

## 第二磷酸 암모늄에 의한 합板的 耐火處理(II)

— 熱板溫度가 處理合板의 曲強度에 미치는 影響 —

鄭 雨 陽<sup>2</sup> · 李 弼 宇<sup>2</sup>

### Fire Retardant Treatment to the Plywood with Di-ammonium Phosphate [ $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ ] (II)<sup>1</sup>

— Effect of Platen Temperature on Bending Strength of Treated Plywoods —

Woo Yang Chung<sup>2</sup> · Phil Woo Lee<sup>2</sup>

#### Summary

This study was carried out to examine the practicality of DAP[ $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ ] as fire retardant for plywood by static bending test the redried plywoods which had been soaked in 20%  $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$  solution. Being hot/cold soaked in the solution for 3/3, 6/3, 9/3 and 12/3 hours and redried by cyclic press-drying method at the platen temp. of 130, 145, 160 and 175°C, the treated plywoods were tested to offer the mechanical data, that is,  $S_{pl}$ (stress at proportional limit), MOE(modulus of elasticity), MOR(modulus of rupture) and  $W_{pl}$ (work per unit volume to proportional limit) in flexure. The results obtained were summarized as follows.

1.  $S_{pl}$  of fire retardant treated plywoods ("FRP" would be used hereinafter) decreased as the platen temperature increased, but it was superior to that of non-treated plywoods(Control) at 160°C or higher.
2. MOE of FRP decreased roughly with the increase of temperature, but this tendency was not constant. And the value of FRP was higher than that of Control even at 175°C.
3. MOR of FRP showed same temperature-dependent tendency as MOE, but it was influenced more sensitively at the higher temperature.
4.  $W_{pl}$  of FRP also decreased gradually with the increase of platen temperature and the value in DAP 9/3 treatment was less than 70% of control plywoods.
5. In view of redrying time and mechanical properties, the most reasonable platen temperature for DAP treated FRP was 160°C in this study.

*Key words:* fire retardant plywoods, static bending test, stress at proportional limit, modulus of elasticity, modulus of rupture, work per unit volume to proportional limit, press-drying.

#### 1. 緒 言

우리 生活에서 家具 및 建築物의 內裝材料로서 主로 使用되고 있는 合板은 特有的 板材로서의 燃燒

性을 지니고 있어 이에 대한 難燃處理가 불가피한 實情이다. 通常의 防腐處理方法에 依해 實施하게 되는 合板의 耐火處理는 浸漬處理後의 젖은 狀態의 合板을 어떻게 하면 可及의 短時間內에 아무런 物理的, 機械的인 결함없이 再乾燥하는 問題點이 대두되

<sup>1</sup> 接受 3月 26日 Received March 26, 1984.

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

게 된다. 이에 대해 本 著者는 이미 處理合板의 再乾燥에 대한 研究를 수행하여 適合한 熱板溫度 條件을 規明한 바 있으며 本 研究에서는 그에 이어지는 試圖로서 製造된 耐火合板의 曲強度를 調査함으로써, 合板特有의 長點인 曲強度를 유지하는 耐火合板의 製造 process를 밝히고자 했다.

젖은 處理合板의 乾燥를 爲한 熱板의 溫度는 130, 145, 160, 및 175 °C를 適用했으며 乾燥後, 曲強度 試驗을 통해 比例限度應力, MOE, MOR 및 比例限度까지의 單位體積當일 등을 調査함으로써 第二磷酸 암모늄을 利用한 耐火合板製造의 適定條件 및 그 實用可能性 與否를 究明하고자 本 研究에 着手하였다.

## 2. 研究史

耐火處理合板에 關한 研究는 Blew, J. O. 와 W. Z. Olson(1950)<sup>2)</sup>이 防腐處理 및 耐火處理한 자작나무 合板의 野外試驗 後 耐久性을 研究한 以來 Black, J. M. (1958)<sup>3)</sup>이 合板製造에 있어 耐火劑가 接着에 미치는 影響을 研究한 바 있으며 King, E. G., Jr. 와 D. A. Matteson, Jr. (1961)<sup>7)</sup>은 耐火處理가 合板의 機械的 性質에 미치는 影響에 關한 研究를 取扱한 바 있다. 또 Jessome, A. P. (1962)<sup>6)</sup>는 美松과 赤松 그리고 美松 合板에 耐火處理를 한 다음 亦是 機械的 性質을 調査하였고 Percival, D. H. 와 S. K. Suddarth(1971)<sup>9)</sup>도 耐火劑를 處理한 合板의 機械的 特性에 關한 研究를 수행한 바 있다. Jain, J. C. (1975)<sup>5)</sup> 등은 두가지 配合耐火劑를 木材와 合板에 處理하여 強度에 미치는 影響을 조사한 바 있다. King, E. G., Jr. 와 D. A. Matteson, Jr. (1961)<sup>7)</sup>이 耐火處理 合板의 機械的 性質에 미치는 影響을 조사한 바 이들은 6.35mm 두께의 耐火處理 美松合板을 50% 關係溫度와 24°C의 條件에 數 週間 室內에서 乾燥시킨 다음 耐火處理合板과 未處理合板사이에서 曲強度, 剪斷強度 및 衝擊強度를 比較 調査하였다. Jessome, A. P. (1962)<sup>6)</sup> 赤是 9.53mm 두께의 美松合板에 對하여 耐火處理를 實施하고 乾球 65°C, 濕球 54.5°C의 條件으로 하여 含水率 12%로 熱氣乾燥시킨 다음 處理合板과 未處理合板사이의 曲強度와 靱性을 比較하였다. 또 Gehards, C. C. (1970)<sup>3)</sup>는 耐火處理가 木材와 集成製品의 曲強度에 미치는 影響을 調査하기 爲하여 實施한 試驗에서 乾燥方式(自然乾燥, 室內乾燥, 熱氣乾燥)이 曲強度에 미치는 影響을 調査 報告한 바 있다. 한편 木材와 熱의 關係에 對한 研究는

Maclean, J. D. (1951)<sup>8)</sup>이 증기처리나 熱板處理로 因해 木材의 무게가 감소되고 強度가 影響을 받는다고 報告한 이래 佐野益太郎(1961)<sup>13)</sup>이 高溫에 依해 縱壓縮에서 溫度增加에 따라 彈性係數가 直線的으로 감소한다고 發表한 바 있다. 또한 Schaffer, E. L. (1973)<sup>10)</sup>는 인장강도가 175°C까지는 서서히 감소하다가 175°C 이상에서 급격히 감소함을 보고하였고, Troughton, G. E. (1974)<sup>11)</sup> 등은 열처리시 加水分解(hydrolysis)와 酸化(oxidation)에 依해 강도가 감소되며 증기처리, 熱板處理, 熱氣處理의 순으로 影響을 준다고 報告하였다. 또 Wangaard, F. E. (1979)<sup>12)</sup>에 依하면 온도 1°C변화당 강도 0.6~1%의 감소를 초래하게 되고, Gehard, C. C. (1979)<sup>4)</sup>는 高溫乾燥時 通常乾燥方法보다 引張強度는 18%, MOE는 10%의 低下를 招來한다고 밝혔다. 上記한 바와 같이 木材에 대한 열의 影響에 關한 研究가 進行되어 왔는 바, 本 研究에서는 耐火處理合板이 高溫의 熱板乾燥方式에 依해 어떻게 強度의 影響을 받는가 알아봄으로써 適定한 耐火合板의 製造條件을 究明코져 하였다.

## 3. 材料 및 方法

### 3.1. 供試 材料

#### 3.1.1. 耐火處理用 合板

軟膠, 용이 등이 없는 市販 5.25mm 두께의 外裝用 耐水메란타 三枚合板을 選定, 넓이 15×15cm<sup>2</sup>의 試驗片으로 切斷하였으며 RH 65%, 溫度 20°C의 室內條件에서 2週間 調濕處理하였다. 本 研究에서 使用된 供試板의 數는 2藥劑×4處理時間×4熱板溫度×4反復에 無處理對照區 4枚하여 總 136枚를 使用하였다.

#### 3.1.2. 耐火處理藥劑

水分處理를 對照區로 하여, 浸漬處理時間別로 熱板溫度에 따른 耐火處理合板의 強度적 성질변화를 알기 위해 試藥用 第二磷酸 암모늄을 耐火藥劑로 選定, 20% 水溶液으로 調製하여 使用하였다.

### 3.2. 試驗用 機器

#### 3.2.1. 耐火處理裝置

溫度計가 附着된 容量 3ℓ의 浸漬處理槽를 使用하였는 바 槽內의 合板의 격리를 위해 分離틀을 利用하였고 處理液의 恒溫유지를 위해 槽를 溫度調節캐비닛內에 位置시켰다.

#### 3.2.2. 乾燥用 熱壓機

溫도와 壓力을 正確히 調整할 수 있는 合板加工用 熱壓機를 使用하는 바 그 規格은 다음과 같다.

- 面積：480×480mm<sup>2</sup>
- 溫度：Max. 350℃
- 壓力：Max. 70,000kg/cm<sup>2</sup>
- Ram의 지름：152.4mm

3.2.3. 曲強度 測定試驗片

處理合板의 機械的 性質을 調査키 위해 曲強度 測定用 試驗片을 製作하였는 바 그 規格은 두께 5.25 mm, 폭 2.54 cm 그리고 길이는 15cm였으며 길이는 코어(core)의 섬유方向으로 取하였다.

3.2.4. 強度測定用 機器

耐火處理合板의 曲強度 測定을 위해 荷重速度(load speed)와 chart speed가 調整될 수 있는 萬能強度 試驗機를 使用하였다(서울大學校 섬유물리실험실所在).

3.3. 實驗方法

3.3.1. 耐火處理

앞에서 說明한 耐火處理裝置를 利用하여 溫浴法으로 處理하였다. 이때 溫浴의 溫度는 60℃로, 冷液은 15℃로 調整하였고 處理時間은 두 處理液(DAP와 Water)에 對해 共히 各各 溫液處理 3, 6, 9, 12時間을 行한 後 다시 3時間동안 冷液浸漬를 하여 Koch, P. (1972)가 提示한 바 있는 藥劑最低保有量을 上廻하도록 하였다.

3.3.2. 處理合板의 再乾燥

浸漬處理時間에 高溫을 利用한 熱板乾燥(press-drying)를 適用, 熱板에 依한 合板의 強度變化를 調査코져 하였는 바, 壓力 3.52kg/cm<sup>2</sup>에 熱板溫度130,

145, 160 및 175℃로 乾燥를 하는 過程에서 Chen, P. Y. S. 등(1978)의 週期段階乾燥(cyclic step drying)方式에 따라 乾燥를 進行하여 最終含水率(target point)을 約 7.5%로 하여 乾燥를 實施했다.

3.3.3. 曲強度 測定

荷重速度 10mm/min에, recorder의 chart speed를 100mm/min로 調整한 後, 最大荷重을 50kg으로 하여 耐火處理合板의 曲強度를 測定하였는 바, 그 原理는 一定한 荷重速度 即 一定한 變形率에 따라, 變形(deflection)이 時間에 直線比例하게 되고 比例限界(proportional limit)를 넘어서게 되면서 荷重이 減少되는 過程을 지나 破壞에 이르는 方法으로서 그 試驗法과 荷重變形曲線(load-deflection curve)는 그림 1의 (a)와 (b)에서 보는 바와 같다.

本 研究에서는 그림 1의 (b)와 같은 荷重變形曲線로부터 比例限度荷重(load at proportional limit), 最大荷重(Max. load), 比例限度變形(deflection at proportional limit) 등을 求하였다. 이러한 測定值로부터 耐火處理合板의 曲強度 決定要素인 比例限度應力(fiber stress at proportional limit), 彈性係數(modulus of elasticity), 破壞係數(modulus of rupture), 比例限度까지의 單位體積當인(work per unit volume to proportional limit) 등을 계산하였는 바 그 計算式은 式 (1), (2), (3) 및 (4)와 같다.

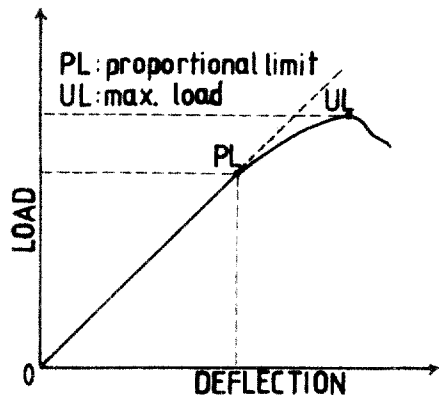
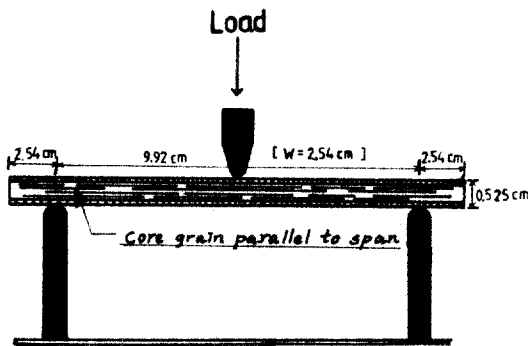
$$S_{pl} = 3P_{pl} \cdot \ell^2 / 2bh^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$MOE = P_{pl} \cdot \ell^3 / 4D_{pl}bh^3 \dots\dots\dots (2)$$

$$MOR = 3P_u \cdot \ell / 2bh^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$W_{pl} = P_{pl} \cdot D_{pl} / 2V \dots\dots\dots (4)$$

$S_{pl}$ : 比例限度應力 (fiber stress at proportional limit)



(a) Static bending

(b) Load-Deflection curve

Fig. 1. Static bending test and Load-Deflection curve of fire retardant treated plywoods.

- MOE : 彈性係數 (modulus of elasticity)
- MOR : 破壞係數 (modulus of rupture)
- $W_{pl}$  : 比例限度까지의 單位體積當量 (Work per unit volume to proportional limit)
- $P_{pl}$  : 比例限度荷重 (load at proportional limit)
- $P_u$  : 最大荷重 (max. load)
- $D_{pl}$  : 比例限度變形 (deflection at proportional limit)
- $\ell$  : Span의 길이 (length)
- b : 試片의 幅 (width)
- h : 試片의 두께 (height)
- V : 體積 (volume)

4. 結果 및 考察

4.1. 處理合板의 乾燥特性

이미 第1報에서 發表된 바와 같이 浸漬處理時間이 增加함에 따라 耐火處理效果가 增大되었으며, 再乾燥에 있어서도 熱板溫度 160°C를 適用했을 時부터 乾燥速度가 急速히 增加함으로써 2.5~4分에 最終含水率(target point)에 도달하는 것으로 나타났다. 이와 같은 結果로써 DAP耐火處理合板의 適定한 再乾燥溫度는 160°C 以上으로 決定할 수 있겠으나 木材 자체가 약 100°C부터는 分解가 始作되기 때문에 構造材로서의 合板의 強度의 特性을 고려할 때, 보다 新중한 溫度適用이 行해져야 할 것이다.

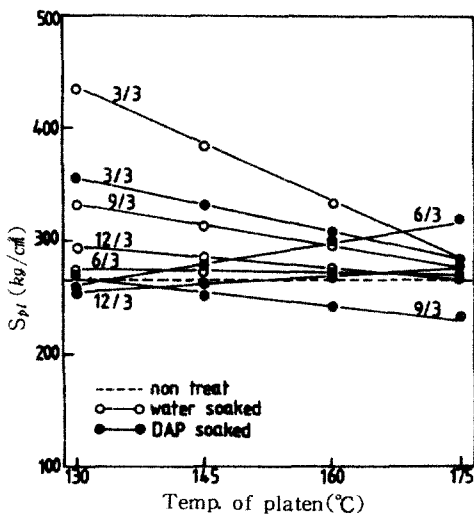


Fig. 2. Effect of redrying temperature of platen on stress at proptrtional limit ( $S_{pl}$ ) of treated plywoods in flexure.

4.2. 耐火處理合板의 曲強度

4.2.1. 比例限度應力

再乾燥를 爲한 熱板溫度가 曲強度試驗에서의 比例限度應力에 미치는 영향을 나타내면 表1 및 그림2와 같다.

그림 2에서 보는 바와 같이 130°C에서 無處理合板에 비해 上位를 나타냈던 比例限度應力值가 熱板溫度가 上昇함에 따라 점차 減少되어 175°C에 이르러서는 거의 無處理合板의 值에 수렴하고 있는 바, 이는 外部로부터 차단된 狀態에서 高溫으로 乾燥를 實施하는 熱板乾燥方式이 處理合板表面이 高溫에서 酸化(oxidation)됨으로써 야기되는 強度의 減少를 어느 정도 막아주면서 同時에 表面硬化(case-hardening)效果를 提供함으로써 160°C 以上の 高溫에서도 無處理合板에 비해 뒤지지 않는 強度를 나타낼 수 있던 것으로 사료되는 바이다.

4.2.2. 彈性係數

耐火處理合板의 曲強度試驗에서 測定된 彈性係數의 結果는 그림 3과 表 1에서 보는 바와 같다. 彈性係數 역시 大體的으로 熱板溫度가 上昇됨에 따라 약간씩 減少되는 傾向을 보여주었으나 DAP 9/3時間 處理를 除外하고는 175°C의 高溫에서도 control에 비해 높은 值를 나타냄으로써 高溫熱板乾燥의 可能性을 提示하고 있다. 또한 그림 3에 나타난 바와 같이 일부 DAP處理에서 溫度上昇에 따라 오히려 그값이 上昇하고 있어 藥劑(DAP)의 強度維持效果 내지 補強效

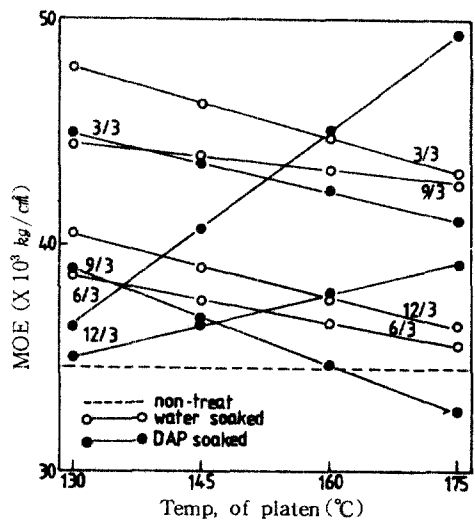


Fig. 3. Effect of redrying temperature of platen on modulus of elasticity (MOE) of treated plywoods in flexure.

**Table 1.** Effect of redrying temperature on bending strength of treated plywoods

soaking time(hrs)	temp. of platen(°C)	S <sub>M</sub> .(kg/cm <sup>2</sup> ) Mean ± S. D.	MOE(×10 <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup> ) Mean ± S. D.	MOR(kg/cm <sup>2</sup> ) Mean ± S. D.	W <sub>M</sub> .(kg-cm/cm <sup>2</sup> ) Mean ± S. D.	
hot/cold	130	W <sup>1)</sup>	473.10±70.10	491.11±47.18	737.11±60.18	.28±0.13
		D <sup>2)</sup>	351.42±13.57	444.92±40.25	667.63±63.15	.14±0.12
	145	W	326.60±37.69	457.33±41.77	560.91±55.51	.13±0.12
		D	325.71±10.37	413.16±38.87	530.52±60.31	.14±0.10
	160	W	332.64±38.01	420.13±39.21	648.40±62.17	.14±0.11
		D	341.22±14.31	432.91±40.33	683.74±59.41	.14±0.15
175	W	306.84±35.08	452.10±41.74	584.96±49.18	.12±0.13	
	D	265.98±10.38	379.78±37.10	512.20±50.13	.10±0.11	
3/3	130	W	292.24±26.53	390.21±41.17	555.96±60.66	.12±0.12
		D	263.17±30.21	342.38±43.33	512.28±50.37	.11±0.14
	145	W	237.51±25.41	354.27±45.18	482.79±30.21	.09±0.10
		D	261.83±31.18	408.91±39.24	544.39±60.37	.10±0.12
	160	W	295.19±27.01	396.26±38.01	605.34±65.18	.12±0.11
		D	337.26±27.43	510.06±30.17	499.93±40.44	.13±0.12
175	W	271.98±25.01	341.53±39.25	543.26±60.17	.12±0.12	
	D	305.25±27.17	452.75±41.33	594.72±61.31	.13±0.11	
6/3	130	W	306.54±33.17	417.68±33.21	558.79±45.32	.13±0.12
		D	247.96±21.70	321.61±40.33	495.50±50.21	.10±0.12
	145	W	362.14±32.18	485.51±35.11	678.64±51.32	.15±0.17
		D	271.78±22.18	429.73±37.07	546.37±62.14	.10±0.18
	160	W	281.54±36.17	425.34±38.18	577.97±65.00	.11±0.14
		D	228.10±20.55	422.72±40.13	591.55±49.31	.07±0.10
175	W	274.02±33.72	417.87±27.01	615.71±70.50	.10±0.12	
	D	166.23±17.86	253.19±30.01	402.77±29.91	.06±0.14	
9/3	130	W	251.64±21.31	390.15±35.55	522.25±36.18	.10±0.12
		D	294.53±30.17	379.62±40.13	576.12±51.42	.14±0.11
	145	W	370.88±22.34	450.32±41.17	658.50±50.18	.16±0.17
		D	217.46±31.18	336.09±40.10	434.25±32.18	.08±0.12
	160	W	244.40±21.56	303.62±42.18	453.55±43.41	.10±0.10
		D	244.84±29.09	351.24±40.87	468.50±45.21	.10±0.15
175	W	265.39±20.31	393.67±39.01	456.58±39.01	.10±0.14	
	D	314.67±30.99	421.03±29.78	576.94±60.17	.14±0.12	
F-value	W	2.150	0.787	1.653	1.695	
	D	5.164**	3.611**	2.547*	4.073**	
L. S. D.(5%)	W	106.20	128.05	187.69	.097	
	D	73.38	94.76	161.94	.034	

- 1) water soaked plywoods.
- 2) DAP soaked plywoods.

결과 있다고 볼 수도 있겠으나 그 傾向이 一定치 않은 故로 이에 對한 좀 더 자세한 研究가 行해져야 할 것으로 생각한다.

4.2.3. 破壞係數

曲強度試驗에서의 破壞係數(MOR) 計算結果를 表 1 과 그림 4 에 나타내었다.

破壞係數에서도 一定하지는 않지만 熱板溫度가 增加함에 따라 比較的 완만하게 그 값이 減少하는 傾向을 나타냄으로써 彈性係數와 비슷한 結果를 보여 주었다. 다만 160℃ 處理까지는 어느정도 control에

바꿈가거나 上廻하던 破壞係數值가 175℃에서 현저히 떨어지는 結果를 나타내어 彈性係數의 경우보다도 高溫에 依한 影響을 더 민감하게 받는 것으로 나타난 處理區가 있어 熱板乾燥時 熱板의 溫度決定에 대한 세심한 주의가 必要한 것으로 사료되는 바이다.

4.2.4. 比例限度까지의 單位體積當 일

比例限度까지의 單位體積當 일이 熱板溫度에 依해 받는 影響은 表 1 과 그림 5 에 表示되어 있다. 그림 5 에서 보는 바와 같이 單位體積當 일 역시 현저하지는 않지만 溫度上昇에 따라 조금씩 감소하는 것으로

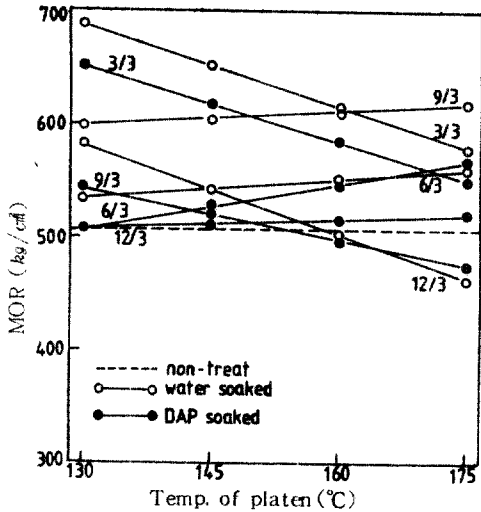


Fig. 4. Effect of redrying temperature of platen on modulus of rupture (MOR) of treated plywoods in flexure.

나타났다. 특히 DAP 9/3時間 處理區에 있어서는 熱板溫度上昇에 따라 매우 낮은 値를 나타내어 175°C의 경우 control에 비해 70%에도 못미치는 저조한 값을 보여주었다. 以上の 試驗結果에서 나타난 바와 같이, DAP 耐火處理合板은 一般木材가 100°C부터 始作되는 熱分解로 인한 木材内の 多糖類 특히 hemicellulose의 分解로 말미암아 현저한 強度低下가 일어남에 비해, 160°C까지도 無處理合板에 비해 뒤지지 않거나 오히려 上廻하는 曲強度値를 보여주고 있어, 지금까지의 耐火處理藥劑中 比較的 그 效果가 優秀한 것으로 알려져 온 第二磷酸암모늄 (DAP)을 利用하여 溫冷浸漬處理한 後 合板接着時間程度의 單時間에 再乾燥하면서 同時に 合板의 固有長點인 曲強度를 잃지 않는 耐火合板製造의 實用可能性을 밝게 하고 있다.

## 5. 結 論

以上과 같은 耐火處理合板의 曲強度試驗 結果 및 그에 對한 考察을 通해, 本 研究에서 얻은 結論은 다음과 같다.

1. 比例限度應力은 熱板의 溫度가 上昇함에 따라 점차 감소하는 경향을 나타냈으나 160°C 以上の 高溫에서도 無處理合板에 비해 뒤지지 않았다.

2. 耐火處理合板의 彈性係數도 역시 大體적으로 溫度가 上昇함에 따라 그 値가 약간씩 減少되었으나 그

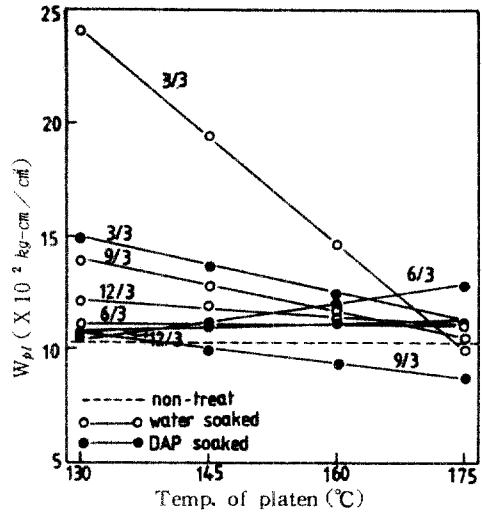


Fig. 5. Effect of redrying temperature of platen on work per unit volume to proportional limit of treated plywoods in flexure.

傾向은 一定하지 않았고 175°C에서도 無處理對照區에 비해 높은 値를 나타내었다.

3. 破壞係數 역시 溫度依存傾向은 彈性係數의 경우와 비슷하였으나 高溫에 의한 影響이 더 민감하였다.

4. 比例限度까지의 單位體積當 일도 현저하지는 않지만 熱板溫度上昇에 따라 감소하였으며, DAP 9/3時間處理의 경우 175°C 熱板溫度時 無處理合板値의 70%에도 미치지 못하였다.

5. 乾燥速度와 위와 같은 強度的 側面을 고려할 때 第二磷酸암모늄 耐火處理合板製造時 適定 再乾燥用 熱板溫度는 160°C였다.

## Literature cited

1. Black, J. M. 1958. The effect of fire-retardant chemicals on glues used in plywood manufacture. U. S. D. A., Forest Serv. Forest Prod. Lab. Rpt. No. 1427:7.
2. Blew, J. O. and W. Z. Olson. 1950. The durability of birch plywood treated with wood preservatives and fire-retarding chemicals. AWPA, annual meeting of April 25, 26, 27, 1950. Rice Hotel, Texas: 16.
3. Gerhards, C. C. 1970. Effect of fire retardant treatment on bending strength of wood. U. S.

- D. A. Forest Service, Res. Pap. FPL-145.
4. Gerhards, C. C. 1975. :Effect of high-temperature drying on tensile strength of Douglas-fir 2 by 4's. For. Prod. J. 29 (3):39-46.
  5. Jain, J. C., A. K. Ananthranayana and M. N. Sharma. 1979. Studies on the effect of fire-retarding chemicals on the strength of wood and plywood. Jour. of the Ind. Acad. of Wood Science. 6 (2):72-77.
  6. Jessome, A. P. 1962. Strength properties of wood treated with fire-retardants. Forest Prod. Res. Branch, Canada Dept. of Forestry Rpt. No. 193:12p.
  7. King, E. G., Jr. and D. A. Matteson, Jr. 1961. Effect of fire-retardant treatment on the mechanical properties of Douglas-fir plywood. Douglas-fir plywood Association, Tech. Dept., Lab. Rpt. No. 90:9.
  8. Maclean, J. D. 1951. Rate of disintegration of wood under different heating conditions. Amer. Wood Preserv. Assoc. Proc. 47:155-169.
  9. Percival, D. H. and S. K. Suddarth. 1971. An investigation of the mechanical characteristics of truss plates on fire-retardant treated wood. Forest Prod. Jour. 21 (1):17-22.
  10. Schaffer, E. L. 1973. Effect of pyrolytic temperature on the longitudinal strength of dry Douglas-fir. J. of Testing and Eva. 1 (4):319-329.
  11. Troughton, G. E. and L. R. Lozon. (1974): Heat effects on tensile properties of Douglas-fir and white spruce thin sections. Wood Science 7(2):116-122.
  12. Wangaard, F. F. 1979. Wood: Its structure and properties. The Pennsylvania State University, University Park, Pa.
  13. 佐野益太郎. 1961. 木材の機械的性質に関する温度の影響. 木材學會誌 7(4):147-150.