

下水污泥與木業廢棄物共同製成生質燃料之可行性評估研究

江康鈺，逢甲大學環境工程與科學系 副教授

余武融，中興大學環境工程研究所 碩士

黃淑貞，逢甲大學環境工程與科學系 碩士班研究生

摘要

本研究利用木業廢棄物(木材廠混合之鋸木屑)及下水污泥(某都市污水處理廠之消化污泥)共同混合製成生質燃料，並藉由生質燃料模擬燃燒試驗，探討污染物排放特性，期達到替代燃料之利用及廢棄物處理之雙重目的。鋸木屑與下水污泥不同配比基本性質分析結果顯示，鋸木屑可達到降低下水污泥之含水量及增加發熱量之效果，不同混合配比(1:1~1:3)，總發熱量可維持在 1260~2040kcal/kg，符合燃料自燃之最低限值。同時在 TCLP 溶出試驗值方面，鋸木屑與下水污泥均符合法規要求，製成生質燃料後亦符合法規要求。經發電效益計算推估結果顯示，混合配比 1:3 製成含水率為 25% 之生質燃料，其發電量可達 2.70 億度，約佔火力發電廠發電量之 1.27%；若以製成混合配比 1:1 且含水率為 25% 之生質燃料而言，其發電量則可達 6.55 億度，約佔火力發電廠發電量之 3.07%。此外，製成之生質燃料經模擬燃燒試驗結果顯示，燃燒產生之廢氣重金屬濃度均不高，僅介於 N.D~0.61 mg/Nm³，未來若實際應用於替代燃料燃燒過程，現有之重金屬污染控制技術已能達到有效之去除效果。綜合前述之發電效益及污染物排放特性結果，本試驗利用鋸木屑及下水污泥共同混合製成之生質燃料，不僅具有資源化之發展潛力外，未來亦可作為替代能源之選擇參考。

關鍵字：生質燃料(bio-fuel)、下水污泥(sewage sludge)、重金屬(heavy metal)、發熱量(heat value)

一、前言

近年來台灣地區積極推動下水道建設，隨著下水道普及率逐年增高，由污水處理廠所產生的下水污泥也將持續增加，根據內政部營建署網站統計資料顯示，目前下水道平均普及率約為6.5%，台灣省約為0.45%、高雄市為9.01%，僅台北市高達43.57%，預計未來在民國93年至98年期間，下水道之目標普及率為33%。另曾氏等人(1998)相關研究推估至98年時，下水污泥量將可達每日40,000公噸。面對下水污泥量的逐年增加，污泥在處理、處置上將成為棘手迫切的問題，因此，下水污泥資源化即成為未來研究之重要課題。此外，根據行政院環保署網站之統計資料顯示，民國88年時全國廢木材每年產生455,782噸，再利用量僅佔20%(約為97,156噸)，而目前廢木材的回收技術，除作為

農業利用或製成木製產品外，利用廢木材高熱量之特性，製成生質燃料作為替代燃料，亦是一項重要之發展方向。

根據楊氏等人(1996)研究指出，木材的元素組成並無顯著之差異性，其中合板工廠所產生的廢棄生材所含水份約40%~80%，一般木材乾基之高位發熱值約為4500~5000 kcal/kg、低位發熱值在4300~4700 kcal/kg之間，當含水率變為20%~30%時，其高位發熱值會減至3700~4400kcal/kg。目前國內廢棄物衍生燃料之技術正積極研究與推廣中，李氏等(2002)以國內造粒成型機應用於將稻桿製成固態衍生燃料之可行性評估，探討不同尺寸的模具對成形效益的影響，研究結果顯示在適當條件下，稻桿製成之RDF-5具有低硫分、低氯分、低灰分及高可燃分等性質，高位發熱量更可達3600kcal/kg以上。陳氏等(1996)針對生垃圾及經由垃圾分選設備所產生之垃圾衍生燃料進行分析比較，研究結果顯示垃圾衍生燃料有較高的焚化效率及熱能回收效率，且能降低廢氣中空氣污染物之排放濃度及產生重金屬含量較低之灰渣。陳氏等(2002)利用垃圾衍生燃料先導型實驗工廠設備，處理紙廠生物污泥，進行RDF-5的製程試驗，由能源、經濟及環保效益評估，研究結果顯示，生物污泥經乾燥後均可造粒成型RDF-5，製程中平均可減少27.5%的含水率；將生物污泥製成RDF-5後，可燃分為62.59%，低位發熱量為3221 kcal/kg，較未處理前之生物污泥均大幅提高，若估算生物污泥製成RDF-5之單位能源效益約為1529 kcal/kg。因此，在國內未來能源需求與發展政策制定，廢棄物生質能之發展及衍生燃料技術極具發展潛力。有鑑於此，本研究選擇應用木業廢棄物及下水污泥共同混合製成生質燃料，期達到替代燃料之利用及廢棄物處理之雙重功效；另一方面，本研究亦將針對混合製成之模擬生質燃料進行燃燒試驗，以進一步評估未來生質燃料應用過程之污染排放特性。

二、實驗材料與方法

2-1 實驗材料

本實驗以木業廢棄物(木材廠混合之鋸木屑)及下水污泥(中部某都市污水處理廠之消化污泥)共同混合製成生質燃料，擬以低含水量之木業廢棄物作為水份調整劑，達到降低下水污泥之含水量及增加發熱量之目的，調整配比過程同時兼顧熱值之變化。本實驗擬定之混合配比(木業廢棄物：下水污泥)分別為1：1、1：2及1：3。另一方面，為減少混合後膨鬆之體積，故利用成型機將前述混合之生質燃料，製成固型化(pellet)生質燃料(如圖 1)。分析項目分別針對原試驗材料及混合製成之生質燃料進行三成分、元素組成及發熱量等項目之分析。

2-2 生質燃料燃燒操作條件

為進一步瞭解固型化衍生燃料之燃燒特性，本研究利用實驗管狀燃燒爐進行模擬之燃燒試驗，操作條件分別包括燃燒溫度 850℃，燃燒過程供給 50% 之過剩空氣量，批次試驗之燃燒時間係以燃燒後之殘重(灰分)百分比小於 5% 作為完全燃燒與否之判定依據。本研究之實驗設備為電熱式高溫管狀爐，包括高溫爐、石英管（燃燒管材質為石英，其尺寸為直徑 55mm，長度 85cm）、石英舟、流量計、過濾設備、廢氣收集設備及空氣供給設備(如圖 2)。當達到實驗設定之溫度時，利用推桿將置於石英舟之固型化生質燃料樣品，推入石英管中燃燒；廢氣中之粒狀及氣狀重金屬物質，則分別以石英濾紙之過濾設備及重金屬吸收設備收集處理。燃燒試驗後之分析項目主要針飛灰、底渣及廢氣之重金屬含量進行分析，重金屬種類則主要包括鉛、鎘、鉻、銅及鋅。



圖 1 固型化生質燃料(混合配比 1：3)

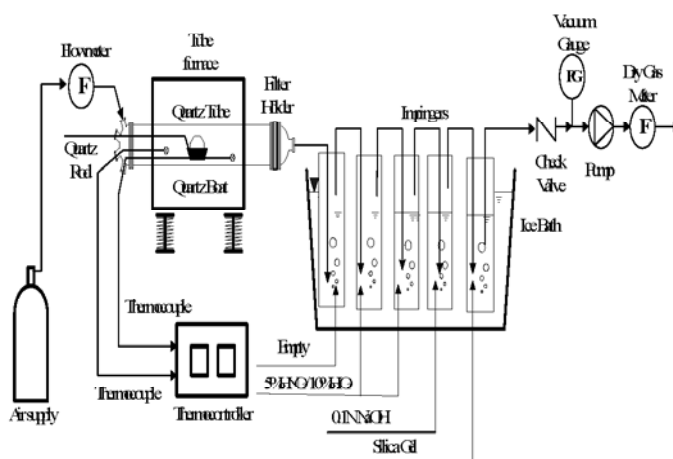


圖 2 電熱高溫管狀爐

三、 結果與討論

3-1 鋸木屑與下水污泥基本特性之分析

鋸木屑與下水污泥之三成分、化學組成及發熱量分析結果如表 1，其中鋸木屑為一般木材廠之混合木屑，因已堆置一段時間在大型容器內，致含水率較一般廢木材之平均含水率低，約僅為 10% 左右，至於可燃分含量約佔 80%，同時其發熱量約在 3750kcal/kg 左右。下水污泥之基本特性分析結果，其含水率高達 78.9%，可燃分則僅佔 7.8% 左右，此外，由於污泥含水量較高，因此，測定乾基發熱量約為 1850 kcal/kg。至於元素組成分析結果，其中木屑及污泥中硫含量介於 $4.76 \pm 1.98\%$ ~ $4.88 \pm 0.29\%$ ，氮含量則以木屑中含量較高約為 $1.67 \pm 0.29\%$ 。因此，未來於燃料應用時應考量其衍生之污染物排放特性。另一方面，鋸木屑與下水污泥之重金屬總量濃度與 TCLP 溶出結果如表 2 所示，其中鋸木屑與下水污泥之 Cr 濃度值皆低於儀器偵測極限，而 Cd 的濃度分析結果，鋸木屑約為 1.4mg/kg，而下水污泥則低於儀器偵測極限。在鋸木屑中重金屬

濃度僅 Pb 含量 30mg/kg 較高外，其餘重金屬濃度均偏低，而下水污泥中重金屬 Cu 與 Zn 的濃度明顯比其他金屬或鋸木屑之重金屬濃度高出很多，Cu 的濃度值約 52.33mg/kg，Zn 的濃度值更高達 172.33mg/kg。至於 TCLP 溶出試驗分析結果，鋸木屑與下水污泥均符合法規要求，屬一般事業廢棄物，未來可視政策及技術之發展，積極推動其資源化應用。

表 1 鋸木屑與下水污泥基本性質分析

材料	三成分分析(%)			元素分析(%)					發熱量 (kcal/kg)
	水分	灰分	可燃分	C	H	N	S	Cl	
鋸木屑	10.02	9.74	80.24	48.25	6.62	2.11	4.88	1.67	3744.4±141.13
	±0.99	±1.14	±1.72	±0.29	±0.37	±0.29	±0.29	±0.29	
下水污泥	78.93	13.26	7.81	17.42	2.76	2.75	4.76	0.45	1853.97±37.02
	±0.20	±0.40	±0.60	±0.85	±0.63	±0.07	±1.98	±0.00	*1

*1 下水污泥之發熱量值為乾基發熱量

*樣品數量 n=5

表 2 鋸木屑與下水污泥之重金屬總量與 TCLP 溶出濃度結果

(總量濃度單位：mg/kg；TCLP 單位：mg/L)

		Pb	Cd	Cr	Cu	Zn
鋸木屑	總量濃度	30±7.58	1.4±0.55	<0.6	6.4±0.55	12±2.00
	TCLP	0.03±0.025	5.2*10 ⁻³ ±2.7*10 ⁻³	<6*10 ⁻³	0.08±0.02	0.46±0.08
下水污泥	總量濃度	3.33±3.06	<0.8	<0.6	52.33±1.53	172.33±1.15
	TCLP	<9*10 ⁻³	<8*10 ⁻³	<6*10 ⁻³	0.10±0.01	1.88±0.03
	TCLP 法規值	5.0	1.0	5.0	15.0	25.0

*樣品數量 n=5

3-2 生質燃料之特性及能源效益分析

本研究將鋸木屑與下水污泥混合配比後，取 20g 利用成型機在壓力 800psi 條件下成型時間 15 分鐘。在鋸木屑與下水污泥混合配比為 1：1 所擠壓成的衍生燃料，因鋸木屑吸收下水污泥的水分，使得外型較為鬆散；混合配比為 1：2 以及 1：3 所擠壓成的生質燃料，具有較佳之外觀及效果。表 3 為生質燃料基本特性分析之結果，生質燃料之三成分與發熱量隨鋸木屑和下水污泥之混合比例而變化，其中含水量由混合配比 1：1 之 44% 增加至混合配比 1：3 之 62%，雖較一般燃料為高，然在生質燃料製造過程，經適當乾燥程序後，使生質燃料含水量降低到 25% 左右，不僅增加可燃分含量，同時亦有助

於發熱量之提昇。灰分約佔 7%~11%，未來製成生質燃料燃燒後質量只剩原來之 10% 左右，減容效果相當不錯。在發熱量方面，由表 3 可知混合配比 1：1~1:3 之生質燃料發熱量分別為 2000kcal/kg(1:1)、1600kcal/kg(1:2)及 1250kcal/kg(1:3)，此熱量雖低於燃料煤之熱值(約為 5000kcal/kg~6000kcal/kg)，然仍符合燃料自燃之最低限值(1000kcal/kg)。同時若將混合配比 1：1 之含水量降至 25%，則發熱量可從 2000kcal/kg 增加為 2700kcal/kg 左右，仍具有生質燃料之發展潛力。

在能源效益分析方面，本研究嘗試將鋸木屑與下水污泥混合配比後製成 25% 含水率之生質燃料，所能替代火力發電廠中所用燃料煤所產生之電力，進行能源效益之差異比較。其中為考量簡化計算之比較，有以下之假設依據：(1)燃料煤和生質燃料之釋熱率與淨發電效率均相同，分別為 95% 及 35%；(2)依據民國 86 年進口燃料煤有 68% 用於火力發電，其中燃料煤發電用量為 28600 千公噸；(3)鋸木屑之產生量以民國 88 年之數據為基準，約有 455782 噸，同時假設有 60% 製成生質燃料；(4)燃料煤的發熱量以 5000kcal/kg 為計算基準；(5)1kwh = 2236kcal。經計算混合配比 1：3 製成之生質燃料(含水率為 25%)，其發熱量為 1678.3Kcal/kg，發電量可達 2.70 億度，佔火力發電廠之發電量約為 1.27%；若製成混合配比 1：1 之生質燃料(含水率為 25%)，其發熱量為 2718.3Kcal/kg，發電量達 6.55 億度，佔火力發電廠之發電量約為 3.07%。

表 3 生質燃料基本特性分析

混合配比	三成分分析(%)			元素分析(%)						發熱量
	水分	灰分	可燃分	C	H	O	N	S	Cl	(kcal/kg)
1：1	44.62±0.1	7.58±1.39	47.80±1.5	32.84	4.69	54.17	2.43	4.82	1.06	2038.73±113.
1：2	55.81±0.2	9.20±0.51	34.99±0.3	27.59	4.03	59.77	2.54	4.80	1.27	1614.80±62.2
1：3	61.89±0.5	10.10±0.1	27.68±0.1	25.13	3.73	62.41	2.59	4.79	1.37	1258.69±24.8

*樣品數量 n=3

3-3 生質燃料之重金屬濃度分佈及排放特性分析

衍生燃料兼具考量替代能源或燃料之利用及廢棄物處理之雙重功效，其雖在能源轉換利用方面極具經濟價值，然由於衍生燃料中可能混入之有害物質(如重金屬等)成分，除將降低衍生燃料之品質外，亦將嚴重影響未來衍生燃料應用時，可能產生之污染物排放及其對環境之衝擊。因此，本研究亦針對各混合配比製成之生質燃料進行模擬之燃燒實驗，探討燃燒過程可能之重金屬分佈與排放特性。研究結果顯示，生質燃料燃燒產生之廢氣重金屬濃度均不高，僅介於 N.D~0.61 mg/Nm³，詳細結果如表 4 所示。其中 Cr 及 Cd 濃度值在鋸木屑及下水污泥中皆無測出，故各混合配比中廢氣之排放濃度

均低於儀器偵測極限。另為進一步探討重金屬 Pb、Cd、Cu 及 Zn 之排放特性，係以飛灰、底渣及廢氣之重金屬質量分佈為討論依據，結果顯示重金屬 Pb、Cu 及 Zn 之分佈以底渣居多，均在 65% 以上，其中尤以 Cu 所佔比例最高，約為 95% 以上，至於 Cd 於底渣之濃度分佈僅以配比 1：1 條件時，佔 15% 左右外，餘試驗條件均低於儀器偵測極限。在飛灰分佈比例結果顯示，在混合配比 1：1 條件下，Cd 濃度分佈主要以在飛灰為主，約佔 87% 左右，而各混合配比試驗條件，Pb 及 Zn 之分佈比例約佔 25%，至於飛灰中 Cu 之分佈比例均小於 1%；在廢氣分析結果顯示，試驗重金屬 Pb、Zn、Cd 及 Cu 之所佔的濃度分佈小於 2% (如圖 3 至圖 6)。整體而言，就本研究製成之生質燃料燃燒後對重金屬污染物排放而言，應無明顯之影響，未來若於實際應用過程，對投注於重金屬污染防制技術之影響並不大。

表 4 不同配比之生質燃料燃燒後廢氣重金屬濃度分析結果

	1 : 1	1 : 2	1 : 3
Pb	0.055±0.038	0.129±0.089	0.080±0.085
Cd	<0.024	<0.031	<0.035
Cr	<0.018	<0.023	<0.027
Cu	0.025±0.030	<0.019	<0.022
Zn	0.103±0.088	<0.019	0.61±0.971

Unit: mg/Nm³

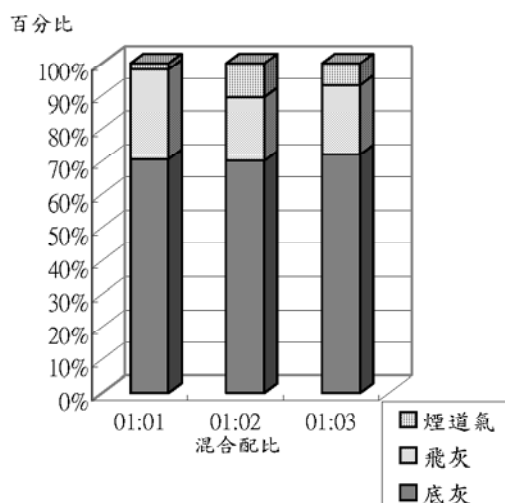


圖 3 不同配比重金屬 Pb 之分佈

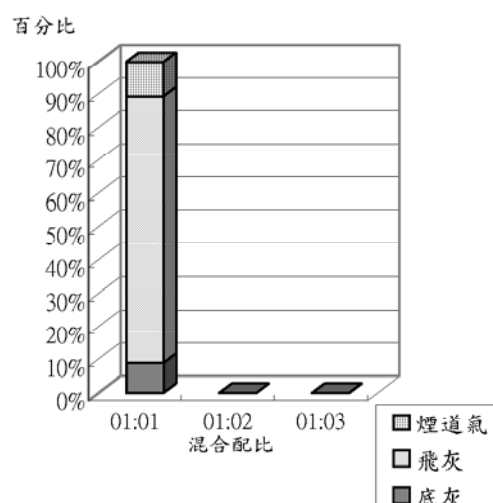


圖 4 不同配比重金屬 Cd 之分佈

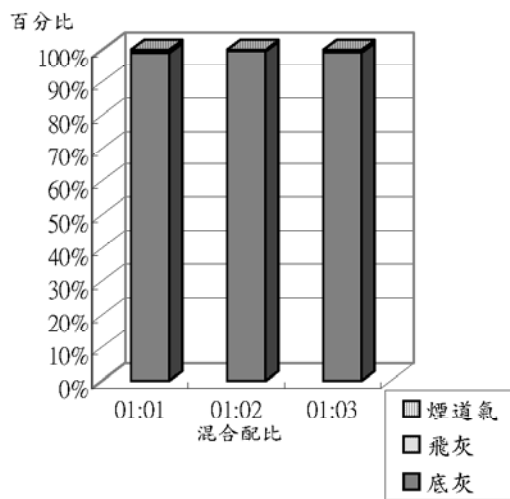


圖 5 不同配比重金屬 Cu 之分佈

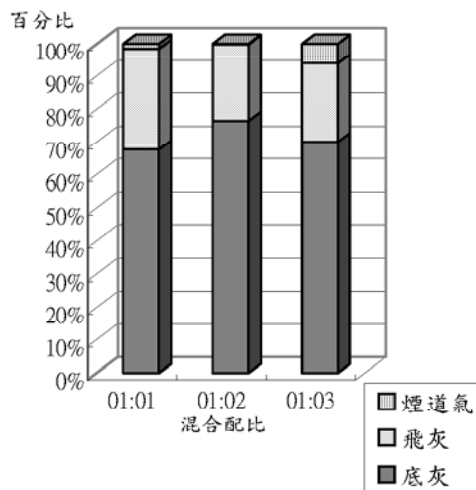


圖 6 不同配比重金屬 Zn 之分佈

四、結論與建議

4-1 結論

本研究評估利用鋸木屑和下水污泥共同混合配比製成生質燃料之可行性，不僅可達到降低下水污泥之含水量及增加其發熱量之目的，同時在 TCLP 溶出試驗值方面，鋸木屑與下水污泥均符合法規要求，且溶出值相當地低，製成生質燃料後亦符合法規要求。根據三成分與熱值分析結果顯示，衍生燃料之灰分比例不高，經乾燥程序後可燃分及熱值提高，發熱量符合燃料自燃之最低限值，可作為替代燃料使用。經發電效益計算推估結果顯示，混合配比 1：3 製成之生質燃料(含水率為 25%)，其發電量可達 2.70 億度，約佔火力發電廠發電量之 1.27%；若以製成混合配比 1：1 之生質燃料(含水率為 25%)而言，其發電量則可達 6.55 億度，約佔火力發電廠發電量之 3.07%。此外，製成之生質燃料經模擬燃燒試驗結果顯示，燃燒產生之廢氣重金屬濃度均不高，僅介於 N.D~0.61 mg/Nm³，未來若實際應用於替代燃料燃燒過程，現有之重金屬污染控制技術已能達到有效之去除效果。綜合前述之發電效益及污染物排放特性結果，本試驗之生質燃料已具有替代燃料之效益，對國內長期仰賴進口燃料而言，應有未來推廣與應用之潛力。

4-2 建議

台灣地區近年來致力於再生能源之研究，目前在能源利用發展之主軸前提下，探討再生能源中之生質能作為未來替代能源或燃料之可行性，同時考量兼具替代能源或燃料之利用及廢棄物處理之雙重功效，為目前能源與環境發展之重要議題。此外，根據國外相關衍生燃料技術之發展演進、技術之成熟度、廢棄物處理處置成本、資源再利用之成

本分析等因素考量，衍生燃料技術之推廣與應用，除技術之提昇與政策制定之配合外，未來應用市場接受度與廣泛性，將是一項重要的關鍵；因此，即早研擬衍生燃料之產品相關應用規範及其用途，並進行相關產品之實作分析試驗，將更能確立替代燃料之市場價值及應用可行性。

參考文獻

- 曾迪華、潘時正“台灣地區下水污泥處理處置之現況與展望”，第五屆海峽兩岸環境保護學術研討會論文集，pp.135-140 頁，南京，1998。
- 楊萬發，「木業廢棄物資源化案例彙編」，經濟部工業局，pp.9-21，台北，1996。
- 李文湧、陳嘉元、張瑩璽、溫振權、楊清廉、李宏台，「稻桿製成固態衍生燃料之可行性研究」，第十七屆廢棄物處理技術研討會論文集，台北，2002。
- 陳威呈，張瑩璽，張乃斌，王鴻博，「中小型垃圾衍生燃料焚化廠之效能評估」，第十一屆廢棄物處理技術研討會論文集，高雄，pp. 31-40，1996。
- 陳嘉元、李宏台、張瑩璽、李文湧、溫振權、楊清廉，「生物污泥製成固態衍生燃料之可行性研究」，第十七屆廢棄物處理技術研討會論文集，pp. s-c-o10，2002。