

不同調配條件液化木材/異氰酸酯製作 低密度粒片板之性質

李文昭¹ 林孟萱² 陳奕君^{3*}

(收件日期：民國105年2月15日、接受日期：民國105年3月30日)

【摘要】本研究將杉木(*Cunninghamia lanceolata*; China fir)及相思樹(*Acacia confusa*; Taiwan acacia)木材以聚乙二醇/丙三醇(PEG/Glycerol)混合液為溶劑， H_2SO_4 為催化劑，以 $150^\circ C$ 加熱90 min進行液化處理。所得液化木材與PMDI、Desmodur L及Desmodur N三種異氰酸酯在NCO/(COOH+OH)官能基莫耳數比1.0/1、1.5/1及2.0/1條件下調配聚胺基甲酸酯樹脂(Polyurethane resins; PU)。進一步則將此PU樹脂與木材粒片混合製作低密度粒片板，並探討木材粒片/PU樹脂重量比及發泡劑添加量對所製作粒片板性質之影響。由結果得知，以液化相思樹為多元醇原料所製作粒片板之性質優於以液化杉木為原料者。不同種類異氰酸酯比較，以Desmodur L為原料者有較高內聚強度，較低吸水厚度膨脹率。以PMDI為原料者有較低之吸水率及厚度膨脹率。隨NCO/(COOH+OH)官能基莫耳數比增加，粒片板之內聚強度提高。發泡劑之適當添加量則依異氰酸酯種類而異，以PMDI為原料者添加量5%最佳；以Desmodur L為原料者，隨發泡劑添加量增加，粒片板性質提升；而以Desmodur N為原料者則隨發泡劑添加量增加，其粒片板之性質降低。

【關鍵詞】液化木材、異氰酸酯、低密度粒片板、多元醇、聚胺基甲酸酯樹脂

PROPERTIES OF LOW DENSITY PARTICLEBOARDS MADE BY LIQUEFIED WOOD/ISOCYANATE WITH DIFFERENT PREPARING CONDITIONS

Wen-Jau Lee¹ Meng-Shinan Lin² Yi-Chun Chen^{3*}

(Received: February 15, 2016; Accepted: March 30, 2016)

【Abstract】 Woods of *Cunninghamia lanceolata* (China fir) and *Acacia confusa* (Taiwan acacia) were liquefied in PEG-glycerol co-solvent with H_2SO_4 as catalyst under $150^\circ C$ for 90 min. Polyurethane resins were prepared by blending liquefied wood with isocyanate, such as PMDI,

¹ 國立中興大學森林學系教授。40227 台中市南區國光路250號

Professor, Department of Forestry, National Chung-Hsing University, 250, Kuo Kuang Road Taichung, 40227 Taiwan, ROC.

² 國立中興大學森林學系碩士，40227 台中市南區國光路250號

Master, Department of Forestry, National Chung-Hsing University, 250, Kuo Kuang Road Taichung, 40227 Taiwan, ROC.

^{3*} 國立中興大學森林學系助理教授。40227 台中市南區國光路250號。通訊作者

Assistant professor, Department of Forestry, National Chung-Hsing University, 250, Kuo Kuang Road Taichung, 40227 Taiwan, ROC.
Corresponding Author. E-mail: chenyc@dragon.nchu.edu.tw

Desmodur L and Desmodur N, with the molar ratio of functional group of NCO/(COOH+OH) as 1.0/1, 1.5/1 and 2.0/1. These PU resins were mixed with wood particles to made low density particleboards. Effects of the weight ratio of wood particle to PU resin used and the dosage of foaming agent added on the properties of particleboard was also investigated. Results showed that particleboards made with liquefied Taiwan acacia as the raw material of polyol had the properties better than that with liquefied China fir. Comparison among different isocyanates, particleboards made with Desmodur L as raw material had higher internal bonding strength and lower thickness swelling. Particleboards made with PMDI had lower water absorption rate and thickness swelling. Increasing the molar ratio of NCO/(COOH+OH), the internal bonding strength of particleboard increased. The optimum amount of foaming agent was depended on the kind of isocyanate. When PMDI was used as the isocyanate, 5% of foaming agent was the best suitable. While the particleboards were made with Desmodur L, the performance of particleboards improved when the dosage of foaming agent increased. However, increasing the dosage of foaming agent, the properties of particleboard decreased for that made with Desmodur N as raw material.

[Key words] Liquefied wood, Isocyanate, Low density particleboards, Polyhydric alcohol, Polyurethane resins.

I、前言

粒片板(Particleboards)為將木材磨切成細小片狀或塊狀，再經上膠、熱壓而成之板狀結構，常用之膠合劑為尿素膠和酚膠，製造時多採用較低密度之木材原料，其緊密度(粒片板密度與木材原料密度之比)約1.2~1.6之間使木材粒片間能緊密接觸以獲得良好之膠合效果。若緊密度過低，粒片與粒片之間將無法緊密結合，則粒片間之膠合效果不佳，所製造粒片板結構將鬆散而無足夠之強度，故採用傳統膠合劑不易製作低密度粒片板，其成板密度多設定在0.5~0.8 g/cm³。

異氰酸酯(Isocyanate)為一高化學活性之化合物，易與含活性氫之物質反應，將其做為粒片板之膠合劑時，可與木材組成分，如纖維素、半纖維素及木質素等之羥基反應而形成胺基甲酸酯鍵結。Toffey和Glasser (1997)曾探討異氰酸酯與木質素及

纖維素衍生物之反應特性，其結果指出異氰酸酯之NCO基可與生物質高分子之OH基發生架橋反應。Umemura and kawai(2000); Umemura *et al.*(1999)利用4,4'-二苯甲烷二異氰酸酯之寡聚合物(PMDI)與多元醇混合調配PU樹脂，並指出此樹脂可應用於木材膠合。Tohmura等人(2005)則指出多元醇液化木材與PMDI所調配之PU樹脂可應用於合板膠合。Badri等人(2006)則利用椰子油與PMDI混合調配木材用膠合劑。Lee和Lin (2008)曾利用液化木材與PMDI、Desmodur L和 Desmodur N等異氰酸酯混合調配PU樹脂，其結果亦指出利用液化木材為多元醇原料之PU樹脂可應用於木材膠合，且有良好之膠合效果。

由於異氰酸酯之NCO基亦可與水分子反應形成-NH₂及CO₂，此一級胺可進一步與其他NCO基反應形成尿素結構，而CO₂則在其聚合過程形成泡體而出現發泡現象。將其應用於粒片板製造時，若使其產生足夠

之氣體，則可藉所產生的氣泡擠壓粒片，使在低緊密度條件下亦可製作低密度粒片板。Kawai *et al.* (1985); Kawai and Sasaki (1986)曾以異氰酸酯做為膠合劑製造低密度粒片板，其結果指出所製作之粒片板具有良好之靜曲強度、內聚強度及尺寸安定性，並認為製板時採用之熱壓壓力和時間會對粒片板的密度剖面和部分物理性質造成影響。Milota及Wilson (1985)亦曾將異氰酸酯與多元醇混合做為粒片板製造時之膠合劑。Kawasaki等人(1998)曾以發泡型(Foam-type)異氰酸酯做為膠合劑製備超低密度纖維板(Ultra-low-density fiberboard)，所得之纖維板具有良好的尺寸安定性和機械性質，且具備卓越的隔熱和隔音性。

李文昭和林孟萱(2014)曾利用液化杉木與PMDI、Desmodur L及Desmodur N等異氰酸酯在NCO/(COOH+OH)官能基莫耳數比1.5條件下混合調配PU樹脂，並添加水為發泡劑，探討將其應用於低密度粒片板製作時之最適熱壓條件。本研究則將進一步探討以液化木材為基質之PU樹脂調配時，NCO/(COOH+OH)之莫耳數比及發泡劑添加量等因素對所製作低密度粒片板性質之影響。

II、材料與方法

(I) 試驗材料

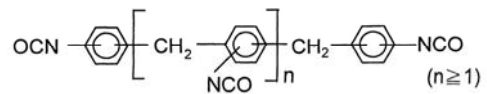
1. 木質材料：相思樹 (*Acacia confusa*; Taiwan acacia)，採自台中縣大肚山脈，樹齡約20~30年生，木材液化用。杉木 (*Cunninghamia lanceolata*; China fir)，採自中興大學惠蓀實驗林場，

樹齡約25~35年生，木材液化用。麻六甲合歡 (*Albizia falcataria*, Malacca albizzia)，採自中興大學新化林場第一林班之疏伐木，胸徑20~30 cm，樹高10~20 m；粒片板製造用粒片原料，比重約0.36。

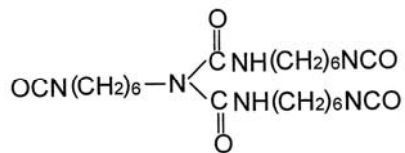
2. 化學藥品：聚乙二醇(Polyethylene glycol; PEG; 分子量400)、丙三醇(Glycerol)、硫酸(Sulfuric acid; H_2SO_4)、有機矽氧烷(Organosiloxane, 矽酮界面活性劑)、二月桂酸二丁基錫(Dibutyl tin dilaurate; DBTDL)。

3. 異氰酸酯

PMDI：芳香族異氰酸酯，屬於4,4'-二苯甲烷二異氰酸酯(4,4'-Diphenylmethane diisocyanate; MDI)之異構物低聚合物，其NCO含量28.19% (實驗室自行測定)，結構式如下：

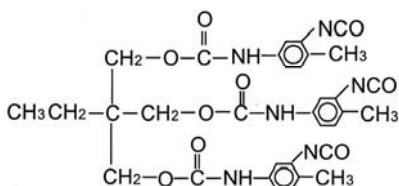


Desmodur N：1,6-六亞甲基-二異氰酸酯(Hexamethylene diisocyanate; HDI)之三聚物，固形分100%，比重1.12，黏度 9000 ± 2000 cps，游離HDI<3%，NCO含量20.59%，結構式如下：



Desmodur L：甲苯二異氰酸酯(Toluene diisocyanate; 2,4-TDI)與三羥甲醇丙烷(Trimethylol propane)之加合物

(Adduct)，固形分 $75 \pm 1\%$ ，比重1.17，黏度為 2000 ± 500 cps，游離TDI單體最大值為0.5%，NCO含量12.15%，結構式如下：



(II) 木材之液化處理

取粒徑小於20 mesh之相思樹及杉木木粉於 60°C 之真空烘箱中乾燥24 h以除去水分，液化處理時以PEG-Glycerol混合液(重量比9/1)為液化藥劑，並添加液化藥劑重3%之 H_2SO_4 為催化劑，液化藥劑/木粉重量比為3/1，並以 150°C 加熱反應90 min。所得液化木材測定殘渣率、不揮發分、黏度、摺價、酸價。(李文昭、林孟萱，2009)

(III) PU樹脂調配

以液化木材為多元醇原料，PMDI、Desmodur L及Desmodur N為異氰酸酯原料，異氰酸酯與液化木材之NCO/(COOH+OH)官能基莫耳數比(以下簡稱為R)設定為1.0、1.5及2.0，並以液化木材重為基準，添加有機矽氧烷為界面活性劑，水為發泡劑，二月桂酸二丁基錫為催化劑。

(IV) 粒片板製造

以麻六甲合歡為粒片原料，設定成板密度 0.35 g/cm^3 ，成板尺寸為 $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 1.2 \text{ cm}$ ，木材粒片與PU樹脂重量比100/100。製板時先取計算量液化木材、界面活性劑、催化劑和發泡劑攪拌使混合均勻，隨後加入計算量異氰酸酯使混合均

勻。將混合物以手工撒佈成板坯，以平板式熱壓機熱壓，熱壓溫度 100°C ，熱壓時間5 min，熱壓壓力為 15 kgf/cm^2 ，成板於室溫下放置三天後進行性質測試。另以木材粒片與PU樹脂重量比100/50及100/30之條件製板進行比較。

(V) 粒片板性質測定

1. 密度：依據CNS 2215號標準，試片尺寸 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 1.2 \text{ cm}$ ，測量長、寬、厚及質量，計算氣乾密度，樣品數為3重複。
2. 含水率：試片尺寸 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 1.2 \text{ cm}$ ，測定試片之質量 W_a ，將其置入 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 之烘箱加熱乾燥至恆重，再測定其絕乾質量(W_o)，含水率(%) = $(W_a - W_o) / W_o \times 100$ 。樣品數為3重複。
3. 尺寸安定性：先測量試片質量(m_1)及試片中央部位厚度(t_1)，將試體水平放置離水面下3 cm位置，水溫控制於 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ，浸漬24 h後取出並拭其表面水分，測量其浸水後質量(m_2)及厚度(t_2)，吸水率(%) = $(m_2 - m_1) / m_1 \times 100$ ，厚度膨脹率(%) = $(t_2 - t_1) / t_1 \times 100$ 。樣品數為3重複。
4. 內聚強度：依照CNS 2215標準，試片尺寸 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 1.2 \text{ cm}$ ，將試片以熱熔膠粘著於鋼製砧板，以木材強度試驗機(Shimadzu UEH-10)於板面垂直方向以 2 mm/min 之拉伸速度施加載重，測定剝離破壞時之最大載重，並依下式計算內聚強度(MPa) = $P / (a \times b)$ ；P：剝離破壞時之最大載重(N)， $a \times b$ ：試片面積(mm^2)。樣品數為3重複。

III、結果與討論

(I) 液化木材之性質

表1為兩種液化木材之性質，液化杉木及液化相思樹中未液化之木材殘渣率分別為1.59%及4.75%，粘度分別為1370 cps及5900 cps，顯示杉木之液化較完全，殘渣率及粘度較低。將液化木材做為PU樹脂原料

表1 液化木材之基本性質

Table 1 Basic properties of liquefied wood

| 樹種 | 殘渣率 (%) | 不揮發分 (%) | 黏度 (cps) | 酸價 (mg-KOH/g) | 羥價 (mg-KOH/g) |
|-----|---------|----------|----------|---------------|---------------|
| 相思樹 | 4.8 | 46.7 | 5900 | 25.6 | 310 |
| 杉木 | 1.6 | 36.0 | 1370 | 38.0 | 287 |

(II) NCO/(OH+COOH)莫耳數比對粒片板性質之影響

李文昭和林孟萱(2014)曾利用液化杉木與PMDI、Desmodur L及Desmodur N等三種異氰酸酯在R值1.5條件下混合調配PU樹脂，並探討將其應用於低密度粒片板製造時之熱壓條件。本研究則進一步以液化杉木及液化相思樹為多元醇原料調配PU樹脂，探討PU樹脂之R值及發泡劑添加量對所製作低密度粒片板性質之影響。表2、表3及表4分別為液化木材與PMDI、Desmodur L及Desmodur N等三種異氰酸酯在R值1.0、1.5及2.0條件下所製作低密度粒片板之性質。

表2為利用PMDI為異氰酸酯原料，液化杉木及液化相思樹為多元醇原料所製作低密度粒片板之性質，其中PU樹脂調配時分別添加液化木材重2%及3%之有機矽氧烷及水為界面活性劑及發泡劑，製板時採用

時，主要利用液化溶劑及液化木材中之羟基與異氰酸酯之NCO基反應形成聚胺基甲酸酯結構，並進一步三次元網狀結構化而硬化。兩種液化木材比較，液化杉木之羥價較低，此可能為杉木之液化效果較好，液化藥劑之多元醇和杉木之間發生較多醇解作用而導致羥價較低。

木材粒片/PU樹脂重量比100/100。李文昭和林孟萱(2009)曾探討利用液化杉木及液化相思樹為原料所製作PU樹脂薄膜之機械性質，其中以液化相思樹為原料者之薄膜力學強度優於以液化杉木為原料者。比較兩種液化原料，林孟萱和李文昭(2014)以熱分析方式證明液化杉木為原料者與異氰酸酯有較高之反應性，反應初期放熱速率較快，又Pérez等人(2011)曾指出熱硬化型樹脂在過快速的膠化反應條件下，過早形成之局部三次元結構將妨礙進一步架橋反應之進行，並殘留部分未反應或低架橋程度結構物，因此推論因此以液化相思樹為原料者優於杉木者。本研究兩種液化木材為多元醇原料所製作粒片板之性質比較，在R值1.0和1.5條件下，以液化相思樹為原料者有較高之內聚強度，較小之吸水厚度膨脹率，顯示在較此R值條件下，液化相思樹與PMDI有較佳之反應性而使其粒片板有較佳

之性質。然R值提高至2.0時，則以液化杉木為原料者有較佳之成板性質，其內聚強度較高，吸水厚度膨脹率較小。

進一步比較PU樹脂之R值對所製作粒片板性質之影響，其中以液化杉木為多元醇原料所者，隨R值提高，粒片板之內聚強度增加，浸水之厚度膨脹率降低。此乃因R值較高者，較多的異氰酸酯添加量促使PU樹脂之架橋結構較完整，並可能與木材粒片產生化學鍵結(Toffey and Glasser, 1997)，故內聚強度提高，厚度膨脹率下降。而以

液化相思樹為原料者，當R值由1.0提高為1.5時，其內聚強度增加，厚度膨脹率降低。但R值再提高為2.0時，其內聚強度反而降低。Lee和Lin (2008) 曾指出在R值大於1.0條件下，隨R值提高，PU樹脂所需之膠化時間延長，且在R值2.0時，過量的異氰酸酯與液化相思樹之反應速度較其與液化杉木之反應速度慢。此過慢之膠化速度可能造成NCO與水反應產生之CO₂逸散，導致粒片板中粒片之間的結合之緊密度較低，並使其內聚強度下降。

表2 不同R值液化木材-PMDI製作粒片板之性質¹

Table 2 Properties of particleboard made by liquefied wood-PMDI with different R values

| 液化木材種類 | R ² | 含水率 (%) | 內聚強度 (MPa) | 吸水率 (%) | 厚度膨脹率 (%) |
|--------|----------------|---------|------------|------------|-----------|
| 杉木 | 1.0 | 8.1 | 0.20±0.07 | 72.6±7.9 | 3.4±0.4 |
| 杉木 | 1.5 | 7.3 | 0.37±0.15 | 75.8±8.6 | 2.3±0.5 |
| 杉木 | 2.0 | 6.4 | 0.47±0.09 | 47.3±2.5 | 2.0±0.3 |
| 相思樹 | 1.0 | 8.0 | 0.37±0.05 | 73.6±12.8 | 2.3±0.1 |
| 相思樹 | 1.5 | 7.2 | 0.45±0.14 | 91.3±21.2 | 2.2±0.2 |
| 相思樹 | 2.0 | 7.4 | 0.34±0.08 | 109.4±10.5 | 2.2±0.4 |

¹ 界面活性劑添加量2%、發泡劑添加量3%，未添加催化劑；木材粒片/PU樹脂(w/w)= 100/100。

² R：NCO/(OH+COOH)官能基莫耳數比。

³ n=3

表3為異氰酸酯Desmodur L與液化杉木及液化相思樹在三種R值條件下所製作粒片板之性質。由表可知，在相同R值條件下，以液化相思樹為多元醇原料者之內聚強度皆大於以液化杉木為原料者，浸水厚度膨脹率則較低，顯示以液化相思樹為原料之PU樹脂所製造粒片板其性質優於以液化杉木為原料者。又由表可知兩種液化木材所調配之PU樹脂在R值為2.0時，其粒片板之內聚強度較大，厚度膨脹率較低，顯示較

多的Desmodur L 可促進PU樹脂之架橋程度，增進其機械強度，且水分子較不易破壞其架橋結構之聚合物，故有較佳之粒片板尺寸安定性。

表4為兩種液化木材與Desmodur N所調配PU樹脂在三種R值條件下所製作粒片板之性質，其中以液化相思樹為多元醇原料者之內聚強度略大於以液化杉木為原料者，但差異不大，此可能因Desmodur N之反應性較低，故液化木材種類之影響較不

表3 不同R值液化木材-Desmodur L製作粒片板之性質¹

Table 3 Properties of particleboard made by liquefied wood-Desmodur L with different R values

| 液化木材 | R ² | 含水率 (%) | 內聚強度 (MPa) | 吸水率 (%) | 厚度膨脹率 (%) |
|------|----------------|---------|------------|------------|-----------|
| 杉木 | 1.0 | 8.3 | 0.40±0.09 | 114.7±12.1 | 2.9±0.3 |
| 杉木 | 1.5 | 6.5 | 0.36±0.15 | 166.1±12.2 | 2.6±0.7 |
| 杉木 | 2.0 | 7.2 | 0.44±0.04 | 138.2±15.7 | 2.2±1.0 |
| 相思樹 | 1.0 | 7.7 | 0.45±0.11 | 117.7±19.8 | 2.2±0.5 |
| 相思樹 | 1.5 | 7.6 | 0.54±0.10 | 135.5±5.5 | 2.4±0.6 |
| 相思樹 | 2.0 | 7.2 | 0.55±0.04 | 136.6±10.3 | 2.1±0.3 |

¹ 界面活性劑添加量2%、發泡劑添加量3%，未添加催化劑；木材粒片/PU樹脂(w/w)= 100/100。

² R：NCO/(OH+COOH)官能基莫耳數比。

³ n=3

表4 不同R值液化木材-Desmodur N製作粒片板之性質¹

Table 4 Properties of particleboard made by liquefied wood-Desmodur N with different R values

| 液化木材 | R ² | 含水率 (%) | 內聚強度 (MPa) | 吸水率 (%) | 厚度膨脹率 (%) |
|------|----------------|---------|------------|------------|-----------|
| 杉木 | 1.0 | 9.1 | 0.17±0.02 | 105.3±9.1 | 5.1±1.0 |
| 杉木 | 1.5 | 7.3 | 0.31±0.08 | 73.4±10.7 | 4.8±0.9 |
| 杉木 | 2.0 | 7.0 | 0.35±0.04 | 104.0±10.8 | 4.9±0.9 |
| 相思樹 | 1.0 | 8.4 | 0.20±0.06 | 120.6±31.3 | 3.8±0.6 |
| 相思樹 | 1.5 | 7.9 | 0.32±0.06 | 115.0±17.4 | 4.3±0.8 |
| 相思樹 | 2.0 | 7.4 | 0.35±0.09 | 93.9±17.1 | 3.5±0.5 |

¹ 界面活性劑添加量2%、發泡劑添加量3%，催化劑添加量1%；木材粒片/PU樹脂(w/w)= 100/100。

² R：NCO/(OH+COOH)官能基莫耳數比。

³ n=3

顯著，而其粒片板之浸水厚度膨脹率則以液化相思樹為原料者較低。而PU樹脂之R值對粒片板性質之影響則較為明顯，當R值為1.0時，以液化相思樹和液化杉木為多元醇原料者之內聚強度皆偏低，但R值增加至1.5時，粒片板之內聚強度明顯提高。此乃因Desmodur N為原料PU樹脂本身之強度較低(李文昭和林孟萱；2009)，故採用較大的R值可以有效增加PU樹脂之架橋程度，進而提高粒片板之內聚強度。由表中結果可

知，液化木材與Desmodur N所調配PU樹脂應用於低密度粒片板製作時，其PU樹脂之R值宜設定在1.5以上。

(III) 異氰酸酯種類對成板性質之影響

由前述結果可知，不同異氰酸酯原料之PU樹脂所製作粒片板有不同之性質表現。圖1進一步比較三種不同異氰酸酯與液化相思樹所調配PU樹脂對粒片板性質之影響。以PMDI和Desmodur L為原料之PU樹脂所製作粒片板之成板密度低於設定

密度(0.35 g/cm³)，而以Desmodur N為原料者則與設定密度相同。此乃因以PMDI和Desmodur L為原料者之反應性和發泡性較Desmodur N佳 (李文昭、張嘉方，2007a)，故在成板過程中粒片原料易隨發泡之PU樹脂向外擴展，導致其成板密度低於設定密度。比較三種異氰酸酯對粒片板內聚強度之影響，在R值為1.0及1.5時，以Desmodur L及PMDI為原料者有較大之內聚強度，Desmodur N者較低。此乃由於以Desmodur L和PMDI兩種異氰酸酯為原料者其分子結構中具有剛性大的苯環結構，且反應性較高，粒片之間結合效果較佳，故內聚強度

較大。而Desmodur N則為較柔軟之脂肪族異氰酸酯，且反應性較低，故內聚強度較小。而R值為2.0時，以PMDI為原料者內聚強度降低，此可能因PMDI之反應性強，發泡迅速，在較多PMDI存在下，迅速產生之過量CO₂破壞尚未完全架橋硬化之泡體結構，致其粒片板之內聚強度下降。

比較三種異氰酸酯為原料PU樹脂所製作粒片板之吸水率，在R值1.0及1.5之條件下，粒片板之吸水率皆以PMDI為原料者最低，以Desmodur L及Desmodur N為原料者則偏高，此可能因PMDI之發泡性較佳且形成較多封閉型泡孔，使水分不易進

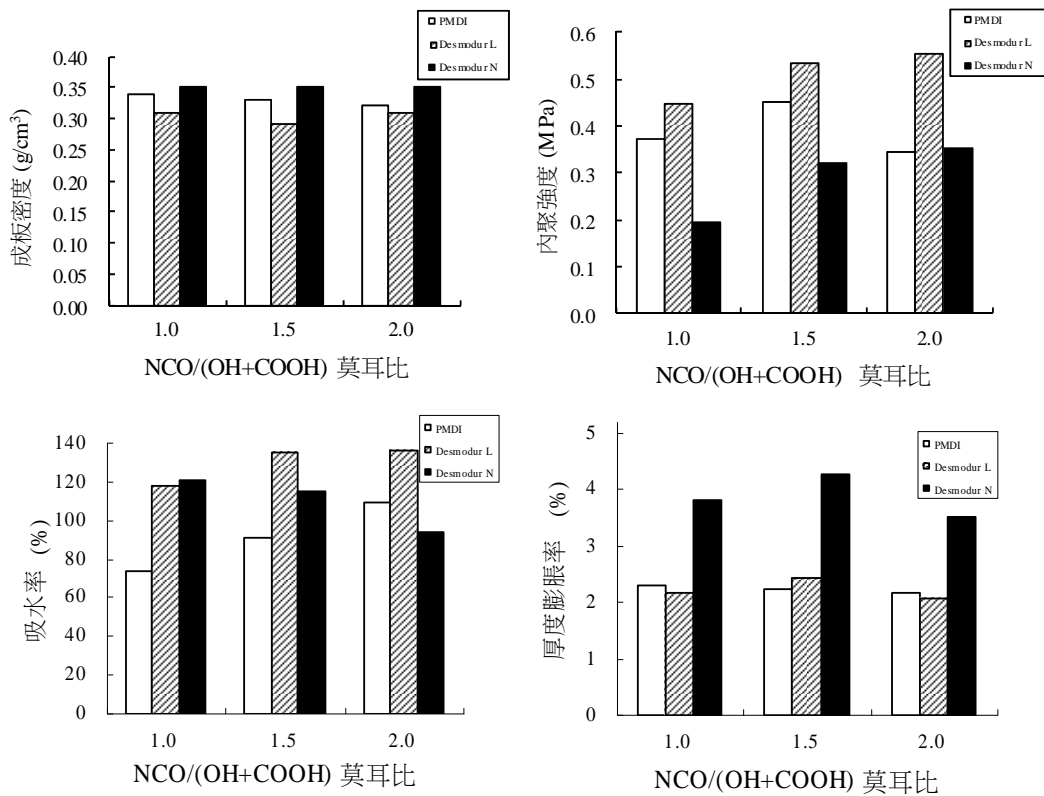


圖1 不同異氰酸酯種類粒片板之性質；液化相思樹，木材粒片/PU樹脂(w/w) = 100/100。

Fig. 1 Properties of particleboard made with different isocyanates; Liquefied Taiwan acacia, weight ratios of wood particle/PU resin (w/w) = 100/100.

入板材內部，因此其密度雖較低，但吸水率亦低。而Desmodur L和Desmodur N之反應性較PMDI低，且發泡效果差，所形成之泡孔不完整，且板材內部存在許多不規則之大泡孔，致使水分容易進入其中。而Desmodur L與Desmodur N比較，Desmodur N之吸水率低於Desmodur L者，此可能因Desmodur N之密度高，故其粒片板內部之孔隙量較低，可容許之水分進入體積較少所致。三種不同異氰酸酯為原料所製作粒片板之厚度膨脹率則與其內聚強度有關，內聚強度較高者具有較低之厚度膨脹率。此乃因粒片板之內聚強度較高者，粒片和粒片間之結合較緊密，進入板材內部之水分不容易使粒片分離而產生板材膨脹，其中以Desmodur N為原料者，因其內聚強度低，粒片之間結合性差，故進入板材之水分易使產生膨脹，故其厚度膨脹率為最

高。

(IV) 發泡劑添加量對粒片板性質之影響

由於低密度粒片板製作時主要利用PU樹脂產生木材粒片間之結合力，並利用異氰酸酯與水反應產生CO₂之氣體壓力使樹脂與木材粒片充分接觸。表5進一步比較發泡劑添加量對所製作粒片板性質之影響，其中以PMDI為PU樹脂原料者隨發泡劑添加量增加，粒片板之內聚強度提高，在發泡劑添加量5%時有最大內聚強度。然發泡劑添加量提高至10%，其內聚強度下降，且吸水率及厚度膨脹率增加。此可能因PMDI為原料者發泡性高 (李文昭、張嘉方，2007b)，在5%發泡劑添加量條件下，其內部結構已有足夠之緊密性，過量之發泡劑反而因過多之氣泡所產生之壓力而破壞其板材內部結構，致粒片板之性質降低。而以Desmodur L為異氰酸酯原料者之發泡

表5 不同發泡劑添加量粒片板之性質¹

Table 5 Properties of particleboard made with different foaming agent rate

| 異氰酸酯 | 發泡劑 (%) | 含水率 (%) | 內聚強度 (MPa) | 吸水率 (%) | 厚度膨脹率 (%) |
|------------|---------|---------|------------|------------|-----------|
| PMDI | 0 | 6.7 | 0.11±0.04 | 74.6±0.5 | 2.5±0.3 |
| PMDI | 3 | 7.3 | 0.37±0.15 | 75.8±8.6 | 2.3±0.5 |
| PMDI | 5 | 8.8 | 0.42±0.05 | 53.3±7.5 | 1.7±0.2 |
| PMDI | 10 | 7.4 | 0.32±0.08 | 86.5±12.9 | 2.0±1.0 |
| Desmodur L | 3 | 6.5 | 0.36±0.15 | 166.1±12.2 | 2.6±0.7 |
| Desmodur L | 5 | 8.3 | 0.49±0.05 | 126.7±5.6 | 1.8±0.6 |
| Desmodur L | 10 | 8.2 | 0.59±0.07 | 116.9±6.8 | 1.6±0.2 |
| Desmodur N | 3 | 7.3 | 0.31±0.08 | 73.4±10.7 | 4.8±0.9 |
| Desmodur N | 5 | 7.1 | 0.28±0.03 | 107.0±18.8 | 4.5±1.0 |
| Desmodur N | 10 | 7.2 | 0.27±0.06 | 126.0±15.7 | 5.1±0.7 |

¹ 液化杉木，R=1.5，界面活性劑添加量2%，PMDI及Desmodur L未添加催化劑，Desmodur N催化劑添加量1%；木材粒片/PU樹脂(w/w)=100/100。

² n=3

性較低，增加發泡劑添加量可促進其發泡效果，增加粒片間結合之緊密度，故其粒片板之內聚強度隨發泡劑添加量增加而提高；且浸水時水分不易進入板材內部，故浸水時之吸水率和厚度膨脹率均隨發泡劑添加量增加而降低，尺寸安定性增高。然以Desmodur N為異氰酸酯原料者，隨發泡劑添加量增加，粒片板之內聚強度降低，浸水時之吸水率和厚度膨脹率增加。此可能因Desmodur N與液化木材之反應性較低，提高發泡劑添加量時，由於增加異氰酸酯與水之反應機會，但卻減少異氰酸酯與液化木材之反應，故造成粒片板之性質降低。

(V) 木材粒片/PU樹脂重量比對粒片板性質之影響

前述以PMDI為異氰酸酯原料之PU樹脂具備優異之發泡性，且所製作粒片板之尺寸安定性高，故進一步以PMDI為原料，改變粒片板製造時木材粒片/PU樹脂之重量比，期在較低的PU樹脂使用量條件下製作低密度粒片板。然由表6可知，在設定之製板密度條件下，粒片板之成板密度隨PU樹脂所佔比例減少而提高，此乃因減少PU樹脂比例將使其發泡性降低，在熱壓過程中板坯不易向外擴展，故有較高之成板密度，然所製作粒片板之內聚強度降低，可知減少PU樹脂比例將使粒片之間的結合度降低。而PU樹脂用量減少時，除粒片間之結合強度降低外，因粒片板中親水性之木質材料含量增加，故粒片板之吸水率和厚度膨脹率則明顯增大。

表6 不同木材粒片/PU樹脂重量比粒片板之性質¹

Table 6 Properties of particleboard made with different weight ratios of wood particle/PU resin

| 木材粒片/PU樹脂 (w/w) | 含水率 (%) | 內聚強度 (MPa) | 吸水率 (%) | 厚度膨脹率 (%) |
|--------------------|------------|---------------|------------|--------------|
| 100/100 | 7.3 | 0.37±0.15 | 75.8±8.6 | 2.3±0.5 |
| 100/50 | 7.2 | 0.16±0.07 | 152.0±7.7 | 5.2±0.6 |
| 100/30 | 7.4 | 0.21±0.03 | 163.2±14.6 | 7.3±0.7 |

¹ 液化杉木，PMDI，R=1.5，界面活性劑添加量2%，發泡劑添加量2%，未添加催化劑。

² n=3

IV、結論

本研究以液化杉木及液化相思樹為多元醇原料，將其與PMDI、Desmodur L及Desmodur N三種異氰酸酯在不同NCO/(COOH+OH)官能基莫耳數比及發泡劑添加量條件下調配PU樹脂，並將其應用於低密度粒片板製造，探討PU樹脂之調配條件

對所製作粒片板性質之影響。由結果得知以液化相思樹為多元醇原料者有較佳之成板性質，隨NCO/(COOH+OH)官能基莫耳數比增加，粒片板之內聚強度提高，浸水時之吸水厚度膨脹率降低。發泡劑之適當添加量則依異氰酸酯種類而異，以PMDI為原料者以添加量5%最佳，以Desmodur L為原料者則隨添加量增加，粒片板性質提

升，以Desmodur N為原料者下降。

V、引用文獻

李文昭、林孟萱 (2009) 多元醇液化木材製作聚胺基甲酸酯薄膜之力學性質。林產工業 28(3) : 167-176。

李文昭、林孟萱 (2014) 液化杉木/異氰酸酯/木材粒片製作低密度粒片板之性質。林產工業 33(4) : 215-222。

李文昭、張嘉方 (2007a) 異氰酸酯種類對液化木材所製造聚胺基甲酸酯發泡體性質之影響。中華林學季刊 40(3) : 405-416。

李文昭、張嘉方 (2007b) 發泡劑及界面活性劑對液化木材所製造PU發泡體性質之影響。林產工業 26(4) : 287-296。

林孟萱、李文昭 (2014) 以液化木材為基質聚胺基甲酸酯樹脂之反應性及熱性質。林業研究季刊 36(4) : 301-310。

Badri, K. H., A. H. Ujar, Z. Othman and F. H. Sahaldin (2006) Shear strength of wood to wood adhesive based on palm kernel oil. *Journal of Applied Polymer Science* 100: 1759-1764.

Kawai, S., H. Sasaki, M. Nakaji, S. S. Makiyama and S. Morita (1985) Physical properties of low-density particleboard. *Wood Research* 72: 27-36.

Kawai, S. and H. Sasaki (1986) Production technology for low-density particleboard I. *Mokuzai Gakkaishi* 32(5): 324-330.

Kawasaki, T., M. Zhang and S. Kawai (1998) Manufacture and properties of ultra-low-density fiberboard. *Journal of Wood Science*

44: 354-360.

Lee, W. J. and M. S. Lin (2008) Preparation and application of polyurethane adhesives made from polyhydric alcohol liquefied Taiwan acacia and China fir. *Journal of Applied Polymer Science* 109: 23-31.

Milota, M. and J. B. Wilson (1985) Isocyanate-polyol resin as a binder for particleboard. *Forest Products Journal* 35(7): 44-48.

Pérez, J. M., F. Rodríguez, M. V. Alonso and M. Oliet (2011) Time-temperature-transformation cure diagrams of phenol-formaldehyde and lignin-phenol-formaldehyde novolac resins. *Journal of Applied Polymer Science* 119: 2275-2282.

Toffey, A. and W. G. Glasser (1997) Cure characterization of polyurethanes with lignin and cellulose derivatives. *Holzforchung* 51(1): 71-78.

Tohmura, S. I., G. Y. Li and T. F. Qin (2005) Preparation and characterization of wood polyalcohol-based isocyanate adhesive. *Journal of Applied Polymer Science* 98: 791-795.

Umemura, K., A. Takahashi and S. Kawai (1999) Durability of isocyanate resin adhesives for wood (II): Effect of the addition of several polyols on the thermal properties. *Journal of Applied Polymer Science* 74: 1807-1814.

Umemura, K. and S. Kawai (2002) Durability of isocyanate resin adhesives for wood (3): degradation under constant dry heating. *Journal of Wood Science* 48: 380-386.

