

木材과아티클과 鐵線複合보오드의 物理的 및 機械的 性質에 關한 研究*1

朴 憲*2

A Study on the Physical and Mechanical Properties of the Board Composed of Wood Particle and Steel Wire*1

Heon Park *2

SUMMARY

In tendency of manufacturing beam with laminating particleboard, it was thought that if the properties, especially mechanical properties, of particleboard be reinforced, the mechanical properties of particleboard-laminated beam would be also improved. So in this study the particleboard was reinforced with composing of wood particle and steel wire.

This study was carried out to obtain the basic physical and mechanical properties of board composed of wood particle and steel wire, especially tensile strength and compressive strength which are the important factors of the lamina of beam, in order to estimate whether the board composed of wood particle and steel wire could be to improve the properties of the particleboard-laminated beam.

The results obtained were summarized as follows:

1. The board composed of wood particle and steel wire in accordance with lower board density took better thickness swelling.
2. The board with lower board density was improved in higher value of tensile strength with more steel wires in prescribed cross section area of the board, for example, the board of density 0.5 showing 140% improved value.
3. In compressive strength, the board with lower board density was also improved in higher value with more steel wires in prescribed cross section area.

1. 緒 論

木材資源이 점차 枯渴됨에 따라 木材의 效率的 利用에 關한 研究가 세계적으로 활발하게 進行되고 있다.

과아티클보오드는 木材資源을 完全利用할 수 있는 과아티클을 원료로 사용하므로 木材를 효율적으로 利用한다는 側面에서 가장 代表的인 木質 製品이라 하겠다. 이러한 과아티클보오드는 다양

*1. 接受 1988年 5月 27日 Received May 27, 1988

本論文은 韓國 科學財團의 研究費支援에 의해 遂行된 연구 中 一部임.

*2. 建國大學校 自然科學大學 College of Natural Sciences, Kon Kuk Univ., Chungju 380-150, Korea

한 종류가 개발되어 있으며, 그중에서 최근에 개발된 제품을 보면, 파아티클의 형태를 넓게 그리고 얇게 절삭하여 집착함으로써 機械的 性質을 向上시킨 웨이퍼보오드(waferboard), 木材의 方向性을 이용하여 一定方向으로 우수한 강도를 갖도록 제조한 配向性 스트랜드보오드(oriented strandboard), 파아티클의 형태가 얇고 길이가 긴 일정한 형태의 후레이크를 집착하여 강도를 강화시킨 構造用 후레이크보오드(structural flakeboard) 등이 있다.

파아티클보오드는 제조인자에 따라 製造된 보오드의 機械的 및 物理的 性質이 다르게 되는데, 특히 기계적 성질에 영향하는 因子들에 對하여 발표한 연구보고중 一部 內容을 살펴보면 다음과 같다.

미국의 Post, P.W.(1961)⁴⁰⁾, Hann, R.A.(1963)⁴¹⁾ 및 Rice, J.T.(1973)⁴²⁾ 등은 파아티클의 크기 및 樹脂添加量이 보오드의 기계적 성질 및 치수安定性에 미치는 영향에 대하여 조사하였으며, Gatchell, C.J. 등(1966)⁴³⁾은 파아티클의 형태, 수지 및 왁스의 添加量, 熱壓時의 熱壓溫度 및 壓縮率 등 파아티클보오드 제조에 관한 제반인자에 따른 보오드의 物理的 및 機械的 性質에 關하여 발표하였다.

Chow, P.(1972)⁴⁴⁾, Countryman, D.(1975)⁴⁵⁾ 및 Lyons, B.E.(1975) 등은 파아티클보오드에 베니아를 오바레이하여 제조한 보 또는 콤플라이보오드를 제조하고 그 기계적 성질을 조사하여 보고한 바 있다.

Lehmann, W F.(1974)⁴⁶⁾ 및 Geimer, R.L.(1978)⁴⁷⁾은 플레이크보오드의 기계적 성질을 向上시켜 構造用 건축자재로 사용할 목적으로 플레이크의 形狀 및 性質, 配向性, 보오드의 密度, 接着劑의 添加量 등 플레이크보오드의 製造條件에 對하여 연구한 바 있다.

한편 파아티클에 配向을 주어 보오드의 기계적 성질 向上을 목적으로 많은 연구가 이루어졌는데, Hse, C. Y.(1975)⁴⁸⁾ 및 Geimer, R. L.(1979) 등은 配向性 파아티클보오드를 제조하여 無配向性 보오드보다 우수한 機械的 性質을 얻을 수 있다고 발표한 바 있고, Biblis, E.J.(1983)⁴⁹⁾은 코아용으로 스트랜드 削片을 사용하여 配向性을 갖게 하고 表面에는 單板을 接着시킨 보오드를 제조하여 그에 대한 物理的 및 機械的 性質을 조사하였다.

Smith, D.C.(1982)⁵⁰⁾ 및 Panning, D.J.(1985)는 웨이퍼보오드를 제조하는 過程中 熱壓條件이 보오드의 기계적 성질에 미치는 영향에 關하여 연구하였고, Bullett, W.M.(1985)⁵¹⁾은 파아티클보오드의 기계적 성질을 改善하기 위한 方法으로 화이버그래스 補強플라스틱板을 파아티클보오드의 表層과 裏層에 附着시켜 실험을 실시한 결과를 발표하였다. 또 Kelly, M.W. 등(1985)⁵²⁾은 低比重木材와 高比重木材 등 다양한 목재를 이용하여 플레이크의 크기 및 보오드의 밀도에 따른 構造用 플레이크보오드의 機械的 性質을 調査하여 보고하였다.

國內에서는 上記 研究들과는 전연 다른 側面에서 異質材料인 鐵網을 構成하여 보오드의 물리적·기계적 성질을 개선하고자 연구를 시도한 바 있는데, 李와 朴(1983)⁵³⁾은 플라스틱網과 鐵網을 構成하여 만든 보오드의 기계적성질을 조사한 결과, 두께 6mm의 보오드에 있어서 철망이 3장 구성된 보오드가 1~2장을 구성한 보오드보다 우수한 힘강도를 나타내는 결과를 구명하였으며, 이(1985)⁵⁴⁾는 톱밥보오드와 파아티클보오드에 철망을 구성함에 있어 그 구성층수와 철선의 굵기 및 目數를 다르게 變化시켜 보오드를 제조하고 보오드의 物理的, 機械的 性質을 조사한 결과, 철망을 구성하고 있는 鐵線이 굵을수록 기계적 성질이 向上되고 특히 철망의 配置層數가 많은 보오드일수록 우수한 기계적 성질이 나타남을 보고 하였다. 또 李와 徐(1985)⁵⁵⁾는 鐵網構成이 보오드의 韌性 質에 미치는 영향에 關하여 연구한 결과, 鐵網構成보오드의 破壞係數, 彈性係數, 比例限界 및 最大荷重重量 등에 있어서 鐵網非構成보오드의 경우보다 높은 값을 나타낸다고 발표한 바 있다. 朴과 李(1986)⁵⁶⁾는 鐵線을 構成한 木質鐵線複合보오드를 製造하여 彈性係數, 破壞係數 등 機械的 性質이 向上됐음을 보고한 바 있다.

그런데, 최근에는 이들 파아티클보오드를 積層하여 파아티클보오드積層材를 개발하여 이를 보로 使用하고자 하는 研究가 進行되고 있다. 先進美國의 경우, 廢鐵道枕木을 利用한 파아티클보오드積層材를 제조하여 이를 再生鐵道枕木으로 개발하여 商業化를 試圖함으로써⁵⁷⁾ 廢材利用 및 資源節約效果를 待하고 있어, 이는 國內에서도 活用되어야 할 方案으로 생각된다. 따라서, 本 研究에서는 鐵線과 木材과아티클을 이용하여 제조한

木質鐵線複合보오드를 보의 積層材로 使用하여 보다 우수한 파아티클보오드積層보를 製造할 수 있도록 그 基礎資料를 제공하고자 木質鐵線複合보오드의 引張強度, 壓縮強度를 중심으로 한 물리적, 기계적 성질을 조사하고자 하였다.

2. 材料 및 方法

2.1. 供試材料

2.1.1. 木質材料

本 실험에서 사용한 木質材料는 木質파아티클로서 국내 파아티클보오드공장에서 구매한 것으로 제재폐재등을 原料材로 하여 칩피를 이용하여 만든 파아티클이었다. 구입한 木質파아티클은 크기를 일정하게 선별하였는데 10 mesh 를 통과하고 20 mesh 에 남는 것을 사용하였다. 選別된 파아티클은 인큐베이터를 사용하여 함수율 8%로 건조하여 파아티클보오드제조용으로 준비하였다.

2.1.2. 鐵線

鐵線은 市中에서 판매되는 굵기 20호(직경 1mm)를 구매하여 사용하였다. 이 철선의 굵기를 選定한 것은 이(1985)가 발표한 연구 내용에서 굵은 철선이 보오드의 재료적 특성을 增進시키는데 효과적임을 보고한 사실을 참조 하였으며, 최종 보오드 제조후 그 가공이 가능한 범위에서 비교적 굵은 철선을 선택하였다. 철선은 곧게 펴서 서로의 間隔을 일정하게 유지시켰다.

2.1.3. 接着劑

보오드 제조에 사용한 접착제는 일반 파아티클 보오드 제조에 사용되는 尿素樹脂로서 建國大學 校 自然科學大學 林學科 林產加工實驗室에서 제조하여 사용하였으며 이 접착제의 樹脂率(固型分量)은 54.6%였으며 pH는 7.6이었다. 이러한 조건의 접착제를 파아티클의 全乾重量에 대하여 固型分量을 기준으로 10% 첨가하여 보오드를 제조하였다.

2.1.4. 왁스 에멀션

왁스 에멀션도 本大學 實驗室에서 제조하였으며 그 固型分量은 24%였다. 이 왁스 에멀션을 파아티클의 全乾重量에 대하여 1%첨가하여 보오드를 제조하였으며, 접착제에 혼합하여 사용하였다.

2.1.5. 硬化劑

NH₄CL 을 경화제로 사용하였으며 粉末狀態로 접착제의 固型分에 대하여 1% 첨가하였다.

2.2. 實驗方法

2.2.1. 보오드 製造

2.2.1.1. 鐵線構成方法

시험용으로 제조한 파아티클 보오드의 크기는 30cm(L)×24.7cm(W)×1.5cm(T)이고, 파아티클을 기준으로 目標比重을 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 등 4가지로 하여 비중의 變異에 따른 철선과 목질파아티클과의 物理的 結合을 調査하고자 하였다.

보오드제조시 鐵線構成은 보오드의 길이 방향으로 배치하였고, 보오드내의 鐵線構成層數는 構成鐵線의 數에 따라 1층, 2층 및 3층으로 구성하였으며, 이때 鐵線構成이 일정한 間隔을 유지하도록 곧게 펴서 사용하였다. 특히 일정 斷面積에 구성한 철선의 수에 따른 機械的性質을 조사하기 위하여 두께 1.50cm의 보오드에 직경 1mm의 철선을 보오드의 길이방향의 橫斷面의 一定斷面積(6cm²)을 기준으로 해서 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14 등 8가지로 구성하여 引張強度試片, 壓縮強度試片, 韌強度試片등에 고르게 배치되도록 다음과 같이 구성하였다.

먼저, 1층 철선구성보오드의 경우 그 위치가 보오드 두께의 한 中央에 위치하도록 하였으며, 이 보오드의 경우는 線構成數가 Fig.1. 과 같이 각 시험편의 길이방향의 橫斷面의 一定斷面積(6cm²)을 기준으로해서 1, 2, 3, 4, 5개로 하였고, 2층 철선구성보오드의 경우는 그 위치가 보오드 두께를 3등분하여 內部 2층에 구성하였으며, 鐵線構成數는 Fig.2. 와 같이 각 시험편의 길이방향의 橫斷面의 一定斷面積(6cm²)을 기준으로해서 7, 10개의 두가지 경우로 하였다. 3층철선구성보오드는 보오드 두께를 4등분하여 內部 3층에 철선을 구성하였으며, 철선구성수는 14개의 한 경우로 Fig.3. 과 같이 하였다.

특히 본 실험에서는 同一 斷面積에 구성된철선의 수가 제조된 보오드의 木質에 미치는 영향을 조사하고자 하였으며, 이에 따라 철선구성층수보다는 一定斷面積에 대한 鐵線構成數를 중심으로 實驗방법을 설계하였다. 이와같은 방법으로 제조된 보오드는 6反復을 실시하였으며, 比重變異를 4종류로 하였다. 따라서 제조된 보오드수는 對照

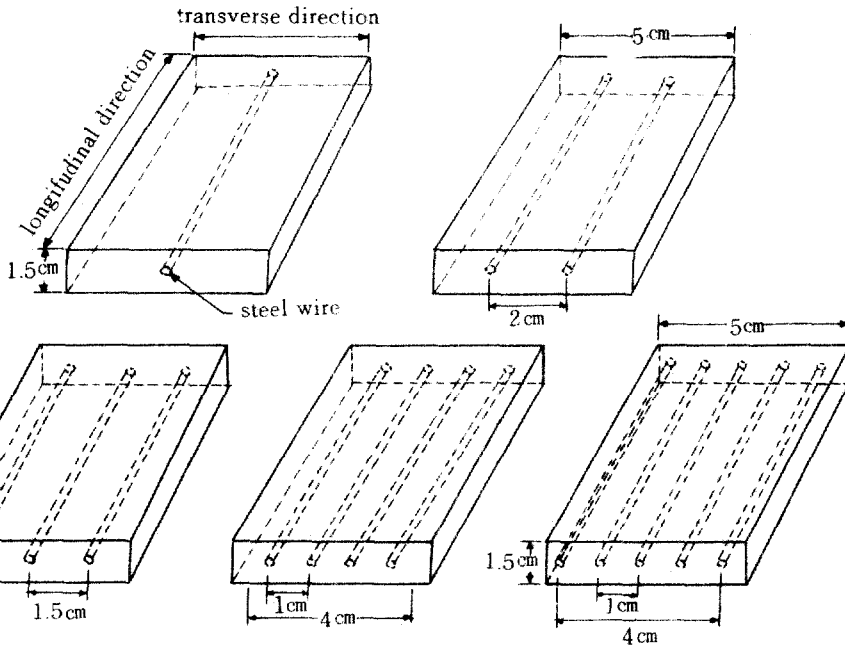


Fig. 1. The wire placement of wood particle-wire one layer composition board.

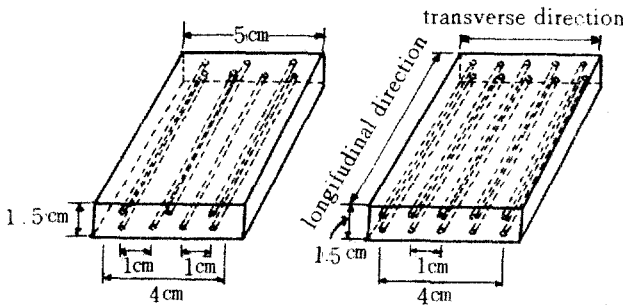


Fig. 2. The wire placement of specimens of wood particle-wire two layers composition board.

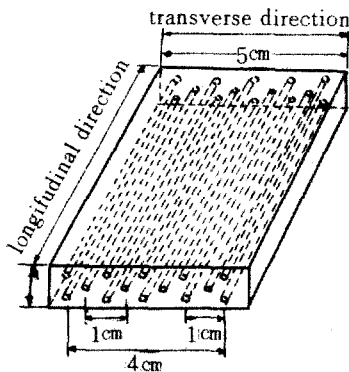


Fig. 3. The wire placement of specimens of wood particle-wire three layers composition board.

보오드 제조방법은 먼저 木質材料에 接着劑인 尿素樹脂와 왁스 에멀션 및 硬化劑를 混合하여 塗布한 후 이를 同一 重量比로 필요에 따라 等分 하였다. 즉, 철선 1층구성 보오드는 접착제등이 도포된 木質재료를 2등분 하였고, 철선 2층구성 보오드는 3등분 하였으며, 철선 3층구성 보오드는 4등분 하였다. 이렇게 등분한 木質재료를 成型틀 속에 고르게 펴고 그 위에 철선을 구성한 다음 다시 木質재료를 펴는 방법으로 보오드를 성형하였다. 성형된 매트 的 含水율은 16%로 하였으며 성형된 매트는 Fig. 4. 와 같은 조건으로 熱壓하였다. 이 때 熱壓溫度는 150°C였고, 최고 熱壓壓力은 보오드의 目標比重이 0.8일 때는 35kg/cm²로 하였으며, 0.7일 때는 33kg/cm²로 하였고 0.6일 때는 31kg/cm², 0.5일 때는 29kg/cm²로 하였다. 열압시간은 총 10분으로 하였으며 처음 1분동안에 압력을 높혀 최고 압력에 이르도록 하였고, 이 최고 압력에서 5분간 유지한 후 그 다음 압력에서 각각 2분 30초 및 1분 30초를 유지한 후 총 열압시간이 10분 경과하였을 때 解壓하여 보오드를 제조하였다. 이러한 多段스케줄을 利用하여 보오드의 비중에 따라 압력을 다르게 변화시켜 보오드를 제조하였다.

보오드수를 포함하여 216개였다.

2. 2. 1. 2. 成型 및 熱壓

이와같은 제조 방법으로 제조한 보오드는 온도 20±2°C, 관계습도 50±5%의 조건을 갖는 실내에 방치하여 平衡狀態가 되도록 하였다.

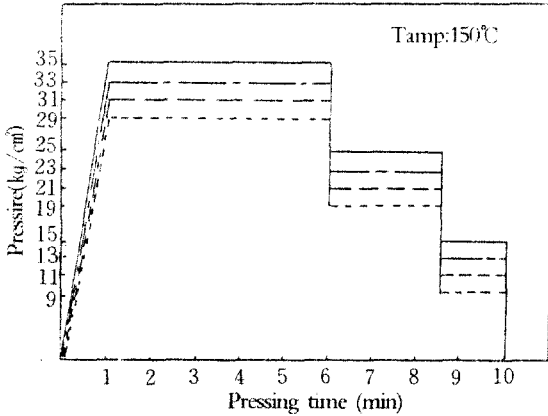


Fig. 4. Stepwise multi-pressing schedule.
 ———: Particle board of specific gravity 0.8
 - - - - : Particle board of specific gravity 0.7
 - · - · - : Particle board of specific gravity 0.6
 ······: Particle board of specific gravity 0.5

2.3. 試驗方法

제조된 보오드의 物理的 및 機械的 性質을 測定하기 위하여 韓國工業規格 KSF 3104 및 ASTM D 1037 에 準하여 測定 시험편을 裁斷하였다. 그 시험방법은 다음과 같다.

2.3.1. 比重과 含水率

(Specific gravity and moisture content)

試驗材로부터 5cm×5cm 크기의 試片을 재단하여 이 시편의 두께 및 폭을 측정하고 다음 重量을 조사하고 이 시편을 100~105°C의 건조기에 넣어 恒量에 도달 할 때까지 건조시킨 후 全乾重量을 조사하여 다음식으로 비중 및 含水율을 구하였다.

· 比重 = $\frac{W_0}{V}$
 · 含水率 = $\frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$

W₀: 건조후 시편 重量 (g)
 W₁: 건조전 시편 重量 (g)
 V: 건조전 시편의 부피 (cm³)

2.3.1. 두께膨脹率 (Thickness swelling)

試驗材로부터 5cm×5cm 크기의 시편을 재단하여 이 시편의 중앙부 두께를 측정하고 후 시편을 25±1°C의 물속에 水面으로부터 3cm 떨어진 위치에 水平으로 고정하고 24시간후에 沈積전에 측정된 위치의 두께를 다시 측정하여 두께膨脹率을 계산하였다.

· 두께膨脹率 (%) = $\frac{L-t}{t} \times 100$

t₁: 침적전의 두께 (cm)
 t₂: 침적후의 두께 (cm)

2.3.3. 引張強度 및 영係數

(Tensile strength and its young's modulus)

시험재로부터 시험재의 길이방향에 일치하도록 하여 ASTM D1037 에 제시한 바와 같이 파아티클보오드의 인장강도시험편을 제작한 후, 萬能材料試驗機로 측정하여 그래프로 얻은 후 다음과 같은 공식으로 인장강도와 영계수를 계산하였다.

· 引張強度 (kg/cm²) = $\frac{P}{A}$

· 영係數 (kg/cm²) = $\frac{\text{Stress.P.}}{\text{Strain.P.}}$

P: 最大下重 (kgf)
 A: 試片의 斷面積 (cm²)
 Stress.P.: 比例限界 應力 (kg/cm²)
 Strain.P.: 比例限界 變型 (cm/cm)

2.3.4. 壓縮強度 및 영係數

(Compressive strength and its young's modulus)

시험재로부터 시험재의 길이방향에 일치하도록 하여 길이 6cm×폭 5cm×두께 1.5cm의 파아티클보오드의 壓縮強度 試片을 제작하였다. 제작된 시험편을 만능재료 시험기로 측정하여 그래프를 얻은 후 다음과 같이 공식으로 壓縮강도와 영계수를 계산하였다.

· 壓縮強度 (kg/cm²) = $\frac{P}{A}$

· 영係數 (kg/cm²) = $\frac{\text{Strress.P.}}{\text{Strain.P.}}$

P: 최대하중 (kgf)
 A: 시편의 단면적 (cm²)
 Stress.P.: 비례한계 응력 (kgf/cm²)
 Strain.P.: 비례한계 변형 (cm/cm)

2.4. 資料分析

보오드의 物理的 및 機械的 性質을 조사하여 얻은 자료를 다음과 같은 方法으로 分析하였다. 즉, 各 調査項目에서 얻어진 자료를 分割區 配置法 중 細細區 配置法을 이용하여 分散分析을 실시하여 有意性을 검토 하였으며 유의성이 나타나는 것은 5%수준의 最小有意差 (the least significant difference, L. S. D.) 檢定을 실시하여 그 결과를 比較 分析하였다.

3. 結果 및 考察

3.1. 比重 (Specific gravity)

본 실험에서 제조한 보오드의 目標比重은 木質 材料를 基準으로 해서 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 등 네가 지로 하여 보오드를 제조하였으며, 그 결과

Table 1 에 나타난 바와 같이 鐵線構成數가 많은 보오드일수록 제조된 보오드의 비중이 증가되었 음을 알 수 있다. 또한 이들 資料를 分割區 配置法 으로 分散分析하여 그내용의 有意性을 檢定한 결 과 Table 2 에 나타난 바와 같이 細區에서 나타 난 鐵線配置 (B) 의 F 값이 고도의 유의성을 보여

Table 1. Mean values of specific gravity of wood particle - wire composition boards

Specific gravity Numbers of wire	0.5	0.6	0.7	0.8	Sum	Mean
0	0.50	0.62	0.69	0.77	2.58	0.64
1	0.53	0.64	0.79	0.85	2.81	0.70
2	0.53	0.65	0.74	0.84	2.76	0.69
3	0.54	0.65	0.77	0.84	2.80	0.70
4	0.57	0.66	0.78	0.78	2.79	0.69
5	0.57	0.70	0.79	0.84	2.90	0.72
7	0.57	0.70	0.80	0.86	2.93	0.73
10	0.61	0.75	0.82	0.84	3.02	0.75
14	0.66	0.74	0.84	0.91	3.15	0.78
Sum	5.08	6.11	7.02	7.53		
Mean	0.56	0.67	0.78	0.83		

Table 2. ANOVA of values of specific gravity of wood particle-wire composition boards, and the least significant difference (L.S.D.) at 5% significance

Factors	D.F.	S.S.	M.S.	F
Blocks	5	0.001044	0.002088	0.22
Specific gravity (A)	3	2.29570	0.765233	831.100**
Error (a)	15	0.013811	0.000920	
Mainplot	23	2.310555		
Wire composition (B)	8	0.334412	0.041801	47.12**
Specific gravity x Wire composition	24	0.062304	0.002596	2.92**
Error (b)	160	0.141927	0.000887	
Subplot	192	0.538643		
Total	215	2.849198		

L.S.D. (5%) [(a₂) - (a₁)] = 0.04
L.S.D. (5%) [(a₁b₂) - (a₁b₁)] = 0.04

L.S.D. (5%) [(b₂) - (b₁)] = 0.02
L.S.D. (5%) [(a₂b₁) - (a₁b₁)] = 0.18

각각의 비중값이 철선구성수가 증가함에 따라 증가된 현상이 뚜렷하였음을 알 수 있다.

일반적 견해로 볼 때, 철재가 목재보다 비중이 높기 때문에 철선을 구성한 목질철선복합보오드의 경우 철선구성수가 많은 보오드일수록 비중이 높아지는 것은 당연한 결과로 생각되면 이

(1988, 1984)^{29,31)} 등의 연구에서도 같은 결과가 나타났다고 보고한 바 있다.

3.2. 含水率 (Moisture content)

제조한 보오드의 氣乾含水率을 조사한 결과의 평균값을 Table 3 에 나타낸 바, 철선구성을 하

Table 3. Mean values of moisture content of wood particle-wire composition boards

Specific gravity Numbers of wire	0.5	0.6	0.7	0.8	Sum	Mean
0	8.89	8.66	9.36	9.44	36.35	9.03
1	8.59	8.34	9.21	9.32	35.46	8.86
2	8.77	7.95	9.25	8.63	34.60	8.65
3	8.38	8.33	9.09	8.82	34.62	8.65
4	8.46	7.95	8.76	8.81	33.98	8.49
5	7.74	7.22	8.69	8.75	32.40	8.10
7	7.92	7.91	8.64	8.17	32.64	8.16
10	7.62	7.65	8.45	8.48	32.21	8.05
14	7.12	7.27	8.12	7.93	30.44	7.61
Sum	73.50	71.28	79.57	78.35		
Mean	8.16	7.92	8.84	8.70		

Table 4. ANOVA of values of moisture content of wood particle-wire composition boards, and the least significant difference (L.S.D.) at 5% significance

Factors	D.F.	S.S.	M.S.	F
Blocks	5	2.8779	0.5755	1.53
Specific gravity (A)	3	31.0187	10.3396	27.51**
Error (a)	15	5.6371	0.3758	
Mainplot	23	39.5337		
Wire composition (B)	8	39.4021	4.9252	1956.87**
Specific gravity x Wire composition	24	70.1721	2.9238	1161.68**
Error (b)	160	0.4027	0.0025	
Subplot	192	109.9769		
Total	215	149.5106		

L.S.D. (5%) $[(a_2) - (a_1)] = 0.25$
L.S.D. (5%) $[(a_1 b_2) - (a_1 b_1)] = 0.05$

L.S.D. (5%) $[(b_2) - (b_1)] = 0.02$
L.S.D. (5%) $[(a_2 b_1) - (a_1 b_1)] = 0.25$

지 않은 對照보오드의 경우 대체로 比重이 증가함에 따라 그에대한 分산분석에서도 고도의 유의성을 보여 주고 있음을 Table 4 에서 알 수 있다.

Julien, L.M. 등 (1972)²⁴과 Hunt, M.O. 등 (1979)²⁵이 발표한 내용에서도 比重의 증가에 따라 과아티클보오드의 含水率이 증가함을 발표하였다. 특히 Julien, L.M. 등은 aspen, balsam spruce 등 세 수종을 원료목으로 하여 제조한 보오드에서 모두 보오드의 비중증가에 따라 함수율이 증가함을 보고하였다.

한편, 鐵線構成數가 증가함에 따라 含水率이 減少하는 사실을 알 수 있는데, 이는 철선구성에 따라 보오드의 重量이 증가하기 때문에 나타난 자연스런 현상으로서 각 비중 모두에 동일한 양상으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉 철선구성수가 증가함에 따라 함수율 감소도 더욱 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.3. 두께膨脹率 (Thickness swelling)

과아티클보오드 시험편을 물속에 침적시켜 팽창된 두께를 측정하고 이를 기건시의 두께와 비교하여 얻은 두께膨脹率을 分散分析한 결과 Table 5, Table 6 과 같다. Table 5 와 Table 6에 나타난 두께팽창율에 대한 내용을 보면, 비중에 따른 두께팽창율은 철선을 구성하지 않은 대조보오드의 경우 비중이 증가함에 따라 두께팽창율이 감

소하는 현상을 나타냈다. 이러한 현상은 Lehman, W. F.(1974)²³가 플레이크보오드 제조 실험 보고서에서 비중 0.6과 0.68의 보오드를 제조하여 이들을 24시간 수중침적 처리한 후의 두께팽창율을 조사한 결과 비중이 높은 보오드의 두께팽창율이 전체적으로 낮은 경향을 보였다고 발표한 내용과 일치한다. 그러나 이 보고서에서 30일간의 水中沈積處理 및 全幹一眞空一加壓沈積處理의 결과는 비중이 큰 보오드일수록 두께팽창율의 값이 뚜렷하게 높아진다고 보고하고 있어, 본 실험의 시험편도 같은 처리를 하면 비슷한 경향이 나타날 것으로 사료된다.

Table 5 에 나타난 목표 비중 0.5 보오드의 경우는 철선구성수가 증가함에 따라 두께팽창율이 減少하는 경향이 나타났으나, 목표 비중 0.8 보오드는 反對現象을 보이고 있어 비중과 철선구성간의 상호작용에 따라 철선구성 결과가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이에 따라 Table 6 에 나타난 比重과 鐵線構成의 相互作用 F 값이 높은 유의성을 나타내고 있다. 한편, 철선구성 (B) 에 따른 두께팽창율의 전체 평균값은 상호간에 큰 차이없이 비슷한 수준임을 알 수 있으며, 이에 따라 유의성이 나타나지 않았다. 철망구성에 따른 보오드의 두께팽창율 억제효과를 발표한 바 있는 이 (1985)²⁶는 톱밥보오드의 경우 몇몇 보오드를 제외하고 전체적으로 억제 효과가 있음을 발표한 바

Table 5. Mean values of thickness swelling of wood particle - wire composition boards

Specific gravity	0.5	0.6	0.7	0.8	Sum	Mean
Numbers of wire						
0	24.30	22.65	22.41	16.86	86.22	21.55
1	25.13	25.40	19.53	17.78	87.84	21.96
2	19.23	26.55	22.58	21.91	90.27	22.56
3	21.00	23.65	20.43	26.10	91.18	22.79
4	17.78	33.68	19.01	28.58	99.05	24.76
5	25.31	22.30	21.33	26.76	95.70	23.92
7	23.53	27.86	18.75	25.66	95.80	23.95
10	18.48	19.96	19.96	24.70	83.10	20.77
14	19.05	24.91	19.78	24.70	88.44	22.11
Sum	193.81	226.96	183.78	213.05		
Mean	21.53	25.21	20.42	23.67		

Table 6. ANOVA of values of thickness swelling of wood particle-wire composition boards, and the least significant difference (L.S.D.) at 5% significance

Factors	D.F.	S.S.	M.S.	F
Blocks	5	74.243	14.848	1.00
Specific gravity (A)	3	747.159	249.053	16.79**
Error (a)	15	222.467	14.831	
Mainplot	23	1043.869		
Wire composition (B)	8	318.267	39.783	1.56 ^{NS}
Specific gravity x Wire composition	24	1752.728	73.030	2.87**
Error (b)	160	4067.944	25.424	
Subplot	192	6138.939		
Total	215	7182.808		

L.S.D. (5%) [(a₂) - (a₁)] = 1.57

L.S.D. (5%) [(a₁b₂) - (a₁b₁)] = 5.70

L.S.D. (5%) [(b₂) - (b₁)] = 2.85

L.S.D. (5%) [(a₂b₁) - (a₁b₁)] = 15.93

있으며, 박(1986)^{*)}도 보오드의 목표 비중을 0.75로 하여 제조한 절편을 3층으로 구성한 보오드가 철망을 1층으로 구성한 보오드보다 두께팽창을 억제효과가 있음을 나타내고 있어 본 연구와는 다른 양상을 보여주고 있다.

3.4. 引張強度와 係數 (Tensile strength and

its young's modulus,

본 실험에서 측정조사한 기계적 성질에 있어서 자료를 분산분석한 引張強度와 係數의 평균값과 分散分析內容을 표시하면 Table 7, Table 8, Table 9 와 Table 10 같다. 먼저 Table 7 과 Table 8에서 나타낸 比重에 따른 내용을 살펴보면 비중이 증가함에 따라 보오드의 인

Table 7. Mean values of tensile strength of wood particle-wire composition boards

Specific gravity Numbers of wire	0.5	0.6	0.7	0.8	Sum	Mean
0	28.09	55.84	94.91	124.81	303.65	75.91
1	27.95	74.18	121.58	154.54	378.25	94.56
2	40.68	74.20	115.53	147.63	378.04	94.51
3	37.86	81.54	137.53	129.99	386.92	96.73
4	48.37	66.79	135.66	133.63	384.45	96.11
5	38.67	88.14	135.20	143.63	405.64	101.41
7	40.61	79.71	138.14	147.33	405.79	101.44
10	53.07	105.29	153.62	160.09	472.07	118.01
14	68.74	120.78	166.29	189.68	545.49	136.37
Sum	384.04	746.47	1198.46	1331.33		
Mean	42.67	82.94	133.16	147.92		

Table 8. ANOVA of values of tensile strength of wood particle-wire composition boards, and the least significant difference (L.S.D.) at 5% significance

Factors	D.F.	S.S.	M.S.	F
Blocks	5	529.777	105.955	1.13
Specific gravity (A)	3	372373.696	124124.565	13315.38**
Error (a)	15	1398.440	93.229	
Mainplot	23	374301.923		
Wire composition (B)	8	55340.473	6917.559	42.31**
Specific gravity x Wire composition	24	10905.000	454.375	2.77**
Error (b)	160	26153.532	163.459	
Subplot	192	92399.005		
Total	215	466700.928		

L.S.D. (5%) [(a₂) - (a₁)] = 3.95

L.S.D. (5%) [(a₁b₂) - (a₁b₁)] = 14.46

L.S.D. (5%) [(b₂) - (b₁)] = 7.23

L.S.D. (5%) [(a₂b₁) - (a₁b₁)] = 14.19

장강도 향상이 뚜렷함을 알 수 있었으며 구성된 철선의 수가 증가함에 따라 그러한 경향은 더욱 뚜렷하게 나타났으며 비중(A)의 유의성이 고도 임을 알 수 있다.

또한 鐵線構成數가 증가함에 따라 인장강도가 향상되며 목표 비중 0.5인 보오드의 경우 對照보

오드에 비하여 최고 140% 정도 향상된 인장강도 값을 보였으며, 목표 비중 0.6인 보오드의 경우 대조보오드에 비하여 최고 116% 향상된 값을 보였고, 목표 비중 0.7인 보오드의 경우는 최고 75%, 목표 비중 0.8인 보오드의 경우는 최고 51%의 향상된 인장강도를 보여 우수한 결과를 나

Table 9. Mean values of tensile young's modulul of wood particle-wire composition boards

Specific gravity Numbers of wire	0.5	0.6	0.7	0.8	Sum	Mean
0	842.74	1396.67	1873.45	2330.33	6443.19	1610.79
1	874.71	1763.07	2457.98	2738.21	7833.97	1958.49
2	1145.02	1568.79	2265.56	2695.21	7674.58	1918.64
3	1117.35	1795.55	2468.73	2494.88	7876.51	1969.12
4	1370.49	1491.81	3358.69	2604.46	8825.45	2206.36
5	992.63	1847.16	2534.95	2624.47	7999.21	1999.80
7	1118.91	1997.36	2679.97	2301.92	8598.16	2149.54
10	1351.99	2178.11	2749.10	2922.14	9201.34	2300.33
14	1545.27	2241.15	2816.94	2939.66	9543.02	2385.75
Sum	10359.11	16279.67	23205.37	24151.28		
Mean	1151.01	1808.85	2578.37	2683.47		

Table 10. ANOVA of values of tensile young's moduli of wood particle-wire composition boards, and the least significant difference (L.S.D.) at 5% significance

Factors	D.F.	S.S.	M.S.	F
Blocks	5	738908.79	147781.75	1.74
Specific gravity (A)	3	83523201.60	27841067.20	328.33**
Error (a)	15	1271910.21	84794.01	
Mainplot	23	85534020.60		
Wire composition (B)	8	10492367.10	1311545.88	21.27**
Specific gravity x Wire composition	24	6136180.10	255674.17	4.14**
Error (b)	160	9865457.00	61659.10	
Subplot	192	26494004.2		
Total	215	112028024.8		

L.S.D. (5%) $[(a_2) - (a_1)] = 119.42$

L.S.D. (5%) $[(a_1 b_2) - (a_1 b_1)] = 280.99$

L.S.D. (5%) $[(b_2) - (b_1)] = 140.49$

L.S.D. (5%) $[(a_2 b_1) - (a_1 b_1)] = 290.99$

타냈으며, 철선구성(B)에 대한 유의성 검정결과도 고도의 유의성을 나타내고 있다. 이와 같은 사실에서 橫斷面 一定面積當 鐵線構成數가 증가할수록 引張強度의 향상이 더욱 뚜렷함을 알 수 있었다. 철선구성효과에 비중이 크게 영향함을 나타내므로 이에 대한 相互作用이 유의성도 고도임을 알 수 있었다.

철선구성에 따른 인장강도 향상이 높다는 결과는 매우 고무적인 내용으로서 앞으로 파아티클보오드積層材의 개발에 있어서 기계적 성질 향상에 중요한 일익을 할 것으로 판단된다. 일반적으로 積層보오드 포함에 荷重을 가하면 上部에는 壓縮應力(compressive stress)이 발생하고 下部에는 引張應力(tensile stress)이 발생하게 된다. 이때 引張應力을 받는 쪽에 引張強度 등 機械的性質이 우수한 材料를 보강해 주면 보의 기계적 성질이 향상됨을 Strickler, M. D.(1971)²⁷⁾, Pellerin, R. F.(1972)²⁸⁾, Braun, M. O.(1977)²⁹⁾ 및 Mark, C. M.(1982)³⁰⁾ 등이 발표한 바 있는데, 앞으로 본 실험에서 나타난 결과를 참조하면 현재 선진국에서 개발하고 있는 파아티클보오드를 이용한 적층보 제조시에 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 즉 파아티클보오드적층보 제조시에 인장응력이 발생하는 보의 아래 部位에 本質鐵線複合보

오드를 구성하여 파아티클보오드적층보를 제조하면 그 보의 기계적 성질이 훨씬 우수하게 향상되리라 판단된다.

Table 9 와 Table 10 에 제시한 引張係數도 비중값에 뚜렷한 값의 차이를 나타내면서 比重이 증가할수록 係數 값이 증가함을 보여주고 있어 유의성 검정에도 비중(A)의 유의성이 고도임을 나타내고 있다.

한편, 鐵線構成數에 따른 引張係數 값의 변화를 비중별로 살펴보면, 목표 비중이 0.5인 경우 철선을 14개 구성한 보오드의 경우 대조보오드에 비하여 최고 83%의 향상을 보였고, 목표 비중이 0.6인 경우에는 대조보오드에 비하여 최고 60%의 향상을 보였으며, 목표 비중이 0.7인 보오드는 대조보오드에 비하여 50%의 향상된 값을 나타냈다. 또한 목표 비중 0.8인 보오드는 26%의 향상된 값을 보여주고 있으며, 이에 따라 철선구성(B)에 대한 유의성은 고도임을 Table 10 에서 보여주고 있다. 그런데 이들 철선구성수에 따른 영계수 값의 향상은 비중에 따라 그 영향이 다르게 나타나 그들 상호작용에서도 유의성이 큼을 알 수 있으며, 저비중보오드일수록 그 효과가 큼을 알 수 있다.

그런데, 일반적으로 파아티클보오드의 영계수

Table 11. Mean values of compressive strength of wood particle-wire composition boards

Specific gravity Numbers of wire	0.5	0.6	0.7	0.8	Sum	Mean
0	60.70	122.49	169.44	269.83	622.46	155.61
1	62.98	137.51	216.58	268.16	685.23	171.30
2	67.23	126.83	191.71	253.46	639.23	159.80
3	78.61	134.14	214.68	199.80	627.23	156.80
4	92.45	125.82	233.16	229.93	681.36	170.34
5	70.84	157.52	214.83	228.22	671.41	167.85
7	85.42	163.80	247.00	254.07	750.29	187.57
10	103.66	191.48	259.81	273.10	828.05	207.01
14	119.04	168.27	275.38	254.17	816.86	204.21
Sum	740.93	1327.86	2022.59	2230.74		
Mean	82.32	147.54	224.73	247.86		

Table 12. ANOVA of values of compressive strength of wood particle-wire composition boards, and the least significant difference (L.S.D.) at 5% significance

Factors	D.F.	S.S.	M.S.	F
Blocks	5	3100.384	620.076	1.45
Specific gravity (A)	3	924648.698	308216.230	722.61**
Error (a)	15	6397.907	426.527	
Mainplot	23	934146.989		
Wire composition (B)	8	73368.386	9171.048	17.83**
Specific gravity x Wire composition	24	53219.928	2217.497	4.31**
Error (b)	160	82268.863	514.180	
Subplot	192	208857.177		
Total	215	1143004.166		

L.S.D. (5%) [(a₂) - (a₁)] = 8.46
 L.S.D. (5%) [(a₁b₂) - (a₁b₁)] = 25.65

L.S.D. (5%) [(b₂) - (b₁)] = 12.82
 L.S.D. (5%) [(a₂b₁) - (a₁b₁)] = 25.62

는 비교적 낮은 값을 나타내는 것으로 알려진 바, 본 연구에서도 철선구성에 따른 인장강도의 본 연구에서도 철선 구성에 따른 인장강도의 향상보다 영계수값의 향상이 대체로 그 수준이 낮음을 알 수 있었다.

3.5. 壓縮強度와 영係數 (compressive strength and its young's modulus)

壓縮強度와 영계수의 平均값 및 分散分析한 내용은 Table 11, Table 12, Table 13 및 Table 14

에 제시된 바와 같다. 먼저 Table 11 과 Table 12 에 나타난 내용중에서 比重에 대해 살펴보면 비중이 증가함에 따라 보오드의 壓縮強度 향상이 뚜렷함을 알 수 있었으며, 鐵線構成數가 증가함에 따라 그러한 경향은 감소하는 추세를 보였으나, 평균적인 비중 (A) 의 영향은 고도의 유의성을

나타내고 있다.

또한 鐵線構成數가 증가함에 따라 각각 보오드의 壓縮強度는 대체로 향상되는 경향을 보였으나 비중이 높은 보오드일수록 그 경향이 감소되는 사실을 알 수 있었다. 이에 대한 내용을 각각의 비중에 따라 살펴보면, 목표 비중 0.5인 보오드의 압

Table 13. Mean values of compressive young's modulul of wood particle-wire composition boards

specific gravity Numbers of wire	0.5	0.6	0.7	0.8	Sum	Mean
0	9720.36	21361.11	29175.92	40226.19	100483.58	25120.89
1	12208.33	22627.31	34674.81	33883.46	103393.91	25848.47
2	11857.51	23364.58	32892.99	37405.41	105520.49	26380.12
3	12453.90	22162.87	32875.00	34827.48	102319.25	25579.81
4	15472.22	26193.30	33027.38	35700.75	110393.65	27599.66
5	13662.03	27055.55	33113.42	34037.38	107868.38	26967.09
7	13115.07	30006.94	39756.94	41192.27	124071.22	31017.80
10	16047.72	29604.49	40332.79	42936.50	128921.50	32230.37
14	20255.10	27657.40	43231.90	39971.59	131115.99	32778.99
Sum	124792.24	230038.55	319081.15	340181.03		
Mean	13865.80	25559.83	35453.46	37797.89		

Table 14. ANOVA of values of compressive young's modulul of wood particle-wire composition boards, and the least significant difference (L.S.D.) at 5% significance

Factors	D.F.	S.S.	M.S.	F.
Blocks	5	65090000	13018000	1.75
Specific gravity (A)	3	19287070000	6429023333	866.36**
Error (a)	15	111310000	7420666	
Mainplot	23	19463470000		
Wire composition (B)	8	1733070000	216633750	8.81**
Specific gravity x Wire composition	24	372620000	15525833	0.63 ^{NS}
Error (b)	160	3931830000	24573937	
Subplot	192	6037520000		
Total	215	2.5500990E10		

L.S.D. (5%) [(a₂) - (a₁)] = 1117.17

L.S.D. (5%) [(b₂) - (b₁)] = 2804.80

L.S.D. (5%) [(a₁b₂) - (a₁b₁)] = 5609.60

L.S.D. (5%) [(a₂b₁) - (a₁b₁)] = 2009.80

축강도 값은 대조보오드에 비하여 최고 96%의 향상을 보였고, 목표 비중 0.6인 보오드의 경우는 대조보오드에 비하여 최고 37%의 향상을 보였으며, 목표 비중 0.7인 보오드는 최고 62%의 향상을 보였으나, 목표 비중 0.8인 보오드는 모든 보오드가 대조보오드와 비슷한 수준을 보여주고 있다. 이들 철선구성(A)에 따른 유의성 검정은 고도의 유의성을 보여주고 있다.

引張強度의 경우와 비슷하게 木質鐵線複合보오드의 橫斷面 一定面積當 鐵線構成數가 증가할수록 壓縮強度의 向上이 나타나며 低比重 보오드일수록 철선구성에 따른 압축강도의 향상이 더욱 뚜렷함을 알 수 있어 철선구성 효과에 비중이 크게 영향하고 있었다. 이에 따라 비중×철선구성의 상호작용의 유의성이 고도로 나타났음을 알 수 있다.

Table 13 과 Table 14 에 제시한 壓縮係數도 비중간에 뚜렷한 값의 차이를 나타내면서 비중이 증가할수록 영계수 값이 증가함을 보여주고 있어 비중(A)의 유의성 검정에서 고도의 값을 나타내고 있다.

鐵線構成數에 따른 壓縮係數 값의 變化도 인장강도와 비슷하게 저비중일수록 그 값이 크게 나타났으며 그 내용을 비중별로 살펴보면, 목표 비중이 0.5인 경우 철선을 14개 구성한 보오드의 경우 대조보오드에 비하여 최고 100%의 향상된 값을 나타냈으며 목표 비중이 0.6인 보오드의 경우는 대조보오드에 비하여 최고 29%의 향상된 값을 보였고 목표 비중이 0.7인 보오드의 경우는 대조보오드에 비해 최고 48%의 향상된 값을 보였으나, 목표 비중 0.8인 보오드의 경우는 전보오드가 거의 비슷한 수준을 보여주고 있어 인장강도의 경우와 비슷한 양상을 나타내고 있다. 그런데, 이들 철선구성에 따른 유의성 검정은 고도의 유의성을 보여주고 있다.

4. 結 論

과아티클보오드의 積層材의 木質을 向上시키기 위한 방안의 하나로 木質鐵線複合보오드의 引張強度, 壓縮強度를 中心으로 한 機械的 性質과 두께膨脹率등에 관한 물리적 성질을 조사하였다.

본 실험에서 사용한 木質과아티클은 시중 과아

티클보오드 공장에서 中層用으로 사용하는 과아티클을 사용하였으며, 공시철선은 굵기가 1mm로 木質매트內에 1層, 2層 및 3層으로 구성하였으며, 구성철선의 數는 보오드 길이방향의 橫斷面의 一定斷面의(6cm²)을 기준으로해서 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14 등 8가지로 하여 일정면적에 구성된 철선구성수에 따른 木質變化를 비중 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 등 4가지에 따라 分割區 方法으로 조사하였다.

제조된 목질철선복합보오드의 성질은 다음과 같다.

1. 제조된 木質鐵線複合보오드의 두께팽창을 값은 보오드의 비중이 0.5인 경우는 그 값이 낮게 나타나 低比重에서는 철선구성이 두께팽창억제에 효과적임을 보여주나 비중 0.8보오드는 反對現象이 나타나 高比重에서는 非效果的임을 나타냈다.
2. 보오드의 引張強度는 橫斷面 一定面積當 鐵線構成數가 증가할수록 引張強度의 向上이 뚜렷함을 보여 비중 0.5인 보오드는 對照보오드에 비하여 최고 140%정도 향상된 값을 보였으며, 비중 0.6인 보오드는 최고 116%, 비중 0.7인 보오드는 최고 75%, 비중 0.8인 보오드는 최고 51% 향상된 인장강도를 보여 우수한 결과를 나타내었다.
3. 보오드의 壓縮強度는 비중이 0.5인 보오드가 對照보오드에 비하여 최고 96% 향상을 보였으며, 비중이 0.6인 보오드는 최고 37%, 비중이 0.7인 보오드는 62%의 향상을 보였으나 0.8인 보오드는 대조보오드와 비슷한 수준을 보여주고 있어, 低비중보오드일수록 철선구성에 따른 강도향상이 뚜렷함을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

1. Bhagwat, S. 1971. Physical and mechanical variations in cottonwood and hickory flakeboards made from flakes of three size. For. Prod. J. Vol. 21(9): 101-103.
2. Biblis, E.J. 1985. Properties of three-layer oriented strandboard from southern hardwoods. For. Prod. J. Vol. 35(2): 28-32.

3. Biblis, E.J. 1983. Composite plywood with southern pine veneer faces and oriented strand core from sweetgum and southern pine. *Wood and Fiber Sci.* Vol. 17(1): 58-74.
4. Bodig, J., and B.A. Jayne. 1982. *Mechanics of Wood and Wood Composites.* Van Nostrand Reinhold Company: 303-314.
5. Braun, M.O., and R.C. Moody. 1977. Bending strength of small glulam with a laminated-veneer tension lamination. *For. Prod. J.* Vol. 27(11): 46-51.
6. Bulleit, W.M. 1985. Elastic analysis of surface reinforced particleboard. *For. Prod. J.* Vol. 35(5) 61-68.
7. Chow, P. 1972. Modulus of elasticity and shear deflection of walnut-veneered-particleboard composites beams in flexure. *For. Prod. J.* Vol. 22(11): 33-38.
8. Coleman, R.E., and H.T. Hurst. 1974. Timber structures reinforced with light gage steel. *For. Prod. J.* Vol. 27(2): 45-53.
9. Countryman, D. 1975. Research program to develop performance specifications for the veneer-particleboard composite panel. *For. Prod. J.* Vol. 25(9): 44-48.
10. Freas, A.B., and M.L. Selbo. 1954. Fabrication and design of glued laminated wood structural members. USDA For. Serv. FPL Tech. Bull. No. 1069.
11. Fujino, K., and T.H. Ota. 1953. Studies on metal-wood plyplate, III, strength of aluminium-wood plyplate. *Wood Res.* 9: 63-67.
12. Gatchell, C.J., B.G. Heebink, and F.V. Hefty. 1966. Influence of component variables on properties of particleboard for exterior use. *For. Prod. J.* Vol. 16(4): 46-59.
13. Geimer, R.L., H.M. Montrey, and W.F. Lehmann. 1975. Effects of layer characteristics on the properties of three-layer particleboards. *For. Prod. J.* Vol. 25(3): 19-29.
14. Geimer, R.L., and E.W. Price. 1978. Construction variables considered in fabrication of a structural flakeboard. USDA For. Ser. Gen. Tech. Report WO-5: 69-80.
15. Geimer, R.L. 1979. Data basic to the engineering design of reconstituted flakeboard. USDA For. Ser. Tech. Article: 105-125.
16. Geimer, R.L. 1982. Feasibility of producing reconstituted railroad ties on a commercial scales. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 411.
17. Hann, R.A., J.M. Blake, and R.F. Blomquist. 1963. How durable is particleboard? *For. Prod. J.* Vol. 13(5): 169-174.
18. Hayashi, C., Y. Nakarai, M. Ono, and S. Onishi. 1966. Bonding test of wood based material to metal. *Wood Ind.* 21-2: 19-25.
19. Haygreen, J.G., and J.L. Bowyer. 1982. *Forest Products and Wood Science.* The Iowa state univ. Press: 223-229.
20. Heebink, B.G., and F.V. Hefty. 1969. Treatments to reduce thickness swelling of phenolic-bonded particleboard. *For. Prod. J.* Vol. 19(11): 17-26.
21. Hoyle, R.J. 1975. Steel-reinforced wood beam design. *For. Prod. J.* Vol. 25(4) : 17-23.
22. Hse, C.Y. 1975. Properties of flakeboards from hardwoods growing on southern pine sites. *For. Prod. J.* Vol. 25(3): 48-53.
23. Hunt, M.O., W.F. Lehmann, W.L. Hoover, J.D. McNatt, and D.A. Fergus. 1979. Red oak structural particleboard. *For. Prod. J.* Vol. 29(9): 43-49.
24. Julien, L.M., J.C. Edger, and T.M. Conder. 1972. Segregation of aspen, balsam, and spruce wood and bark chips based on density differences. *For. Prod. J.* Vol. 22(6): 56-59.
25. Jung, J. 1982. Properties of parallel-laminated veneer from stresswave-tested veneers. *For. Prod. J.* Vol. 32(7): 30-35.
26. Jung, J. 1983. Investigation of various end joints in parallel-laminated veneer. *For. Prod. J.* Vol. 34(5): 51-55.
27. Laufenberg, T.L. 1983. Parallel-laminated veneer; processing and performance research view. *For. Prod. J.* Vol. 33(9): 21-28.
28. Kelly, M.W., and E.W. Price. 1985. Effect of

- species and panel density on durability of structural flakeboard. *For. Prod. J.* Vol. 35 (2): 39-44.
29. Lee, P.W., and H. Park. 1983. A study on the physical properties of sawdust board combined with reinforce material. *Mogjae Gonghak* Vol. 11(3): 31-38.
 30. Lee, P.W., and J.S. Suh. 1985. Effects of the wire net composition on flexural properties of sawdust board. *Mogjae Gonghak* Vol. 13(4): 67-72.
 31. Lee, P.W. 1985. Effect of combining wood particles and wire net on the physical properties of board. *Mogjae Gonghak* Vol. 13(3): 3-26.
 32. Lee, P.W., and H. Park. 1985. Effect of steel wire composition on physical and mechanical properties of sawdust board. *Mogjae Gonghak* Vol. 13(5): 34-42.
 33. Lehmann, W.F. 1974. Properties of structural particleboards. *For. Prod. J.* Vol. 24(1): 19-26.
 34. Lyons, B.E., J.D. Rose, and J.R. Tissell. 1975. Performance of plywood and composite panels under concentrated and impact loads. *For. Prod. J.* Vol. 25(9): 56-60.
 35. Mark, R. 1963. Wood aluminium beams within and beyond the elastic range. *For. Prod. J.* Vol. 13(11): 508-516.
 36. 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. *For. Prod. J.* Vol. 32(1): 45-52.
 37. Panning, D.J., and R.O. Gertjens. 1985. Balsam poplar as a raw material for waferboard. *For. Prod. J.* Vol. 35(5): 48-54.
 38. Park, H. and P.W. Lee. 1986. Effects of wood particles and steel wire compositions on physical and mechanical properties of the board. *Mogjae Gonghak* Vol. 14(1): 3-44.
 39. Pellerin, R.F., and M.D. Strickler. 1972. Proof loading of tension laminations. *For. Prod. J.* Vol. 22(10): 24-30.
 40. Post, P.W. 1961. Mechanical and dimensional properties of flakeboard. *For. Prod. J.* Vol. 11(1): 34-37.
 41. Price, E.W., and C.Y. Hse. 1983. Bottomland hardwoods for structural flakeboards. *For. Prod. J.* Vol. 33(11/12): 33-40.
 42. Rice, J.T. 1973. Particleboard from "Silage" sycamore-laboratory production and testing. *For. Prod. J.* Vol. 23(2): 28-35.
 43. Shuler, C.E., and R.A. Kelly. 1976. Effect of flake geometry on mechanical properties of eastern spruce flake-type particle board. *For. Prod. J.* Vol. 26(6): 24-28.
 44. Simpson, W.T. 1977. Model for tensile strength of oriented flakeboard. *Wood Sci.* Vol. 10(2): 68-71.
 45. Sliker, A. 1962. Reinforced wood laminated beams. *For. Prod. J.* Vol. 12(2): 91-96.
 46. Smith, D.C. 1982. Waferboard pressing strategies. *For. Prod. J.* Vol. 32(3): 40-45.
 47. Strickler, M.D., and R.F. Pellerin. 1971. Tension proof loading of finger joints for laminated beams. *For. Prod. J.* Vol. 21(6): 19-24.
 48. Tokuda, M. 1984. The feasibility of laminated veneer lumber for metal plate connected joints. *Mokuzai Gakkaishi* Vol. 30 (2): 139-147.
 49. Youngquist, J.A. 1979. Production and marketing feasibility of parallel-laminated veneer products. *For. Prod. J.* Vol. 29(8): 45-58.