

加熱·觸媒重合法에 의한 木材·高分子複合體 製造(I)

MMA에 의한 韓國產 主要木材의 複合體特性*

趙南爽** 趙在明** 安元榮***

On the manufacturing of WPC (Wood Plastic Composites) with Heat-Catalyst Polymerization (I)*

On the characteristics of composites made from monomer Methyl Methacrylate and several commercial woods in Korea

Nam Seok Cho, Jaemyeong Jo and Won Yong Ahn

Summary

One of the disadvantages of wood and wood products is their hygroscopicity or dimensional instability. This is responsible for the loss of green volume of lumber as seasoning degrade. Dimensional stabilization is needed to substantially reduce seasoning defects and degrades and for increasing the serviceability of wood products.

Recently, considerable world-wide attention has been drawn to the so-called Wood-Plastic Composites by irradiation-and heat-catalyst-polymerization methods and many research and developmental works have been reported. Wood-Plastic 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. The species examined were Mulpurae-Namoo (*Fraxinus, rhynchophylla*), Seo-Namoo (*Carpinus laxiflora*), Cheungcheung-Namoo (*Cornus controversa*), Gorosae-Namoo (*Acer mono*), Karae-Namoo(*Juglans mandshurica*) and Sanbud-Namoo (*Prunus sargentii*), used as blocks of type A (3×3×40cm) and type B (5×5×60cm), and were conditioned to about 10~11% moisture content before impregnation in materials humidity control room. Methyl methacrylate (MMA) as monomer and benzoyl peroxide (BPO) as initiator are used. The monomer containing BPO was impregnated into wood pieces in the vacuum system. After impregnation, the treated samples were polymerized with heat-catalyst methods.

The immersed weights of monomer in woods are directly proportionated to the impregnation times. Monomer impregnation properties of Cheungcheung-Namoo, Mulpurae-Namoo and Seo-Namoo are relatively good, but in Karae-Namoo, it is very difficult to impregnate the monomer MMA.

Fig. 3 shows the linear relation between polymer retentions in wood and polymerization times; that is, the polymer loadings are increasing with polymerization times. Furthermore species, moisture content, specific gravity and anatomical or conductible structure of wood, bulking solvents and monomers etc have effects on both of impregnation of monomer and polymer retention.

* 山林廳 林業試驗場 1973年度 試驗研究結果임.

** 山林廳 林業試驗場

*** 서울大校學 農科大學

Physical properties of treated materials are shown in table 3. Increasing rates of specific gravity are ranged 3 to 24% and volume swelling 3 to 10%. ASE is 20 to 46%, AE 14 to 50% and RWA 18 to 40%. Especially, the ASE in relation to absorption of liquid water increases approximately with increase of polymer content, although the bulking effect of the polymerization of monomer may also be influential. WPCs from Mulpurae-Namoo and Cheungcheung-Namoo have high dimensional stability, while its of Karae-Namoo and Seo-Namoo are very low.

Table 4 shows the mechanical properties of WPCs from 6 species. With its specific gravity and polymer loading increase, all mechanical properties are on the increase. Increasing rate of bending strength is 10 to 40%, compression strength 25 to 70%, impact bending absorbed energy 4 to 74% and tensile strength 18 to 56%. Mulpurae-Namoo and Cheungcheung-Namoo with high polymer content have considerable high increasing rate of strengths. But in case of Karae-Namoo with inferior monomer impregnation it is very low.

Polymer retention in cell wall is 0.32 to 0.70%. Most of the polymer is accumulated in cell lumen. Effective of polymer retention is 58.59% for Mulpurae-Namoo, 26.27% for Seo-Namoo, 47.98% for Cheungcheung-Namoo, 25.64% for Korosae-Namoo, 9.96% for Karae-Namoo and 25.84% for Sanbud-Namoo.

1. 緒 言

우리나라 木材工業의 發展을 爲한 當面課題는 原木의 確保代策과 아울러 生産品의 品質向上, 生産價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 金屬材料를 주로하여 製作되는 各種機械, 機器類의 木材部品, 兵器用材, 紡織用 部品 및 其他의 特殊用材는 高度의 靑수安定性和 高強度를 必要로 하는바 WPC에 依한 強度增加와 靑수 安定化는 産業化의 뒷받침과 아울러 새로운 木材加工 利用分野의 問題도 臺頭되고 있다.

木材는 세포로즈, 헤미세포로즈 및 리그닌으로 構成된 天然高分子 物質로서 異方性, 吸濕性, 吸水性, 可燃性 및 腐朽性 材料로서 他材料에 비해 吸濕, 吸水에 의해 機械的 性質을 비롯하여 相當한 靑수變化를 갖어와 實用上 많은 問題點을 주고 있다. 이와같은 問題點을 解決하고 改良하려는 많은 研究의 結果로 木材의 節約과 壽命의 延長을 위한 技術의 開發과 함께 더좋은 製品生産을 위한 活潑한 움직임이 繼續되고 있다.

Wood-Plastic Composites (WPC)란 그이름과 같이 天然高分子인 木材와 人工高分子인 플라스틱 複合體로써 木材로서의 外觀을 維持하면서 플라스틱의 性質을 兼하므로 未處理 素材보다 硬도를 비롯한 機械的 性質이 優秀한 뿐만 아니라 吸濕性, 吸水性이 적어지고 靑수가 安定되며 耐朽性, 耐腐蝕性이 顯著히 向上되어 建築材, 家具, 土木用 木材, 運動具, 機械類의 部分品 및 木材工藝品에 널리 利用되고 있다.

本 試驗은 물푸레나무, 서어나무, 층층나무, 고로쇠

나무, 가래나무, 산벚나무等 6樹種을 Methyl Methacrylate를 單量體로하여 熱·燻煤 重合法에 의한 WPC를 製造해서 紡織機의 部品과 兵器用材로서의 從業의 缺陷을 除去하고 그 使用壽命을 延長하는 등의 木質材料의 改良을 위한 基礎資料를 얻기 위하여 實施하였다.

2. 研究史

木材와 플라스틱의 複合體 製造에 關해서는 L.H Backeland(1909)⁽¹⁾가 페놀樹脂를 利用한 熱硬化性 縮合物的 製造技術을 開發 研究한것이 最初였으며 뒤를 이어 美國의 A.J. Stamm(1943)⁽²⁾이 林産研究所에서 Impreg와 Compreg 研究로 工業的인 規模의 發達 契期를 이루었다. 그러나 上記한 Impreg와 Compreg에 使用되었던 高分子 物質은 分子가 크며 그 溶液의 粘性이 대단하여 木材에 浸透시키기가 容易하지 못하고 浸透했다 하더라도 그 浸透量이 적어서 成功을 거두지 못하였다.

그러나 1958年 美國의 D.L. Kenaga⁽³⁾가 重合物代身에 單量體를 使用하여 木材· 플라스틱의 複合材製造에 關한 特許를 얻었으며 蘇聯의 V.L. Karpov(1958)⁽⁴⁾(1966)⁽⁵⁾等도 같은 實驗을 하여 自國의 特許를 얻기에 이르렀다. 오늘날 世界的으로 脚光받고 있는 Wood-Plastic Composites (以下 WPC라 稱한다.)의 發展은 West Virginia大學의 J.A. Kent (1962)⁽¹¹⁾, (1963)⁽¹²⁾, (13), (14), (15), (16) (1964)⁽¹⁷⁾ 등이 研究한 放射線 重合法를 基礎로하여 이루어 졌으며 重合을 위한 高分子 接合의 理論은 J.J. Hermans (1962)⁽⁶⁾에 依해 仔細하게 研究

되어졌다. J.J. Hermans에 依하면 高分子 接合特性和 그 接合량은 單量體의 種類, 注入方法, 木材의 比重, 使用된 膨潤劑의 量에 依해 달라진다고 報告하였다. K.V. Ramalingan外 數人(1963)⁽³¹⁾은 styrene을 使用하여 WPC를 製造해서 90%의 抗收縮率을 얻었으며, J.F. Siau, J.A. Meyer 및 C. Skaar (1965)⁽³²⁾ 등은 針闊葉樹材에 對하여 熱·觸媒法, 高周波 加熱法, 放射線法에 依하여 비닐系 單量體로 WPC를 製造하여 50~102%의 注入量 範圍에서 70% 以上の 抗收縮率을 얻었으며 硬度가 200~400%, 其他 強度가 120~200%程度 改善되었으며 放射線法과 熱·觸媒法으로 製造한 WPC間의 差異가 없음을 밝혔다. J.A. Meyer (1965)⁽³¹⁾, J.F. Siau (1966)⁽³⁴⁾, A.T. Miettinen(핀란드, 1970)⁽³²⁾ 등이 WPC製造에 있어서 熱·觸媒法과 放射線照射法 사이에는 機械的 物理的 性質에 差異가 없음을 報告하였다. 그러나 放射線을 利用하여 WPC를 製造할 때에는 γ線과 그 照射施設의 設置經費가 莫大하여 어려운 點이 있으므로 그 代置方法으로써 熱·觸媒法이 臺頭되었는바 이 方法은 H.D. Erickson(1964)⁽³⁾ 등이 最初로 試圖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. 이와같은 熱·觸媒 重合法은 大型材料의 處理에 適用하기가 어려워 J.F. Siau, J.A. Meyer (1966)⁽³²⁾ 등은 천천히 作用하는 觸媒劑의 使用 및 適切한 加熱, 適當한 反應 遲延劑의 使用等을 提案하였으며 W.E. Loos (1967)⁽²⁹⁾ 등은 高分子의 均一한 含浸을 爲한 特別한 WVU Cycle을 創案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 浸入이 圓滑하게 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)⁽³³⁾ 등도 溶媒代置와 高眞空 注入法으로 Yellow poplar에 styrene을 注入 重合하였으며, K.V. Ramalingan 外 數人(1963)⁽³¹⁾도 styrene을 單量體로 알콜과 물을 膨潤劑로하여 WPC를 製造, 90%의 抗收縮率을 達成하였다고 報告하였으며 이 以外에도 많은 나라에서 研究와 보다 나은 製造法 및 特性을 究明하려는 努力이 倍加되고 있다.

日本의 Teruo Goto와 H. Onishi (1967)⁽⁴⁾는 熱·觸媒法에 依해 대나무의 WPC 製造法과 製造된 WPC間의 接着性能, 寸수安定性, 溶媒效果, 吸收機構 및 狀態를 調査 報告하였으며 K. Taneda(1970)^{(39), (40)} 등은

北海道産 木材에 各種 비닐系 單量體로 WPC를 製造하여 寸수安定性, 機械的 性質, 吸濕性 및 染料의 影響等을 報告하였다. 이 以外에도 T. Murayama (1965)⁽²³⁾, (1970)^{(24), (25)} (1971)⁽²⁶⁾는 日本産 木材의 WPC와 CPC, GPC, 및 APC의 開發試驗과 製品特性 및 用途開發을 研究하여 繼續 報告하고 있다.

변형직等(1969)⁽²⁸⁾, (1972)⁽³⁰⁾은 國産用材인 소나무, 포푸라와 美松等을 對象으로 放射線 重合法에 依한 WPC 製造를 研究하였으며 변형직, 이용무(1970)⁽²⁹⁾는 styrene, vinyl acetate, methyl methacrylate를 單量體로 使用하여 소나무, 리기다소나무 사시나무의 放射線 重合法에 依한 WPC製造 特性을 檢討하였다. 또한 이동주等(1969)⁽¹⁹⁾, (1970)⁽⁴²⁾은 소나무, 라왕, 포푸라等으로 WPC를 製造하여 物理的 機械的 性質을 調査하고 運動具 및 銃계머리 生産 可能性을 檢討하였다.

以上과 같이 活潑한 研究와 實用化 段階에 이르고 있는 WPC는 木材以外의 材料로서는 代替가 不可能한 特殊用材의 寵兒로서 그들의 固有한 複合體特性 및 使用壽命 延長等의 利點으로 原料木材의 節約 및 輸入代替는 勿論 低質木材의 貴化等으로 因한 特殊 代替樹種 開發에로의 可能性을 갖는데 繼續 研究가 進行되어 가고 있다.

3. 材料 및 方法

3.1 供試材料

3.1.1 供試木

試驗에 使用된 供試樹種은 플루케나무(*Fraxinus rhynchophylla* Hence), 서어나무(*Carpinus laxiflora* Blume), 층층나무(*Cornus controversa* Hemsley), 꼬리쇠나무(*Acer mono* Max.), 가래나무(*Juglans mandshurica* Max.) 및 산뽕나무(*Prunus sargentii* Rehder) 6樹種이었다.

3.1.2 供試小材는 強度試驗을 考慮하여 筋斷, 徑斷方向을 區別하여 A型(3×3×40cm)과 B型(5×5×60cm)의 2種으로 製作하고 製造된 供試片은 重合 處理時 水分 때문에 일어날수 있는 複雜한 變化를 最小로 하기 爲하여 溫度 20°C, 關係濕度 45%로 調節된 恒溫恒濕室에서 約 35日間 調濕處理를 實施하여 含水率을 調節하였다.

3.1.3 供試 單量體

單量體는 日本 Mitsubishi Rayon Co. LTD製未精製 Methyl Methacrylate(以下 MMA라 稱한다)를 使用하였다.

3.2 試驗方法

3.2.1 供試片的 性狀調查

3.2.1.1 供試片的 크기는 바나아가 달려있는 마이크로 켈리퍼를 사용하여 0.01mm까지測定하였으며 單量體 注入後의 變形을 測定하기 爲하여 供試片의 觸斷, 徑斷面에 鉛筆로 標線을 넣고 處理前後의 길이 變化를 日本 Shimadzu社의 Comparator를 사용하여 0.01mm까지 測定하였다.

3.2.1.2 供試片의 重量은 Mettler直示天秤을 使用하여 0.01g까지 測定하였고 比重은 氣乾, 絶乾 2가격으로 測定하였다.

3.2.2 單量體의 準備

3.2.2.1 單量體의 分離

原容器로부터 單量體의 分離는 容器의 뚜껑을 改造하여 한쪽管에 高壓 窒素瓦斯를 導入시켜 内部壓力으로 採取하였으며 適當量을 採取한 後 막대를 막으면 容器内部에 窒素瓦斯가 充滿되어 自然重合을 防止하였다.

3.2.2.2 安定劑의 除去

單量體의 自然重合을 防止하기 爲한 安定劑를 除去하기 爲하여 10%—NaOH 溶液을 單量體量에 10% 添加, 잘 混合시키고 無水 亞硫酸 소다로 脫水하였다.

3.2.2.3 溶媒 및 重合開始劑의 添加

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 methyl alcohol을 50% 添加하였고 0.5% benzoyl peroxide를 重合開始劑로 使用하였다.

3.2.3 單量體의 注入 및 重合

3.2.3.1 單量體의 注入裝置

單量體 注入 裝置는 日本 Nittoh Autoclave 社製 autoclave(最高溫度 150°C, 容量 170L, 最大壓力 30 kp/cm²)을 使用하였고 單量體量을 節約하기 爲하여 autoclave內에 20×20×60cm 크기의 stainless steel통을 만들어 넣어 注入處理통으로 하였다.

3.2.3.2 單量體 注入

單量體 注入 試片을 스티렌레스 스틸통에 넣고 autoclave의 뚜껑을 덮은다음 重合時 惹起되는 水分의 影響을 減小하고 單量體의 浸透를 促進시키기 爲하여 眞空펌프를 連結하여 6時間동안 減壓을 實施하였다. 排氣가 끝나면 眞空펌프가 連結된 管의 코크를 막고 單量體에 連結된 코크를 서서히 열어 調製 單量體를 内部 眞空에 依해 서서히 流入, 約 1時間에 걸쳐 處理 供試片이 포일 程度의 充分한 量을 들어 보낸후 1時間동안 維持하면서 常壓으로 된 後 排氣펌프의 코크를 닫

고 콤프레샤로 連結된 管의 코크를 열어 壓縮空氣를 넣어 藥液을 回收하고 다시 繼續해서 加壓하여 内部를 13kp/cm²로 維持하여 注入을 끝냈다.

3.2.3.3 單量體 注入量의 測定(Monomer Loading, ML)

上記와 같이 注入이 完了되면 Autoclave에서 供試片을 꺼내 表面에 묻은 單量體를 닦아내고 即時 直示 天秤을 使用하여 0.01g까지 秤量한 後 重合槽로 옮겨 重合에 使用하였다. 單量體 注入量은 다음式에 依해서 計算하였다.

$$ML(\%) = \frac{(W_T - W_C)}{W_C} \times 100 \quad \begin{array}{l} W_T: \text{處理材의 무게} \\ W_C: \text{素材의 무게} \end{array}$$

3.2.3.4 重合

單量體 注入이 끝난 供試片을 銀薄紙로 싸서 單量體의 逸散을 防止한 다음 autoclave에 넣어 溫度 50~80°C, 壓力 13kp/cm² 條件에서 重合하였다.

3.2.4 製造 WPC의 特性調查

3.2.4.1 容積 變化(Volum, V)

重合이 끝난 WPC를 溫度 20°C, 關係濕度 45%로 調節된 恒溫恒濕室에서 7日間 調濕 處理한後 다음式에 依하여 容積 變化量을 測定하였다.

$$V(\%) = \frac{(V_T - V_C)}{V_C} \times 100 \quad \begin{array}{l} V_T: \text{重合後 WPC의} \\ \text{容積} \\ V_C: \text{素材의 容積} \end{array}$$

3.2.4.2 高分子 含浸量(Polymer Loading, PL)

$$PL(\%) = \frac{(W_T - W_C)}{W_C} \times 100 \quad \begin{array}{l} W_T: \text{WPC의 全乾重量} \\ W_C: \text{素材의 全乾重量} \end{array}$$

3.2.4.3 理論 最大含浸量(Theoretical Maximum Polymer Loading, TML)

$$TML(\%) = [1 - (\rho_c / \rho_w)] \rho_m / \rho_c \times 100$$

ρ_w : 木材의 眞比重

ρ_c : 素材의 密度

ρ_m : 單量體 溶液의 密度.

3.2.4.4 高分子 注入效果(Effectiveness of Polymer Loading, EPL)

$$EPL(\%) = LP / TML \times 100$$

3.2.4.5 細胞腔內의 高分子 含浸量(Polymer Retention in Cell Wall, RW)

$$RW(\%) = (B \cdot \rho_m) / (PL \cdot \rho_c)$$

3.2.4.6 細胞腔內의 高分子 含浸量(Polymer Retention in cell lumen, RL)

$$RL(\%) = PL - RW$$

3.2.4.7 抗膨脹率(Antiswelling Efficiency, AE)

供試片을 103±2°C의 電氣 乾燥器에서 24時間 乾燥한 다음 標線의 長이를 測定하고 20°C의 蒸溜水에 7日間 浸漬하여 飽水狀態로 한後 斷面別 膨脹率을 測定하여 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
L_c: 素材의 길이變化

3.2.4.8 抗收縮率(Antishrink Efficiency, ASE)

供試片을 20°C의 蒸溜水에 浸漬하여 7日間 放置해서 飽水狀態로 한後 標線의 長이를 測定하고 103±2°C의 乾燥器에서 24時間 乾燥後 斷面別 길이收縮 狀態를 測定하여 다음式에 依해 計算하였다.

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

3.2.4.9 吸水 減小率(Reduction in Water Absorptivity, RWA)

全乾한 試片을 20±1°C의 恒溫水槽에 浸漬하고 그 吸水量을 測定하여 吸水 減小率을 計算하였다.

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

W_T: WPC의 重量變化
W_c: 素材의 重量變化

3.2.4.10 比効果(Relative Effectiveness, RE)

處理別 藥劑別 效果를 測定하기 爲한 方法으로서 다음式에 依해 求한다.

$$RE = ASE/PL$$

3.2.4.11 機械的 性質

機械的 性質은 韓國 工業規格에 依해 萬能材料試驗器日本 Shimadzu 社製 Autograph IS-10T를 使用하

4. 結果 및 考察

表 1. 樹種別 單量體 Methyl Methacrylate의 注入性 Table 1. Impregnation characteristics of MMA in woods of several tree species

處理時間 Treating time(hr)	注 入 率 Impregnation (%)				
	2	4	6	8	12
樹種 Specise					
물푸레 나무 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	10.16	16.31	24.26	40.40	48.64
서어나무 <i>Carpinus laxiflora</i>	9.42	19.73	27.33	50.06	59.10
충릉나무 <i>Cornus controversa</i>	3.31	14.20	35.40	54.21	63.54
고로쇠 나무 <i>Acer mono</i>	6.45	19.10	29.01	49.64	61.26
가래 나무 <i>Juglans mandshurica</i>	2.43	7.62	10.04	13.65	19.79
산뽕 나무 <i>Prunus sargentii</i>	6.50	12.63	21.11	37.38	43.21

여 測定하였다.

4.1 單量體의 木材內 注入

4.1.1 處理 時間

單量體의, 種類가 木材內로의 單量體 注入速度 및 注入量에 多少 影響을 주는것이 事實이며⁽³⁰⁾ 樹種에 따라서도 單量體의 注入性에 差異가 있다. 處理時間에 따른 單量體 MMA의 木材內 注入特性은 表1과 같다.

表1에서 보는바와 같이 處理時間이 길어짐에 따라 單量體의 注入率은 增加하고 있으며 樹種別로 보면 큰 差異를 나타내고 있다. 即 충릉나무는 63.54%로서 가장 높은 注入量을 나타내는 反面 가래나무는 19.79%로서 가장 低調한 單量體率을 보여주고 있다.

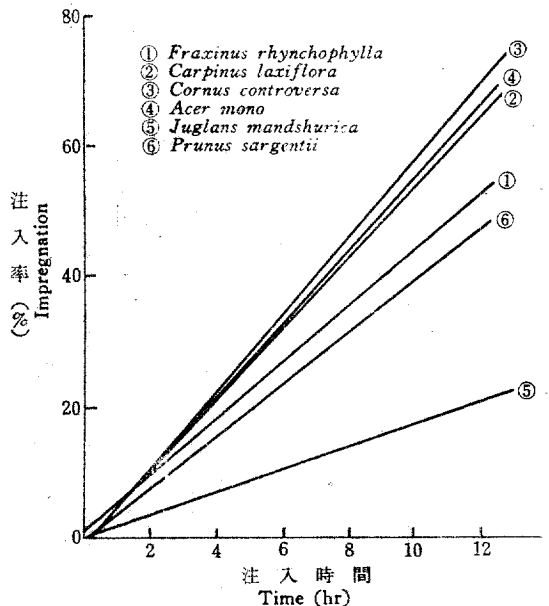


그림 1. 注入時間과 Methyl Methacrylate 注入量과의 關係

Fig. 1. Relation between treating time and impregnation of monomer MMA

各種別 注入速度를 비롯한 注入特性은 그들 特有의 直線回歸 關係를 나타내고 있는데 물푸레나무는 Y=1.6281+4.1128X, 서어나무는 Y=-0.5277+5.2588X, 충릉나무는 Y=-3.5675+6.0468X, 고로쇠나무는 Y=-3.3035+5.6868X, 가래나무는 Y=-0.069+1.6836X, 산뽕나무는 Y=-1.1774+3.9599X의 回歸方程式을 갖으며 이들의 回歸直線은 그림 1에 나타남바와 같다.

T. Murayama (1971)⁽²⁶⁾를 비롯한 여러 學者들의 研究結果에 依하면 單量體의 注入이 注入初에는 急激히 增加하고 注入時間이 經過해서 어느 時間이 되면 注入量도 減小하며 거의 一定한 狀態에 到達하는 것이

一般的이나 回歸直線의 比例關係로서 注入特性이 나타난것은 本試驗에 使用된 供試片이 大型에서 浸透가 緩慢하게 일어난 것으로 생각된다.

4.1.2 比重

比重이 적은 木材는 比重이 큰 木材보다, 공간이 더 많고므로 單量體의 注入率이 높으나⁽³⁶⁾ 比重을 비롯한 여러가지의 複合的인 因子의 效果가 注入率에 影響을 준다. 木材 比重과 單量體 注入과의 關係는 그림 2에 나타낸 바와 같으며 물푸레나무는 0.78의 높은 比重을 갖고 있으면서도 48.64%程度의 優秀한 注入率을 나타내고 있는 反面 比重이 0.56인 가래나무는 19.79% 0.67의 比重을 갖인 산벚나무의 單量體 注入率이 43.21%로되는 것을 볼수 있다.

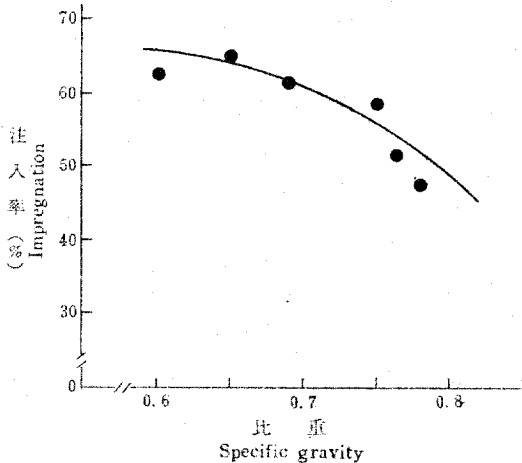


그림 2. MMA 注入에 미치는 木材比重의 影響.
Fig. 2. The effect of the specific gravity of wood on the impregnation of monomer MMA.

따라서 單量體의 木材內 注入은 單量體에 따라 樹種에 따라 다르므로 木材自體의 解剖學的, 및 通導構造의 特性을 비롯하여 木材의 水分狀態, 溶媒等에 考慮하여 適正 注入條件을 찾아야 할 것이다.

4.2 木材內 高分子의 含浸

4.2.1 處理時間

單量體의 注入時와 마찬가지로 重合時間의 經過와 함께 單量體의 重合量도 比例的으로 增加하며 樹種別 重合速度도 相異하다. 表2는 樹種別 高分子 含浸率을 보여준다.

樹種別 注入特性과 마찬가지로 高分子含浸도 直線回歸를 나타내고 있으며 이들의 回歸直線은 물푸레 나무가 $Y = -5.266 + 8.404X$, 서어나무는 $Y = -2.856 + 3.682X$, 층층나무는 $Y = -9.53 + 11.336X$, 고로쇠 나무는 $Y = -2.494 + 4.394X$, 가래나무는 $Y = -2.16 +$

表 2. 樹種別 重合 特性

Tab. 2. Polymerization characteristics of MMA in woods of several tree species.

樹種 Species	硬化時間 Polymerizing time(day)				
	高 分 子 含 浸 率 Polymer loading (%)				
	1	2	3	4	5
물푸레 나무 <i>Fraxinus rhyncho-</i> <i>phylla</i>	2.51	8.35	25.06	30.21	33.60
서어나무 <i>Carpinus laxiflora</i>	1.54	4.28	7.30	11.48	16.35
층층 나무 <i>Cornus controversa</i>	2.26	9.47	26.72	40.53	43.41
고로쇠 나무 <i>Acer mono</i>	1.83	6.28	10.20	16.38	18.75
가래 나무 <i>Juglans mandshurica</i>	0.98	2.55	4.36	8.91	10.50
산벚 나무 <i>Prunus sargentii</i>	1.47	6.55	9.89	18.11	19.84

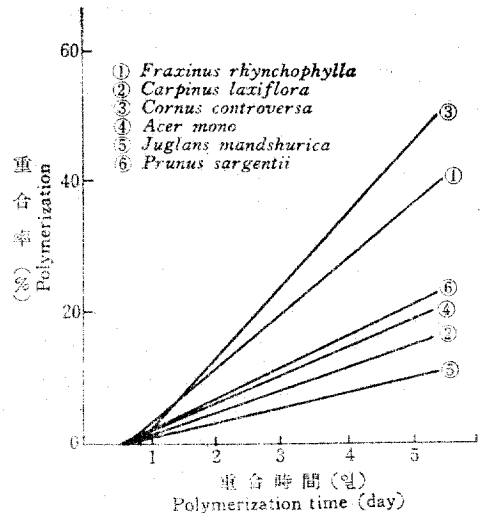


그림 3. 硬化時間과 MMA 重合率과의 關係
Fig. 3. Relation between polymerization time and polymerization rate of MMA

2.54X, 산벚나무는 $Y = -3.318 + 4.83X$ 이며 이들의 回歸直線은 그림 3과 같다.

I. Hasegawa (1968)⁽³⁵⁾를 비롯하여 K.A. Singer (1966)⁽³⁶⁾, Y. Tahada (1969)⁽³⁷⁾ 등은 本試驗 結果와 같이 重合時間에 比例해서 重合이 進行되어 大部分이 直線的인 增加現象을 나타내는 것으로 報告하였다. 樹種別 高分子 含浸率을 살펴보면 층층나무가 43.41%의 가장 높은 高分子率을 나타내고 있으며 가래나무는 10.50%로서 가장 낮은 含浸率을 나타냈다. 이와같은 高分子 含浸率의 樹種別 差異는 單量體의 注入에서 起因된 影響도 크나 本試驗에 使用된 供試片의 크기가 大型인데

다가 長期間 大型 重合槽內에서 加壓下에 重合을 實施하였기 때문에 單量體의 逸散이 많이 일어난 때문인 것으로 생각된다. 그 以外의 原因을 列擧해 본다면 單量體에 섞여있는 重合防止劑(安定劑)의 除去가 不完全하였거나 J.A. Kent (1964)⁽¹⁸⁾ 및 Ficillo, D.A., et al. (1965)⁽³⁾ 등이 指摘한 重合時 空氣中 酸素는 重合反應을 防害하여 重合熱의 消耗量을 크게하고 重合時間을 延長한다는 報告와 같이 本試驗에서는 重合時間이 길어짐에 따르는 長期間 酸素와의 接觸이 重合에 影響을 줄 수 있었다고 생각된다.

4.2.2 比重

그림 4는 木材比重과 高分子 含浸率과의 關係를 나타낸 것이다. 單量體의 注入에서와 마찬가지로 木材內 單量體의 重合率에도 比重이 큰 影響을 하고있다.

그림 4에서 보는 바와 같이 木材比重이 크면 高分子의 含浸量이 적게 나타나고 있으나 本試驗 結果에 依하면 比重이 0.56인 가래나무의 含浸率이 比重 0.78인 풀푸레나무 보다 낮은 傾向을 보여주고 있다. 이는 sampling時의 誤差에서도 起因하겠지만 素材의 解剖學的인 特性이 크게 作用하는 것으로 생각되어 진다.

4.3 WPC의 物理的 特性

WPC를 製造함으로써 木材比重의 增加와 함께 木

材의 主要 缺陷中의 하나인 收縮, 膨脹에 依한 變化를 減小시킬뿐만 아니라 其他의 物理的 性質이 改善된다. 各樹種別 素材 및 WPC의 物理的 特性을 調査한 結果는 表 3에 나타난 바와 같다.

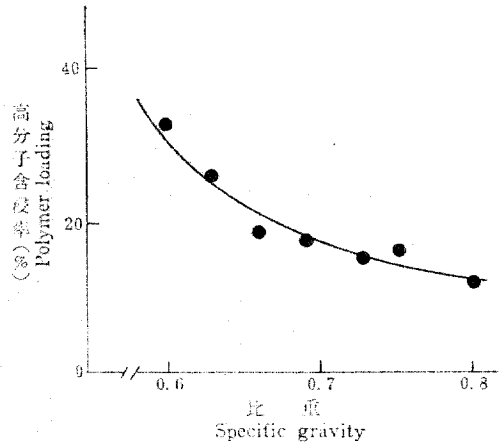


그림 4. 比重이 MMA 高分子 含浸에 미치는 影響

Fig. 4. The effect of the specific gravity of wood on polymer loading of MMA

表 3. 木材 및 WPC의 物理的 特性

Tab. 3. Physical characteristics of woods and wood plastic composites

樹種 Tree species	比重 Specific gravity				容積膨脹率 Volume swelling (%)	吸水減小率 Reduction in water absorptivity (%)	抗收縮率(%) Antishrink efficiency		抗膨脹率(%) Antiswelling efficiency	
	氣乾 Air dried		絕乾 Oven dried				徑斷 Radial	觸斷 Tangential	徑斷 Radial	觸斷 Tangential
	素材 Wood	WPC	素材 Wood	WPC						
풀푸레나무 <i>Frazinus rhynchophylla</i>	0.83	0.88	0.78	0.84	9.83	38.72	40.51	44.81	48.03	49.84
서어나무 <i>Carpinus laxiflora</i>	0.77	0.79	0.75	0.76	3.87	23.27	24.08	26.99	15.68	19.82
홍충나무 <i>Cornus controversa</i>	0.64	0.79	0.61	0.76	10.82	39.84	45.84	46.17	50.70	54.04
고로쇠나무 <i>Acer mono</i>	0.72	0.76	0.69	0.72	10.50	27.39	29.73	33.52	28.37	33.01
가래나무 <i>Juglans mandshurica</i>	0.59	0.64	0.56	0.60	3.32	17.85	14.99	20.57	10.23	14.81
산벚나무 <i>Prunus sargentii</i>	0.70	0.74	0.67	0.70	7.55	32.98	35.10	39.53	28.29	32.07

4.3.1 比重

그림 5는 WPC 製造時 樹種別 比重增加率을 表示한 것이다. 高分子의 含浸率이 가장 높았던 홍충나무의 比重이 24.59%의 가장 높은 增加率을 나타냈고 서어나무는 1.33%로서 가장 낮은 增加率을 보여주고 其他 樹種들은 5~8%의 增加率을 보여 주었다. 가래나무는 單量體 및 高分子의 注入量이 가장 낮았으나

比重增加率은 7.14%로서 比較的 많은 값을 나타내고 있음이 特記할 現象이다. 氣乾比重의 增加率은 絕乾比重보다 값이 多少 높은 傾向을 보여준다.

4.3.2 容積 膨脹率

重量增加에 따른 容積 膨脹率의 變化는 그림 6과 같다.

重量이 10~20% 增加함으로써 3.3~6.5%程度의 重

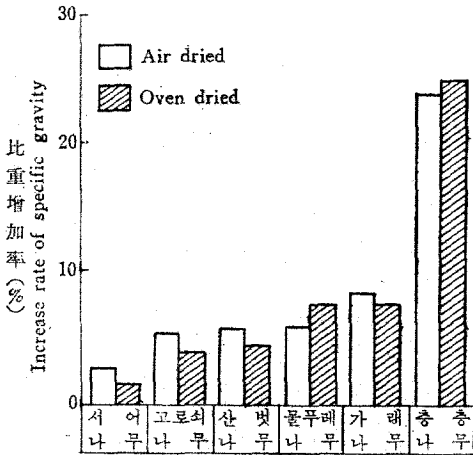


그림 5. WPC의 比重增加率

Fig. 5. Increase rate of the specific gravity of WPC made from MMA.

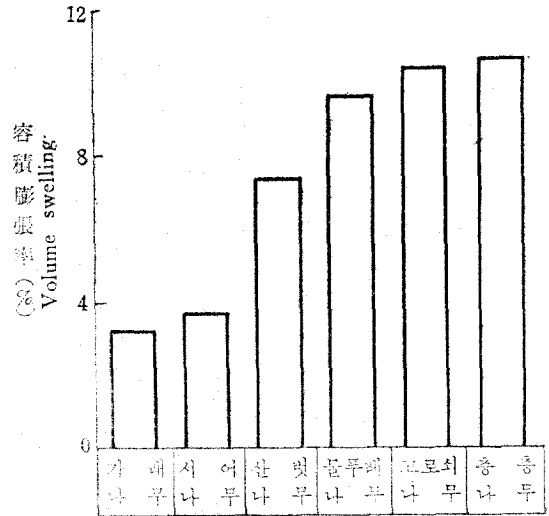


그림 7. 樹種別 WPC의 容積膨脹率

Fig. 7. Volume swelling of WPC

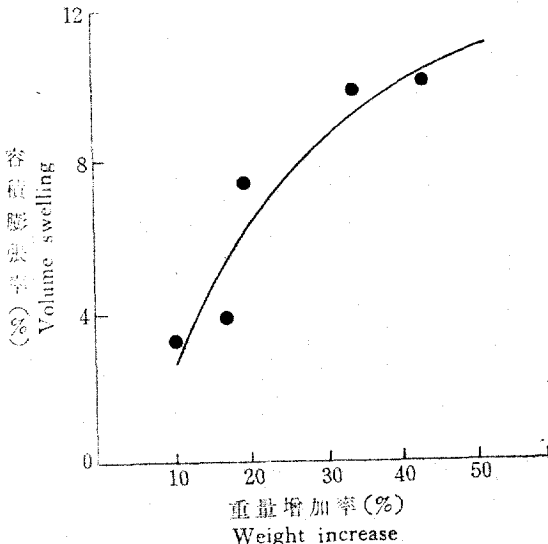


그림 6. WPC의 重量增加와 容積膨脹과의 關係

Fig. 6. Relation between the weight increasing rate and volume swelling of WPC

量增加는 10% 以上の 容積膨脹率을 나타냈다. K. Taneda (1970)⁽³⁸⁾에 依하면 피나무 境遇는 50~70%의 重量增加가 나타날 境遇 15~18%의 容積膨脹率을 나타냈다고 하며 70%以上の 높은 重量增加率의 範圍에서는 容積膨脹率이 低下하는 傾向이 일어나는데 이의 原因은 아직까지 밝혀지지 않고있다.

그림 7의 樹種別 容積膨脹率을 보면 층층나무가 約 11%로서 가장 높고 고로쇠나무 및 물푸레나무가 그 다음이고 가래나무는 約 3.32%로서 가장 적은 容積膨脹率을 나타내고 있다.

4.3.3 吸水率

WPC의 吸水性을 檢討 調査하기 爲하여 20±1°C의 蒸溜水에 素材 및 WPC를 浸水하고 重量을 測定하여 素材에 對한 吸水 減小率을 調査하였는데 그結果는 그림 8과 같다. 樹種別로 吸水率을 살펴보면 층층나무, 물푸레나무의 吸水 減小率이 優秀하였고 가래나무가, 17.85%로서 가장 낮았으며 서어나무, 고로쇠나무, 산벚나무의 吸水減小率은 中程度였다. M. Ya. Pormale et. al. (1969)⁽²⁷⁾ 등은 WPC 製造로 吸濕吸水量이 1/4~1/5로 減小하였다고 報告하고 있다.

WPC는 浸水時間이 길어짐에 따라 吸水減小率도 漸次 減小하여 浸水 5日이 지나면 거의 一定한 變化를 나타내는데 이는 素材의 吸水速度가 初期에는 急激하나 漸次 吸水量이 減小하기 때문에 일어나는 것으로 生覺된다.

그림 9는 高分子 含浸率과 吸水 減小率과의 關係를 나타낸 것으로서 高分子의 含浸率이 增加할수록 吸水 減小率도 컸다.

4.3.4 寸수 安定性

吸水 및 乾燥에 依해 惹起되는 WPC의 收縮 및 膨脹을 素材에 對한 抗收縮率, 抗膨脹率로 나타낸 結果는 表3과 같으며 高分子 含浸率에 따른 抗收縮率, 抗膨脹率의 變化는 그림 10, 11에 나타난 바와 같다.

高分子率이 높으면 거기에 따른 抗收縮率, 抗膨脹率도 增加하고 있으며 寸수安定 効果가 높아진다. 斷面別로 살펴보면 徑斷面보다는 觸斷面의 變化率이 높고

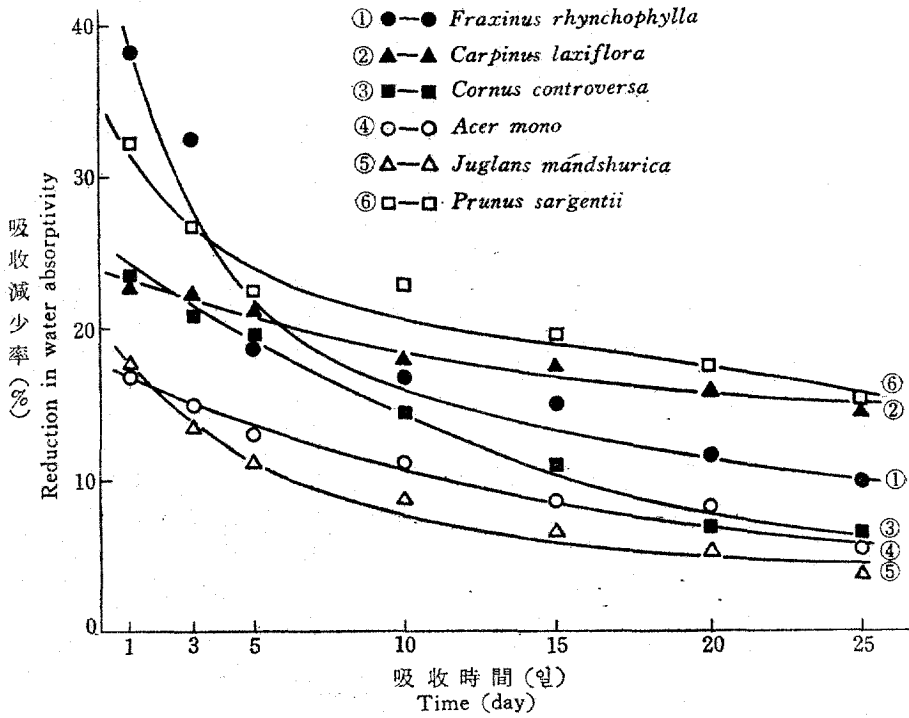


그림 8. WPC의 吸水減少率

Fig. 8. RWA of WPC in distilled water at 20°C

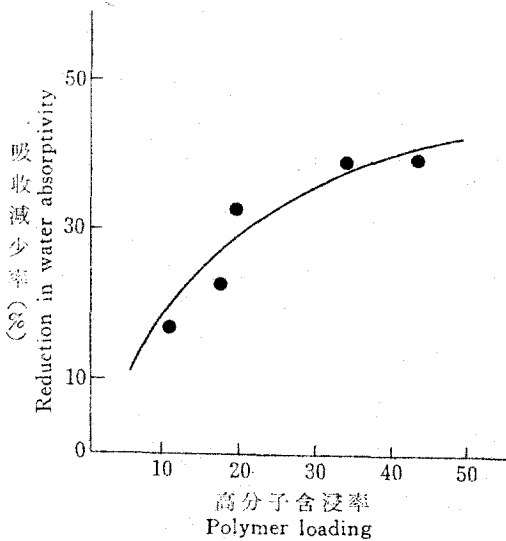


그림 9. 高分子 含浸率과 吸水減少率과의 關係

Fig. 9. Relation between RWA and polymer loading

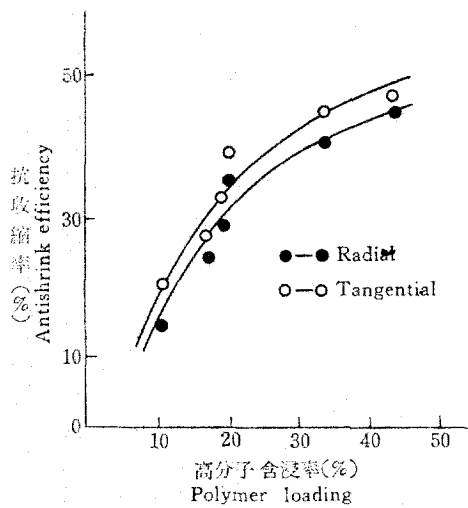


그림 10. 高分子 含浸率과 抗收縮率과의 關係

Fig. 10. Relation between the polymer loading and ASE

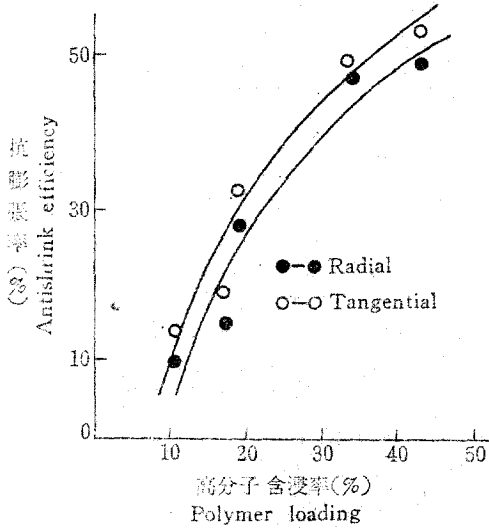


그림 11. 高分子 含浸率과 抗膨脹率과의 關係

Fig. 11. Relation between the polymer loading and antiswelling efficiency

抗收縮率在 抗膨脹率보다 약간 높은 값으로 나타났다.

또한 比重이 높을수록 抗收縮率 抗膨脹率이 높아지며 K. Taneda等 (1971)⁽⁴¹⁾이 報告한 바와같이 素材의 比重이 적을수록 高分子率이 높으며 抗收縮率, 抗膨脹率의 값도 높게 나타난다. 樹種別 拭수 安定特性은 松 檜나무와 椴나무가 優秀한 拭수 安定性을 갖고 있으며 가래나무는 極히 不良하였고 서어나무도 좋은편은 아니었다.

拭수 安定性은 單量體의 種類, 重合方法, 高分子 含浸率, 重合處理材內의 ฟู라스틱의 狀態 및 重合時 變는 木質材料의 變化 및 이들의 複合의 組合關係에 依해 크게 影響을 받고 있으므로 木材의 加工利用 및 特殊用材로서의 WPC를 製造함에 있어 가장 重要한 問題인 拭수 安定의 課題는 많은 檢討와 繼續된 研究가 必要하리라고 본다.

4.4 WPC의 機械的 性質

WPC를 製造함으로써 吸濕, 吸水性을 改良하여 拭수 安定이 增進되며 아울러 曲强度를 비롯한 모든 機械 性質이 顯著히 改善된다. 比重의 變化에 따른 强度增加의 效果를 表示한 그림 12를 보면 比重의 增加에 따라 모든 强度가 比例的인 增加現象을 나타내고 있는데 壓縮强度 增加率이 가장 높고 굽음强度, 衝擊吸收 에너지量의 增加率은 비슷하면서 낮은 값을 보이며 引張强度는 中間程度의 增加率로 나타났다.

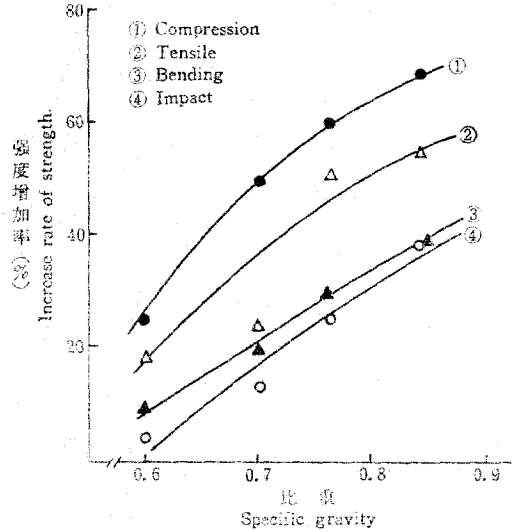


그림 12. WPC의 比重이 强度增加에 미치는 影響

Fig. 12. The effect of specific gravity of WPC on the increase rate of strengths.

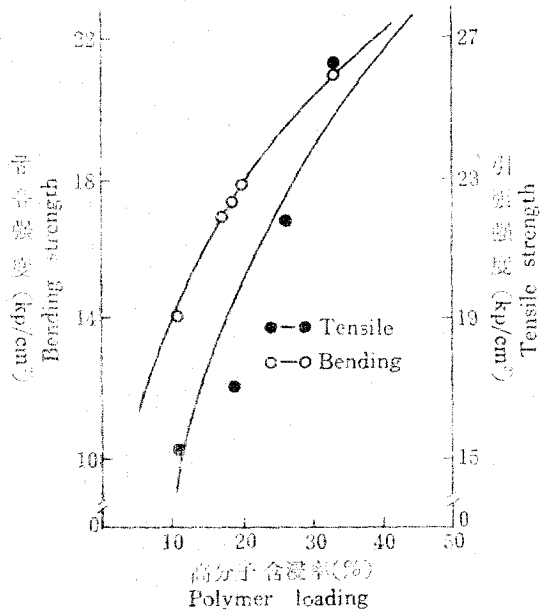


그림 13. 高分子 含浸率과 굽음强度, 引張强度.

Fig. 13. Bending strength and tensile strength vs. polymer loading

그림 13, 14는 高分子 含浸量에 對한 强度增加率을 表示한 것으로서 高分子 含浸量의 增加에 따라 引張 및 굽음强度 增加率이 높고 衝擊吸收 에너지量은 낮으며 壓縮强度는 中程度의 增加率로 나타났다.

표 4. 木材 및 WPC의 機械的 性質

Tab. 4. Mechanical properties of woods and wood plastic composites

樹種 Tree species	壓縮強度 Compression strength(kp/cm ²)		굽음強度 Bending strength(kp/cm ²)		引張強度 Tensile strength(kp/cm ²)		衝擊吸收에너지量 Impact bending absorbed energy (kpm ² /cm ²)	
	素材 Wood	WPC	素材 Wood	WPC	素材 Wood	WPC	素材 Wood	MPC
물푸레나무 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	632	1,074	1,520	2,128	1,725	2,677	1.286	1.788
서어나무 <i>Carpinus laxiflora</i>	637	892	1,428	1,714	1,351	1,925	0.855	1.250
층층나무 <i>Cornus controversa</i>	642	1,027	1,345	1,749	1,325	2,069	0.755	1.314
고로쇠나무 <i>Acer mono</i>	584	818	1,438	1,726	1,248	1,698	1.017	1.463
가래나무 <i>Juglans mandshurica</i>	552	718	1,291	1,420	1,296	1,536	0.772	0.804
산벚나무 <i>Prunus sargentii</i>	657	986	1,496	1,795	1,302	1,619	1.085	1.226

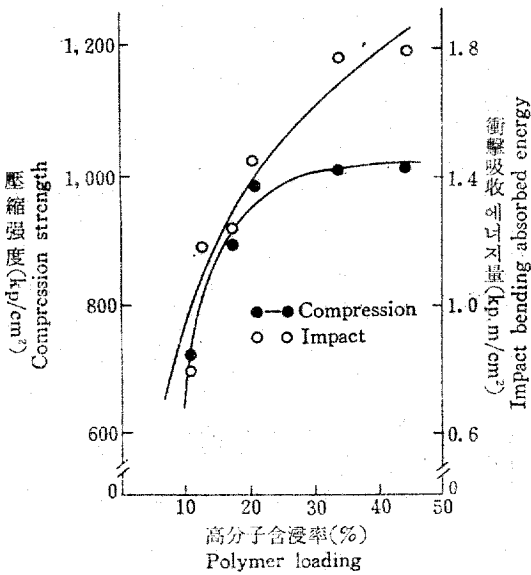


그림 14. 高分子 含浸率과 壓縮強, 衝擊吸收에너지量
Fig. 14. Compression strength and impact bending absorbed energy vs. polymer loading

樹種別 WPC의 機械的 性質을 表示하면 表4와 같으며 樹種別 強度增加率은 그림 15와 같이 表示하였다.

高分子 含浸率이 좋았던 층층나무와 물푸레나무의 強度增加가 顯著하며 가래나무는 가장 不良하였다. 一般的으로 굽음強도의 增加率은 10~40%, 壓縮強도는 25~70%, 衝擊吸收 에너지量은 4~74%, 引張強도는 18~56%程度로서 衝擊強도의 樹種別 變異폭이 컸

다.

4.5 WPC의 其他 特性

6樹種에 對한 重合 高分子의 木材內 狀態 및 高分子 注入效果를 要約하면 表 5에 나타난바와 같다.

표 5. WPC의 其他 特性

Tab. 5. Other characteristics of manufactured wood plastic composites

樹種 Tree species	理論最大含浸率(%)	高分子含浸率(%)	細胞壁內高分子含浸率(%)	細胞腔內高分子含浸率(%)	高分子注入效果(%)	比效果
물푸레나무 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	57.34	33.60	0.36	33.24	58.59	1.33
서어나무 <i>Carpinus laxiflora</i>	62.23	16.65	0.32	16.03	26.27	1.65
층층나무 <i>Cornus controversa</i>	90.48	43.41	0.37	43.04	47.98	1.06
고로쇠나무 <i>Acer mono</i>	73.14	18.75	0.74	18.01	25.64	1.79
가래나무 <i>Juglans mandshurica</i>	105.40	10.50	0.71	9.79	9.96	1.96
산벚나무 <i>Prunus sargentii</i>	76.68	19.81	0.42	19.39	25.84	1.99

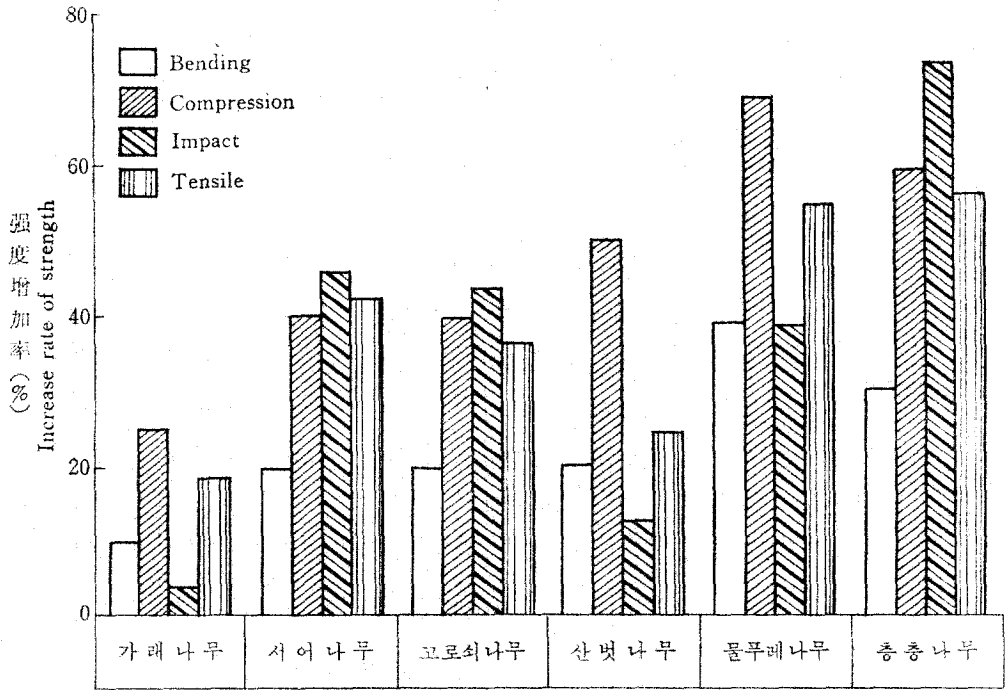


그림 15. 樹種別 WPC의 強度增加率

Fig. 15. Increase rate of strengthes of WPC

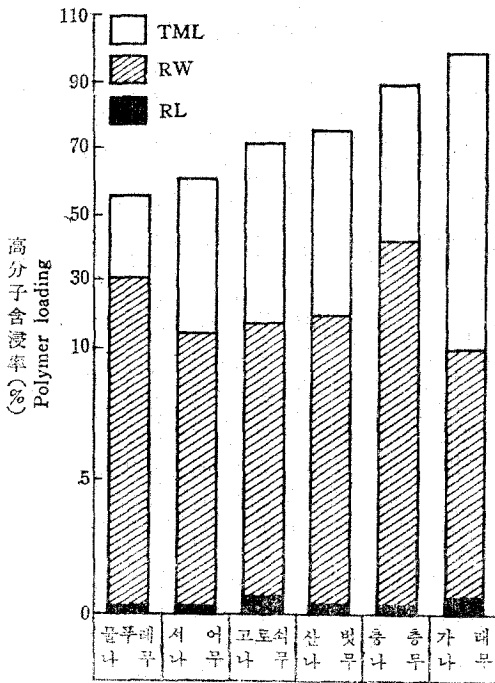


그림 16. 高分子의 含浸特性

Fig. 16. Characteristics of polymer loading

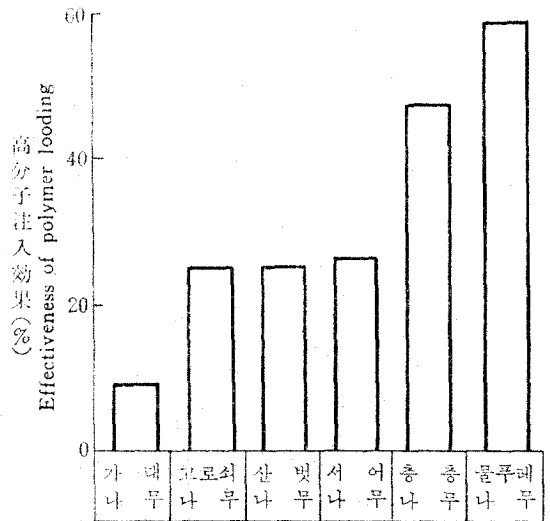


그림 17. 高分子 注入效果

Fig. 17. Effectiveness of polymer loading

理論最大 高分子 含浸量에 對한 WPC內의 高分子率과 細胞壁 및 細胞腔內에 들어 있는 高分子 含浸을 그라프로 表示하면 그림 16과 같으며 그림 17은 樹種別 高分子의 注入效果를 나타낸 것이다.

高分子 注入效果 即 高分子 含浸比는 樹種, 木材組織, 比重, 單量體의 種類, 粘度, 分子量 및 注入方法,

壓力, 木材의 透過度等 여러가지 因子의 影響을 받는다. 모든 樹種의 細胞壁內의 高分子量은 0.32~0.74% 程度로 매우 적은 量이 含浸되어 있으며 高分子의 大部分이 細胞腔을 채우고 있음을 알수있다. 가래나무는 가장 큰 理論最大高分子 含浸量을 갖고 있으면서도 解剖學的 및 其他의 特性으로 單量體 및 高分子의 含浸率 이 가장 작은 것으로 나타나고 있으며 高分子 注入效果 역시 9.96%로서 極히 低調하였다. 층층나무는 물푸레나무보다 高分子 含浸量이 높았으나 注入效果는 물푸레나무보다 約 10% 적었다.

D.L. Kenaga (1966)⁽¹⁰⁾에 依하면 細胞壁, 細胞腔內의 高分子量은 單量體의 種類, 溶媒, 濃度, 處理時間으로 調節될 수 있다고 報告하였다. 6樹種에 對한 高分子 含浸으로 가래나무를 除外하고 25~58%程度의 高分子 注入效果를 達成할 수 있었다.

5. 結 論

5.1 木材內 單量體 注入量은 注入時間에 比例하며 樹種別 注入特性을 살펴보면 물푸레나무, 서어나무, 층층나무가 比較的 注入이 容易하였으며 가래나무는 注入이 極히 困難하였다.

5.2 高分子 含浸率은 重合時間의 增加에 따라 比例的인 增加現象을 보이며 그림 3은 樹種別 回歸關係를 나타낸것이다. 單量體 注入에서의 마찬가지로 高分子의 含浸에 木材의 含水率, 比重, 溶媒, 單量體의 種類 뿐 만 아니라 特히 木材의 解剖學的 特性等이 影響하고 있다고 生覺된다.

5.3 製造된 WPC의 樹種別 物理的 特性은 表3과 같으며 그의 比重增加率은 3~24%, 容積은 3~10%增加를 나타냈다. 翹曲安定 效果를 보면 WPC의 製造로 抗收縮率이 20~46%, 抗膨脹率이 14~50%이며 吸水減小率은 18~40%였다. 樹種別로 보면 물푸레나무와 층층나무가 翹曲安定性이 높았으며 가래나무와 서어나무는 不良하였다.

5.4 製造된 WPC의 機械的 性質은 表4와 같으며 比重增加 및 高分子 含浸量 增加에 따라 強度增加가 顯著하였다. 굽음強度의 增加率은 10~40%, 壓縮強度는 25~70%, 衝擊吸收에너지量은 4~74%, 引張強度는 18~56%의 增加率을 나타내고 있다. 樹種別로 보면 물푸레나무, 층층나무의 強度增加率이 높았고 가래나무는 낮았다.

5.5 모든 樹種의 細胞壁內 高分子 含浸量은 0.32~0.74% 程度이며 高分子의 大部分이 細胞腔을 채우고 있었다. 高分子 注入效果는 물푸레나무가 58.59%, 서

어나무가 26.27%, 층층나무가 47.98%, 고로쇠나무는 25.64%, 가래나무는 9.96%, 산벚나무가 25.84%였다

引用 文 獻

1. Baekeland, L.H. 1909, Jour. Ind. & Eng. Chem., 1: 149-161
2. Erickson, H.D. & J.J. Balatincez, 1964. Forest Products Journal, 14(7): 293-299
3. Ficillo, D.A., R.E. Greene & P.S. Baker 1965. Isotope Rad. Tech., 3(2): 115-146.
4. Goto, T. & H. Onishi, 1967. Bull. Fac. Agr Shimane Univ. No.1: 110-115
5. Hasegawa I. & T. Taneda, 1968. J. Hokkaido For. Prod. Res. Inst. No. 12: 18-23
6. Hermans, J.J., 1962. Pure Appl. Chem., Vol. 5, 145-165
7. Karpov, V.L., Yu. M. Malinsky, V.I. Serenkov, R.S. Klimanova & A.S. Freidin. 1960. Nucleonics, 18(3): 88
8. Karpov, V.L., Yu. M. Malinsky, A.S. Freidin & V.T. Ramnov, 1958. USSR Authors' Certificate (Patent) 122, 219. 10th Apr.
9. Kanaga, D.L., 1958. U.S. Patent, 3,077,417, 3,077,418, 3,077,419, 5 Feb., Publ. 12 Feb., 1963
10. Kenaga, D.L., 1966. Forest Products, Journal, 16(12): 21-26
11. Kent, J.A., A.W. Winston & W.R. Boyle & L.W. Harmison, 1962. USAEC, TID 7643: 335-344
12. Kent, J.A., A.W. Winston & W.R. Boyle, 1963. USAEC, ORO-600: 52
13. Kent, J.A., A.W. Winston & W.R. Boyle, 1963. USAEC, Rep. TID 18907: 9
14. Kent, J.A., 1963. USAEC Rep. BNL-790: 11-13
15. Kent, J.A., A.W. Winston, W.R. Boyle & L. Updike, 1963, IAEA, Viena, 377-404
16. Kent, J.A., A.W. Winston & W.R. Boyle, 1963. USAEC, Rep. ORO-612: 88
17. Kent, J.A., 1964, USAEC, Rep. TID-7704
18. Kent, J.A., 1964. Pro. Rad. Dev. Pro. Summ 4th Ann. Contractor Meeting, 37: 18-19

19. Lee, D.J., H.J. Cho, 1969. Report of National Industrial Research Inst. Vol. 19 : 1-7
20. Loos, W.E., R.E. Walters & J.A. Kent, 1967, Forest Products Journal, 17(5) : 40-49
21. Meyer, J.A., 1965. Forest Products Journal, 15(9) : 362-364
22. Miettinen, A.U., 1970. Forest Products Journal, 20(3) : 36-42
23. Murayama T., 1965. Wood Industry, 20(224) : 7-11
24. Murayama, T., 1970. Wood Industry, 25(275) : 14-17
25. Murayama, T., 1970. Wood Industry, 25(281) : 22-26
26. Murayama, T., 1971. Synthetic Resin, 17(9) : 37-43
27. Pormale, M. Yo., N.A. Kashkina & Yo.A. Surna, 1969. Khimiya, Drevesiny 3 : 155
28. Pyun, H.C. & J.R. Kim, 1969, Ann. Rep. of Research Dev. Pro., 69-13
29. Pyun, H.C. & W.M. Lee, 1970. MOST-R-70 62-CH
30. Pyun, H.C., J.R. Kim & K.H. Lee, 1972, J. Korean Nuclear Soc., 4(1) : 23
31. Ramalingam, K.V., G.N. Wererak & J.W. Hodgins, 1963. J. Polymer Sci., Part C. No. 2 : 153-167
32. Siau, J.F., J.A. Meyer & C. Skaar, 1965. Forest Products Journal, 15(4) : 162-166
33. Siau, J.F., J.A. Meyer & C. Skaar, 1965. Forest Products Journal, 15(10) : 426-434
34. Sian, J.F. & J.A. Meyer, 1966. Forest Products Journal, 16(8) : 47-56
35. Singer, K.A., 1966, J. Proc. 2nd Symp. Radiation Chem. 16-19
36. Stamm, A.J., 1943. USDA, Forest Products Lab. Report No. R-1438
37. Tahada, Y. & K. Araki, 1969, Rad. Tech. Industry
38. Taneda, K. & I. Hasegawa, 1970. J. Hokkaido For. Prods, Res. Insti., No.7 : 15-20
39. Taneda, K., I. Hasegawa & H. Kawakami, 1970. J. Hokkaido For. Prods. Res. Insti., No.2 : 1-5
40. Taneda, K. & H. Kawakami, 1970. J. Hokkaido For. Prods, Res. Inst., No. 10 : 5-10
41. Taneda, K., I. Hasegawa & H. Kawakami, 1971, J. Hokkaido For. Prods. Res. Insti., No. 1 : 12-16
42. Lee D.J., H.J. CHO & B.T. Kim, 1970, Rep. of Nat. Ind. Res. Inst., Vol. 20 : 51-54