



# 再生性天然植物資源應用於膠合劑製造之發展潛力

文 ■ 李文昭 ■ 國立中興大學森林學系教授

## 一、前言

人類自古即曉得利用膠合的技術來結合物體，由考古資料可確認，早在古埃及時代即已利用膠合劑來結合物質，當時所採用之膠合劑均來自天然界，而膠合產品則主要應用於不要求承載重量之裝飾膠合。所採用之膠合劑有利用動物皮、骨頭等熬煮所得之動物膠（Animal glue），利用動物之血液做為膠合劑之血膠（Blood glue），亦有利用植物之分泌物如樹脂（Resin）做為膠合劑者。

19世紀工業革命帶動產業變革，芬蘭、瑞典、挪威等地區為改善木材之物理及機械性質，並使木材利用更合理，發展出合板加工利用之木材製品模式，此時膠合劑被大量引用至木材工業，膠合劑由以往少量應用轉變成大量利用。但此時所採用膠合劑仍為傳統之動物膠、澱粉膠等，此天然膠之抗（耐）水性質仍差。

至第1次世界大戰，為因應軍需之要求，新的天然膠合劑不斷被開發應用，膠合劑之性能亦不斷獲得改良，使具備耐水、耐候性能，膠合產品可應用於更廣泛之領域，期間並配合其他工業之發展，使膠合劑性能

開始大幅度且快速獲得改善。在此時期，有機合成之膠合劑雖已開發問世，但受限於產品性能穩定性及價格等因素並未大量被採用，此時仍以天然膠合劑為主。其中乳酪膠（Casein glue）乃由牛奶中所提煉之牛乳蛋白經變性製造所獲得，具備相當程度之耐水、耐候性，1917年美國將其應用於木製飛機之製造。1923年，美國Otis' Johnson利用大豆蛋白製造膠合劑，並於1928年將其工業化生產，此為植物蛋白，與前述乳酪膠比較，具備價格較便宜之優點，並與乳酪膠同為當時合板製造之主要用膠。

酚甲醛樹脂（Phenol-formaldehyde resin；PF）為最早被開發應用的有機合成樹脂，Adolf Baeyer在1872年即發現酚與甲醛之反應性，然至1909年Bakeland始將其商業化，並應用為膠合劑。尿素甲醛樹脂（Urea-formaldehyde resin；UF）則於1929年由德國I.G.染料公司將其應用為木材膠合劑。聚醋酸乙烯樹脂（Polyvinyl acetate resin；PVAc）則於1939年問世，其後陸續有三聚氰胺樹脂（Melamine-formaldehyde resin；MF）、間苯二酚樹脂（Resorcinol-

formaldehyde resin；RF)、環氧樹脂(Epoxy resin)、聚胺基甲酸酯樹脂(polyurethane resin；PU)等許多合成樹脂被開發利用。1950年代以後，合成樹脂逐漸取代天然膠合劑而成為膠合劑工業主流，目前市面上所採用之膠合劑多為合成樹脂，膠合的對象則除傳統木材膠合外，亦拓展至金屬、塑膠、玻璃、石材等各式各樣的材料膠合。天然膠合劑則僅限應用於特殊性能要求者，或用以改良合成樹脂。然由於石油資源有限，並為兼顧對地球環境保護之要求，天然膠合劑在近年來再度被重視，除傳統蛋白質系、澱粉系、樹脂系外，開發新的具備再生性特質的天然膠合劑為未來發展之趨勢，而對其性能要求則須具備合成樹脂所能提供者。

隨著有機化學及高分子化學的進步，帶動了膠合劑工業的發展，而新的膠合劑及膠合劑性能同時帶動木材工業的改變。新的膠合劑的引用、膠合劑性能的改良、膠合技術的發展及膠合設備的開發促使許多新的木材膠合產品的出現，並使木材與異質材料膠合之應用不斷拓展。新產品或新材料對膠合性能的需求，亦促使膠合劑工業不斷的開發新的膠合劑及改良現有膠合劑之性能。

## 二、膠合之優點

有許多方法可以將兩個物體結合在一起，如利用繩子綑綁，利用鐵釘、螺絲釘、卯釘等金屬扣件產生結合，利用金屬焊接，表面利用加熱產生融接，或利用溶劑產生溶接等。而膠合乃在兩個材料之界面透過第三

者之膠合劑產生結合之作用，與其他接合方式比較，透過膠合產生接合作用的膠合結構體在承載外力時，其應力傳遞是發生在整個膠合斷面，因此膠合較其他接合方式可提供較大的應力承載面積，在應力傳遞過程中單位面積所承受之應力較小，且分布較均勻；而透過膠合劑組成分之設計，可提供膠合接結構體較佳的疲勞及反覆荷重能力，並可降低震動，吸收衝擊能量。又採用膠合方式進行接合時，對被膠合材型態容許之變異度大，被膠合材不論厚、薄、大、小、不規則形狀均可透過適當之膠合方法使結合在一起；同時亦可應用於同質或異質材間之膠合。透過膠合之接合物體具備平滑的外表，不會破壞其外觀之完整性，此對於要求速度之飛行器表面蒙皮之安裝特別有用。又由於膠合層厚度很薄，對輕質材料膠合不會大幅增加其重量並可提高其比強度；而應用在異質材料膠合時，可藉膠合層防止電化學腐蝕現象，並提供隔熱、隔電等作用。而膠合結構體之膠合層被包覆在內部，不會直接曝露在大氣中，因此對環境抵抗力較佳。而與融接或焊接比較，採用膠合接合時其膠合劑硬化所需之溫度較低；而與機械結合比較時，膠合加工程序具備快速、便宜之優點。

## 三、膠合劑之應用

由於採用膠合接合之方式具備上述許多優點，且新的、性能更優異的膠合劑不斷被開發問世，因此其應用領域不斷的被拓展，除傳統應用於裝飾、木質材料加工膠合外，



現亦大量應用於交通運輸工具製造業、航太工業、電器及電子產品之組裝膠合，甚至已有許應用於醫療行為之例子。其中Walker等人將膠合劑的應用區分成如下幾個大類：

#### (一) 包裝工業

包含瓦楞紙板製造、紙箱封邊、紙張、紙袋、標籤、紙杯、信封等許多紙器加工產品之膠合加工。

#### (二) 膠帶

包含包裝用膠帶、絕緣膠帶、外科用膠帶、隱形膠帶、一般消費膠帶等。

#### (三) 建築、工程用

音響天花板、地磚及連續絕緣板、陶磚安裝、Counter top lamination、預鑄樑柱製造、地毯鋪設用膠、地板底層鋪設用膠、預塗裝板組裝、水泥接合、圍壁製造、牆壁貼面安裝等。

#### (四) 其他非硬質接合

裝配組合、裝飾集成、鞋子組裝、其他鞋製造、運動設備膠合、書本封裝、地毯背膠、Flock cement、Air and liquid filter manufacture等。

#### (五) 消費性膠合劑

DIY產品、模型組裝、學校或辦公用等。

#### (六) 運輸工具

汽車、卡車、公共汽車等內裝及外裝膠合、組裝膠合、乙烯屋頂結合、飛機及太空船等結構組合等。

#### (七) 其他硬質接合

家具製造、木器組件膠合、機械組合及裝潢、屋內器具組合、電視、收音機等電器

組裝、機械製造及組裝、薄膜積層層疊、三明治板製造等。

## 四、再生性天然資源應用在膠合劑製造之研究領域

現今所採用之膠合劑雖以合成樹脂膠合劑為主，然基於資源永續利用之觀點，具備再生性特質之天然資源仍為未來亟須積極開發之膠合劑原料來源，Lambuth曾對再生性天然資源在膠合劑製造值得開展之研究領域歸類為下述四大類。

(一) 直接由再生性資源或由利用此再生性資源之工業所產生之殘材或廢料，製造現今合成樹脂所需之原料。

1. 以萃取方式由製漿所產生之黑液中回收Phenol、Cresols及Guaiacol等化合物。

2. 將製漿黑液進行蒸氣熱解，藉由熱降解作用以產生特定之酚類化合物。

3. 由樹皮、果實、果殼或其他含有高量、適性單寧之天然殘材中萃取單寧成分，並藉由化學變性以獲得具備間苯二酚活性之化合物。

4. 藉由選擇性發酵或直接由CO氫化產生甲醇。

5. 將各不同天然資源產生之甲烷經氧化以產生甲醛。

6. 將木質生質材料中之半纖維素及五碳糖萃出，並轉化成呋喃類化合物。

7. 將大氣中之氮直接固定，並進一步將其轉化成Ammonia，再進一步轉換成尿素及三聚氰胺。

(二) 在膠合劑合成時，將部份或全部的石化組成分原料（如酚），以具備官能性之有機化合物或再生性資源之衍生物取代。

1. 在PF樹脂合成時，以Fractionated及Chemically modified的木質素取代部分或全部的酚；此新型木質素包含結構變化最小者，及完全解聚合而形成苯基丙烷之單元體。

2. 在PF樹脂合成時，以selected and modified的碳水化合物取代全部或部分的酚。

3. 將來自天然資源的單寧經分離（Isolated）及適當官能化（Functionalized）後，將其與甲醛反應製造低溫硬化之熱硬化型膠合劑；此類樹脂可單獨使用或與傳統之RF或PRF混合後使用。

4. 將動物性或植物性蛋白質組成分加入酚樹脂中以產生具備快速硬化或特殊性能之室外級膠合劑。

5. 藉由再生資源之化學處理，以產生具有二官能性或多官能性之異氰酸鹽分子。

6. 藉由異氰酸鹽與木質素、蛋白質、碳水化合物等天然高分子之反應性，發展有用的膠合劑組成配方。

(三) 發展新的膠合概念，此包含木材表面之前處理，藉以強化傳統膠合劑對材面之膠合能力；此類新概念亦包含了木材的自膠合。

1. 將木材表面經化學前處理，使具備熱活動性，膠合時藉材面之熱熔融而和另一膠合材產生結合。

2. 將天然膠合劑或活性構造之高分子

在木材表面塗佈及再活化，做為處理或未處理材膠合時之架橋劑；此包含：

(1) 活化的木質素。

(2) 將碳水化合物在其原來位置轉化成具備官能性的furan樹脂。

(3) 在材面塗佈可溶性幾丁質（Chitin）。

(4) 在材面塗上一層海洋生物性之膠合劑以活化被膠合木材。

(5) 將纖維素或其衍生物轉化成耐候性之木材用膠。

(四) 強化現有天然膠合劑之性能，使具備與合成樹脂相當之耐候性能，尤其對具有快速熱壓膠合、短冷壓時間、或具備填縫性能者更具有發展之優勢。

1. 能提供具備耐沸水及抗霉能力之血膠（Blood glues）。

2. 可快速加壓，冷壓膠合，且具備室外耐候性及抗霉能力之大豆系統膠合劑。

3. 具有耐候性能及抗霉能力之集成膠合用酪素膠。

4. 應用於家具及廚櫃組裝之快速硬化動物膠，使其具有永久的不溶性，以對抗高相對溼度所帶來之影響。

5. 由天然再生資源製造可噴塗，可應用於Flakeboards、Waferboards、Strand-board等室外等級產品之膠合劑。

## 五、單寧系膠合劑

單寧為一微酸、具澀味、收斂性之植物成分之總稱，其化學組成分以多元酚



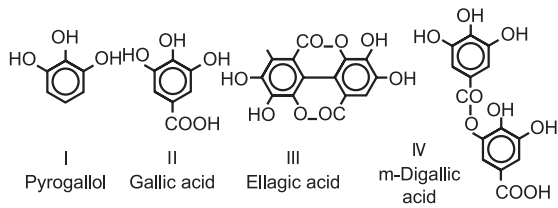


圖1 加水分解型單寧 (Pizzi)。

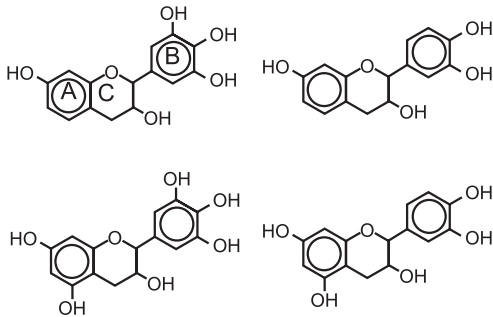


圖2 黃酮類單元體之化學結構 (Pizzi)。

(Polyhydroxyphenyl) 為基本骨架，為分子量約600~2,000之複雜構造之無定形酚類化合物；遇蛋白質會作用結合而沉澱成不溶於水之物質，並具有呈色作用。

單寧主要存在於樹皮中，部分木材亦含有，依其化學結構可區分為加水分解型單寧 (Hydrolysable tannin) 及縮合型單寧 (Condensed tannin) 兩大類。前者 (圖1) 由Gallic acid (沒食子酸； $C_6H_2(COOH)(OH)_3$ ) 等所形成之酯結構或配糖體結構，加水分解成沒食子酸及糖類。由於此類單寧與甲醛之反應性不足，無法直接做為膠合劑使用，多應用為膠合劑之添加物。

縮合型單寧則為 $C_6-C_3-C_6$ 之黃酮類單元體 (Flavonoid unit；A - C - B環) (圖2) 所構成之聚黃酮類化合物 (Polyflavonoid) (圖3)，為一多酚類化合物 (Polyphenol)，

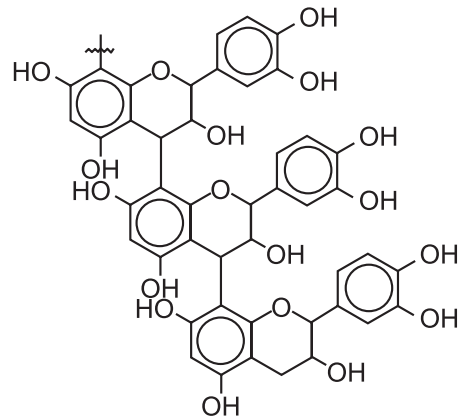


圖3 聚黃酮類化合物之化學構造 (Pizzi)。

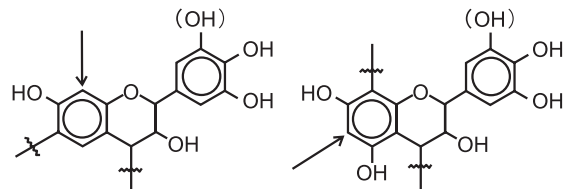


圖4 黃酮類化合物A環與甲醛之反應位置 (Pizzi)。

其單元體之連接數量由3至十多個均有，依樹種而定。黃酮類單元體之A環為間苯二酚或間苯三酚之構造，與甲醛具備高度反應性，應用為膠合劑主要利用此A環之反應性 (圖4)；而B環為鄰苯二酚或鄰苯三酚之構造，反應性不足，須在極強之反應條件下始與甲醛反應，但在此強烈之反應條件下，A環之反應性過大而無法控制，故一般未使其參與反應。縮合型單寧若依其A環之構造可區分為間苯二酚型單寧及間苯三酚型單寧，相思樹等之樹皮單寧為間苯二酚型單寧，松樹皮單寧則多為間苯三酚型單寧。

單寧應用於膠合劑製備時，可行之利用方式有3種：(1) 完全以單寧取代酚 (a法)；(2) 藉由酚 / 單寧 / 甲醛共聚合反應形成共

表1 樹皮抽出物中反應性酚含量

樹 種	反應性酚含量			
	對抽出物絕乾重 (%)		對樹皮絕乾重 (%)	
	熱水抽出物	1%NaOH抽出物	熱水抽出物	1%NaOH抽出物
相思樹	66.3	61.5	12.1	33.1
山黃麻	56.0	64.4	7.3	37.1
台灣泡桐	12.4	18.6	2.1	9.0
木油桐	51.4	44.9	7.4	21.1
杉木	21.6	57.3	1.2	19.7
台灣杉	13.8	30.4	1.3	8.5

聚合膠合劑（b法）；（3）將單寧加入PF或RF膠合劑之中（c法）。

其中a法之作業較簡單，但由於單寧之分子量大，在適合做為膠合劑之濃度時粘度過高，操作困難，添加甲醛（福馬林）後之膠液缺乏塗佈性、濕潤性及保存性，且可使用時間短，易發生膠化現象，又由於大分子之單寧在添加小分子之甲醛做為架橋連結劑時，易受單寧分子之立體障礙所限，使架橋不完整，完全硬化困難，膠合強度偏低，因此須加以變性以改善其性質；b法為常採用之方法，藉由酚的添加可有效降低粘度，並可在控制的反應條件下進行反應，形成共聚樹脂；c法則亦可視為利用PF或RF做為單寧之強化劑，藉由其長鏈狀之結構在單寧分子間形成鏈結，可克服因立體障礙所造成架橋不完整之問題，進而改善其膠合強度。

作者等人曾對台灣產相思樹、山黃麻、台灣泡桐、木油桐、杉木、台灣杉等樹種之樹皮抽出物應用於木材膠合劑可行性進行一

系列探討，表1為此6種樹種樹皮以熱水及1% NaOH萃取時，其抽出成分中可與甲醛反應之反應性酚物質含量，若以抽出物之絕乾重為基準，相思樹、山黃麻及木油桐樹皮抽出物中含大量可與甲醛反應之酚物質，杉木之鹼抽出物中亦達57.3%；若以樹皮絕乾重為基值，則山黃麻及相思樹樹皮中可與甲醛反應之酚物質含量分別佔37.1%及33.1%，若能有效利用此資源，對森林產物應用之拓展將有很大助益。

間苯二酚甲醛樹脂膠合劑（RF膠）為一高級之木材用膠，具有常溫硬化、中性硬化、膠合產品耐水性、耐候性優異等特性，且對膠合對象之適性高，可適用於高含水率木材膠合、木材與異質材料之膠合、防腐處理材之膠合等許多用途，長期以來即為木材工業，尤其集成材製造工業之重要用膠，然其價格昂貴，且硬化所需時間較長，若能有效降低其成本並縮短硬化時間，則對木材工業之發展將有莫大助益。表2為作者等人將相



表2 RF樹脂添加相思樹樹皮抽出物之膠合特性

性 質	RF/樹皮抽出物* (固形分重量比)					
	100 / 0	100 / 25	100 / 50	100 / 75	100 / 100	0 / 100
膠化時間 (min)	300	60	34	25	20	1,560
常態膠合強度 (kgf / cm <sup>2</sup> )	121.7 (100)	141 (100)	114.8 (100)	115.3 (87)	119.4 (93)	64.4 (0)
溫水浸水膠合強度 (kgf / cm <sup>2</sup> )	70.0 (100)	97.6 (100)	81.2 (85)	90.8 (77)	—	8.7 (0)
反覆煮沸浸水膠合強度 (kgf / cm <sup>2</sup> )	70.1 (100)	59.5 (98)	73.3 (84)	70.9 (62)	—	1.9 (0)

\*樹皮抽出物濃度：30%。

表3 酚 / 樹皮抽出物/甲醛共聚合樹脂之合板膠合強度

樹 種	常態膠合強度 (kgf / cm <sup>2</sup> )	溫水浸水膠合強度 (kgf / cm <sup>2</sup> )	反覆煮沸浸水膠合強度 (kgf / cm <sup>2</sup> )
相思樹	15.9	8.7	10.2
山黃麻	15.0	14.0	13.3
台灣泡桐	10.0	6.9	4.3
木油桐	12.9	10.5	9.6
杉木	13.9	11.4	9.9
台灣杉	13.5	8.6	9.2
PF	12.7	7.4	7.8

\*合成時酚使用量之40%以樹皮抽出物取代，酚/樹皮抽出物重量比為3/2。

思樹樹皮之鹼抽出物應用於RF膠之實用例，由表2可知單獨利用樹皮抽出物做為膠合劑時，硬化困難（膠化時間達1天以上），且膠合強度偏低，然將其添加至傳統RF膠則對其性能有非常明顯之改善效益，傳統RF膠（100 / 0）所需之膠化時間約300 min，一般使用上在添加硬化劑聚甲醛後須等待1~2小時始能進行佈膠作業，然添加重量比25%之樹皮抽出物（100 / 25）後其膠化時間即可

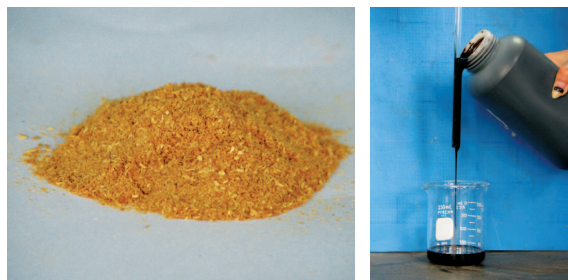
大幅縮短至60 min，在添加比100 / 100時其常態膠合強度與傳統RF膠相當，在添加比100 / 75時其反覆煮沸浸水之膠合強度亦不遜於傳統RF膠。表3則在酚甲醛樹脂膠合劑（PF膠）合成時加入樹皮抽出物進行共聚合反應，再將所得共聚合樹脂應用於合板膠合，由表3可見除台灣泡桐外，其餘樹種之樹皮抽出物所製造之共聚合樹脂之膠合強度均優於PF樹脂。

## 六、液化木材之應用

木材液化為將木材整體由固體型態轉換成液體型態的一種技術，1925年Fierz - David利用NiO為觸媒，在高壓氫氣之作用下將纖維素轉化成液體狀物及氣體（天然氣），並嘗試將其應用於燃料，自此有許多研究人員投入相關領域之研究。

木質材料之液化依其目的可區分為燃料的取得、糖的取得（酒精及糖的轉換）及化學原料的取得等三大類。其中若以化學原料之取得為主要目的時，則利用溶劑液化是一快速而有效的方法。1981年Miller首先嘗試將木質材料和酚及水混合，並以 $\text{ZnCl}_2$ 及Ni為觸媒，在氫氣或氮氣之高壓環境下以 $350^\circ\text{C}$ 加熱進行直接液化反應，其生成物中非酚物質的75%為8種不同種類的化合物所組成。1985年白石等以酚為溶劑，利用高壓釜在 $250^\circ\text{C}$ 液化木粉。此法較Miller所採用之溫度降低了 $100^\circ\text{C}$ 。然此類高溫、高壓之液化方法不但需要特殊設備，且耗費能源，液化收率有限，致使其實用性受到很大的限制。

Hesse及Jung等人（1882）年則嘗試利用無機酸為催化劑以降低液化反應所需之反應條件，其將木材於酚液體中以濃硫酸為催化劑進行液化，並於液化產物中加入六甲基四胺或環氧樹脂後做為成型材料或塗料樹脂。Shirashi等人（1992）利用乙二醇、丙二醇、丙三醇或聚乙二醇等醇類做為液化溶劑，在常壓、酸催化劑存在下，以 $150^\circ\text{C}$ 即可將木質纖維素幾乎完全溶解。至此，透過無機酸為催化劑，使木質材料之液化反應可以在常



照片1 柳杉木材液化前後之外觀圖。

壓、較低溫（ $110\sim 150^\circ\text{C}$ ）之條件下完成。

目前對木材液化處理之探討主要有兩種溶劑系統，一為以酚（Phenol）做為溶劑，另一則以多元醇（Polyhydric alcohol；Polyol）做為溶劑；此二液化系統均利用酸做為反應之催化劑，此酸的存在有助於木質纖維素之加水分解，降低其分子量，再進一步與所採用之溶劑形成衍生物之構造，並溶解於多餘之溶劑中而形成液體型態。照片1為柳杉木材液化前後之外觀圖，經液化處理後之柳杉木材形成深褐色之黏稠狀液體。

近年來對其液化機制之相關文獻亦陸續可見，其中諸如Yamada等人曾推論纖維素在乙二醇液體中以酸為催化劑之液化作用，其認為纖維素先降解成葡萄糖，在高溫及酸性之反應系統下，此葡萄糖進一步轉變成羥甲基呋喃醛（Hydroxymethylfurfural），再轉變成乙醯丙酸（Levulinic acid， $\text{CH}_3 - \text{CO} - (\text{CH}_2)_2 - \text{COOH}$ ），進而與乙二醇作用形成酯結合。然亦可能為纖維素降解並和乙二醇作用形成EG - glucose配糖體，隨反應時間延長，此配糖體分解而形成levulinic acid EG ester。Ono等人亦曾探討纖維素在酚液體中之液化機制，亦認為降解





表4 樹皮及木材之酚液化效果

部位	樹種	催化劑		液化條件		殘渣率 (%)
		樹種	添加量 (%)	溫度 (°C)	時間 (min)	
樹皮	相思樹	HCl	10	150	60	57.6
	杉木	HCl	10	150	60	63.1
	相思樹	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	150	60	16.0
	杉木	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	150	60	31.5
木材	相思樹	HCl	10	110	60	2.4
	杉木	HCl	10	110	60	0.6
	相思樹	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	130	60	2.4
	杉木	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	130	60	0.2

\*液比：3/1。

之纖維素將與酚結合而形成衍生物，亦可能形成羥甲基呋喃醛再與酚結合，此產物可進一步與甲醛進行反應。

此兩類溶劑所液化木材主要應用於合成樹脂之製造，其中以酚為溶劑所獲得之液化產物可進一步與甲醛反應而應用於Novolac或Resol等型態酚樹脂之製備。表4為作者以酚為溶劑，硫酸及鹽酸為催化劑，在液比3 / 1之條件下對相思樹及杉木之樹皮及木材進行液化處理所得結果，由表4中未溶解木質材料之殘渣率可知，在酸催化劑存在下，酚液體對木材具有良好之液化效果，經加熱60 min後幾乎完全呈液體態，樹皮則液化較困難。表5為利用酚液化木材為原料所合成PF樹脂之合板膠合強度，其中以木材為原料，鹽酸為催化劑之液化木材所合成PF樹脂之反覆煮沸浸水膠合強度遠大於一類合板之要求標準。

而以多元醇為溶劑之液化產物則可與異

表5 酚液化樹皮及木材製備PF樹脂之合板膠合強度

部位	樹種	催化劑	常態膠合 強度	溫水浸水 膠合強度	反覆煮沸浸水 膠合強度
			(kgf / cm <sup>2</sup> )	(kgf / cm <sup>2</sup> )	(kgf / cm <sup>2</sup> )
樹皮	相思樹	HCl	9.4	5.3	3.7
	杉木	HCl	15.0	16.5	12.2
	相思樹	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8.9	6.3	4.3
	杉木	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8.8	8.6	6.0
木材	相思樹	HCl	15.7	12.9	11.2
	杉木	HCl	20.2	16.1	13.9
	相思樹	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12.9	13.4	9.6
	杉木	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	13.4	10.0	8.2



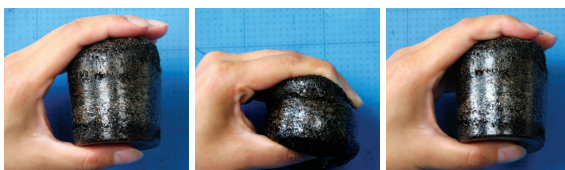
照片2 PEG液化柳杉所製造PU發泡體。

氰酸鹽（Isocyanate）反應而用於聚胺基甲酸酯樹脂（Polyurethane；PU）之製造，照片2為作者利用聚乙二醇（PEG - 400）為溶劑所液化之柳杉與PMDI（聚4，4 - 二甲苯





照片3 PEG液化柳杉為結合劑之低密度粒片板。



照片4 液化木材製造具備回彈性之PU發泡體。

二異氰酸酯)反應所製造之PU發泡體,照片3則進一步利用此液化木材所調配之PU樹脂為結合劑,並將其應用於低密度木質板材之製造;若選用適當之異氰酸鹽種類及調配條件則可進一步製造具備回彈性之發泡體(如照片4)。

## 七、結語

長期以來,人類文明及科技發展高度倚賴石油供應,然石油為一非再生性資源,終有耗盡之時;又石油主要為碳、氫、氧之組成物,原本深藏於地底,然將其開採利用後,部分碳將藉由各種型態轉化為 $\text{CO}_2$ ,造成地球表面大氣層中之 $\text{CO}_2$ 濃度提高,加劇大氣之溫室效應,進而導致全球之大氣變遷,此現象目前已備受全球各國高度重視;石油的減量利用亦因此成為21世紀人類最關注的焦點。植物為地球上蓄積量最豐富,且具備再生性特質之天然資源,在其成長過程中會消耗大氣中之 $\text{CO}_2$ ,並將其轉化為構成植物體的一要素,因此具備最佳之固碳效果;若能將其轉化成液體型態,則其應用領域將更廣汎而有效,並可取代部分石化原料之應用,此不但可拓展森林產物之利用途徑,在石油短缺之未來更可做為石油之最佳替代資源。🌱

(圖片/高遠文化)