

## 耐火處理 美松 및 美杉材의 燃燒後 殘留 휨強度에 관한 研究<sup>1</sup>

李 弼 宇<sup>2</sup> · 朴 憲<sup>2</sup>

### Studies on the Residual Bending Strength of burned Douglas-fir and Western Hemlock soaked with Fire Retardant Chemicals<sup>1</sup>

Phil Woo Lee<sup>2</sup> · Heon Park<sup>2</sup>

#### Summary

The 3 x 3 x 30 cm<sup>3</sup> sized specimens of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and western hemlock (*Tsuga heterophylla*) in this study were soaked in four fire-retardant solutions of ammonium sulfate, monoammonium phosphate, diammonium phosphate, and aluminium chloride for 1, 24, 72, 168, and 336 hours. Subsequently they were air-dried and burned at high temperature of ca. 1,800°C and for short time of 5 minutes.

This study estimated the relationship between the adsorbed chemicals and the residual weight ratio or residual bending strength of these partly burned lumbers. The results were as follows:

1) In average amount of chemical adsorption, diammonium phosphate showed the largest and aluminium chloride the smallest regardless of species but monoammonium phosphate was larger in Douglas-fir than that of western hemlock.

2) The amount of chemical adsorption was larger in western hemlock than Douglas-fir on the whole.

3) The amount of chemical adsorption was increased with the increase of soaking time but the rate of increase began to decrease at 200hrs.

4) Residual weight ratios showed no difference between species but showed differences among the chemicals treated i.e. monoammonium phosphate, diammonium phosphate, ammonium sulfate and aluminium chloride in turn from the largest to the smallest.

5) MOR values showed linear increase with the increase of residual weight ratios but showed no difference in species and chemicals respectively.

6) In the relationship between amount of chemical adsorption and MOR, only diammonium phosphate showed the curve of secondary degree with significance in Douglas-fir.

7) The MOE value of burned Douglas-fir lumber increased and showed significance of 99% as the adsorbed chemical amount increased, but among the chemicals only monoammonium phosphate showed significance. The MOE value of burned western hemlock lumber didn't show significance.

8) In only Douglas-fir, the correlation between adsorbed chemical amount and work to proportional limit showed significance in only monoammonium phosphate. And in both Douglas-fir and western hemlock, the

<sup>1</sup>接受 5月 25日 Received May 25, 1984.

<sup>2</sup>서울대학교 農科大學 College of Agriculture, Seoul National University, Suwon 170, Korea.

correlation between adsorbed chemicals and work to maximum load showed significance in monoammonium phosphate.

*Key words: MOR, MOE, residual bending strength, residual weight ratio, fire retardant, adsorption amount.*

## 1. 緒 論

木材의 燃燒은 木材가 空氣中の 酸燒와 化學反應을 하여 그 결과로 熱과 빛을 내는 酸化現象이다.

木材의 燃燒現象은 着火와 着火로 구분할 수 있는데, 木材의 熱分解에 의해서 發生하는 可燃性 gas가 存在하는 동안의 燃燒은 發炎에 의한 燃燒이다. 이 現象은 불꽃이 存在하는 殘炎燃燒에 해당되며 木材의 炭化가 끝날때까지의 熱分解로서 第一段階 燃燒라고도 한다. 그 後 炭化가 完了되면 炎은 消滅되고 殘存하는 炭化物은 불꽃을 發生하지 않은 상태로 燃燒를 계속하게 된다. 이와 같이 炭素의 生成이 끝난 후 炎이 發生되지 않은 狀態에서의 燃燒를 木材의 第二段階 燃燒로 구별하고 있다.

그런데 木材의 燃燒現象은 木材의 熱傳導度, 比重, 含有成分, 材의 斷面積, 材의 表面 平滑度, 木材의 劣化, 含水率 등에 영향을 받는다. 특히 燃燒時 空氣條件에 크게 영향을 받으며, 또한 加熱條件에 따라 달라지게 된다. 예를들면 100°C 以下에서도 長時間 加熱하게 되면 低溫着火現象이 나타난다.

木材를 여러 種類의 化學藥品으로 處理하면 그 木材의 熱分解가 크게 달라지게 된다. 예를 들면 耐火處理한 木材는 加熱에 따른 熱分解速度가 지연되고, 炭素 殘存量이 많아지게 된다. 또한 可燃性 gas의 生成量이 적어지고 炭酸gas의 生成量이 많아져서 耐火效果를 나타내게 된다. 그런데 이때 나타나는 耐火效果는 處理藥劑의 種類와 耐火處理程度에 따라 다르게 되므로 耐火處理後 藥劑의 種類와 處理程度가 耐火處理木材의 燃燒後 殘留剩強度에 어떠한 영향을 미치는 가에 對하여 調査, 研究하는 것은 實質的인 面에서 耐火處理效果를 判斷하는 중요한 課題라고 생각한다.

따라서 本 研究에서는 一定한 크기의 美松과 美杉 角材를 四種의 耐火藥劑로 處理한 다음, 一定한 條件의 燃燒試驗을 實施하고 그 耐火效果를 測定하기 위하여 殘留重量比를 調査하였으며, 또한 燃燒된 供試角材의 殘留剩強度를 調査한 後에 比較 分析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의 變化 및 防火를 위한 耐火處理方法과 藥劑의 選擇 그리고 그에 따른 耐火效果 등에 관하여 많은 研究가 보고되어 있다.

이에 관한 外國의 研究를 살펴보면 Browning(1963) 및 布施五郎(1973) 등은 木材를 空氣中에서 加熱하면 100°C 부근에서 흡착수가 소멸되고, 180°C前後에 이르면 木材가 分解되기 시작하여 CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 등의 可燃性gas가 발생하기 시작하며, 250-290°C에 이르게 되면 열분해가 더욱 심해져서 可燃性gas의 生成量이 많아지게 되고 불을 붙이면 着火하게 된다. 온도가 350-450°C에 이르면 목재온도가 급격히上昇하여 自然着火가 발생한다고 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 영향에 관한 研究報告에서 處理時間이 增加함에 따라 MOE, 최대하중까지의 일의 양, MOR 등이 감소하는 경향이 있음을 보고하였다. J. D. MacLean(1955)는 oven에서의 可熱 및 熱壓方法이 木材의 強度에 미치는 영향을 研究·報告하였으며, 이때에 使用한 熱傳導媒体는 蒸氣, 물, oven, 熱壓機를 使用하였으며, 이때 온도는 比較的 낮은 65.6°C, 93.3°C, 101.7°C, 121.1°C, 148.9°C, 160°C, 177.8°C(150°F, 200°F, 215°F, 250°F, 300°F, 320°F, 350°F) 등을 適用하여 長期間(100~188일) 處理한 木材의 機械的 性質을 調査하였다.

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 N<sub>2</sub> 가스를 투입하여 重量減少量 및 熱分解時에 生成되는 成份에 對하여 調査하였다.

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

한편, H. W. Eickner(1975)는 木構造物과 sand-wich wall panel 등에 대한 耐火炎性を 調査하여 그

結果를 報告하였다. 이때 사용한 panel은 gypsum board, plywood, hardboard 등을 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°C)에 미치지 못하는 100°C 이하 溫度에서도 發火가 된다고 報告하였으며, 특히 일상생활에서 火災가 발생하는 원인으로서 이러한 경우가 많다고 指摘하고 있다.

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, solid wood, hard board, gypsum board 등을 熱遮斷板을 利用하여 실험을 실시하고 각 보드의 熱遮斷效果를 比較하여 보고하였으며, 또한 같은 해에는 calcium silicate board 및 aluminium foil-faced 플라스틱板의 熱遮斷性에 關하여 研究를 계속하여 報告한 바 있다.

國內의 木材難燃 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 質 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 濃度가 증가할수록 重量減少率, 着火時間 등의 耐火性이 增進된다고 발표하였다.

또한, 張祥植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, MOR값을 調査한 結果, 溫度가 100°C 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가 가장 큰 것으로 나타났고, 그 다음에 熱板, 熱氣處理의 順으로 報告하였다.

李弼宇(1984)는 耐火處理燃燒木의 殘留 質 강도에 關한 研究에서 耐火處理한 木재를 高溫에서 短時間 燃燒시키고, 그 殘留 質 강도를 調査하여 燃燒後의 質 強度殘留程度를 밝힌 바 있다.

본 연구는 上記의 李(1984)가 발표한 報告의 계속된 研究로서 李는 闊葉樹를 사용하였으나, 여기서

는 使用樹種을 針葉樹로 擇하였으며, 針葉樹(無導管)의 組織構造上 闊葉樹(有導管)보다 약제침투가 어려울 것으로 판단되어, 耐火處理時間을 좀 더 長時間化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 某 木材會社에서 분양받은 美松(Douglas-fir; *Pseu dotsuga menziesii*)과 美杉(Western hemlock; *Tsuga heterophylla*)으로서 平均 年輪幅은 前者가 3.8mm, 後者가 3.4mm였으며 氣乾比重( $R_u = W_u / V_u$ )은 前者가 0.47 ~ 0.73, 後者가 0.46 ~ 0.66이었다.

耐火處理用 角材를 供試木으로부터 3cm(幅) × 3cm(두께) × 30cm(길이) 크기의 榫目材로 製材한 후 용이(節) 등의 缺點이 없는 無缺點材를 選別하였다. 특히 燃燒試驗時 火炎이 직접 接觸하는 面을 榫目面으로 固定하기 위하여 製材된 形態로 보아 角材의 길이 方向의 四面중 最少한 한 面이 榫目面인 것으로 選別하였다.

일단 製材한 角材는 關係濕度 65%, 溫度 20°C의 室內條件에서 長期間의 調濕處理를 실시하여 平衡狀態로 만들었다. 本 研究에서 使用한 美松 및 美杉 각각의 供試角材 數는 耐火處理藥劑(4) × 處理時間(5) × 反復(4) + 未處理角材(4) = 84였으며 따라서 총 角材의 數는 168개였다.

##### 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 나

Table 1. Fire retardant chemicals and their concentration

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

타나 있는 바와 같이 ammonium sulfate(AS), monoammonium phosphate(MA), diammonium phosphate(DA), aluminium chloride(AC)였으며 모두 20%의 농도로調整하여 耐火處理藥液으로 使用하였다.

3.2 耐火處理方法과 後處理

本實驗에서 使用한 耐火處理方法은 浸漬法이었으며, 室溫의 水돛물에 選定한 4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時間, 24時間(1日), 72時間(3日), 168時間(7日), 336時間(14日)等 5가지로 區分하였다.

浸漬處理 前後의 各角材의 重量을 坪量하여 그 差異로써 藥劑吸收量을 決定하였으며 그 計算式은 李(1984)가 發表한 論文에서와 같은 方法을 採하였으며 다음과 같다.

$$\text{藥劑吸收量}(kg/m^2) = \frac{(B-A) \times 0.2}{V}$$

A : 藥劑處理前의 供試角材 重量

B : 藥劑處理後의 供試角材 重量

V : 藥劑處理前의 供試角材 體積

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의 條件과 같은 調濕條件으로 關係濕度 65%, 溫度 20°C의 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 殘留重量比를 調査하였으며 이 때 利用한 燃燒裝置는 李(1984)가 使用한 것과 같은 裝置를 利用하였다. 測定方法 역시 同一한 方法으로 實施하였다.

燃燒後의 殘留重量比는 다음과 같은 式으로 計算하였다.

$$\text{殘留重量比(residual weight ratio)} = W_2/W_1$$

$W_1$  : 燃燒前의 供試角材 重量

$W_2$  : 燃燒後의 供試角材 重量

3.4 燃燒된 供試角材의 殘留韌強度(residual bending strength) 및 일(work)의 量測定

耐火度 測定 燃燒試驗이 끝난 供試角材의 形態는 李(1984)가 發表하였던 것과 같은 形狀의 것이었으며 이 供試角材를 利用하여 燃燒後 殘留韌強度를 測定하여 MOR, MOE 및 比例限度까지의 일의 量, 最大荷重까지의 일의 量 등을 調査하였다. 이때의 荷重速度는 10mm/min으로 하였다.

3.5 實驗結果 分析方法

本研究에서는 李(1984)가 試圖하였던 것과 비슷한 方法을 利用하여 藥劑吸收量, 殘留重量比, MOR 등을 回歸分析法으로 分析 考察하였다.

4. 結果 및 考察

浸漬法에 依한 耐火處理方法을 使用한 本研究에서의 藥劑別 吸收量은 Table 2에 提示된 바와 같다. 藥劑中 diammonium phosphate(DA)의 平均藥劑吸收量이 美松 및 美杉 두 樹種 모두에서 가장 컸으며 monoammonium phosphate(MA)는 美松에서는 平均 藥劑吸收量이 ammonium sulfate(AS)보다 높았으나 美杉에서는 비슷한 水準을 보이고 있다. aluminium chloride(AC)는 美松 및 美杉 두 樹種 모두에서 제일 낮은 水準의 平均藥劑吸收量을 나타내고 있다.

이와 같은 結果는 著者(1984)가 發表한 結果와 비슷한 것으로 diammonium phosphate(DA)가 가장 높은 藥劑吸收率을 나타냈고 aluminium chloride(AC)가 가장 낮은 水準을 보였다고 報告한 바 있다.

또한 本研究에서는 全體的인 面에서 볼 때 美杉의 藥劑吸收量이 美松보다 높게 나타났다.

Table 2. Adsorbed chemical amounts(kg/m<sup>2</sup>)

	Ammonium sulfate		Monoammonium phosphate		Diammonium phosphate		Aluminium chloride	
	Douglas-fir	Western hemlock	Douglas-fir	Western hemlock	Douglas-fir	Western hemlock	Douglas-fir	Western hemlock
Adsorbed range(kg/m <sup>2</sup> )	1.47~49.06	5.66~75.94	0.47~43.20	3.63~39.86	4.69~43.82	5.00~52.77	1.83~24.63	4.55~27.95
Mean	17.42	23.90	21.47	23.19	22.56	27.69	10.27	14.59

本 研究에서 使用한 美松 및 美杉 供試材 各各에서 試驗片間의 氣乾比重( $W_u/V_u$ )의 變異幅은 前者가 0.47 ~ 0.73 (Ave. 0.55) 이고 後者가 0.46 ~ 0.66 (Ave. 0.52)으로 나타났다. (A. J. Panshin(1980) 등이 報告한 바에 따르면 前者의 全乾比重은 0.51 이고, 後者는 0.47 이다) 따라서 比重變異에 따른 藥劑吸收量이 處理藥劑의 種類에 따라서 다를 것으로 생각되어 그 關係를 調査하였으나 著者(1984) 등이 闊葉樹은수원 사시나무材에서 얻은 바와 같은 一定한 關係를 나타내지 않고 그 값의 分布가 보다 多樣한 現象을 보여 주었다. 그러나 樹種別 比重과 藥劑吸收量

과의 關係에 있어서는 美杉의 藥劑吸收量이 美松보다 높은 値를 나타내고 있는데 이것은 美杉의 氣乾比重의 分布置가 美松보다 比較的 낮은 때문이 아닌가 생각된다.

또한, 木材의 藥劑吸收量은 浸漬處理時間에 따라 달라지게 되는데 本 研究에서는 處理時間을 1時間 24時間(1日), 72時間(3日), 168時間(7日), 336時間(14日) 등으로 하였고 나타난 結果는 Fig 1 과 같았으며, 모든 그래프에서 99% 以上 高度의 有意性이 나타났다.

이 그림에서 보면 處理時間이 길어질 수록 藥劑吸

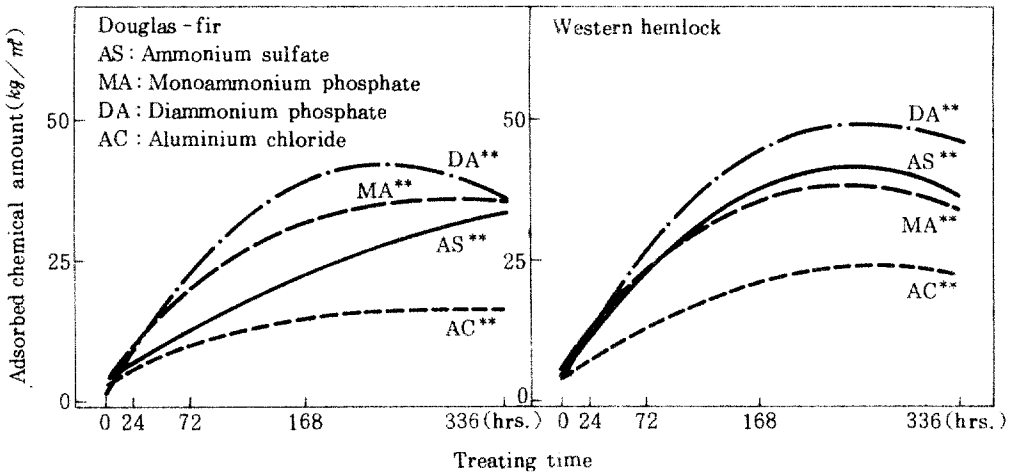


Fig. 1. The regression between treating time and adsorbed chemical amount (Douglas - fir and Western hemlock).

Douglas - fir

AS :  $Y^{**} = 0.12688X - 0.12227E-03X^2 + 4.8075$   
 MA :  $Y^{**} = 0.24499X - 0.45169E-03X^2 + 4.4142$   
 DA :  $Y^{**} = 0.34214X - 0.71038E-03X^2 + 1.9254$   
 AC :  $Y^{**} = 0.10454X - 0.19020E-03X^2 + 2.7483$

Western hemlock

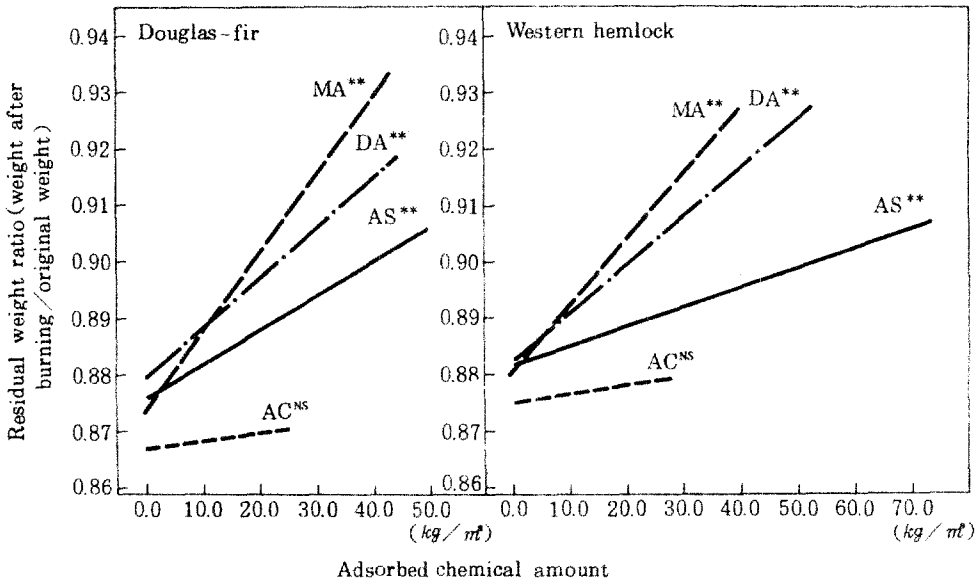
AS :  $Y^{**} = 0.30293X - 0.62208E-03X^2 + 4.8072$   
 MA :  $Y^{**} = 0.27206X - 0.55143E-03X^2 + 5.5786$   
 DA :  $Y^{**} = 0.35427X - 0.68910E-03X^2 + 4.4618$   
 AC :  $Y^{**} = 0.14697X - 0.27348E-03X^2 + 4.1368$

收量은 점차 增加하는데, 處理時間 200 時間을 前後하여 그 增加量이 美松 및 美杉 모두에서 점차 완만해지고 있음을 알 수 있었다. 또한 앞에서 指摘한 바와 같이 全体的인 面에서 美杉의 藥劑吸收量이 美松보다 높음을 알 수 있었으며, 藥劑別로는 diammonium phosphate(DA)가 處理時間에 따른 藥劑吸收량의 增加가 가장 많은 것으로 나타났고, 그 다음이 monoammonium phosphate(MA)와 ammonium sulfate(AS)였으며, 가장 增加량이 적은 것은 aluminium chloride(AC)였다. aluminium chloride(AC)의 吸收량이 다른 藥劑에 比하여 적었던 것은 著者(1984)가 이미 指摘하였던 바와 같이 aluminium

chloride(AC)는 分子 크기가 큰 金屬鹽이기 때문에 木材의 空隙에의 浸透가 그만큼 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

한편 燃燒性의 試驗結果를 考察하여 보기로 한다. 一般的으로 吸收된 耐火藥劑量이 增加함에 따라 耐火度가 向上되며 燃燒後 殘留重量이 그만큼 增加하게 되는 것이 普通이다. 本 研究에서는 藥劑吸收량과 殘留重量比와의 關係를 直線關係式으로 圖示하여 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에서 보면 ammonium sulfate(AS), monoammonium phosphate(MA), 및 diammonium phosphate (DA) 등 3가지 藥劑에서 95 ~ 99%의 有



AS : Ammonium sulfate                      DA : Diammonium phosphate  
 MA : Monoammonium phosphate          AC : Aluminium chloride

Fig. 2. The regression between adsorbed chemical amount and residual weight ratio (Douglas-fir and Western hemlock).

Douglas-fir

AS :  $Y^* = 0.61359E-03X + 0.87571$   
 MA :  $Y^{**} = 0.14058E-02X + 0.87322$   
 DA :  $Y^{**} = 0.90095E-03X + 0.87947$   
 AC :  $Y^{NS} = 0.15138E-03X + 0.86658$

Western hemlock

AS :  $Y^* = 0.33647E-03X + 0.88138$   
 MA :  $Y^{**} = 0.11704E-02X + 0.87988$   
 DA :  $Y^{**} = 0.85401E-03X + 0.88208$   
 AC :  $Y^{NS} = 0.12471E-03X + 0.87498$

應性을 갖는 直線의 比例關係를 보여주고 있는데 反하여, aluminium chloride(AC)는 뚜렷한 傾向을 보여주지 못하는 물론 有意性도 나타나지 않았다.

ammonium sulfate(AS), monoammonium phosphate(MA) 및 diammonium phosphate(DA) 등은 藥劑吸收量이 增加할수록 殘留重量比가 直線의 比例關係가 있음을 보여주고 있다. 이와 같은 事實은 E. L. Schaffer(1974) 및 著者(1984) 등이 發表한 바와 비슷한 結果인데 E. L. Schaffer 등은 耐火處理를 하면 非處理木보다 炭化率을 平均的으로 20% 程度 減少시킬 수 있다고 發表한 바 있으며, 著者는 위의 세 藥劑를 은수원 사시나무에 處理한 결과 세 藥劑 모두 藥劑吸收量이 增加할수록 重量減少率이 99%의 有意性을 띠며 直線의 比例關係가 있다고 발표하여 本 研究의 結果와 一致하고 있음을 알 수 있었다. 그런데, 유독 aluminium chloride(AC)만은 뚜렷한 傾向을 보이지 않고 있는데, 이와 같은 現象은 著者(1984)가 은수원 사시나무를 材料로 하여 발표한 것과는 대

조적인 것으로 aluminium chloride(AC)가 비록 吸收量은 적지만 우수한 耐火效果를 보였다고 報告한 바와 比較하면, 本 研究에서는 藥劑吸收量이 적을 뿐 아니라 그 耐火效果도 좋지 못하여 重量減少가 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 事實에서 闊葉樹(有導管)에 使用한 aluminium chloride(AC)의 效果가 針葉樹(無導管)의 그것과는 差異가 있는 것으로 判然된다. 이러한 結果는 分子 크기가 다른 藥劑에 비하여 비교적 큰 aluminium chloride(AC)가 導管과 같이 비교적 지름이 큰 通導組織을 갖고 있는 闊葉樹에의 浸透가 용이한데 비하여 針葉樹에의 浸透가 다른 藥劑와는 달리 훨씬 어렵기 때문에 나타난 現象으로 생각된다.

著者(1980) 등이 發表한 論文에서는 美松과 美杉을 耐火處理하였을 때 aluminium chloride(AC)가 다른 藥劑보다 重量減少가 가장 심하다고 발표하여 本 研究와 一致한 事實을 보여주고 있다.

藥劑吸收量에 따른 殘留重量比의 값은 樹種間에는 큰 差異가 없었으나, 藥劑間에는 monoammonium

phosphate(MA)가 가장 높고, 그 다음이 diammonium phosphate(DA), 그리고 ammonium sulfate (AS) 順이었으며 앞에서 밝힌 바와 같이 aluminium chloride(AC)는 가장 낮은 값을 보이고 있다. monoammonium phosphate(MA)가 가장 우수하게 나타난 事實과 藥劑吸收量이 가장 높았던 diammonium phosphate(DA)는 monoammonium phosphate(MA)에

比하여 낮은 水準을 나타낸 것은 著者(1984)가 發表한 事實과 一致하였다.

燃燒에 依한 殘留重量比를 調査한 供試木을 利用하여, 燃燒後 殘留量 強度의 MOR, MOE, 比例限度까지의 일의 양 및 最大荷重까지의 일의 量을 測定하여 그 各各의 測定平均値를 Table 3에 提表하였으며, 藥劑吸收量과의 위의 測定値와의 關係를 各各 調査하

**Table 3.** Data of treating time, adsorbed chemical amount, MOR, MOE, work to proportional limit, and work to maximum load of burned Douglas-fir and Western hemlock treated with fire retardant chemicals

Species	Chemicals	Treating time (hrs.)	Adsorbed chemical amount(kg/㎡)	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	work to proportional limit(kg-cm/cm <sup>2</sup> )	work to maximum load(kg-cm/cm <sup>2</sup> )
Douglas-fir	A. S.	0	0	278.0	23440	0.1236	0.2640
		1	3.59	329.3	32050	0.2648	0.2718
		24	13.48	458.2	43550	0.1237	0.3566
		72	16.87	518.7	37080	0.2080	0.7089
		168	18.78	499.4	39470	0.1416	0.4709
		336	34.42	494.8	40190	0.1567	0.6858
	M. A.	0	0	278.0	23440	0.1236	0.2640
		1	4.75	415.6	34750	0.1122	0.5644
		24	15.91	544.7	50770	0.2034	0.6089
		72	18.92	461.9	44420	0.1127	0.5850
		168	31.80	477.8	43580	0.0938	0.6860
		336	36.00	514.7	42400	0.2083	0.6487
	D. A.	0	0	278.0	23440	0.1236	0.2640
		1	5.69	370.0	31910	0.1414	0.3411
		24	10.45	480.9	40690	0.1150	0.5278
		72	18.33	530.0	56210	0.1662	0.5363
		168	42.19	515.7	46680	0.1492	0.5432
		336	36.18	446.9	31050	0.1591	0.5225
	A. C.	0	0	278.0	23440	0.1236	0.2640
		1	3.24	374.7	28260	0.1576	0.4937
24		7.14	339.4	35110	0.1432	0.2577	
72		11.02	312.9	28970	0.1297	0.3495	
168		13.25	429.1	38450	0.1560	0.5269	
336		16.74	279.9	33660	0.0737	0.2486	
Western hemlock	A. S.	0	0	407.3	32120	0.1862	0.4947
		1	7.00	344.0	23730	0.1247	0.4647
		24	16.26	517.8	36910	0.1758	0.6451
		72	21.87	378.4	25900	0.1515	0.7977
		168	37.94	370.5	26740	0.1860	0.4201
		336	36.46	437.9	37050	0.1332	0.4113
	M. A.	0	0	407.3	32120	0.1862	0.4947
		1	6.69	359.5	31450	0.1074	0.4254
		24	17.58	376.5	46550	0.0694	0.3109
		72	22.62	442.6	46140	0.0919	0.3855
		168	33.97	447.1	39670	0.1691	0.7791
		336	35.13	475.8	36910	0.1678	0.7754
	D. A.	0	0	407.3	32120	0.1862	0.4947
		1	8.18	304.7	24070	0.1254	0.3637
		24	17.11	457.6	31470	0.1401	0.4890
		72	20.87	598.9	44410	0.2206	0.8323
		168	47.01	529.9	39460	0.1812	0.9133
		336	45.31	420.0	33630	0.1266	0.5521
	A. C.	0	0	407.3	32120	0.1862	0.4947
		1	5.44	325.1	25550	0.1382	0.4783
24		9.31	301.1	33140	0.1148	0.2830	
72		16.78	358.6	29400	0.1447	0.3180	
168		18.27	344.9	28080	0.1353	0.4125	
336		23.19	334.2	26900	0.1320	0.4506	

AS : Ammonium sulfate, MA : Monoammonium phosphate, DA : Diammonium phosphate, AC : Aluminium chloride.

였다. 그 결과중 MOR과 殘留重量比와의 關係 및 MOR과 藥劑吸收量과의 關係를 回歸式으로 圖示하여 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3에 나타난 殘留重量比와 MOR과의 關係를 먼저 살펴보면, 殘留重

量比가 增加할수록 MOR값이 直線的으로 增加하였으며 모든 藥劑가 95% 이상의 有意성을 보여 주고 있다. 즉 殘留重量이 많을수록 MOR이 增加한다는 事實이 나타났고, 藥劑間에 큰 差異를 보이지 않고 있

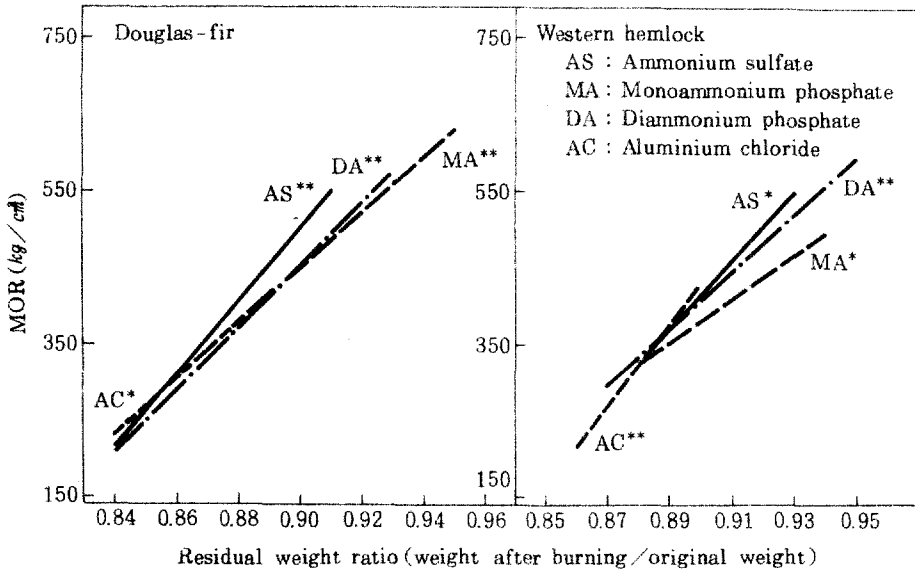


Fig. 3. The regression between residual weight ratio and MOR (Douglas-fir and Western hemlock).

Douglas fir

AS :  $Y^{**} = 4745.1X - 3767.7$   
 MA :  $Y^{**} = 3600.7X - 2791.0$   
 DA :  $Y^{**} = 4020.3X - 3166.7$   
 AC :  $Y^* = 3749.1X - 2918.1$

western hemlock

AS :  $Y^* = 4425.3X - 3520.7$   
 MA :  $Y^* = 2834.1X - 2139.7$   
 DA :  $Y^{**} = 3771.2X - 2947.8$   
 AC :  $Y^{**} = 5381.9X - 4355.7$

었으며 樹種間에도 역시 큰 差異가 없었다.

著者(1984)가 發表한 報告에서도 이와 같이 藥劑間의 差異가 나타나지 않음을 발표하였으며, 다만 aluminium chloride(AC)는 重量減少가 많아짐에 따라 MOR값이 가장 급속한 감소를 보인다고 報告하여 本 研究에서 나타난 結果와 差異를 보이고 있었다.

한편, 藥劑吸收량과 MOR과의 關係를 Fig. 4에서 살펴보면 樹種이 美松인 경우 monoammonium phosphate(MA)와 diammonium phosphate(DA)는 각각 99%와 95%의 有意성을 보이면서 曲線的인 關係를 보였으나 그 외의 藥劑와 美杉의 경우에는 유의성이 나타나지 않았다. 따라서 藥劑吸收량과 MOR과의 關係를 직접 比較할 수는 없었다. 이와 비슷하게 著者(1984)가 보고한 연구에서도 monoammonium phosphate만이 藥劑吸收량과 MOR과의 關係에서 99%의 有意성을 갖는다고 보고하였으나 그 관계는 直線的인 比例關係를 나타내어 본 연구의 曲線的인 關係

와는 差異를 보였다. 즉, 本 研究에서는 樹種 美松의 경우 monoammonium phosphate(MA) 및 diammonium phosphate(DA) 등의 吸收量이 20~30kg/m<sup>2</sup> 前後일 때 MOR값이 가장 높게 나타났고 그 이상 吸收量이 增加하면 오히려 MOR값이 떨어지는 傾向을 보였다. 樹種 美杉의 경우는 全體의인 傾向이 曲線的인 關係를 보였으나 有意성이 나타나지 않아 意味가 없는 것으로 判定되었다.

또한 藥劑吸收량과 MOE의 關係를 調査한 結果, 樹種이 美松인 경우 藥劑區別없이 全體別로는 藥劑吸收량이 增加할 수록 MOE값이 증가하는 傾向을 보여 2차식  $Y^{**} = 1132.2X - 20.723X^2 + 28165$ 으로 高度의 有意성을 나타냈으며, 藥劑別로는 monoammonium phosphate(MA)만이 99%의 유의성을 갖는 다음과 같은 2차식  $Y^{**} = 1732.6X - 37.844X^2 + 28164$ 을 보였으나 그외의 藥劑는 有意성이 나타나지 않았다. 특히 樹種이 美杉인 경우 전약제에 걸쳐



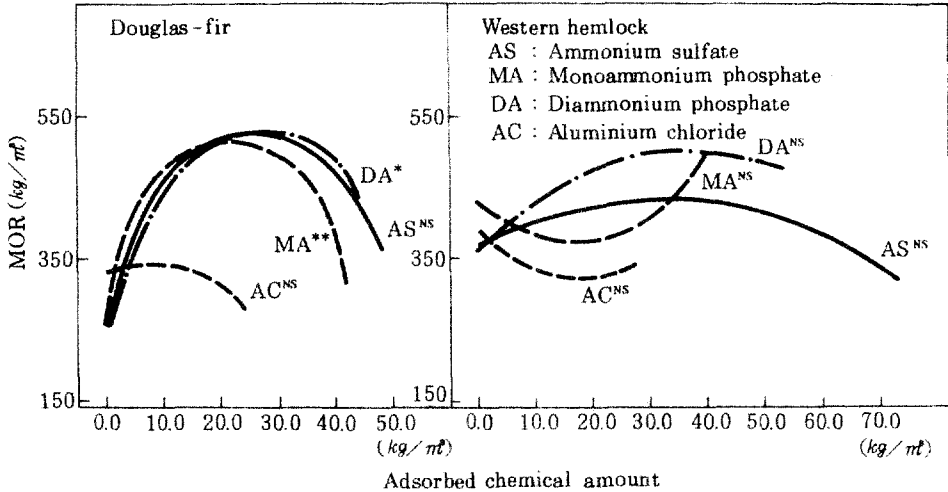


Fig. 4. The reasion between adsorbed chemical amount and MOR (Douglas-fir and Western hemlock).

Douglas = fir

AS :  $Y^{NS} = 16.103X - 0.30977X^2 + 322.53$   
 MA :  $Y^{**} = 19.296X - 0.42427X^2 + 314.56$   
 DA :  $Y^* = 17.139X - 0.31239X^2 + 304.64$   
 AC :  $Y^{NS} = 3.4718X - 0.21999X^2 + 331.63$

Western hemlock

AS :  $Y^{NS} = 3.7749X - 0.058589X^2 + 374.63$   
 MA :  $Y^{NS} = -6.711X + 0.21259X^2 + 428.11$   
 DA :  $Y^{NS} = 8.001X - 0.10855X^2 + 361.35$   
 DC :  $Y^{NS} = -7.1403X + 0.20315X^2 + 388.20$

有意性이 나타나지 않았으나 Aluminium chloride (AC)를 제외하고는 藥劑吸收量이 增加할수록 MOE 값이 增加하는 傾向을 보였다.

그리고, 藥劑吸收量과 비례 한도까지의 일의 양과의 關係에서 약제 구별없이 全体的인 面에서는 有意性을 발견할 수 없었으나 美杉의 경우 monoammonium phosphate(MA)에서 99%의 有意性을 갖는 關係式  $Y^{**} = -1.3021E-01X + 0.26834E-03X^2 + 0.18032$ 으로 나타났으며 美松인 경우는 全 藥劑에 걸쳐 有意性을 발견할 수 없었다.

한편, 藥劑吸收量과 最大荷重까지의 일의 량과의 關係에서 藥劑區別없이 全体的인 面에서는 有意性이 없었으나 美松 및 美杉 두 樹種 共히 monoammonium phosphate(MA)로 耐火處理한 경우에 各各 고도의 有意性을 갖는 2 차식  $Y^{**} = -0.36298E-01X - 0.76769E-03X^2 + 0.30092$ ,  $Y^{**} = -0.37428E-01X + 0.12333E-02X^2 + 0.55730$ 으로 나타났다.

5. 結 論

本 研究에서는  $3 \times 3 \times 30cm$  크기의 美松과 美杉의 角材를 ammonium sulfate, monoammonium phosphate, diammonium phosphate 등 四種의 耐火

藥液으로 1時間, 24時間(1日), 72時間(3日), 168時間(7日), 336時間(14日)동안 耐火處理한 다음 다시 氣乾시켜 高温(약 1800°C)에서 短時間(5分)동안 燃燒시켰다. 一部 燃燒된 炭化木의 殘留重量比와 殘留量強度를 測定하여 藥劑吸收量과의 關係를 樹種間 및 藥劑間에 比較分析하였으며 그 結果를 요약하면 다음과 같다.

1) 平均藥劑吸收量은 diammonium phosphate 가 가장 컸으며 美松의 경우 monoammonium phosphate의 藥劑吸收量이 ammonium sulfate보다 높았으나 美杉에서는 비슷한 結果를 보였으며 aluminium chloride는 두 樹種 모두에서 가장 낮은 水準을 나타냈다.

2) 樹種別 藥劑吸收量은 美杉이 美松보다 全体的인 面에서 높게 나타났다.

3) 浸漬處理時間이 길어질수록 藥劑吸收量은 增加하였으나 200時間을 前後해서 점차 增加幅이 減少하는 傾向을 보였다.

4) 藥劑吸收量에 따른 殘留重量比의 값은 樹種間에 차이가 없었으나 藥劑間에는 monoammonium phosphate가 가장 높았고, 그 다음이 diammonium phosphate 그리고 ammonium sulfate順이었으며 aluminium chloride는 가장 낮은 값을 보였다.

5) 殘留重量比와 MOR과의 關係에서 殘留重量比

가 증가할수록 MOR 값이 직線的으로 증가하였으며  
樹種間과 藥劑間에는 큰 差異가 없었다.

6) 藥劑吸收量과 MOR과의 關係에서 美松의 monoammonium phosphate와 diammonium phosphate가 有意性을 보이면서 2차 曲線的인 關係를 뚜렷하게 하였으나 그외의 藥劑와 美杉에서는 뚜렷한 傾向을 보이지 않았다.

7) 藥劑吸收量에 따른 MOE의 값은 樹種이 美松인 경우는 藥劑 區別없이 全體的인 면에서 藥劑吸收량이 증가할 수록 有意性을 띠면서 增加하는 傾向을 보였고 藥劑別로는 monoammonium phosphate만이 有意性을 보였으나 美杉의 경우는 有意性이 나타나지 않았다.

8) 藥劑吸收量과 比例限度까지의 일의 量 및 最大荷重까지의 일의 量과의 關係에서는 全體的인 면에서 有意性이 나타나지 않았으나 藥劑가 monoammonium phosphate인 경우에 藥劑吸收量과 比例限度까지의 일의 양과의 관계에서 美杉이 高도의 有意性을 보였으며, 最大荷重까지의 일의 양과의 關係에서는 두 樹種 모두에서 高度의 有意性이 나타났다.

### 引用 文 獻

1. Flickner, 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 lumber-plywood 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. Östlin, B. 1978. Ignition of wood at temperature below the normal ignition point. Forest Prod. Lab., Forest Service U.S. Department of Agriculture.
9. Pansin, A. J. 1980. Textbook of wood technology. Mac Graw-Hill.
10. Schaffer, E. L. 1974. Effect of fire-retardant impregnations on wood charring rate. JFF/ Fire Retardant Chemistry, Vol. 1.
11. Schaffer, E. L. 1977. State of structural timber fire endurance. Wood and Fiber, Vol. 9 (2): 145-170.
12. Stamm, A. J. 1955. Thermal degradation of wood and cellulose. Forest Prod. Lab., Forest Service U. S. department of Agriculture.
13. White, R. H. 1982. Effect of calcium silicate substrate on thermal barrier fire testing. Forest Prod. J. Vol. 32 (7): 25-27.
14. \_\_\_\_\_. 1982. Wood-based paneling as thermal barriers. Forest Prod. Lab. Research paper FPL 408.
15. 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.
16. 李弼宇·鄭希錫. 1980. 木材와 合板의 耐火處理에 關한 研究. 서울大學校. 農科大學 演習林 報告 第16號.
17. 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.
18. 李弼宇·權震憲. 1983. 耐火處理 과티글보드의 耐火度에 미치는 藥劑의 影響. 木材工學. Vol. 11(5): 16-22.
19. 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.