

## 현사시나무로 製造된 熱壓縮木材와 木材-高分子 複合體 材質의 比較研究<sup>1</sup>

朴 相 範<sup>2</sup> · 安 元 榮<sup>2</sup>

### Comparative Study on Mechanical Properties and Dimensional Stability of Staypak and Wood-Polymer Composites from *Populus alba* × *P.* *glandulosa* wood<sup>1</sup>

Sang Bum Pak<sup>2</sup> · Won Yung Ahn<sup>2</sup>

#### Summary

One of the techniques for altering the properties of wood that has received considerable attention in the last twenty years is the formation of a wood-polymer composite (WPC) by irradiation and heat-catalyst polymerization of a monomer incorporated into the wood matrix. Wood-polymer composites are the new products having the superior mechanical and physical properties and the combined characteristics of wood and plastic.

The purpose of this experiment was to obtain the basic data for the improvement of wooden materials by manufacturing WPC and Staypak. The species examined was Hyunsasi-Namoo (*Populus alba* × *P. glandulosa*) which had not been utilized yet.

Methylmethacrylate (MMA) as monomer, benzoyl peroxide (BPO) as initiator and methyl alcohol as bulking agent were used.

The monomer containing BPO was impregnated into wood pieces by the dipping and the vacuum process for 2 hours. After impregnation, the treated samples were polymerized on the hot press with pressure and heat-catalyst methods.

The results obtained were summarized as follows:

1. The monomer loading into wood by the dipping process was 12.13 percent and 29.99 percent by the vacuum.  
The polymer loading into wood by the dipping process was 6.79 percent and 15.44 percent by the vacuum.
2. Comparing with Staypak, antishrink efficiency (ASE) of WPC was 12.5 to 13.6 percent on the radial direction and 14.70 to 18.63 percent on the tangential. Antiswelling efficiency (AE) was 14.40 to 17.22 percent on the radial direction and 17.18 to 42.18 to 42.14 percent on the tangential. Reduction in water absorptivity (RWA) was 8.19 to 15.5 percent. As a whole, the vacuum process was better than the dipping.

---

1. 接受 3月 26日 Received March 26, 1985.

2. 서울대학교 農科大學 College of Agriculture, Seoul National University, Suweon 170, Korea

3. The specific gravity of control, Staypak and WPC were 0.44, 0.66 and 0.61 to 0.62, respectively.
4. In the bending strength test, the strength in case that the load direction is on the radial surface was greater than that which the load direction is on the tangential.
5. Increasing rate of stress at proportional limit in compression perpendicular to grain was 72.26 percent in case of WPC by the dipping process, 78.93 percent by the vacuum and 99.09 percent in case of Staypak.

*Key word: Populus alba × P. glandulosa, mechanical properties, dimensional stability, Staypak, Wood-Polymer Composites, MMA, BPO, methyl alcohol, impregnation, dipping, vacuum process, polymerization, pressure, heat-catalyst.*

## 要 約

本 研究에서는 國內產 未利用 闊葉樹材인 현사시나무의 材質改良을 위한 方案으로 비닐계 單量體인 methylmethacrylate (MMA) 溶液을 木材內로 注入한 後 加壓·加熱 觸媒重合法에 의하여 製造한 木材-高分子 複合體 (WPC; wood-polymer composites) 와 熱壓縮木材 (Staypak; heat-stabilized compressed wood) 의 物理的, 機械的 性質과 치수 安定性を 調査하였다. WPC 製造時 單量體의 注入量을 比較하기 위하여 浸漬法과 眞空減壓法을 實施하였다. 本 研究에서 얻어진 結果는 다음과 같다.

1. 木材內 單量體의 注入量은 眞空減壓法이 浸漬法에 비해 約 2 倍의 效果가 있었다.
2. 木在內로 注入된 單量體는 WPC의 製造時 約 절반가량 重合되었다.
3. 製造된 WPC의 치수 安定效果의 測定結果, 半徑方向에서의 抗收縮率 12.5 ~ 13.6%, 接線方向에서의 抗收縮率은 12.5 ~ 13.6%, 接線方向이 17.18 ~ 40.14%였다. 吸水減少率은 8.19 ~ 15.5%로 眞空減壓法이 浸漬法에 의한 WPC보다 效果가 좋았다.
4. 靱強度 試驗時 荷重을 加하는 方向을 달리하였을 때 半徑方向으로 荷重을 加한 境遇가 接線方向에 비해 높은 強度值를 나타내었다.
5. Staypak 및 WPC는 素材에 비해 橫壓縮強度가 70 ~ 90% 向上되었으며, 縱壓縮強度는 10 ~ 30% 增加되었다.
6. Staypak의 比重은 0.66, 浸漬法에 의한 WPC는 0.61, 眞空減壓法에 의한 WPC의 比重은 0.62, 素材는 0.44 였다.

## 緒 論

우리나라와 같이 木材需要量의 80% 이상을 外材에 依存하고 있는 木材資源이 極히 貧弱한 國家는 木材資源의 造成, 安定的인 外材導入을 爲한 外材導入線의 多邊化, 木材의 節約의이고 效率의인 利用에 對하여 努力하지 않으면 안된다. 아울러 生産品의 品質向上, 生産費의 節減, 使用壽命의 延長等 새로운 技術의 導入 또는 開發이 絶實히 要請되고 있는 現實情에 비추어 材質改良을 爲한 끊임없는 努力이 要請되고 있다. 木材는 셀룰로오스, 헤미 셀룰로오스 및 리그닌으로 構成된 天然高分子 複合體로서 異方性, 吸濕性, 吸水性을

지닌 材料이기 때문에 吸濕, 吸水 등에 의해 機械的 性質의 變化와 相當한 치수變化를 일으킨다.

또 木材의 比重은 樹種마다 다르고 또한 同一 樹種內에서도 心·邊材 혹은 部位에 따라 다르며, 他 構造用材에 비해 比重이 낮고 不均一하여 이에 對한 解結方案으로 比重을 높게 하여 機械的 性質을 改善한 熱壓縮木材 (Staypak; heat-stabilized compressed wood) 가 登場하였다. 그러나 熱壓縮木材는 水分接觸時 本來의 두께로 回復하려는 傾向이 나타난다. 이러한 熱壓縮木材가 지닌 短點을 改善하기 爲하여 木材內에 低縮合의 水溶性 樹脂를 注入하여 不溶性인 重合體로 硬化시켜 吸濕性を 改善하고 치수 安定性を 附與하는 合成樹

脂處理材 (Impreg) 가 登場하였으며, 單板이나 얇은 板材에 페놀樹脂를 注入시킨 後 加壓과 同時에 加熱하여 硬化시킨 樹脂處理壓縮木材(Compreg)가 製造되어 木造 항공기의 프로펠러 基部, 방직 用 북, 칼자루 등에 利用되었다. 1960年 初期 石油化學工業의 發展과 더불어 木材內에 비닐系 單量體를 注入하고 放射線 혹은 觸媒加熱로 重合시킨 木材-플라스틱 複合體 (WPC, wood-plastic composite) 가 登場, 脚光을 받기 始作하였다.

그러나 WPC를 製造하는데 必要한 單量體의 價格이 비싸고 木材內로의 均一한 浸透와 擴散이 어렵기 때문에 木材의 表層 2~3mm만 WPC化하는 "Skinpreg"가 登場하여 注目을 끌고 있다.

本 研究는 1960年 以來 大量植栽 되어온 國內産 未利用 闊葉樹材인 현사시나무의 材質改良을 爲한 方案으로, 熱壓縮木材를 製造하고, 또한 木材의 表層에만 單量體를 浸透시켜 單量體의 量을 節約하는 同時에 熱壓縮에 依해 重合시켜 짧은 時間內에 製品化 할 수 있는 WPC를 製造, 그 強度의 性質의 變化와 치수 安定效果를 調査하기 爲하여 遂行되었다.

## 研 究 史

木材가 갖는 缺陷을 改良하여 그 性質을 改善하는 木材의 改質에는 再構成 木材 (reconstituted woods) 인 集成材, 合板, P.B., 纖維板, 종이等과는 달리 木材本來의 모습을 維持한 채로 150~300℃로 熱處理한 熱 安定化處理材 (Staywood; heat-stabilized wood) 와 熱과 壓力下에서 高密度화시킨 熱壓縮木材 (Staypak; heat-stabilized compressed wood) 등의 物理的 方法, 코름 알데히드에 依한 木材內의 水酸基와의 架橋結合, 시아노에틸화, PEG (polyethylene glycol) 에 依한 細胞膜의 膨潤 등의 化學的 方法 및 phenol-formaldehyde 處理後 熱 및 壓力下에서 製造된 合成樹脂處理材 (Impreg), 樹脂處理壓縮材 (Compreg) 등의 物理·化學的 並用處理法 등이 있다 (1969)<sup>8)</sup> (1977)<sup>21)</sup>.

1960年代에 접어들어 石油化學工業의 發達로 單量體의 生産이 豐富하고 또한 放射線의 平和的 利用을 模索하는 過程에서 木材內部에 비닐系 單

量體를 注入한 後 γ선에 依해 重合된 木材-高分子 複合體가 登場하게 되었다 (1962)<sup>5)</sup>

1958年 美國의 D.L.Kenaga가 單量體를 使用하여 木材와 플라스틱의 複合體 製造에 關한 特許를 얻었으며, 이어 소련, 유럽, 日本 등에서 研究가 活發하게 進行되었다.

WPC의 發展은 J.A.Kent(1962)<sup>6)</sup> 등이 研究한 放射線重合法을 基礎로 하여 이루어졌으며 重合을 爲한 高分子 接合의 理論은 J.J.Hermans (1962)<sup>4)</sup>에 依해 仔細하게 研究되어졌다.

그러나 放射線을 利用하여 WPC를 製造할 時에는 γ線에 依한 危險性과 그 照查施設의 設置經費가 莫大하여 어려운 점이 있으므로 그 代置方法으로서 熱·觸媒法이 臺頭되었는 바, 이 方法은 H.D.Erickson(1964)<sup>3)</sup> 등이 最初로 開發하였는데 WPC의 製造法으로서가 아니라 Douglas-fir 內의 液體 流通道를 究明하기 爲하여 styrene을 注入, 熱·觸媒法에 依해 重合하였다.

J.A.Meyer(1965)<sup>7)</sup>, J.F.Siau(1966)<sup>18)</sup>, T.Autio (1970)<sup>1)</sup> 등이 WPC製造에 있어서 熱·觸媒法과 放射線照查法 間에는 機械的, 物理的 性質에 差異가 없음을 報告하였다. 木材에 單量體를 注入시키는 過程에서 大部分의 液狀 單量體는 물에 녹지 아니하므로 處理할 木材는 含水率이 極히 낮은 狀態여야 하며 單量體의 均一한 注入이 圓滑히 이루어지게 하기 爲하여 乾燥木材의 微細空隙을 擴大·膨潤시키는 膨潤劑를 使用하고 있다. J.F.Siau(1965)<sup>17)</sup> 등은 浴媒代置와 高眞空注入法으로 Yellow poplar 에 styrene을 注入, 重合하였으며 K.V.Ramalingan(1963)<sup>12)</sup> 등도 styrene을 單量體로, 알콜과 물을 膨潤劑하여 WPC를 製造, 90%의 抗收縮率을 達成하였다.

T.K.Timmons(1971)<sup>22)</sup> 등은 WPC內의 高分子의 細胞膜內 位置를 電子顯微鏡으로 觀察, 主로 細胞內腔에만 存在함을 밝혀 木材成分과 高分子 間에는 어떤 化學的 縮합이 없다고 하였다. M.W.Spindler(1973)<sup>20)</sup> 등은 styrene과 acrylonitrile로 製造된 WPC의 化學藥品에 對한 低抗性의 調査에서 WPC는 未處理材에 비해 2~5배의 耐藥品性이 있음을 報告하여 化學藥品工場의 마루板으로서의 使用에 適合함을 밝혔다.

F.C.Beall(1973)<sup>2)</sup> 등은 PMMA (polymethylmethacrylate) 로 處理한 참나무, 사시나무, 단풍나무 등의 硬度 및 硬度係數를 調査, 比重과 高分子 含浸量을 基準으로 한 豫想方程式를 算出하였다.

R.M.Rowell(1975)<sup>13)</sup>은 木材의 化學的 改良에 있어서의 長·短點을 檢討, 앞으로의 展望을 豫見했고, 木材의 寸수 安定性的의 보다 正確한 評價를 爲하여 連續水浸漬法을 利用하였다.(1978)<sup>4)</sup>

이어 alkylene oxide 系의 防腐·防蟲性 藥劑와 MMA를 並用하여 製造된 WPC의 防腐·防蟲·耐朽性 및 機械的 性質에 關한 實驗을 行하였다 (1981)<sup>15)</sup> (1982)<sup>16)</sup>. J.F.Siau(1978)<sup>19)</sup> 등은 美國 南部 闊葉樹 22 樹種에 對한 單量體 溶液의 木材內로의 浸透性을 調査, WPC에 適合한 樹種을 糾明하여 散孔材에 藥液이 쉽게 均一하게 浸透됨을 밝혔다.

J.A.Meyer(1982)<sup>9)10)</sup>은 오늘날까지의 WPC의 用도에 關한 綜合的인 總說을 發表하였다.

日本에서의 WPC의 研究開發中 注目을 받은 것은 川上英夫(1974)<sup>23)</sup> (1975)<sup>24)</sup> 등이 PEG (polyethylene glycol) 浴에 依한 WPC를 製造하여 重合過程中 揮散되는 單量體의 損失을 防止하는 方法을 發表하였다. 三林進(1982)<sup>25)</sup> 등은 WPC製造時 木材內의 抽出成分의 重合沮害作用을 糾明, 이를 減少시키는 方法에 對한 研究을 遂行하였다.

변형직(1969)<sup>32)</sup> (1972)<sup>34)</sup>은 國內產 소나무, 포플라와 美松등을 對象으로 放射線重合法에 依한 WPC를 製造, 研究하였으며, 변형직, 이응무(1970)<sup>33)</sup>는 styrene, vinyl acetate, MMA를 單量體로 使用하여 소나무, 리기다소나무, 사시나무의 放射線에 依한 WPC의 製造特性을 檢討하였다.

또한 이동주(1969)<sup>28)</sup> (1970)<sup>29)</sup> 등은 소나무, 라왕, 포플라 등으로 WPC를 製造하여 物理的·機械的 性質을 調査하고, 運動具 및 층 개머리板의 生産可能性을 檢討하였다.

安元榮(1973)<sup>27)</sup>은 WPC의 製造方法을 綜合的으로 研究, WPC製造를 위한 基礎的인 學術 資料를 提供하였다.

趙南爽(1974)<sup>30)</sup> 등은 물푸레나무, 서어나무, 층층나무, 고로쇠나무, 가래나무, 산벚나무등 6 樹種을 MMA를 單量體로 하여 熱·觸媒法에 依한 WPC를 製造하여 紡織機의 部品과 兵器用材로서의 利用을 위한 研究을 行하였으며, 이어 趙(1976)<sup>31)</sup> 등은 styrene 및 MMA單量體를 利用한 서어나무, 오리나무, 이태리포플라 3 樹種의 複合體 製造時 그 特性을 調査하고 紡織用 木管으로서의 使用可能性을 檢討하였다.

最近, 床板材料 등을 目的으로 하는 加工法으로, 材의 表面 2~3mm를 WPC化하는 方法, 즉 單量體를 미리 材面에 含浸시키고, 化學法에 依해 壓縮와 同時에 熱을 加하여 重合시키는 "Skinpreg"가 登場하여 單量體의 量을 줄이는 同時에 짧은 時間 內에 WPC를 製造할 수 있게 되었다.

## 材料 및 方法

### 1. 供試材料

#### 1.1. 供試木

本 研究에서는 林木育種研究所에서 현사시나무 3 本을 分孳받아 供試木으로 使用하였는 바 供試木의 性狀은 表1)과 같다.

Table 1. Characteristics of sample trees

Species	<i>Populus alba</i> × <i>P. glandulosa</i>
Age	17-20 years
Location	Eochun-ri, Hwaseong-koon, Kyungki-Do
Number	3
D.B.H.	20-24(cm)
Height	19-20(cm)
M.C. a)	95.3 (%)
Sp.Gr. b)	0.43-0.46
Average ring width	10.4(mm)

a) M.C. ; Based on oven dry weight.

b) Sp.Gr. ; Based on green volume.

#### 1.2. 供試單量體

單量體는 日本 SHINYO PURE CHEMICALS CO., LTD製 methylmethacrylate (MMA) 溶液을 使用하였다.

1.3. 物理的 性質 試驗片

供試木으로 使用된 현사시나무의 基本的인 物理的 性質을 調査하기 爲하여 그림(2)와 같이 자른後 (B), (D) 등의 邊材部에서 試驗片을 採取하였다.

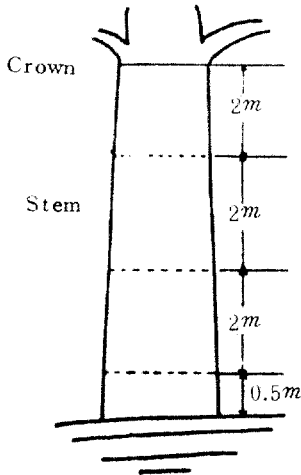


Fig.1 Division of tree by position in tree.

Table 2. Preparation of specimens

Specimen	Size(T×R×L(cm))*
Moisture content	2×2×2
Specific gravity	2×2×2
Static bending	2×2×28
Compression parallel to grain	2×2×4
Compression perpendicular to grain	4×2×2

\* Note) T: Length along tangential direction in cross section.  
 R: Length along radial direction in cross section.  
 L: Length along longitudinal direction

1.4. 機械的 性質 試驗片

強度試驗用 試片은 그림(1)과 같이 供試木을 區分한 後, 各 部分에서 1 개씩의 試驗片을 表(2)의 各 試驗에 割當하였고, 試驗片의 採取는 그림(2)의 (A), (C), (E) 部位에서 용이 등의 缺陷을 除外하고 採取하였다.

2. 實驗方法

2.1. 供試材의 物理的 性質

2.1.1. 含水率

供試材의 生材含水率을 測定하기 爲하여 表(2)와 같이 試片을 採取하여 즉시 무게를 測定한 後, 換氣가 좋은 乾燥器 속에서 溫度 103±2℃로 乾燥하고 恒量에 達할때의 무게를 測定하였다. 含水率은 式(1)에 依據, 計算하였다.

$$\text{含水率(\%)} = \frac{W_g - W_o}{W_o} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

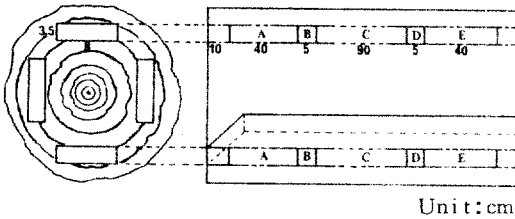
W<sub>g</sub> ; 乾燥前重量 (weight(g) of specimen before drying)

W<sub>o</sub> ; 全乾重量 (weight(g) of specimen after drying)

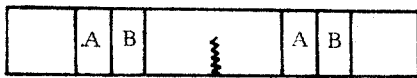
Staypak 과 WPC의 平衡含水率의 變異를 살펴보기 爲해 溫度 25℃, 相對 濕度 60%에서 恒量에 達한 그림(3)의 試驗片의 무게를 測定하고, 溫度 103±2℃로 乾燥하여 恒量에 到達한 後, 式(1)에 依據, 含水率을 計算하였다.

2.1.2. 比 重

Fig.2 Selection method of specimens.



Unit:cm



A:Specimens for M.C. and Sp.Gr.

B:Specimens for ASE and AE

Fig.3 Specimen for M.C.,Sp.Gr. and ASE(AE) after bending test.

熱壓處理後 WPC와 Staypak의 平衡含水率과 比重의 變化를 測定키 爲한 試驗片은 靑強度 試驗이 끝난 試驗片에서 그림(3)과 같이 採取하였다.이 때 強度試驗後 試驗片을 비닐로 包裝하여 含水率의 變化를 防止하였다.

試驗片의 規格은 表(2)와 같다.

供試木에서 採取한 그림(2)의 (B)의 比重 測定 用 試片으로 式(2)에 依해 生材比重을 求하였다.

$$\text{生材比重} = \frac{W_o}{V_g} \dots\dots\dots (2)$$

$W_o$  : 試片의 全乾重量

$V_g$  : 試片의 生材容積과 同容積의 물의 重量

Staypak 과 WPC의 氣乾比重을 調査하기 爲하여 靑強度 試驗 後의 試片을 그림(3)의 (A)部分에서 採取하여 式(3)에 依據하여 測定하였다.

$$\text{氣乾比重} = \frac{W_o}{V_a} \dots\dots\dots (3)$$

$W_o$  : 試片의 全乾重量

$V_a$  : 試片의 氣乾容積과 同容積의 물의 重量

2.2. 單量體의 準備

木材内部에 均一하고 充分히 單量體를 浸透시키기 爲하여 溶媒로서 極성이 높은 에틸알콜을 單量體重量의 50%를 添加하였고, 重合開始劑인 benzoyl peroxide (BPO)를 單量體重量의 0.5% 정도 添加하였다.

2.3. 熱壓縮木材의 製造

熱壓縮木材를 製造할 때에는 두께 3 cm, 폭 8 cm, 길이 40 cm의 素材를 溫度 150 ~ 160 C의 熱板사이에서 50 kg/cm<sup>2</sup>의 壓力을 加하여 2 cm 두께로 製造 後 약 20分間 維持시킨 다음 40分間 熱板內로 冷却水를 通過시켜 熱板의 溫度가 20 C以下로 되었을때 熱板을 解壓한 後 熱壓縮木材를 熱板에서 除去하였다. 熱壓縮木材와 WPC의 製造에는 그림(4)와 같은 熱壓機를 使用하였다.

2.4. 木材-高分子 複合體의 製造

두께 3 cm, 폭 8 cm, 길이 40 cm의 素材를 25 × 12 × 40 (cm) 크기의 鐵製통에 넣고 單量體를 注入하여 2時間동안 浸漬處理한 後 供試片을 꺼내어 表面에 묻은 單量體를 닦아내고 直示天秤을 使用하여 0.01 g까지 秤量한 다음 銀箔紙로 싸서 單

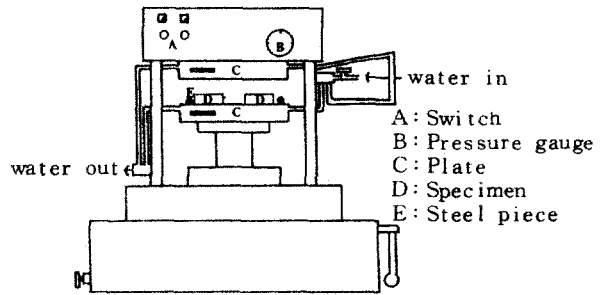


Fig.4 Schematic drawing of hot press.

量體의 揮散을 防止한 다음 熱板에 놓고 溫度 140 ~ 150 C, 壓力 50 kg/cm<sup>2</sup>로 20分間 壓縮하여 2 cm 두께로 만든다음 40分間 熱板內로 冷却水를 通過시켜 熱板의 溫度가 20 C로 되었을 때 解壓한 後 WPC를 熱板에서 除去하여 機械的, 物理的 試驗에 알맞도록 切斷하였다.

또한 浸漬法에 依한 單量體 注入과 의 藥液 浸漬量을 比較하기 爲하여 그림(5)와 같이 眞空減壓하여 準備된 單量體를 注入하였다.

眞空減壓에 使用된 裝置는 그림(6)과 같이 眞空乾燥器를 使用하여 試片을 25 × 12 × 40 (cm) 크기의 鐵製통에 넣은 後, 眞空乾燥器에 넣고 急速히 減壓하여 20分間 維持시키고 코크를 열어 약 5分間에 걸쳐 서서히 木材의 表面이 乾될정도로 單量體를 注入하였다.

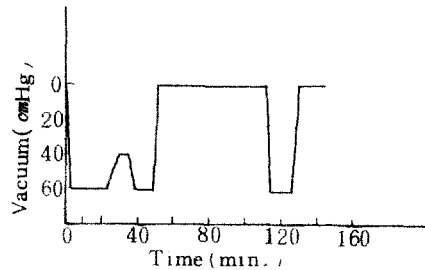


Fig.5 Treating cycles used for treating specimens.

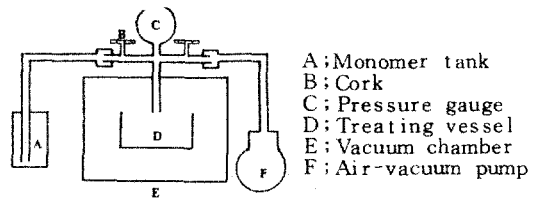


Fig.6 Schematic drawing of vacuum chamber.

다시 減壓·常壓·減壓 等의 眞空處理法으로 2 時間 동안 處理한 後, 浸漬에 依한 WPC化의 方法과 同一하게 眞空減壓處理에 依한 WPC를 製造하였다.

2.5. 機械的 性質

機械的 性質은 韓國工業 規格에 依해 萬能材料 試驗機인 日本 Shimadzu社製 Autograph Is-10T를 使用하여 測定하였다. 各 強度試驗時의 條件은 表(3)과 같다.

Table 3. Condition of strength test

Test	Max. load (ton)	Load speed (mm/min)	Chart speed (mm/min)
Static bending	0.5	5	30
Compression	2	1	30

2.5.1. 휨強度 試驗

휨強度 試驗에서는 式(4), 式(5), 式(6)에 依해 各 各 破壞係數 (MOR; modulus of rupture), 比例限度應力 ( $S_{pl}$ ; stress at proportional limit), 彈性係數 (MOE; modulus of elasticity) 등을 計算하였다. 荷重方向에 依한 影響을 調査하기 爲해 그림(7)과 같이 半徑方向, 接線方向으로 壓力을 加하였다.

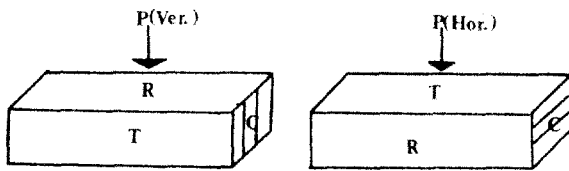


Fig.7 Specimens for static bending.

$$MOR (kg/cm^2) = 3P \cdot l / 2b \cdot h^2 \dots\dots (4)$$

$$Spl (kg/cm^2) = 3P_{pl} \cdot l / 2b \cdot h^2 \dots\dots (5)$$

$$MOE (kg/cm^2) = P_{pl} \cdot l^3 / 4D_{pl} \cdot b \cdot h^3 \dots\dots (6)$$

P ; 最大荷重 (maximum load)

$P_{pl}$ ; 比例限度荷重 (load at proportional limit)

$D_{pl}$ ; 比例限度變形 (displacement at proportional limit)

l ; 스패의 길이 (length of span)

b ; 幅 (width)

h ; 두께 (thickness)

2.5.2. 壓縮強度 試驗

그림(8)의 縱壓縮 試驗에서는 式(7), 式(8), 式(9)에 依해 各 各 破壞強度 (MCS; maximum crushing strength), 比例限度應力, 彈性係數를 計算하였고, 그림(9)의 橫壓縮 試驗에서는 式(9), 式(10)에 依해 各 各 比例限度應力과 彈性係數를 求하였다.

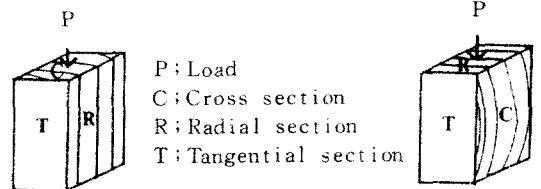


Fig.8 Specimen for compression parallel to grain. Fig.9 Specimen for compression perpendicular to grain.

MCS; 破壞強度 (maximum crushing strength)

A; 斷面積 (area of cross section)

l; 試片의 길이 (length of specimen)

2.6. 單量體 注入量의 測定

注入이 完了되면 注入裝置에서 供試片을 꺼내 表面에 묻은 單量體를 닦아내고 直示天秤을 使用하여 0.01g까지 秤量한 後, 單量體 注入量을 計算하였다.

$$\text{單量體 注入量}(\%) = \frac{W_T - W_C}{W_C} \times 100$$

$W_T$ ; 處理材의 重量 (weight of treated sample)

$W_C$ ; 素材의 重量 (weight of control)

2.7. 木材-高分子 複合體의 特性調査

2.7.1. 高分子 含浸量 (polymer loading; PL)

$$PL(\%) = \frac{W_T - W_C}{W_C} \times 100$$

$W_T$ ; WPC의 全乾重量 (oven dry weight of WPC)

$W_C$ ; 素材의 全乾重量 (oven dry weight of Control)

2.7.2. 抗膨脹率 (ant swelling efficiency; AE)

립強度 試驗後 그림(3)의 試片을 溫度 60℃의 電氣乾燥器에서 6時間 乾燥한 다음 溫度 103±2℃에서 42時間 乾燥後, 表線의 長이를 測定하고 25℃의 蒸溜水에 7日間 浸漬하여 포수상태로 한 後, 斷面別 膨脹率을 測定, 다음 式에 依據, 抗膨脹率을 計算하였다.

$$AE(\%) = \frac{L_C - L_T}{L_C} \times 100$$

$L_T$ : WPC의 길이 變化(change in length of WPC)

$L_C$ : Staypak의 길이 變化(change in length of Staypak)

2.7.3. 抗收縮率(antishrink efficiency; ASE)

립強度 試驗後 그림(3)과 같이 2×2×2 (cm) 試片을 切斷하여 25℃의 蒸溜水에 7日間 浸漬하여 포수상태로 한 後 表線의 長이를 測定하고 溫度 60℃의 換氣가 잘되는 乾燥器에서 6時間 乾燥한 다음 溫度 103±2℃에서 42時間 乾燥後, 斷面別 長이 收縮 狀態를 測定하여 다음 式에 依據, 計算하였다.

$$ASE(\%) = \frac{L_C - L_T}{L_C} \times 100$$

$L_T$ : WPC의 길이 變化

$L_C$ : Staypak의 길이 變化

2.7.4. 吸水減少率(reduction in water absorptivity; RWA)

全乾燥한 試片을 25℃의 蒸溜水에 7日間 放置

한 後 그 吸水量을 測定하여 吸水減少率을 計算하였다.

$$RWA(\%) = \frac{W_C - W_T}{W_C} \times 100$$

$W_T$ : WPC의 重量變化(change in weight of WPC)

$W_C$ : Staypak의 重量變化(change in weight of Staypak)

2.8. Sample grouping

Sample grouping은 表(4)와 같다. 여기서 D-WPC란 木材에 MMA 溶液을 2時間 浸漬시킨 後 熱壓縮으로 製造한 WPC를 말하며, V-WPC는 眞空減壓에 依해 2時間 處理한 後, 加壓·加熱 觸媒 重合法에 依해 製造한 WPC를 말한다.

Staypak은 藥液處理에 依하지 않고 熱과 壓力에 依해 熱板에서 製造한 것을 表示하며, 素材의 境遇는 Control로 表記하였다.

모든 測定값을 比較分析하기 爲해 亂塊法을 適用하여 分散分析을 하였으며, 각 處理間을 比較하기 爲해 L.S.D檢定을 實施하였다. 또한 高分子 含浸量과 抗收縮率, 抗膨脹率 間의 相關關係를 알아보기 爲하여 回歸式과 相關係數를 求하였다.

結果 및 考察

1. 單量體의 木材內 注入

表(5)는 單量體 注入에 있어서 注入方法을 달리하였을 때의 單量體의 注入量을 나타낸 것으로 각기 2時間 注入하였다.

Table 4. Sample grouping and number of test pieces

Type	Sp. Gr.	M.C.	Static bending		Compression	
			Horizontal	Vertical	Parallel to grain	Perpendicular to grain
D-WPC	6	6	6	6	6	6
V-WPC	6	6	6	6	6	6
Staypak	6	6	6	6	6	6
Control	6	6	6	6	6	6
Total	24	24	24	24	24	24



Table 13. Reduction in water absorptivity of WPC  
Unit: %

Rep Type	1	2	3	4	5	6	Mean
D-WPC	8.57	8.52	7.87	8.14	7.81	8.22	8.19
V-WPC	17.23	16.58	14.05	16.05	13.45	15.71	15.51
L.S.D. 0.05 = 1.631							
L.S.D. 0.01 = 2.579							

6. 高分子 含浸量과 抗收縮率, 抗膨脹率 및 吸水減少率과의 關係

高分子 含浸量과 抗收縮效能과의 關係를 調査하기 爲하여 相關係數를 計算한 結果, 半徑方向에서는 有意性이 認定되지 않았으나 接線方向에서는  $r = 0.63$ 의 定相關을 얻었고, 이에 대한 回歸式은  $Y = 0.94788 X + 6.3213$  이었다. 이것을 그림으로 나타내면 그림 (10) 과 같다.

즉, 接線方向에서의 抗收縮率は 含浸量이 增加함에 따라 치수 安定性도 改善되는 것을 알 수 있다.

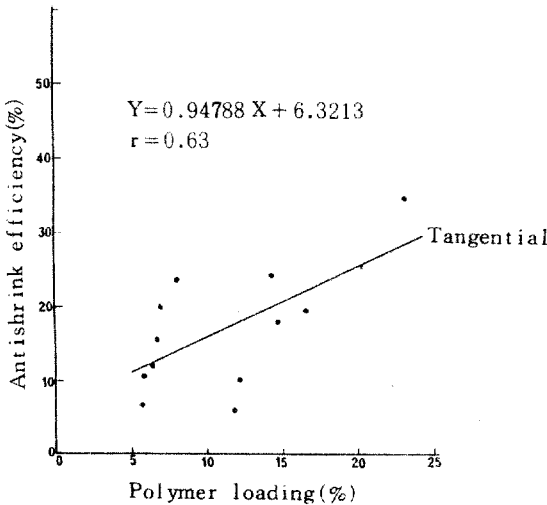


Fig.10 Relation between ASE and polymer loading.

半徑方向에서 뚜렷한 相關關係를 보이지 않는 것은 注入된 藥劑의 影響보다 WPC의 製造時 加해진 높은 壓力에 基因하는 것으로 생각된다.

一般的으로 熱·觸媒 重合法에 依해 製造한 WPC에서는 高分子 含浸量이 많아질수록 抗收縮

率도 比例하여 增加한다고 報告하고 있으나(1974)<sup>30)</sup> 熱壓에 依한 WPC 製造에서는 若干 다른 傾向을 나타내었다.

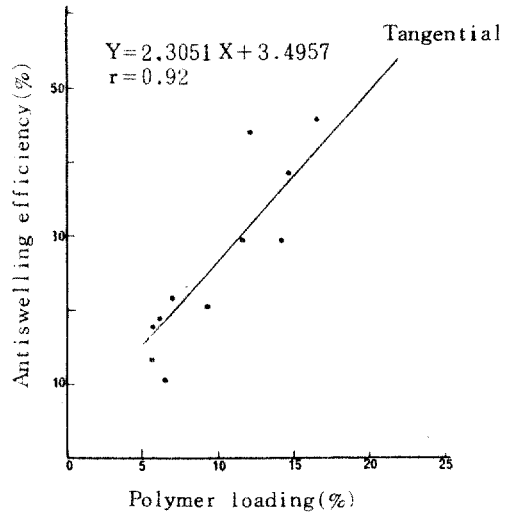


Fig.11 Relation between AE and polymer loading.

高分子 含浸量과 抗膨脹率과의 關係를 알아내기 위하여 相關係數를 計算하였다. 半徑方向에서는 抗收縮效能時와 마찬가지로 有意性이 認定되지 않아 一定한 傾向을 나타내지 않았으며, 接線方向에서는  $r = 0.92$ 의 高度의 定相關을 얻었고, 이것에 대한 回歸式을 計算한 結果  $Y = 2.3051 X + 3.4957$  이었다.

그림 (11) 에 이들 相互關係를 나타내었다.

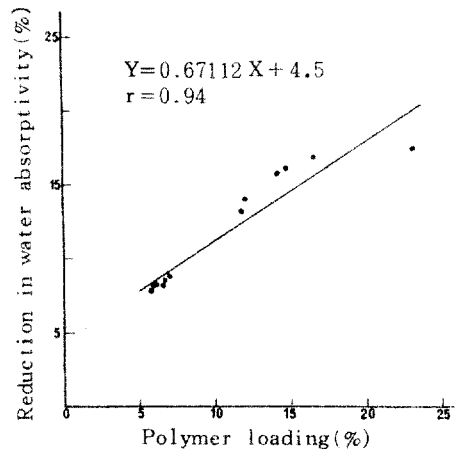


Fig.12 Relation between RWA and polymer loading.

半徑方向에서의 抗收縮率보다 接線方向의 抗收縮率이 높은 값을 나타내는 것은 安(1974)<sup>30)</sup> 등의 研究에서와 같이 徑斷面보다는 觸斷面의 變化率이 낮다는 報告와 一致하며, 處理間 有意性이 認定되지 않는 것은 WPC의 製造에 加해진 50 kg/cm<sup>2</sup>의 壓力에 依해서 WPC를 물속에 長時間 浸漬할 때에는 本來의 두께로 回復하려는 傾向이 있기 때문에 木材重量의 10% 정도의 高分子 含浸量으로는 뚜렷한 效果가 없다고 생각된다.

Table 9. Antishrink efficiency of WPC ( radial )

		Unit : %					
Rep Type	1	2	3	4	5	6	Mean
D-WPC	20.16	18.06	8.29	13.25	4.84	10.25	12.48
V-WPC	28.23	13.17	8.87	15.08	5.65	10.48	13.58
							L.S.D. 0.05 = 9.891
							L.S.D. 0.01 = 15.64

Table 10. Antishrink efficiency of WPC ( tangential )

		Unit : %					
Rep Type	1	2	3	4	5	6	Mean
D-WPC	23.33	20.03	10.72	15.33	6.67	12.14	14.70
V-WPC	34.67	19.20	10.00	17.93	6.00	23.97	18.63
							L.S.D. 0.05 = 13.30
							L.S.D. 0.01 = 21.03

#### 4. 抗膨脹率

浸漬法에 依한 WPC와 眞空減壓에 依한 WPC의 抗膨脹率을 測定한 結果는 表(11)과 같다. 半徑方向에서는 D-WPC가 14.40%, V-WPC가 17.22%의 값을 가지나 分散分析 結果, 處理平均間의 差는 有意性이 認定되지 않았다.

이는 木材內에서 重合된 高分子量의 效果보다는 WPC製造時 加해진 높은 壓力에 依한 影響이 더욱 크기 때문이라고 생각된다.

接線斷面에서의 抗膨脹率은 D-WPC에 依한 것이 17.18%, V-WPC에 依한 것이 40.14%로 表(12)의 分散分析 結果, 1%水準에서의 높은 有意性이 認定되었다.

Table 11. Antiswelling efficiency of WPC ( radial )

		Unit : %					
Rep Type	1	2	3	4	5	6	Mean
D-WPC	25.07	18.51	7.37	10.37	9.85	15.21	14.40
V-WPC	29.50	20.01	7.23	14.52	12.95	19.08	17.22
							L.S.D. 0.05 = 9.526
							L.S.D. 0.01 = 15.06

Table 12. Antiswelling efficiency of WPC ( tangential )

		Unit : %					
Rep Type	1	2	3	4	5	6	Mean
D-WPC	21.90	20.47	17.86	10.71	13.21	18.92	17.18
V-WPC	53.23	45.80	44.05	38.25	29.76	29.76	40.14
							L.S.D. 0.05 = 11.24
							L.S.D. 0.01 = 17.78

L.S.D.<sub>0.01</sub> = 17.78%보다 處理間의 差 22.06%가 크므로 處理間에도 상당한 差異가 있었다.

接線斷面에서의 抗膨脹率이 가장 높은 理由는 WPC製造時 半徑方向으로 높은 壓力을 加하였기 때문에 Staypak에 비해 높은 抗膨脹率을 갖지 못하나 接線斷面에서는 木材表面이 WPC化되어 있기 때문에 材內部에 생긴 플라스틱의 性質로 인하여 쉽게 膨脹하지 않는 것으로 생각된다.

#### 5. 吸水減少率

WPC의 吸水減少率을 測定한 結果는 表(13)과 같다. 分散分析 結果, 1%水準에서 高度의 有意性이 認定되었다. 따라서 浸漬에 依한 WPC와 眞空減壓에 依한 WPC間의 差異를 比較檢定하기 위하여 L.S.D檢定을 行하여 본 즉, D-WPC는 Staypak에 비해 約 8.2%의 吸水減少效果가 있었으며, 眞空減壓에 依한 WPC는 이보다 높은 15.5%의 吸水減少率을 나타내었다. 處理間 平均差는 7.322%로 L.S.D.<sub>0.01</sub> = 2.579%보다 크기 때문에 1%水準에서의 高度의 有意性이 認定되어 藥液 浸透量에 따른 吸水減少率에는 10% 정도의 高分子 含浸량이 많을 境遇, 約 10%의 吸水減少率이 向上되었음을 알 수 있다.

Table 5. Impregnation characteristics of MMA

Unit : %							
Rep Type	1	2	3	4	5	6	Mean
Dipping	9.38	13.50	9.75	14.50	12.26	13.39	12.13
Vacuum	31.60	26.22	24.25	34.23	32.06	31.58	29.99
L.S.D. 0.05=3.758							
L.S.D. 0.01=5.941							

Table 6. ANOVA of table 5

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	64.82	12.96	
Treatments	1	956.9	956.9	149.3**
Error	5	32.04	6.409	
Total	11	1,053.76		

\*\* : significant at 1% level

處理를 달리하였을 때의 單量體 注入量은, 浸漬法(dipping)에 의해 2時間 行하였을 때는 平均 12.13%의 注入特性을 나타냈으며, 眞空減壓(vacuum) 때에는 이보다 높은 注入特性을 보여 平均 29.99%에 達한다. D,D,Nicholas(1973)<sup>11)</sup> 등을 비롯한 여러 學者들의 研究에 依하면 常壓에서의 浸漬에 比하여 眞空減壓法에 依해서 注入藥液이 木材에 均一하고 깊이 浸透한다고 報告하였다.

表(5)에 있는 浸漬處理와 眞空減壓處理에 對한 統計的인 有意性を 檢定하기 위하여 分散分析을 하여 본 즉 表(6)과 같이 1% 水準에서 高度의 有意성이 있음을 알 수가 있었다.

따라서 處理間을 比較檢定하기 爲하여 L.S.D. 檢定을 實施하여 그 結果를 分析하였다.

浸漬法과 眞空減壓法에 依한 藥液 注入量의 差가 17.86%로서 L.S.D.<sub>0.01</sub> = 5.941%보다 크므로 1% 水準에서 높은 有意성을 나타내어 處理間에 差異가 있음을 알 수 있고 浸漬에 依한 注入法보다 眞空에 依한 減壓處理가 效果가 있음을 알 수 있었다.

## 2. 木材 - 高分子 複合體의 重合特性

處理別 重合材의 特性은 表(7)과 같이 浸漬에

依해서는 約 6.4% 정도, 眞空減壓에 依해서는 約 15.44%의 高分子 含浸率을 나타내었다. 이는 注入된 單量體의 約 절반가량이 重合되었음을 나타낸다.

溶媒로서 添加된 알콜과 單量體의 一部가 WPC를 製造할 때 加해지는 熱과 壓力에 依해 揮散되는 것으로 생각된다.

分散分析한 結果는 表(8)과 같이 1% 水準에서 高度의 有意성이 있으며 處理 平均間差는 9.055%로서 L.S.D.<sub>0.01</sub> = 6.929보다 크므로 處理間에 有意的인 差가 있음이 認定되었다.

Table 7. Polymerization characteristics of MMA

Unit : %							
Rep Type	1	2	3	4	5	6	Mean
D-WPC	7.05	6.89	5.78	6.64	5.75	6.20	6.385
V-WPC	23.29	16.49	12.16	14.64	11.76	14.31	15.44
L.S.D. 0.05=4.382							
L.S.D. 0.01=6.929							

Table 8. ANOVA of table 7

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	46.93	9.386	
Treatments	1	246.1	246.1	28.23**
Error	5	43.58	8.715	
Total	11	336.61		

\*\* : significant at 1% level

## 3. 抗收縮率

浸漬에 依한 WPC와 眞空減壓에 依한 WPC의 半徑方向과 接線方向에서의 抗收縮率을 測定한 값은 表(9), 表(10)과 같다.

比較材로 使用된 Staypak에 對하여 半徑方向에서는 D-WPC가 12.48%, V-WPC가 13.58%, 接線方向에서는 各各 14.70%, 18.63%를 나타내었다. L.S.D檢定結果, 處理 平均間에는 有意성이 認定되지 않았다.

高分子 含浸量과 吸水減少率의 相關係數는 0.94로 高度의 相關係數가 있었다.

이들의 直線回歸式은  $Y = 0.67112 X + 4.5$ 로 高分子 含浸量이 증가될 수록 吸水減少率도 增加하는 傾向을 보였다.

그림 (12)에 高分子 含浸量과 吸水減少率과의 關係를 나타내었다.

### 7. 휨強度 試驗

#### 7.1. 破壞係數 (MOR)

荷重方向別로 얻은 破壞係數는 表 (14), 表 (16)과 같다.

이들의 統計的인 有意性を 檢定하기 爲하여 分散分析한 結果는, 表 (15), 表 (17)에서 보는 바와 같이 年輪의 方向과 荷重方向이 같은 試驗(vertical)에서는 1% 水準에서 有意성이 있었으므로 處理間의 差異를 比較하기 爲하여 L.S.D.檢定을 實施하였다.

破壞係數가 가장 큰 Staypak과 두번째로 큰 強度值를 나타낸 眞空減壓에 依한 WPC(V-WPC)와의 差異는  $100.2 \text{ kg/cm}$ 으로서  $L.S.D_{0.05}=76.09$

$\text{kg/cm}$ 보다 크기 때문에 5% 水準에서의 有意성이 있음을 알수가 있으며, D-WPC와 V-WPC 사이에는 平均間 有意성이 認定되지 않아 處理를 달리 하였을 때 10% 정도의 高分子 含浸量의 差로서는 破壞係數에 뚜렷한 影響을 미치지 않음을 알 수 있다.

年輪의 方向과 荷重의 方向이 垂直인 휨 強度試驗(horizontal)에서는 表 (16)의 分散分析 結果, 5% 水準에서 有意성이 認定되었다. Staypak과 V-WPC와의 差異는  $50.7 \text{ kg/cm}$ 로서  $L.S.D_{0.05} = 73.17 \text{ kg/cm}$ 보다 그 差異가 작기 때문에 兩者間에는 有意성이 認定되지 않았다.

Table 15. ANOVA of table 14

S.V.	D.F.	S.S.	M.S	F
Replications	5	2,032 ×10	4,064	
Treatments	3	8,619 ×10	2,873	7.511**
Error	15	5,738 ×10	3,825	
Total	23	16,389 ×10		

\*\* : significant at 1% level

Table 14. Modulus of rupture in bending strength (vertical)

		Unit: $\text{kg/cm}$					
Type \ Rep	1	2	3	4	5	6	Mean
D - WPC	728.50	714.98	594.66	636.36	571.07	641.09	647.8
V - WPC	624.75	548.61	760.85	721.46	623.20	655.78	655.8
Staypak	749.25	690.08	823.49	813.95	695.62	763.60	756.0
Control	670.12	602.02	531.86	612.38	577.38	541.90	589.3

L.S.D. 0.05 = 76.09

L.S.D. 0.01 = 105.2

Table 16. Modulus of rupture in bending strength(horizontal)

		Unit: $\text{kg/cm}$					
Type \ Rep	1	2	3	4	5	6	Mean
D - WPC	744.06	732.06	666.84	739.65	610.24	718.04	701.8
V - WPC	651.45	790.35	701.23	664.20	712.25	724.14	707.3
Staypak	759.86	649.49	864.05	810.70	705.69	758.16	758.0
Control	688.77	671.05	604.36	651.77	630.71	612.38	643.2

L.S.D. 0.05 = 73.17

L.S.D. 0.01 = 101.2

Table 17. ANOVA of table 16

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	7,242	1,448	
Treatments	3	39,730	13,240	3.744*
Error	15	53,060	3,537	
Total	23	100,032		

\* : significant at 5% level

荷重方向을 달리하였을 때 破壞係數의 結果를 綜合해 보면 年輪에 直角으로 荷重을 加했을 때의 強度值가 全體적으로 年輪에 平行하게 荷重을 加했을 때의 強度值보다 높은 값을 가진다. 이는 孟<sup>26)</sup> 등이 實施한 單板橫層材의 物理的 性質에 關한 實驗에서와 같이 荷重別 靑強度는 年輪에 直角方向일 경우가 強度值가 크다는 報告와 一致한다.

表 (18) 에서와 같이 比重이 가장 큰 Staypak의 強度가 가장크며 D-WPC와 V-WPC間에는 平均間 差異가 認定되지 않았다.

Table 18. E.M.C. and Sp.Gr. of test pieces

Type	E.M.C.	Sp.Gr
D - WPC	10.7	0.61
V - WPC	10.6	0.62
Staypak	11.2	0.66
Control	17.0	0.43

7.2. 比例限度應力

荷重을 加하는 方向을 半徑方向 (horizontal) 과 接線方向 (vertical) 으로 나누어 測定한 比例限度

應力을 表示하면 表 (19), 表 (21) 과 같으며, 이를 分析한 表 (20), 表 (22) 의 結果에 依하면 荷重이 半徑方向으로 加해 졌을 때 5% 水準에서 有意性이 있었다. 따라서 이들 平均間의 有意差를 檢定하기 爲하여 L.S.D檢定을 實施한 結果, Staypak 과 比重이 0.62 인 V-WPC 와의 差異는 50.9 kg/cm<sup>2</sup> 으로 L.S.D<sub>0.05</sub> = 49.39 kg/cm<sup>2</sup> 보다 크기 때문에 兩處理間 뚜렷한 差異가 있음이 認定되었다.

藥液處理 方法을 달리한 V-WPC와 D-WPC 의 比例限度應力은 各各 326 kg/cm<sup>2</sup>, 317.6 kg/cm<sup>2</sup> 으로 平均間 뚜렷한 差異를 나타내지 않았다.

素材와 比較하였을 時 破壞係數의 各 強度值에서는 WPC와 素材間에 큰 差異가 있었으나 比例限度應力에서는 D-WPC와 V-WPC間에 뚜렷한 差異를 나타내지 않았다. 接線方向으로 荷重을 加한 境遇에는 1% 水準에서 有意性이 認定되었다.

平均間 有意性을 檢定하기 爲해 L.S.D 檢定을 實施한 結果, Staypak 과 V-WPC間의 差는 54.2 kg/cm<sup>2</sup> 로서 L.S.D<sub>0.05</sub> = 49.88 kg/cm<sup>2</sup> 보다 크기 때문에 兩者間에 뚜렷한 差異가 있음을 알 수 있었다.

Table 20. ANOVA of table 19

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	2083	416.6	
Treatments	3	19550	6518	4.044*
Error	15	24180	1612	
Total	23	45813		

\* : significant at 5% level

Table 19. Stress at proportional limit in bending strength(horizontal)

Type	Rep							Mean
	1	2	3	4	5	6		
D - WPC	337.73	373.96	273.30	334.68	271.94	314.14	317.6	
V - WPC	270.54	338.88	309.36	374.95	363.40	299.33	326.1	
Staypak	364.31	310.63	406.29	404.00	383.90	393.12	377.0	
Control	312.62	264.89	345.10	282.43	291.10	306.19	300.4	

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

L.S.D. 0.05 = 49.39

L.S.D. 0.01 = 68.31

Table 21. Stress at proportional limit in bending strength (vertical)

		Unit: kg/cm <sup>2</sup>					
Type \ Rep	1	2	3	4	5	6	Mean
D - WPC	302.17	347.08	290.08	296.97	302.40	286.20	304.2
V - WPC	305.90	265.80	423.37	332.98	293.04	300.27	320.2
Staypak	423.16	371.58	331.44	432.41	332.47	355.54	374.4
Control	305.76	274.78	259.75	269.45	286.18	273.44	278.2

單量體 注入에 있어 處理方法을 달리한 V-WPC 와 D-WPC의 差는 16 kg/cm<sup>2</sup>로서 平均間 뚜렷한 差異를 나타내지 못했다.

以上の 結果를 綜合해 보면 荷重을 加하는 方向을 달리하였을 時, 半徑方向인 境遇가 接線 方向보다 全體의으로 큰 값을 가지고 있음을 나타내었고 素材가 가장 큰 差異를 보였다. 比例限度應力은 Staypak > V-WPC > D-WPC > Control의 順이었다.

重을 加한 境遇에는 1% 水準에서 有意性이 認定되어 L.S.D檢定을 實施한 結果, 彈性係數가 가장 큰 眞空減壓處理에 依한 WPC인 V-WPC와 두번째로 큰 D-WPC間의 差異는 8480 kg/cm<sup>2</sup>으로 L.S.D<sub>0.05</sub> = 8853 kg/cm<sup>2</sup>보다 若干 작기 때문에 이들 平均間에는 統計學的 有意性은 認定되지 않았다.

Table 22. ANOVA of table 21

S.V	D.F	S.S	M.S	F
Replications	5	3,859	771.7	
Treatments	3	29,740	9,914	6.032**
Error	15	24,650	1,644	
Total	23	58,249		

\*\* : significant at 1% level

Table 24. ANOVA of table 23

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	3,078 × 10 <sup>5</sup>	6,155 × 10 <sup>4</sup>	
Treatments	3	167 × 10 <sup>7</sup>	5,568 × 10 <sup>5</sup>	10.75**
Error	15	7,766 × 10 <sup>5</sup>	5,177 × 10 <sup>4</sup>	
Total	23	27,544 × 10 <sup>5</sup>		

\*\* : significant at 1% level

7.3. 彈性係數

靱強度 試驗時 荷重을 加하는 方向을 달리하였을 時 測定한 彈性係數는 表(23), 表(25)와 같으며 表(24)에서 보는 바와 같이 半徑方向으로荷

處理 平均間에는 별다른 有意性을 나타내지 않으나 素材에 比해서는 모두 뚜렷한 彈性係數의 增加를 볼 수 있었으며 彈性係數의 順序는 V-WPC > D-WPC > Staypak > Control이었다.

Table 23. Modulus of elasticity in bending strength (horizontal)

		Unit: kg/cm <sup>2</sup>					
Type \ Rep	1	2	3	4	5	6	Mean
D - WPC	74,173.36	92,740.70	88,845.70	68,442.12	67,894.49	87,524.14	79,940
V - WPC	74,389.58	96,468.61	85,066.67	93,612.10	89,174.48	91,829.56	88,420
Staypak	72,750.16	71,207.79	73,960.74	81,088.76	71,915.19	80,763.28	75,280
Control	69,188.20	68,201.50	59,217.61	65,622.35	64,560.59	65,055.60	65,310

L.S.D. 0.05 = 8853

L.S.D. 0.01 = 12240

Table 25, Modulus of elasticity in bending strength (vertical)

Type	Rep							Mean
	1	2	3	4	5	6		
D - WPC	99,704.92	87,979.11	73,074.66	77,608.08	66,534.78	79,500.76	80,730	
V - WPC	87,495.61	59,237.76	93,447.57	90,239.35	75,973.41	90,047.85	82,740	
Staypak	88,610.90	71,825.48	70,418.79	82,567.00	80,184.25	73,392.84	77,830	
Control	66,256.08	62,498.86	59,986.20	60,050.83	69,250.54	58,380.66	62,740	

L.S.D. 0.05 = 11550

L.S.D. 0.01 = 15980

또한 接線方向으로 荷重을 加한 境遇에는 1% 水準에서 有意性이 있었다. 各 平均間의 差異를 比較檢定하기 爲하여 L.S.D檢定을 實施한 結果, 뚜렷한 有意性을 나타내지 않고 V-WPC, D-WPC, Staypak, Control의 順으로 彈性係數 값을 나타내었다.

Table 26. ANOVA of table 25

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	$5495 \times 10^5$	$1099 \times 10^5$	
Treatments	5	$1483 \times 10^6$	$4942 \times 10^5$	5.603**
Error	15	$1323 \times 10^6$	$882 \times 10^5$	
Total	23	$33555 \times 10^5$		

\*\* : significant at 1% level

即, 處理平均間에는 뚜렷한 差異는 없으나 素材에 比較해서는 높은 彈性係數의 값을 나타내었다.

以上の 結果를 綜合해 보면, 荷重을 半徑方向으로 加했을 境遇가 接線方向으로 加한 境遇보다 若干의 強度의 增加는 있었으나 뚜렷한 差異는 없었다. 其他의 強度에서는 Staypak > V-WPC > D-WPC > Control의 順序였으나 彈性係數에서는 V-WPC > D-WPC > Staypak > Control의 順으로 그 값이 나타났다. 이에 對한 原因으로서 單量體 注入後 熱壓縮化한 V-WPC와 D-WPC는 材의 表面이 플라스틱의 性質을 지니 比例限度까지의 變形量이 極히 적었다.

彈性係數의 計算式에 있어서  $P_{pl} \cdot l^3 / 4D_{pl} \cdot b \cdot h^3$ 을 살펴 볼 때 比例限度變形  $D_{pl}$ 이 V-WPC에서는 Staypak보다 極히 작기 때문에 全體적으로 이와 같은 傾向이 나타나는 것이라고 생각된다.

靜強度 試驗에서의 모든 結果를 綜合하여 그림 (13), 그림 (14)에 나타내었다.

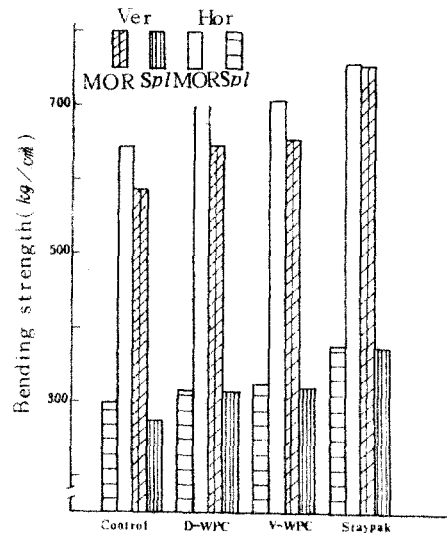


Fig.13 Modulus of rupture and stress at proportional limit in static bending.

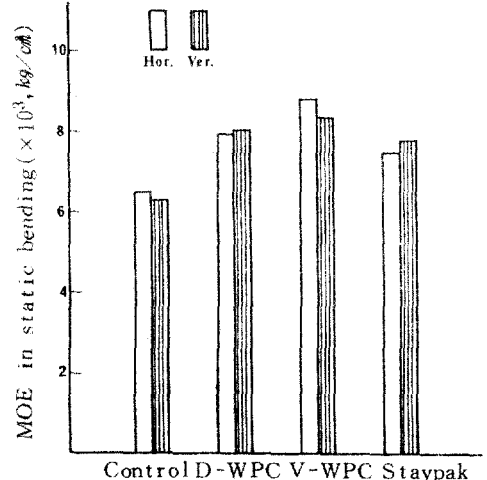


Fig.14 Modulus of elasticity in static bending.

8. 壓縮強度 試驗

8.1. 破壞強度

縱壓縮 試驗時 測定한 破壞強度를 表示하면 表 (27) 과 같으며 이를 分析한 表 (28) 의 結果에 依하면 모두 1% 水準에서 有意성이 認定되었다. 따라서 이들 平均間의 有意성을 조사하기 爲해 L.S.D檢定을 實施하였다.

Staypak 이 가장 큰 값을 나타내며 두번째인 V-WPC의 346.6kg/cm와 의 差異는 57.4kg/cm로서 L.S.D<sub>0.01</sub> = 37.17kg/cm보다 크므로 有意的인 差異가 認定되며, V-WPC 와 D-WPC間에는 有意성이 認定되지 않아 處理方法을 달리하였을 경우 統計學的으로 큰 差異가 없었다.

Staypak 이 가장 높은 값을 가지는 것은 V-WPC와 D-WPC 및 Control에 비해 높은 比重值를 갖기 때문인 것으로 생각된다.

그림 (15)는 縱壓縮 試驗時 各 試驗片의 破壞強度를 나타낸 것이다.

Table 28. ANOVA of table 27

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	2227	445.4	
Treatments	3	27350	9117	19.20**
Error	15	7122	474.8	
Total	23	36699		

\*\* : significant at 1% level

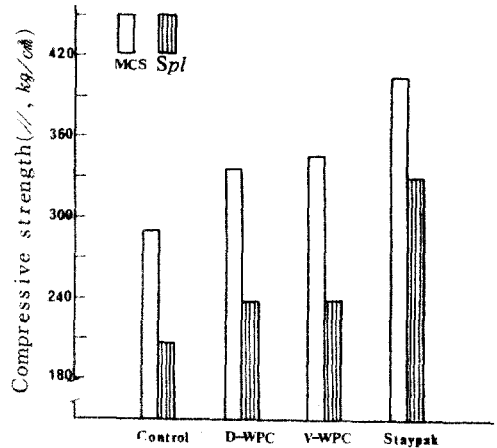


Fig.15 Maximum crushing strength and stress at proportional limit in compression parallel to grain

Table 27. Maximum crushing strength in compression parallel to grain

Type	Rep	Unit: kg/cm²						Mean
		1	2	3	4	5	6	
D - WPC		364.24	346.94	306.20	352.24	297.44	345.18	335.4
V - WPC		335.84	368.15	342.26	340.64	348.03	344.74	346.6
Staypak		415.22	362.77	430.17	422.85	372.23	420.89	404.0
Control		331.52	313.80	291.28	317.32	315.78	304.59	312.4

L.S.D. 0.05 = 26.81

L.S.D. 0.01 = 37.07

8.2. 比例限度應力

縱壓縮 試驗에서 測定한 比例限度應力과 橫壓縮 試驗에서 測定한 比例限度應力은 表 (29), 表 (31) 에 나타난 것과 같으며, 이를 分析한 結果, 縱壓縮 比例限度應力은 1% 水準에서 有意성이 認定되었다. 각 處理間의 有意성을 檢定하기 爲해 L.S.D檢定을 實施한 結果, 가장 높은 값을 나타낸 Staypak 과 眞空減壓下에서 2 시간 동안 單量體를 注入한 後, 熱壓에 依해 WPC化한 V-WPC와 의 差異는 81.3kg/cm로서 L.S.D<sub>0.01</sub> = 46.14 kg/cm보다 크기 때문에 이들 平均間 두

러한 差가 있었다.

橫壓縮 試驗에서 測定한 比例限度應力을 分析한 表 (32) 의 結果에 依하면 1% 水準에서 高度의 有意성이 認定되었기에 處理平均間 有意성을 檢討하기 爲해 L.S.D檢定을 實施하였다.

他 強度와 마찬가지로 比重이 0.66인 Staypak 은 43.86kg/cm으로 比重 0.62인 V-WPC 와 의 差異는 4.44kg/cm로서 L.S.D<sub>0.01</sub> = 4.333 kg/cm보다 크므로 有意성이 認定되었으며, V-WPC와 D-WPC와 의 平均差는 1.47kg/cm 로서 單量體 注入을 爲한 處理 方法을 달리 하였을



Table 29. Stress at proportional limit in compression parallel to grain

		Unit : kg/cm <sup>2</sup>						
Type	Rep	1	2	3	4	5	6	Mean
D - WPC		261.62	260.20	251.32	227.92	251.28	235.93	248.0
V - WPC		222.90	266.63	241.24	235.09	260.03	266.35	248.7
Staypak		371.09	303.10	355.14	345.79	265.17	339.35	330.0
Control		251.00	251.82	208.39	246.28	212.09	199.89	228.2

L.S.D. 0.05 = 33.37

L.S.D. 0.01 = 46.14

Table 31. Stress at proportional limit in compression perpendicular to grain

		Unit : kg/cm <sup>2</sup>						
Type	Rep	1	2	3	4	5	6	Mean
D - WPC		40.22	37.71	37.52	37.89	36.63	37.71	37.95
V - WPC		36.83	44.46	38.30	37.02	39.04	40.84	39.42
Staypak		42.44	40.28	47.99	46.42	41.90	44.12	43.86
Control		24.20	24.27	20.83	22.66	19.56	20.68	22.03

L.S.D. 0.05 = 3.133

L.S.D. 0.01 = 4.333

때에는 有意性이 認定되지 않아 高分子 含浸量 10%程度의 差異로서는 橫壓縮의 比例限度應力에 큰 影響을 미치지 못하였다.

以上の 結果를 綜合해 보면 縱壓縮 比例限度應力과 橫壓縮 比例限度應力間에는 縱壓縮 比例限度應力이 200 ~ 300 kg/cm<sup>2</sup>程度의 큰 값을 나타내었다. 또한 Staypak > V-WPC > D-WPC > Control의 順으로 強度값을 나타내었다.

Table 30. ANOVA of table 29

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	1999	399.7	
Treatments	3	36710	12240	16.64**
Error	15	11030	735.5	
Total	23	49739		

\*\* : significant at 1% level

Table 32. ANOVA of table 31

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	13.04	2.608	
Treatments	3	1633	544.3	83.92**
Error	15	97.28	6.485	
Total	23	1743.32		

\*\* : significant at 1% level

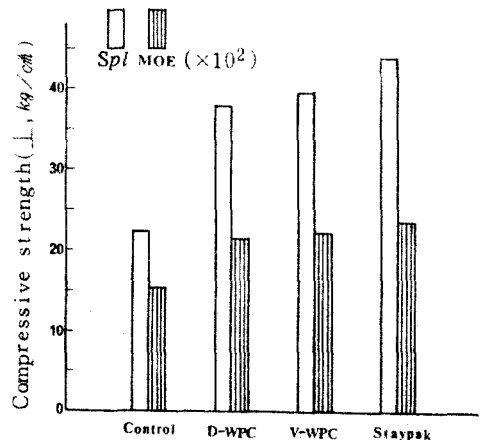


Fig.16 Compressive strength perpendicular to grain.

8.3. 彈性係數

縱壓縮 및 橫壓縮 試驗時 彈性係數를 測定한 값은 表 (33), 表 (35) 와 같으며 이를 分析한 表 (34) 에 依하면 1% 水準에서의 有意性이 認定되었다. L.S.D. 檢定을 實施한 結果, 縱壓縮에 있어서 彈性係數가 16,710 kg/cm<sup>2</sup> 으로 가장 큰 Staypak 과 두번째인 V-WPC 와의 差異는 1,740 kg/cm<sup>2</sup> 로서 L.S.D.<sub>0.05</sub> = 1,837 kg/cm<sup>2</sup> 보다 작기 때문에 統計的으로 有意性은 認定되지 않았다.

Table 34. ANOVA of table 33

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	8871 × 10 <sup>3</sup>	1174 × 10 <sup>3</sup>	
Treatments	3	199 × 10 <sup>6</sup>	6634 × 10 <sup>4</sup>	29.25**
Error	15	3345 × 10 <sup>4</sup>	222 × 10 <sup>4</sup>	
Total	23	241326 × 10 <sup>3</sup>		

\*\* : significant at 1% level

Table 33. Modulus of elasticity in compression parallel to grain

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

Rep Type	1	2	3	4	5	6	Mean
D - WPC	16053.93	14980.32	12566.04	13186.81	11621.79	14051.94	13740
V - WPC	14329.59	16320.72	15266.12	13601.87	14461.72	15863.20	14970
Staypak	17238.64	14121.75	19196.87	16123.27	14731.43	18829.10	16710
Control	8468.91	9787.56	8160.42	9066.67	9544.00	8681.91	8952

L.S.D. 0.05 = 1837

L.S.D. 0.01 = 2541

또한 單量體 注入 方法을 달리한 V-WPC 와 D-WPC의 平均間 差異에도 有意性을 나타내지 않아, 眞空減壓에 依하여 2時間 處理한 後, 熱壓에 依해 WPC化한 V-WPC와 浸漬에 依하여 2時間 處理한 後, 熱壓에 依해 WPC化한 D-WPC間에는 縱壓縮 試驗時的 彈性係數間에는 별다른 差異를 보이지 않았다.

그러나 熱壓에 依해 製造된 Staypak, V-WPC 및 D-WPC는 素材에 比해 상당히 彈性係數가 向上되었음을 알 수 있었다. 橫壓縮 試驗時的 彈

性係數를 測定한 表 (35) 를 分析한 表 (36) 의 結果에 依하면 1% 水準에서 有意性이 認定되었다.

Table 36. ANOVA of table 35

S.V.	D.F.	S.S.	M.S.	F
Replications	5	2152 × 10 <sup>2</sup>	4303 × 10	
Treatments	3	2749 × 10 <sup>3</sup>	9162 × 10 <sup>2</sup>	20.20**
Error	15	6805 × 10 <sup>2</sup>	4537 × 10	
Total	23	36447 × 10 <sup>2</sup>		

\*\* : significant at 1% level

Table 35. Modulus of elasticity in compression perpendicular to grain

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

Rep Type	1	2	3	4	5	6	Mean
D - WPC	2320.01	2356.71	1965.04	2108.14	2170.47	2133.16	2176
V - WPC	2215.27	2010.87	2357.63	2232.42	2214.29	2396.24	2238
Staypak	2578.36	2044.02	2781.89	2200.79	2428.74	2856.97	2482
Control	1539.69	1467.10	1303.89	1560.62	1888.25	1617.81	1563

L.S.D. 0.05 = 262.1

L.S.D. 0.01 = 362.4

그림 (16) 과 그림 (17) 은 壓縮強度 試驗時 測定한 彈性係數를 나타낸 것이다.

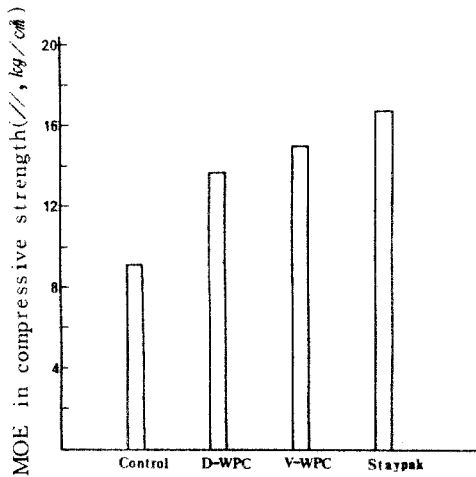


Fig.17 Modulus of elasticity in compression parallel to grain

## 結 論

비닐系 單量體인 methyl methacrylate(MMA) 溶液을 현사시나무의 邊材를 利用한 試片에 2時間의 浸漬處理 後, 加壓·加熱 觸媒重合法에 依해 製造한 木材-高分子 複合體(D-WPC)와 眞空 減壓에 依해 2時間 동안 單量體 注入後, 前者와 同一하게 製造한 木材-高分子複合體(V-WPC) 및 溫度 160°C의 熱板에서 50 kg/cm²의 壓力을 加해 製造한 熱壓縮木材(Staypak)의 物理的, 機械的 性質과 치수 安定性을 比較하여 分析한 結果는 다음과 같다.

1. 木材內 單量體의 注入量은 浸漬法에 依한 것이 平均 12.13%, 眞空減壓法에 依한 것이 29.99%였다.

2. 製造된 木材-高分子 複合體의 치수 安定效果를 살펴보면, D-WPC의 境遇, 抗收縮率이 半徑方向에서는 12.48%, 接線方向에서는 14.70%였고, V-WPC의 境遇, 半徑方向에서는 13.58%, 接線方向에서는 18.63%였다. 抗膨脹率은 D-WPC의 境遇, 半徑方向에서는 14.40%, 接線方向에서는 7.18%를 나타내었으며, V-WPC의 境遇, 半徑方向과 接線方向의 抗膨脹率은 各各 17.22%, 40.14%였다.

吸水減少率은 D-WPC에서는 8.19%, V-WPC인 境遇에는 15.51%였다.

3. 單量體 注入後 木材內에서 重合된 高分子量은 D-WPC인 境遇가 6.39%, V-WPC에서는 15.44%였다.

4. 製造된 Staypak과 WPC의 靱強度 試驗의 結果, 半徑方向으로 荷重을 加한 境遇가 接線方向으로 加한 境遇보다 높은 強度值를 나타내었다.

1) 素材에 대한 破壞係數의 增加率은 荷重方向이 試驗片의 半徑方向과 接線方向으로 加해진 境遇, Staypak이 17.84%, 28.28%, D-WPC가 9.91%, 9.92%, V-WPC가 9.96%, 11.28%였다.

2) 荷重이 試驗片의 半徑方向으로 加해진 境遇, 比例限度應力의 增加率은 Staypak이 25.49%, V-WPC가 8.5%, D-WPC가 5.72%였으며, 接線方向으로 加해진 境遇, Staypak은 34.57%, V-WPC는 15.09%, D-WPC는 9.34%였다.

3) 荷重이 試驗片의 半徑方向으로 加해진 境遇, 彈性係數의 增加率은 V-WPC가 35.38%, D-WPC가 22.40%, Staypak이 15.26%였으며, 接線方向으로 加해진 境遇, V-WPC가 31.37%, D-WPC가 28.67%, Staypak이 23.33%였다.

### 5. 壓縮強度 試驗의 結果

1) 縱壓縮 試驗의 境遇, 破壞強度의 增加率은 素材에 비해 Staypak이 29.32%, V-WPC가 7.36%였다.

2) 縱壓縮 試驗時의 比例限度應力은 素材에 비해 Staypak이 약 40% 정도 增加하였고, WPC는 8~10%의 強度의 向上을 나타내었다. 橫壓縮 試驗時 比例限度應力의 增加率은 素材에 비해 Staypak이 86.88%, V-WPC가 67.22%, D-WPC가 53.48%였다.

3) 彈性係數는 Staypak > V-WPC > D-WPC > Control의 順이었다.

6. 比重의 測定結果 素材는 0.43~0.46, D-WPC는 0.61, V-WPC는 0.62 Staypak은 0.66 이었다.

## 引用文獻

1. Autio, T. and J.K. Miettinen. 1970. Experiments in Finland on properties of wood-polymer combinations, *For. Prod. J.* 20(3): 36-42.
2. Beall, F.C., A.E. Witt and L.R. Bosco. 1973. Hardness and hardness modulus of wood-polymer composites, *For. Prod. J.* 23(1): 56-60.
3. Erickson, H.D. and J.J. Balatinez. 1964. Liquid flow paths into wood using polymerization techniques-Douglas fir and styrene, *For. Prod. J.* 14(7): 293-299.
4. Hermans, J.J. 1962. *Pure. Appl. Chem.*, Vol. 5: 145-165.
5. Kenaga, D.L., V.T. Stannett and J.P. Fennessey. 1962. Radiation grafting of vinyl monomer to wood, *For. Prod. J.* 12(4): 161-168.
6. Kent, J.A., A.W. Winston, W.R. Boyle and L.W. Harmison. 1962. USAEC, TID 7643: 335-344.
7. Meyer, J.A. 1965. Treatment of wood-polymer systems using catalyst-heat techniques, *For. Prod. J.* 15(9): 362-364.
8. Meyer, J.A. and W.E. Loos. 1969. Process of, and products from, treating southern pine wood for modification of properties, *For. Prod. J.* 19(12): 32-38.
9. Meyer, J.A. 1981. Wood-polymer materials-state of the art, *Wood Sci.* 14(2): 49-54.
10. Meyer, J.A. 1982. Industrial use of wood-polymer materials: state of art, *For. Prod. J.* 32(1): 24-29.
11. Nicholas, D.D. 1973. Wood deterioration and its prevention by preservative treatments, Syracuse, N.Y. U.S.A. Vol. 2: 341-370.
12. Ramalingam, K.V., G.N. Wererak and J.W. Hodgins. 1963. *J. Polymer Sci. Part C. No. 2*: 153-167.
13. Rowell, R.M. 1975. Chemical modification of wood: advantages and disadvantages, *Amer. Wood Preserv. Assoc.*: 1-10.
14. Rowell, R.M. and W.D. Ellis. 1978. Determination of dimensional stabilization of wood using the water-soak method, *Wood and Fiber.* 10(2): 104-111.
15. Rowell, R.M., W.C. Feist and W.D. Ellis. 1981. Weathering of chemically modified southern pine, *Wood Sci.* 13(4): 202-208.
16. Rowell, R.M., R. Moisuk and J.A. Meyer. 1982. Wood-polymer composites: cell wall grafting with alkylene oxides and lumen treatments with methyl methacrylate, *Wood Sci.* 15(2): 90-96.
17. Siau, J.F., J.A. Meyer and C. Skaar. 1965. Dimensional stabilization of wood, *For. Prod. J.* 15(4): 162-166.
18. Siau, J.F. and J.A. Meyer. 1966. Comparison of the properties of heat and radiation cured wood-polymer combination, *For. Prod. J.* 16(8): 47-56.
19. Siau, J.F., W.B. Smith and J.A. Meyer. 1978. Wood-polymer composites from southern hardwoods, *Wood Sci.* 10(3): 158-164.
20. Spindler, M.W., R. Pateman and P.R. Hills. 1973. Polymer impregnated fibrous materials: The resistance of polymer wood composites to chemical corrosion, *Composites. Nov.*: 246-250.
21. Stamm, A.J. 1977. Dimensional changes of wood and their control, *Wood Techn.: Chemical Aspects, ACS Symposium Series 43, Washington, D.C.*: 115-140.
22. Timmons, T.K., J.A. Meyer and W.A. Cote, Jr. 1971. Polymer location in the wood-polymer composite, *Wood Sci.* 4(1): 13-24.
23. 川上英夫, 種田健造. 1974. PEG浴による WPCの製造 (I), *木材工業* 30(4): 12-16.
24. 川上英夫, 種田健造. 1975. PEG浴による WPCの製造 (II), *木材工業* 31(1): 13-17.
25. 三林進, 河合正夫, 岸野保彦, 横田徳郎. 1982. 메タク릴酸메틸의 重合에 あける 木材抽出成分의 禁止作用의 消失, *木材學會誌* 28 (12): 795-799.
26. 孟德秀, 金明煥, 李弼宇. 1979. 合板, 單板 積層材 및 素材의 數種 物理的 性質에 關한 比較研究, *林産加工* 第3號: 10-19.
27. 安元榮. 1973. 木材-高分子 複合體 (Wood-polymer composite)의 特性과 研究動向, *木材工業* 1 (1): 21-39.
28. Lee, D.J., H.J. Cho and B.T. Kim. 1970. *Rep. of Nat. Ind. Res. Inst.*, Vol. 20: 51-54.

29. Lee, D.J. and H.J. Cho. 1969. Rep. of National Industrial Research Inst., Vol. 19: 1-7.
30. 趙南奭, 趙在明, 安元榮. 1974. 加熱·觸媒重合法에 의한 木材-高分子 複合體 製造 (I) - MMA에 의한 韓國産 主要木材의 複合體特性, 木材工業 2(3):3-16.
31. 趙南奭, 趙在明, 安元榮. 1975. 加熱·觸媒重合法에 의한 木材高分子 複合體의 製造(II) - Styrene 및 MMA에 의한 主要木材의 複合體 特性, 山林廳 林業試驗場 年報 第 22 號 : 85-95.
32. Pyun, H.C. and J.R. Kim. 1969. Ann. Rep. of Research Dev. Proc., 69-13.
33. Pyun, H.C. and W.M. Lee. 1970. Most-R-7062-CH.
34. Pyun, H.C., J.R. Kim and K.H. Lee. 1972. J. Korean Nuclear Soc., 4(1): 23.