

資源化再利用

整合有機污泥與廢食用油資材化處理技術

黃嘉云*、吳俊毅**、陳智成***、余騰鐸****

摘要

產水有機污泥熱值(平均值 2,500~5,200 cal/g)明顯高於衍生性燃料(refuse derived fuels, RDFs)等特性,本資材化創新技術在於以廢治廢、應用綠色能資源觀念,結合不同行業別所產生的有機污泥與廢食材(將廚餘中澱粉類當成黏結劑)黏結混拌與成型等程序、投入廢食用油中進行調理改質反應步驟,進行不同的混合比例、調理溫度,調理時間,將調理反應後的產物進行特性分析,發現含水率於 25 分鐘內明顯降低至< 5%、且高於一般 RDF 衍生性燃料熱值標準、無臭味、能長期保存、燃燒效率提高、且調理過程降低氮氧化物(NO_x)與硫氧化物(SO_x)的廢氣排放等優點。因此,實現有機污泥與廢食用油資材化處理不僅大幅提升有機污泥熱值,資材化應用途徑包括:(1)作為衍生性燃料(RDF-5)、(2)天然輔助燃料與(3)飼料添加物等用途,並降低有機污泥委託清除處理費用、污泥烘乾能源耗損、廢氣排放空污防制費用與除臭費用,明顯具回收能資源價值,降低操作成本等誘因。亦具有部分取代進口燃煤應用潛力,可降低國內對進口燃煤之依賴,不僅創新污泥再利用方式,亦創造污泥再生之經濟價值。

【關鍵字】有機污泥、廢食用油、資材化、衍生性燃料

*國立成功大學 資源工程學系 博士生

**遠東科技大學 機械工程系與綠能材料研究中心 助理教授

***遠東科技大學 機械工程系 特聘教授與綠能材料研究中心 主任

****國立成功大學 資源工程學系 副教授

一、前言

探討有機污泥難脫水原因，主要受到 5 種形態影響，包括：(1)自由水：污泥中不受到懸浮固體顆粒作用及影響的水；(2)間隙水：被包圍在污泥顆粒組織間隙和微細孔洞的水；(3)表面吸附水：主要吸附在污泥顆粒表面上的水，靠氫鍵作用在顆粒表面形成多層水分子；(4)毛細結合水：靠化學鍵作用在污泥顆粒內部的水，只能靠消耗一定的化學能量才能去除；(5)細胞內部水：存在於微生物細胞膜(或細胞壁)內液體。因此有機污泥經板框壓濾後的含水率仍高於 75%，不僅會醱酵發臭，引來果蠅蚊蟲等環境衛生問題，且降低後續再利用，難以機械能於短時間將含水率降低至 30%。目前的直接乾燥過程對於有機污泥產生刺鼻惡臭、衍生致病微生物污染、昂貴的委託清除處理費用與高能耗。一般廢水處理操作成本攤提情況下，約 50%總成本為污泥處理。有機污泥資源化技術，包括：堆肥、衍生性燃料(refuse derived fuels, RDFs)、濕法氧化、熱裂解(pyrolysis)、汽化(gasification)。其中衍生性燃料為目前由廢料轉化為能資源的創新技術，包含粉碎和乾燥處理流程所衍生的可燃性能資源，相對具低成本、高熱值的再生能源技術，應用領域包括從都市固體廢棄物(MSW)回收利用、工業廢物與垃圾、下水道污泥、有害事業廢棄物、生質能廢物等。對於衍生性燃料的分類，依據美國材料和試驗協會(ASTM)分類如表 1 所示，有機污泥製成衍生性燃料，其標準熱值相對較高，但硫、氮和氯的含量略微偏高。其中 RDF-5(d-RDF)對於原料成分有更高的要求。廢棄物必須先經過破碎、選別、乾燥後，再加入添加劑，以製成外型與成分都符合特定規格，長度約數公分的錠型(柱狀、棒狀、球狀等)燃料。燃料若有一致的形狀及熱質，不但有助於運輸與保存，更有益於鍋爐內燃燒狀況的控管，進而提高發電效率，同時降低廢氣排放、減少戴奧辛污染，因此廢棄物衍生性燃料(RDF)電廠發電效能優於一般焚化爐。RDF-5 衍生性燃料除了做為主要的燃燒原料外，也可以搭配其他原料進行混燒(co-firing)，以調節鍋爐內的燃燒狀況。

表 1 ASTM 對於廢棄物衍生性燃料(RDF)分類表

No.	類別	定義說明
1	RDF-1 (MSW)	都市廢棄物直接作為燃料，不包含巨大廢棄物
2	RDF-2 (c-RDF)	廢棄物破碎成粗顆粒，亦可經由磁選方式回收 95wt% 通過 6 英吋篩網
3	RDF-3 (f-RDF)	廢棄物經破碎、去除金屬、玻璃與其他無機物 95wt% 通過 2 英吋篩網
4	RDF-4 (p-RDF)	可燃物處理成粉狀 95wt%，通過 0.035 英吋篩網
5	RDF-5 (d-RDF)	可燃物壓密成柱狀、棒狀、球狀、磚塊狀或其它形狀
6	RDF-6	可燃物處理成液狀(無分類標準)
7	RDF-7	可燃物處理成氣狀(無分類標準)

過去廢食用油收集後經處理作為飼料添加等用途，根據 2012 年環保署統計資料每年國內家用、攤販與食品加工廠產生的廢食用油量約 7,600 噸，由廢食用油製成生物柴油為是一種替代燃料的好方法。因此，組合有機污泥和廢食用油經調理改質過程，製成衍生性燃料不僅含水率於短時間內大幅降低且作為替代燃料使用，達到節能減廢目的。本研究針對廢食用油與 TFT-LCD 液晶面板業、造紙廠、生活污水廠等廢水處理所產生的有機污泥，整合資材化技術(混拌、成型、調理改質等程序)降低有機污泥含水率並製成衍生性燃料，減少環境污染與低能耗。

將含水率 75~85% 的有機污泥擠壓成型(或適當比例添加廢天然食材(或分類後之廚餘)之黏結劑(Binder)，如甘薯粉、太白粉、廢熟食材之米飯與粥、漿糊(麵粉或澱粉類成型))後，結合有機污泥與廢食用油(Recycled Cooking Oils)、廢潤滑油、廢切削油)同具有高熱值特性，利用食品業常用的油炸調理方式，一方面藉由油炸過程降低污泥含水率(脫水程序)與燃燒效率提高，另一方面因調理改質過程隔絕空氣，能長期保存不易發臭，其後端能源與材料之應用途徑包括：(1)衍生性燃料(RDF-5)、(2)天然輔助燃料與(3)飼料之比例摻配添加料等。

二、有機污泥資源化專利資料彙整

- 1.國內發明公告第 I389852 號「以兜蟲處理有機污泥達資源化之方法」，揭露以工業有機污泥做為原料，於飼育材生產設備中與堆肥、發酵粉、稻草、木屑、落葉、營養添加劑、菌劑混合調配，利用混合調配後之飼育材飼育兜蟲，再將經兜蟲吃食、消化、分解污泥飼育材產出之糞便，經乾燥後作為良好之緩效性肥力改良及能改善土壤通氣性之土壤改良劑；藉此，使得其達到以兜蟲當做生物反應器作為處理有機污泥達資源化目的，並藉由具生態復育價值之兜蟲飼育，建置結合環境污染物處理、資源化及生態保育觀念之有機污泥處理技術者。但上述專利雖可處理有機污泥，但處理數量與速度上仍有相當改善空間。
- 2.國內發明公告第 I419847 號「高含水率有機系廢棄物的處理方法及處理裝置」，揭露使用水泥煅燒設備將高含水率有機系廢棄物予以乾燥而能做為燃料來有效利用，不會影響水泥煅燒設備作業，並能提升水泥煅燒設備的作業效率之高含水率有機系廢棄物的處理方法及裝置。但其直接乾燥有機系廢棄物之方式具有產生刺鼻惡臭及高耗能的缺點，且乾燥後的有機系廢棄物僅為水泥廠輔助燃料使用，應用層面有限。
- 3.國內發明公開編號 201238914 號「污泥製成衍生燃料之方法」，揭露污泥資源化方法，尤指污泥製成衍生燃料之方法。處理流程為將有機污泥經由烘乾、破碎摻配廢木屑並與工業糖蜜及瀝青等膠結劑進行造粒，形成衍生性燃料。但此技術缺點包含：(1)有機污泥烘乾過程中，除耗能外會產生臭味與氮氧化物(NOx)與硫氧化物(SOx)。(2)有機污泥經烘乾破碎後摻配添加廢木屑或農業廢棄物(稻稈、狼尾草等)，其熱值仍相對較低。(3)與工業糖蜜及瀝青等膠結劑進行造粒後，存放仍有臭味逸散且無法長期保存。(4)整體流程相對耗能且費時。

三、實驗方法

3.1 整合廢棄材料

本實驗使用的 3 種有機污泥來源為 2 家 TFT-LCD 廠(有機污泥 A 和 B 樣品)和 1 家紙漿廠廢水(有機污泥 C 樣品)。根據 2012 年環保署統計資料，紙漿廠每年產生 182,000 噸的有機污泥與造紙廠每年產生 372,000 噸有機污泥。至於廢食用油來自於家庭、攤販和食品加工廠。

有機污泥，紙漿污泥和廢食用油的基本性質彙整於表 2 和表 3，包括元素分析、三成份與熱值。由表 2 中瞭解有機污泥 C 的矽含量明顯比有機污泥 A 和 B 高，探討原因是因在紙漿和造紙廠製程中，添加矽酸鹽提高鹼性過氧化氫漂白劑(穩定物)。表 3 中比較 3 種污泥的熱值污泥 B 最高約 5,000 cal/g，其次為有機污泥 A 約 4,800 cal/g，廢食用油熱質則超過 8,700 cal/g。

表 2 三種有機污泥與廢食用油之元素分析

元素 (%)	A	B	C	廢食用油
鋁(Al)	18.21	17.34	7.62	—
磷(P)	5.23	4.29	1.48	—
鐵(Fe)	2.89	4.11	0.63	—
矽(Si)	1.75	2.78	20.13	—
鈣(Ca)	1.18	1.68	3.12	—
鉀(K)	0.51	0.55	0.32	—
溴(Br)	0.31	0.33	—	—
氯(Cl)	0.32	0.27	0.51	—
碳(C)	50.83	48.76	40.74	46.57
氮(N)	7.12	8.88	2.55	3.87
硫(S)	0.91	0.49	1.63	—

表 3 三種有機污泥與廢食用油之三成份與乾基的熱值分析

污泥種類	A		B		C		廢食用 油
	原始	乾基	原始	乾基	原始	乾基	
水份 (%)	87.75	1.22	88.47	1.27	80.28	1.64	0.43
灰份 (%)	2.16	17.33	1.43	11.93	4.94	26.17	0.03
可燃份 (%)	10.09	81.45	10.10	86.80	14.75	72.19	99.54
熱值 (cal/g)	4,827		4,954		2,687		8,784

3.2 整合有機污泥與廢食用油資材化處理技術流程

本技術主要目的是將高含水率有機污泥經由與廢食材黏結混拌、擠壓成型後於廢食用油中進行調理改質反應等程序，於短時間內大幅降低含水率、除臭、長期保存與提高熱值的一項創新技術，圖 1 為整合有機污泥與廢食用油資材化處理技術流程架構圖。首先，將有機污泥和廢食用油的基本特徵透過元素分析(EA，Elementar 公司的 Vario EL III)，X-射線螢光分析儀(XRF，Spectro Xepos)三組分析(ASTM D3174-02)，熱重/熱示差掃描分析儀(TG/DTA，PerkinElmer Pyris diamond)和熱值分析(ASTM D2015)。以廢食材經適當比例黏結混拌，固定混拌擠出參數，包括廢食材比例為重量比 5%與 3 種有機污泥 A、B、C 黏結均勻混拌 10 分鐘，並利用擠壓成型機擠壓成型物為棒狀，尺寸固定為長度 50mm，直徑 15mm 擠出成型物，在不同條件下(溫度和時間)進行調理改質流程，操作參數包括調理改質溫度(110、130、150、170 和 190°C)和調理改質時間(5、10、15、20、25 和 30 分鐘)。調理改質後的有機污泥進行燃料的燃燒效率分析與符合衍生性燃料標準(ASTM，2006)。

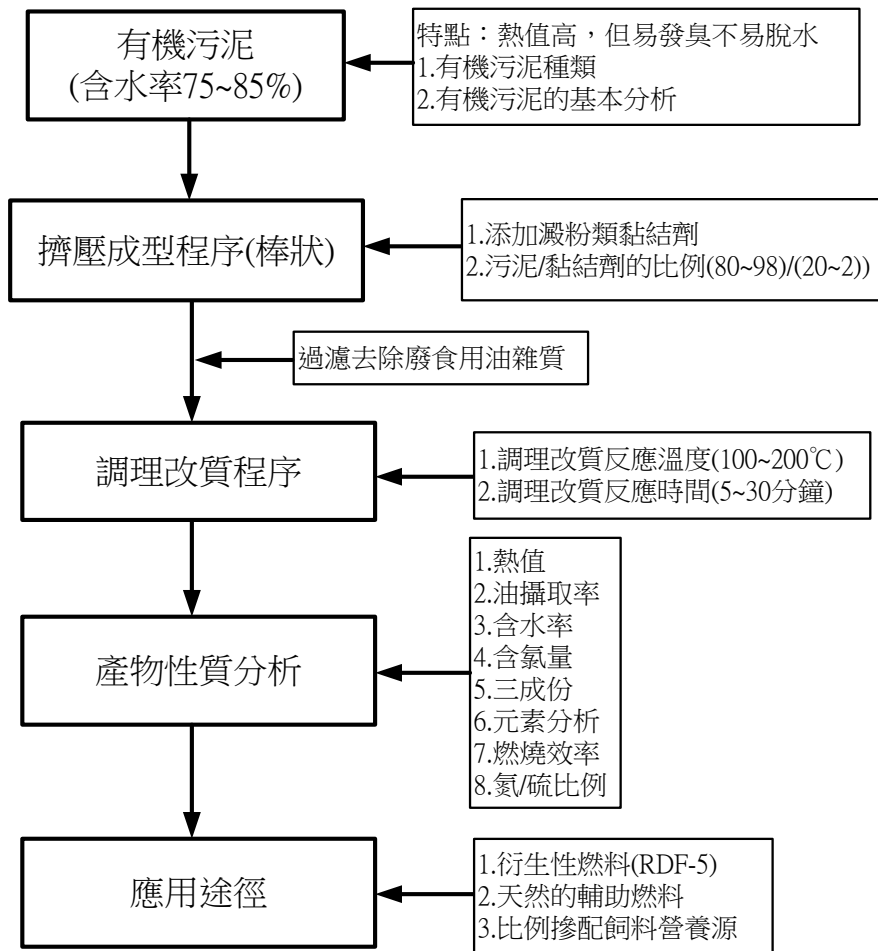


圖 1 資材化處理技術流程架構圖

四、結果與討論

4.1 有機污泥調理改質程序之特性分析

三種有機污泥 A、B、C 之調理改質程序(含水率，油攝取率和熱值)彙整於表 4。含水率和油攝取率從調理改質過程中有機污泥幾乎於 25 分鐘後達到平衡。結果顯示擠出成型物在調理改質過程中，相對較高溫度和較長時間會有較高的油

60 整合有機污泥與廢食用油資材化處理技術

攝取率和較低的含水率。然而，更高溫度或更長時間的實驗結果只會消耗更多的能量。在表 3 與表 4 中，有機污泥 C 於調理改質過程中反應溫度 170°C 經 25 分鐘後，其熱值從原先的 2,687 cal/g 顯著增加至超過 4,700 cal/g。因此，經過調理改質後有機污泥將適合被回收作為替代燃料，其中有機污泥 C 的熱值差異性最大。

TG 和 DTA 分析結果彙整於圖 2 各圖中。圖 2 的(a)作為對照組之用，操作條件為有機污泥 A，廢食用油比例 0%，調理改質結果發現廢食用油減少 85%，分析放熱反應溫度為 520°C，放熱峰不明顯，隱約在 300°C；圖 2 的(b)中，操作條件為有機污泥 A，廢食用油比例 10%，調理改質結果發現廢食用油減少 40%，分析放熱反應溫度為 553°C，放熱峰為 400°C；圖 2 的(c)中，操作條件為有機污泥 A，廢食用油比例 20%，調理改質結果發現廢食用油減少 39%，分析放熱反應溫度為 555°C，放熱峰為 400°C；圖 2 的(d)中，操作條件為有機污泥 A，廢食用油比例 30%，調理改質結果發現廢食用油減少 6.4%，分析放熱反應溫度為 542°C，放熱峰為 400°C；圖 2 的(e)中，操作條件為有機污泥 A，廢食用油比例 40%，調理改質結果發現廢食用油減少 5.1%，分析放熱反應溫度為 551°C，放熱峰為 400°C；圖 2 的(f)中，操作條件為有機污泥 A，廢食用油比例 50%，調理改質結果發現廢食用油減少 4.3%，分析放熱反應溫度為 546°C，放熱峰為 400°C。

經由上述結果可知，觀察圖 2 各圖中熱示差曲線，有機污泥 A 的放熱峰(400°C)與增加不同比例的廢食用油試驗中，於調理改質過程中發現隨著廢食用油的增加，其熱值也相對增加(參閱圖 2 的(b)至圖 2 的(f)中位在 400°C 處所形成波峰，圖 2 的(a)為對照組)。此外，在上述圖 2 的(a)至圖 2 的(f)實驗結果發現廢食用油依序減少約 85%，40%，39%，6.4%，5.1%和 4.3%，也就代表在調理改質過程中，廢食用油減少的量是被有機污泥 A 所吸收，造成有機污泥 A 熱值增加(貢獻度)。進一步探討各組增加的熱值與廢食用油減少的量在達到平衡狀態時，其中所使用廢食用油的較佳調理改質比例為 30~50%(對應圖 2 的(d)至(f)圖)；換句話說，因為原先有機污泥 A 熱值僅有 4,827 cal/g (如表 3)，經過調理程序後增加到 6,433 cal/g(如表 4)，且廢食用油減少越少越好，因此前述使用廢食用油較佳比例即為 30~50%。

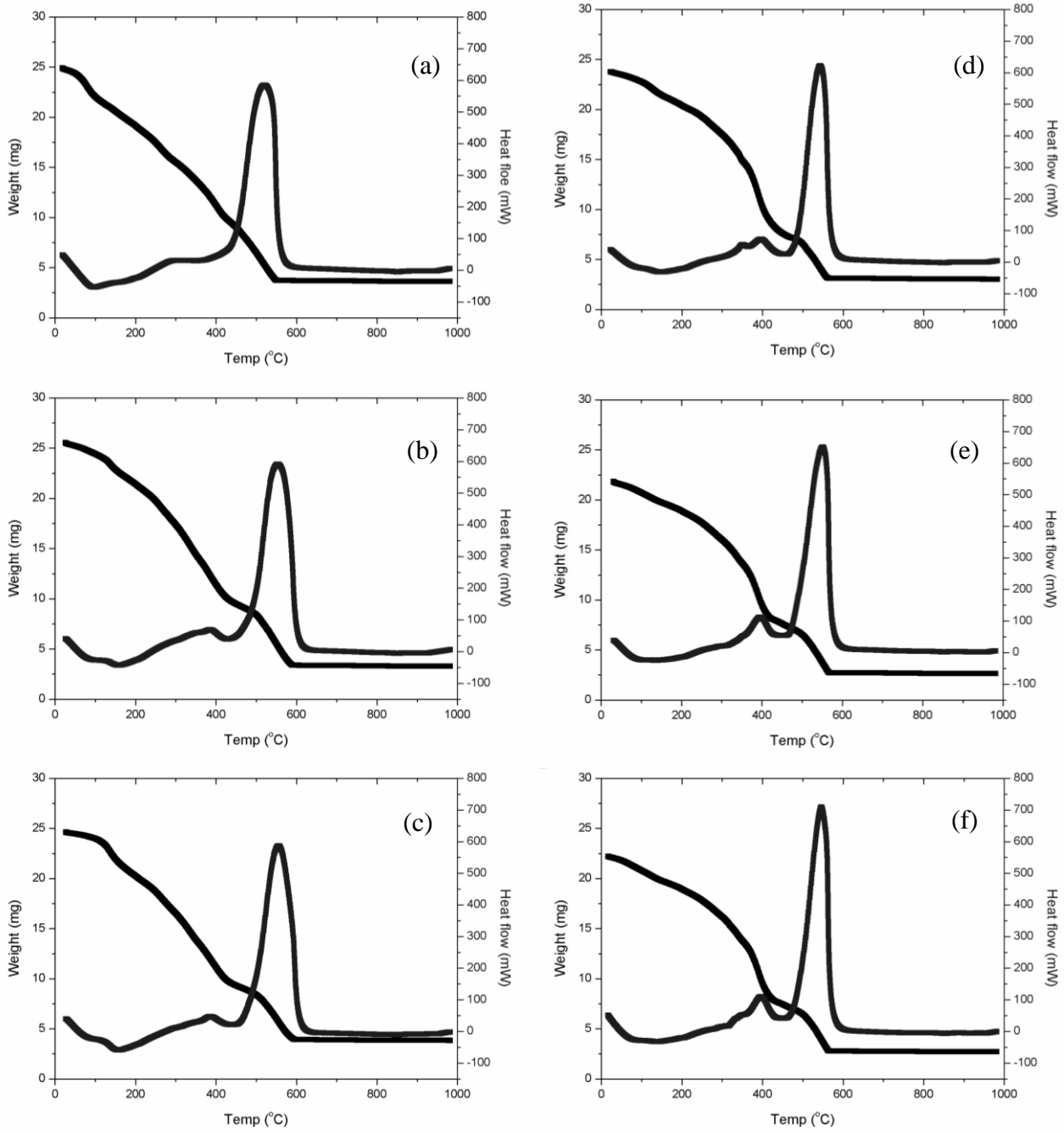


圖 2 TG 和 DTA 分析的結果

表 4 三種有機污泥調理改質之操作條件(不同的調理時間與溫度)與實驗結果

有機污泥		A			B	C
時間 (min)	溫度 (°C)	含水率 (%)	油攝取率 (%)	熱值 (cal/g)	熱值 (cal/g)	熱值 (cal/g)
5	110	58.9	8.3	1,886	1,814	1,240
	130	45.7	14.6	2,715	2,565	1,826
	150	34.9	20.1	3,415	3,334	2,329
	170	20.5	27.4	4,346	4,285	3,079
	190	15.4	32.8	4,849	4,755	3,591
10	110	38.5	17.4	3,128	3,006	2,126
	130	32.7	21.8	3,593	3,591	2,563
	150	21.5	28.3	4,368	4,218	3,143
	170	8.4	35.1	5,224	5,132	3,758
	190	3.2	39.7	5,681	5,547	4,106
15	110	22.2	25.5	4,172	4,068	2,905
	130	19.4	28.1	4,426	4,363	3,195
	150	14.9	34.9	4,994	4,900	3,675
	170	5.2	40.7	5,676	5,517	4,168
	190	2.1	45.6	6,081	5,927	4,524
20	110	17.3	31.4	4,699	4,670	3,399
	130	15.8	33.2	4,860	4,776	3,573
	150	9.7	38.9	5,414	5,341	4,001
	170	3.4	43.6	5,914	5,870	4,369
	190	1.2	49.2	6,332	6,232	4,708
25	110	11.8	35	5,104	5,070	3,781
	130	8.9	37.9	5,380	5,297	3,984
	150	4.2	42.5	5,820	5,741	4,351
	170	1.2	45.7	6,117	6,080	4,556
	190	0.4	50.4	6,433	6,332	4,886

表 4 三種有機污泥調理改質之操作條件(不同的調理時間與溫度)與實驗結果(續)

有機污泥		A			B	C
時間 (min)	溫度 (°C)	含水率 (%)	油攝取率 (%)	熱值 (cal/g)	熱值 (cal/g)	熱值 (cal/g)
30	110	8.2	37.1	5,354	5,225	3,921
	130	6.4	40.5	5,623	5,502	4,135
	150	2.9	43.8	5,943	5,863	4,481
	170	0.5	47.2	6,233	6,132	4,696
	190	0.2	51.5	6,507	6,379	4,993

4.2 衍生性燃料的性能分析

三種有機污泥 A、B、C 經調理改質後，分析結果如表 5 所示。調理改質條件為調理溫度 170°C，調理時間 25 分鐘。結果顯示 3 種有機污泥其熱值皆隨時間與溫度增加而增加，含水率在調理改質溫度 170°C，調理改質時間 25 分鐘時，降至 5% 以下，其有機污泥的含油量(油吸收率)約為 40%，顯示擠壓成型物經與廢食用油進行調理改質程序，加工成為衍生性燃料(RDF-5(d-RDF))。有機污泥的擠出成型物在調理改質過程中混合廢食用油，因此調理改質後的含氮量除了有機污泥 C 增加外(2.55%略增加為 3.0%)，其餘的含氮量比調理改質前明顯降低，有機污泥 A(由 7.12%降為 5.51%)與有機污泥 B(由 8.88%降為 4.28%)。至於含硫量與含氮量皆比調理改質前略低，而調理改質後含氮量明顯低於 0.5% 的 RDF 歐洲標準限制，換句話說，就是更能符合歐洲 RDF 含氮量標準。

參閱表 6 及表 7，有機污泥 A 與 C 在配合不同廢食用油比例之調理改質過程中，結果顯示在氮和硫的百分比氣相分析中，當廢食用油比率增加時，經調理改質後氮和硫的比率逐漸下降。由此可知，有機污泥擠出成型物經調理改質過程，能達到減少氮氧化物和硫氧化物排放量的實際效果。此外，有機污泥擠出成型物經調理改質後，在實驗室測試，其燃燒效率顯著增加(有機污泥 A 的最佳效率在 30% 廢食用油比例之調理改質過程中較 100% 有機污泥 A 增加約 1.25 倍 = 91.2%/72.7%，有機污泥 C 的最佳效率在 30% 廢食用油比例之調理改質過程中較

64 整合有機污泥與廢食用油資材化處理技術

100%有機污泥 C 增加約 1.33 倍=74.3%/55.7%，二者比較有機污泥 C 在 30%廢食用油比例之調理改質過程中，其燃燒效率明顯優於有機污泥 A)。

表 5 3 種有機污泥經調理改質後衍生性燃料三成份、含油量、元素分析與熱值分析結果

分析項目	有機污泥 A	有機污泥 B	有機污泥 C
水份 (%)	4.0	3.9	4.2
灰份 (%)	13.7	14.6	18.7
可燃份(%)	82.3	81.5	77.1
含油量 (%)	41.5	40.9	38.9
碳(C) (%)	46.1	45.5	38.4
氮(N) (%)	5.51	4.28	3.00
硫(S) (%)	0.55	0.39	0.92
氯(Cl) (%)	0.16	0.14	0.19
衍生性燃料 RDF (cal/g)	6,155	6,075	4,725

調理改質條件：調理溫度 170°C，調理時間 25 分鐘。

表 6 有機污泥 A 與經調理改質後各參數的氮、硫比例與燃燒效率分析結果

(%)	有機污泥 A				廢食用油			
	100		10		20		30	
	氮(N)	硫(S)	氮(N)	硫(S)	氮(N)	硫(S)	氮(N)	硫(S)
衍生性燃料	6.80	0.94	6.41	0.86	6.10	0.75	5.80	0.66
燃料氣體	5.14	0.73	4.93	0.71	4.89	0.64	4.69	0.56
飛灰	1.30	0.17	1.17	0.12	0.95	0.10	0.88	0.08
底灰	0.34	0.04	0.29	0.02	0.23	0.01	0.19	0.01
燃燒效率	72.7		82.3		86.9		91.2	

表 7 有機污泥 C 與經調理改質後各參數的氮、硫比例與燃燒效率分析結果

(%)	有機污泥 C				廢食用油			
	100		10		20		30	
	N	S	N	S	N	S	N	S
衍生性燃料	2.75	1.59	2.82	1.49	2.84	1.34	2.87	1.18
燃料氣體	2.03	1.18	2.23	1.12	2.24	1.04	2.26	0.96
飛灰	0.58	0.30	0.46	0.25	0.47	0.19	0.49	0.15
底灰	0.14	0.10	0.12	0.10	0.12	0.09	0.12	0.07
燃燒效率	55.7		60.5		66.2		74.3	

五、結論與建議

整合有機污泥與廢食用油資材化處理技術，將有機污泥調理改質比衍生性燃料標準更高的熱值、無異味、長期保存燃燒效率高、含氮量明顯低於 0.5% 的符合 RDF 歐洲標準以及降低氮氧化物(NO_x)與硫氧化物(SO_x)的廢氣排放之功效，且該終產物亦能作為飼料添加物使用，增加應用層面。在調理改質過程中有機污泥的燃燒效率有顯著增加(約 1.3 倍)。因此，有機污泥經摻配廢食材混拌、擠壓成型和廢食用油調理改質過程不僅提高有機污泥的熱值與熱效率，並資源再利用更具價值，同時也實現廢料處置和降低操作成本。

1. 整合有機污泥與廢食用油性資源化處理方法，適當黏結混拌、成型等程序、投入廢食用油中進行調理改質反應，其熱值皆隨時間與溫度增加而增加，不僅含水率於 25 分鐘短時間內明顯降低至 5% 以下，含油量(油吸收率)約為 40% 大幅提升有機污泥熱值，以高於一般衍生性燃料(RDF-5)熱值標準，突破傳統有機污泥僅能作為傳統堆肥但醱酵過程中臭味持續逸散嚴重影響周遭空氣環境、或作為水泥廠的輔助燃料等創新技術。
2. 本技術所產生的衍生性燃料產物無臭味逸散、能長期保存、燃燒效率提高、含氮量明顯低於 0.5% 的符合 RDF 歐洲標準以及具有降低氮氧化物(NO_x)與硫氧化物(SO_x)的廢氣排放等功效，可降低部分進口燃料的依賴性。
3. 本技術所產生的產物亦能作為飼料添加物，用以補充動物營養來源，節省飼料使用需求量。

誌 謝

筆者特此感謝經濟部技術處學界科專—「半導體廢料回收及稀有金屬純化精煉技術研發」三年計畫(103-EC-17-A-10-S1-187)、經濟部工業局中小企業即時技術輔導計畫—提昇碳化矽再生產品回用率與回收價值之可行性評估(10310380)的經費支助以及 2 家 TFT-LCD 光電廠與 1 家造紙廠提供有機污泥研究。

參考文獻

1. Al-Mansour, F., Zuwala, J., An evaluation of biomass co-firing in Europe. *Biomass Bioenergy* 34, 620–629, 2010.
2. American Society for Testing and Materials (ASTM), Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter, Annual Book of ASTM Standards. ASTM International, West Conshohocken, 2000.
3. Berndes, G., Hansson, J., Egeskog, A., Johnsson, F., Strategies for 2nd generation biofuels in EU – Co-firing to stimulate feedstock supply development and process integration to improve energy efficiency and economic competitiveness. *Biomass Bioenergy* 34, 227–236, 2010.
4. Cai, L., Gao, D., Chen, T.B., Liu, H.T., Zheng, G.D., Yang, Q.W., Moisture variation associated with water input and evaporation during sewage sludge bio-drying. *Bioresour. Technol.* 117, 13–19, 2012.
5. Carrere, H., Dumas, C., Battimelli, A., Batstone, D.J., Delgenes, J.P., Steyer, J.P., Ferrer, I., Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: a review. *J. Hazard. Mater.* 183, 1–15, 2010.
6. Chen, D., Yang, J., Effects of explosive explosion shockwave pretreatment on sludge dewaterability. *Bioresour. Technol.* 119, 35–40, 2012.
7. Chen, W.S., Lin, C.W., Chang, F.C., Lee, W.J., Wu, J.L., Utilization of spent

- activated carbon to enhance the combustion efficiency of organic sludge derived fuel. *Bioresour. Technol.* 113, 73–77, 2012.
8. European Commission-Directorate General Environment, *Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives: Quality Standards for Solid Recovered Fuel*, 2003.
9. Hama, S., Kondo, A., Enzymatic biodiesel production: an overview of potential feedstocks and process development. *Bioresour. Technol.* 135, 386–395, 2013.
10. Han, R., Liu, J., Zhang, Y., Fan, X., Lu, W., Wang, H., Dewatering and granulation of sewage sludge by biophysical drying and thermo-degradation performance of prepared sludge particles during succedent fast pyrolysis. *Bioresour. Technol.* 107, 429–436, 2012.
11. Koberg, M., Gedanken, A., Optimization of bio-diesel production from oils, cooking oils, microalgae, and castor and jatropha seeds: probing various heating sources and catalysts. *Energy Environ. Sci.* 5, 7460–7469, 2012.
12. Lee, J.M., Kim, D.W., Kim, J.S., Na, J.G., Lee, S.H., Co-combustion of refuse derived fuel with Korean anthracite in a commercial circulating fluidized bed boiler. *Energy* 35, 2814–2818, 2010.
13. Manara, P., Zabaniotou, A., Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion – a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2566–2582, 2012.
14. Miskolczi, N., Buyong, F., Angyal, A., Williams, P.T., Bartha, L., Two stages catalytic pyrolysis of refuse derived fuel: production of biofuel via syncrude. *Bioresour. Technol.* 101, 8881–8890, 2010.
15. Piotrowska-Cyplik, A., Cyplik, P., Marecik, R., Czarny, J., Szyman' ski, A., Wyrwas, B., Framski, G., Chrzanowski, L., Materna, K., Genetic and chemical analyzes of transformations in compost compounds during biodegradation of oiled bleaching earth with waste sludge. *Bioresour. Technol.* 114, 75–83, 2012.
16. Romdhana, M.H., Hamasaiid, A., Ladevie, B., Lecomte, D., Energy valorization of industrial biomass: using a batch frying process for sewage sludge. *Bioresour.*

Technol. 100, 3740–3744, 2009.

17. Taiwan EPA, Industrial Waste Control Center Report System. Springer, Taiwan, R.O.C., 2012.

18. Vincent, J., Forquet, N., Molle, P., Wisniewski, C., Mechanical and hydraulic properties of sludge deposit on sludge drying reed beds (SDRBs): influence of sludge characteristics and loading rates. *Bioresour. Technol.* 116, 161–169, 2012.

19. Zhang, L., Xu, C., Champagne, P., Energy recovery from secondary pulp/papermill sludge and sewage sludge with supercritical water treatment. *Bioresour. Technol.* 101, 2713–2721, 2010.