이러한 趨勢를 감안할 때 再構成(Reconstitution) 木質材는 木材의 效率의 사용이라는 側面에서 重要한 位置를 차지한다고 하겠다.

再構成 木質材는 옹이, 부후, 목리, 이방성 등과 같은 木材의 天然의 다양성을 抑制하고 상대적으로 構成되는 木質材料의 比重, 強度 등의 物理, 機械的 性質을 豫測하여 構成, 製造함으로써 木質材料의 工學的 및 建築的 利用에 重要한 役割을 하고 있다.

그중에서도 특히 積層木質材(Glulam ; GLT ; glue laminated timber, or LVL : laminated veneer lumber)는 再構成 木質材의 代表적인 경우이며 外國에서는 構造材로서 많은 利用과 開發이 進行되어 왔으며, 國內에서도 일부 木材 회사에서 이러한 제품에 관심을 갖고 있으며 實驗 中에 있는 것으로 알려져 있다.

積層木質材(glulam ; GLT or LVL)는 1950年代 및 1960年代의 研究結果를 基礎로 하고 있으며, 초기에는 技術的인 면이 취약하여 사용하기에는 制限이 있었다.

그 이후 이에 대한 研究가 활발하지 못하다가

최근에 이르러 木材資源의 質的인 減少와 他 建築材料와의 競爭力增加 등의 이유로 構造用 積層木質材(GLT or LVL)의 필요성과 더불어 製材木, 板材 등과 같은 木質材料의 機械的 性質을 自動으로 分類할 수 있는 裝備의 開發(Machine-stress rating method)과 數值解析에 따른 應力解析 技術이 發達하여 構造用 積層木質材(GLT or LVL)의 設計技術이 向上되었다.

따라서 本 研究는 構造用 積層木質材(GLT or LVL)의 設計에 관한 理論的 研究를 바탕으로 實驗을 실시하였고 그 資料를 分析하였다.

一般材料에 비하여 複合積層體의 長點은 木質材料의 強度 및 剛性의 방향별 特性을 조화시켜 構造物의 荷重方向과 일치시킴으로써 개개의 라미나가 갖고 있는 본래의 異方性을 감소시킬 수 있을 뿐 아니라 最大 強度 效果를 얻을 수 있다.

그런데 이러한 複合積層體는 대체로 휨하중을 받는 상태에서 사용하기 때문에 中立軸의 位置에 대한 豫測은 구조물의 設計者가 고려해야 할 重要한 내용이라고 할 수 있다.

그런데 일반적으로 異方性物質의 中立軸은 等方性物質과는 다르게 壓縮 彈性 係數와 引張 彈性 係數가 다르기 때문에 그 中立軸은 물체의 中間부위에 均형있게 位置하지 않는다.

이와같은 내용은 積層木質材의 설계에 있어서 重要한 點으로 判단된다. 이러한 中立軸에 관한 理論的 事實을 제시하면 다음과 같다.

壓縮 彈性 係數와 引張 彈性 係數가 각각 다른 보(beam)가 휨하중을 받으면, 中立軸의 位置는 Fig. 1에 나타난 點線으로 기록할 수 있다. 그림에서 h_c 와 h_t 는 각각 壓縮部位의 높이, 引張

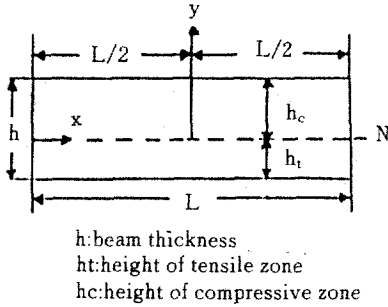


Fig. 1. Location of Neutral Axis

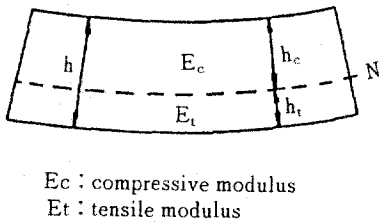


Fig. 2. Neutral axis in unidirectional beam

部位の 높이를 의미한다.

보 (beam)의 中立軸의 位置에 나타난 힘의 分布는 다음과 같다.

$$\sum Fx = \int_{-ht}^{hc} \sigma \cdot dy = \int_{-ht}^0 \sigma_t \cdot dy + \int_0^{hc} \sigma_c \cdot dy = 0 \dots\dots\dots (1)$$

Kim(10)은 引張 彈性 係數(Et)와 壓縮 彈性 係數(Ec)가 서로 다른 물체의 경우 그 물체에 나타나는 中立軸의 位置에 관한 分析을 소개하였다. 그 내용은 다음과 같다.

(1)식으로부터

$$\sum Fx = \int_{-ht}^0 -\frac{y}{\rho} \cdot Et \cdot dy + \int_0^{hc} -\frac{y}{\rho} \cdot Ec \cdot dy = 0 \dots\dots\dots (2)$$

이 방정식을 적분하고 간단히 하면 다음과 같다.

$$ht^2/hc^2 = Et/Ec, \quad ht/h = \sqrt{Ec}/(\sqrt{Et} + \sqrt{Ec}) \dots\dots\dots (3)$$

위 식을 근거로 하여 多層積層體의 中立軸의 位置 역시 計算해 낼 수 있으며 그 관계식은 지면 관계로 생략한다.

이와 같은 이론적 근거를 기준으로 하여 본 연구에서는 일정규격의 판재를 이용하여 多層積

層材인 積層木質材(GLT or LVL)를 구성 제조하고 각 Lamina 部材에 의해 計算된 中立軸의 이론적 位置와 구성제조된 積層木質材(GLT or LVL)의 實驗상의 中立軸의 位置를 조사하여 그 값을 상호 비교함으로써 中立軸의 位置가 積層木質材의 강도적 성질에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

더우기 비례한계 혹은 탄성한계 이후의 中立軸의 位置 변이가 어떻게 변화하는가를 조사하고 이를 근거로 하여 차후의 積層木質材의 효과적 구성에 기초가 되는 자료를 제공하였다.

2. 研究 史

積層木質材(GLT or LVL)는 1900년대에 보의 제조에 사용된 이래 연구가 계속되어 1940년대에 미국에서 Sitka spruce 단판을 供試材料로 하여 고강도의 목질로 된 비행기 部材를 제조하기에 이르렀으며, 그 당시에 이미 積層木質材의 사용이 경제적인 면에서도 합리적인 것으로 인정되었다.

더우기 그 이후 양질의 원목공급이 점차 어려워짐에 따라 積層木質材의 인식이 새로워졌을 뿐만 아니라 고등급의 소재대신으로 사용됨에 따라 경제적인 면에서도 잇점을 갖게 되었다.

積層木質材의 연구의 대한 조사를 실시한 내용을 참조해 보면 Luxford(1944)는 Sitka spruce를 供試材料로 하여 제조한 積層木質材와 소재의 강도적 성질을 비교한 결과 동등한 수준의 결과를 보였다고 발표하였으며, Preston(1950)은 供試材料로 사용한 veneer의 두께가 얇을수록 積層木質材의 強度가 향상된다고 보고하였다.

또한 그는 積層木質材의 제조시 베니아의 압착으로 인하여 제품의 비중이 증가되는 데 이러한 비중은 증가에 따라 제조된 제품의 강도적 성질이 향상되며, 그 외에도 단판절삭시 발생하는 單板割裂을 접착제가 보완해 줌으로써 강도적 성질이 향상될 수 있다고 발표하였다.

Koch(1973)는 Douglas-fir 및 Southern pine 을 사용하여 積層木質材를 제조하고 동일한 크기의 제재목과의 원목 이용율(수율)을 비교한 결과 50% 이상의 향상된 수율을 얻을 수 있다고 발표하였고, Bohlen(1975)은 Douglas-fir를 供試材料로 積層木質材를 제조하고 plant와 joist 방법으로 수평전단 시험을 실시한 결과를 제재목과 비교하였으며, Braun(1977) 등은 일정두께의 積層木質材를 소형보의 引張部材로 사용함으로써 보의 강도가 10~20% 향상될 수 있음을 보고하였다.

Tichy(1978) 등은 資源의 감소와 이에 따른 원자재의 가격상승으로 資源의 효과적인 활용에 관심이 집중되고 있다는 사실을 지적하면서 말구죽경이 4~8in.인 소경의 lodgepole pine 을 제재하여 얻은 제재목을 積層하여 積層木質材로의 이용을 시도하였으며, Youngquist(1979) 등은 積層木質材의 생산성 및 시장성에 대하여 조사하여 그 가능성을 발표하였다.

Marx(1982)는 4개의 部材로 구성된 積層보의 휨 強度에 대하여 조사하고 특히 引張部材의 재질과 部材의 폭 등의 영향인자를 여러가지 내용별로 변경하여 그 결과를 조사하였다.

Jung(1982)은 단판의 기계적 성질을 非破壞試驗으로 測定한 후 이를 근거로 단판을 구성하고 積層材를 만든 다음 그 기계적 성질을 조사하여 예측된 강도적 성질과 비교하는 實驗을 실시하였다.

Laufenberg(1984) 등은 積層木質材에 補强材料로써 합성섬유를 구성하여 제조하고 그 강도적 성질을 조사하였으며 또한 경제적 가능성에 대하여 발표하였으며, Bodig(1986) 등은 積層木質材를 외장용으로서의 사용에 대하여 연구 조사한 바 있다.

Kim(1982) 등은 Carbon fibre/epoxy 複合의 層體를 이용한 彈性的 이방성 분석이라는 논문을 발표하고 異方性材料를 이용한 積層體의 구성시에 발생하는 중립축의 位置에 대하여 보고하였다.

Hilson(1986) 등은 積層보의 처짐을 예측하여 計算할 수 있는 數值解析 모델을 提示하였으며 效果的인 보의 積層構成 方案에 대한 可能性을 發表하였다.

한편, 국내에서는 木材資源을 주로 수입에 의존하고 있는 우리나라의 실정에 비추어 볼때 木材資源을 효과적으로 활용한다는 측면에서 積層木質材에 대한 연구가 필요하나 아직 그다지 활발하지 못하며 이에 관계하는 논문을 별로 보고된 바 없으나, 오히려 국내 일부 木質材 생산 기업에서 積層木質材의 생산에 관심을 갖고 實驗 중에 있는 것으로 알려져 있다.

이상의 국내외 연구를 살펴볼 때 積層木質材에 관한 연구가 다양하게 진행되어 왔음을 알 수 있으나, 이들 연구내용들은 일부를 제외하고는 단순한 응용 實驗에 그친 것으로 판단된다.

본 연구에서는 보다 기초적인 기본이론을 바탕으로 체계적으로 이론적인 내용을 전개하고자 하며 이를 바탕으로 더욱 발전된 연구내용이 차후 진행되도록 하고자 하였다.

3. 材料 및 方法

3.1 供試樹種

本 研究에서는 落葉松(Larch; Larix leptolepis gordon)을 供試수종으로 하며 忠北 槐山郡 佛井面에 소재하는 본 대학 연습림에서 비교적 수간이 통직하게 잘 발달하고 생장이 충실한 20년생 입목 10본을 선정하여 1985년 10월에 벌채하여 天然乾燥시킨 原木을 供試木으로 하였다.

3.1.1. 供試單板

供試單板은 供試原木을 길이 45cm로 횡질한 다음 두께 3mm, 4mm, 6mm, 8mm로 제재하여 사용하였으며, 폭은 共히 3cm로 하였다. 實驗置의 오차를 줄이기 위하여 용이를 포함시키지 않았고 髓(pith) 역시 제외시켰다.

3.1.2. 供試單板의 乾燥

천연건조된 供試單板은 벌채 후 원목상태의 방치기간이 오래된 관계로 접착조건에 맞도록 7~8% 含水率 條件으로 乾燥되어 특별한 건조조작이 필요없었다.

3.1.3. 積層用 供試乾燥單板의 選別

건조된 단판중에서 그 재면의 상태가 양호한 것을 선별하여 사용하였으며, 특히 두께가 일정하지 않은 것과 재면에 異物質이 있는 것 등은 제외하였고, 그외에 積層接着用 단판으로 不適切하다고 판단되는 것은 사용하지 않았다.

3.1.4. 接着劑

積層用 接着劑는 에폭시수지 접착제를 사용하였다. 사용된 접착제 및 경화제의 성상은 다

음과 같으며, 접착제와 경화제의 혼합비율은 중량비로 100 : 80으로 하였다.

5) 引張 및 壓縮 試驗片 제조

낙엽송의 引張 및 壓縮 彈性係數를 조사하기 위하여 각각의 시편을 KSF 2206 및 2207에 의거, 압축 및 인장 시편을 40개, 35개를 제작하여 사용하였다.

3.2 實驗方法

3.2.1 積層木質材의 製造

製材 및 乾燥過程을 거쳐서 준비한 낙엽송 단판을 Table 2와 같은 방법으로 구성하여 두께 24mm의 積層 木質材를 제조하였으며, 素材도 같

Table 1. Properties of resin and hardener

Properties	Resin	Hardener
Colour	cream	yellow to amber
Form as supplied	viscous epoxy resin	honey-like, slightly alkaline liquid
Viscosity at 25°C (Brookfield viscometer)	30,000-50,000cp	25,000-40,000cp
Specific gravity	1.20	0.92
Flash point	210°C	>240°C

Table 2. Compositions of glulam

Type	Number of lamination	Glulam depth(mm)	Veneer thick.(mm) & Glulam compositions		Repli.
			Bottom	Top	
C*	1	24	24		5
3-1	3	24	8, 8, 8		5
4-1	4	24	6, 6, 6, 6		5
5-1	5	24	6, 6, 4, 4, 4		5
5-2	5	24	6, 6, 6, 3, 3		5
6-1	6	24	4, 4, 4, 4, 4, 4		5
6-2	6	24	3, 6, 6, 3, 3, 3		5
7-1	7	24	4, 4, 4, 3, 3, 3, 3		5
7-2	7	24	3, 3, 4, 4, 4, 3, 3		5
8-1	8	24	3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3		5

C* : control(素材)

은 두께로 준비하여 Control으로 사용하였다.

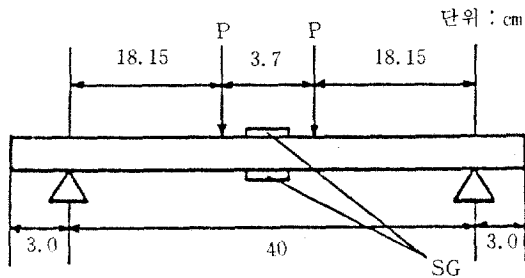
Table 2와 같이 구성된 부재들을 한면에 1.5g/cm²의 Epoxy 수지를 도포한 후 크램프로 조여 木材組織이 破壞되지 않고 接着이 가능한 最大 壓力을 가하여 豫備接着을 시도한 후 가장 적합한 條件의 壓力인 10kg/cm²을 가하였다.

압력을 가한 후 室温 20℃에서 24시간 硬化시킨 후 壓搾을 解除하여 積層木質材를 제조하였다.

3.2.2 製造된 積層木質材의 휨강도 및 變形率 調査

상기와 같은 방법으로 제조된 積層木質材 및 소재를 일정 온도와 습도조건에 1개월 이상 방치하여 平衡狀態가 되도록 한다음 마무리 작업으로 연마(sanding) 작업을 하였다.

양면 연마가 완료된 시편은 상하 양면중앙에 strain gauge를 부착하고 이를 strain meter에 연결하였다. strain 測定이 준비된 시편을 Fig. 3과 같이 材料萬能 試驗機에서 하중속도 0.5mm/min으로 휨 하중을 가하면서 上面 壓縮 變形率과 下面引張 變形率을 조사하였다.



SG : strain gauge

Fig. 3. Direction of load

조사한 變形率중 下面 引張變形率(ϵ_t)/上面 壓縮變形率(ϵ_c) 비가 一定 수준의 값을 나타내는 부분을 탄성한계로 보고 이 탄성한계 내에서의 變形率 比를 아래식에 代入하여 ht/hc 즉, 中立軸의 實驗치를 계산하였다(h는 積層木質材의 전체 두께이며, ht와 hc는 각각 引張변형 부위 및 壓縮변형 부위의 높이를 의미한다).

또한 계속 하중을 가하여 파괴시의 휨 파괴계

수 및 탄성계수 등을 조사하였다.

$$E_c = (ht/hc)^2 \cdot E_t$$

$$= (-\epsilon_t / \epsilon_c)^2 \cdot E_t$$

3.2.3 引張 및 壓縮 彈性係數 測定과 中立軸의 이론치 조사

준비된 引張 및 壓縮 試驗片을 材料萬能 試驗機로 引張 및 壓縮 시험을 실시하여 각각의 彈性係數를 조사하였다.

이들 각각의 탄성계수 값을 이용하여 다음식으로 中立軸을 計算하고 이를 理論值로 활용하였다.

$$hc^2/ht^2 = E_t/E_c,$$

$$ht/h = \sqrt{E_c / (\sqrt{E_t} + \sqrt{E_c})}$$

3.3 資料分析

本 實驗에서는 引張 및 壓縮試驗에서 얻어진 引張 彈性係數와 壓縮 彈性係數를 利用하여 理論值 中立軸의 位置를 計算하였고, 또 積層木質材 및 素材(control)의 上面 및 下面의 變形率을 휨 하중을 가한 상태에서 조사한 다음 이를 계산식에 代入하여 실제 中立軸의 位置를 결정하였음은 위에서 서술한 바와 같다.

이와같이 하여 얻은 理論值와 實驗值의 中立軸를 상호 비교하여 분석하였으며 또한 이들 中立軸의 位置가 強度的 性質에 미치는 影響을 조사하기 위하여 휨강도의 破壞係數와 彈性係數를 조사하여 中立軸의 位置와 強度的 性質과의 關係를 分析하였다.

더우기 비례한계 이후의 中立軸의 位置變移가 어떻게 변화하는가를 조사하고, 이를 근거로 하여 차후의 積層木質材의 效果의 構成에 기초가 되는 자료를 제공하고자 하였다.

4. 結果 및 考察

4.1 素材 및 積層木質材의 中立軸의 理論值

引張試片과 壓縮試片을 材料萬能 試驗機에서 荷重速度 0.5mm/min으로 引張 및 壓縮 彈性係

數를 조사하고 이를 이용하여 中立軸을 계산한 결과 ht/h 값이 0.547이었다.

즉 압축탄성계수가 인장탄성계수보다 그 값이 높게 나타난 결과이다. 일반적으로 이방성 물질인 素材의 경우 최대 인장강도 값이 최대 압축강도값보다 높다고 밝혀져 있으나, 탄성계수의 경우는 오히려 그 반대의 값을 보이고 있음을 일부 학자들은 보고하고 있다.³⁴⁾ 특히 이들은 낙엽송의 경우 압축탄성계수가 인장탄성계수보다 높다고 발표하였으며, 본 연구와 일치하는 내용을 보고하고 있다.

이때 ht 는 인장荷重을 받는 부분의 두께, 즉 보의 아래면에서부터 中立軸까지의 높이를 의미하며, h 는 보의 전체 두께를 의미한다. 즉 ht/h 값이 0.5이상인 경우에는 中立軸의 위치가 보의 중앙보다 윗쪽에 있으며 0.5이하인 경우에는 中立軸의 위치가 보의 중앙보다 아래쪽에 있음을 의미한다.

따라서 ht/h 의 理論值의 값이 0.547이라는 것은 보의 中立軸이 위에 있다는 것을 의미한다. 물론 이들 값은 彈性係數를 이용한 것이므로 彈性限界 內에서의 中立軸의 위치를 뜻하는 것이다.

積層木質材의 경우도 각 구성 lamina 부재로 사용한 공시수종이 同一樹種인 낙엽송으로 제작한 결과 中立軸의 理論값인 ht/h 가 0.547로 동일하였다.

4.2 素材 및 積層木質材의 中立軸의 理論值와 實驗值의 比較 및 機械的 性質의 分析

中立軸의 實驗值는 上面 壓縮 變形率과 下面 引張 變形率을 調査하고 이를 이용하여 계산한 결과 Table 3과 같았으며 계산에 이용한 變形率은 比例限界 內에서 일정하게 유지되는 범위의 變形率 값을 사용하였다.

Table 3에서 Control(素材)의 理論值와 實驗值의 차이를 보면 ht/h 의 偏差率이 0.1%로서 거의 차이가 나지 않은 것을 알 수 있다. 따라서 素材의 경우 理論值에 의한 中立軸의 豫測값이 實驗值의 값과 거의 같은 수준임을 알 수 있었다.

즉 素材의 경우에는 理論值에 의한 中立軸의 豫測이 가능함을 의미한다. 그러나 積層木質材의 경우는 偏差率이 -12.2%에서 +7.8%까지 다양하게 나타남을 알 수 있다.

이들 편차률의 값 중 -값은 理論值 값보다 實

Table 3. Experimental and theoretical neutral axis, and mechanical properties in bending of glulam and control

Type	Experimental (ht/h)	Theoretical (ht/h)	Deviation (%)	Elasticity (kgf/cm^2) in bending	Maxi. Strength (kgf/cm^2) in bending
C*	0.546	0.547	- 0.1	125000	850
3-1	0.502	0.547	- 8.2	129000	1130
4-1	0.48	0.547	-12.2	103000	956
5-1	0.590	0.547	+ 7.8	97800	966
5-2	0.522	0.547	- 4.5	122000	1120
6-1	0.486	0.547	-11.1	107000	1020
6-2	0.496	0.547	- 9.3	82500	790
7-1	0.482	0.547	- 6.5	102000	997
7-2	0.526	0.547	- 3.8	107000	947
8-1	0.51	0.547	- 6.7	120000	946

C* : control(素材)

驗値가 작은 경우 즉 中立軸의 位置가 理論値의 경우보다 낮은 경우를 의미하며, +값은 ht/h의 實驗値가 理論値보다 큰 것을 뜻한다.

積層木質材의 경우 5-1 Type을 제외하고 대부분의 實驗値가 理論値보다 작은값을 보이고 있어 -값을 나타낸다. 이것은 이론치의 경우보다 실제 中立軸이 낮은 位置에 있음을 의미한다.

이러한 理論値와 實驗値간의 偏差率 값은 보의 構成 方法에 따라 일정한 경향이 없음을 보이고 있는데 이는 構成 lamina 部材의 樹種이 單一 樹種인 관계로 構成部材간의 機械的 性質의 차이가 뚜렷하지 않았음을 나타낸다.

따라서 積層木質材의 中立軸의 位置에 대한 보다 명백한 결과를 밝히기 위해서는 기계적 성질이 차이가 보다 뚜렷하게 나타나는 異樹種間의 構成을 考慮해야 할 것으로 판단된다.

본 실험에서는 實驗値에 의한 中立軸의 位置를 구하고 이들 中立軸의 計算값(ht/h)에 實際 두께의 값을 곱하여 실제 두께 중에 中立軸의 位置와 접착층(glue line)의 일치여부를 조사하여 이들 관계 즉 中立軸의 位置에서 발생하는 最大 剪斷荷重이 접착층에 미치는 영향을 조사하여 휨 彈性係數 값에 미치는 影響을 比較하였으나 이 역시 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다.

즉 本 實驗에서는 中立軸의 位置가 製造된 보의 휨 彈性係數에 影響을 주지 않았으며, 이는 中立軸에 나타나는 最大 剪斷荷重이 彈性限界 내에서는 큰 影響을 나타내지 않음을 보여 주고 있는 것으로 사료된다.

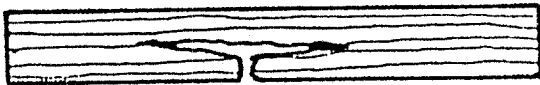


Fig. 4. Failure type (simple tension) of glulam in bending with span parallel to grain

本 實驗에서 試驗片을 끝까지 破壞시켜 본 結果 Simple tension 파괴형태(Fig. 4)가 대부분이었으며, 中立軸 근처의 剪斷破壞는 發生하지 않았다.

즉 積層材에서 각 部材間的 接着이 완벽하고

同一 樹種으로 構成한 關係로 어느 部材(lamina)가 특히 취약한 부분이 없었으므로 中立軸에서 발생하는 最大 剪斷荷重으로 인한 接着層의 破壞가 전혀 발생하지 않았다.

그러나 Table 3에서 積層木質材의 彈性값이 Control(素材)보다 낮은 값을 보이고 있는데 이것은 積層木質材의 경우 接着層의 存在가 彈性값에 미세하나마 影響을 주는 것으로 判斷된다.

그러나 파괴시에 剪斷破壞가 발생하지 않은 것으로 보아 接着層이 많은 것이 彈性값에는 영향을 주나 木材破壞 현상에 결정적인 作用을 한다고 볼 수는 없었다.

이것은 最大 強度값에서 그 결과를 알 수 있는 바 積層木質材의 경우 대부분이 素材보다는 最大 휨 強度에서 높은 값을 나타내고 있다.

4.3 荷重시간에 따른 變形率의 變化

휨 강도 시험에 strain gauge를 부착하고 荷重을 0.5mm/min의 속도로 서서히 가하면서 시간에 따른 下面 引張變形率(ϵ_t)/上面 壓縮變形率(ϵ_c)의 比를 구하여 Fig. 5에 나타내었다.

이 그림에서 보면 X軸은 시간을, Y軸은 引張變形率/壓縮變形率 比를 나타낸다. 積層木質材의 구성형태별로 나타난 그래프를 보면 전체 그래프가 荷重을 받는 초기 1~2분 경과시에는 불안정한 상태를 보이고 있는데 이는 荷重을 받는 材面 接觸이 초기에 불안정한 상태임을 의미한다.

그리고 3분 또는 그 이후부터 어느 구간까지는 일정한 수준의 比를 보이고 있어 이 구간을 彈性限界로 보고 이것을 이용하여 中立軸의 실험치를 계산하였다. 그 이후 시간이 경과함에 따라, 즉 荷重이 가해짐에 따라 變形率 比가 점차 상승하는 것을 알 수 있는데 이는 下面 引張變形이 上面 壓縮變形보다 크다는 것을 의미한다.

이러한 사실로 볼때 보가 휨 荷重을 받으면 彈性한계 이후에 보의 아래부분의 引張變形이 上부분의 壓縮變形 보다 크다는 사실을 알 수 있다.

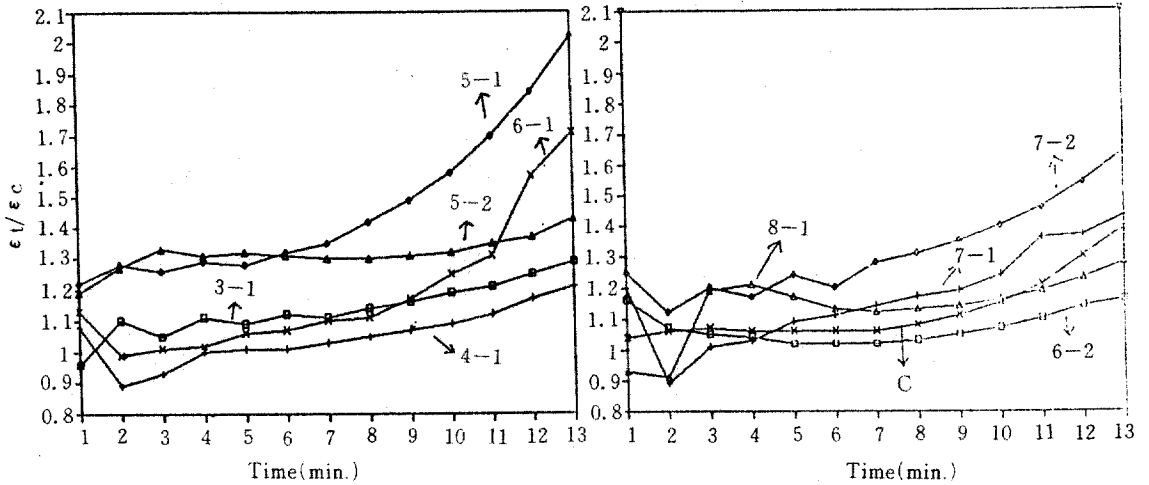


Fig. 5. Relationship between loading time in bending and tension strain (ϵ_t)/compression strain (ϵ_c)

따라서 보의 强度的 性質을 향상시키기 위하여는 보의 아랫부분의 引張變形이 적게 일어나도록 하는 것이 유리함을 알 수 있다.

이러한 결과에서 積層木質材를 구성할 때는 lamina 部材構成에 있어서 아랫부분에 강도적 성질이 우수한 재료를 積層 시킴으로써 보의 아랫부분의 引張變形이 적어지도록 하면 상대적으로 전체 强度가 향상하는 것을 확실히 확인할 수 있다.

따라서 Strickler(1971)²⁰⁾, Pellerin(1972)²¹⁾, Braun(1977)³⁾ 및 Marx(1982)¹⁸⁾ 등이 보의 아랫부분에 補强材料를 덧붙여서 기계적 성질을 향상시킬 수 있다고 보고한 인장라미네이션(tension lamination) 工法이 증명된 셈이다.

따라서 積層木質材의 構成의 경우 下面 引張變形이 우수하도록 하면에 강도적 성질이 우수한 lamina 部材를 구성하는 것이 효과적이라 하겠다.

그러나 引張變形率/壓縮變形率의 比는 積層構成木質材간의 뚜렷한 차이를 보이지 않아 구성 lamina 部材가 동일수종이고 접착이 완전한 상태의 경우 積層木質材의 구성방법은 큰 영향이 없음을 알 수 있었다.

本 研究에서는 3, 4, 6, 8mm의 낙엽송 판재를 이용하여 두께 24mm의 積層木質材를 구성제조하고 각 構成 lamina 部材에 의해 계산된 中立軸의 이론적 위치와 구성제조된 積層木質材의 실험상의 中立軸의 위치를 조사하여 그값을 상호 비교함으로써 中立軸의 위치에 대한 이론적 근거를 뒷받침하고자 하며, 또한 중립축의 위치가 강도적 성질에 미치는 영향을 조사하였다.

더우기 비례한계(혹은 탄성한계) 이후의 中立軸 위치의 변이가 어떻게 변화하는가를 조사하고 이를 근거로하여 차후의 積層木質材의 효과적 구성에 기초가 되는 자료를 제공하고자 하였다. 本 實驗을 실시한 결과 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 引張 및 壓縮彈性係數를 조사하고 이를 이용하여 中立軸을 계산한 결과 素材의 h_t/h 값이 0.547이었다. 또한 積層木質材의 경우에도 각 部材에 사용한 공시수종이 同一樹種인 낙엽송으로 제작한 결과 中立軸의 理論值 값인 h_t/h 가 0.547로 동일하였다.

2) 素材의 中立軸의 理論值와 實驗值의 차이를 보면 h_t/h 의 偏差率이 -0.1% 로서 거의 차이가 나지 않는다. 그러나 積層木質材의 경우는 偏差率이 -12.2% 에서 $+7.8\%$ 까지 다양하게 나타났으며, 이는 構成 lamina 部材의 수종이 單一

5. 結 論

樹種인 관계로 構成部材간의 기계적 성질의 차이가 뚜렷하지 않았음을 나타낸다.

3) 中立軸의 위치가 제조된 積層木質材의 휨 彈性係數에 영향을 주지 않았으며, 이는 中立軸에 나타나는 最大 剪斷荷重이 彈性限界 內에서는 큰 영향을 나타내지 않았음을 나타낸다.

4) 積層木質材의 彈性係數가 素材보다는 약간 낮은 값을 보여 미세하나마 接着層의 존재가 彈性係數에 영향하는 것으로 판단된다.

5) 시험편의 파괴형태는 simple tension 破壞形態가 대부분이었으며 中立軸 근처의 剪斷破壞는 발생하지 않아 接着層 간의 接着이 완벽하고 單一 수종인 관계로 어느 構成部材가 특히 취약한 부분이 없었다.

6) 引張變形率/壓縮變形率 比는 초기에 일정수준을 보이다가 彈性限界가 지나고 시간이 흐름에 따라 점차 그값이 커짐으로써 引張變形이 상대적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 積層木質材의 강도적 성질이 우수한 部材를 붙이는 것이 유리하다는 인장라미네이션(tension lamination) 工法이 증명되었다.

參 考 文 獻

1. Bodig, J., and J. Fyle. 1986. Performance requirements for laminated veneer lumber. Forests Prod. J. 36(2) : 49-54.
2. Bohlen, J. C., 1975. Shear strength of Douglas-fir laminated-veneer lumber. Forest Prod. J. 25(2) : 16-23.
3. Braun, M. O., and R. C. Moody. 1977. Bending strength of small glulam with a laminated-veneer tension lamination. Forest Prod. J. 27(11) : 46-51.
4. Casilla, R. C., and S. Chow. 1979. Press-time reduction by preheating and strength improvement by finger-jointing laminated veneer lumber. Forest Prod. J. 29(11) : 30-34.
5. Echols, R. M., and R. A. Currier. 1973. Comparative properties of Douglas-fir boards made from parallel-laminated veneers vs. solidwood. Forest Prod. J. 3(2) : 45-47.
6. Hilson, B. O., Luke, R. J., Whale, P. J., Pellicane, and I. Smith. 1986. Towards optimal design of glued laminated timber beams. Brighton polytechnic report to the timber research and development association, UK.
7. Jokerst, R. W. 1984. Preheating veneer reduces presstime in phenolic-bonded PLV. Forest Prod. J. 34(2) : 47-50.
8. Jung, J. 1982. Properties of parallel-laminated veneer from stress-wave-tested veneers. Forst Prod. J. 32(7) : 30-35.
9. Jung, J. 1984. Investigation of various end joints in parallel-laminated veneer. Forest Prod. J. 34(5) : 51-55.
10. Kim, H. C., and Y. J. Yum. 1982. Analysis of elastic anisotropy in CFRP laminate beam. Progress in science and engineering of composites. T. Hayashi, K. Kawata & S. Umekawa, Ed., ICCM-IV, Tokyo : 381-388.
11. Koch, P. 1973. Structural lumber laminated from 1/4-inch rotary-peeled southern pine veneer. Forest Prod. J. 23(7) : 17-25.
12. Kunesh, R. H. 1978. Micro=Lam : Structural laminated veneer lumber. Forest Prod. J. 28(7) : 41-44.
13. Laufenberg, T. L. 1983. Parallel-laminated veneer : processing and performance research review. Forest Prod. J. 33(9) : 21-28.
14. Laufenberg, T. L., R. E. Rowlands, and

- G. P. Krueger. 1984. Economic feasibility of synthetic fiber reinforced laminated veneer lumber (LVL). *Forest Prod. J.* 34(4) : 15-22.
15. Lei, Y., and J. B. Wilson. 1979. Fracture toughness of parallel-laminated veneer. *Forest Prod. J.* 29(8) : 28-32.
16. Leister, R. H., and P. C. Bunker. 1969. Fracture at butt-joints in laminated pine. *Forest Prod. J.* 19(10) : 45-51.
17. Luxford, R. F. 1944. Strength of glue laminated sitka spruce made up of rotary cut veneers. U. S. D. A. Forest Service, FPL Rep., 1512. *Forest Prod. Lab.*, Madison, Wisconsin.
18. Marx, C. M., and R. C. Moody. 1982. Effect of lumber width and tension lamination quality on the bending strength of four-ply laminated beams. *Forest Prod. J.* 32(1) : 42-45.
19. Moody, R. C. 1970. Glued laminated timber research at the forest product laboratory. *Forest Prod. J.* 20(9) : 81-86.
20. Neubauer, L. W. 1978. Column strength of parallel-laminated veneer and plywood. *Forest Prod. J.* 28(3) : 43-47.
21. Pellerin, R. F. and M. D. Strickler. 1972. Tension proof loading of lam stock for laminated beams. *Forest Prod. J.* 21(5) : 50-55.
22. Pellerin, R. F., and M. D. Strickler. 1972. Proof loading of tension laminations for large glued-laminated beams. *Forest Prod. J.* 22(10) : 24-30.
23. Preston, S. B. 1950. The effect of fundamental glue-line properties on the strength of thin veneer laminates. *Forest Prod. Res. Soc. Proceedings Vol. 4* : 228-246.
24. Saucier, J. R., and J. A. Holman. 1975. Structural particleboard reinforced with glass fiber-progress in its development. *Forest Prod. J.* 25(9) : 69-72.
25. Schaffer, E. L., and R. C. Moody. 1977. Stress-graded hardwood lumber by press-lam production? *Forest Prod. J.* 27(2) : 26-31.
26. Shuler, C. E., Grant, D. A., and R. C. Moody. 1979. Evaluation of glued laminated beams of eastern spruce and eastern hemlock. *Forest Prod. J.* 29(7) : 23-28.
27. Steiner, P. R., and A. W. Andersen. 1982. Effects of veneer preheating temperature, press and assembly time on aspen LVL. *Forest Prod. J.* 32(10) : 39-44.
28. Strickler, M. D., and R. F. Pellerin. 1971. Tension proof loading of finger joints for laminated beams. *Forest Prod. J.* 21(6) : 19-24.
29. Tichy, R. J., and J. Bodig. 1978. Flexural properties of glued-laminated lodgepole pine dimension lumber. *Forest Prod. J.* 28(3) : 27-33.
30. Youngquist, J. A., and B. S. Bryant. 1979. Production and marketing feasibility of parallel laminated veneer products. *Forest Prod. J.* 29(8) : 45-48.
31. Youngquist, J. A. 1981. Powered back-up roll-An improved veneer peeling technology. *Southern lumberman*.
32. 朴憲. 1987. 落葉松 小徑材의 活用方案에 관한 연구. 建國大學校 中原研究所 論文集 제6집 : 433-450.
33. 中井 孝, 山井良 三郎, 1982. 日本産 主要 3.5樹種의 强度的 性質. 林試研報 Bull. For. & For. Prod. Reg. Inst. No. 319. : 13-46.