



以稻草混合甘油製備固態衍生燃料之研究探討

陳威凱¹ 梁皓翔¹ 鄭語萱² 吳友平^{3,*} 林雅芬⁴

1. 國立宜蘭大學化學工程與材料工程系大學部 學生

2. 國立宜蘭大學化學工程與材料工程系碩士生

3. 國立宜蘭大學化學工程與材料工程系教授

4. 國立宜蘭大學化學工程與材料工程系講師

摘要

近年來由於化石燃料被大量使用，導致煤炭的存量大量減少，因此各國紛紛投入生物質燃料的研究及發展，因其燃燒性質與煤炭相近，且具有碳中性排放、燃燒後殘餘物可自然分解等優點。本研究以稻草為原料，並添加不同甘油比例的黏著劑製成固態衍生燃料(Refuse Derived Fuel, RDF)，且針對不同甘油比例的燃料進行物化性質分析，探討甘油含量對含水率、耐久性以及熱值的影響。近似分析方面，分別對不同甘油含量的 RDF 進行燃燒，探討其灰分、揮發分以及固定碳含量，藉此結果初步評估擁有較好燃燒性質的 RDF。此外，我們也將 RDF 置於充足及過量的空氣環境中燃燒，並且收集排放之氣體進行分析，目的為探討不同甘油含量對燃燒時的溫度與氣體的影響。

關鍵字: 衍生燃料，稻草，甘油，近似分析，燃燒

*通訊作者 E-mail : ypwu@niu.edu.tw



Study on Preparation of Refuse Derived Fuel by Mixed Glycerol in Straw

Wei-Kai Chen¹, Hao-Hsiang Liang¹, Yu-Hsuan Cheng², Yo-Ping Greg Wu^{3,*}, Ya-Fen Lin⁴

1.Undergraduate Student, Department of Chemical and Materials Engineering, National Ilan University.

2.Graduate Student, Department of Chemical and Materials Engineering, National Ilan University.

3.Professor, Department of Chemical and Materials Engineering, National Ilan University.

4.Lecturer, Department of Chemical and Materials Engineering, National Ilan University.

ABSTRACT

In this study, we used straw as raw material and the addition of different glycerol ratio to make refuse derived fuel (RDF). The effects of glycerol content on water content, durability and calorific value were investigated. In the aspect of approximate analysis, the RDF of different glycerol content was burned, and the contents of ash, volatiles and fixed carbon were discussed. The RDF with better combustion properties was evaluated. In addition, we also put RDF in theory and excessive air environment to burn, and collect emissions of gas for analysis to explore the different glycerol content on the combustion temperature and gas emissions.

Keyword: Refuse derived fuel, Straw, Glycerin, Approximate analysis, Combustion.

*Corresponding author e-mail: ypwu@niu.edu.tw

一、前言

1-1 研究動機

18 世紀工業革命至今，人們體會到燃料及電力對生活帶來的便利，因此對化石燃料的需求與日俱增。然而，化石燃料並不是無限供應，其形成需耗費上百萬年的時間，但是人們卻在這短短兩百年間毫無節制的大量消耗 (郭箴誠，2012)，根據世界能源會(WEC)估計，全球的石油將於 40-50 年內用盡，而天然氣、煤礦也將分別於 60-70 年、200-300 年內開採殆盡。因此近年來，找尋可以替代化石燃料的能源逐漸受到世人的重視。

作為可替代化石燃料之能源，必須具有再生性、可永續發展以及低汙染等優點(李方正，2009)。在眾多的再生能源中，生質能一直是備受關注的一塊，因為它具有技術較成熟、經濟效益較高、且材料多為廢棄物，故兼具廢棄物的回收處理與能源生產的雙重效益...等優勢(吳耿東、李宏台，2004)。

近年來，生物質燃料的研究大量增加，因為生物質燃料的來源多是能源作物、動物排泄物及森林廢棄物(鍾金明，2011)，原料取得較容易，且生物質燃料有碳中性排放、燃燒後殘餘物可自然分解以及可再生利用之優點(陳維新，2012)。不過有許多能源作物同時也是糧食作物，例如:玉米及小麥等，因此在取得能源作物時可能會造成糧食減少、耕地不足等情況發生。為避免此情況，本實驗使用收穫後之剩餘稻草為主要原料來製成生物質燃料。

1-2 研究目的

本實驗的研究目的為使用不同比例之水及甘油，混合成黏著劑加入稻草中製成造粒成品，並且烘乾後得 RDF，接著對這些 RDF 進行基本的物理性質、燃燒性能及熱值測試。

本實驗針對 RDF 在高溫燃燒時所排放之氣體進行探討，並且分析不同比

例黏著劑製成之 RDF 在燃燒時所排放之 CO、CO₂、NO_x 以及 SO₂ 之濃度。

二、材料與方法

2-1 自製甘油

本研究是使用大豆油作為原料，並經由轉酯化及水洗後得到大豆生質柴油以及副產物甘油，本研究即使用副產物之甘油來進行實驗。

2-1-1 酸價補償(將動植物油進行前滴定)

油品經過一段時間的存放後會產生少許的游離脂肪酸，進而導致轉酯化時作為觸媒的氫氧化鈉會與之形成皂化反應。但皂化反應會使得反應時所需的觸媒的量不足而無法完全反應，因此需要先進行前滴定來決定觸媒的添加量。

先將 1g 的氫氧化鈉溶於 1L 蒸餾水中製成鹼液，再取 1mL 的大豆油溶於 10mL 的異丙醇中，加入少許酚酞指示劑。將配好的氫氧化鈉溶液當作滴定液來滴定大豆油與異丙醇的混合溶液，直到變成粉紅色維持 30 秒不褪色，即完成滴定。假設滴定的量為 X，

$$X+3.5=L \quad (1)$$

3.5=每升大豆油進行轉酯化所需加入的基本氫氧化鈉克數(g)

X=滴定時所耗用的鹼液量(mL)

L 即為 1 公升的植物油中所需要添加的觸媒(氫氧化鈉)克數。

2-1-2 鹼性催化法轉酯化

精秤上述步驟所算出的克數(L)的氫氧化鈉並溶於 200mL 甲醇中，以攪拌機攪拌至氫氧化鈉完全溶解後，在將 1L 的大豆油倒入甲醇與氫氧化鈉混合液中，60°C 加熱攪拌 30 分鐘以上(倒入時必須持續攪拌)，使其能夠完全反應。

將反應好的混合液體倒至分液漏斗中，靜置 30 分鐘以上的時間可觀察到分液漏斗

內分為兩層，上層為生質柴油，下層為生質柴油的副產物甘油。為取得較佳的分離效果，本研究將溶液靜置兩天後，將下層甘油漏掉並收集起來即為本實驗所使用之甘油，剩下之上層生質柴油經水洗分離後收集起來供其他實驗使用。

2-2 製作樣品

2-2-1 前處理

將稻草曬乾後，再將稻草使用破碎機粉碎至適當大小得到稻草樣品，接著在 105°C 烘箱中烘乾 24 小時得乾燥稻草樣品。

取 700 克乾燥稻草樣品與 700 克黏著劑混合。黏著劑的成分為水與甘油，其比例 (W/W) 分別為 100:0、90:10、70:30、50:50、30:70。分批式地加入甘油黏著劑與稻草以 1:1 比例混合並隨時攪拌，方能充分均勻混合。

2-2-2 造粒成形

將混合後的樣品放至造粒機的入料斗中，啟動造粒機並在出料口以鐵盤接取造粒樣品，重複上述步驟至樣品呈現條狀即得造粒成品。

造粒成品在室溫中冷卻 24 小時，再放到烘箱中以 65°C 烘乾 24 小時，即為本次實驗中使用的造粒生質燃料(RDF)。

2-3 樣品物化特性分析

2-3-1 含水率(Moisture Content)

本研究依據中華民國國家標準方法 CNS452(木材含水率試驗法)所公告之含水率分析方法測定含水率。計算方法如下：

$$u=(m_1-m_2)/(m_2-m_0)\times 100 \quad (2)$$

其中，u:各個試體之含水率(%), m₀:燒瓶之質量(g), m₁:乾燥前試體與燒瓶之質量(g), m₂:乾燥後試體與燒瓶之質量(g)。

2-3-2 耐久性

取一塊完整的試體，並使用可測量是 0.001g 之天秤測量其落下前之質量。測量後將試體從 1.85 公尺處垂直落下，取試體散落後體積最大碎塊，使用相同天秤測定其落下後之重量，並計算其重量差之百分比(Okey et al,2015)。本研究採三重複實驗測量耐久性，並取其平均值。計算方法如下：

$$W=(W_1-W_2)/W_1\times 100 \quad (3)$$

其中，W：重量損失百分比(%)， W_1 ：測試前重量(g)， W_2 ：測試後重量(g)。

2-3-3 熱值(Heating value)

本研究依據中華民國國家標準方法 CNS10835(固體燃料之總熱值測定法(彈卡計法)及淨熱值之計算)所公告之熱值分析方法測定熱值。計算方法如下：

$$H_c = \frac{W \times T - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (4)$$

其中， H_c ：總燃燒熱量值(cal/g)，T：燃燒後觀測到的上升之溫度值($^{\circ}\text{C}$)，W：熱量計被使用的水當量(cal/ $^{\circ}\text{C}$)， e_1 ：在氧彈瓶內的氮氣燃燒變成硝酸產生的熱量(cal)， e_2 ：二氧化硫、水和氧氣作用形成硫酸產生的額外熱量(cal)， e_3 ：油點火線所產生的熱量(cal)，m：樣品的質量(g)。

本研究所測得為總熱值(GHV)，且採三重複實驗並取其平均值。

2-4 樣品之近似分析

2-4-1 灰分(Ash Content)

本研究依據中華民國國家標準方法 CNS3084(木材灰分試驗法)所公告之灰分分析方法測定灰分。計算方法如下：

$$A = W_2 / W_1 \times 100 \quad (5)$$

其中，A:灰分(%), W₁:絕乾試樣重量(g), W₂:灰分重量(g)。

2-4-2 揮發分(Volatile Matter Content)

本研究依據中華民國國家標準方法 CNS10823(煤炭及焦炭之揮發分定量法)所公告之揮發分分析方法測定揮發分。計算方法如下：

$$VM = W_2 / W_1 \times 100 \times (100 / (100 - u)) \quad (6)$$

其中，VM:揮發分(%), W₁:試樣重(g), W₂:加熱減量重(g), u:含水率(%)。

2-4-3 固定碳(Fixed carbon)

本研究依據中華民國國家標準方法 CNS10824(煤炭及焦炭之固定碳計算法)所公告之固定碳分析方法計算固定碳。

$$F = 100 - (u + A + VM) \quad (7)$$

其中，F:固定碳(%), u:含水率(%), A:灰分(%), VM:揮發分(%)。

2-5 樣品露天燃燒之氣體分析

本研究利用手提式煙道氣體偵測器(E Instruments E4500, E Instruments)測量 CO、CO₂、NO_x 以及 SO₂ 的含量。

為確保燃燒所排出之氣體能完整地由煙道儀收集，本實驗在通風櫥中進行。在通風櫥中放置一個具有單一氣體輸入口的火爐，並將氣體輸入口以管子連接空壓機來輸送空氣，在管子中段有一浮子流量計來控制空氣流量。在爐子上方架一個和火爐相同大小的罩子，其中央有一個小孔可放入煙道儀的氣體偵測器。

精秤 15g 試樣放置於火爐正中央，用打火機點火後開始收集氣體數據，每 5 秒收集一組，共收集 180 組，且將這些數據繪成曲線圖以方便判讀。

本研究將比較不同樣品間各種氣體的排放量，且依據輸入的空氣流量分為理論空

氣以及富氧兩組進行比較。理論空氣流量為 4(L/min)，而富氧流量為 10(L/min)(鄭語萱，2017)。

三、結果與討論

3-1 樣品之物化性質分析

本研究針對加入不同比例甘油所製成的 RDF 與純稻草進行含水率、耐久性、熱值的分析，討論如下：

3-1-1 含水率(Moisture Content)

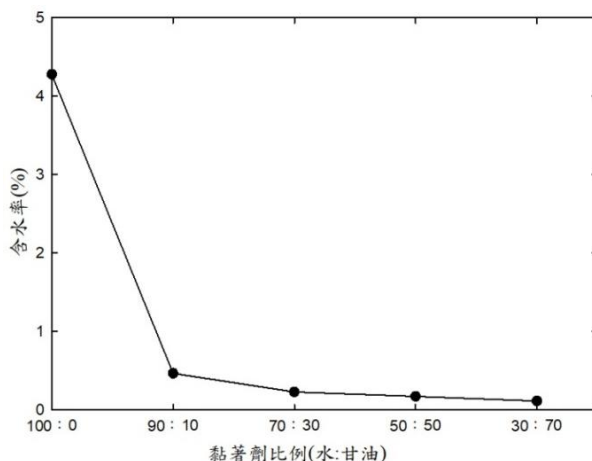


圖 3-1 不同黏著劑比例之 RDF 的含水率

圖 3-1 為將不同比例的黏著劑混入稻草所製成之 RDF 的含水率趨勢圖，由圖 3-1 可知從混入 10% 甘油開始，樣品的含水率就大幅下降至 0.5% 以下；含水率大幅下降是因為甘油是吸水性極強的醇類，可與水任意比例互溶，互溶後甘油分子會與水分子產生分子間氫鍵，鍵能極強，不易被打斷。而含水率的測試方法為使用烘箱以 105°C 烘至恆重，溫度並不足以打斷甘油與水之間的氫鍵，因此蒸發的水分極少而產生極低的含水率，可以獲得較高的熱值及較少的灰分(Aina et al,2009)，適合用來製成 RDF。

3-1-2 耐久性(Durability)

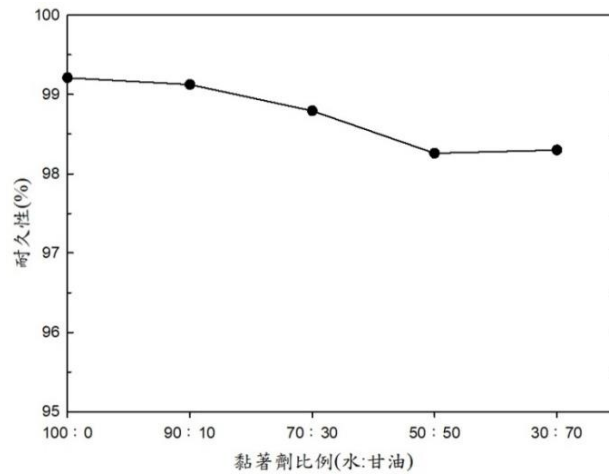


圖 3-2 不同黏著劑比例之 RDF 的耐久性

圖 3-2 為將不同比例的黏著劑混入稻草所製成之 RDF 的耐久性趨勢圖，由圖 3-2 可以看出隨著甘油比例的增加，RDF 的耐久性會逐漸下降，其質地較軟、樣品縫隙較大，不論從耐久性測試或是用手觸摸，都可明顯的感受出質地的變化。雖然 70% 甘油含量的 RDF 耐久性較低，但還是有 98% 的 RDF 能保持完整，且因為造粒的 RDF 較輕，碰撞過程中不容易破碎，因此對於儲存或長途運輸都具有良好的保存性。

3-1-3 熱值(Heating value)

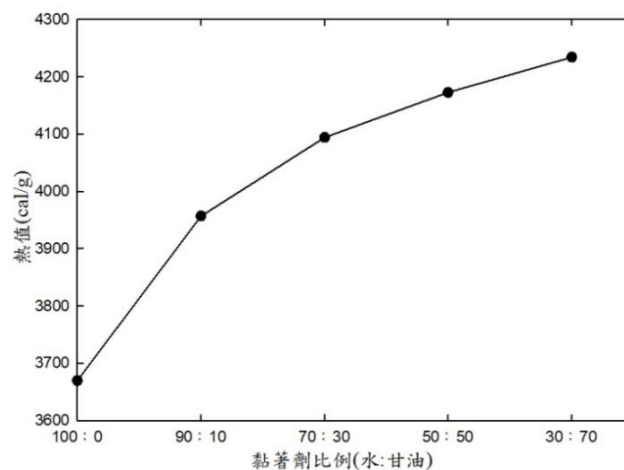


圖 3-3 不同黏著劑比例之 RDF 的熱值

本研究所測得的是總熱值(GHV)，由圖 3-3 可以看出加入甘油後，熱值明顯地上升，從圖 3-3 中的趨勢線可以看出甘油含量從 0% 增加到 10% 時，熱值大幅上升，表示

加入甘油後對 RDF 的熱值有顯著的幫助。而在甘油含量 70% 的 RDF 具有 4234.20(cal/g) 的熱值，相較於以糖漿作為黏著劑的 RDF 擁有更高的熱值(3888.1 cal/g)(Pongsak,2015)。

3-2 樣品之近似分析

本研究針對加入不同比例甘油所製成的 RDF 與純稻草進行灰分、揮發分、固定碳的分析，討論如下：

3-2-1 灰分(Ash content)

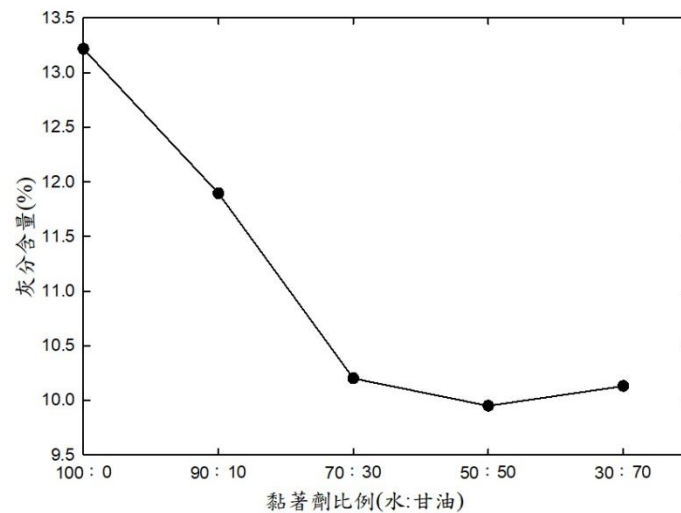


圖 3-4 不同黏著劑比例之 RDF 的灰分含量

圖 3-4 為將不同比例的黏著劑混入稻草所製成之 RDF 的灰分含量趨勢圖，由圖 3-4 可看出純水所製成之樣品的灰分含量最高，可能是因為由稻草製成 RDF 後，燃燒表面積大幅減少所造成灰分含量增加。在加入不同比例的黏著劑後後，因為甘油能使 RDF 燃燒更完全，所以灰分有逐漸下降的趨勢。

3-2-2 揮發分(Volatile matter)

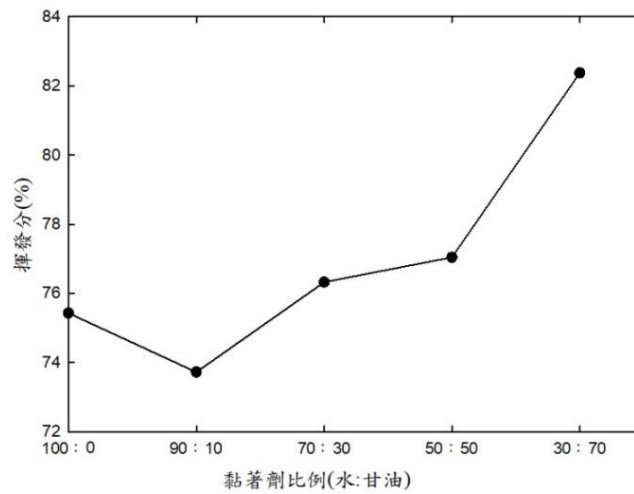


圖 3-5 不同黏著劑比例之 RDF 的揮發分含量

圖 3-5 為將不同比例的黏著劑混入稻草所製成之 RDF 的揮發分含量趨勢圖，由圖 3-5 可看出隨著甘油添加比例的提高，揮發分含量也逐漸增加，代表甘油含量高的樣品在進行燃燒時可以較容易點燃，且燃燒速率也比較快。此外，高揮發分的樣品也代表其在燃燒過程中，大部分的樣品將在爐中揮發或成為氣體，可以減少灰分殘留 (Akowuah et al,2012)。

3-2-3 固定碳(Fixed carbon content)

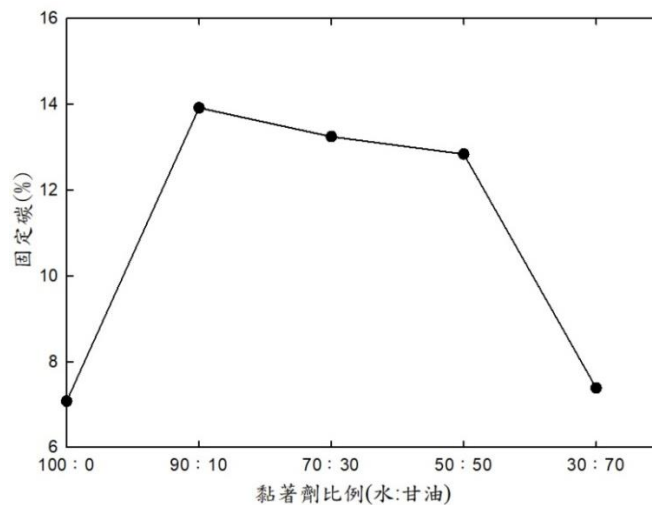


圖 3-6 不同黏著劑比例之 RDF 的固定碳含量

圖 3-6 為將不同比例的黏著劑混入稻草所製成之 RDF 的固定碳含量趨勢圖，由圖 3-6 可看出甘油比例為 0% 和 70% 的樣品的固定碳含量最低，但是造成其固定碳含量低的原因並不相同。甘油含量 70% 的樣品固定碳含量低的原因是因為其燃燒時揮發分很多，因此固定碳較少，這個結果符合上述燃燒快速、反應性高的燃料特性。甘油含量 0% 的樣品的原因則是因為燃燒後殘留的灰分含量多、且含水率高所導致，其燃燒特性並不良好。因此，一種燃料的優劣，並不能單從固定碳含量來判斷，還需要其他近似分析的結果才能進行評估。

3-3 樣品露天燃燒之氣體分析

3-3-1 燃燒氣體溫度

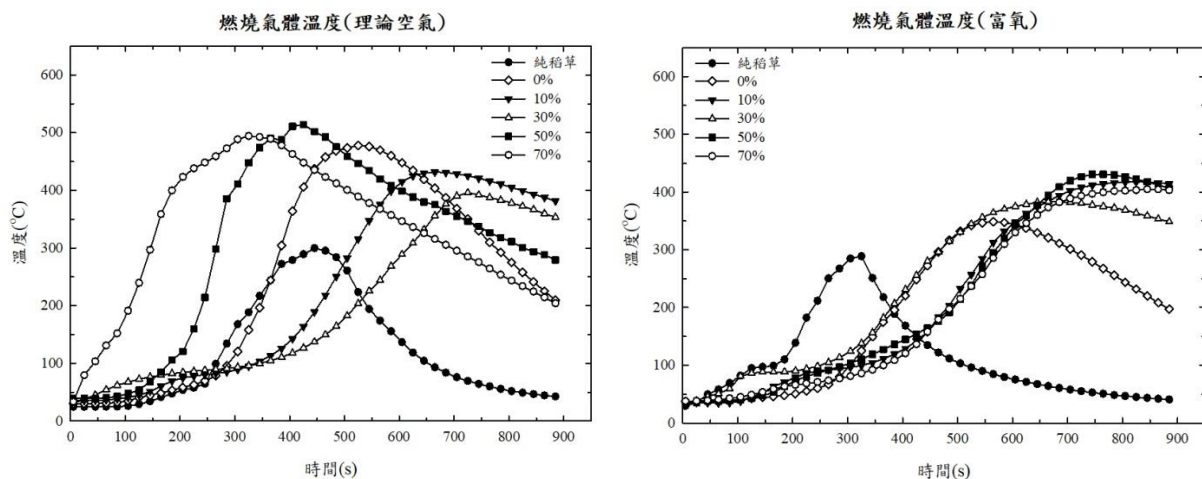


圖 3-7 不同黏著劑比例之 RDF 於同氣體流量中之燃燒氣體溫度比較

圖 3-7 為不同黏著劑比例之 RDF 於同氣體流量中所測得燃燒氣體溫度之比較，由圖 3-7 可看出未經造粒之稻草在燃燒方面較快速但產生的氣體溫度較低，而甘油比例 50% 及 70% 的 RDF 燃燒時所產生的氣體溫度較高，另外由圖 3-7 無法歸納出較低甘油比例與溫度的關係。而在升溫速度的方面可看出通入理論空氣的升溫速度較快，在富氧環境中升溫速度較慢，可能是因為過量空氣會將熱氣稀釋所造成。

3-3-2 一氧化碳(CO)

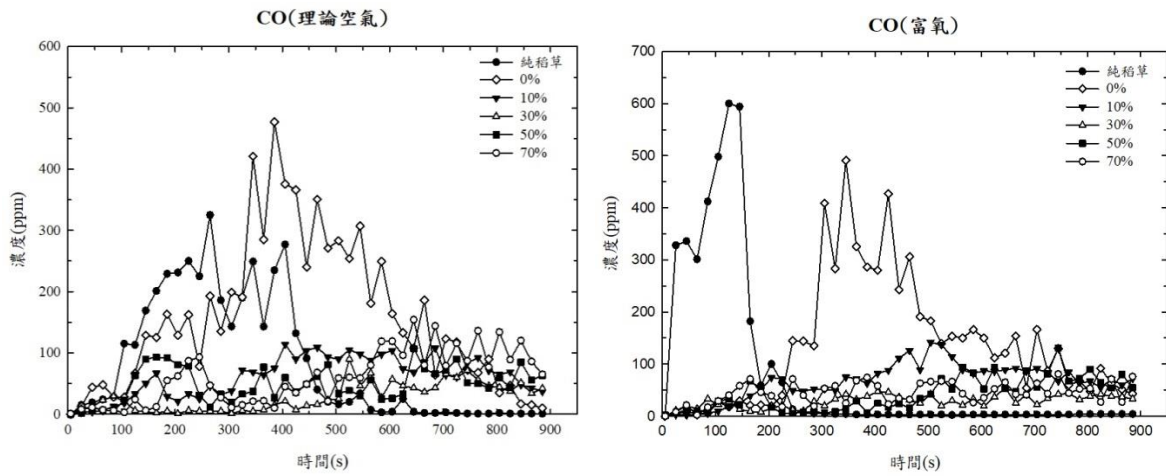


圖 3-8 不同黏著劑比例之 RDF 於相同氣體流量之 CO 排放量比較

圖 3-8 為不同黏著劑比例之 RDF 於同氣體流量之 CO 排放量比較，可從圖 3-8 看出在理論空氣中，未添加甘油的 RDF 有最高的 CO 排放量(520ppm)，可能是因為造粒時無添加助燃劑，因此燃燒較不完全所導致。而在富氧環境中則是純稻草排放出最多 CO (620ppm)，推測是因為稻草可以快速點燃但燃燒溫度不高，因此難以完全燃燒所致。由以上結果可歸納出，若在 RDF 中摻入甘油作為助燃劑，能使 RDF 燃燒完全，CO 排放量大幅度的減少。

3-3-3 二氧化碳(CO₂)

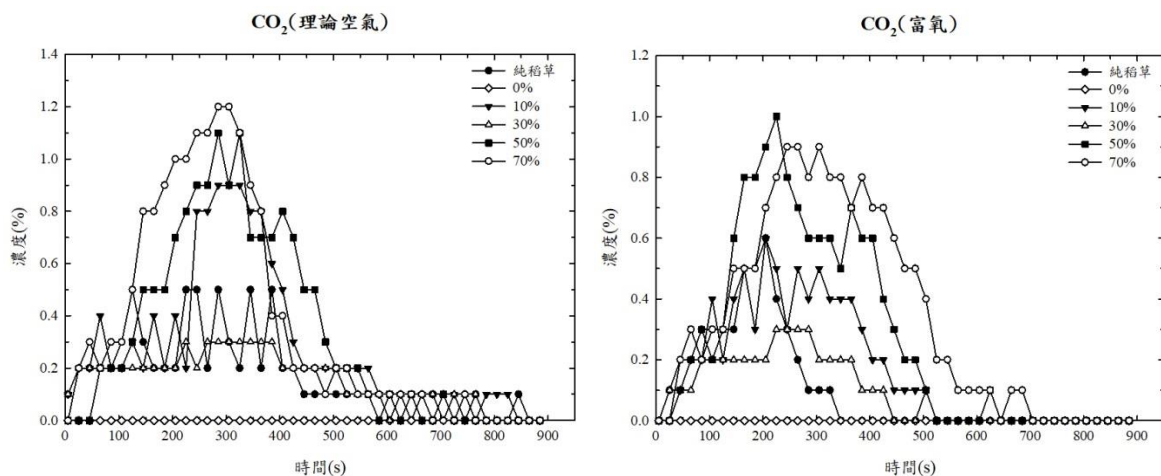


圖 3-9 不同黏著劑比例之 RDF 於相同氣體流量之 CO₂ 排放量比較

圖 3-9 為不同黏著劑比例之 RDF 於相同氣體流量之 CO₂ 排放量比較，由圖 3-9 可以看出在理論空氣下，70%的甘油比例會產生最高的 CO₂ 排放量(1.2%)，而在富氧環境中，50%與 70%的甘油比例皆會產生最高的 CO₂ 排放量(1.0%)。由以上結果可歸納出甘油含量愈高的 RDF 經燃燒後排放的 CO₂ 也愈多，與僅摻入水的 RDF 相比，甘油 RDF 所產生的 CO₂ 高出許多，表示含甘油的 RDF 之燃燒性質較不含甘油的佳，其碳源較多且燃燒較完全。

3-3-4 氮氧化物(NO_x)

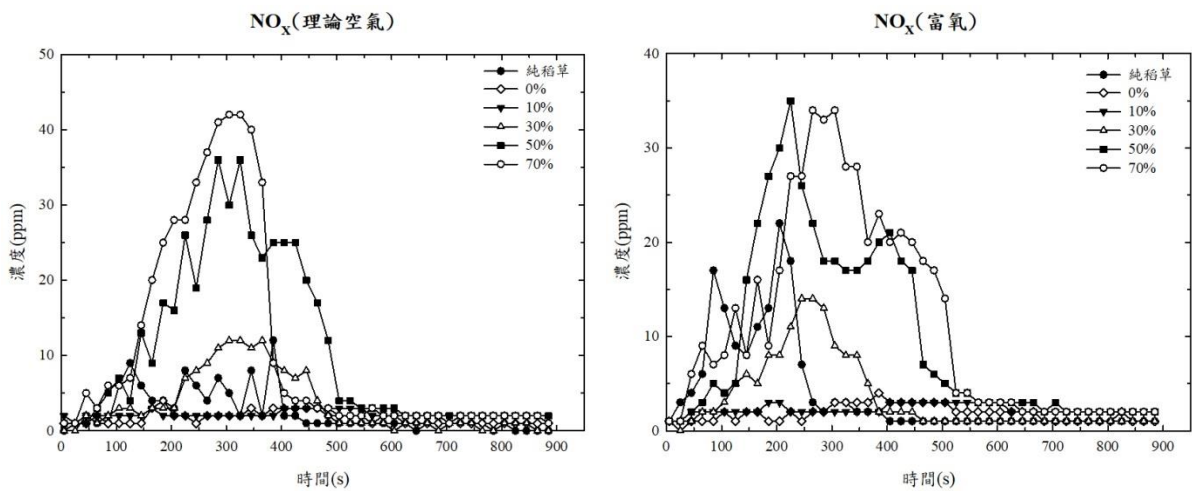


圖 3-10 不同黏著劑比例之 RDF 於同氣體流量中之 NO_x 排放量比較

圖 3-10 為不同黏著劑比例之 RDF 於同氣體流量中所測得 NO_x 排放量之比較，由圖 3-10 可看出 70%甘油比例的 RDF 不論在哪種環境中都會產生最多的 NO_x 排放量，而 50%甘油比例的 RDF 則是在富氧環境中會排放出最多的 NO_x(35ppm)。由以上結果可歸納出隨著甘油比例的增加，氮氧化物的排放量也有上升的趨勢，是因為高甘油含量的 RDF 在燃燒時，其燃燒溫度較高，使氮氣更容易與氧氣結合而產生較多氮氧化物。在燃燒過程中，氮氧化物的最高濃度為 45ppm，而煤炭燃燒時僅二氧化氮的濃度就高達 430ppm(唐永鑾、張錫聲，1992)，相較之下 RDF 的氮氧化物排放量較少，對人體的神經系統與呼吸器官較不會造成影響，對環境的汙染也能減輕許多。

3-3-5 二氧化硫(SO₂)

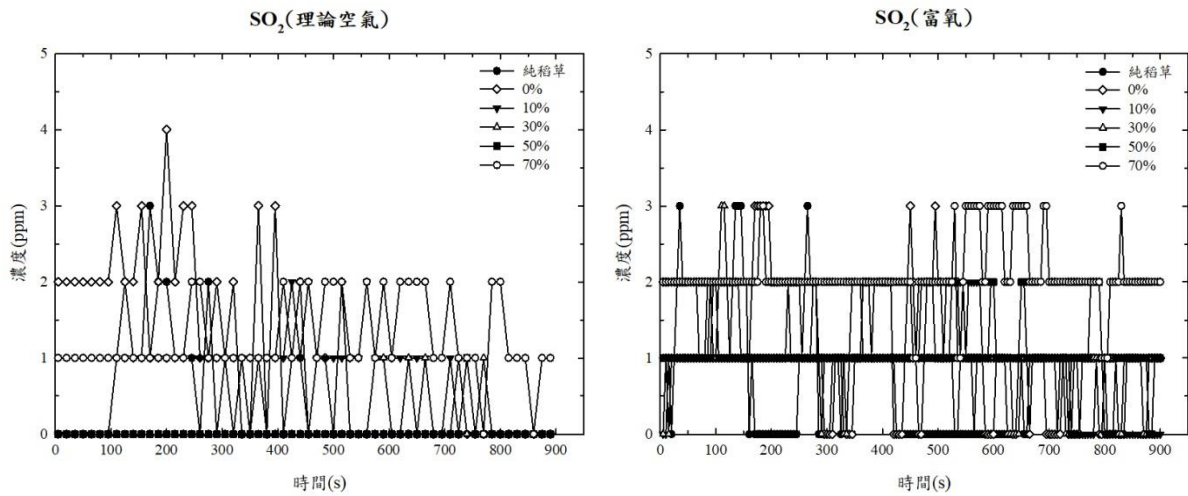


圖 3-11 不同黏著劑比例之 RDF 於同氣體流量中之 SO₂ 排放量比較

圖 3-11 為不同黏著劑比例之 RDF 於同氣體流量中所測得 SO₂ 排放量之比較，由圖 3-11 可以看出在理論空氣空氣流量時，甘油比例少的樣品 SO₂ 的排放量較高，可能是因為稻草在 RDF 中所佔的比例較高，因此所釋放的 SO₂ 也比較多。但不論甘油比例為何，SO₂ 的排放量相較於煤炭的 14.28ppm(唐永鑾、張錫聲，1992)都低很多，大約 3ppm 左右，因為煤炭本身硫含量較高，其硫含量平均為 1.7wt%(Stanislav et al,2015)，而稻草的硫含量僅有 0.13wt%(Stanislav et al,2010)，比煤炭少許多，因此燃燒後產生的 SO₂ 也減少許多。排放的 SO₂ 愈少，愈能避免空氣汙染及酸雨的發生，對環境造成的負擔較小。

四、結論

本研究利用添加不同比例的水與甘油作為黏著劑，並與稻草混和製成 RDF。在物化性質分析方面，可以發現當添加甘油後，含水率大幅下降，低的含水率能獲得較高熱值及較少灰分，增加 RDF 成為燃料的潛力。在熱值方面，加入甘油後熱值大幅提升，說明甘油能有效提升 RDF 熱值，可增加 RDF 在燃燒時產生的熱量。在耐久性方面，可以發現甘油比例越高，RDF 耐久性下降，雖然耐久性下降，但在測試中還是有

98%的 RDF 質量保持完整，且造粒成型之 RDF 重量輕，因此在運輸或是長期儲存都能維持良好的保存性。

在近似分析方面，發現隨著甘油比例的增加，揮發分逐漸增加，代表添加甘油能使稻草 RDF 更容易點燃、燃燒更完全，此外灰分含量隨甘油比例逐漸增加時仍維持在 10%上下，且在甘油比例 50%時達到最少的灰分含量(9.949%)，因為甘油能幫助提升熱的傳遞速率並提高燃燒效率，進而減少灰分的殘留。在固定碳方面，隨著甘油比例增加，固定碳逐漸減少，且在 70%擁有極低的固定碳含量，代表甘油能使 RDF 具有更佳的燃燒反應性。而純稻草 RDF 並不適用這個結論，因為其固定碳含量少是含水率高且灰分殘留多所導致，並不具有好的燃燒反應性。

燃燒氣體分析方面，甘油含量高的 RDF 燃燒時溫度也較高，燃燒較完全使一氧化碳排放量少且二氧化碳排放量多。而氮氧化物的排放量也與燃燒溫度有正相關，當燃燒溫度越高，空氣中的氮氣越容易與氧氣結合而產生氮氧化物，但其排放量(35ppm)與煤炭燃燒(430ppm)相比還是低非常多，對人體呼吸系統危害較小。而二氧化硫方面，因為稻草 RDF 本身的含硫量極少，所以燃燒時產生的二氧化硫也很少，可以避免空氣汙染與酸雨的產生，降低對環境的負擔。

參考文獻

李方正，2009，**新能源**，新文京開發出版股份有限公司，第 8~9 頁。

吳耿東、李宏台，2004，生質能源化腐朽為能源，**科學發展**，第 383 期，第 176~180 頁。

郭箴誠，2012，**暖化戰爭二部曲:能源與環境問題**，商鼎數位出版有限公司。

唐永鑾、張錫聲，1992，**大氣汙染與其防治**，科技圖書股份有限公司，第 11~14 頁。

陳維新，2012，**能源概論第八版**，高立圖書有限公司，第 7-2~7-4 頁。

鄭語萱，2017，碩士論文(撰寫中)，宜蘭大學化學工程與材料工程學系。

鍾金明，2011，**綠色能源科技**，新文京開發出版股份有限公司，第 126 頁。

Aina OM,Adetogun AC,Iyiola KA, 2009, Heat energy from value-added sawdust briquettes of

Albiziazygia, Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management Vol.2 No.1.

J.O.Akowuah,F. Kemausuor,S.J. Mitchual, 2012, Physico-chemical characteristics and market potential of sawdust charcoal briquette, International Journal of Energy and Environmental Engineering, 3 (1), pp. 1-6.

Okey Francis Obi, 2015, Evaluation of the effect of palm oil mill sludge on the properties of sawdust briquette, Renewable and Sustainable Energy Reviews 52 pp.1749–1758.

Pongsak Jittabut, 2015, Physical and Thermal Properties of Briquette Fuels from Rice Straw and Sugarcane Leaves by Mixing Molasses, Energy Procedia 79, pp.2 – 9.

Stanislav V. Vassilev, Christina G. Vassileva , Vassil S. Vassilev, 2015, Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview, Fuel 158, pp. 330–350.

Stanislav V. Vassilev, David Baxter , Lars K. Andersen , Christina G. Vassileva, 2010, An overview of the chemical composition of biomass, Fuel 89 pp.913–933.