

## 【論述】

# 氧氣指數法應用於木材燃燒性評估

林曉洪<sup>1</sup> 洪國榮<sup>2</sup>

### 一、前言

木材為生物性有機質材料，具有調節室內溫濕度，吸收紫外光，建築音響性質佳，質地優美，紋理自然美觀等居住特性。自古以來，人類便取之作為建築與室內裝修用材。惟其本質上具可燃性，利用上頗具困擾，尤其處於複雜多變的社會，用火稍一不慎，輒釀成大災害。故為擴大其利用範圍，必須作適當的耐燃處理。經耐燃劑處理之試材其耐燃性評估法頗多（如熱分析、氧氣指數法…），其中氧氣指數法常被應用於塑膠工業，係因氧氣指數（Oxygen index）可作為評估流動中氧氣和氮氣之混合氣體中，自撐焰燃時之最小氧氣濃度。氧氣指數由 Fenimore 及 Martine（1969）所研發。一般被認為是總燃燒性或自熄性之指標，美國於 1970 年制定公布，而日本則於 1972 年制定。ASTM 2863（1977）係依 Up and Down 法統計求出燃燒與不燃境界值，而 JIS 規格則是將最低氧氣指數濃度代入計算，求 5% 試材燃燒性及 95% 信賴限界之值。故本試驗法之優點為可提供一個單一數值作為相對燃燒性（Relatively flammability）之指標。基本上，氧氣指數或限氧指數為於實驗室控制條件下，必須能維持發焰燃燒之最小氧氣百分比。高易燃材料具較低的氧氣指數值。以塑膠材料試驗結果顯示，該法於實驗室內及實驗室之間比對結果具有良好的精確性及再現性。故塑膠工業常以此法作為研發試驗之品管標準。由於氧氣指

數試驗提供了單一數值且所需試材較小，故是否可作為木製品相對燃燒性及精確性之評估指標，其次，氧氣指數之分布及變異性的測定、木材之密度、異方性、含水率及試材厚度等因子對氧氣指數之影響抑或耐燃處理材對氧氣指數之影響等均有必要深入予以探討與了解。

今本文擬針對以 Up and Down 法及 JIS 規格法進行未處理材及藥劑處理材之燃燒試驗結果進行評估。期提供爾後木材製品進行燃燒試驗之參考。

### 二、氧氣指數之定義、原理及特性

#### （一）定義

所謂「氧氣指數（Oxygen Index; OI）」乃是一材料在規定條件下恰能維持發焰燃燒所需之最低氧氣濃度，亦稱低限氧氣指數（Limiting Oxygen Index; LOI）或臨界氧氣指數（Critical Oxygen Index; COI）。OI 值為體積百分比率數值，表示氧氣與氮氣混合氣體中氧氣所佔比率，即

$$OI(\%) = \frac{[O_2]}{[O_2] + [N_2]} \times 100$$

式中， $[O_2]$ ， $[N_2]$ （L/min）

#### （二）原理

氧氣指數試驗中，試片由頂部著火，火焰傳播由上而下，而氧氣氣流由下而上，此燃燒之火焰狀態乃是擴散火焰（Diffusion flame）實例之一。類似於蠟燭燃燒型態。故亦稱燭焰

1. 國立屏東科技大學木材工業系副教授，通訊作者  
Associate Professor, Department of Wood Industry, NPUST. Corresponding Author.  
2. 國立中興大學森林系教授  
Professor, Department of Forestry, NCHU.

式燃燒試驗 (Candle-type flammability test)，如圖 1 所示之概念圖。熱分解發生於火焰之下而非火焰之前，低於熱分解域之火焰熱氣體域以氣態行熱傳導或擴散以促進熱分解域之前端表面預熱，一旦表面溫度上升至主要熱分解溫度時，熱分解域即向下牽移而使火焰繼續前進燃燒。

### (三) 特性

1. 試樣小但能反映材料本質特性。
2. 數值精確性及再現性高。
3. 適於各型式材料，含硬質薄板、薄膜、織物纖維、泡沫、塑料、橡膠及其他聚合物材料。
4. 操作簡單迅速。
5. 可反映材料之著火性能及消防滅火之難易性評估。

## 三、氧氣指數試驗法

上、下法 (Up and Down)

氧氣指數試驗機 (圖 2) 試驗前氮、氧氣供給壓力須先調整在  $1.5\text{kgfcm}^2$ ，以控制玻璃管內之流速為  $4 \pm 1\text{cm/sec}$ 。同時玻璃管內溫度維持在  $25 \sim 26^\circ\text{C}$ 。試材從調濕環境取出後，首先在 10mm、60mm 處劃標記線，然後以垂直方式固定於試片夾上，再放置玻璃管。試材著火步驟採用傳播著火 (Propagation ignition) 方式;點火器焰高調整 15~20mm 後，由玻璃管上方伸入與試材頂面 (Top surface) 及四側面接觸，但火焰下端不得超過離頂面約 6mm 深度。點火每 5sec 間隔一次，合計不得超過 30sec。試材著火後，立即移開點火器，一旦試材火焰下端超過 10mm 標記線，立即計時並觀測。若未點燃，視同失敗，須重新調整氧氣濃度再進行另一次測試。氧氣指數 (OI) 及標準偏差估值 ( $\sigma$ ) 之決定皆參照 ISO 4589 (1984) 及 ASTM D 2863 (1977) 規定之“上下法 (Up-and-Down method)”。

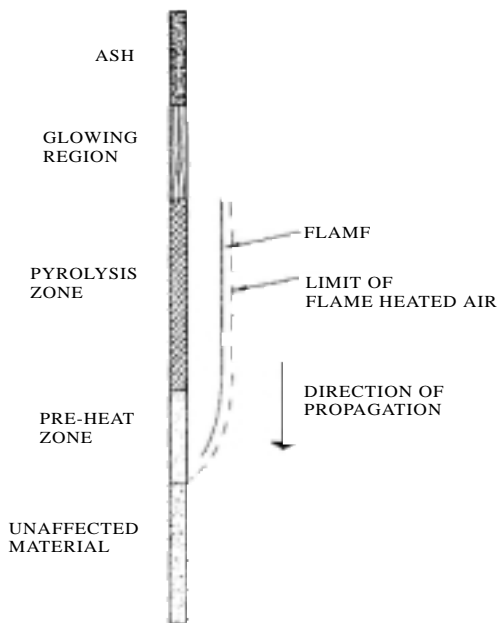


圖 1. 火焰沿纖維素材料向下傳播之理想概念圖 (Parker, 1972)

Fig. 1. Idealized sketch of downward flame spread along the cellulosic material.

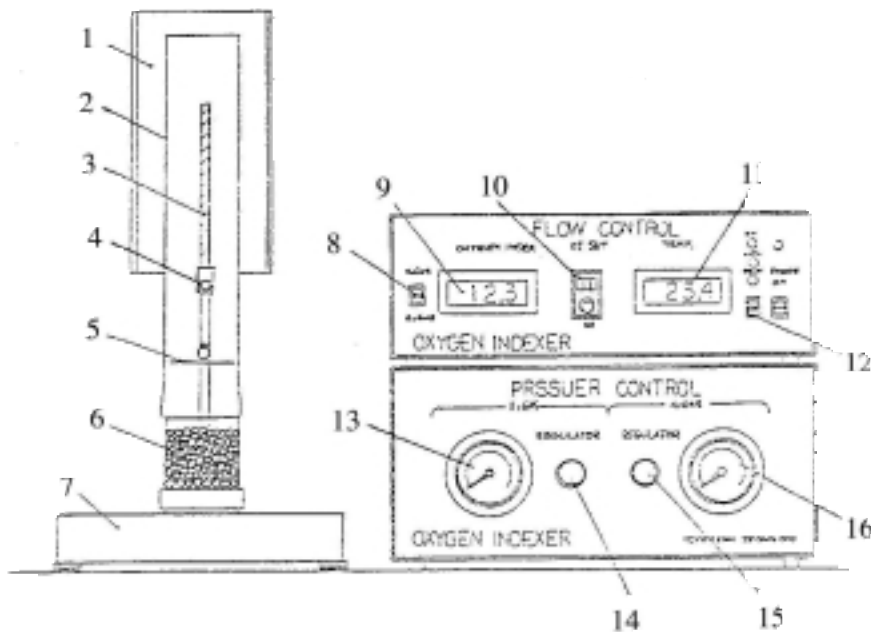


圖 2. 東洋精機燭焰式燃燒試驗機 (氧氣指數儀)

Fig. 2. TOYOSEIKI model -D candle-type flammability tester.

- 1.黑色背板 2.石英玻璃管 3.試片 4.試片夾具 5.金屬網 6.玻璃珠 7.底座 8.氮氧氣流量顯示切換開關  
9.OI顯示器 (設定值) 10.OI設定器 11.溫度顯示器 (管內溫度) 12.操作切換開關 13.氧氣壓力計  
14.氧氣壓力調節鈕 15.氮氣壓力調節鈕 16.氮氣壓力計

所謂“上下法”乃是由 Dixon 及 Massey (1969) 發展的一種統計方法，用於氧氣指數之測定，尤其是對於會產生不規則燃燒特性之材料。此法乃是對一固定序列之試材進行測試，若在一次測試中結果能符合基準 (成功)，則下一次測試時氧氣濃度將被減低一定量;或者未符合基準 (失敗)，則下一次提高濃度。對於自撐型試片 (Self-supporting specimen) (如紙漿板試片) 判定發焰燃燒的基準乃是點火器移開後，火焰從起點標記線開始向下傳播的時間 (持續燃燒時間) 能否超過 3min，或傳播距離能否超過 50mm。若兩項之一已超過，即判定為“成功”，若兩項皆未超過，則判定為“失敗”。最後所得結果乃是由成功及失敗組成的上下 (或高或低濃度) 序列。藉由統計技術評估此序列結果將

可獲得平均濃度估值。

#### 四、影響 OI 值之因子

##### (一) 木材特性對 OI 之影響

表 1 為 5 種針葉材及 5 種闊葉材進行低限氧氣指數 (LOI) 燃燒試驗之結果。探討因子包含樹種、心邊材、切面、試材數、平均比重及平均含水率等之燃燒與不燃限界的 OI 平均值及其標準偏差 (s)。並由 5% 之燃燒試材數來推估 OI (P 0.05) 及 95% 之低限信賴界限值。

燃燒與不燃之境界值 (X) 除與樹種特徵及組織構造有關外，經驗上判斷也是考量之一。標準偏差 (s) 值比例愈小者 OI 值愈正確。評估木材燃燒之 OI 值常選擇不具腐朽、劣化及其他缺點者為優。JIS 規格是以塑膠類

表 1. 以上、下法燃燒試驗，於 5% 機率時，試材特性及氧氣指數平均值之結果  
(吉村貢、梅村健三，1980)

Table 1. Characteristics for the specimen group and the oxygen indices for mean and at 5 percent probability in the burning test using the up and down method.

Wood species	Heart or Sap wood	Edge of Falt grain on 6×15mm face	No of specimens	Density g/cm <sup>3</sup>	Moisture content %	Freq foMean not burned	O.I $\bar{X}$	Stand dex S	5% Prob O.I Pas	95% Conf lower limit	
<i>Larix leptolepis</i>	Heart	Edge	19	0.48	12.1	9	22.8	0.40	22.2	21.5	
		Falt	21	0.50	18.3	10	23.3	0.93	21.8	20.3	
	Sap	Edge	19	0.54	12.7	9	23.0	0.91	21.5	20.0	
		Falt	19	0.57	12.3	(—) 9	24.4	1.15	22.5	20.5	
<i>Tsuga sieboldii</i>	Heart	Edge	20	0.52	10.8	9	22.8	1.46	20.4	17.7	
		Falt	18	0.52	10.8	9	23.6	0.44	22.9	22.2	
	Sap	Edge	18	0.44	10.1	8	23.1	0.85	21.7	20.2	
		Falt	19	0.46	12.3	9	22.7	0.79	21.4	20.2	
<i>picea jezoensis</i>	Heart	Edge	15	0.45	11.4	6	22.4	0.85	21.0	19.3	
		Falt	14	0.43	10.4	9	22.1	0.85	20.7	19.0	
	Sap	Edge	19	0.42	12.4	9	22.3	0.91	20.8	19.3	
		Falt	16	0.43	13.1	7	22.5	0.38	21.8	21.1	
<i>Abies firma</i>	Heart	Edge	17	0.46	8.4	8	23.2	1.84	20.2	16.3	
		Falt	19	0.46	8.7	(—) 9	23.3	1.38	21.0	18.5	
	Sap	Edge	18	0.36	10.7	8	21.8	1.67	19.0	15.6	
		Falt	17	0.38	9.9	7	22.0	1.33	19.8	17.1	
<i>pinus thunbergii</i>	Heart	Edge	20	0.66	14.1	9	22.1	0.91	20.6	19.1	
		Falt	21	0.68	11.2	10	22.3	1.76	19.4	16.1	
	Sap	Edge	17	0.61	10.8	7	21.2	1.67	18.5	14.8	
		Falt	13	0.62	11.3	4	19.8	0.41	19.1	18.2	
<i>Quercus mongolica var. grosseserrata</i>	Heart	Edge	20	0.84	7.8	10	23.4	0.69	22.2	21.2	
		Falt	14	0.87	7.9	7	23.5	1.39	21.2	18.3	
	Sap	Edge	15	0.79	8.7	7	22.3	0.72	21.2	19.9	
		Falt	19	0.79	9.6	9	22.1	1.62	19.5	16.4	
<i>Cercidiphyllum japonicum</i>	Heart	Edge	22	0.48	8.9	10	21.3	0.67	20.2	19.2	
		Falt	19	0.47	6.8	8	21.3	0.85	19.9	18.6	
	Sap	Edge	19	0.43	8.6	8	21.3	0.85	19.9	18.6	
		Falt	19	0.44	10.3	9	21.1	1.11	19.2	17.3	
<i>Betula spp.</i>	Inner heart	Edge	18	0.67	8.2	8	22.3	1.03	20.6	18.8	
	Outer heart	Edge	20	0.69	7.8	8	21.7	0.83	20.3	18.9	
	Inner heart	Falt	20	0.67	9.2	9	21.4	0.55	20.5	19.7	
	Outer heart	Falt	20	0.69	8.0	9	21.9	0.40	21.3	20.7	
	Inner heart	Edge	18	0.68	9.9	8	21.7	0.42	21.0	20.3	
	Outer heart	Edge	18	0.69	8.6	7	20.3	1.19	18.4	16.0	
	Inner heart	Falt	15	0.67	8.6	7	22.0	0.38	21.4	20.7	
	Outer heart	Falt	15	0.70	8.3	7	21.0	1.39	18.7	15.8	
	<i>Acer mono</i>	Inner heart	Edge	21	0.73	8.7	(—) 10	25.3	1.70	22.5	19.4
		Outer heart	Edge	20	0.77	7.4	10	24.2	1.24	22.1	20.1
Heart		Falt	20	0.75	7.4	10	23.5	1.37	21.2	18.9	
Sap		Edge	18	0.73	7.8	9	23.6	0.44	22.9	22.2	
		Falt	11	0.71	8.2	5	22.2	0.75	21.0	19.4	
<i>Mabnolia obouata</i>	Heart	Edge	23	0.44	9.1	10	20.9	1.07	19.2	17.4	
		Falt	16	0.44	8.1	6	20.9	1.50	18.3	14.5	
	Sap	Edge	20	0.46	7.6	9	21.8	0.44	21.1	20.4	
		Falt	15	0.45	9.4	6	20.8	1.55	18.2	14.6	

Note : O.I values measurwd by the apparatus have been corrected after the test result obtained with the standard PMMA specimens having the O.I of 17.3.

<sup>a)</sup> Figures with (—) are the frequencies *n* for burned.

為對象，以標準試片 PMMA 之 O<sub>2</sub> 流量 0.1 L/min 為試驗間距及 95% 以上之信賴區間為主。同樹種木材亦因產地、立地條件及取材部位不同，其變異性大，故必須進行數次試驗以獲正確測值。

表 2 為燃燒試驗時，各因子影響 OI 值之變異分析 (AOV)。顯示 OI 值者徑切面板與弦面板間無差異性存在。心邊材、針闊葉材及針葉材間分別具極顯著差異 (0.01 level)。而樹種間及闊葉材間則具極顯著差異 (0.001 level)；樹種與邊材交互作用及針葉材與心邊材交互作用分別具顯著差異 (0.05 level)。其餘則不顯著。針葉材中，除落葉松外，則心材比邊材難燃，可能係因落葉松邊材密度較心材大有關。又闊葉材比針葉材易燃燒，惟闊葉材間具極顯著差異 (0.001 level)，而針葉材則具顯著 (0.01 level) 差異，此可能與年輪寬、密度、導管寬度等木材組織及抽出成分、沈積物等化學成分有關。

表 3 為 4 種針葉材及 6 種闊葉材以 JIS K 7201 標準進行燃燒試驗。比較不同樹種、心邊材、絕乾比重、乾燥及氣乾試材 (以平均含水率為主) 等因子對燃燒試驗 OI 值之影響。其中各值均以 PMMA 之標準試片 (OI 17.3) 為基準進行補正。

JIS 試驗標準乃使用 C 號 LPG，其著焰溫度、時間、熱量及材料亦均有規定。點火器管內徑 3mm，火焰長度調整為 15~20mm。據 JIS K 7201 說明當使用都市瓦斯時，點火器管內徑應為 1mm，惟 JIS 在制定標準時也曾檢討 ASTM D 2863 之規定，即點火器內徑 1~3mm，並應載明氫氣、丙烷及其他氣體之火焰。火焰長度 6~25mm。

表中顯示，比重小的泡桐其 OI 值較低，比重中等之針葉材 OI 值中等，而比重大之闊葉材其 OI 值也有較高之趨勢。此與木材組織構造、比重、含水率 (%)、木材單位體積水分量，細胞內沈積物或抽出成分及存在位置等

表 2. 木材燃燒試驗影響 OI 值因子之變異分析 (吉村貢、梅村健三, 1980)

Table 2. Analysis of variance for the factors affecting O.I. values in wood burning test.

Effect of	D. F	MS	F
Heart-vs Sap-wood	1	2.809	14.69**
Edge-vs Flat-grain	1	0.198	1.04
Between wood species	9	3.288	17.19***
Soft vs Hard wood	1	2.332	12.20**
Within Soft wood(N)	4	2.371	12.40**
Within Hard wood(L)	4	4.445	23.25***
Interaction			
Wood species × grain	9	0.348	1.82
Wood species × H-S wood	9 1	0.650	3.40*
H-L × S wood	4	0.003	0.02
N × H-S wood	4	1.002	5.69*
L × H-S wood		0.459	2.61
Grain × Heart-Sap wood	1	0.137	0.78
Error(Interaction for 3 factors)	9	0.176	
Total	39		

Note:F-ratio with \* is significant at 90% probability, \*\* at 99% and \*\*\* 99.9%, respectively.

表 3. 乾燥與氣乾條件下木材之 OI 值 (吉村貢、三輪明, 1980)

Table 3. OI for some woods in dry and air-dry condition.

Wood species (part)	Sp. Gr. (OD)	Dry specimen			Air-dry specimen			
		Av.MC%	OI (JIS)	OI (Burn)*	Av.MC%	OI (JIS)	OI (Burn)*	
<i>cryptomeria japonica</i>	(Sap)	.39	5.27	20	21	14.06	23	23
	(Heart)	.39	4.46	22	22	14.54	25	26
<i>chamaecyparis obtuse</i>	(Sap)	.37	4.80	22	23	13.98	25	25
<i>Pinus densiflora</i>	(Sap)	.53	4.78	19	21	13.84	22	22
	(Heart)	.54	3.52	21	22	13.98	24	25
<i>Torreya nucifera</i>	(Sap)	.42	3.98	21	23	12.27	24	24
<i>Zelkova serrata</i>	(Heart)	.65	4.25	21	21	11.83	22	25
<i>Castanea crenata</i>	(Heart)	.56	4.69	22	22	13.83	22	27
<i>Cyclobalanopsis acuta</i>		.74	3.91	22	23	12.98	30	30
<i>Prunus jamasakura</i>	(Sap)	.66	4.22	22	22	13.67	26	27
	(Heart)	.62	3.81	23	24	12.28	28	28
<i>Actinodaphne longifolia</i>		.46	4.23	23	24	13.33	28	28
<i>paulownia tomentrse</i>								
NIGATA-outer		.23	4.06	20	20	11.81	22	(23)
-inner		.23	4.19	19	21	12.07	22	(23)
AIZU-outer		.24	4.13	19	20	11.74	21	22
-inner		.24	4.13	19	21	12.09	21	22
TAIWAN		.22	4.20	19	20	12.27	22	22
HO-NAN, CHINA		.26	4.19	20	21	12.11	22	(23)
BRAZIL		.26	4.42	20	20	12.14	22	(23)

Note: \*OI(Burn)shows all specimens (2 or 3) burned at this OI.

OI values in ( ) are that for estimated.

OI values have been corrected after burning of the standart PMMA specimens having 17.3 in OI.

因素有關。

表 4 為日本扁柏試材以上下法進行燃燒試驗時點火器管內徑對 OI 之影響。燃燒試驗結果顯示，點火器內徑 3mm 者，是以 A-1 號之試材斷面 (6.5×3mm)，距離試片上端 10mm 處加熱；而 0.8mm 內徑者則短時間內 (約 10sec) 即可得到均一著焰。但耐燃處理材或斷面較大之試片則必須另加考慮。

就樹種言，比重大之赤檜或山櫻花樹種其 OI 值也高。比重小的泡桐，因產地不同約有 0.22~0.26 之間差異。含水率 4% 乾燥試材 OI 值為 19~20，而 12% 之氣乾材則為 21~22，

其值較為一致。泡桐為各樹種中 OI 值屬於最低且易燃的一群。因此泡桐木材空隙大，組織內含多量空氣且組織構造較均質之故使其為易燃。因質輕且加工性優良、熱傳導率小 (0.063 kcal/m·h·°C) 之特性，此木材常作為金庫等之內藏箱。

乾燥試材 (MC = 4%) 比氣乾試材 (MC = 13%) OI 值高 2~3%。由於水分會影響比重，故可由絕乾比重及含水率求得單位體積 (cm<sup>3</sup>) 之水分含量 (mg)。其含量與 OI 值之關係如圖 3 所示。

水分量與 OI 值兩者間關係為 OI = 19.4 +

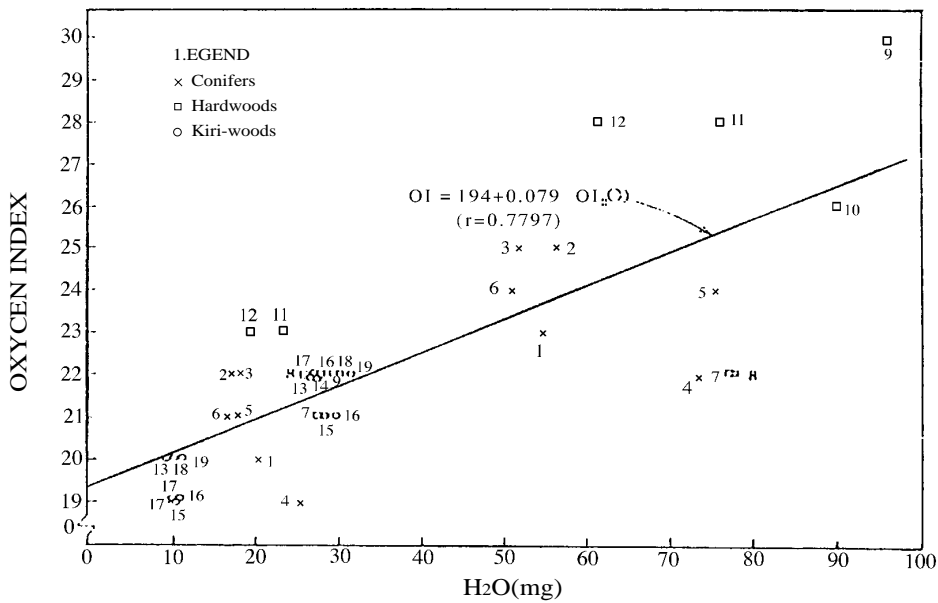


圖 3. 木材單位體積水分存在量 (mg) 與氧氣指數之關係 (吉村貢、三輪明, 1980)

- 1.柳杉邊材 2.柳杉心材 3.扁柏邊材 4.日本赤松邊材 5.日本赤松心材 6.日本榧樹 7.檫木心材  
 8.Kuri 心材 9.赤檜木 10.山櫻花邊材 11.山櫻花心材 12.Aokagonoki 材 13.Niigata 產泡桐外部材  
 14. Niigata 產泡桐內部材 15.Aizu產泡桐外部材 16. Aizu 產泡桐內部材 17.台灣產泡桐  
 18.中國河南產泡桐 19.巴西產泡桐

Fig. 3. Relationship between water (mg) present in a unit volume of wood and oxygen index value of the specimen in the burning test.

Numbers in figure are: 1.Sugi-sapwood 2.Sugi-heartwood 3.Hinoki-sapwood 4.Akamatsu-sapwood  
 5.Akamatsu-heartwood 6.Kaya-wood 7.Keyaki-heartwood 8.Kuri-heartwood 9.Akagashi-wood  
 10.Yamazakura-sapwood 11.Yamazakura-heartwood 12.Aokagonoki-wood 13.Kiri-outerwood from Aizu  
 16.Kiri-innerwood from Aizu 17.Kiri-wood from Taiwan 18.Kiri-wood from Ho-nan China 19.Kiri-wood from Brazil.

表 4. 日本扁柏以上下法試驗，點火器內徑對 OI 值之影響 (吉村貢、三輪明, 1980)

Table 4. Effect of the orifice diameter of the igniter and interval of OI level in the test of Up and Down method upon oxygen index values for Hinoki (*Chamaecyparis abtusa*) wood.

Orifice diameter (mm)	0.8		0.8	
	Interval of OI(%)	1.0	0.439	1.0
Mcan OI (X)	22.5	21.9	22.5	22.4
Standard deviation (s)	22.5	21.9	22.5	22.4
No. of specimens (N)	0.28	0.42	0.28	0.58
	15.0	15.0	15.0	15.0

0.079(H<sub>2</sub>O),  $r = 0.7797$ 。絕乾木材 OI 值為 19.4, 當水分增加時, 其值也提高。以針葉材而言, 含水率平均 9.31%, 樹種間 OI 值相差 3, 故含水率對 OI 之影響係數為  $3/9.31=0.322$  泡桐含水率差, 平均為 7.84%, 對 OI 值差, 則分別為新瀉產材之內部材及台灣產材為 3, 其他 5 處則為 2, 平均 2.29, 影響係數為 0.292。表中可見所有樹種之乾燥試材之 OI 值最低, 且其 O<sub>2</sub> 濃度差在 2% 以內, 闊葉材之絕乾試材與氣乾試材 (MC 約 13%) 比較之, 則

日本栗試材差 0, 而赤檜試材則差 8。此類闊葉樹材因材質特性變異大, 故很難作為燃燒評價。

## (二) 藥劑處理對 OI 之影響

表 5 為柳杉及山毛櫸試材以磷酸氫二銨 [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>] 及胺基磺酸銨 (NH<sub>4</sub>SO<sub>3</sub> · NH<sub>2</sub>) 藥劑處理後進行燃燒試驗之 OI 結果。由預備試驗知, 當試材兩端以石臘封住, 而由四周浸透藥劑, 結果顯示比重小的柳杉其吸水率較大, 山毛櫸徑切面及弦切面則無差異。而柳杉

表 5. 耐燃處理對 OI 值之影響 (吉村貢、堀井英範, 1980)

Table 5. Effect of fire-retardant combined with wood species and the specimen form in a grain- direction on the oxygen index in the burning test.

Wood species	Specimen*	Fire retardant treatment		Calau'd chem. content <sup>o</sup>		MOI
		Chemical <sup>+</sup>	Solution(%)	% to wood	mg/cm <sup>3</sup>	
<i>Cryptomeria japonica</i>	Edge	None	-	0	0	19.9
	Flat	None	-	0	0	19.9
D.Don	Edge	P	6	3.6	12.6	51.9
	Edge	P	12	7.2	25.2	62.0
	Flat	P	6	3.6	12.6	54.1
	Flat	P	12	7.2	25.2	66.0
	Edge	S	6	3.6	12.6	30.0
	Edge	S	12	7.2	25.2	34.0
	Flat	S	6	3.6	12.6	30.0
	Flat	S	12	7.2	25.2	37.9
<i>Fagus crenata</i>	Edge	None	-	0	0	21.2
	Flat	None	-	0	0	21.2
Blume	Edge	P	6	3.6	23.4	30.0
	Edge	P	12	7.2	46.8	41.9
	Flat	P	6	3.6	23.4	32.2
	Flat	P	12	7.2	46.8	44.1
	Edge	S	6	3.6	23.4	30.0
	Edge	S	12	7.2	46.8	34.0
	Flat	S	6	3.6	23.4	27.8
	Flat	S	12	7.2	46.8	36.2

Note: \*Edge or flat grain on a 6.5×150 mm side face of the specimen

<sup>+</sup>P represents a diammonium phosphate and S an ammonium sulfamate

<sup>o</sup>The specific gravity used is 0.35 for *Cryptomeria japonica* and 0.65 for *Fagus crenata* wood.



徑切面吸水率會逐漸地比弦切面呈增加趨勢。24 hr後兩者差 4%。96 hr後，徑切面試片 115%，弦切面試片 109%，兩者差 6%。惟 6 hr浸漬時，山毛櫸（51%）與柳杉（55~56%）兩者間具差異。徑切面與弦切面大體上有差異，以吸水率達約 60% 之目標時，藥劑濃度 6% 及 12%，其對乾燥木材重量 60% 之吸收言，則藥劑固定量保持 3.6 及 7.2%。

表中顯示以樹種、徑弦切面、藥劑種類、藥劑濃度及吸收率等因子對 OI 之影響進行探討。柳杉邊材之對照組其 OI 值最低，弦切與徑切面皆為 19.9。山毛櫸對照組與柳杉者同，兩種藥劑對處理材 OI 之影響則以磷酸氫二銨較胺基磺酸銨者佳，尤其是柳杉邊材者具顯著提升，3.6% 固定量時 OI 超過 50；7.2% 則超過 60，惟山毛櫸試材以 3.6% 固定量處理時 OI 為 30；7.2% 時達 44.1。山毛櫸經兩種藥劑處理後其耐燃效果程度相當而無差異，而柳杉邊材以 3.6% 固定量之胺基磺酸銨處理後，OI 為 30；7.2% 之固定量為 34~38。山毛櫸則具雷同趨勢，其值與柳杉者相當，且當以磷酸氫二銨藥劑處理後，耐燃效果變化不大。柳杉邊材對兩種藥劑之耐燃效果（3.6~7.2% 固定量）差異顯著，有必要進行樹種與藥劑間交互作用以確認其因。為探討切面對 OI 之影響，除山毛櫸試材以胺基磺酸銨 3.6% 固定量處理者外，OI 值均以弦切面高於徑切面。以浸透性良好的柳杉及山毛櫸之邊材於同藥劑吸收量處理時，即使同一樹種及同一藥劑含量之試材其 OI 值也具有差異，此因藥劑於試材內分布不同所致。

Lyons (1970) 曾以數條曲線來說明數種水溶性耐燃藥劑處理之耐燃效果。顯示耐燃效果與樹種、材料及藥劑種類不同而異。Abbott (1973) 曾以 ABS 樹脂添加耐燃劑 (FR) 探討與 OI 值 (n) 之關係，兩者具如下之實驗式：

$$n = K (FR) + n_0$$

式中  $n_0$ ：未加耐燃劑之聚合體 OI 值。

木材因其內含空氣，故木材保存工業常以單位體積 ( $m^3$ ,  $cm^3$ ) 藥劑注入量 (kg, mg) 表示。故由資料換算得之柳杉比重 0.35 及山毛櫸 0.65。圖 4 為柳杉及山毛櫸之藥劑處理材燃燒試驗之結果。White (1978) 以 9 塊南方松為試材施以磷酸氫二銨藥劑注入處理，以低藥劑固定量 ( $43.2 \text{ mg/cm}^3$ , 實測值  $38.9 \sim 46.8 \text{ mg/cm}^3$ ) 及高藥劑固定量 ( $126.5 \text{ mg/cm}^3$ , 實測值  $110.2 \sim 138.2 \text{ mg/cm}^3$ ) 處理及無處理材各 540 支，依 ASTM 2863~76 試驗後，經計算後可獲兩者關係式，即

$$n (OI) = 22.80 + 0.378C \text{ (固定藥劑量)}$$

其結果如圖 4 所示。

又未處理材之 OI 平均值為 23.6，故低與高處理組之關係式可得

$$n = 23.60 + 0.364C$$

阿部 (1993) 探討柳杉  $-(NH_4)_2HPO_4$  處理材得斜率 0.609 (圖 4 之 Abe(1))。其 OI 值最高可達 100。

勝沢 (1974) 以各種水溶性耐燃劑處理紅柳安單板後，可得  $n = n_0 + \log C$ ，當藥劑固定量為 20% 以上時，n 為定值，以  $(NH_4)_2HPO_4$  藥劑處理後，可得  $n = 28.4 + 39.6 \log C$ 。研究顯示以柳杉材於固定量之藥劑處理後，其 OI 值比其他文獻以相同藥劑處理者為高之結果。

## 五、結論

1. 低比重試材其 OI 值也低，反之高比重者則 OI 值也較高之趨勢。
2. 無論來自何處之泡桐，其 OI 值均最低，乾燥試材 (MC = 4%) OI 為 19~20，而氣乾試材 (MC = 12%) OI 為 21~22。
3. 單位體積含水量 ( $H_2O$ ,  $mg/cm^3$ ) 與 OI 值具顯著相關，即  $OI = 19.4 + 0.079(H_2O)$ ， $r = 0.7797$ 。
4. 不同含水率 (MC) 之乾燥與氣乾試片與 OI 值之關係，分別具有針葉材： $OI = 0.322$

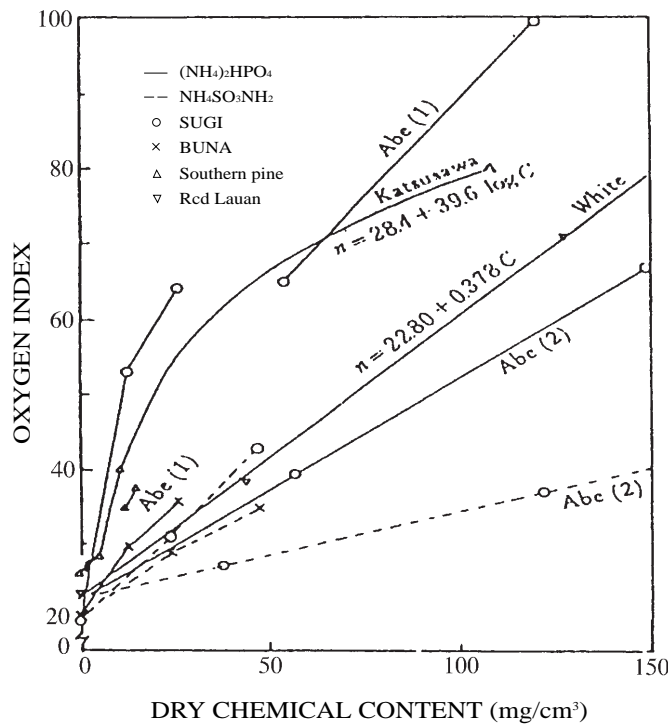


圖 4. 磷酸氫二銨及胺基磺酸銨藥劑乾量 ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ ) 與 OI 之關係 (吉村貢、堀井英範, 1980)  
 Fig. 4. Relation between dry-chemical content in  $\text{mg}/\text{cm}^3$  and O.I. for a diammonium phosphate and an ammonium sulfamate on SUGI, Southern pine, BUNA, and Red Lauan including the published data.

Note : Abe (1), directly transferred from their report. (林業試驗場木材部, 1973)  
 Abe (2), straight lines drawn by Yoshimura after their plotted figures.  
 Katsusawa, Curve drawn after their formula. (勝沢善永等, 1974)  
 White, the formula determined from his data by Yoshimura. (White, 1978)

(MC) 及泡桐  $\text{OI}=0.292$  (MC), 即當試片增加 1% 含水率則約增加 0.3 OI 值, 惟闊葉材不具明顯關係。

5. 以 6% 及 12% 藥劑濃度及固定藥劑量 3.6% 及 7.2% 之  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  及  $\text{NH}_4\text{SO}_3\text{NH}_2$  藥劑處理柳杉及山毛櫸邊材, 就耐燃性言, 前者藥劑比後者佳。尤其柳杉材經  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  之 3.6% 及 7.2% 處理, 其 OI 值分別為 51.9~54.1 及 62~66。而  $\text{NH}_4\text{SO}_3\text{NH}_2$  則分別為 30 及 34.0~37.9。表示樹種與耐燃劑具明顯交互作用。

6. 山毛櫸試材以  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  及  $\text{NH}_4\text{SO}_3\text{NH}_2$  之

7.2% 乾藥劑量處理, 其 OI 值分別為 41.9~44.1 及 34.0~36.2。

## 六、參考文獻

- 吉村貢、梅村健三 (1980) 酸素指數法による應用於木材の燃燒試驗 (第 1 報) Up and Down 法測定。木材學會誌 26(3) : 209-214。
- 吉村貢、三輪明 (1980) 酸素指數法による應用於木材の燃燒試驗 (第 2 報) 日本工業規格法測定。木材學會誌 26(3) : 287-292。

- 吉村貢、堀井英範（1980）酸素指數法による應用於木材の燃燒試験（第3報）  
(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>とNH<sub>4</sub>SO<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>による難燃効果。木材學會誌 26(7) : 476-481。
- 日本工業規格 JIS K 7201（1972）酸素指數法による高分子材料。日本工業規格の燃燒試験方法
- ASTM D 2863 (1977) Standard method for measuring the minimum oxygen concentration to support candle-like combustion of plastics (oxygen index) .
- Dixon, W.J. and E.J. Massey, Jr. (1969) Introduction to Statistical Analysis 3rd ed. McGraw-Hill, New York.
- Fenimore, C.P. and F.J. Martine (1966) Candle-type test for flammability of polymers. Modern Plastics 44 (3) :141-148
- ISO 4589 (1984) Plastics-Determination of flammability by oxygen index.
- Parker, W.J. (1972) Flame spread model for cellulosic materials J. Fire and Flamm. 3:254-269.