

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030811

紙漿污泥資源回收製成固態衍生燃料

學校名稱：臺南市立崇明國民中學

作者： 國一 吳岳庭	指導老師： 吳俊毅 程旭煬
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：紙漿污泥、資源回收、固態衍生燃料

摘要

造紙廠在生產製程中會產生紙漿污泥，而污泥的特性為高含水率、不易脫水、短時間內容易發臭(主要成分包括碳、硫)等缺點；但分析熱值(平均值 2,800~5,000 kcal/kg)後，發現它高於一般有機污泥(如下水道淤泥)等。2013 年發生油安風暴，國內廢食用油無處可妥善處理，本設計基於回廢生能的觀念，將紙漿污泥及廢食用油兩項造成環境污染的燙手山芋加以結合再利用;先以紙漿污泥與廢食材黏結混拌再成型等程序、投入廢食用油中進行脫氧改質反應，發現含水率明顯降低且高於一般固態衍生燃料(RDF-5)熱值範圍(3,500~5,000 kcal/kg)與煤炭熱值相當、且能長期保存、高燃燒效率、燃燒後殘餘物質可做為土壤改良劑、降低污泥清除處理費用，具回收能資源價值與降低污泥乾燥所需的成本支出…等眾多優點。

壹、 研究動機

一、 泡麵發明聯想的動機

查詢資料於 1957 年，泡麵的發明者吳百福(台灣嘉義人後來歸化為日本籍—安藤百福)有一天他看到妻子在炸天婦羅，發現油炸過程會使水分蒸發，表面又會留下許多小孔，方便乾燥的麵吸收熱水回軟，於是決定嘗試用油炸方式保存麵條。之後他不斷地研究炸油種類、油炸時間，終於研發出全世界第一包泡麵。因此透過泡麵的發明聯想到若是能將會發臭的紙漿污泥不需要浪費能源與時間烘乾，改用油炸方式直接將水分釋放出來，由於油炸後油層會阻隔空氣不易產生臭味，而且可以長期保存。

二、 YouTube 影片聯想的動機

觀看下課花米路節目「漢堡薯條放一年也不會腐爛?」的影片中，臺灣海洋大學食品科學系張正明教授指出薯條在油炸過程中會有(1)高溫環境殺菌(2)脫水現象，造成薯條脫除水分的毛細孔被油填補進去，產生吸油效果，造成整個薯條水活性降低，因此細菌與黴菌不易孳生，此影片實際應用到紙漿污泥因為具生物性且含水率高，透過油炸過程油取代部分水分、減少細菌孳生發臭。因為薯條經過油炸後屬於高熱量食物，代表熱值高，因此研究的構思若將原本高熱值的紙漿污泥與油串連在一起製程燃料棒，應用於衍生燃料或輔助燃料的再生產品。

三、 查詢研究主題資料—紙漿污泥與廢食用油的處理現況與問題點

在國土保育政策限制下、原木漿來源日漸取得不易及進口紙漿成本較高等因素，導致台灣廢紙回收率已超過 75%以上。造紙廠生產水泥紙袋、牛皮紙袋等紙器產品如照片 1 所示，製程所產生的紙漿污泥由於具有高含水率、生物特性不易脫水(除非高溫乾燥殺死細胞，降低水分，但是相當耗能)、短時間臭味易散等許多缺點，紙漿污泥如照片 2，目前處理方式，如掩埋、醱酵作為堆肥再利用等。廢食用油產生源包括機關學校、家庭用戶、夜市攤販、餐飲業、速食連鎖店、食品工廠等，其處理方式包括生質燃料油與生質柴油微小比例(約 5%)添加、飼料微量添加、製作肥皂、甘油與硬脂酸原料、油漆塗料添加與出口等方式，但是民眾仍擔心遭到非法食用油及地下工廠回收重煉再生，重新流入市面，影響環境衛生及對人體健康產生嚴重威脅製成黑心油，毒性化合物會降低食欲、抑制生長、引起肝臟和胃臟腫大、降低紅血球數、胃潰瘍和出血、內臟細胞萎縮或分裂不正常等。

根據環保署廢管處 2014 年事業廢棄物申報流向最新統計資料，紙漿污泥產生量高達 255,495 公噸，數量相當龐大，屬於一般事業廢棄物，每公噸委託清除處理費用約 5,000 元。國內廢食用油年產生量約超過 8.5 萬噸，其中以餐飲業為最多，其次是食品業。目前回收管道仍十分紊亂，經瞭解國內廢食用油清除機構送交再利用機構或輸出價格約每公斤 10~13.5 元，廢食用油收集桶如照片 3。每年食品廠會回收許多過期的澱粉原料，包括地瓜粉、太白粉、玉米粉等都是黏結劑的主要來源，不僅解決廢食材問題也降低製作燃料棒的成本。

一般煤炭熱值約(6,000kcal/kg)主要用於燃煤發電，根據台電公司採購進口煙煤與焦炭資料，在 2015 年超過 640 萬公噸，其中以澳洲和加拿大等國家進口最多，顯示國內對於煤炭能源需求相當大。對於衍生燃料的分類，依據美國材料和試驗協會(ASTM)分類如表 1 所示，紙漿污泥製成衍生性燃料，其標準熱值相對較高。其中 RDF-5 對於原料成分有更高的要求。希冀透過本資源回收方式不僅解決紙漿污泥、廢食材與廢食用油等三項問題，更能創造高熱值衍生燃料之再生能源，降低對煤炭過度開採和依賴。

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	都市廢棄物直接作為燃料，不包含巨大廢棄物。
2	RDF-2	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	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	可燃物處理成粉狀 95wt%，通過 0.035 英吋篩網。
5	RDF-5	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)。



照片 1 造紙廠紙器產品



照片 2 紙漿污泥



照片 3 廢食用油收集桶

貳、 研究目的

本研究目的，希望透過本資源回收處理程序

- (1)本創新的再利用方式，將垃圾變黃金，資源回收一併解決數量龐大的紙漿污泥、廢食材與廢食用油三項環境與民生問題，包括臭味易散與黑心油回製。
- (2)由於製成的固態衍生燃料具有高熱值，能取代或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，減少煤礦的開採與有限天然資源的浪費。
- (3)創造業者有利可圖，而非隨意傾倒或重煉製成黑心油回用銷售，也非傳統耗時臭味逸散的醱酵堆肥方式以及廢油中加入鹼液皂化，生產肥皂等處理流程，亦創造其再生綠色能源之高經濟價值。
- (4)大幅降低紙漿污泥的處理成本，包括委託清除處理費用與乾燥高耗能費用。
- (5)製成的固態衍生燃料產物熱值高於一般固態衍生燃料(RDF-5)。

參、 研究設備及器材

- 1.(1)紙漿污泥樣品取自台南某紙業廠，(2)廢食用油取自台南某夜市油炸後的廢油，(3)天然黏結劑—木薯粉(地瓜粉)則來自食品原料行已過期產品。
- 2.將紙漿污泥和廢食用油的基本特徵，透過(1)元素分析(EA，Elementar 公司的 Vario EL III)瞭解紙漿污泥與固體衍生燃料中的氯、碳、氮、硫等元素成分，如照片 4。(2)熱值分析(ASTM D2015)，瞭解製成固體衍生燃料棒的熱值高低，如照片 5。(3)烘箱(105℃)測定紙漿污泥與固體衍生燃料的水分含量。(4)天平量秤紙漿污泥與固體衍生燃料的重量。

肆、 研究過程或方法

本技術主要目的是將高含水率紙漿污泥與天然黏結劑(如地瓜粉等澱粉類)裹粉混拌、利用水管擠出成型後於廢食用油中進行脫氧改質反應等程序，於短時間內能大幅降低紙漿污泥的含水率與除臭(原理主要是透過油層隔離空氣，防止氧化並脫臭)、能長期保存、提高熱值與同時處理三項廢棄物的一項創新技術，圖 1 為紙漿污泥經資源回收處理流程圖，天然黏結劑如照片 6，混拌、成型過程如照片 7，脫氧改質反應實驗過程如照片 8，資源回收處理後固態衍生燃料產物，平均每一支的重量約 4.7~5.7g 如照片 9，燃料棒產物燃燒情形如照片 10。

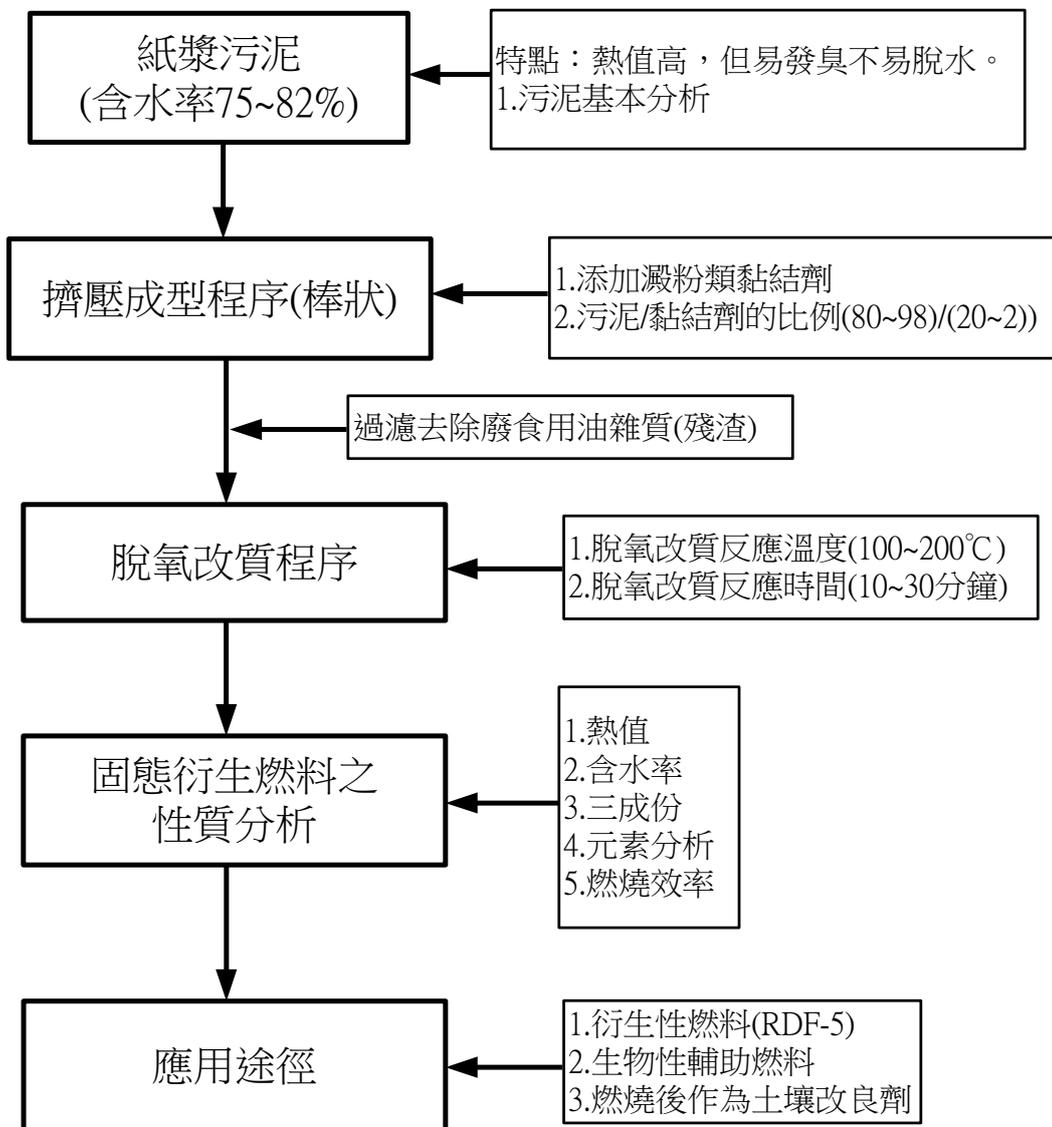
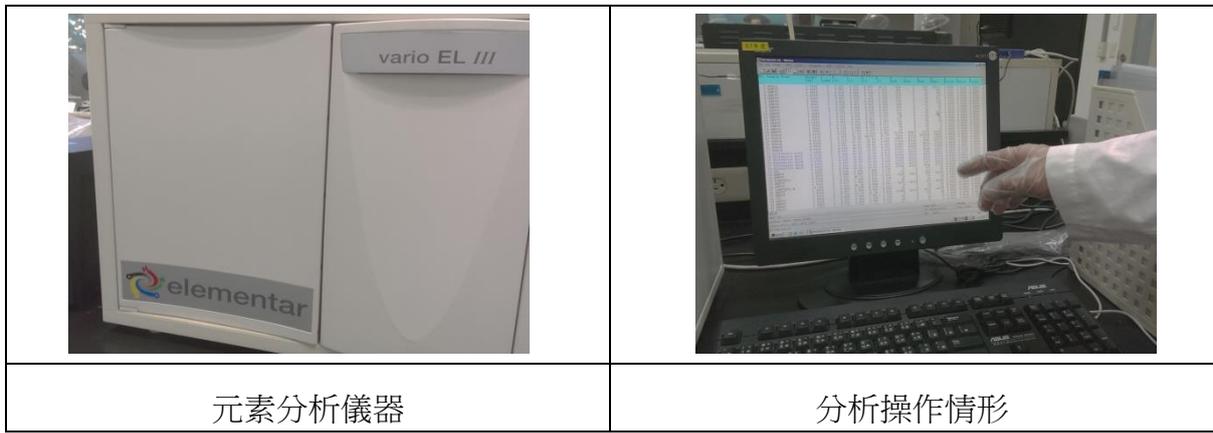
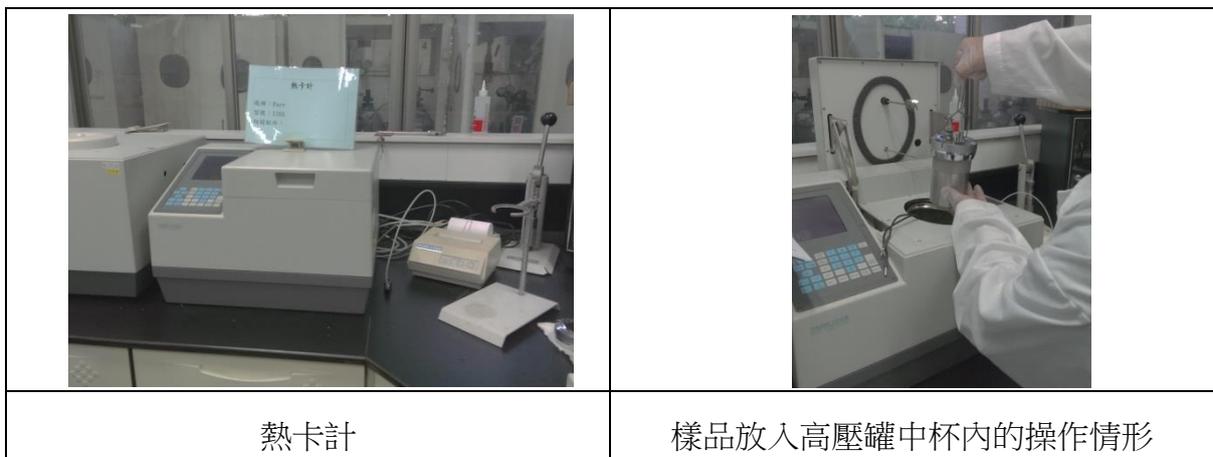


圖 1 紙漿污泥資源回收處理的流程圖



照片 4 元素分析儀器與操作情形



照片 5 熱卡計儀器與操作情形



照片 6 天然黏結劑



混拌過程

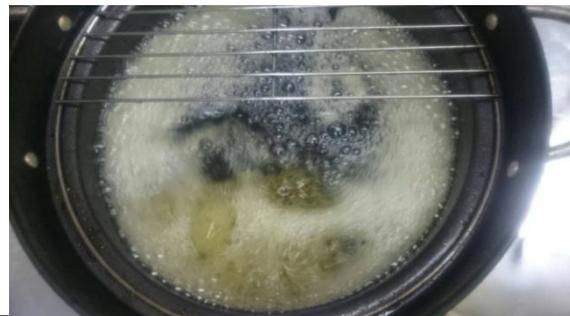


成型過程

照片 7 混拌、成型過程



倒入廢食用油於油炸鍋



脫氧改質反應實驗過程-1



脫氧改質反應實驗過程-2



脫氧改質反應實驗過程-3

照片 8 脫氧改質反應實驗過程

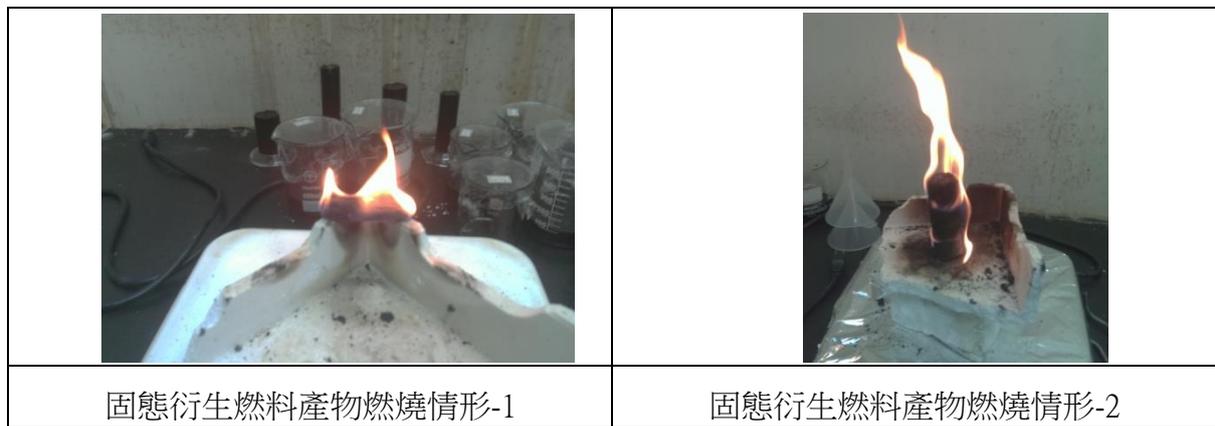


固態衍生燃料產物-1



固態衍生燃料產物-2

照片 9 固態衍生燃料產物



照片 10 固態衍生燃料產物燃燒情形

伍、 研究結果與討論

一、 紙漿污泥脫氧改質程序之特性分析

三種紙漿污泥 A、B、C 和廢食用油的基本性質彙整於表 2。三種紙漿污泥 A、B、C 之脫氧改質程序分析數值彙整於表 3。含水率和油攝取率從用脫氧改質過程中紙漿污泥幾乎於 25 分鐘後達到平衡。結果顯示成型物在脫氧改質過程中，相對較高溫度和較長時間會有較高的油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會消耗更多的能量。對照表 2 與表 3 中，紙漿污泥 C 於脫氧改質過程中反應溫度 190°C 經 30 分鐘後，熱值從原先 2,687 kcal/kg 顯著增加至約 5,000 kcal/kg，經過脫氧改質後紙漿污泥將適合被回收作為衍生替代燃料。

表2 三種紙漿污泥與廢食用油之元素分析

元素 (%)	紙漿污泥A	紙漿污泥B	紙漿污泥C	廢食用油
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	—
熱值 (kcal/kg)	4,827	4,954	2,687	8,784

表3 三種紙漿污泥脫氧改質之操作條件(不同的脫氧時間與溫度)與實驗結果

分析項目/種類		紙漿污泥A			紙漿污泥B	紙漿污泥C			
時間 (min)	溫度 (°C)	含水率 (%)	油攝取率 (%)	熱值 (kcal/kg)	熱值 (kcal/kg)	熱值 (kcal/kg)			
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			
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			
最佳條件	A	脫氧時間 25min 脫氧溫度 190°C 4,827→6,433kcal/kg 與煤炭熱值相當		B	脫氧時間 25min 脫氧溫度 190°C 4,954→6,332kcal/kg 與煤炭熱值相當		C	脫氧時間 30min 脫氧溫度 190°C 2,687→4,993kcal/kg 熱值選擇最高者	

二、衍生性燃料的性能分析

三種紙漿污泥 A、B、C 經脫氧改質後，分析結果如表 4。脫氧改質條件為脫氧溫度 170°C，脫氧時間 25 分鐘。三種紙漿污泥其熱值皆隨時間與溫度增加而增加，含水率在脫氧改質溫度 170°C，脫氧改質時間 25 分鐘時，降至 5% 以下，紙漿污泥的含油量(油吸收率)約為 40%，顯示擠壓成型物經與廢食用油進行脫氧改質程序，加工成為衍生燃料 (RDF-5)。紙漿污泥的成型物在脫氧改質過程中混合廢食用油，因此脫氧改質後的含氮量除了紙漿污泥 C 增加外(2.55%略增加為 3.0%)，其餘的含氮量比脫氧改質前明顯降低，紙漿污泥 A(由 7.12%降為 5.51%)與紙漿污泥 B(由 8.88%降為 4.28%)。至於含硫量與含氮量

皆比脫氧改質前略低，脫氧改質後含氯量明顯低於 0.5%的 RDF 歐洲標準限制，更能符合歐洲 RDF 含氯量標準。

表4 三種紙漿污泥經脫氧改質後衍生性燃料水份、含油量、元素分析與熱值分析

分析項目	紙漿污泥A	紙漿污泥B	紙漿污泥C
水份 (%)	4.0	3.9	4.2
含油量 (%)	41.5	40.9	38.9
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(kcal/kg)	6,155	6,075	4,725

脫氧改質條件：脫氧改質溫度 170℃，脫氧改質時間 25 分鐘。

陸、 結論

整合紙漿污泥、廢食材與廢食用油資源回收處理技術，將紙漿污泥脫氧改質後，其固態衍生燃料熱值明顯高於一般衍生燃料標準熱值、且無異味、長期保存燃燒效率高、含氯量明顯低於 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。在脫氧改質過程中紙漿污泥的燃燒效率有顯著增加(約 1.3 倍)。因此，紙漿污泥經摻配天然黏結劑澱粉混拌、成型和廢食用油脫氧改質過程，不僅提高紙漿污泥的熱值與熱效率，並資源再利用更具價值，同時也實現廢棄物處理和降低成本。

- (1)一併解決紙漿污泥與廢食用油性資源回收處理方法，適當黏結混拌、成型等程序、投入廢食用油中進行脫氧改質反應，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%大幅提升紙漿污泥熱值，以高於一般衍生性燃料(RDF-5)熱值標準，突破紙漿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、或僅能作為水泥廠的輔助燃料等創新技術。
- (2)本處理程序所產生的固態衍生燃料產物無臭味逸散、能長期保存、燃燒效率提高、含氯量明顯低於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，可降低進口燃料-煤炭的依賴性。
- (3)本固態衍生燃料產物燃燒後殘餘物質可做為土壤改良劑，中和改善土壤的酸鹼度。

柒、參考資料及其他

1. 蘋果日報，泡麵發明人 - 吳百福，2007 年 1 月，網址 <http://www.appledaily.com.tw/appledaily/article/headline/20070107/3162951/>
2. 下課花路米 YouTube 影片漢堡薯條放一年也不會腐爛！，網址 <https://www.youtube.com/watch?v=G7f5PAwMhEw&ebc=ANyPxKoBldPFJdFmaDiwLeyNOB3gyfPXxJD-OgfhGDdHpR1d7MIIdLmIlgPa1EvgZooOPGs69pY7LsGUZruInBjwA2S6TwrN5pbg>
3. 行政院環保署廢棄物申報及管理資訊系統的歷年統計資料網站，網址 <http://waste.epa.gov.tw/prog/IndexFrame.asp?Func=5>
4. 行政院環保署，廢食用油回收管理機制簡報資料，104 年 1 月，網址 <http://www.epa.gov.tw/oil/File/%E5%BB%A2%E9%A3%9F%E7%94%A8%E6%B2%B9%E5%9B%9E%E6%94%B6%E7%AE%A1%E7%90%86%E6%A9%9F%E5%88%B6.pdf>
5. 經濟部能源局煙煤_煉焦煤進口來源之歷年統計資料，網址 <http://web3.moeaboe.gov.tw>
6. 產業減廢與資源再生，第 14 章廢食用油資源化技術簡報資料，網址 https://lms.cit.cyut.edu.tw/sys/read_attach.php?id=900237
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. Manara, P., Zabaniotou, A., Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion - a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2566 - 2582, 2012.
9. 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.
10. 吳森博，財團法人台灣綜合研究院，綠色能源-生物炭發展現況，102 年 9 月 24 日。

【評語】 030811

1. 使用廢食用油炸高水分及高嗅味成分之汙泥，能源耗用及二次汙染均大，本法實用價值低。
2. 廢料（汙泥，廢油，廢澱粉）之合併利用方法佳。