

中華民國第 53 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

第一名

030811

綠焰重生

— 落葉碳質燃料在熱電晶片發電應用研究

學校名稱：高雄市私立復華高級中學(附設國中)

作者： 國二 邵科元 國二 崔家瑋	指導老師： 邱琬心 吳明勳
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：落葉、碳質燃料、熱電晶片

得獎感言

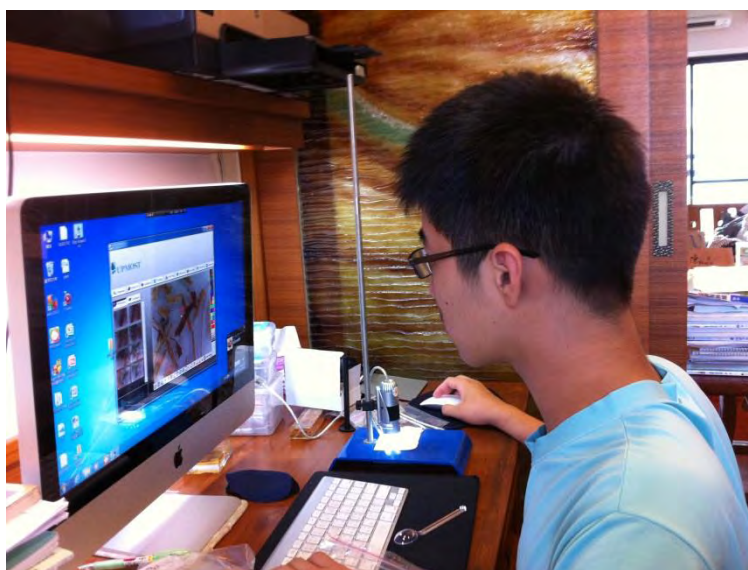
屏息望向舞台旁的螢幕，等待主持人宣布贏家的名稱。「第一名是---高雄市私立復華中學，綠焰重生！」我們不約而同站起，邊興奮歡呼邊走向舞台接受這榮耀。

接過獎杯沐浴在鎂光燈中，我們心裡沒有訝異，只有一種經努力得到回報的踏實。比賽中面對評審教授的鷹眼，以自己的話將 30 頁的研究淬礪成十分鐘的報告，讓評審了解自己研究的重點；面對犀利提問，我們以妙答讓評審留下印象；面對教授的指導，不強辯並虛心接受，更進一步與教授討論，讓教授感興趣；輔以強健的台風、絕佳的口條以及臨危不亂的冷靜。沒長期的訓練和對報告的了解，是無法脫穎而出的！

實驗的過程是非常勞累孤獨的，但我們都熱愛！經實驗解決一問題並得以推論推展，那喜悅無法由文字形容。科學實驗是嚴謹的領域，充滿變數和意想不到的結果：**實驗時常會失敗，但失敗才是實驗精華的所在**。實驗結果不分好壞，每個數據都有其獨特與價值，差別就在分析的功力，這需依靠指導老師的協助改善，為我們得獎的主因。

落葉碳質燃料是個創新的主題，因較少有參考數據故開始時讓人戰戰兢兢，像在黑夜的大海中獨航。不斷出現的問題也不斷導致團隊的爭論，卻也不停激發出新的火苗。最終辛苦合作完成了所有的實驗，就像是浴火之鳳凰，終歸將振翅飛翔！

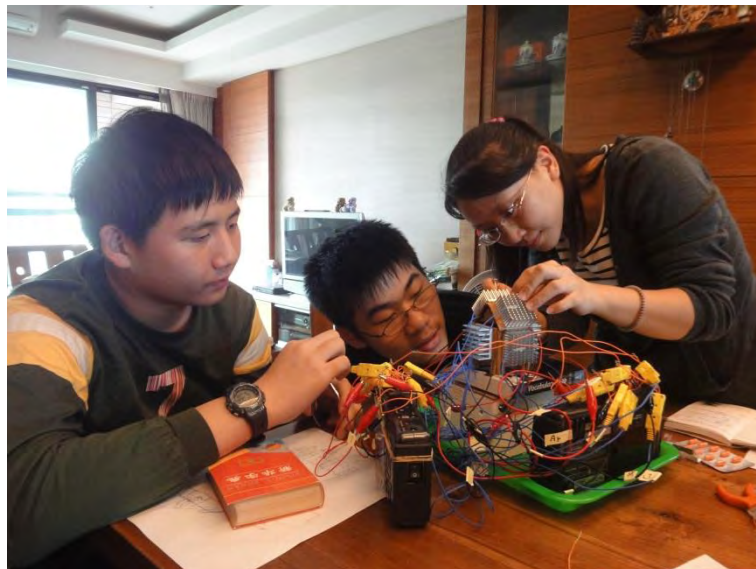
這第一名並非僅我們學生的付出，它包含許多人(師與生及家長們)的努力，才鍛造出這成果！我們要再次感謝指導老師與校長所予的全力支持。



圖一說明：學生利用數位顯微鏡觀察葉脈組織、顆粒大小，並利用顯微尺規量測。



圖二說明：落葉碳質燃料於自製燃燒爐中燃燒，學生測量其釋放的熱量並紀錄下來。



圖三說明：師生共同研究裝置熱電小屋的線路，檢測串聯與並聯所能提供的發電效益。

摘要

本研究收集7種落葉、混合9種及隨機取得3袋落葉，以1、2、4噸加壓成型及300°C、400°C碳化製成碳質燃料，並利用自製燃燒爐-水杯系統探討其燃燒特性。

研究發現，葉脈比率較高者，粉末的大中顆粒比率、碳質/灰分比、水杯吸熱值與升溫速率等皆有隨之升高趨勢；葉質亦明顯影響碳質/灰分比與熱值，順序為：單子葉紙質>雙子葉薄革質>雙子葉厚紙質。製程方面，400°C碳化的碳質燃料其碳質/灰分比低於300°C者，但水杯吸熱值與升溫速率則明顯較優；提高成型荷重可使碳質燃料密度、碳質/灰分比、水杯吸熱值呈上升趨勢，升溫速率則呈下降趨勢，而以2噸較佳。經檢量推估，落葉碳質燃料燃燒熱值約4360~5888cal/g，與市售褐煤相近。

落葉碳質燃料的最佳製程為2噸成型荷重與400°C碳化，並利用熱電晶片自製改良三代熱電小屋進行熱溫差發電，充分展現其發電潛能。

壹、研究動機

團隊觀察發現，高雄市公園的多種落葉喬木，產生大量落葉並送往焚化爐燃燒，但發電效率僅10~20%以下^{[1]~[2]}。我們認為，落葉可製成高附加價值的生質碳燃料，發電效率可達30%以上，且無須砍伐樹木，還可與褐煤混燒發電，減少CO₂排放^{[1]~[2]}，是非常寶貴的資源。

因此，本研究收集高雄市公園樹木的落葉製成碳質燃料，依據國中理化燃燒放熱反應與熱含量計算原理，自行設計燃燒爐-水杯系統，探討落葉碳質燃料的燃燒特性。同時，利用熱電晶片設計、改良發電裝置，以國中基本電學設計電路，進行落葉碳質燃料的熱溫差發電，並與市售椰殼碳比較，實際展示落葉碳質燃料的發電應用潛力。

貳、研究目的

- 一、研究葉質、葉脈、成型荷重及碳化溫度對落葉粉末以及落葉碳質燃料特性的影響。
- 二、研究成型荷重、碳化溫度、空氣流量以及混合落葉等對碳質燃料燃燒特性的影響。
- 三、以熱電晶片自行設計製作熱電模組，燃燒落葉碳質燃料進行熱溫差發電，研究其轉電能的特性。

參、研究設備及器材

一、研究設備與器材

(一) 研究設備

表 1.重要研究設備表

電子天平 (最大秤重 300g , 0.05g)	打粉機 (2400rpm)	篩分機與篩網	烘箱
電子溫度計 (-50°C ~ 150°C , ±0.1°C, 1 組)	電爐	100 噸成型機	數位光學顯微鏡
GRAPHTECH GL220 記錄器	打氣幫浦	2L/min 浮子流量計	

(二) 重要自製研究器材

本研究自行設計製作重要研究器材，包括小型燃燒爐-水杯系統、第一代燃燒爐-熱電模組發電系統、第二代熱電小屋模組以及第三代加裝冷卻盒熱電小屋。說明如下：

1. 小型燃燒爐-水杯系統

(1)說明：用於研究落葉碳質燃料的燃燒特性，由小型燃燒爐與保溫水杯組成。燃燒爐設計如圖 1(a)：保利龍材質，內壁與底部貼上軟木片，內有 30mm 立方座放置燃料，底與四壁開小孔供空氣流通；圖 1(b)為保溫水杯：以鋁質啤酒罐外包泡綿雙面膠片製作。保利龍頂蓋，中開小孔以插入測溫棒。

(2)成品如照片 1(a)、(b)；材質熱物性如表 2 所示。

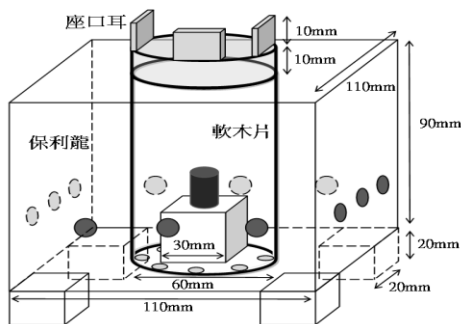


圖 1(a).自製小型燃燒爐示意圖

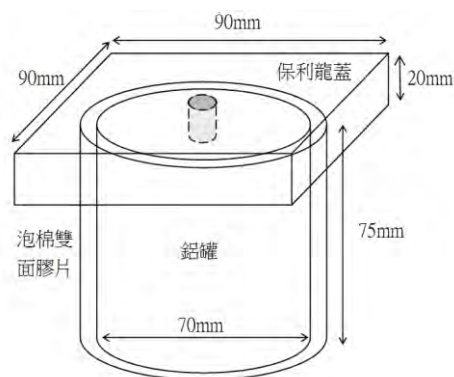


圖 1(b).自製水杯示意圖



照片 1(a).小型燃燒爐實體照片



照片 1(b).小型燃燒爐-水杯系統及計時器與測溫器

表 2.小型燃燒爐-水杯系統材質的熱物性參數

項 目	熱傳導係數 $W/(m \cdot k)$	比 熱 $cal/(g \cdot ^\circ C)$
保利龍	0.034~0.08	~0.3105
軟木片(壓縮)	0.04~0.07	~0.4778
金屬鋁	237	0.217
水	0.61	1

2. 第一代燃燒爐-熱電模組

(1)原理：熱電晶片為利用冷熱兩端溫度差產生電能之裝置^[3]。1823 年 Seebeck 發現連接兩不同金屬線，當接點冷熱兩端存在溫差時，不同金屬線間會產生電位差。溫差半導體發電利用 Seebeck 效應，將 P 和 N 型結合的半導體元件組成的熱電晶片一側維持在低溫，另一側高溫：高溫側熱流會流入並從低溫側排出，其中部分熱能則轉成電能^[4]。

(1)說明：為研究落葉碳質燃料燃燒熱溫差發電重要裝置。小型燃燒爐為保利龍材質；熱電模組由熱電晶片、散熱、吸熱器、鋁板及導熱膠片組成，如圖 2。

(2)成品如照片 2，相關熱物性如表 3 所示。

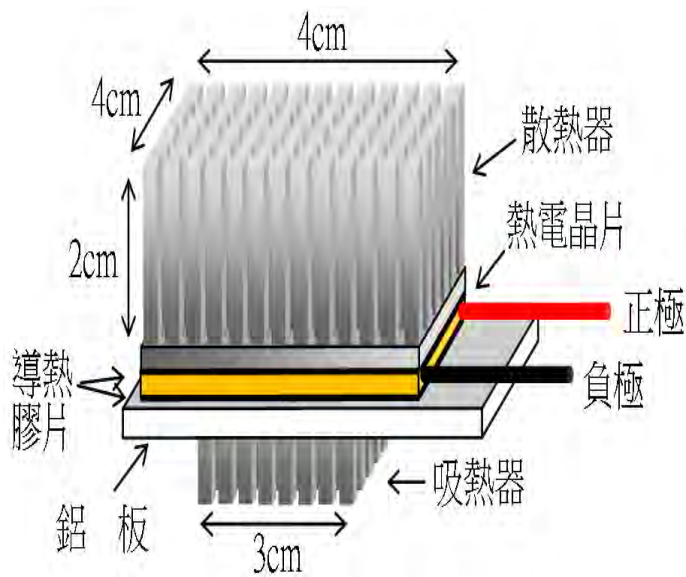
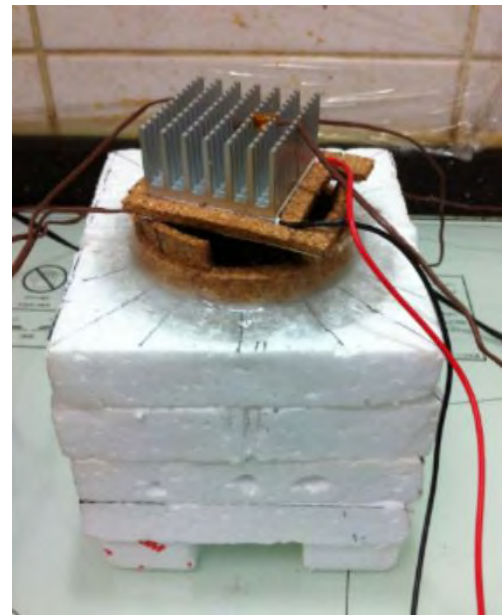


圖2.熱電模組設計示意圖



照片2.自製第一代燃燒爐-熱電模組發電系統

表 3.自製小型燃燒爐-熱電模組的熱物性參數

項 目	比 熱 cal/(g·°C)	尺 寸
熱電晶片	0.1386	型號: SP1848-27145 尺寸: 40mm×40mm×4mm 使用溫度:-40~200°C
鋁質散熱器、鋁板、吸熱器	0.217	散熱器: 40mm×40mm×20mm 吸熱器: 30mm×30mm×6.6mm
壓克力冷卻盒	0.35	厚度: 2mm 尺寸: 4.6cm×4.6cm×6cm

3. 第二代熱電小屋模組

(1)說明：為研究碳質燃料對熱電模組串、並聯發電的重要裝置。由第一代裝置進行改良：以 6 個熱電晶片、散熱、吸熱器、鋁板及導熱膠片組成，如圖 3。設計利用四片熱電晶片取代四周爐壁，加上頂部兩片以增加熱能吸收提高發電效率。

(2)成品如照片3，材質熱物性如表3所示。

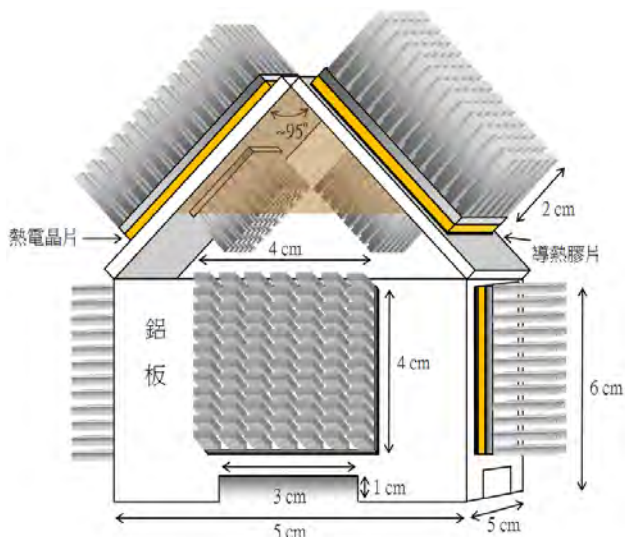
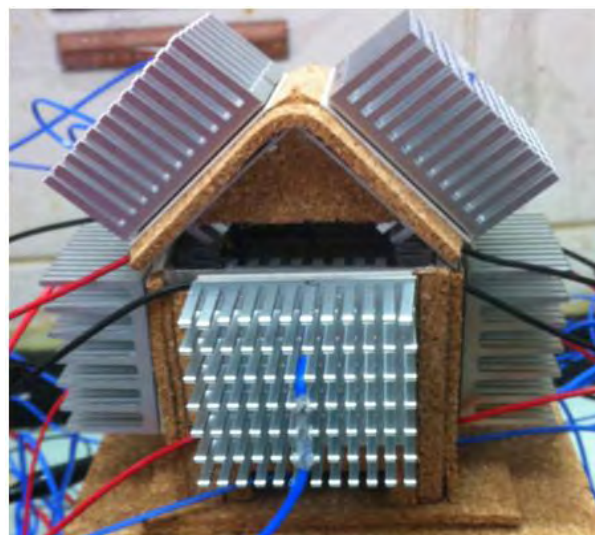


圖3.第二代熱電小屋設計示意圖



照片3.第二代熱電小屋模組發電系統

4. 第三代加裝冷卻盒熱電小屋模組

(1)說明：為研究冷卻盒對熱電小屋串聯發電的重要裝置。由第二代再改進：在小屋散熱器加裝冷卻盒，如圖4。目的為降低散熱器溫度以提高發電效率，及估算熱電模組吸收熱量比例。

(2)成品如照片4，材質熱物性同表3所示。

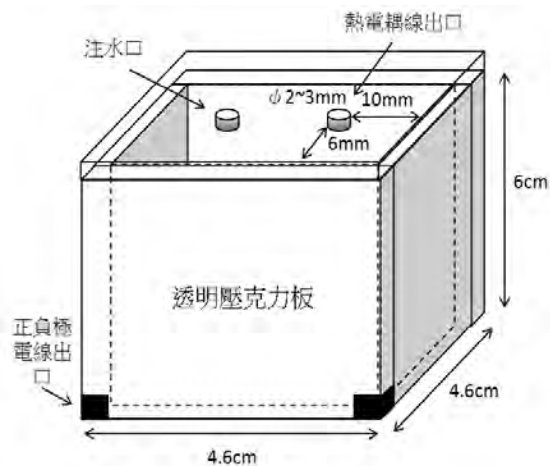
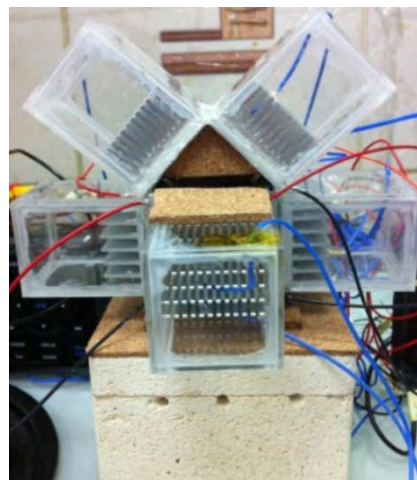


圖4.散熱器用冷卻盒設計示意圖



照片4.第三代加裝冷卻盒熱電小屋

5. 其他器材

保利龍(厚2cm)，保利龍雙面膠(厚5mm)，鋁質可樂罐(250cc)，熱電耦 PT100，鋁板(厚2mm)，麵包板，LED燈，導熱膠片(雙面膠，3W/m.k)，熱電晶片，鋁質散熱器及吸熱器。



二、實驗材料及藥品

(一) 材料

1. 7種公園落葉：印度紫檀、樟樹、菩提、旅人蕉、黃椰子、大王椰子、麵包樹。

落葉資料如表4。“其他”欄位資料，參考“認識植物”網站^[5]、“台灣花卉實用圖鑑1~11冊”^[6]及“台灣大百科全書”網站^[7]。

表4.中央公園7種落葉基本資料

落葉種類							
印度紫檀	樟樹	菩提樹	麵包樹	旅人蕉	黃椰子	大王椰子	
葉質	雙子葉薄革質	雙子葉薄革質	雙子葉薄革質	雙子葉厚紙質	單子葉紙質	單子葉紙質	單子葉厚紙質
位置區域	 中華路旁	 中華五福圓環	 中華路旁	 河堤公園	 迷宮附近	 辦公室廣場	 景觀湖前
	 中華五福圓環	 民生路旁	 城市光廊後面		 網球場旁		 景觀湖前
重量尺寸	小葉單重: 0.24g 小葉長: 9cm 小葉寬: 5cm 小葉柄: 0.4cm	單重: 0.15g 長: 7cm 寬: 3.3cm 柄: 1.75cm	單重: 0.62g 長: 13cm 寬: 7cm 柄: 9cm	單重: 6.3g 長: 24.5cm 寬: 17cm 柄: 7cm	單重: 114g 長: 90cm 寬: 60cm 柄: 10~15cm	大葉單重: 130g 大葉長: 105cm 大葉寬: 60cm 柄: 20~30cm	大葉單重: 440g 大葉長: 90cm 大葉寬: 40cm 柄: ~30cm
其他	●羽狀複葉 ●蝶形花科落葉大喬木 ●冬季落葉	●單葉 ●樟科常綠大喬木 ●四季常綠	●單葉 ●桑科半落葉大喬木 ●初夏換葉	●單葉 ●桑科常綠大喬木 ●四季常綠	●單葉 ●旅人蕉科常綠喬木 ●四季常綠	●羽狀複葉 ●棕櫚科常綠喬木 ●四季常綠	●羽狀複葉 ●棕櫚科常綠喬木 ●四季常綠

2. 混合落葉：7種落葉依燃燒熱值進行高-高、低-低以及高-低熱值等混合，配成9種試樣，如表5。

3. 隨機揀選落葉：收集公園的隨機3大袋落葉：隨機1、隨機2與隨機3。

表5、混合落葉配方表

	高熱值-高熱值混合	高熱值-低熱值混合	低熱值-低熱值混合
單子葉-單子葉	配方(1):旅人蕉+黃椰子 配方(2):黃椰子+大王椰	----	----
單子葉-雙子葉	配方(3):旅人蕉+印度紫檀 配方(4):黃椰子+印度紫檀	配方(6):旅人蕉+麵包樹	配方(8):大王椰子+麵包樹
雙子葉-雙子葉	配方(5):印度紫檀+樟樹	配方(7):印度紫檀+麵包樹	配方(9):菩提樹+麵包樹

(二) 藥品

氫氧化鈉 (NaOH, 藥品級)、酒精 (95wt%)。

肆、研究過程和方法

一、研究設計與架構

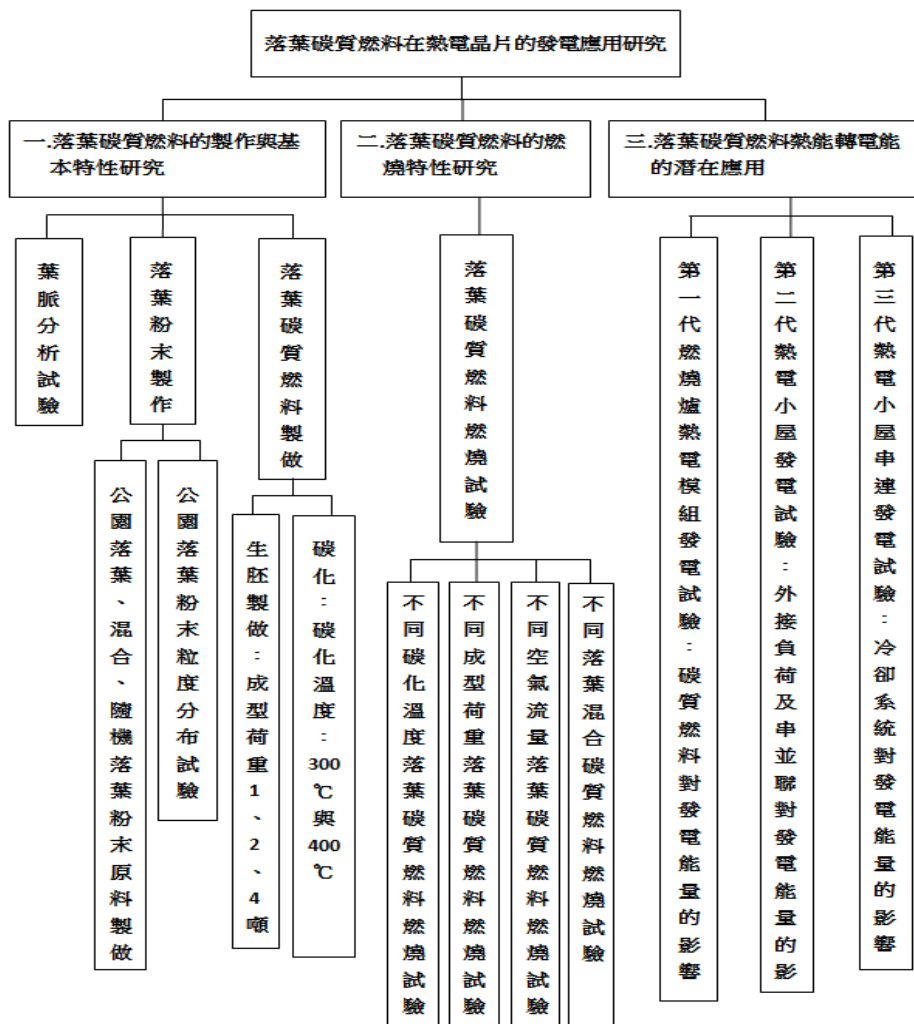


圖5.落葉碳質燃料在熱電晶片的發電應用研究架構圖

本研究延續高雄市101年獨立研究“綠色火流星-落葉碳奇蹟”，再加入成型荷重、碳化溫度、空氣流量、落葉混合、隨機取樣等變因擴大研究，並用熱電晶片進行熱溫差發電，研究落葉碳質燃料發電潛能，研究架構如圖5。

二、研究過程

(一) 落葉碳質燃料的製作與基本特性研究

1. 葉脈分析準備：絕乾落葉(105°C×16hrs烘乾)→水中煮沸30min→~9wt%NaOH溶液浸泡5天。
2. 落葉粉末原料製作：絕乾落葉以打粉機(~2400rpm)粉碎10min→粉末：水=3：1調製成落葉粉末原料，如照片5(a)。
 - 粉末原料：(1)7種公園落葉；(2)3種隨機落葉；(3)9種混合落葉：依表5以1：1比例混合配製。
3. 生胚製作：粉末原料~5.0g填入內徑15×高度40mm模具→置入烘箱180°C×5min→取出以成型機壓成生胚，如照片5(b)。
 - 成型荷重：1、2、4噸×5min
4. 落葉碳質燃料製作：埋碳：落葉生胚置入陶瓷坩鍋中加蓋，再埋入充滿木碳的鐵盒中，如照片5(c)→鐵盒不加蓋置入電爐，如照片5(d)，以~10°C/min升至碳化溫度後自然爐冷，成品如照片5(e)。
 - 碳化溫度：300°C、400°C×30 min



(二) 落葉碳質燃料的燃燒特性研究

1. 不同碳化溫度的碳質燃料燃燒試驗：保溫杯加100ml水→加蓋，插入測溫棒→自然對流→秤量碳質燃料，點燃後放入爐中，將水杯放到爐口上，每1min記錄一次水溫，共40min。
2. 不同成型荷重(1、2、4噸)、不同對流(0.5、1 l/min)、混合落葉(9種)的碳質燃料燃燒特性試驗，流程同項次1。

(三) 落葉碳質燃料熱能轉電能的潛在應用研究

1. 第一代燃燒爐-熱電模組燃燒發電試驗：記錄器每10秒紀錄一次模組電壓→秤量1~3粒碳質燃料，點燃後放入爐中，並將熱電模組放到爐口上→持續測試直到溫度下降至室溫，大約40~50min。

2. 第二代熱電小屋燃燒發電試驗：
 - (1) 外接負載：熱電小屋外接1~500Ω 電阻→燃燒發電試驗，同項次1流程。
 - (2) 串聯與並聯：以外接負載最佳發電能量用電阻，外接熱電小屋，進行晶片串、並聯燃燒發電試驗。
3. 第三代加裝冷卻盒熱電模組發電試驗：
 - (1) 燃燒爐-熱電模組加裝冷卻盒：散熱器加裝冷卻盒並注80ml冷水、外接50Ω 電阻，進行燃燒發電試驗，流程同項次1。
 - (2) 熱電小屋加裝冷卻盒：熱電小屋6個散熱器加裝冷卻盒並注80ml冷水、串連且外接50Ω 電阻，進行發電試驗，流程同項次1。

三、研究方法

(一) 落葉碳質燃料的製作與基本特性研究

1. 葉脈分析：預處理的落葉以牙刷刷除葉肉→105°C×16hrs烘乾，秤重葉脈組織。
 - 葉脈比率(%)=絕乾葉脈組織重量(g)/絕乾落葉重量(g)×100%
2. 落葉粉末粒度分布：絕乾粉末~10g，以1mm、0.5mm、0.25mm等篩網震動篩分，並秤量 $X \geq 1\text{mm}$ ， $1 > X \geq 0.5\text{mm}$ ， $0.5 > X \geq 0.25\text{mm}$ 以及 $0.25\text{mm} > X$ 等4種粒度粉末(g)，計算其分布比率。X：某粒度區間的落葉粉末重量(g)。
 - 粒度分布(%)= $X(g)/\text{絕乾落葉粉末重量}(g) \times 100\%$
3. 碳質燃料灰分測試與碳質計算：試樣以600°C×9hr進行氧化，秤取試樣氧化前後重量。
 - 灰分比率(%)= $\text{氧化後重量}(g)/\text{氧化前重量}(g) \times 100\%$
 - 碳質比率(%)= $100\% - \text{灰分比率}(\%)$
4. 落葉粉末原料的灰分、碳質與揮發分比率計算
 - 灰分比率(%)= $\text{試樣灰分重量}(g)/\text{落葉粉末原料重量}(g) \times 100\%$
 - 碳質比率(%)= $\text{碳質燃料重量}(g)/\text{落葉粉末原料重量}(g) \times \text{碳質燃料的碳質比率}(\%)$
 - 揮發分(%)= $100\% - \text{落葉粉末原料含水率}(\%) - \text{原料灰分比率}(\%) - \text{原料碳質比率}(\%)$
5. 碳質燃料密度計算：
 - 密度 (g/cm^3) = $\text{試樣重量}/[(\text{圓周率}(3.14159) \times \text{半徑}^2(\text{mm}^2)) \times \text{長度}(\text{mm})/1000]$

(二) 落葉碳質燃料的燃燒特性研究

1. 水杯吸熱值計算
 - 水杯吸熱值(cal/g) = $[(\text{水量}(g) \times \text{比熱} + \text{杯重量}(g) \times \text{鋁比熱}) \times (\text{水最高溫度} - \text{起始溫度})]/\text{落葉碳質燃料重量}(g)$
 - 混合落葉水杯吸熱理論值(cal/g) = $(A \text{ 落葉水杯吸熱值} \times 50\% + B \text{ 落葉水杯吸熱值} \times 50\%)$

2. 水杯升溫速率

●升溫速率 (°C/min) = (水最高溫度-起始溫度)/最高溫所需時間(min)

(三) 落葉碳質燃料熱能轉電能的潛在應用研究

1. 第一代燃燒爐熱電模組發電試驗

模組電路如圖 6：

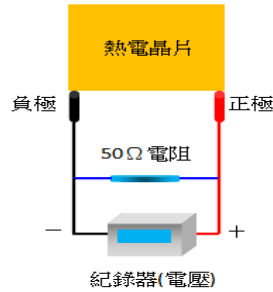


圖6. 燃燒爐-熱電晶片模組的電路圖

●總發電能量(cal) = 熱電晶片電壓 $V^2(v^2)$ /電阻 $R(\Omega)$ × 10(sec)/4.18675

2. 第二代熱電小屋模組燃燒發電試驗

(1) 外接負載：第二代熱電小屋模組外接負載電路，如圖7(a)：

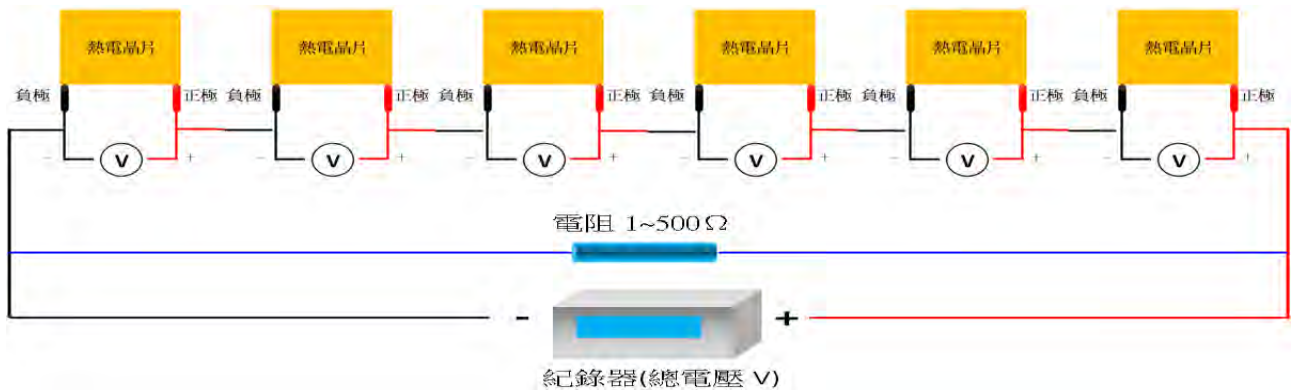


圖7(a). 熱電小屋的外接不同負載試驗電路圖

●熱電小屋總發電能量(cal) = 串聯總電壓 $V^2(v^2)$ /電阻 $R(\Omega)$ × 10(sec)/4.18675

(2) 並聯與串聯試驗：

第二代熱電小屋並聯電路如圖7(b)：

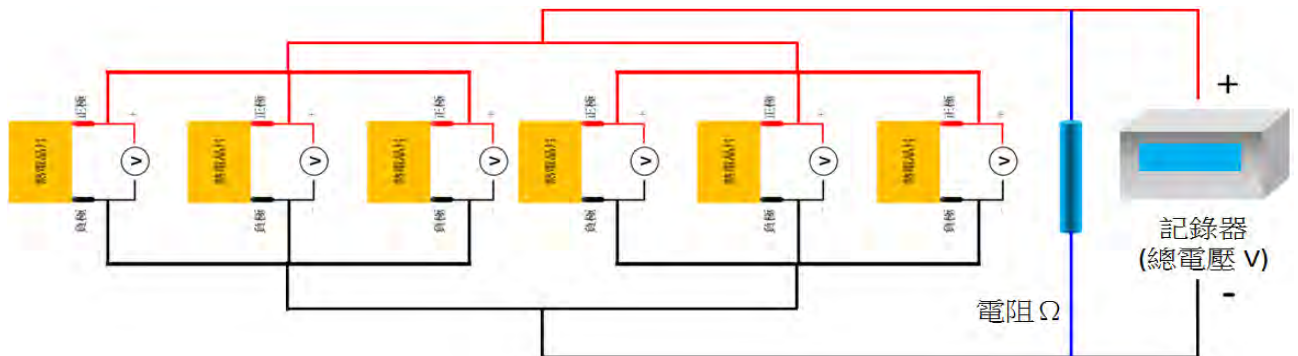


圖7(b). 熱電小屋並聯試驗電路圖

●熱電小屋總發電能量(cal) = 並聯總電壓 $V^2(v^2)$ /電阻 $R(\Omega)$ × 10(sec)/4.18675

第二代熱電小屋串聯電路，如圖7(c)：

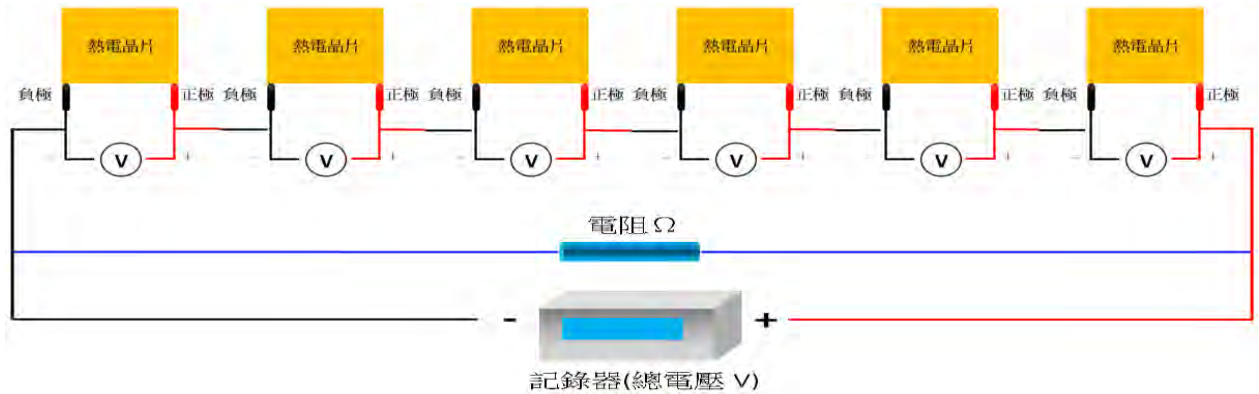


圖7(c).熱電小屋串聯試驗電路圖

●熱電小屋總發電能量(cal) = 串聯總電壓 V^2 (v^2)/電阻 $R(\Omega)$ × 10(sec)/4.18675

3. 第三代加裝冷卻盒熱電小屋模組發電試驗：

加裝冷卻盒熱電小屋串聯電路同第二代熱電小屋，如圖7(c)。

- 總發電效率率(%) = [總發電能量(cal)/碳質燃料總燃燒熱值(cal)] × 100%
- 總燃燒熱值(cal) = 碳質燃料總重量(g) × 碳質燃料的燃燒熱值(cal/g)
- 熱電模組吸熱值(cal) = [(散熱器(g) × 比熱(cal/g, °C) × 最大溫差(°C)) + (冷卻盒重 × 比熱 × 最大溫差) + (盒中水重 × 比熱 × 最大溫差) + (熱電晶片重 × 比熱 × 最大溫差) + (吸熱器 × 比熱 × 最大溫差) + (鋁板重 × 比熱 × 最大溫差)] × 數量Y
- ※ 散熱器重：24.8g；冷卻盒重：28g；熱電晶片重：18.35g；吸熱器重：6.15g；鋁板重：6g；加水量：80ml
- ※ 數量Y：(1)第三代燃燒爐-熱電模組，Y=1；(2)第三代熱電小屋模組，Y=6
- 熱電模組吸熱率(%) = [熱電模組吸熱值(cal)/碳質燃料總燃燒熱值(cal)] × 100%
- 熱電晶片發電效率率(%) = [總發電能量(cal)/模組中熱電晶片總吸熱值(cal)] × 100%

伍、研究結果

一、落葉碳質燃料的製作與基本特性研究

(一) 葉脈分析試驗結果

1. 葉脈比率: 表6顯示, 印度紫檀、樟樹與菩提等薄革質落葉之葉脈比率為20~27wt%, 平均24.38wt%; 厚紙質的麵包樹為34.93wt%; 旅人蕉、黃椰子與大王椰子等單子葉紙質-厚紙質為20~73.42wt%, 平均46.59wt%。因此, 以平均值比較: 單子葉紙質 > 雙子葉厚紙質 > 雙子葉薄革質。
2. 葉脈組織觀察: 印度紫檀、樟樹與菩提樹葉脈組織較有韌性、網狀結構清晰, 葉肉容易分離; 麵包樹則中肋較強韌, 其餘脈絡較脆弱且表層覆膜, 葉肉不易分離; 旅人蕉、黃椰子與大王椰子等則葉脈葉肉皆很堅韌、不容易分離。







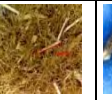
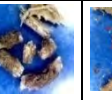
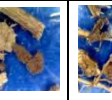

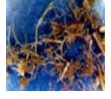



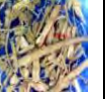





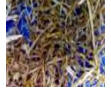











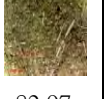



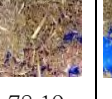



表6. 落葉的葉脈葉肉分離試驗結果

葉脈組織							
	印度紫檀	樟樹	菩提樹	麵包樹	旅人蕉	黃椰子	大王椰子
比率 (wt%)	26.19	26.67	20.29	34.93	20.35	73.42	46

(二) 落葉粉末粒度分布試驗

1. 粉末粒度分布: 表7顯示, 印度紫檀、樟樹與菩提等落葉之中大顆粒($X \geq 0.5\text{mm}$) 比率為5~11wt%, 平均8.21wt%; 麵包樹為6.77wt%; 旅人蕉、黃椰子與大王椰子為3~13wt%, 平均8.09wt%。3種隨機試樣的粉末粒度為5~11wt%, 平均7.94wt%。因此, 以平均值比較: 雙子葉薄革質 > 單子葉紙質 > 隨機取樣落葉 > 雙子葉厚紙質。
2. 落葉粉末顆粒觀察: 大中顆粒多為較粗的中肋葉脈, 呈桿狀顆粒, 或葉脈夾雜葉肉碎片狀, 如印度紫檀與隨機2試樣。但是菩提、旅人蕉主要為纖維狀; 小顆粒及細粉料($0.5\text{mm} > X$)則多呈纖維形態(或長桿狀), 尤其小顆粒($0.5 > X \geq 0.25\text{mm}$)範圍特別明顯。

表7. 落葉粉末粒度分布試驗與粉末組織觀察結果

觀察倍率 x50	印度 紫檀	樟樹	菩提樹	麵包樹	旅人蕉	黃椰子	大王 椰子	隨機1	隨機2	隨機3
大顆粒 $X \geq 1\text{mm}$	 1.07	 0.41	 1.21	 0.40	 0.32	 0.96	 10.61	 0.4	 0.66	 0.79
中顆粒 $1 > X \geq 0.5\text{mm}$	 9.99	 7.55	 4.40	 6.37	 3.06	 6.49	 2.82	 5.25	 6.19	 10.53
小顆粒 $0.5 > X \geq 0.25\text{mm}$	 12.42	 20.10	 11.43	 12.05	 10.23	 14.21	 8.38	 12.39	 10.97	 15.75
細粉 $0.25\text{mm} > X$	 76.53	 71.94	 82.97	 81.18	 86.38	 78.33	 78.19	 81.96	 82.19	 72.93

(三) 落葉粉末原料特性分析結果

1. 不同落葉粉末原料：圖8(a)顯示，7種公園落葉中，菩提與麵包樹的碳質/灰分比為1.0~2.6，其餘5種為2.5~7.3。
2. 不同碳化溫度粉末原料：圖8(a)~(d)顯示，碳化溫度由300°C提高到400°C，碳質比率與碳質/灰分比下降，而灰分與揮發分卻增加。

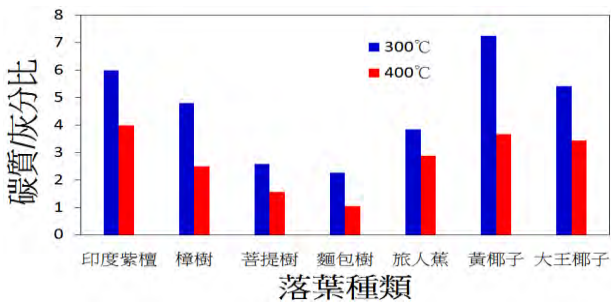


圖8(a). 碳化溫度對碳質/灰分的影響

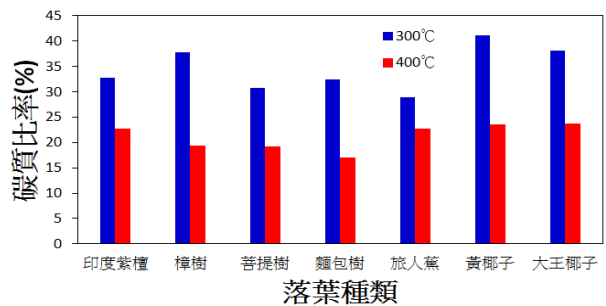


圖8(b). 碳化溫度對落葉碳質比率的影響

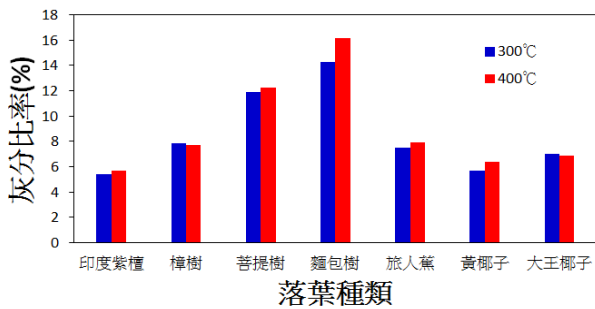


圖8(c). 碳化溫度對落葉灰分比率的影響

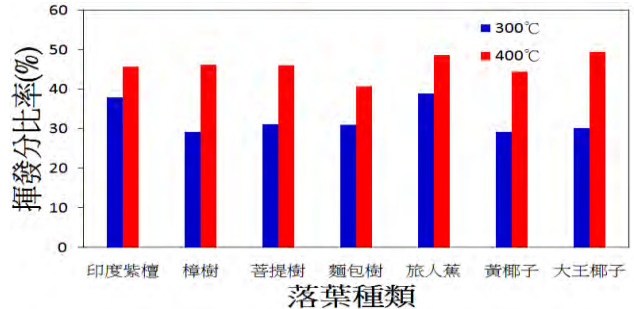


圖8(d). 碳化溫度對落葉揮發分的影響

(四) 落葉碳質燃料特性分析結果

1. 不同成型荷重碳質燃料特性：圖9(a)~(d)顯示，7種公園落葉與3種隨機落葉的碳質燃料各項特性，隨著成型荷重提高(1、2、4噸)，碳質燃料的密度、碳質比率與碳質/灰分比等皆隨之增加趨勢，灰分則下降。
2. 不同落葉碳質燃料特性：圖9(d)顯示，菩提樹與麵包樹的碳質/灰分比為1.07~1.57，其餘8種為2.50~4.92。

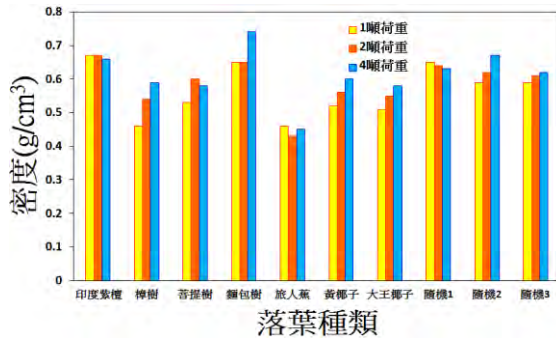


圖9(a).不同成型荷重碳質燃料密度分析結果

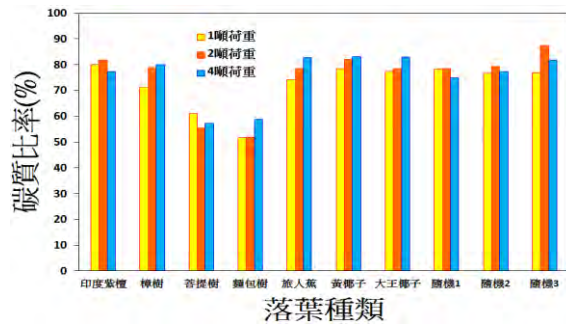


圖9(b).不同成型荷重碳質燃料的碳質比率分析結果

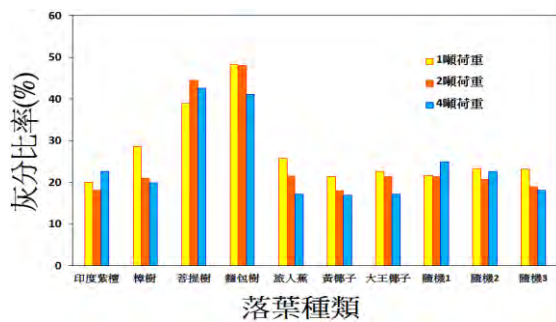


圖9(c).不同成型荷重碳質燃料的灰分分析結果

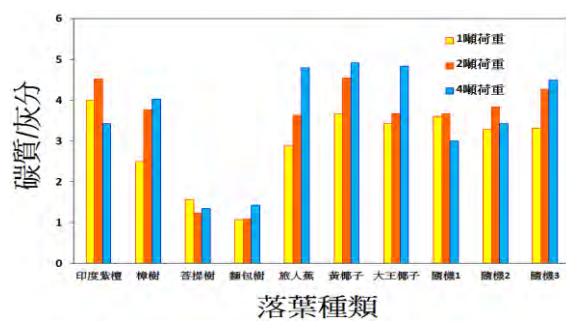


圖9(d).不同成型荷重碳質燃料的碳質/灰分分析結果

二、落葉碳質燃料的燃燒特性研究

(一) 不同碳化溫度的落葉碳質燃料燃燒試驗結果

1. 不同碳化溫度的水杯吸熱值：圖10(a)、(b)為經過1噸成型荷重壓製，再經300°C或400°C碳化之7種公園落葉碳質燃料燃燒試驗的水杯溫度隨時間變化圖。圖10(c)則為水杯吸熱值計算：水杯吸熱值約748~1367cal/g，且400°C碳化明顯優於300°C，吸熱值隨碳化升溫而增加。
2. 不同碳化溫度的水杯升溫速率：圖10(d)顯示，水杯升溫速率約0.26~0.53°C/min，且400°C碳化明顯優於300°C，升溫速率隨碳化升溫而增加。

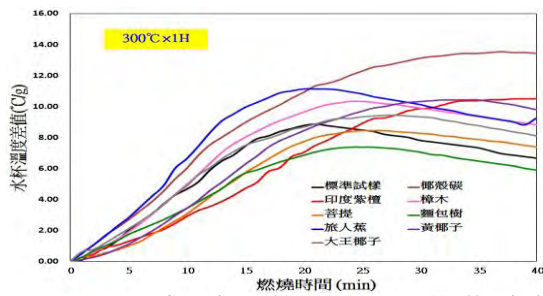


圖10(a).300°C碳化的7種公園落葉碳質燃料燃燒試驗

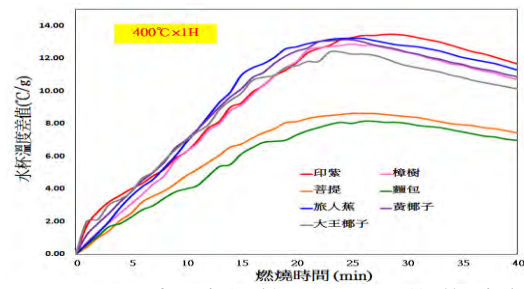


圖10(b).400°C碳化的7種公園落葉碳質燃料燃燒試驗結果

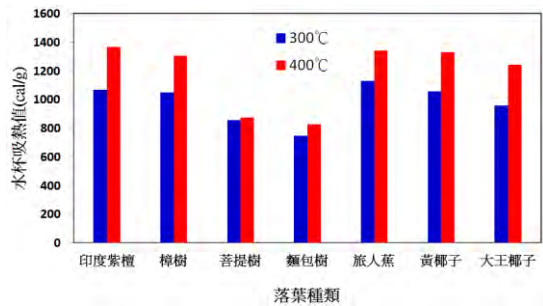


圖10(c).不同碳化溫度碳質燃料的水杯吸熱值分析

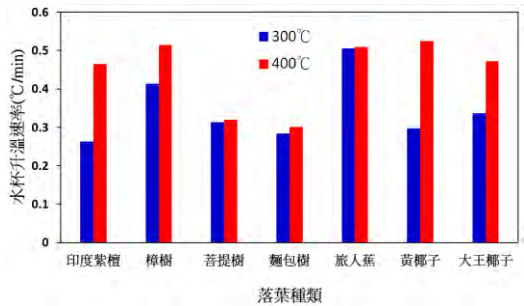


圖10(d).不同碳化溫度碳質燃料的水杯升溫速率分析

(二) 不同成型荷重的落葉碳質燃料燃燒特性試驗結果

1. 不同成型荷重碳質燃料水杯吸熱值：圖11(a)、(b)為7種公園落葉與3種隨機落葉，經1~4噸成型，再以400°C碳化之落葉碳質燃料的燃燒試驗結果。圖11(c)顯示，公園落葉水杯吸熱值約779~1465cal/g，隨機試樣1100~1300cal/g。
2. 不同成型荷重碳質燃料的水杯升溫速率：圖11(d)顯示，公園落葉碳質燃料升溫速率約0.27~0.60°C/min，隨機試樣0.35~0.44°C/min。

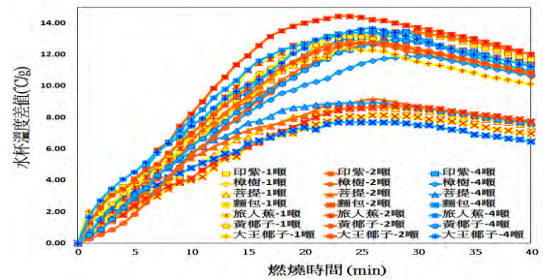


圖11(a).不同成型荷重的7種公園落葉碳質燃料的燃燒試驗

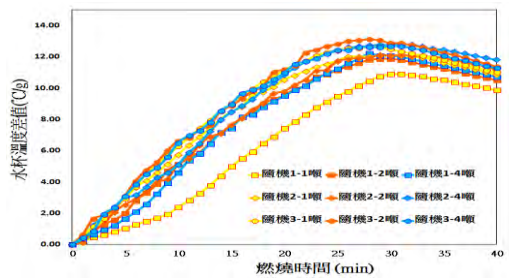


圖11(b).不同成型荷重的3種隨機落葉碳質燃料的燃燒試驗

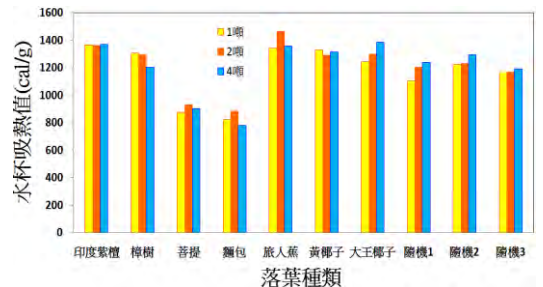


圖11(c).不同成型荷重的水杯吸熱值

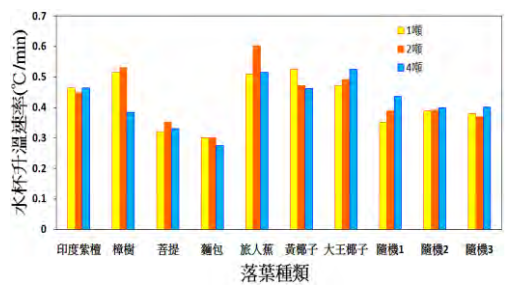


圖11(d).不同成型荷重的水杯升溫速率

(三) 不同空氣流量的落葉碳質燃料燃燒特性試驗結果

1. 不同空氣流量碳質燃料的水杯吸熱值：圖12(a)為3種隨機落葉試樣，以2噸成型及400°C碳化，分別以自然對流、0.5 l/min以及1 l/min的流量進行燃燒試驗結果；圖12(b)顯示，水杯吸熱值大小順序為：自然對流>0.5l/min>1 l/min；當空氣流量增加時，水杯吸熱值減少。
2. 不同空氣流量碳質燃料的水杯升溫速率：圖12(c)顯示，升溫速率大小：自然對流>0.5l/min>1 l/min；當空氣流量增加時，水杯升溫速率減緩。

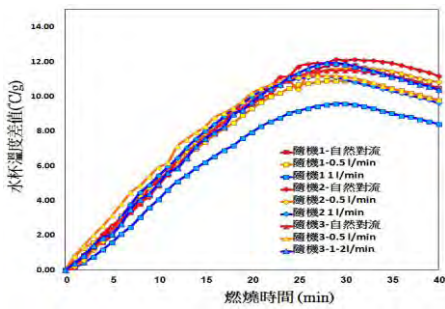


圖12(a).不同空氣流量的隨機落葉碳質燃料燃燒試驗

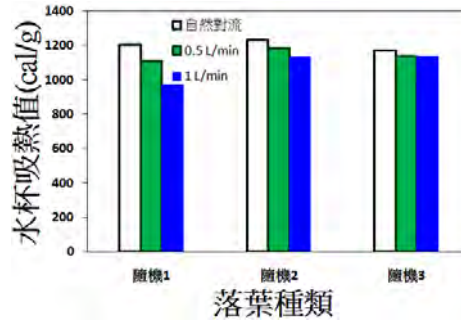


圖12(b).不同空氣流量的碳質燃料水杯吸熱值分析

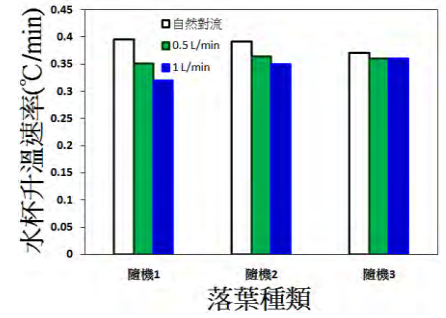


圖12(c).不同空氣流量的碳質燃料水杯升溫速率分析

(四) 不同落葉混合碳質燃料燃燒特性試驗結果

1. 不同落葉混合的水杯吸熱值：圖13(a)為9種混合落葉試樣，以2噸成型及400°C碳化而成的碳質燃料燃燒試驗結果；圖13(b)顯示，水杯吸熱值為948~1340cal/g。
2. 不同落葉混合的水杯升溫速率：圖13(c)顯示，升溫速率為0.3~0.5°C/min。

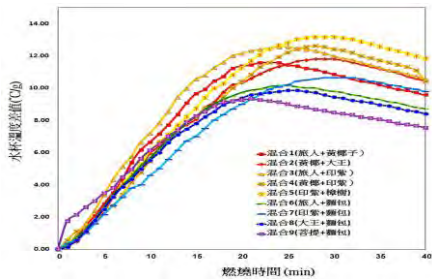


圖13(a).不同混合落葉碳質燃料燃燒試驗

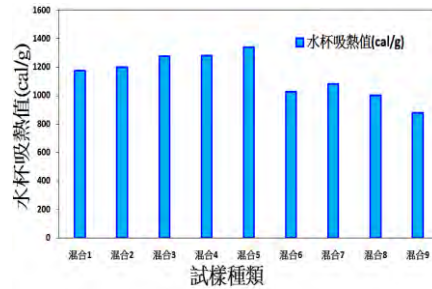


圖13(b).不同混合落葉碳質燃料水杯吸熱值分析

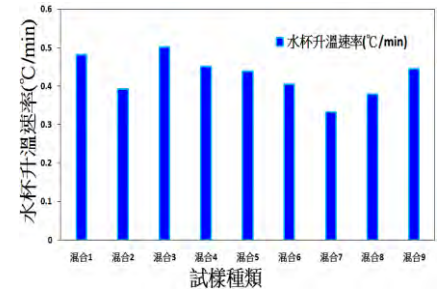


圖13(c).不同混合落葉碳質燃料水杯升溫速率分析

(五) 落葉碳質燃料的燃燒熱值估算

本研究以兩種已確定燃燒熱值(4400 與 5870 cal/g)的標樣，進行燃燒爐-水杯系統的燃燒試驗，建立水杯吸熱值與燃燒熱值間粗略的檢量線公式： $\text{燃燒熱值(cal/g)} = 2.6297 \times \text{水杯吸熱值(cal/g)} + 2035.5$ ，如圖 13(d)。將 7 種公園落葉、3 種隨機落葉、9 種混合落葉，經 400°C 碳化之碳質燃料水杯吸熱值帶入，即得推估燃燒熱值，如圖 13(e)。7 種公園落葉碳質燃料熱值約 4360~5888cal/g，3 種隨機落葉約 4900~5450cal/g，混合落葉約 4500~5550cal/g。相對比較的市售椰殼碳則~5632cal/g。

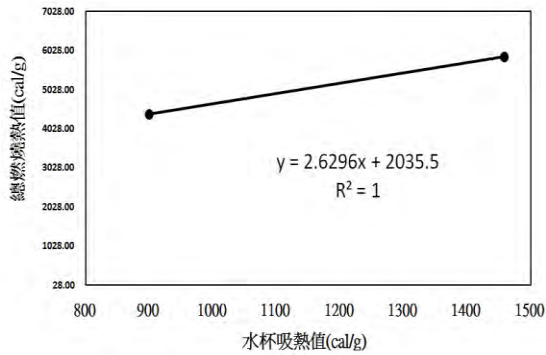


圖 13(d).標準試樣總燃燒熱值與水杯吸熱值檢量線圖

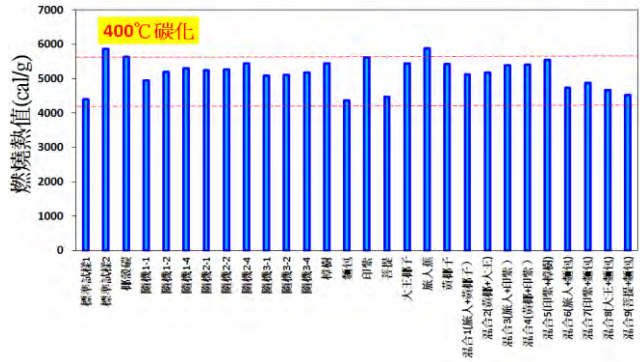


圖 13(e).落葉碳質燃料的燃燒熱值估算結果

三、落葉碳質燃料熱能轉電能的潛在應用研究

(一) 第一代燃燒爐熱電模組發電試驗結果

圖14(a)、(b)為經2噸成型及400°C碳化之隨機3試樣的落葉碳質燃料，在燃燒爐-熱電模組的發電試驗結果：3~4.5g的碳質燃料燃燒產生8100~22000cal熱能，發出0.6~2.46cal的電能，總發電效率率約0.0075~0.0111%。

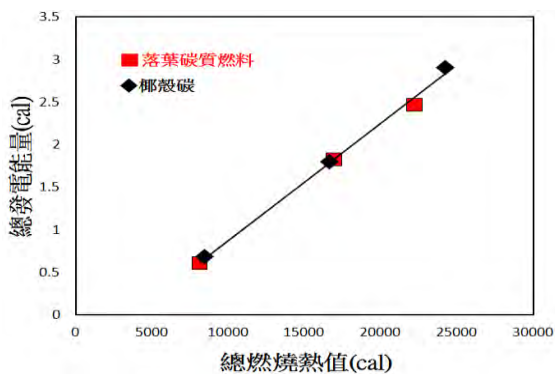


圖 14(a).碳質燃料在燃燒爐-熱電模組的總發電能量

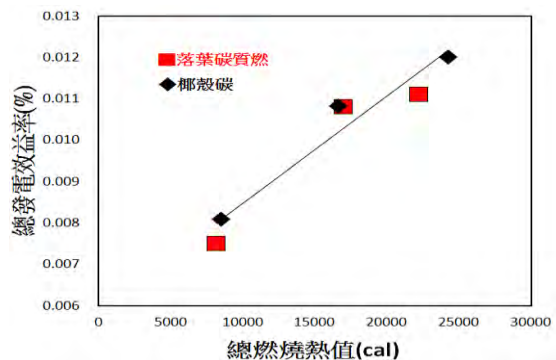


圖 14(b).碳質燃料在燃燒爐-熱電模組的總發電效率率

(二) 第二代熱電小屋模組發電試驗結果

1. 外接負載：圖15為第二代熱電小屋(串連)外接1~500Ω不同電阻，再以2噸成型及400°C碳化之隨機3落葉碳質燃料(4.5g)進行燃燒發電試驗結果：負載50~100Ω時總發電效益最佳；因此，後續皆以50Ω為外接負載進行試驗。

2. 串連與並聯試驗：圖16為第二代熱電小屋外接50Ω電阻，再以2噸成形、400°C碳化之隨機3碳質燃料1.5~4.5g，進行燃燒發電試驗結果。

(1)串聯：圖16(a)、(b)顯示，落葉碳質燃料的總發電能量約1.4~8.3cal(總燃燒熱值約7882~23970cal)，總發電效率率約0.0175~0.0347%；市售椰殼碳發電效率率約

0.0233~0.0680%。

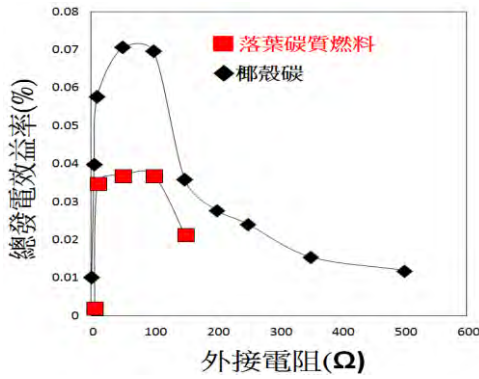


圖15.熱電小屋外接不同電阻以測量最佳發電區間試驗

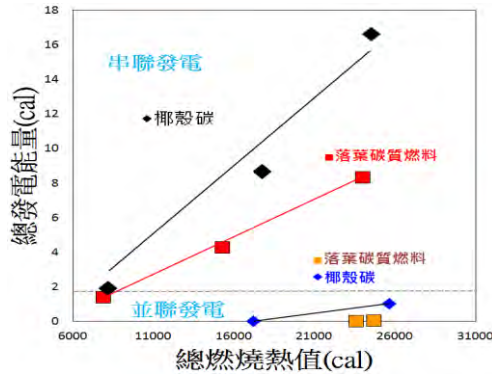


圖16(a).熱電小屋晶片串並聯發電能量試驗結果

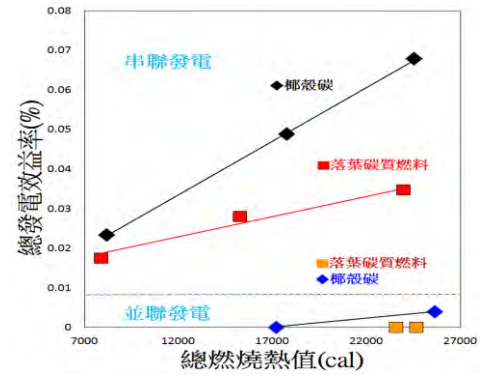


圖16(b).小屋晶片串並聯總發電效率試驗結果

(2)並聯：落葉碳質燃料的總發電能量約0.0023~0.0128cal(總燃燒熱值約23563~246476cal)，總發電效率率約0.00000968~0.000052%；市售椰殼碳總發電效率率約0.0000126~0.004%。

(三) 第三代加裝冷卻盒熱電模組發電試驗結果

1. 加裝冷卻盒的燃燒爐-熱電模組：

- (1)總發電能量與效率率：圖17(a)、(b)顯示，加裝冷卻盒後，總發電能量約0.85~4.30cal(總燃燒熱值約8125~24100cal)，總發電效率率約0.0105~0.0178%；椰殼碳總發電效率率約0.0166~0.0262%。
- (2)熱電模組吸熱率：圖17(c)顯示，落葉碳質燃料的熱電模組吸熱率約14~21%，椰殼碳則約18.55~25.20%。
- (3)熱電晶片發電效率率：圖17(d)顯示，落葉碳質燃料的熱電晶片發電效率率約1.6~3.7%(晶片吸熱值約53~115cal)，椰殼碳則約2.0~4.8%。

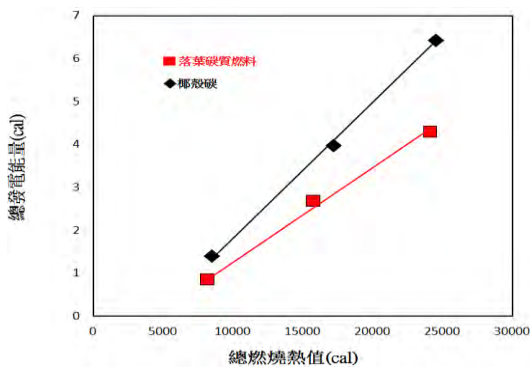


圖17(a).燃燒爐-熱電模組加裝冷卻盒燃燒熱溫發電試驗之總發電能量

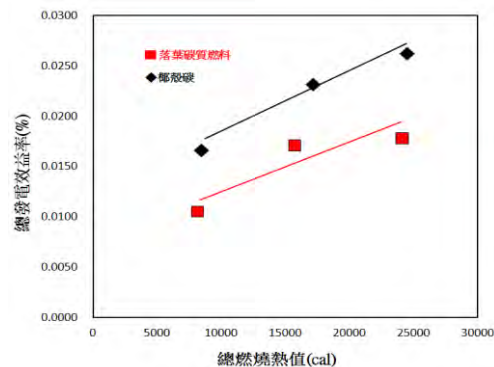


圖17(b).燃燒爐-熱電模組加裝冷卻盒燃燒熱溫發電試驗之總發電效率率

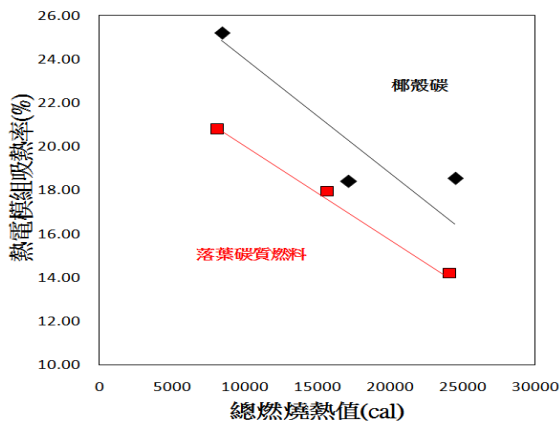


圖 17(c). 燃燒爐-熱電模組加裝冷卻盒燃燒發電試驗之熱電模組吸熱率

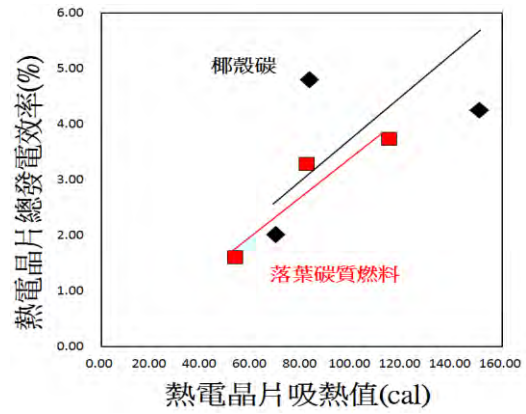


圖 17(d). 燃燒爐-熱電模組加裝冷卻盒之熱電晶片發電效率

2. 加裝冷卻盒的熱電小屋：

- (1) 總發電能量與效率：圖18(a)、(b)顯示，落葉碳質燃料的總發電能量約2.32~12.52cal(總燃燒熱值8667~24917)，總發電效率約0.0268~0.0503%；椰殼碳總發電效率約0.0466~0.0821%。
- (2) 熱電小屋模組吸熱率：圖18(c)顯示，落葉碳質燃料的熱電模組吸熱率約37~41%，椰殼碳則約36~50%。
- (3) 熱電晶片發電效率：圖18(d)顯示，落葉碳質燃料的熱電晶片發電效率約2.2~4.3%(吸熱值約105~290cal)，椰殼碳則約3.2~6.8%。

3. 加裝冷卻盒熱電小屋熱溫差發電在LED燈之應用：照片6(a)顯示，第三代熱電小屋燃燒碳質燃料進行熱溫差發電，輸出電壓1.3V時，可使台灣造型LED燈組發出紅光；照片6(b)顯示，輸出電壓2.3V以上時，LED燈開始閃爍藍白光，總時間超過30min。

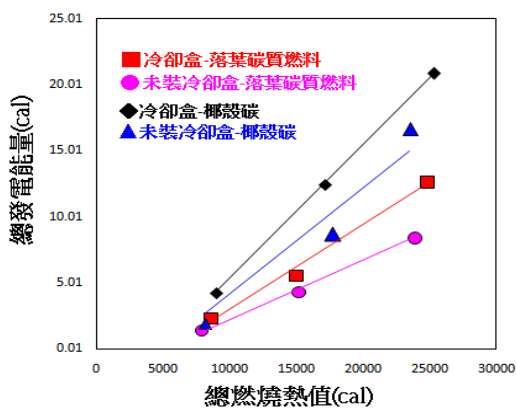


圖 18(a). 第三代加裝冷卻盒熱電小屋熱溫差發電試驗的總發電能量

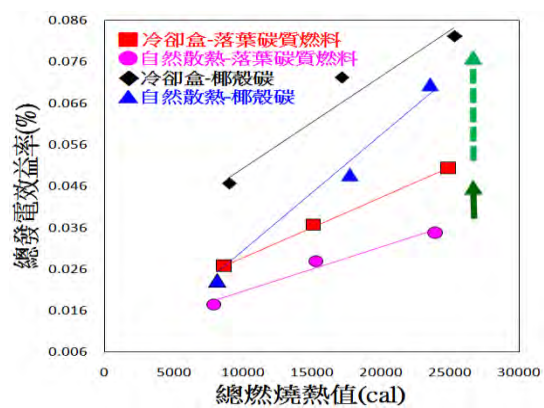


圖 18(b). 第三代加裝冷卻盒熱電小屋之熱溫差發電試驗的總發電效率

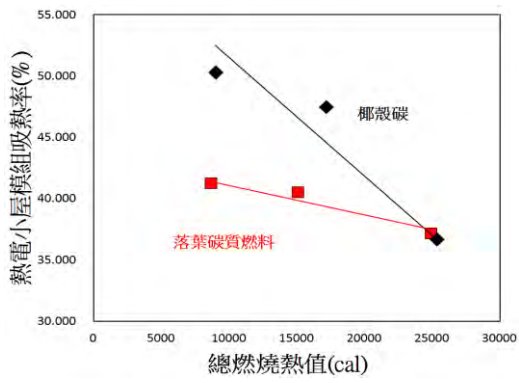


圖 18(c).第三代加裝冷卻盒熱電小屋之
小屋模組吸熱率

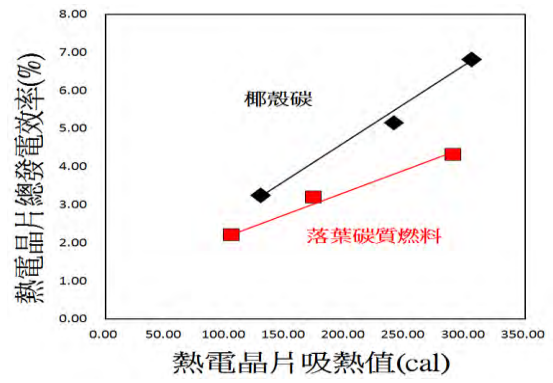
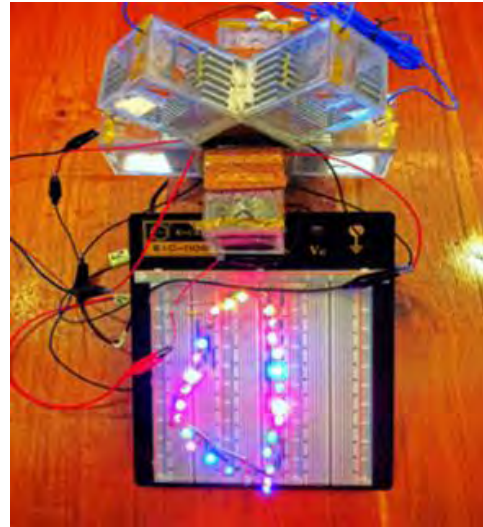


圖 18(d).第三代加裝冷卻盒熱電小屋之熱
電晶片發電效率



照片 6(a).電三代小屋輸出 1.3v，點亮台
灣地圖造型的 LED 燈組模型



照片 6(b).第三代小屋輸出 2.3V 以上，LED
燈開始閃爍亮光，總時間超過 30min

陸、討 論

一、落葉碳質燃料的製作與基本特性研究

(一) 落葉粉末粒度分布試驗結果討論

圖18顯示，葉脈比率增加，中大顆粒($X \geq 0.5\text{mm}$)比率為隨之增加趨勢，細小粉料($X < 0.5\text{mm}$)則為降低趨勢。推論葉脈較堅韌不易打成細粉，為中大顆粒主要組成；粉末呈纖維狀者，中大顆粒比率亦偏低，乃因纖維易穿過網孔進入較細篩網。

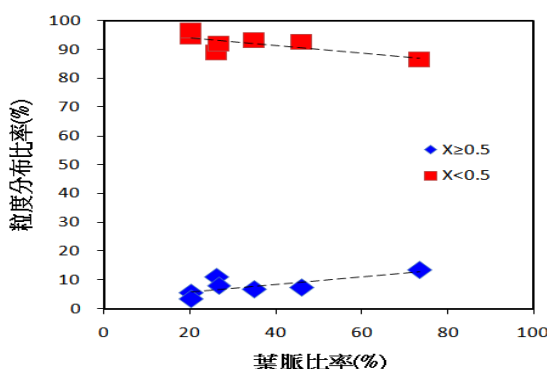


圖18.落葉粉末粒度隨葉脈比率變化圖

(二) 落葉粉末原料特性分析結果討論

1. 不同碳化溫度對落葉特性的影響：碳化溫度增加而碳質比率下降，與林曉洪等^[9]、^[10]的研究結果相仿。原因為碳化溫度增加，試材中被熱分解(Pyrolysis)成分及數量亦隨之增加，碳質減少的部分成為揮發分散逸。灰分比率增加，則因有機質受熱分解形成揮發分排出，無機礦物含量相對提升。
2. 落葉種類對特性的影響：菩提與麵包落葉的灰分比例偏高(11~16%)，為其碳質/灰分比值偏低之主要原因。
3. 葉脈與葉質對落葉粉末原料特性的影響：
 - (1) 葉脈比率：圖19(a)顯示，7種公園落葉的碳質/灰分隨葉脈比率增加而有增加的趨勢。其中，300°C碳化的增加趨勢較快，400°C碳化者趨勢則較慢。
 - (2) 葉質種類：圖19(b)顯示，落葉的碳質/灰分比值大小：單子葉紙質 > 雙子葉薄革質 > 雙子葉厚紙質。其中，雙子葉厚紙質(麵包樹)的碳質/灰分偏低，推測為灰分比率偏高所致。

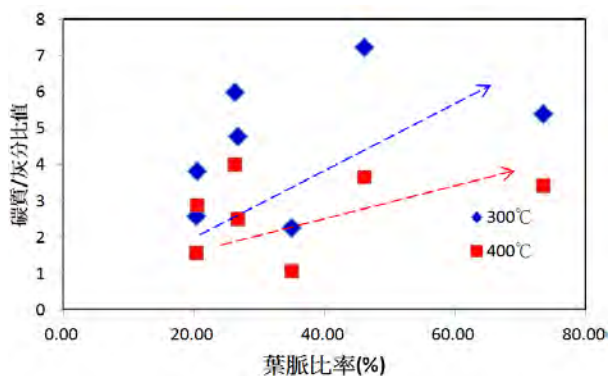


圖19(a).葉脈比率對碳質/灰分的影響

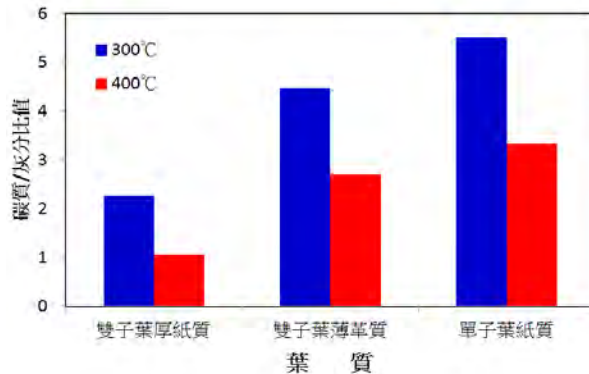


圖19(b).葉質對碳質/灰分的影響

(三) 落葉碳質燃料特性分析結果討論

1. 成型荷重對特性的影響：成型荷重由1噸提高到2與4噸，提高了碳質燃料的平均密度，如圖20(a)，從而提高了碳質/灰分比，如圖20(b)。

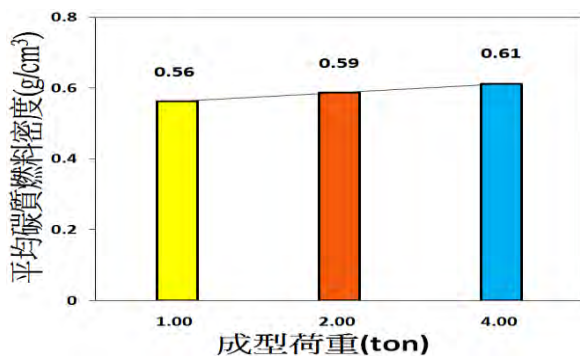


圖20(a).不同成型條件，對碳質燃料密度的影響

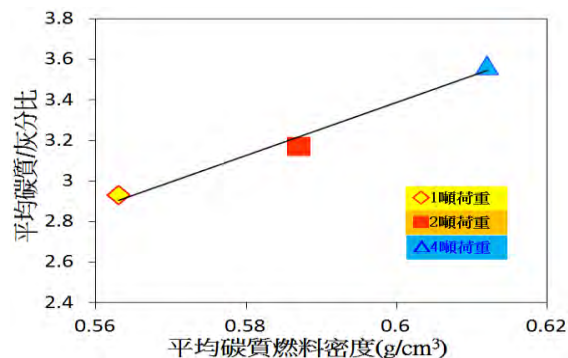


圖20(b).不同成型條件，密度對碳質/灰分比的影響

2. 落葉種類對特性的影響：菩提與麵包落葉的碳質/灰分比值偏低，推測為灰分比率偏高(38~48%)的原故。
3. 葉脈與葉質對特性的影響：
 - (1) 葉脈比率：圖20(c)顯示，碳質/灰分比隨葉脈比率增加而有增加的趨勢。其中，4噸成型荷重的增加趨勢最快，次為2噸，1噸者較慢。
 - (2) 葉質種類：圖20(d)顯示，不同成型荷重下，不同葉質的碳質/灰分比值大小為：單子葉紙質 > 雙子葉薄革質 > 雙子葉厚紙質；趨勢與落葉粉末原料相近。
4. 粉末粒度對特性的影響：圖20(e)顯示，不同成型荷重下，試樣的碳質/灰分比，隨中大顆粒比率增加而有增加的趨勢。依據楊海明、韓成立^[11]等研究報告，較大的顆粒中心發生低溫熱裂解，可產生較多的碳。

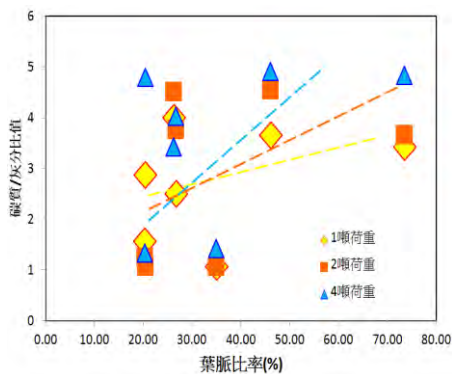


圖20(c).不同成型條件，葉脈比率對碳質/灰分的影響

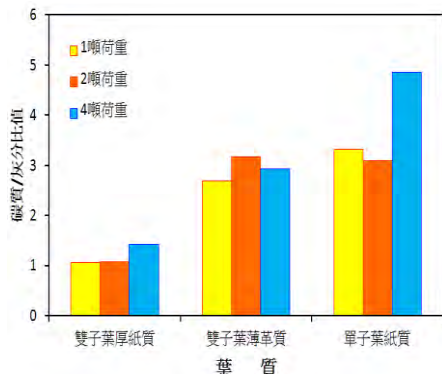


圖20(d).不同成型條件，葉質對碳質/灰分的影響

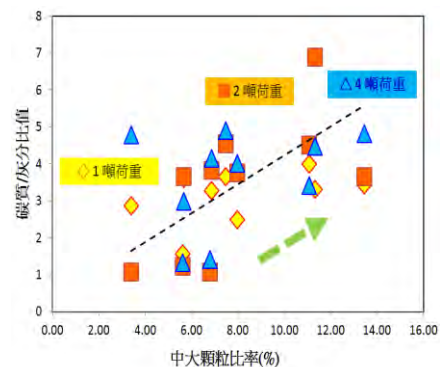


圖20(e).不同成型條件下，粉末粒度對碳質/灰分的影響

二、落葉碳質燃料的燃燒特性研究

(一) 不同碳化溫度落葉碳質燃料的燃燒試驗結果討論

1. 碳化溫度對水杯吸熱值的影響：圖21(a)顯示，水杯吸熱值隨碳質/灰分比增加而提高；圖21(b)顯示，碳化溫度提高(300°C → 400°C)，碳質/灰分比雖下降，但水杯吸熱值仍然升高。此與林曉洪^{[6]、[7]、[8]}的研究結果相近，乃試材揮發分雖於熱裂解逸散，碳質中的碳素含量仍為增加，故400°C 碳化者熱值高於300°C。
2. 碳化溫度對水杯升溫速率的影響：圖21(c)顯示，水杯升溫速率隨碳質燃料密度增加而降低。推測因密度高組織越緻密，則燃燒需氧較多且熱裂解速率較慢所致；圖21(d)則顯示，400°C 碳化之平均水杯升溫速率高於300°C 者，推論乃前者熱值較大，故升溫速率快於後者。

400°C 碳化的落葉碳質燃料之吸熱值與升溫速率皆優於300 °C，認為是較佳的碳化溫度。

3. 葉質對水杯吸熱值的影響：圖21(e)顯示，不同碳化溫度下，水杯吸熱值大小：單子葉紙質 > 雙子葉薄革質 > 雙子葉厚紙質；趨勢與落葉碳質/灰分比相同。

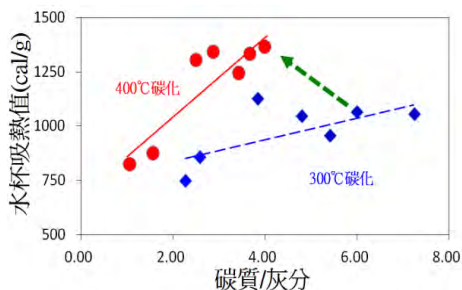


圖21(a).不同碳化溫度碳質燃料的碳質/灰分對水杯吸熱值的影響

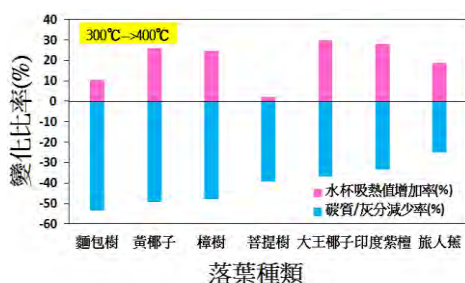


圖21(b).落葉碳質燃料的碳質/灰分對水杯吸熱值變化之影響

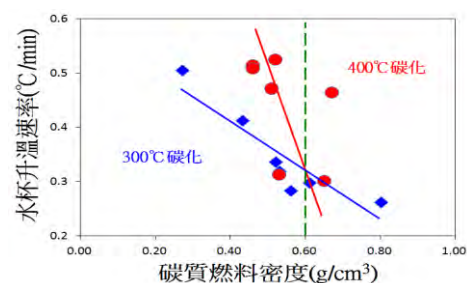


圖21(c).不同碳化溫度落葉碳質燃料密度對水杯升溫速率影響

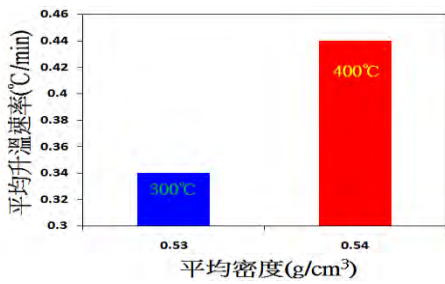


圖21(d).不同碳化溫度對公園落葉碳質燃料平均密度之影響

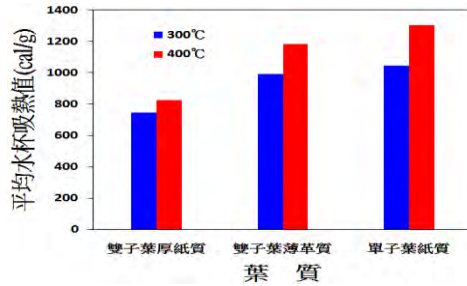


圖21(e).不同碳化溫度，葉質對水杯吸熱值的影響

(二) 不同成型荷重的落葉碳質燃料燃燒特性試驗結果討論

1. 成型荷重對碳質/灰分與水杯吸熱值的影響：圖22(a)顯示，不同荷重下，水杯吸熱值隨碳質/灰分比增加而呈拋物線增加趨勢；圖22(b)則顯示，荷重提高時，平均碳質/灰分比值增加，吸熱值亦呈拋物線趨勢而增加。亦即，當成型壓力由1噸提高到2噸時，水杯吸熱值增加最顯著，4噸則增加趨緩。因此，2噸為較佳的成型荷重。
2. 成型荷重對燃料密度與水杯升溫速率的影響：圖22(c)顯示，不同荷重下，升溫速率隨密度增加而呈拋物線下降趨勢；圖22(d)則顯示，當荷重提高時，平均密度增加，升溫速率亦隨之呈拋物線趨勢下降。其中，2噸為較佳的成型荷重。

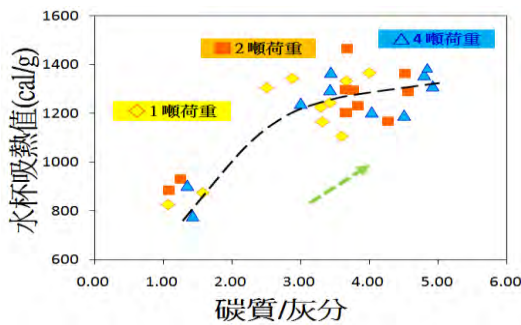


圖22(a).成型荷重對碳質/灰分與水杯吸熱值的影響

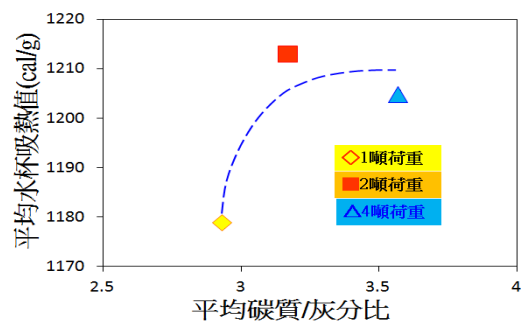


圖22(b).成型荷重對平均碳質燃料密度與平均水杯升溫速率的影響

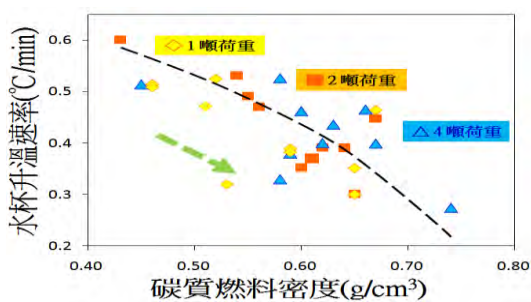


圖22(c).成型荷重對碳質燃料水杯升溫速率與碳質燃料密度的影響

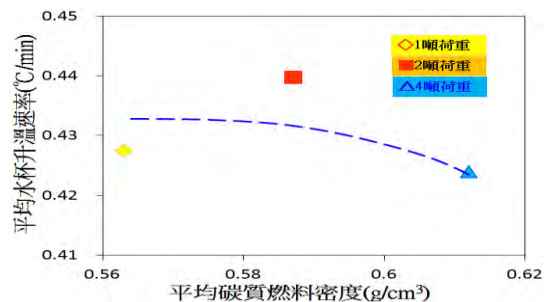


圖22(d). 成型荷重對平均碳質燃料水杯升溫速率與平均密度的影響

(三) 不同空氣流量的落葉碳質燃料燃燒特性試驗結果討論

0.5~1l/min的空氣流量通入燃燒爐時，會帶走較多的燃燒熱量，因此水杯吸熱值與升溫速率皆較自然對流者下降。表示自製燃燒爐在自然對流下，可提供足夠的燃燒空氣。

(四) 不同落葉混合碳質燃料的燃燒特性試驗結果討論

水杯吸熱實測值與理論值的差異：9種混合配方實測與理論差異率約-12~+3.7%。其中，高熱值的雙子葉印度紫檀與樟樹落葉較利於加入混合落葉使用。

三、落葉碳質燃料熱能轉電能的潛在應用研究

(一) 第一代燃燒爐熱電模組發電試驗結果討論

總發電能量與總發電效益率皆隨總燃燒熱值而增加。推論由於供熱越多，熱電模組熱、冷端溫差越大，高溫差持續時間越久，發電效益越佳。

(二) 第二代熱電小屋模組燃燒發電試驗結果討論

1. 串聯：

(1) 總發電能量與總發電效率皆隨總燃燒熱值而增加，發電效率較第一代增加210%，主因為6個晶片串聯，使電流、功率皆增加。

(2) 落葉碳質燃料與椰殼碳比較：前者發電效益率約為後者~50%，原因可能為落葉碳質燃料組成顆粒較小(圖23(a))，因此燃燒速率快，吸-散熱器間的高溫度差持續時間較短(圖23(b))，溫度差較早進入下降趨勢，因此發電效益率較低。

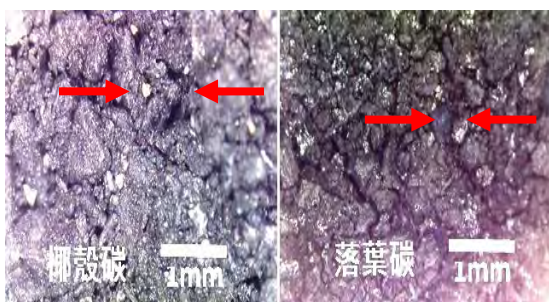


圖23(a).椰殼(左)與落葉碳質燃料顆粒(右)

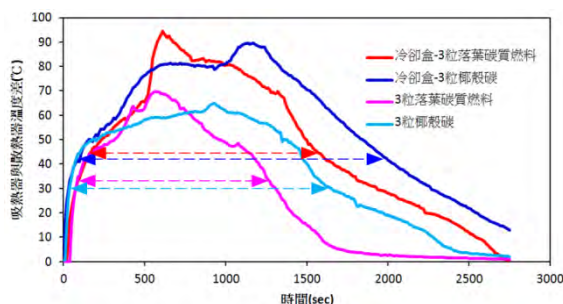


圖23(b).熱電小屋燃燒試驗的吸熱器與散熱器溫度差隨時間分布圖

2. 並聯：

熱電小屋並聯發電效益非常低。推測為熱電晶片之間的輸出電壓不同，造成某些晶片處於“充電狀態”消耗電能。

(三) 第三代加裝冷卻盒熱電模組發電試驗結果討論

1. 燃燒爐-熱電模組：

- (1)加裝冷卻盒效益：加裝冷卻盒之後，總發電效益率提高約60%(落葉碳質燃料)。原因為冷卻盒大幅增加吸-散熱器間溫差與持續時間，提高發電效益，如圖23(b)。
- (2)落葉碳質燃料與市售椰殼碳：前者發電效益率約為後者~68%。原因為落葉碳質燃料組成顆粒較小，如圖23(a)。

2. 熱電小屋：

- (1)加裝冷卻盒效益：加裝冷卻盒之後，總發電效益率提高約45%(落葉碳質燃料)。原因同前述。
- (2)落葉碳質燃料與椰殼碳：前者發電效益率約為後者~61%。原因同前述。
- (3)熱電模組吸熱率：熱電小屋吸熱率較燃燒爐-熱電模組增加100~160%，顯示爐壁裝熱電晶片顯著提高吸熱效果。
- (4)熱電晶片發電效益率：小屋熱電晶片發電效率較燃燒爐-熱電晶片增加15%，顯示小屋立體架構的發電效果優於單一平面晶片。

柒、結 論

1. 本研究的最佳落葉碳質燃料製程為 2 噸成型荷重與 400°C 碳化，並利用熱電晶片發電，由第一代燃燒爐-熱電模組改良到第三代加裝冷卻盒熱電小屋，發電效率提高 350%，展現其發電應用潛能。
2. 7 種公園落葉的葉脈比率約 20~73wt%。其中單子葉紙質葉脈組織甚為堅硬，雙子葉厚紙質中肋較強韌，雙子葉薄革質則葉脈組織有韌性、網狀結構清晰。葉脈比率增加，則粉末大中顆粒比率、碳質/灰分比、水杯吸熱值與升溫速率皆隨之增高趨勢。
3. 葉質的碳質/灰分比及熱值順序為：單子葉紙質 > 雙子葉薄革質 > 雙子葉厚紙質。
4. 300~400°C 碳化(1 噸成型)的落葉燃料水杯吸熱值 748~1367cal/g，升溫速率 0.26~0.53°C/min。400°C 碳化的吸熱值與升溫速率明顯優於 300 °C，為較佳碳化溫度。
5. 1、2、4 噸成型(400°C 碳化)的落葉碳質燃料水杯吸熱值約 779~1465cal/g，升溫速率約 0.27~0.53°C/min。提高成型荷重可使碳質燃料密度、碳質/灰分比、水杯吸熱值成上升趨勢，升溫速率則下降趨勢，而以 2 噸較佳。
6. 0.5~1L/min 的對流會過多的帶走熱能，導致水杯吸熱值與升溫速率下降。因此自然對流仍為較佳流量條件。
7. 混合落葉碳質燃料的水杯吸熱值約 948~1340cal/g，升溫速率約 0.3~0.5°C/min，實測與理論差異率約 -12~+3.7%；印度紫檀與樟樹落葉較利於加入混用。
8. 7 種公園落葉、3 種隨機與 9 種混合落葉的碳質燃料，經檢量推估總燃燒熱值，各約 4360~5888cal/g、4900~5450cal/g 及 4500~5550cal/g，與市售褐煤相近。
9. 第一代燃燒爐-熱電模組以落葉碳質燃料燃燒發電，產出 0.60~2.46cal 電能(總燃燒熱值 8100~22000cal)，總發電效率 0.0075~0.0111%。總發電能量與效率皆隨總熱值增加而提高。加裝冷卻盒可再提高發電效率 60%，因可大幅增加溫差及其持續時間而提升發電效率。
10. 第二代熱電小屋(串聯)以落葉碳質燃料燃燒發電，產出 1.4~8.3cal 電能(總燃燒熱值 7882~23970cal)，總發電效率 0.0175~0.0347%，較第一代提高 210%。並聯則效率非常低。
11. 第三代加裝冷卻盒熱電小屋(串聯)較第二代再提高 45%，原因為冷卻盒增加溫度差及其持續時間而提升發電效率。
12. 落葉碳質燃料在熱電小屋發電效率約為市售椰殼碳的 50%(自然散熱)~61%(冷卻盒)。原因為落葉碳質燃料組成顆粒較小、燃燒速率快，高溫差持續時間較短，因此效率較低。
13. 熱電模組吸熱率，隨總燃燒熱值增加而下降，但發電效率則提高。燃燒爐-熱電模組的吸熱率約 14~21%；熱電小屋約 37~41%，較前者增加 100~160%，顯示爐壁改為四片熱電晶片可顯著提高吸熱及發電效率。
14. 加裝冷卻盒的燃燒爐-熱電模組之熱電晶片發電效率為 1.6~3.7%；加裝冷盒熱電小屋模組的熱電晶片約 2.2~4.3%，較前者增加~15%，顯示小屋立體架構效果優於單一平面晶片。
15. 熱電小屋燃燒碳質燃料進行熱溫差發電，輸出電壓 1.3V 時，可使台灣造型 LED 燈模型發出紅光；電壓 2.3V 以上，則 LED 燈開始發出閃爍藍白光，總時間超過 30min。

捌、未來展望

落葉碳質燃料相對於燃煤，具有易點燃、快速燃燒、熱值相近等優點，未來可嘗試與燃煤混合試驗，找出最佳配適比例。另，落葉碳質燃料製做所需能源，未來計畫利用揮發分(可燃氣與焦油)來提供生胚預熱及以控土窯方式碳化，完全達到再生能源循環利用的目標。

玖、參考資料

- 1.萬皓鵬，李宏台，“廢棄物衍生燃料的使用”，科學發展，450期，pp.34~43，2010年6月。
- 2.陳奕宏，“生質能概論”，國立高雄應用科技大學，綠色能源整合學程教材，2007年8月。
- 3.新型廢熱回收裝置-熱電產生器能源資訊網：<http://emis.erl.itri.org.tw>
- 4.廠商提供之“熱電晶片說明書”。
- 5.莊溪，“認識植物”網站：<http://kplant.biodiv.tw/>。
- 6.薛聰賢，“台灣花卉實用圖鑑1~11冊”。
- 7.台灣大百科全書：<http://taiwanpedia.culture.tw/>。
- 8.林曉洪，“銀合歡木材與輪胎廢料研製固態生質燃料之可行性”，中華林學季刊，40(4):549-562 (2007)。
- 9.林曉洪，“香菇太空包廢料應用於固態生質燃料之製造”，中華林學季刊，41(1):105-119 (2008)。
- 10.林曉洪，“農林廢料應用於固態生質燃料碳磚製造之研究”，中華林學季刊，43(3):471-488 (2010)。
- 11.楊海明、韓成利、吳也平、畢野、殷廣明，“生物質的熱裂解”，高師理科學刊，第28卷第3期，pp.56~60，2008年5月。

【評語】 030811

此研究以廢棄物處理探討不同種類落葉在加壓成型與碳化處理後，於燃燒程序中提供之熱值在熱電回收應用。唯研究需注意，燃燒程序後 CO₂ 排放於大氣可能衍生之溫室效應之可能，及 CO₂ 捕捉技術。