

# 稻殼在逆流式燃燒爐之性能分析

王岱淇\*

壹、前言  
貳、文獻探討  
參、實驗設備與方法  
肆、結果與討論  
伍、誌謝  
陸、參考文獻

## 摘 要

在各種廢棄物的處理方法中，焚化處理是目前在台灣客觀環境下，無可選擇的最有效率、最快速而安定、減積率最高的方法。但在焚化處理過程中所產生的空氣污染卻是最令人棘手的問題，與其研究各種空氣污染防治的方法與設備，不如從根本著手，探討空氣污染較低的焚化方法著手。

稻殼在傳統固定爐床式燃燒爐中，燃燒情形（排灰不易、粉塵嚴重、燃燒緩慢等）一直不是很理想，近來有採用旋風式燃燒爐及灰化爐處理，但空氣及粉塵污染仍是燃燒處理時所必須克服的問題。若在燃燒的控制上加以改善，使能達到環保標準，不但在爐體的經濟規模上能減少，在建造及操作上，更能減少空氣污染防治設備的成本。

基於此前提，本研究在國科會的兩年經費資助下，去年度（NCS84-2321-B002-012）在進行逆流式燃燒爐的設計製作，並針對稻殼在逆流式燃燒爐的燃燒性能測定，獲得初步結果，本年度（NSC85-2321-B002-009）研究針對去年度初步結果中的缺點加以改善。改良後的爐體因灰爐灰化區長度加長，使稻殼燃燒率自 52 % 提高至 67 %，燃燒總效率約從 31 % 提升至 41 %。若在爐體上再作若干修正，必可更加提升燃燒率及燃燒總效率，配合部份進排料設施，即可配合穀物加工中心之自動化生產，降低成本、提升競爭力。

關鍵詞：稻殼、燃燒爐、逆流式

---

\* 王岱淇：機械科專任講師。

## 壹、前言

在未來加入 GATT 後，稻殼仍為國內最大宗農產品，本省稻作一年兩作，耕種密集，故收穫後的廢棄物（稻殼、稻草等）常無法及時在田間腐化成有機肥。農會之乾燥與加工中心，因集中處理，其所產生的大量稻殼，在土地取得不易的情況下，常不易處理，廢置於田間或在田間燃燒，都會造成嚴重的環保問題。目前亦有委託民間外送處理，但如此則增加生產成本。

一般言，稻殼的用途很多，可作為填充介質、栽培介質、隔熱材、研磨劑等，但用途雖廣，其利用效能仍然不高、且使用不便，故一直無法大量利用。在環保觀念日益高漲的未來，農業廢棄物將來勢必成為一必需解決的問題。為處理玉米穗軸所造成的廢棄物問題，於七十六年進口 Sukup 燃燒爐處理了穗軸的環保問題，但因本省玉米產量不高且穗軸產期短，加上各種作物燃燒特性不一，造成穗軸燃燒爐利用率不高，且無法適用其他大宗農業廢棄物的處理，如稻殼、花生殼、作物株桿等。

為解決未來即將發生的問題，針對各種大宗農業廢棄物，焚化爐的設計建造模式建立及燃燒分析是刻不容緩的。本研究將依現有建立實驗室規模的研究用焚化爐，探討其焚化模式，分析逆流式焚化爐的燃燒特性，建立稻殼逆流燃燒的資料，並整合各變數成自動化控制系統，以作為自動化乾燥中心設計焚化爐之參考，以達到節約能源及廢棄物處理的雙重目的。

就台灣而言，稻米年產量約 230 萬公噸，面對每年四十六萬噸的稻殼產量，除了以焚化處理配合熱能回收的系統外，似乎沒有較高效率且大量的處理方式。然而我們也發現，稻殼之灰份高、密度低、燃燒速率緩慢、熱值低、堆積孔隙小等特性，使其在傳統焚化爐燃燒稻殼時，容易發生無法完全灰化、燃燒速率緩慢、煙霧污染嚴重、體積減率偏低、排塵量過高、灰燼排出不易等諸缺點。因此，開發較高效率之稻殼燃燒爐，實有其迫切的需要。

國內對稻殼的研究並不多，自民國七十年開始，有陳貽倫教授對稻殼燃燒做過研究，後有馮丁樹教授及吳中興教授對玉米穗軸燃燒爐進行探討，皆指出農業廢棄物燃燒後之熱能非常值得利用於乾燥穀物，但也分別指出各種廢棄物在焚化上的特性，及不同程度上的困難。在王和馮（1993）的農產品廢棄物焚化物性之研究中，則比較了大宗農業廢棄物在焚化處理上的特點，說明了要適合多種農業廢棄物焚化處理的燃燒爐，必須要先了解其不同的焚化模式，才能根據其特性來設計通用的焚化爐。林（1989）對稻殼燃燒後的灰燼添加至混凝土之利用，亦有深入探討，為稻殼處理提供一有效的方法。

對於稻殼燃燒的基本資料的研究，王（1994）以稻殼為對象，在實驗室中就其在燃燒過程作動態測量試驗，探討稻殼在低風量下的燃燒過程，以了解其在不同溫度及風量下的變化，並比較順、逆流燃燒的優缺點，發現逆流式燃燒比傳統順流燃燒較適合處理稻殼。進而在本計畫第一年度中建造的逆流式實驗爐（如圖 3），試驗稻殼的逆流式燃燒處理，分析稻殼在逆流燃燒的焚化特性及處理效率，並建立逆流式燃燒爐的設計模式。藉由焚化模式及燃燒爐設計模式得建立，將可運用於農用廢棄物焚化爐的設計及製造，當有了適合農業通用得焚化爐後，將可達到以下效

益：

- (1)經濟效益方面：有效地應用農業廢棄物燃燒後熱能，可節省大量用於乾燥上之燃油或電力。並可應用於多種農業廢棄物，配合不同農作物的產期，輪流使用，以提高焚化爐的利用率。
- (2)環境效益方面：可減少未來大宗農業廢棄物對環境上之污染，提升農村生活品質，改善農民衛生健康。

稻殼在傳統固定式爐床下燃燒時，其燃燒常不盡理想，排灰不易，粉塵多且燃燒緩慢，因而影響自動化進料方式的順暢。傳統的燃燒方式必須讓燃燒部位之上方保留較大的燃燒空間，故進料必須自側面由上而下投入，造成燃燒過程之中斷。為克服燃燒空氣及粉塵等之污染問題，燃燒系統之設計中亦常增加旋風分離筒裝置，以過濾固粒粉塵，並使其符合環保標準。逆流式燃燒是採用不同的燃燒安排方式以克服上述的缺點。原理上，逆流式燃燒與傳統的方式有如上下鏡射，傳統者係利用自然對流或強力送風方式供應燃燒所需之新鮮空氣，而後者係藉外在的風壓差，迫使火焰往下燃燒，新鮮空氣由上向下供應。

由於逆流式燃燒時空氣供應之流向係先經過稻殼燃料由上往下。此時經重力落下的燃料，先熱解而逸出揮發性氣體，並流經下層的高溫燃燒層，在適當的空氣補充下，此揮發性氣體可在高溫下充分反應，將可減少有害氣體的產生。而且逆流燃燒的低空氣流速，更適合稻殼的悶燒模式進行，若有適當的爐體，將可解決稻殼無法完全燃燒及燃燒緩慢的特殊缺點。

本研究將依現有的焚化物性研究成果繼續補充，並建立實驗室規模的研究用焚化爐，藉以探討其焚化模式，以供進行逆流式燃燒爐的設計製作，並針對稻殼在逆流式燃燒爐燃燒時的諸項燃燒性能進行初步測定。且藉由逆流式燃燒爐的建造與設立，以作為設計農用焚化爐之參考，解決未來大宗農業廢棄物的焚化問題。

## 貳、文獻探討

在稻殼燃燒特性的探討中，多指出稻殼的燃燒速度極慢，短時間內無法灰化完全，灰份含量高、燃燒熱量不高(王，1993；王和馮，1993)。在燃燒爐之設計與製作方面，山下與Hao(Yamashita & Hao, 1978)曾設計一套以稻殼為燃料之燃燒爐，包含暫存筒、旋風分離筒、熱交換器等設施，可乾燥穀物。陳與周(1982)則製作過另一種以燃燒稻殼為主之簡易式實驗爐，並同樣用於稻殼之乾燥。為增加空氣與燃料的混合，蔡和陳(1984)則利用旋風式燃燒爐，並加大氧化層以促進完全燃燒，排氣部份則採用噴水式除塵設備，以減少污染。吳等(1993)曾引進SUKUP公司(Sukup & Bern, 1982)之玉米穗燃燒爐在種苗場進行試驗。此焚化爐係在爐體上搭配空氣熱交換管，可獲得乾淨的熱空氣，其燃燒狀況大致上隨過量空氣增加而提高，燃燒爐之整體效率約為40%，平均進料量每分鐘約為2.0至4.5公斤之範圍。詹等(1993)亦在評估稻殼能源利用之可行性後，以旋風爐處理稻殼的焚化。王(1996)更以逆流燃燒原理利用模組式製作方式設計稻殼逆流燃燒爐，指出小型模組式燃燒爐的優點，及稻殼的灰燼需有較長的燜燒時間。

廢棄物焚化爐在農業上的應用上，多以固定床式較普遍。但在稻殼燃燒方面，

王（1993）發現，稻殼因顆粒小，在固定爐床上未燃燒前易直接自爐柵間落下，而燃燒後，卻因灰燼易融結成塊，無法自爐柵間依重力方式排出，造成爐內無法排灰而堆積大量灰燼。對於連續進料方式而言，這是一個嚴重的障礙，必須以活動式爐床來完成排灰的動作。因此若要在稻殼加工自動化系統中，加入以稻殼焚化爐系統處理加工過程產生的稻殼，並利用燃燒產生的熱能提供乾燥所需熱氣，能連續進料的活動爐床式焚化爐應是值得考慮的方式。

目前燃燒的方式多為順流式燃燒，空氣由下往上流動，若燃料進料方式為重力式時，燃料落在高溫燃燒層上，造成降溫的負面影響，且揮發物質隨即逸出，隨空氣流動而上升，在二次空氣進入後的降溫效果下，易使揮發物質在不完全燃燒下形成有害氣體。吳等（1980）針對稻殼進行小桶燃燒，探討逆流燃燒之可行性。陳與周（1982）則以此理論進行逆流式稻殼燃燒爐之設計，並進行試驗，以分析風量對燃燒時間、溫度及效率之影響。然而在稻殼燃燒基本試驗仍其為久缺，燃燒試驗的範圍亦較為有限。

燃料完全燃燒之因素包括氧氣、溫度、滯留時間與紊流狀況等四項（後三者或稱為3T），燃燒室的設計必須使上述四條件處於最佳狀況。傳統燃燒爐為增加滯留時間，常有二次燃燒室的設計，使揮發氣體能完全燃燒。

一般的燃燒爐之燃燒形態均利用燃燒後熱氣流上升，由底部引進新鮮空氣的方式，依序通過燃燒層、裂解層及乾燥層，火焰通過殼層較為快速（如圖1左側），因此火焰加長。圖1右側所示之空氣供應方向則與左側之順流式相反，空氣自上而下，因此空氣先經過乾燥層，再進一步與裂解層及燃燒層接觸。空氣因熱對流有上升的趨勢。然而逆流之空氣流向造成抗力，使火焰前進速度因此減緩，燃燒時間因而較長，並且較為充分。

綜言之，逆流式燃燒模式有下列優點：

1. 可配合燃燒速度較慢的稻殼使用。
2. 在燃燒期間，其燃燒溫度較低，所產生之氮化物濃度亦較低。
3. 由於進料方向與燃燒過程方向相同，可以在燃燒過程中連續進料。
4. 啟動時容易點火。（在燃料上方點火，火燄由吸下的氣流帶入燃燒層）
5. 灰渣的出料方向與廢氣方向相同，容易自動化作業。

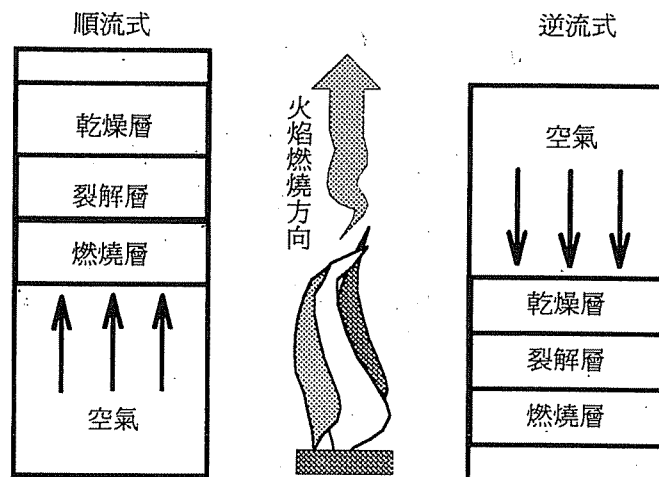


圖 1. 逆流式與順流式燃燒之比較

根據文獻所載之各種應用於稻殼燃燒爐，本研究提出之設計觀念及其應有功能如下：

1. 可自動進料。
2. 可自動排出廢渣。
3. 可以完全燃燒且燃燒均勻。
4. 可應用於其他農產廢棄物之焚化。

圖 2 所示為本研究設計燃燒爐之基本觀念。稻殼由上方進入，降至爐體中間段進入燃燒層。焚化後，灰渣繼續往下掉落，並以燻燒方式繼續其未完成的燃燒過程，以達到灰化更完全的程度，最後由螺旋輸送機排出。新鮮空氣自頂部及爐體側面的進氣管吸入，並以風機排出。空氣先經過未燃燒之稻殼層，再進入燃燒層開始熱解出揮發性氣體，向側向吹出至第二燃燒室，以火燄型態燃燒。稻殼在燃燒層燃燒，其火焰將隨空氣方向延伸，因此溫度最高部份應為燃燒層與右側部份之空氣室。為使燃燒時，通過左側之稻殼未及燃燒，中間部份另設有欄柵，使燃燒面能擴及稻殼柱面之週圍。

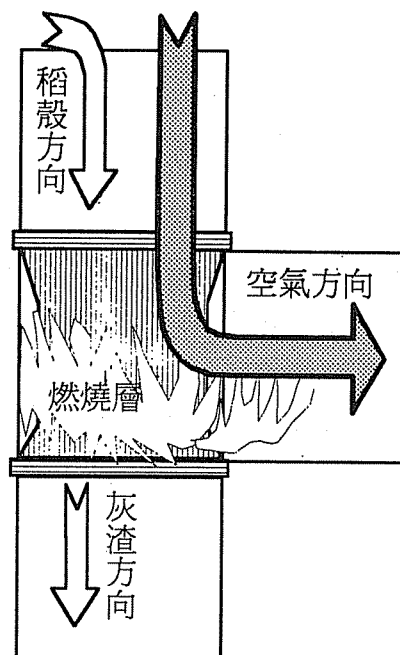


圖 2. 逆流燃燒爐之設計觀念

## 參、實驗設備與方法

### (一) 爐體設計

本爐體乃承襲上一年度計畫中所建造之爐體，針對上一年度實驗中發現之缺點

(灰燼冷卻區長度不足，造成灰化不完全)，將爐體稍加改良，將中段爐體上下倒置，使火焰出口提高 60cm，亦即使灰燼冷卻區長度加長 60cm。爐體之尺寸設計依據 Richard (1969) 和 Niessen (1978) 之廢棄物特性分析及爐體設計規範，爐體完全以模組化設計，可以分別製作、裝卸。圖 3 為其三視圖。由於本機仍屬實驗室裝置，故進料及卸渣動作均以人工為之。進料在爐體上方以重力方式投入，隨著灰燼的排出，燃料漸漸下降，排灰在爐體下方，經螺旋輸送器壓縮後送出，燃燒的廢氣流經集塵室由抽風機抽出。爐體安裝十一支 K type 的熱電偶棒，以監測爐內溫度變化，藉以了解燃燒過程的進行。其氣孔與熱電偶棒位置如圖 4 所示。

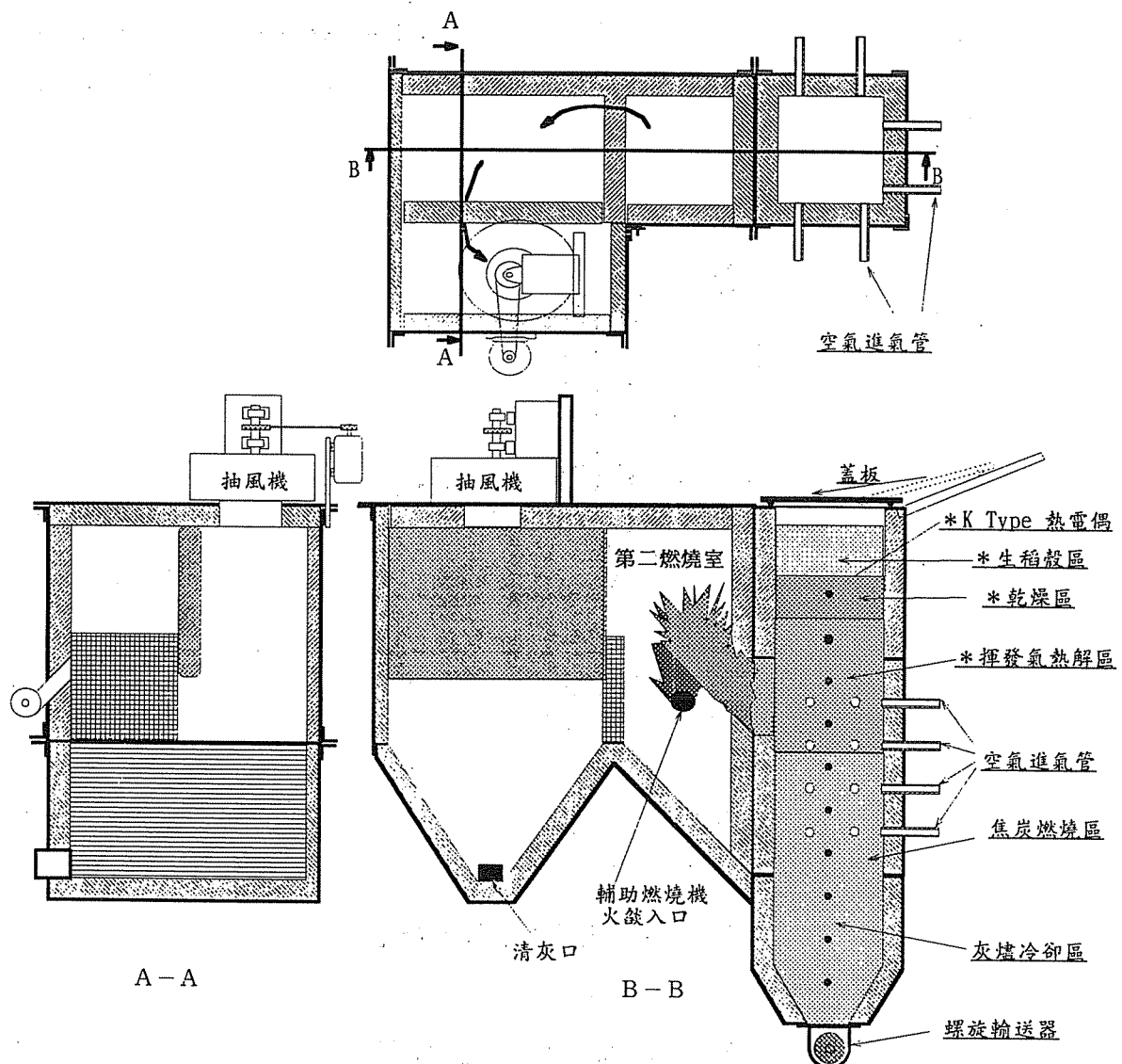


圖 3. 逆流式燃燒爐之三視圖

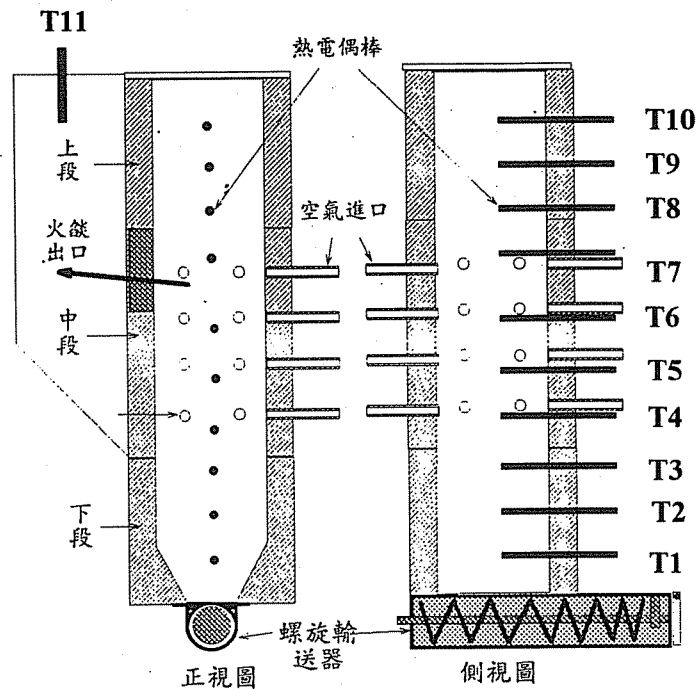


圖 4. 溫度測計之佈置位置

## (二)實驗方法

本試驗所用之設備包括風速計、廢氣分析儀、溫度記錄器及變頻器等。風速的測量依 Richard (1969) 之「焚化爐性能測定規範」在風機出口測得。廢氣測量在風機出口以 IMR2000P 及 SO<sub>2</sub> Monitor 測量。燃料進料量，以累計隨時維持爐體內上方燃料在固定堆積高度（約在 T10 位置）的投料量，除於累計時間為準，排料採斷續排料法，間隔一定時間，開動排料螺旋輸送器，排出時間亦固定。

為求比較改良爐體前後之差異，實驗分兩次，第一次實驗為改良前，第二次實驗為改良後（加長灰爐冷卻區長度，以增加灰爐燜燒時間），以供分別比較。稻殼在本爐體燃燒率的計算分兩種，第一種方法以排出的灰爐取一定量，進行灰份測定，換算成原有乾稻殼可燃部份的燃燒比率（如 4 式）。第二種方法，是以在該燃燒變數（風量、進料量）固定下的穩定燃燒期間內，以其總排灰量除以總進料量（須扣除含水率），因排灰量在量測時仍有餘溫，假設並未開始吸濕，故毋須扣除含水率（如 5 式）。

## 點火方式分兩種方式

自然點火：第一次為點火前先將稻殼填滿至 T8 的高度，風機打開的情形下，以報紙沾汽油點火置於稻殼上方，利用風機將火燄抽下將稻殼點燃，並在稻殼表面灑以少許汽油助燃。點火初期排出濃濃白煙，此為高濃度揮度性氣體，直到火燄自主爐體的火燄出口冒出，並在第二燃燒室保有燃燒火燄後，此時已建立一燃燒層，為

確定建立足夠長度的燃燒層，以確保燃燒能持續進行，在原有燃燒層上方加入稻殼並加入助燃汽油，繼續進行點火程序，直到稻殼填滿至 T10 的高度後，開始進排料的控制。

預熱點火：第二次為點火前先將稻殼填滿至 T8 的高度，風機不開的情形下，以瓦斯火燄對第二燃燒室加熱至 700 °C，以報紙沾汽油點火置於稻殼上方，開風機將燄抽下將稻殼點燃，並在稻殼表面灑以少許汽油助燃。點火初期排出高濃度揮發性氣體，瓦斯火燄持續加熱以減少濃煙排出，直到第二燃燒室保有燃燒火燄後，停止助燃汽油及瓦斯火燄，將稻殼填滿至 T10 的高度，並開始進排料的控制。

### 熱效率計算

為了解燃燒爐操作時各燃燒變數的影響，先要定義熱效率

$$\text{熱效率} = \frac{\text{輸出}}{\text{輸入}} \quad (1)$$

輸入是指燃料的熱值，輸出是指燃燒產生的熱量。在本實驗中，燃料的熱值計算乃指低熱值 ( L.H.V. )，持用熱值測定儀所測出的高熱值 ( H.H.V. )，經下式求出低熱值，式中 M.C. 為含水率， $\lambda$  為水的蒸發潛熱 ( 2442kJ/Kg，at25 °C )，H 為稻殼中氫元素百分比含量 ( 5.87 %，d.b. )

$$\text{L.H.V.} = \text{H.H.V.} \times (1 - \text{M.C.}) - 1 \times \text{M.C.} - 1 \times (1 - \text{M.C.}) \times \frac{18H}{200} \quad (2)$$

以本次實驗稻殼而言，其低熱值經以上式換算結果為 12561kJ/Kg

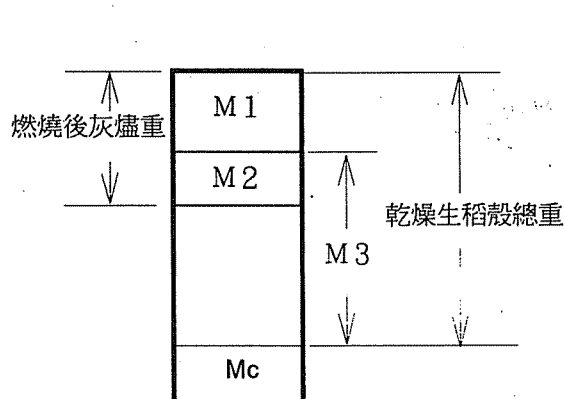
輸出則指在第二燃燒室中所測得燃燒廢氣熱量，減去大氣熱含量，代表空氣在經過燃燒室所獲得的熱量。假設在實驗的溫度範圍內，空氣比熱與溫度呈線性關係，則燃燒爐的輸出熱量 (  $Q_{out}$  ) 可由下式求出，(  $C_{p,avg}$  為第二燃燒室溫度與室溫間依線性關係求出的平均比熱 )

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{out} &= \dot{M} \times [(C_{p,T_{combustion}} \times T_{combustion}) - (C_{p,T_{room}} \times T_{room})] \\ &= \dot{M} \times C_{p,avg} \times (T_{combustion} - T_{room}) \end{aligned} \quad (3)$$

### 燃燒率計算

將排出的灰燼取出混合均勻後，取 10g 在 850 °C 的灰化爐中，做灰份測定兩小時 ( 因尚有餘溫，尚未吸濕，無須再乾燥 )，求出灰燼中的灰份含量 ( A % )，與生稻殼 ( 未經燃燒處理的乾燥稻殼 ) 做灰份測定所得的灰份含量 ( B % )，經計算後即可得到乾稻殼可燃部份的“燃燒率” ( C % )，其餘不可燃的灰份及水份不列入計算，其比例如下圖所示。





$$A\% = \frac{M1}{M1 + M2}$$

$$B\% = \frac{M1}{M1 + M3}$$

$$C\% = \frac{M3 - M2}{M3}$$

M1：稻殼中灰份重

M2：灰燼中可燃部份的重量

M3：生稻殼中可燃部份的重量

Mc：未乾燥生稻殼中含水率的重量

例如實驗前測 L 公克乾燥稻殼的灰份含量為 x %，則可燃部份重量為  $L \times (1 - x\%)$  公克，灰份重量為  $(Lx\%)$  公克；實驗後測 K 公克灰燼的灰份含量為 y %，則可燃部份重量為  $K \times (1 - y\%)$  公克，灰份重量為  $(Ky\%)$  公克，如此量  $(Ky\%)$  公克的灰份相當是  $(Ky\%) (x\%)$  公克的乾燥稻殼灰份的含量。亦即表示原有稻殼的可燃部份重量應有  $[(Ky\%) / (x\%)] \times (1 - x\%)$ ，經過燃燒後，剩下可燃部份未燃燒的重量為  $K \times (1 - y\%)$  公克，則其燃燒率 (C %) 即為

$$C\% = \frac{\frac{K \times y\%}{x\%} \times (1 - x\%) - K \times (1 - y\%)}{\frac{K \times y\%}{x\%} \times (1 - x\%)}$$

$$= \frac{\frac{y\%}{x\%} \times (1 - x\%) - (1 - y\%)}{\frac{y\%}{x\%} \times (1 - x\%)}$$
(4)

燃燒率的計算，另可以排灰量與進料量計算。在燃燒變數（風量、進料量、排料量）固定下，以燃燒穩定後的期間內，累計總進料量及排灰量，代入 5 式計算而得。

$$\text{燃燒率} = \frac{\sum \text{穩定燃燒期間的總排灰量}}{(1 - \text{含水率}) \times \sum \text{穩定燃燒期間的總進料量}}$$
(5)

## 理論空氣比

依燃燒化學的質量平衡理論，1Kg 的稻殼（灰份含量 18%，含水率 10%）完全燃燒需 4.155kg 的空氣，乘上進料速率，則得到理論燃燒所需的空氣質流率。將所測得的風速乘上截面積，得到的空氣體積流率。以此空氣體積流率再乘上在二次燃燒室溫度下的空氣密度後，即為實際所需空氣質流率。再以此值除以理論完全燃燒所需空氣，即為“理論空氣比”，其定義如下：

$$\text{理論空氣比} = \text{實際所耗空氣} / \text{理論完全燃燒所需空氣} \quad (6)$$

## 肆、結果與討論

### 一、爐體溫度變化

#### 第一次實驗

第一次實驗的點火方式採自然點火。點火初期長時間持續排出高濃度揮發性氣體（如圖 6），直到第二燃燒室保有燃燒火燄後，白煙隨即消失，在實驗過程中發現，稻殼以逆流式燃燒爐焚化處理，配合低風速燃燒，在點火過程需較長時間，約需二小時以建立爐內所需的燃燒層，點火在爐內燃燒穩定，可由爐內溫度及排氣濃度看出，約在 120 分鐘後穩定（如圖 5、6）。

在點火初期，T9 的溫度由於助燃汽油的燃燒及燃燒層的建立，溫度快速升高，隨著燃燒層的下降及生稻殼的投料，T9 與 T8 的溫度逐漸下降。在燃燒穩定後（120 分），T5、T6、T7 溫度會呈波浪狀振幅，乃排料過程落下的燃料會破壞原有的燃燒層，造成溫度的波動。主爐體的溫度以火燄出口（T7、T6）處最高，T5 處的高溫為焦炭燃燒所造成的，隨著焦炭燃燒的漸漸結束，T4、T3 的溫度亦漸漸下降。

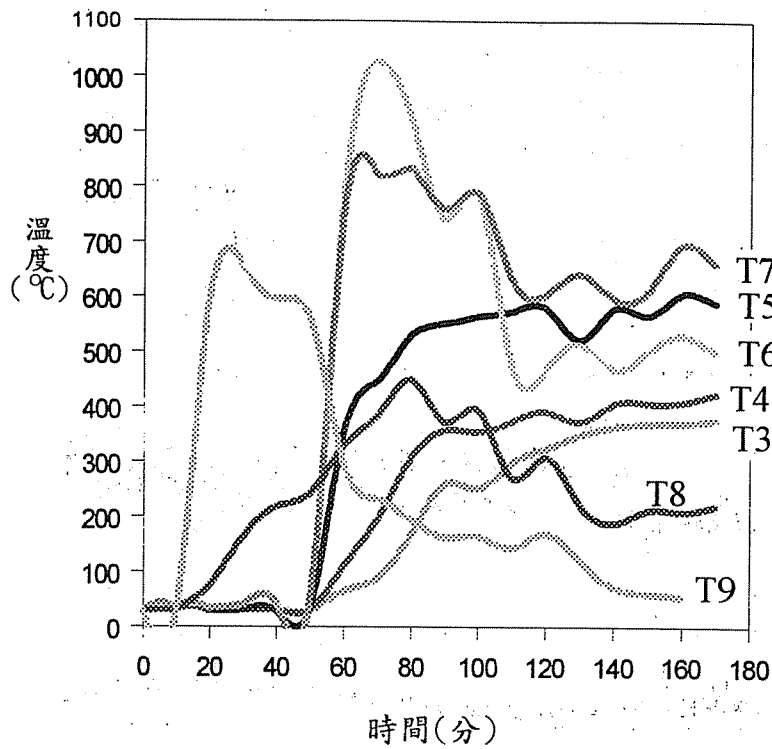


圖 5. 燃燒試驗爐內溫度變化圖

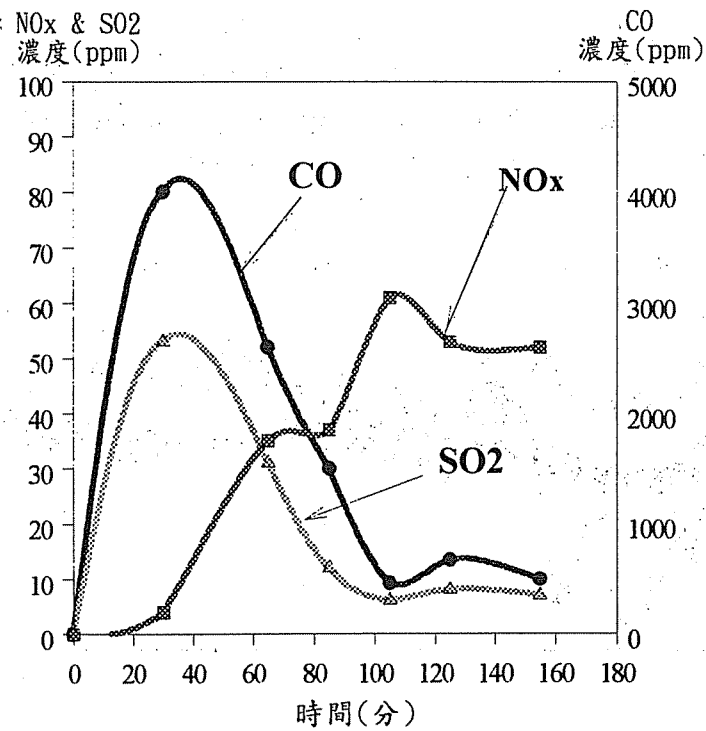


圖 6. 燃燒試驗廢氣排放變化圖

## 第二次實驗

第二次實驗的點火方式採預熱點火。因預先以瓦斯火燄將第二燃燒室加熱至 700℃，點火初期排出高濃度揮發性氣體，經瓦斯火燄加以燃燒，排氣中已無濃煙排出，且點火後在火燄出口隨即有火燄燃燒（約僅須十分鐘），顯示點火過程明顯縮短，減少點火過程對環境的污染。點火位置上方 T9 的溫度（點火後新投入的稻殼）約在四十分鐘後開始上升，此乃上層稻殼受下方燃燒層熱輻射的影響，造成回燒的現象，回燒的速度必須由排料裝置控制，使溫度層穩定，由 T10 的溫度平坦可看出，燃燒層控制在 T9 的高度下方。

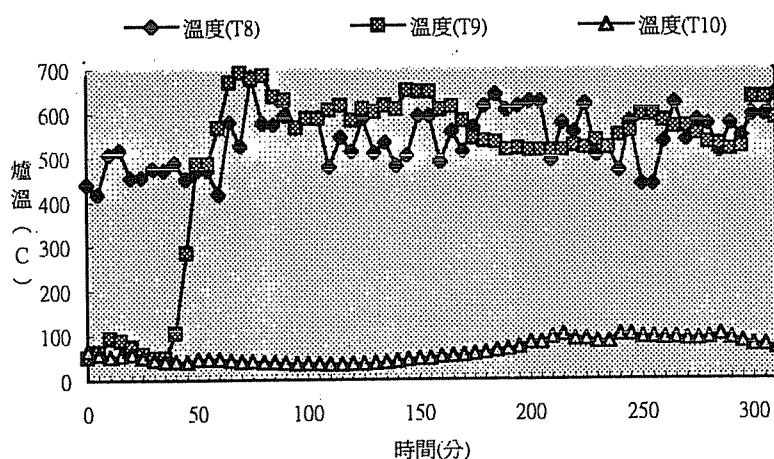


圖 7. 上段爐體溫度變化圖

在點火初期，隨著開始排料造成燃燒層的下降及生稻殼的投料，破壞了助燃汽油燃燒所建立的燃燒層，T7 的溫度逐漸下降（如圖 8）。在燃燒穩定後（80 分），T7 溫度回復到正常的燃燒層溫度，呈波浪狀振幅的原因，乃斷續排料過程落下的燃料，會破壞原有的燃燒層，新落下的燃料亦會逐漸建立新的燃燒層，所造成溫度的波動。此現象以位於火燄出口附近的 T7、T8 最為明顯。

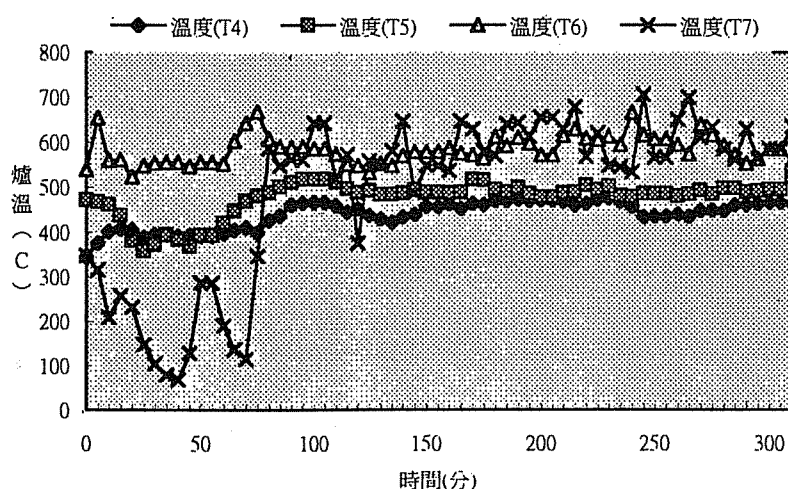


圖 8. 中段爐體溫度變化圖

落下的灰燼使的 T3 的溫度上升（如圖 9），但隨著爐體的熱損失，T2、T1 的溫度繼續下降，此時因爐體的低溫，尚無法使得灰燼進行燜燒，但爐體的溫度亦漸漸與損失達成熱平衡，約在 100 分鐘後，稻殼開始燜燒，隨著燜燒的進行，T2、T1 的溫度逐漸上升。說明了稻殼燜燒的特性與爐體溫度有關，若要燜燒的進行，須建立灰燼灰化區足夠的爐體溫度，並加長下段爐體的長度，以確保稻殼灰化完全。

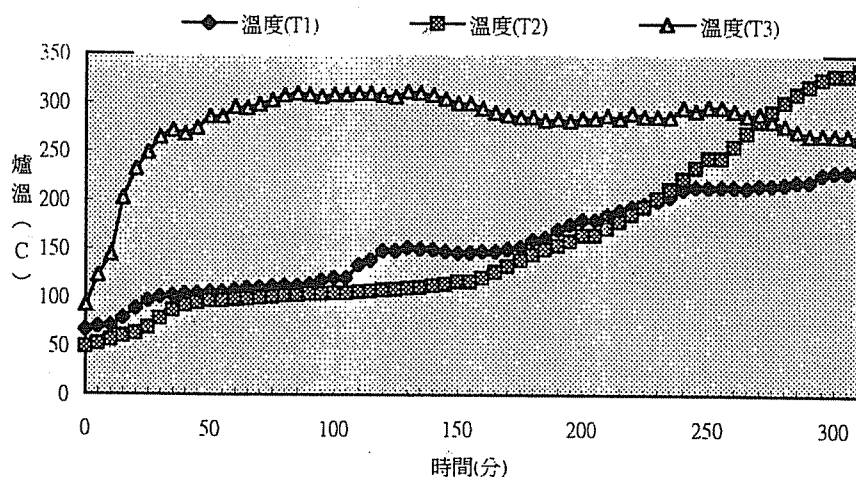


圖 9. 下段爐體溫度變化圖

在點火初期，二次燃燒室的溫度，乃延續點火前瓦斯火焰所營造的高溫（700 °C），隨著點火程序結束，關閉瓦斯火燄後，溫度漸漸下降，五十分鐘後約降至 550 °C 時，稻殼燃燒的熱量與二次燃燒室的熱損失穩定，溫度保持穩定。

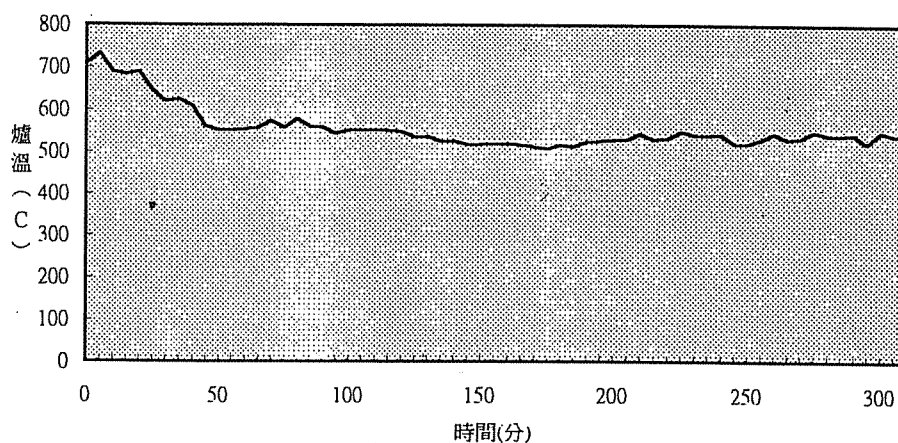


圖 10. 二次燃燒室溫度變化圖

由實驗方法所定義的各項變數，經實驗測得及計算整理成表 1，可看出本爐體的操作容量很小，操作範圍約在 0.5Kg/min 左右，屬於極小型爐。理論空氣比亦甚低，一般焚化爐的理論空氣比約在 350 % 以上，而本爐體操作的理論空氣比甚低，

適合稻殼的燜燒特性，低理論空氣比的燃燒，所排出的二氧化碳量可大量減少，降低對大氣污染的程度。

在燃燒穩定期間，所排出的硫氧化物、氮氧化物濃度，皆在 82 年 7 月 1 日通過的環保署固定物排放標準以內，（ 400Kg / 小時處理量以下，CO 標準 220ppm，SO<sub>x</sub> 標準 180ppm，NO<sub>x</sub> 標準 180ppm ），所以有毒氣體污染問題較輕微，唯獨一氧化碳濃度在低風量燃燒模式下仍偏高，此為低風量燃燒時因空氣量較低，較易發生的情形，若要降低一氧化碳排出濃度，可增加二次空氣量並增加二次燃燒室內氣流擾動，或增加主爐體爐壁的空氣進氣管數目。

表 1 燃燒試驗結果整理

	第一次實驗	第二次實驗
室溫	30 °C	30 °C
進料量 (註 1 )	0.5 Kg/min	0.311 Kg/min
風量(註 2)	2.7 Kg/min	3.04498 Kg/min
理論空氣比	130%	240
二次燃燒室溫度	約為 700 °C (註 3)	約為 530 °C (註 4)
淨低熱值燃燒 總效率(註 5)	$[2.7 \times 1.07 \times (700 - 30)] / [0.5 \times 12561]$ =30.75%	$[3.0 \times 1.05 \times (530 - 30)] / [0.311 \times 12561]$ =40.9%
燃燒率 (註 6)	約為 52%(註 7)	67%(註 7)
燃燒率	(未測)	64%(註 8)
CO 濃度(註 9)	500 ppm	450 ppm
SO <sub>2</sub> 濃度	7 ppm	4 ppm
NO <sub>x</sub> 濃度	52 ppm	42 ppm

註 1、稻殼高熱值(H.H.V.)：14929KJ/Kg，低熱值(L.H.V.)：12561 KJ/Kg。

註 2、每公斤稻殼所需理論燃燒空氣量為 4.155Kg。

註 3、30 °C 至 700 °C 間的平均空氣比熱約為 1.07KJ/Kg °C。

註 4、30 °C 至 530 °C 間的平均空氣比熱約為 1.05KJ/Kg °C。

註 5、計算爐體的淨低熱值燃燒總效率，所採用的輸出熱量，是以二次燃燒室廢氣溫度為基準，不考慮除塵室的熱損失。

註 6、乾稻殼可燃部份的燃燒率，以稻殼灰份含量為 18%推算出。

註 7、以(4)式計算出。

註 8、以(5)式計算出。

註 9、廢氣的測量於燃燒變數(風量、進料量、排料量)固定下，燃燒穩定後(溫度及氣濃度穩定時)期間內進行。

燃燒率不高，乃表示仍有大量可燃物質未燃燒，檢視排出灰燼仍有部份稻殼未燃燒。此乃主爐體的火焰出口僅有一側，稻殼通過時，靠近火燄出口的區域因受熱分解而燃燒，然遠離火燄出口側的稻殼無法燃燒，在下降的過程又易破壞原已建立的燃燒層，惡性循環下，使爐溫隨著高度下降而持續降低，對於稻殼的燜燒環境損害極大。若能將主爐體稍作修改，在四周爐壁皆有火燄出口，使上述缺點改善，即可使燃燒率提高，並發揮稻殼的燜燒特性，使灰燼灰化程度更完全，且經過螺旋輸送器的擠壓輸送，所排出的灰燼皆可呈粉屑狀，螺旋輸送器減積作用才能發揮。

以第二次試驗所得的熱效率較高，可看出並非進料量大、廢氣溫度高，熱效率就高。以稻殼乾燥的觀點，溫度不須太高、通風量多的乾燥熱風最適合在稻米加工中心採用，本爐體即能符合此一需求。若要提高熱效率，除了在改良上述爐體設計外，在爐體外殼加裝一隔熱空氣層，使空氣通過爐體先行加溫後，再進入燃燒層或燃燒室，將可提高熱效率，並可降低爐體外側的溫度，減少操作的意外。

因爐內低風速燃燒，所產生的粉塵可在除塵室內沈降，在無任何空氣污染防治設備的情形下，排出的灰份粉塵可較其他型式燃燒爐減少，因此可知逆流式燃燒爐極適合處理不易燃燒的稻殼。若能改進部份爐體的進氣設計，使一氧化碳濃度降至標準以下，不但節省空氣污染防治設備的製作及操作成本，設廠空間也可以縮小，且本實驗爐體設計與製作，採模組式製作設計，不但可使燃燒爐的製作工廠化，降低生產成本，組裝過程簡單且縮短現場工作時間，節省工時的成本。在較為弱勢的農業中，本爐體將是非常適合處理大部分的農業廢棄物。

本爐體屬實驗性質，若欲將之實驗使用，須有以下幾點改進

- 一、將爐體的火燄出口增加為每側皆有出口（如圖 11），以避免部份稻殼因遠離火焰出口，無法高溫燃燒，並以管道將火燄及熱氣導引至原有的二次燃燒室，將可提高燃燒率。
- 二、需將爐體加上隔熱外殼，不但可減少高熱傷害，且可將流經爐體的空氣加熱後導入進氣口，不但降低熱散失，更可提高爐體熱效率。
- 三、須有一稻殼暫存倉，以儲存稻殼，配合螺旋輸送器自動從爐體上方進料。並配合螺旋輸送器，將排出的灰燼送至集灰槽，以避免灰燼飛揚造成環境污染。
- 四、在點火初期，灰燼冷卻區的稻殼，因位於爐體底層無法燃燒，在排灰出口與進料口間，須有一組輸送設備，將初期排出的未燃稻殼送回爐體重新處理。
- 五、因稻殼灰燼有燜燒的特性，灰燼冷卻區的爐體長度需加長，以利於繼續燜燒更完全，並配合爐壁的進氣口通氣冷卻，以確保排出的灰燼溫度能降低至安全溫度，以延長螺旋輸送器的壽命。若因空間的高度限制，可將排出的灰燼以封閉的輸送設備，送至另一灰化桶進行燜燒灰化。
- 六、需加裝一移動式煙囪，在停電時可自動切換由煙囪排氣，以避免停電時，爐體因風機停止運轉，造成爐溫上升及煙氣外洩的危險。
- 七、在爐體操作部份，需針對燃燒層的控制多為研究探討，找出最佳的燃燒模式（如燃料空氣比、進料量）及燃燒層位置、高度，以更降低廢氣濃度，並可提高爐體燃燒效率。
- 八、配合自動控制設備，將最佳的燃燒模式，以微電腦控制螺旋輸送器速度及風機轉速，以便融合在穀物加工自動化過程。

## 伍、誌 謝

本研究在國科會兩年度（計畫編號 NCS84-2321-B002-012 及 NSC85-2321-B002-009）的經費支持下，並承蒙本校機械科五年五班（八十五年畢）王靖韋、李銘忠、簡祥閔、楊富強等四位同學，鼎力協助實驗，方能順利完成，在此一併誌謝。



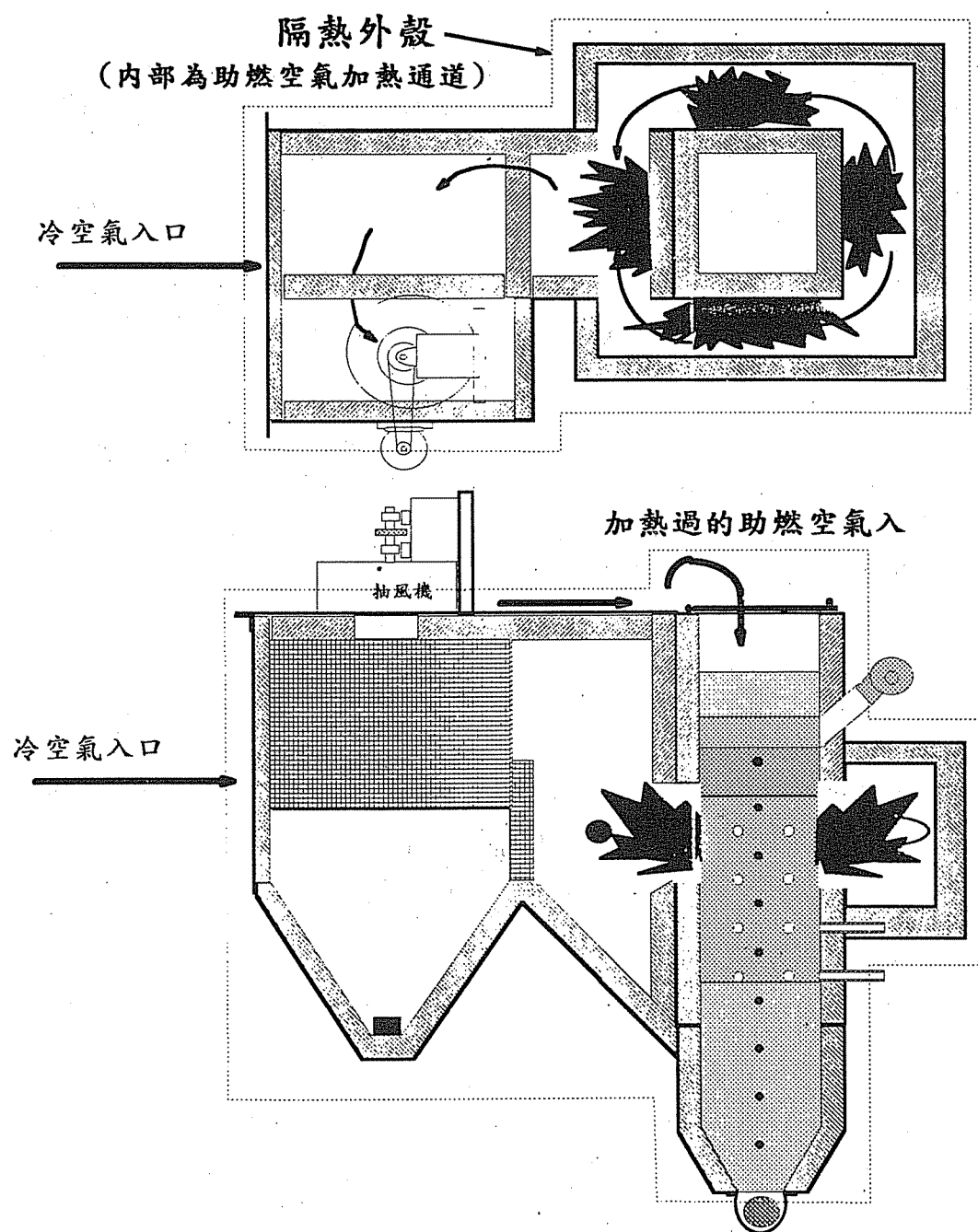


圖 11. 爐體建議改良示意圖

## 陸、參考文獻

1. 王振諧、王嘉業、詹益亮。1993。稻殼焚化與熱能回收。能源研究發展基金研究報告 ERL-06-3-82-0211。工業技術研究院能源與資源研究所。
2. 王岱淇。1993。玉米穗軸與稻殼在生質燃燒爐之燃燒分析。碩士論士。台北：台灣大學農業機械研究所。
3. 王岱淇、馮丁樹。1993。農產品廢棄物焚化物性之研究。農業機械學刊 2(4):1 - 11。
4. 王岱淇。1994。稻殼燃燒模式之基礎試驗。四海學報。第九期：P65-83。
5. 王岱淇。1996。模組式逆流燃燒爐之設計與製作及其性能分析。四海學報。第十期：P166-190。
6. 吳柏青、張谷川和陳貽倫。1980。稻殼燃燒能源利用之研究。專題研究報告。台北：台灣大學農業機械工程學系。
7. 吳中興、馮丁樹、游祥芳、劉俊吉、吳彥斌。1993。燃燒爐在種苗場種源生產線之整合運作。1993 廢棄物焚化處理技術與問題研討會論文集，P17-21。
8. 吳中興。1995。農業用焚化爐之現況探討與改進。行政院環境保護署專題研究報告。
9. 吳中興、林弘斌、吳信忠。1995。稻殼焚化處理之研究。小型一般廢棄物焚化爐規畫設計及操作管理研討會。台北國際會議中心。1995/6/26 ~ 27。
10. 林利國。1989。稻殼灰性質與在混凝土材料上之利用。碩士論文。台北：國立台灣工業技術學院工程技術研究所營建工程技術組。
11. 陳貽倫、周楚洋。1982。稻殼烘乾用稻殼燃燒爐(一)。農業工程學報 28(1):73-79。
12. 馮丁樹、王岱淇。1994。起爐基料之選擇及高濕玉米穗軸對燃燒爐性能之影響。農業工程學報 40(1):33-43。
13. 蔡慶隆、陳貽倫。1984。稻殼燃燒熱能利用之研究(二)。農業工程學報。30(4):107-113。
14. 詹益亮、王振諧、王嘉業、康展興、崔華祥。1993。廢棄物能源利用技術開發(二) 143。能源研究發展基金研究報告編號 ERL-06-3-82-0143。工業技術研究院能源與資源研究所。
15. Niessen. W. R.。1978。Combustion and Incineration Process。P13-35。New York:Marcel Dekker, In.
16. Richard C. Corey。1969。Principles and Practices of Incineration。P106-162 & P254-289。New York:John Wiley & Sons, Inc.
17. Sukup, C. E. and C. J. Bern. 1982. Performance of a biomass furnace for grain drying. ASAE Paper No. 82-3524. Chicago, IL:ASAE.
18. Yamashita, R. and N. Hao. 1978. Utilization and energy conversion furnaces of rice husk. AMA 9(4):67-72。

# DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS ON A COUNTER-FLOW BURNER FOR RICE HULLS

Day-Chi Wang

## ABSTRACT

In various methods of processing wastes, incineration processing is the best method in Taiwan because of its most effective, mass processing, rapid and stable, highest volume reducing. But the air pollution during processing is very hard to control. We should research for another type of combustion with low air pollution rather than for method of air pollution controlling.

Rice hulls usually can not be burned smoothly in the traditional fixed-bed incinerator as a result of difficulties on ash discharging, dust collecting and slow rate of burning during the process. Recently, the vortex-typed burner was used instead to burn rice hulls, but the air and dust pollution problems still leave unsolved. To meet the criteria of environmental regulations, suitable controls and devices of the biomass incinerator need further improved so that both the construction and operation costs can be chopped down to a lower level.

Based on the above conditions, the study, last year (NCS84-2321-B002-012), was focused on the design and manufacturing of a counter-flow burner for rice hulls. Performance tests on this pilot plant were also underway. We got some conclusions. This year (NSC85-2321-B002-009), the study was focused on refining the burner based on the shortcoming we found last year. The length of burner in ash cooling area was lengthened. The combustion ratio of rice hulls was increased from 52% to 67%. The efficiency of combustion was promoted from 31% to 41%. If more corrections about furnace were made, the combustion ration of rice hulls and the efficiency of combustion will be promoted obviously. With some feeding and ash discharging devices, this burner can add to the rice processing center to reduce the cost of production and promote the ability of competition.

Keywords: Rice hulls, Burner, counterflow Combustion.

