

快速火爐降噪特性之研究

Research on Characteristics of Reducing Noise for the Commercial Active Air Inlet Quick Burner

林桂儀¹、潘儀聰¹、張振平¹、丁振卿²、張宏銘³、盧士一⁴

摘要

主動進氣式快速火爐能於短時間內提供較高的熱值，有利於快炒類的烹飪型態，是目前國內熱炒性質等餐飲業普遍使用的火爐型式，但其設計會使燃燒火焰過度集中，產生將近約 100dB(A)之燃燒爆炸噪音，容易引起長時間於廚房內工作者的聽力損失。另外，空氣與瓦斯噴出後的混合度不佳導致燃燒不完全，進而增加燃氣的浪費。本研究利用分散焰片安裝於爐頭上方，使爐頭內部的混合燃氣穿過焰片上之焰孔並於焰孔中產生小束燃燒。聲音的疊加是對數的運算，意指在一個封閉的空間中所有的噪音值會大約等於最大的噪音值，藉由焰片上的焰孔使原本的大燃燒爆炸分散成小束之燃燒爆炸，能使噪音降低；而熱功率依循線性疊加原理，利用分散之小束燃燒爆炸，更可提高燃燒熱功率。本研究發現加裝焰片能有效的降低噪音值達 25 至 30 分貝(dB(A))，熱功率提升約 2 倍，且該裝置僅需加裝於爐頭上，不需要針對目前市售的快速火爐作形式上的更動，有效降低其安裝的成本及提高其使用的簡易性。

關鍵詞：分散式燃燒、燃燒噪音、燃燒功率

Abstract

The commercial active air inlet quick burner has extremely large combustion power, but it also generates huge combustion noise. A new dispersing combustion assembly to reduce the noise of active air inlet quick burner was developed, which was designed by following the linear equation for addition of combustion energy and the logarithmic equation for the addition of noise. This assembly is composed of a porous flame plate, a diversion device and a burner core. As the porous flame plate covers on and the diversion device introduces into the quick burner, a chamber is formed that makes the gas and fresh air mix more uniform, and then the mixed gas will be separated through the holes of the porous flame plate and yielded numerous fasciola combustions, that can not only reduce the combustion noise up to 25-30 dB(A), but also increase the combustion efficiency up to 123%. The other advantage is that this assembly could be simply equipped with the commercial quick burner and unnecessary to modify its original structure that makes the cost down.

Keywords: dispersing combustion, combustion noise, combustion power.

¹勞委會勞工安全衛生研究所副研究員

²台北科技大學機械工程學系副教授

³台北科技大學機械工程學系碩士

⁴中山醫學大學職業安全衛生系副教授

壹、前言

人類處在聲音的環境中，透過聲音提供我們熟悉環境、傳遞訊息，也可以讓我們互相交流思想。但是，當聲音的大小或組成超過一般人心理及生理的忍耐限度後，就開始會使人感到煩躁不安，影響人們的工作和健康，這樣的聲音就可以稱之為噪音。從物理的觀點來看，聲音屬於機械波，即聲波需要透過介質才可以傳遞，而噪音是由許多不同頻率和強度的聲波，無規則且雜亂無章組合而成 [1-5]。在所有的噪音中，職場上的噪音對人體的傷害是相當嚴重也不容易避免的，勞工長期暴露在高強度的噪音環境中，不但可能產生心煩、失眠、疲倦等症狀，還會造成噪音性聽力損失(noise induced hearing loss, NIHL) [6]，其和一般職業傷害之不同在於它是漸進的、無痛的，剛開始並無直接、立即的危害，不會對語言溝通造成影響，但隨著時間的增加及年資的累積，即可能產生不可恢復性的聽力損失[7]。

本文所要討論的主要是中式餐飲業廚房常用的主動式快速火爐，為因應餐飲業的快速炒需求，廚房中通常會選用可以在短時間內提供高燃燒熱值的主動進氣式快速火爐來炒菜，以縮短製作每道菜所需要的時間。該爐之設計方式是讓空氣與瓦斯於爐頭處進行混合燃燒，爐頭設計有數個空氣孔與瓦斯孔，空氣與瓦斯分別於爐頭內噴出並混合形成燃氣，如此一來則造成劇烈的氣體密度變化，此即為空氣中噪音的主要來源。爐頭如此的設計會有兩個問題產生，第一，燃燒火焰集中成一團，即產生超過 100dB(A)的燃燒爆炸噪音；第二，空氣與瓦斯噴出後再混合，使得燃氣混合度不佳，造成燃燒不完全。相關文獻指出，快速火爐的噪音貢獻度主要有兩個部分，一是通過管流與噴嘴的氣流，另一是燃燒爆炸產生的聲音，在比較兩者之貢獻度後，得到燃燒爆炸為主要的噪音來源 [8-12]。在勞工安全衛生相關法令規定，如果作業場所噪音超過 90dB(A)或勞工暴露劑量超過 100%時，事業單位應運用噪音改善工程控制等方法，減少作業勞工噪音暴露，但是針對如快速火爐這樣的設備，目前對其工程控制的方法文獻上並無太多的著墨，因此降低其燃燒爆炸所產生的噪音是本研究主要的工作內容。

貳、實驗設計與方法

2.1 快速火爐燃燒熱值量測裝置

本實驗所架設之燃燒熱值量測裝置以鐵材製作高度 350mm、外徑 405mm、厚度 5mm 的空心圓桶，底部內凹高度 140mm、直徑 350mm 的圓形槽當作內桶，桶內裝水 20 公升，火爐頭則放進內桶進行燃燒，桶內水中以五熱電偶量測五個不同點之水溫度求其平均值，其中一溫度量測點置於桶內壁上，另外，為求水之溫度均勻，加裝攪拌器加速水對流，外桶壁包覆一層絕熱棉以減少熱量散失。圖 1 為燃燒熱值量測裝置之示意圖。

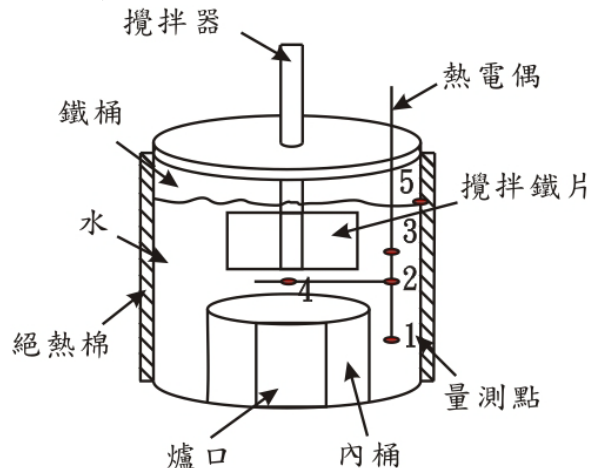


圖 1 燃燒熱值量測裝置示意圖

本研究使用的快速火爐為台灣製之主動進氣式快速火爐，將其接 3,000rpm 之鼓風機通過軟管與瓦斯於火爐內混合燃燒，實驗將瓦斯流量以流量計調整至最大 9L/min，再調節空氣至全開之空氣量狀態下進行燃燒，圖 2 為快速火爐熱值量測實驗架設實體圖。

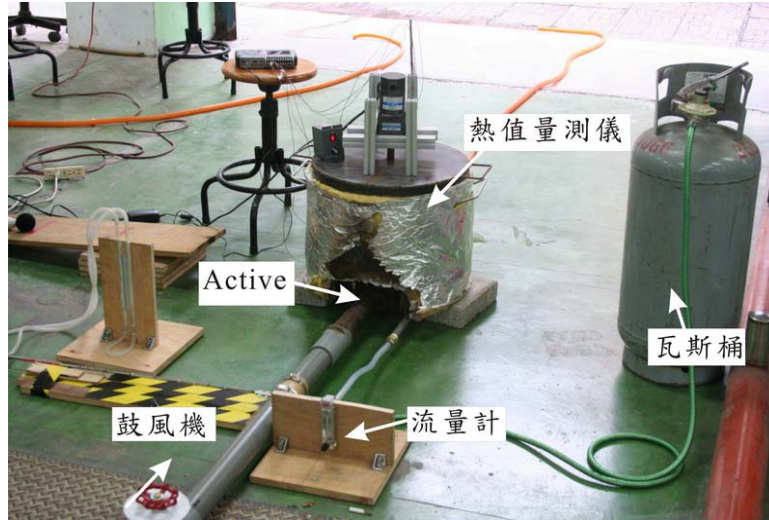


圖 2 快速火爐熱值量測實驗架設實體圖

2.2 快速火爐分散燃燒裝置設計

本研究針對不同的幾何條件來設計分散燃燒裝置，燃燒焰片的設計如圖 3 所示，在直徑 105mm~74mm 範圍內(紅色箭頭處)，以原始火爐頭之開口面積 $1,089\text{mm}^2$ 為基準，分別設計開口直徑 2mm、3mm、4mm，開孔面積 $1,089\text{mm}^2 \pm 100\text{mm}^2$ 、 $1,089\text{mm}^2 \pm 200\text{mm}^2$ 及管流長度 4.5、10、15、20mm 等不同的焰片，分別探討這些因素對於分散燃燒裝置在噪音及熱值上的影響。其中考量成本關係，以管流長度模擬焰片所需厚度。

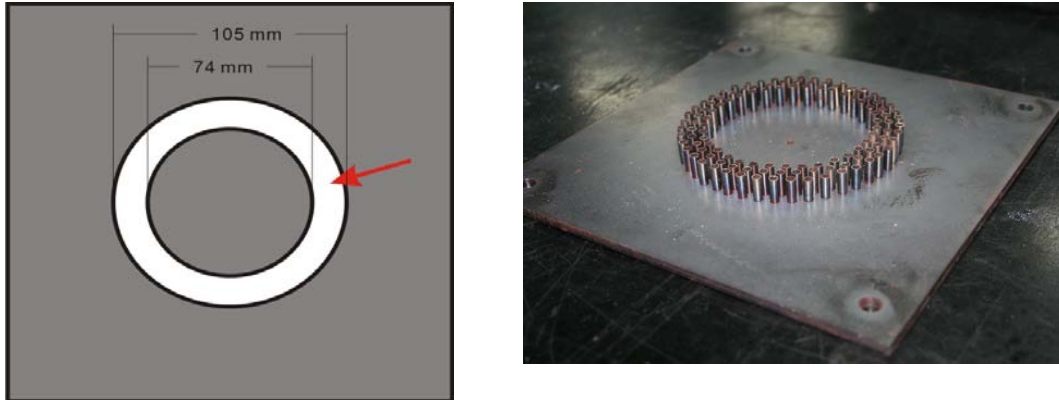


圖 3 快速火爐分散燃燒焰片設計圖

參、結果與討論

3.1 等瓦斯流量不同分散燃燒裝置之熱值探討

在試驗的過程中，首先考慮在相同瓦斯流量情況下(9L/min)，探討應用不同之焰片開口孔徑、開口面積、管流長度等因素對於提升快速火爐燃燒熱功率的效果。圖 4 為焰片管流長度 4.5mm、焰片開口面積 $1,089\text{mm}^2$ ，當開口孔徑分別為 2mm、3mm 以及 4mm 時其燃燒產生的熱功率變化。由圖可以明顯發現，當原始的快速火爐加上焰片之後，燃燒的熱功率會隨著焰片開口孔徑加大而有效的提升，其中以 4mm 時有最佳的結果，其值為 12521.8W，較原始快速火爐約增加了 2 倍。

圖 5 為焰片開口直徑 2mm 時，不同開口面積對於燃燒熱值的影響，其中當開口面積為 889mm^2 時，其燃燒熱功率相較於開口面積 $1,089\text{mm}^2$ 提升了將近 6,000W，其原因

為小的出口面積會使得瓦斯與新鮮空氣混合的燃氣氣流不易流出去，造成燃氣的混合性較好，因而提高了其燃燒熱值，相對的較大的出口面積則燃燒熱值較低。另外，與原始的快速火爐相比，加裝焰片之後其燃燒熱功率至少都提升了 2 倍以上，代表燃燒焰片確實已達到提升燃氣混合均勻性的效果。

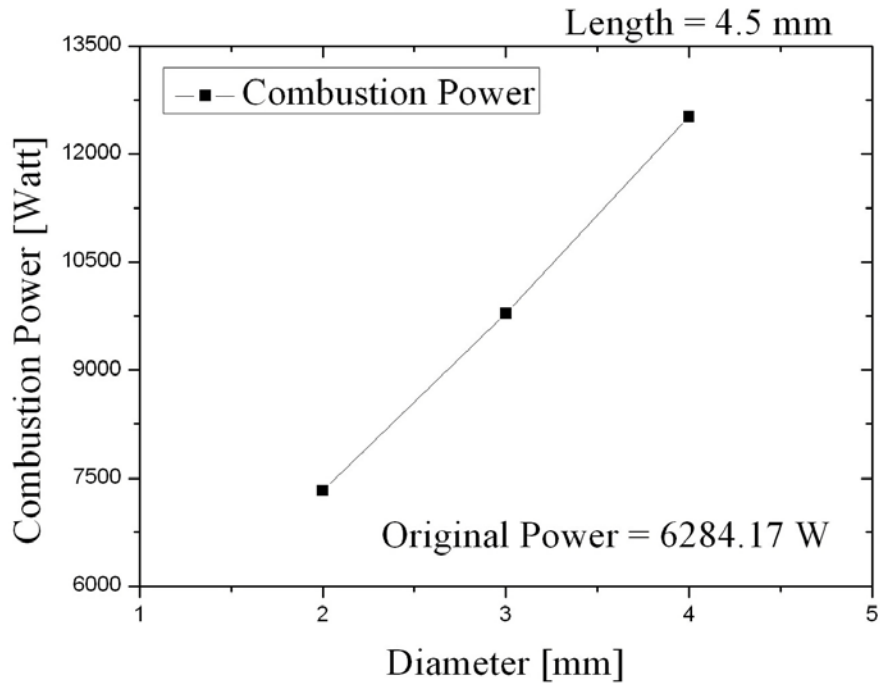


圖 4 焰片開口孔徑對於燃燒熱值的影響

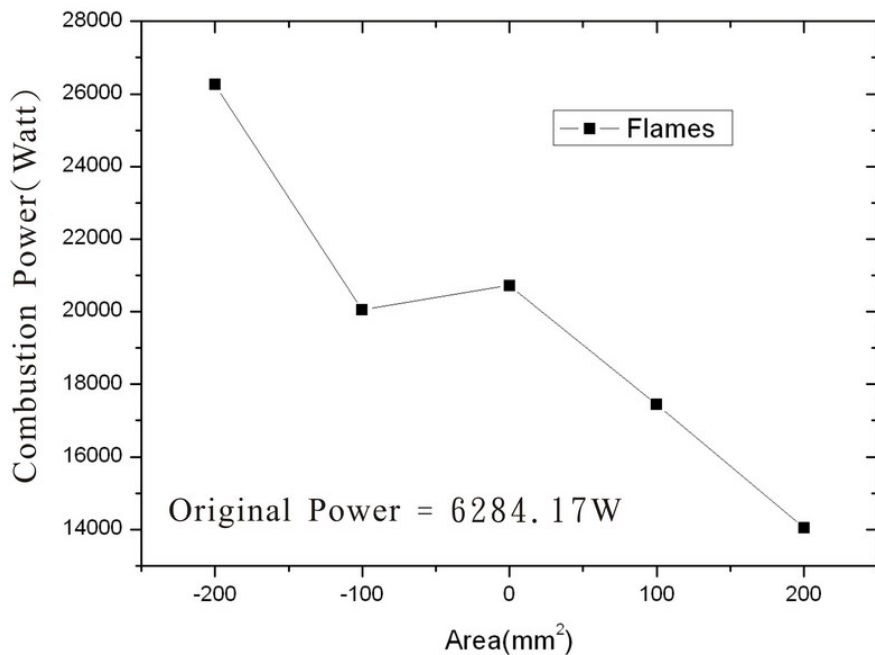


圖 5 焰片開口面積對於燃燒熱值的影響

圖 6 為焰片開口孔徑 3.4mm、開口面積 1,089mm² 時，四種不同管流長度所產生的燃燒熱功率。由圖可知，隨著管流長度的增長，燃燒熱功率會隨之降低，但管流長度對於熱功率的影響較小。

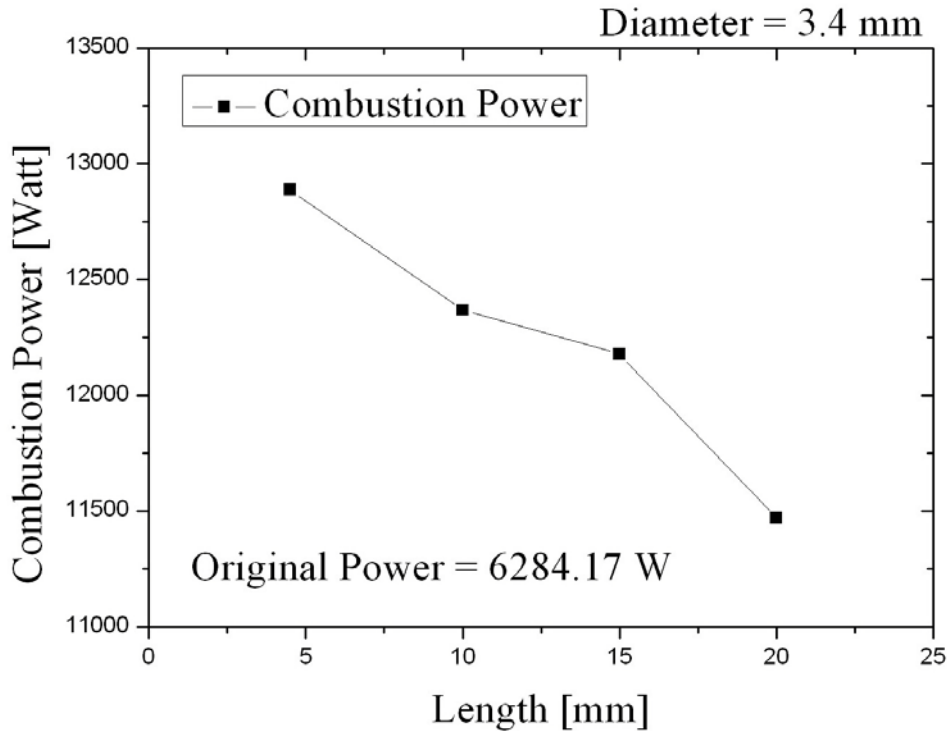


圖 6 焰片管流長度對於燃燒熱值的影響

3.2 等燃燒功率不同分散燃燒裝置之噪音探討

此項試驗的流程，針對使用不同的燃燒焰片條件，先控制瓦斯的流量使之燃燒熱值與原始快速火爐相同，再針對噪音值進行比較。圖 7 為探討焰片開口面積對於燃燒噪音的影響，橫軸為噪音計距離爐頭的距離，縱軸為量測的噪音聲壓值。圖中顯示，當使用分散燃燒焰片置於爐頭上時，其降低噪音的效果立即呈現，另外隨著焰片的總開口面積增大，降低噪音的效果就越明顯，當開口面積為 $1,289 \text{ mm}^2$ 時，與未加裝焰片的爐頭比較已經可以達到降低噪音達 25 分貝之效果，顯示燃燒焰片的總開口面積為影響燃燒噪音值的主要原因之一。

圖 8 為使用不同開口直徑的焰片時量測燃燒噪音的結果。由圖中可知，使用燃燒焰片後有相當好的噪音改善效果，整體都有比原始快速火爐降低約 10dB 以上，另外當焰片開口直徑為 2mm 時有最低的燃燒噪音，降低噪音值達到約 25dB。圖 9 為不同焰片管流長度時噪音值之量測結果。由圖可知，當焰片管流長度為 15mm 時已經有最低的燃燒噪音，其降低噪音的效果達到約 25dB。

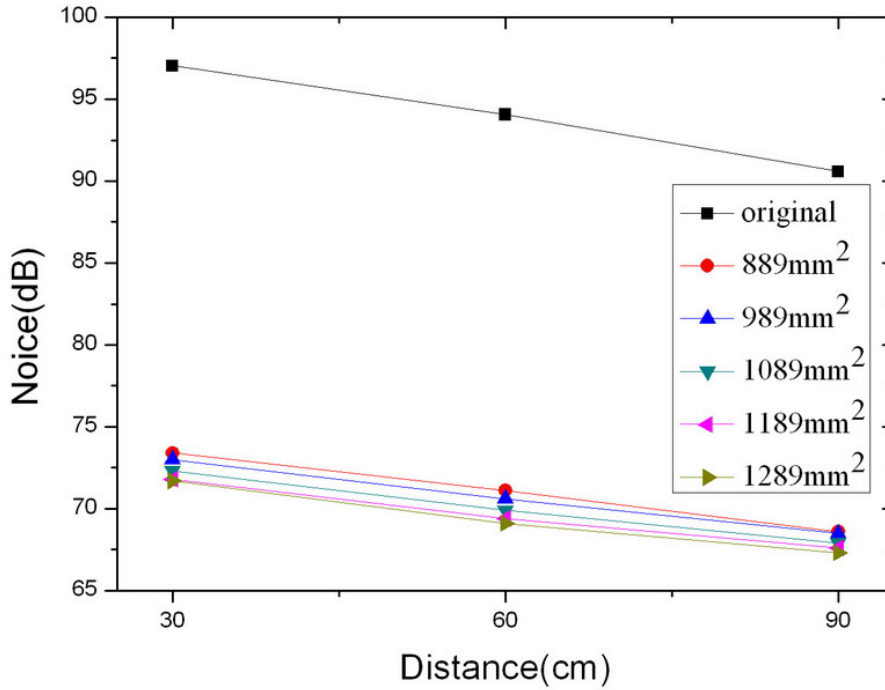


圖 7 焰片開口面積對於燃燒噪音的影響

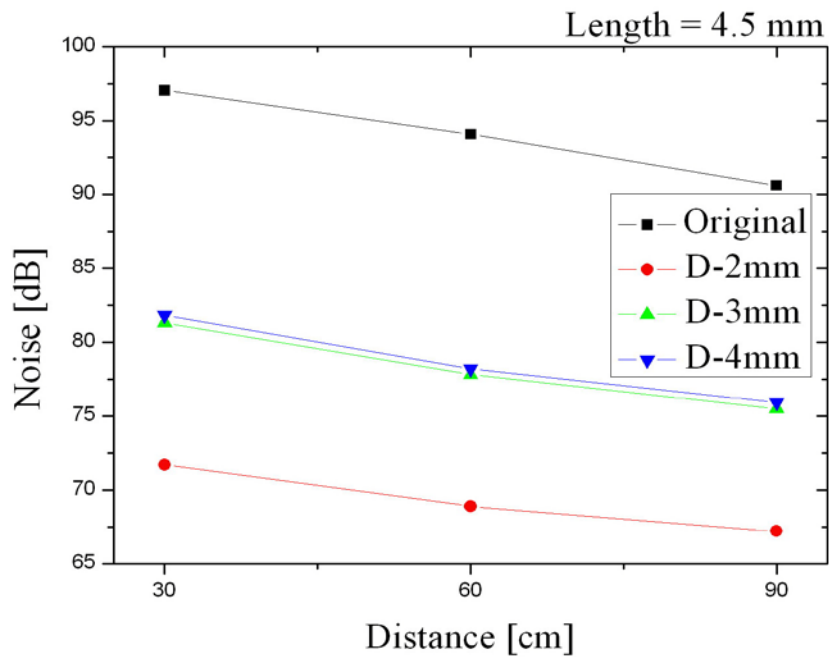


圖 8 不同焰片開口直徑與原火爐在相同熱功率條件下之噪音比較

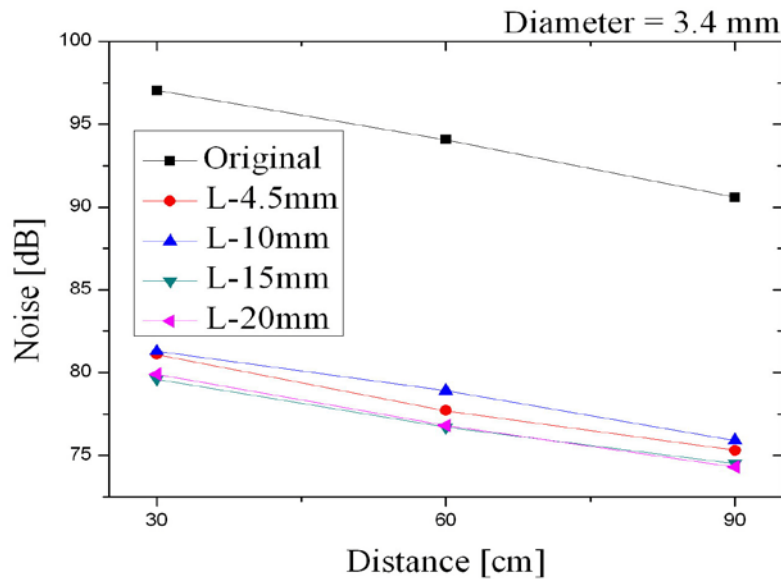


圖 9 不同焰片管流長度與原火爐頭在相同熱功率底下之噪音比較

3.3 新型分散式燃燒裝置的設計

綜合 3.1 及 3.2 節的試驗結果，提出以燃燒焰片開口孔徑 2mm、管流長度 15mm、開口面積 $1,289\text{mm}^2$ 之條件來設計出能有效降低燃燒噪音並同時提高燃燒熱功率之分散燃燒裝置，該成品如圖 10 所示，其燃燒焰片設計成圓板狀，以三點固定的方式固定於原始爐頭上方，焰片開口成環狀排列方式，整體的設計目的主要是讓爐頭中心的瓦斯與空氣混合的燃氣由紊流(turbulence)改變成為層流(laminar flow)，並依照開口排列方式將燃氣導向多個燃燒孔，將原先集中在爐頭中間的一個大的燃燒爆炸分散成多個小的燃燒爆炸，減少空氣密度的劇烈變化而達到降低噪音的效果；此外，並利用實驗設計條件中管流長度來模擬焰片厚度，使燃氣在通過管流時可以增加其混合的效率，其燃燒情形可由圖 11 所見，在相同的瓦斯流量條件下，燃燒火焰由原先的火紅色變成藍色，顯示燃氣的燃燒更加完全，同時達到節省能源的效果。另外，本裝置的設計由於採用三點固定的方式固定於原始火爐頭上方，故不需要針對原來的快速火爐爐頭做任何結構上的變動，可以降低使用成本及增加其使用的便利性。

表 1 為在原始的快速火爐上使用新型分散式燃燒裝置之後，其整體在降低噪音與提高燃燒熱值的表現，顯示使用該裝置後燃燒熱功率提升約 2 倍，若在不改變廚師的工作型態下，可以降低瓦斯流量使其燃燒功率與原始快速火爐相同，如此一來不僅節省能源，亦可以透過減少瓦斯流量來降低其管流噪音，使整體噪音比原始快速火爐降低近 30dB，明顯的減少廚房工作者的噪音暴露劑量，有效達到保護勞工聽力的效果。

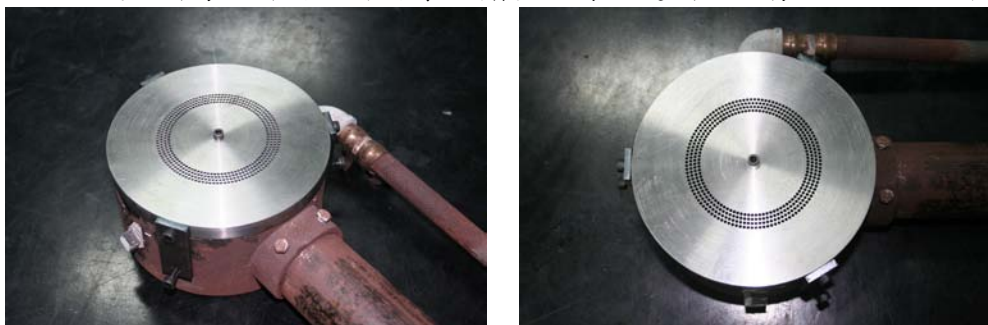


圖 10 新型分散式燃燒裝置實體圖

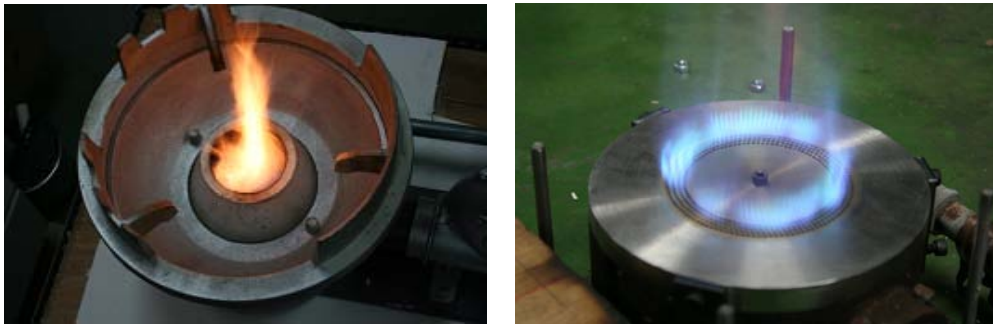


圖 11 快速火爐使用新型燃燒裝置前、後之火焰燃燒情形

表 1 燃燒熱功率與噪音比較

	熱功率[W]	噪音[dB]
原始火爐頭	6284.2	97.1
新型火爐頭	13391.4	67.6

肆、結論

1. 在原來爐頭上加裝分散焰片裝置，使空氣與瓦斯先在爐頭與焰片間的腔體內混合，並增加燃氣在焰片的管流中混合的機會，增加其燃氣的均勻性，因而可以提高燃燒熱值與效率。
2. 本研究利用將紊流改變為層流的多孔過濾方法，將分散焰片裝置加裝在快速火爐上面，減緩燃氣的劇烈密度變化，有效達到快速火爐的減噪效果。
3. 由於燃燒熱值可透過線性疊加，而噪音不遵守線性疊加原理，所以本研究將原本的一個大燃燒爆炸，使用分散焰片裝置將其分散成數個小燃燒爆炸，如此不僅不會影響燃燒熱值，更可以有效達到減噪的效果。
4. 分散焰片裝置的設計不需要針對原來的快速火爐爐頭做任何結構上的變動，可以降低使用成本及增加其使用的便利性。

伍、參考文獻

- [1] E. Wim van, Introduction to random signals and noise, John Wiley & Sons, ISBN=0-4700-2411-9, Edition=2, 1986.
- [2] J. Li, and M. Akagiand, A noise reduction system based on hybrid noise estimation technique and post-filtering in arbitrary noise environments, Journal of Sound and Vibration,p111-126, 2006.
- [3] L. Feng, Acoustic Properties of Fluid-Field Elastic Pipes, Journal of Sound and Vibration,p:339-413, 1994.
- [4] D. Halliday and R. Resnick, Fundamentals of Physics, John Wiley & Sons, 2005.
- [5] J.H.R.Maes,G.de.Groot,Effects of noise on the performance of rats in an operant discrimination task, Behavioural Processes 61 p57-68, Netherlands,2003.
- [6] Mao CC, Traffic noise problem. Taiwan Economic Research Monthly 1994; 17: 115-8.
- [7] Wang CN, Wu TY. Environment noise pollution-aural invisibility killer. The Journal of Occupational Medicine 2001; 8: 11-20.
- [8] R. H. Chen, S. B. Saadani, and L. P. Chew, Effect of nozzle size on screech noise elimination from swirling under expanded jets, Journal of Sound and Vibration, 252(1):178-189, 2002.
- [9] Y. H. Kim and D. B. Yoon, An experimental study of the acoustic characteristics of perforated pipe in terms of wavenumber and porosity, Journal of Sound and Vibration, 183(1):115-127, 1995.
- [10] G. Sams and J. Jordan, Designing Low Noise Burners Inside Firetubes, Applied Acoustics, 51(2):121-139, 1997.
- [11] D. J. Tritton, Physical Fluid Dynamics, Oxford University Press, ISBN=0-19-854489-8, 2th Edition, 1989.
- [12] 鍾佑政, 天然氣瓦斯爐燃燒器良好燃燒範圍與熱效率之研究, 國立中興大學機械工程研究所碩士論文, 1996。