

耐火處理 燃燒木의 殘留 휨강도에 關한 研究

李 弼 宇²

Studies on the Residual Bending Strength of Burned Wood treated with Fire-retardant Chemicals¹

Phil Woo Lee²

Summary

The 3 x 3 x 30 (cm³) sized lumbers of *Populus alba-grandulosa* L. were treated with four fire-retardant solutions of ammonium sulfate, monoammonium phosphate, diammonium phosphate and aluminium chloride for 1, 15, 30, and 60 minutes and 1, 3, and 7 days. Thereafter they were air-dried and burned at high temperature about 1,800°C and for short time of five minutes.

This study estimated the relationship between absorbed chemical amounts and rate of weight loss or residual bending strength of these burned lumbers. The results were as follows:

- 1) In absorption amount of fire-retardant chemicals, diammonium phosphate showed the largest, aluminium chloride the smallest, but monoammonium phosphate and ammonium sulfate showed similar level.
- 2) The absorption amount of chemicals was decreased with the increase of specific gravity in the same species except aluminium chloride.
- 3) The rate of weight loss was decreased as the absorption amount of chemicals increased, especially monoammonium phosphate was most effective.
- 4) The MOR value of the residual bending strength was increased as the absorption amount of chemicals increased and especially monoammonium phosphate showed the most efficient effect.
- 5) Aluminium chloride showed more striking increase of MOR value of residual bending strength with the increase of absorption amount than any other chemical, therefore its MOR value was similar to the maximum MOR value of the most effective monoammonium phosphate.
- 6) The correlation between weight loss and MOR value of the residual bending strength was negative and aluminium chloride showed the most striking negative relation, but the others showed similar trends.
- 7) The correlation between work to proportional limit and absorption amount of chemicals was positive and the degree of increase in work to proportional limit was most in aluminium chloride, and the next, in monoammonium phosphate and diammonium phosphate in turn.
- 8) The correlation between work to maximum load and absorption amount of chemicals showed positive and diammonium phosphate revealed the best result and aluminium chloride showed better results than other two chemicals.

Key words: MOR, MOE, maximum load, proportional limit, absorption amount.

1. 緒 論

木材(wood)는 오랜 옛날부터 材料로서 乾燥, 切削, 接着, 塗裝, 美觀 等에 있어서 優秀한 特性을 지니고 있었으므로 人類가 必要로 하는 建築, 家具, 器

¹ 接受 4月 2日 Received April 2, 1984.

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

具, 樂器, 車輛, 土木用 等 많은 用途로 使用되어 왔다.

그러나, 木材는 有機物質이기 때문에 自然狀態에 放置하게 되면 菌蟲類의 侵害를 쉽게 받게 되며 風化 등으로 因하여 變質 分解하여 劣化하게 된다. 뿐만 아니라 높은 熱에 當게 되면 쉽게 燃燒하는 等 아주 큰 脆弱點을 갖고 있다. 이와 같은 脆弱點 中 一時에 큰 被害를 입게하는 現象은 쉽게 燃燒하는 性質이다.

農村의 住宅에서부터 都市의 高層 建築物에 이르기까지 그리고 그 内部에 使用하고 있는 各種 家具와 집기에 까지 燃燒性이 큰 木材를 使用하지 않을 수 없으므로 우리 주변은 火災에 對하여 恒常 脆弱性을 지니고 있다. 이와 같은 環境으로 因해서 일단 火災가 發生하게 되면 大型火災로 發展하게 되어 財産과 人命의 피해가 엄청나게 큰 때가 많다. 이와 같은 被害를 줄이기 爲해서는 木材에 耐火處理를 하여 使用하거나 難燃 또는 不燃材料를 使用하여야 할 것이다.

이미 歐美 先進國에서는 火災發生의 間接的 原因이 되는 建築物의 構造材料를 비롯하여 各種 內裝材는 必히 難燃材料를 使用하도록 規定하거나, 또는 木質材料를 內裝材로 使用時 一定한 範圍의 耐火處理를 하도록 義務化하고 있다. 最近 우리나라에서도 高層建物の 火災로 因해서 그 被害가 적지않게 커짐에 따라 建築物의 可燃性 內裝材料에 對한 耐火處理를 義務的으로 實施하도록 規定하게 되었다. 따라서 國內에서도 쉽게 燃燒하는 木材의 耐火處理에 關한 合理的인 研究가 切實히 要請되고 있다.

本 研究에서는 一定한 크기의 角材를 四種의 耐火藥劑로 處理한 다음, 一定時間 동안의 燃燒試驗을 實施하여 그 重量減少率과 耐火度를 測定하였으며 또한 一定한 時間의 燃燒試驗後 供試角材의 殘留強度를 調查하고 耐火藥劑處理와 燃燒後의 殘留強度間의 關係를 分析하여 其處理效果를 究明코져 하였다.

2. 研究史

熱에 依한 木材의 熱分解와 이에 따른 木材의 機械的 性質에 미치는 影響에 關한 研究 및 火災를 防止하기 위한 耐火處理方法과 藥劑의 選擇, 그리고 그에 따른 耐火效果에 關해서는 이미 많은 研究가

報告되어 있다.

이에 關한 外國의 研究를 보면, Browning(1963)은 木材의 熱分解에 對한 報告에서 木材는 熱에 比較的 強하여 100℃까지는 대체로 큰 影響이 없이 安定한 便이나 100℃ 부근에서 吸着水가 소실되면서 더욱 온도가 상승하게 되면 CO₂, CO, H₂O 等이 木材의 熱分解로부터 生成된다. 溫度 100~250℃ 사이에서는 木材가 熱分解로 因하여 色이 暗色으로 變하고 強度가 떨어져 繼 溫度가 上升하여 500℃에 이르면 炭化가 이루어지며 揮發性物質이 소실하게 된다. 따라서, 木材의 熱分解는 약 500℃ 부근에서 完了되며 木材는 木炭(charcoal)만 남게 된다고 報告하고 있다.

J. D. MacLean(1953, 1954)는 蒸氣處理 및 煮沸에 依한 木材處理가 木材의 強度의 性質에 미치는 影響에 關한 研究報告에서 處理時間이 增加함에 따라 MOE, 최대하중까지의 일의 양, MOR 等이 감소하는 경향이 있음을 보고하였다. 또한 J. D. MacLean(1955)는 oven에서의 可熱 및 熱壓方法이 木材의 強度에 미치는 影響을 研究·報告하였으며, 이때 使用한 熱傳導媒體는 蒸氣, 물, oven, 熱壓機를 使用하였으며, 이때 溫度는 比較的 낮은 65.6℃, 93.3℃, 101.7℃, 121.1℃, 148.9℃, 160℃, 177.8℃(150°F, 200°F, 215°F, 250°F, 300°F, 320°F, 350°F) 等을 適用하여 長期間(100~188 日) 處理한 木材의 機械的 性質을 調查하였다.

H. O. Fleischer(1960)는 불과 木材와의 關係에서 發火性, 불의 浸透性 및 불의 一般의인 性質에 對하여 考察하고 이에 必要한 조치로서 heavy timber construction, 適當한 建築設計, 難燃藥劑處理, 耐火塗料코팅 等을 추천하였다.

A. J. Stamm(1955)는 木材와 셀룰로오스의 熱分解에 關한 研究를 遂行하고, 燃燒時 空氣 및 N₂ 가스를 투입하여 重量減少量 및 熱分解時에 生成되는 成分에 對하여 調查하였다.

한편, H. W. Eickner(1975)는 木構造物과 sandwich wall panel 等에 대한 耐火災性을 調查하여 그 結果를 報告하였다. 이때 使用한 panel은 gymsumboard, plywood, hardboard 等을 材料로 製造한 것이었다.

Björn Östlin(1978)는 美國林産物研究所에 提出한 研究報告書에서 木材는 낮은 溫度에서 長期間 노출되면 發火點(250~380℃)에 미치지 못하는 100℃ 以下 溫度에서도 發化가 된다고 報告하였으며, 特

히 일상생활에서 火災가 발생하는 원인으로서 이러한 경우가 많다고指摘하고 있다.

그리고, J. W. Johnson(1975)은 Douglas-fir 角材 및 合板을 耐火處理한 後 이것들을 nail 등으로 서로 連結시켜서 만든 木製品을 2~7년간 야외에서 暴露試驗을 實施하고 그 強度를 調査하여 耐火藥劑處理木의 耐久性에 관하여 研究하였다.

F. E. Woeste(1981) 등은 輕構造物인 木製마루판의 耐火度를 조사하는데 必要한 체계적인 耐火度分析方法을 研究하여 發表하였다.

또한 R. H. White(1982a, 1982b)는 여러가지 木製板狀製品인 合板, solidwood, hardboard, gypsumboard 등을 熱遮斷板으로 利用하여 實驗을 實施하고 各 보드의 熱遮斷效果를 比較하여 보고하였으며, 또한 같은 해에는 calcium silicate board 및 aluminium foil-faced 프라스틱板의 熱遮斷性에 關하여 研究를 계속하여 報告한 바 있다.

國內의 木材雖然 및 耐火處理에 關한 研究는 서울대학교 農科大學 木質材料 研究室에서 꾸준히 進行되어 왔는데 本 研究와 關聯된 最近의 研究結果를 살펴보면, 李弼宇(1983) 등은 耐火處理 파티클보드의 휨 강도와 物理的 性質에 미치는 藥劑의 影響에 關한 研究에서 황산암모늄과 미나리스 등의 藥劑로 處理한 파티클보드의 MOR, MOE의 값이 非處理木보다 떨어진다고 발표하였으며, 같은 해에 發表한 耐火處理파티클보드의 耐火度에 미치는 藥劑의 影響에 關한 研究에서는 耐火藥劑의 濃도가 증가할수록 重量減少率, 着火時間 등의 耐火性이 增進된다고 발표하였다.

또한, 佺祥植과 李弼宇(1983)는 熱氣, 熱板, 煮沸 및 蒸氣處理가 木材의 機械的 性質에 미치는 影響에 對한 論文에서 處理木의 MOE, MOR 값을 調査한 結果, 溫度가 100℃ 以上으로 增加함에 따라 強度가 감소하는 現象을 보였으며, 熱處理效果는 煮沸 및 蒸氣處理에 가장 큰 것으로 나타났고, 그 다음에 熱板, 熱氣處理의 順으로 報告하였다.

지금까지 國內外에서 報告된 耐火處理 및 그 效果 등에 關한 研究는 一般의으로 耐火處理後 燃燒試驗에 따른 重量減少率, 着火性, 耐火災性 등을 調査하거나 低溫에서 長時間 燃燒시킨 木材의 機械的 性質을 조사하여 그 耐火度를 測定한 것이 大部分이었다.

그러나, 本 研究에서는 지금까지의 研究와는 다른 方法으로 高溫에서 短時間 燃燒시킨 木材의 殘

留強度를 調査하여 연소후의 強度殘留程度를 밝힘으로써 火災가 일어났을 때에 現實的으로 發生할 수 있는 狀態를 研究하고자 試圖하였다.

3. 材料 및 方法

3.1. 供試材料

3.1.1. 耐火處理用 角材

本 研究에서 使用한 供試木은 서울大學校 農科大學構內에 正常的으로 生長한 은수원 사시나무(*F. pulus alba × glandulosa* L.)를 選定하여 伐採利用하였는데, 樹齡 18年生, 胸高直徑 40cm, 年輪幅 8.11mm, 氣乾比重($Ru = \frac{W_u}{V_u}$) 0.38~0.58 범위의 立木이었다.

耐火處理用 角材를 供試木으로부터 3cm(폭) × 3cm(두께) × 30cm(길이) 크기의 柁目材를 製材한 後 용이 등 缺點이 없는 無缺點材를 選別하였다. 特히 燃燒試驗時 불꽃이 直接 接觸하는 面을 柁目面으로 固定하기 위하여 製材된 形態로 보아 角材의 길이 方向의 四面中 最少한 一面이 柁目面인 것으로 選別하였다.

일단 製材한 角材는 關係濕度 65%, 溫度 20℃의 室內條件에서 長期間의 調濕處理를 실시하여 平衡상태로 만들었다. 本 研究에서 使用한 供試角材의 總數는 耐火處理藥劑(4) × 處理時間(7) × 5 反復 + 5 未處理角材 = 145 個였다.

3.1.2. 耐火處理用 藥劑

本 實驗에서 使用한 耐火處理藥劑는 Table 1에 나타나 있는 바와 같이 ammonium sulfate (AS), monoammonium phosphate (MA), diammonium phosphate (DA), aluminium chloride (AC) 등 四

Table 1. Fire retardant chemicals and their concentration

Abblebiation	Chemicals	Grade	Concentration(%)
A. S.	Ammonium sulfate (NH ₄) ₂ SO ₄	Reagent	20
M. A.	Monoammonium phosphate NH ₄ H ₂ PO ₄	"	"
D. A.	Diammonium phosphate (NH ₄) ₂ HPO ₄	"	"
A. C.	Aluminium chloride AlCl ₃	"	"

種의 藥劑는 모두 20%의 濃度로 調整하여 耐火處理 藥液으로 使用하였다.

3.2. 處火處理 方法과 後處理

本 實驗에서 使用한 耐火處理方法은 浸漬法을 使用하였다. 이를 위하여 室溫의 水도물에 選定한 千種의 耐火藥劑를 녹여 20%의 溶液으로 만든 다음 準備한 角材를 藥液에 浸漬시켰다. 浸漬時間은 1分, 15分, 30分, 60分과 1日, 3日, 7日 等 7 가지로 區分하여 短長期 浸漬處理를 하였다.

浸漬處理前後의 各 角材의 重量을 坪量 調查하여 그 差로서 藥劑吸收量을 決定하였으며 다음 式으로 計算하였다.

$$\text{藥劑吸收量(kg/m}^3\text{)} = \frac{(B-A) \times 0.2}{V}$$

- A : 藥液吸收前의 供試材重量
- B : 藥液吸收後의 供試材重量
- V : 供試材의 부피
- 0.2 : 藥液의 濃度(20%)

浸漬處理가 끝난 角材는 後處理로서 浸漬處理前 條件과 같은 調濕條件으로 관계습도 65%, 溫度 20 C 室內에서 長期間 調濕處理를 實施하였다.

3.3. 耐火度 測定方法

耐火藥液으로 浸漬處理한 供試材의 耐火度를 測定하기 위하여 重量減少率을 調查하였으며, 이 때 Fig. 1. 과 같은 燃燒裝置를 利用하였다. 이 裝置中 可燃裝置는 bunsen burner 를 使用하였으며 이 때의 불꽃 色은 靑色炎이 되도록 調節하였고 炎의 길이

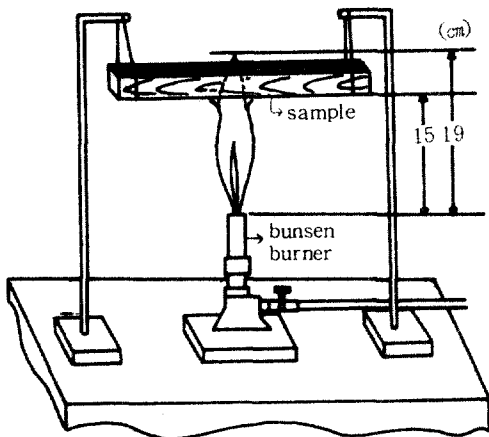


Fig. 1. Appratus for combustion test.

는 19cm가 되도록 測定하여 燃燒炎으로 利用하였다.

燃燒時 炎이 닿는 供試材의 아래 부분은 반드시 炬目面이 되도록 하였다. 또한 炎이 닿는 位置는 供試材의 中央部가 되도록 固定하였으며, 供試材의 밑면과 수직方向으로 炎이 닿도록 하였다. 그리고 燃燒時間은 藥液處理 供試材 및 未處理 供試材 모두 5分으로 하였으며 이때 使用한 可燃媒體는 一般 家庭用 LP gas 였고 이 LP gas로 直接 供試材를 可燃 燃燒하였다.

燃燒後 重量減少率을 測定, 調查하였으며 다음과 같은 計算式을 使用하였다.

$$\text{重量減少率(Weight loss)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 (\%)$$

- W₁ : 燃燒前 重量
- W₂ : 燃燒後 重量

3.4. 燃燒된 供試材의 殘留靑强度(residual bending strength) 및 일(work)의 量 測定

일단 耐火度測定燃燒試驗이 끝난 供試材는 그 中央部의 주위가 一部 燃燒되어 炭化된 形態로서 그 모형은 Fig. 2.와 같았다. 이러한 供試材를 利用하여 燃燒後 殘留靑强度(residual bending strength)를 測定하여 MOR, MOE 및 比例限度까지의 일의 양, 最大荷重까지의 일의 양을 調查하였다. 이때의 荷重速度는 10 mm./min.으로 하였다.

殘留強度測定時 荷重을 試驗片의 中央에 位置하도록 調整하였다. Fig. 2.에서 보는 바와 같이 中央部의 폭과 두께는 그 치수가 燃燒前보다 燃燒後에 더 적어졌으나 燃燒炎이 닿지 않는 角材 양끝 部分의 폭 및 두께의 값은 燃燒前과 變動이 없었다.

이와 같이 하나의 試驗片에서 中央部와 양끝 部分의 두께 및 폭의 치수가 一定하지 않은 形態여서 強度 및 일의 양의 계산에서 치수測定값을 適用하는데 곤란한 點이 있었으나 本 研究에서는 荷重을 直

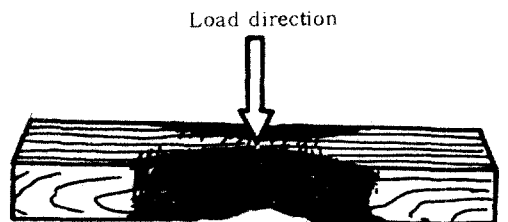


Fig. 2. Feature of burned sample and load direction.

접받는 角材 中央部の 폭 및 두께값을 利用하여 強度 및 일의 양을 計算하였다. 이와 같은 計算方法에 따르기 때문에 本 實驗結果에서는 計算値가 實際 값보다 작은 過小價가 測定될 것으로 생각된다.

3.5. 實驗結果 分析方法

本 研究에서는 앞에서 밝힌 바와 같이 4 가지 耐火處理用 藥劑를 使用하여 1分, 15分, 30分, 60分 및 1日, 3日, 7日 동안 浸漬處理를 實施하였다.

그런데, 木材는 同一한 耐火藥劑로 同一한 時間동안 浸漬處理 하여도 材質에 따라 藥劑吸收量이 달라지게 된다. 따라서, 本 研究에서는 耐火效果에 直接 影響을 미치는 藥劑吸收量을 基準으로 하여 重量減少率, MOE, MOR, 比例限度까지의 일의 양, 最大荷重까지의 일의 양 등의 結果를 回歸分析法으로 分析, 考察하였다.

4. 結果 및 考察

本 研究는 앞에서 밝힌 바와 같이 浸漬法에 依한 耐火處理方法을 適用하였으며 藥劑別 吸收量은 Table 2.에 提示하였다. Table 2.에서 보면 diammonium phosphate (DA)가 藥劑吸收量이 가장 컸으며 aluminium chloride(AC)는 제일 낮은 수준을 나타냈고 ammonium sulfate (AS)와 monoammonium phosphate (MA)는 비슷한 수준의 값을 보이고 있다.

Table 2. Adsorbed chemical amounts(kg/cm³)

	Chemicals			
	Ammonium sulfate	Monoammonium phosphate	Diammonium phosphate	Aluminium chloride
Adsorbed range (kg/m ³)	1.520 -68.606	2.113 -56.413	1.792 -89.081	0.956 -28.692
Mean	13.899	12.628	17.292	6.811

本 實驗에서 供試材로 使用한 樹種은 水수원 사시나무 (*Populus alba × glandulosa* L.) 單一 樹種으로 試驗片間의 氣乾比重($\frac{W_u}{V_u}$)의 差異는 심하지 않았으나, 比重 變異에 따른 藥劑吸收量이 다를 것으로 생각되어 그 關係를 調査하였다.

Fig. 3.은 比重 變異와 藥劑吸收量과의 關係를 直線回歸式으로 圖示한 것이다. 그림에서 보면 모든

藥劑가 供試材의 比重이 클수록 藥劑吸收量이 減少되는 傾向을 나타냈다. 특히 本 實驗에서 使用한 耐火藥劑 全體를 通하여 나타난 比重과 藥劑吸收量과의 關係(T)는 고도의 有意性을 나타내면서 負의 相關을 보이고 있으며 個別 藥劑中에서는 monoammonium phosphate (MA)가 95% 水準에서 有意性을 보여 주었다.

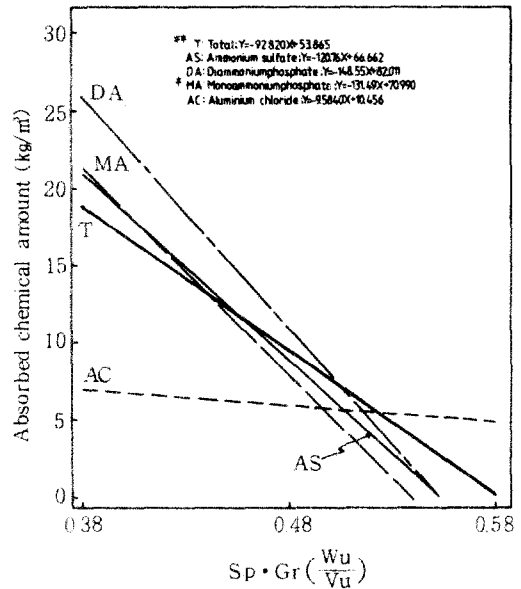


Fig. 3. Linear regression between absorbed chemical amount and $Sp \cdot Gr \left(\frac{W_u}{V_u} \right)$.

그 외의 耐火藥劑는 有意性을 나타내지 않았으나 全般의 傾向은 負相關關係를 보여 주었다. 그 중에서도 aluminium chloride(AC)는 比重에 따른 藥劑吸收量의 變異가 가장 적은 것으로 나타났으며 이러한 사실은 알카리토금속으로 비교적 分子 크기가 큰 aluminium이 chloride와 金屬鹽을 만들고 있어서 木材의 空隙에의 浸透가 곤란하기 때문에 나타난 結果로 생각된다.

이와 같이 試驗材의 比重이 增加함에 따라 藥劑吸收量이 減少하는 것은 比重이 큰 木材일수록 藥劑가 침투할 수 있는 空隙이 적기 때문이다. 즉 木材의 比重이 적은 것일수록 木材內의 空隙이 많으므로 藥液 浸透가 容易하게 된다.

一般的으로 생각할 때 耐火藥劑가 많이 吸收되면 耐火度도 높아지게 되고 이에 따라 燃燒後 重量減少도 그 량이 적게 된다. 本 研究에서는 藥劑種類別 藥劑吸收量과 重量減少率과의 關係를 調査하고 이 결과

를 直線回歸式으로 圖示하여 Fig. 4에 表示하여 보았다.

Fig. 4에서 보면 藥劑種類와 關係없이 全藥劑에 對한 藥劑吸收量과 重量減少率과의 關係式은 모두가 99%의 有意性을 나타내면서 負의 相關關係를 보여 주고 있다. 이와 같이 藥劑吸收量이 增加할수록 重量減少량이 적은 事實은 木材의 炭化가 그만큼될 進行된 것으로 생각할 수 있는데, E. L. Schaffer(1974) 등은 耐火處理가 木材의 炭化率에 미치는 影響을 研究한 結果에서 藥劑處理을 하면 非處理木보다 炭化率을 平均으로 20%程度 減少시킬 수 있다고 發表하여 本實驗에서 나타난 藥劑吸收量 增加에 따른 重量減少량의 負相關關係와 비슷한 結果를 報告하고 있다.

本實驗에서 使用한 藥劑中에서 monoammonium phosphate(MA)는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 藥劑吸收量이 增加함에 따른 重量減少率이 다른 약제보다 현격하게 낮았다. 이러한 結果로 보았을 때 monoammonium phosphate(MA)가 重量減少率面에서는 가장 우수한 耐火效果를 보였다. 한편, 藥劑吸收量이 가장 많았던 diammonium phosphate(DA)는 重量減少率에서는 좋은 結果를 보여주지 못하였으며 다른 藥劑에 比하여 낮은 水準을 나타냈다.

또한 aluminium chloride(AC)는 本實驗에서 美國林產物 研究所가 提示한 最少藥劑保有量(minimum retention ratio: 42~84 kg/m²)을 넘지 못하였으나 藥劑吸收量 15kg/cm² 부근에서 다른 藥劑와 比較하

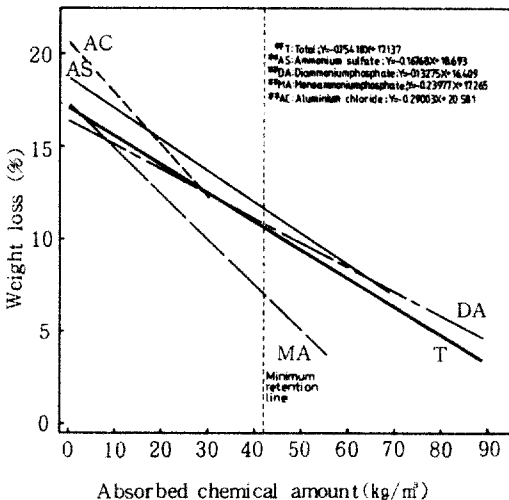


Fig. 4. Linear regression between weight loss and absorbed chemical amount.

여 가장 많은 重量減少率을 보이고 있으나 藥劑吸收量이 增加할수록 重量減少率이 급격히 줄어서 本實驗에서 얻은 aluminium chloride(AC)의 最大藥劑吸收量 30kg/m² 부근에서는 monoammonium phosphate(MA)를 제외한 다른 藥劑보다 오히려 낮은 重量減少率을 보이고 있다. 이와 같은 結果는 李弼宇(1980) 등이 발표한 研究와 一致하고 있는데 그 結果에 따르면 aluminium chloride는 藥劑吸收量이 다른 藥劑와 比較하여 비교적 적은 편이나 그 重量減少率은 다른 藥劑와 同一한 水準을 나타낸다고 報告하였다.

이와 같이 燃燒에 의한 重量減少率을 調査한 試片은 實驗方法에서 提示한 바와 같은 室內條件에서 평형상태로 만든 다음, 燃燒後 殘留 量 강도의 MOR 比例限度까지의 일의 양 및 最大荷重까지의 일의 量을 測定하였다. 그 結果中에서 먼저 MOR과 藥劑吸收量 및 重量減少率과의 關係를 直線回歸式으로 圖示하여 Fig. 5와 Fig. 6에 나타냈다. Fig. 5에 나타난 MOR과 藥劑吸收量과의 關係를 보면, 藥劑吸收量이 增加함에 따라 MOR은 漸次 增加하였으나 一般은 수원 사시나무의 平均 量 강도의 MOR값으로 알려진 860kg/cm²와는 큰 差異를 보여 炭化 및 熱分解에 의한 強度減少가 상당히 큼을 알 수 있었다. 특히 全藥劑에 있어서 그 吸收量이 美國林產物 研究所에서 提示한 最少藥劑保有量범위內 있는 경우도 MOR이 200~300kg/cm²의 범위정도에 불과했다. Fig. 4에서 藥劑全體의(T)으로는 直線回歸式이 99%의 有意性을 보였으며, 各 藥劑別로는 monoammonium phosphate(MA) aluminium chloride(AC)의 回歸式이 99%의 有意性을 보였고 나머지 藥劑는 有意性을 나타내지 않았으나 全體적으로는 比例의인 關係를 보이고 있다.

藥劑吸收量이 最少藥劑保有量을 넘는 藥劑로서 가장 效果의인 MOR값을 보인 藥劑는 monoammonium phosphate(MA)로서 本實驗에서 나타난 最大吸收量 56.413kg/cm²의 MOR값이 다른 藥劑의 最大吸收量에서의 MOR값보다 높았다. 또한 藥劑吸收量이 增加함에 따라 MOR값이 가장 크게 增加한 藥劑는 aluminium chloride(AC)였다. aluminium chloride는 最大藥劑吸收量이 美國林產物 研究所에서 提示한 最大藥劑保有量을 넘지 못하여 그 最大吸收량이 28.692kg/cm²에 불과했으나 그때의 MOR값이 monoammonium phosphate(MA)의 最大 MOR값과 비슷한 水準을 보이고 있어 少量의 藥劑로 높은 耐

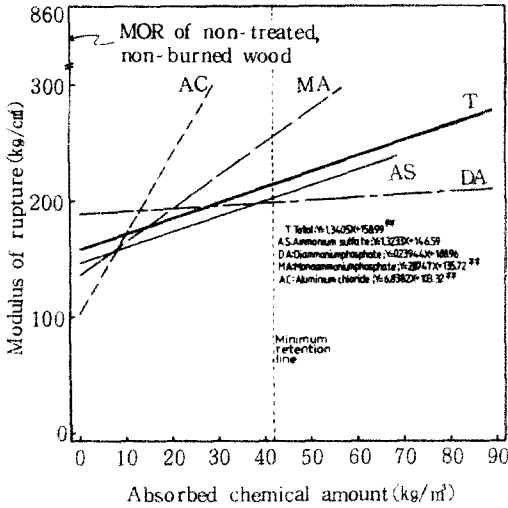


Fig. 5. Linear regression between modulus of rupture and absorbed chemical amount.

화효과를 나타내고 있다. 한편, 藥劑吸收量이 가장 많았던 diammonium phosphate(DA)는 MOR 값이 거의 증가하지 않은 現象을 보이고 있어 吸收된 藥劑가 充分한 耐火效果를 나타내지 못했다.

그리고 Fig. 6에 顯示한 MOR과 重量減少率과의 關係에서는, 重量減少가 增加함에 따라 MOR은 全體적으로 減少하는 傾向을 보였으며 藥劑全體 및 各

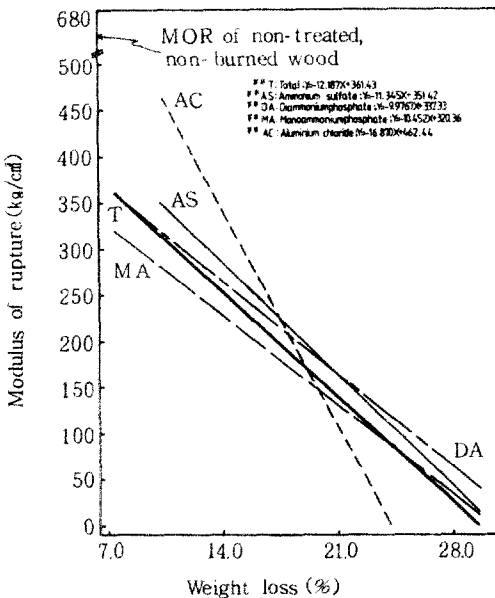


Fig. 6. Linear regression between modulus of rupture and Weight loss.

藥劑別 直線回歸式은 모두 99%의 有意性을 보였다.

各 藥劑中 aluminium chloride (AC)는 重量減少率 10%부근에서는 다른 藥劑와 比較하여 가장 높은 MOR값을 보였으나, 重量減少率이 增加함에 따라 가장 급속하게 MOR이 減少하였으며, 따라서 重量減少率에 따른 強度變異가 가장 크게 나타났다. 이러한 結果로 볼 때 aluminium chloride는 그藥劑吸收量이 增加할수록 重量減少率이 다른 藥劑에 比較하여 급속하게 減少하며 그에 따라 MOR도 급속하게 增加하므로써 훌륭한 耐火性을 갖고 있는 것으로 사료된다. 그 외의 ammonium phosphate, diammonium phosphate 등의 藥劑는 서로 비슷한 傾向을 보이며서 負의 相關關係를 나타냈다.

本 研究에서는 比較의 高溫을 發生하는 LP gas (약 180°C)로 燃燒時間 5分의 짧은 燃燒時間을 適用하여 燃燒試驗을 實施하고 그에 따른 重量減少率과 MOR 등을 調査하였으나, 이와는 다르게 加熱溫度가 比較的 낮은 條件에서 木材를 處理하였을 때의 木材의 重量減少率 및 MOR 등에 關하여 調査한 研究報告에서도 木材의 重量減少率 및 MOR 등이 가열온도 및 가열時間에 依해 影響을 받는다고 報告한 研究가 있다. 이에 關한 研究論文을 살펴보면 J. D. MacLean(1951)은 溫度 135~162°C條件에서 64~144시간동안 加熱했을 때 溫度가 높고 加熱時間이 길수록 重量減少量이 많아진다는 事實을 報告하였으며 A. J. Stamm(1955)는 木材와 셀룰로오스의 熱分解에 關한 研究에서 溫度 225~300°C, 加熱時間 0~200分을 適用하였을 때 木材의 殘留重量(residual weight)은 加熱溫度가 높고 加熱時間이 길수록 점차 적어진다고 발표하였다. 또한 J. D. MacLean (1953, 1954)은 木材를 蒸氣 및 煮沸處理를 했을 때 處理時間이 增加함에 따라 MOE, 最大荷重까지의 일의 양, MOR 등이 減少하는 傾向이 있다고 報告하였다. 그 외에도 國內에서는 張祥植과 李弼宇(1983) 등이 木材를 熱氣, 熱板, 煮沸 및 蒸氣處理하여 그 機械的 性質을 調査한 바, 溫度가 100°C以上으로 增加함에 따라 強度가 減少하는 現象을 發表하여 比較的 낮은 溫度에서도 熱分解 및 炭化에 依해 MOR, MOE 등의 強度가 減少함을 알 수 있다.

또한 本 實驗에서는 燃燒된 供試材의 殘留強度를 測定하는 것과 同時에 일(Work)의 양도 역시 調査하였다. 일의 양은 比例限度까지의 일과 양과 最大荷重까지의 일의 양 두 가지로 나누어서 測定한 후, 그 두 가지 일의 양 各各과 藥劑吸收量과의 關係를

圖示하여 Fig. 7 과 Fig. 8 에 各各 나타내었다. 먼저, 比例限度까지의 일의 양과 藥劑吸收量과의 關係를 살펴보면, Fig. 7 에 나타난 바와 같이 藥劑區分없이 全藥劑(T)가 그 吸收量이 增加할수록 比例限度까지의 일의 量이 增加하는 事實을 알 수 있다. 이것을 直線回歸式으로 나타낸 結果 99% 有意性을 나타내면서 比例關係를 보이고 있다. 또한 藥劑別로는 aluminium chloride(AC)가 藥劑吸收量이 增加함에 따라서 比例限度까지의 일의 양의 增加幅이 가장 컸으며 그 다음이 monoammonium phosphate(MA)였다. 이 두 藥劑는 直線回歸式이 99%의 高度의 有意性을 나타내었다. 이와 같은 結果는 MOR 과 藥劑吸收量과의 關係에서 나타난 結果와 一致하고 있다. 특히 aluminium chloride는 앞에서 言及한 바와 같이 最大藥劑吸收量이 美國林産物研究所에서 提示한 最少藥劑保有量을 넘지 못하였으나 比例限度까지의 일의 양에 있어서도 다른 藥劑에 比하여 좋은 結果를 보여주고 있다. 그리고 藥劑吸收量이 가장 많았던 diammonium phosphate는 比例限度까지의 일의 양에서도 좋은 結果를 나타내지 못했으며, 吸收量이 增加해도 일의 양이 크게 增加하지 않았다.

다음 最大荷重까지의 일의 양과 藥劑吸收量과의 關係를 調査한 結果를 Fig. 8 에서 보면, 藥劑全體의인面(T)에서 불 때 약제흡수량과 最大荷重까지의 일의 양과의 關係는 99%의 水準에서 高度의 有意性을 나타내며 正의 關係를 보이고 있다. 藥劑別로는 aluminium chloride(AC) 및 monoammonium phos-

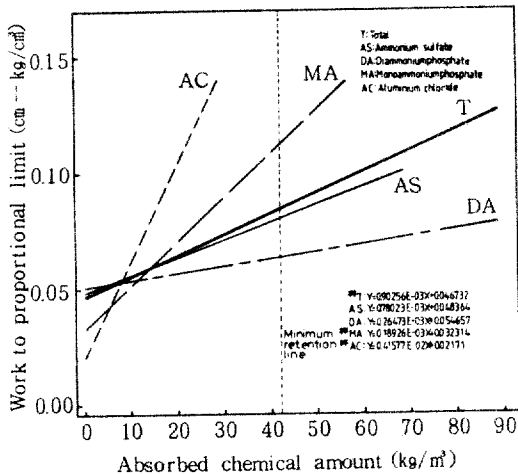


Fig. 7. Linear regression between work to proportional limit and absorbed chemical limit.

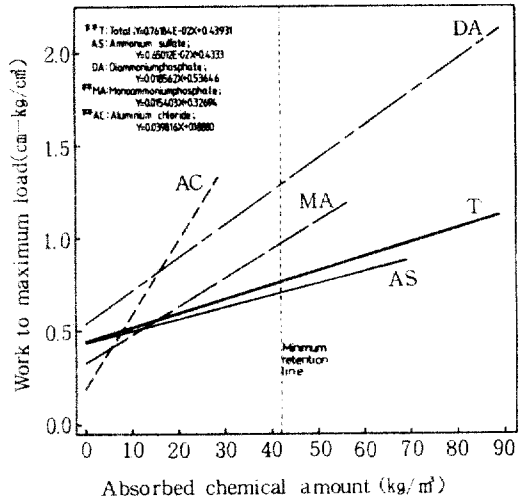


Fig. 8. Linear regression between work to maximum load and absorbed chemical.

phate(MA)가 99%의 高度의 有意性을 보여주고 있으나 그 외의 藥劑에서는 有意性이 나타나지 않았다. aluminium chloride로 處理한 供試材는 다른 強度의 性質에서 나타난 結果와 마찬가지로 藥劑吸收量은 적었으나 같은 水準의 藥劑保有量에서 비교해 볼 때 다른 藥劑에 比하여 좋은 結果를 나타내고 있으며 monoammonium phosphate(MA)는 ammonium sulfate(AS)에 比해서 比較的 좋은 結果를 보였다. 또한 藥劑吸收量이 가장 많았던 diammonium phosphate(DA)는 그래프 상에서는 좋은 結果가 나타났으나 有意性이 없는 關係로 더욱 研究가 必要한 것으로 사료된다.

結 論

本 研究에서는 3×3×30cm크기의 含水率 사시나무 角材를 ammonium sulfate, monoammonium phosphate, diammonium phosphate, aluminium chloride 등 4種의 耐火藥液으로 1分, 15分, 30分, 60分 및 1日, 3日, 7日間 耐火處理한 다음 氣乾시켜 高溫(약 1800°C)에서 短時間(5分)동안 燃燒시켰다. 일부 燃燒된 炭化木의 重量減少率과 木材의 殘留靑強度를 調査하여 藥劑別 그 吸收量과의 關係를 밝히고자 하였으며 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

- 1) 藥劑吸收量은 diammonium phosphate가 가장 컸으며 monoammonium phosphate와 ammonium sulfate는 그다음 水準으로 비슷하였으며 aluminium

chloride가 가장 낮은 水準을 나타냈다.

2) 同一樹種에서 比重에 따라 藥劑吸收量이 다르게 나타났다. 즉 비중이 높을수록 약제흡수량이 감소되었으나 aluminium chloride는 變異가 심하지 않았다.

3) 四種의 耐火藥劑 모두가 藥劑吸收量이 增加할수록 重量減少率이 감소하였으며 그 중 monoammonium phosphate는 약제흡수량의 增加에 따른 重量減少량의 減少幅이 다른 藥劑에 比하여 월등이 컸다.

4) 殘留強度의 MOR와 藥劑吸收量과의 관계에서는 耐火藥劑 全部가 약제흡수량이 增加함에 따라 MOR 값이 증가하였으며 最少藥劑保有量(minimum retention amount)線을 넘는 藥劑中에서 monoammonium phosphate가 가장 우수한 效果를 나타냈다.

5) aluminium chloride는 藥劑吸收量の 增加에 따른 殘留強度의 MOR 값의 增加幅이 다른 藥劑에 比하여 훨씬 컸다. 또한 aluminium chloride는 最大藥劑吸收量이 最少藥劑保有量(minimum retention amount)을 넘지 못하였으나 MOR 값이 monoammonium phosphate의 最大 MOR 값과 비슷한 水準을 보이고 있다.

6) 重量減少에 따른 殘留強度의 MOR는 負의 相關을 나타내었으며, 그 中 aluminium chloride는 重量감소에 따른 MOR의 變異가 가장 크게 나타났고 그 외의 藥劑는 비슷한 傾向을 보였다.

7) 比例限度까지의 일의 양과 藥劑吸收量과의 關係는 正의 相關을 보이고 있으며 그 中 aluminium chloride가 藥劑吸收量の 增加함에 따른 比例限度까지의 일의 量의 增加幅이 가장 컸으며, 그 다음이 monoammonium phosphate였다. 가장 增加幅이 낮았던 藥劑는 diammonium phosphate였다.

8) 最大荷重까지의 일의 양과 藥劑吸收量과의 關係에서도 正의 相關을 나타냈으며 특히 diammonium phosphate가 가장 좋은 結果를 보였고 aluminium chloride는 같은 水準의 藥劑吸收量에서 比較할 때 다른 藥劑에 比하여 좋은 結果를 나타내고 있다.

引用文獻

1. Elckner, H. W. 1963. Basic research of the U.S. Forest Prod. Lab. on the pyrolysis and combustion of wood. Forest Prod. Lab., Forest Service U.S. department of Agriculture.
2. Fleischer, H. V. 1960. The performance of

- wood in fire. Forest Prod. Lab., Forest Service U.S. department of Agriculture. Report No. 2202.
3. Johnson, J. W. 1975. Lateral bearing strength of Douglas-fir lumberplywood joints treated with fire retardants. Forest Prod. J. Vol. 25 (11):38-43.
4. MacLean, J. D. 1951. Rate of disintegration of wood under different heating conditions. American wood preservers' association.
5. _____ . 1953. Effect of steaming on the strength of wood. American wood preservers' association.
6. _____ . 1954. Effect of heating in water on the strength properties of wood. American wood preservers' association.
7. _____ . 1955. Effect of oven heating and hot pressing on strength properties of wood. American wood preservers' association.
8. _____ . 1956. Temperatures obtained in timbers when the surface temperature is hanged after various periods of heating. Forest Prod. Lab., Forest Service U.S. department of Agriculture.
9. Östlin, B. 1978. Ignition of wood at temperature below the normal ignition point. Forest Prod. Lab., Forest Service U.S. Department of Agriculture.
10. Schaffer, E. L. 1973. Effect of pyrolytic temperatures on the longitudinal strength of dry Douglas-fir. Journal of testing and evaluation, Vol. 1(4).
11. Schaffer, E. L. 1974. Effect of fire-retardant impregnations on wood charring rate. JFF/ Fire Retardant Chemistry, Vol. 1.
12. Schaffer, E. L. 1977. State of structural timber fire endurance. Wood and Fiber, Vol. 9 (2); 145-170.
13. Seborg, R. M., H. Tarkow and A. J. Stamm. 1953. Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood. Forest Prod. Lab., Forest Service U.S. department of Agriculture.
14. Stamm, A. J. 1955. Thermal degradation of wood and cellulose. Forest Prod. Lab., Forest

- Service U.S. department of Agriculture.
15. White, R. H. 1982. Effect of calcium silicate substrate on thermal barrier fire testing. Forest Prod. J. Vol. 32 (7); 25-27.
 16. _____ . 1982. Wood-based paneling as thermal barriers. Forest Prod. Lab. Research paper FPL 408.
 17. Woeste, F.E. and E.L. Schaffer. 1981. Reliability analysis of fire-exposed light-frame wood floor assemblies. Forest Prod. Lab. Research paper FPL 386.
 18. 山林廳. 1981. 林業技術.
 19. 李弼宇, 金鍾萬. 1982. 合板의 耐火處理와 熱板 乾燥에 關한 研究. 木材工學. Vol. 10(1); 5-37.
 20. 李弼宇, 權震憲. 1983. 耐火處理 파티클 보드의 靱強도와 物理的 性質에 미치는 藥劑의 影響. 木材工學. Vol. 11 (3); 39-48.
 21. 李弼宇, 權震憲. 1983. 耐火處理 파티클 보드의 耐火度에 미치는 藥劑의 影響. 木材工學. Vol. 11 (5); 16-22.
 22. 李弼宇, 張祥植. 1983. 熱氣, 熱板, 자비 및 蒸氣處理가 木材의 機械的 性質에 미치는 影響. 서울大學校 農學研究 第8卷 第2號.