

餐廚油煙臭味之控制技術開發

鄭鑫漢* 謝祝欽** 翁文彬*

*國立雲林科技大學工程科技研究所

**國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系

摘要

台灣餐飲業油煙廢氣防制設備雖部分強調高效能，但其設置成本對中小型餐飲業卻造成經濟負擔，甚至對造成陳情案件的臭味物質亦無法徹底去除，以致近年來每年在台灣約有 22,000 件陳情案件發生。本研究針對國內中小型餐飲業設計填充式洗滌塔（包括油煙前處理裝置、填充式洗滌塔、循環及氧化劑溶解槽），考量油煙水溶解性不佳缺點而添加界面活性劑（市售清潔劑），並藉次氯酸鈉（市售漂白水）去除油煙臭味。本研究以非甲烷碳氫化合物及臭氣強度作為去除效能評估指標，探討其最佳操作參數（如液氣比、pH、次氯酸鈉劑量及界面活性劑之加藥劑量）。研究結果顯示，若廚房作業前調整防制設備於最佳條件，可有效控制一般中小型餐飲業排放的油煙廢氣及臭味。

關鍵詞：臨界微胞濃度、三點比較式嗅袋法、臭味控制

I. 前言

近年來台灣人民生活以及飲食習慣改變，大多數的族群例如學生或上班族等多在外頭解決三餐的問題，各種類型的餐飲民生行業便如雨後春筍般開業。根據經濟部商業司於 2001 年頒定的「中華民國行業營業項目標準分類」，餐飲業泛指「凡從事餐點、飲料服務之餐廳、飯館、食堂、小吃店、茶藝館、咖啡館、冰果店、飲食攤等行業均屬於餐飲業之一種。便當、比薩、漢堡等餐飲外帶店等也可歸入本行業」。「工商及服務業調查總報告」明確指出，1996 年至 2001 年台灣地區餐飲業家數由 37,397 增為 59,773 家，成長幅度達 59.8%，在總商業場所中所佔比例也由 8.1% 升為 11.6%，然而在 2005 年台灣地區餐飲業登記營利事業家數已高達 90,398 家，餐飲行業已經成為都會區最重要行業（行政院主計處，2004）。

產業的蓬勃發展常對環境或人體健康造成負面影響，餐飲業延伸的環保問題也如此，尤其各類餐廳大多選擇在人口稠密的商業區或住宅區營業，其地點鄰近一般群眾活動的區域，若其產生的油煙廢氣、臭味無法妥善處理而任意排放至大氣環境中，將造成嚴重空氣污染問題。在現今凡事追求生活品質、珍惜生命的社會潮流下，餐飲業困擾人的臭味問題已成為近年民眾陳情檢舉案件主要原因之一。順應此社會現象，各類油煙污染防制設備便推陳出新，目的即是解決餐飲業油煙廢氣造成的問題，但在 2002 年至 2004

年餐飲業油煙惡臭重複陳情案件中，餐飲業者被重複陳情 2 次的家數佔 58%，被重複陳情 3 次的家數佔 22%，被重複陳情 4 次的家數佔 8%，被重複陳情 5 次以上的家數仍佔 12%，可見部分業者雖然屢遭陳情卻仍無法妥善改善他們的油煙臭味問題（環保署，2005）。

為有效控制餐飲業油煙臭味問題之方法，除環保署於 2007 年 4 月 12 日公告之「從事烹飪將烹飪廢氣逕行排放至溝渠中，致產生油煙或惡臭者，為空氣污染行為」法令，更應由污染源頭的控制以尋求解決對策，因此選擇有效的油煙廢氣污染防制設備才是改善空氣品質、減少油煙惡臭陳情案件最直接、可行的方式。但國內現有的油煙廢氣防制設備有無法完善解決油煙及惡臭之疑慮，或者儘管其油煙去除效率高，但仍然有設置成本過高及操作與維護不易的缺點，因此在經濟效益觀點上較不易被中小型餐廳業者接受，故研發新式且高去除效率的油煙廢氣處理技術與設備是具有其急迫性及必須性。考量餐飲業日益嚴重的油煙臭味問題，本研究便計畫發展一套操作簡易、成本低、設備精簡以及高處理效率的污染控制設備，希望可供餐飲界業者在防制設備選擇上之參考，也期望本設備與技術之開發得以避免因餐飲業油煙廢氣造成之空氣污染陳情案件發生。

II. 文獻回顧

2.1 次氯酸鈉（市售漂白水）氧化能力之影響因子

本研究採化學氧化洗滌技術處理餐飲業油煙廢氣，此技術乃結合濕式洗滌與化學氧化兩者之功能，藉由洗滌液淋洗具有污染物的氣體之技術，將氣體中的污染物吸收到洗滌液中，並利用化學氧化劑分解與去除含有污染物的液體。然而氧化劑的選擇對於研發高效率及低成本的防制技術是個關鍵。

本研究選用之氧化劑為市售次氯酸鈉（俗稱漂白水），其為最為常見且易取得之化學氧化劑。由次氯酸鈉化學反應式可得知，其在水溶液中會解離成次氯酸（HOCl）與次氯酸根離子（OCl⁻），然而次氯酸氧化力相對大很多，且會因pH值變化而改變兩者比例。若pH=7.4時，次氯酸鹽溶液之有效氯的HOCl與OCl⁻比例各佔一半；pH=10時，僅剩0.3%的有效氯以HOCl存在；pH=11時，HOCl幾乎完全解離成氧化力較差之OCl⁻。所以在pH=7.4-11的範圍內，其氧化能力有天壤之別。此結論可知將pH值控制在弱酸或中性有利於有機污染物氧化去除，但當pH值偏酸，則會產生對人體有害之氯氣；pH值偏鹼，則傾向產生OCl⁻，導致氧化能力下降。然而「揮發性有機物及臭味控制技術」之研究報告中亦提及，當處理廢氣為高濃度臭味物質時，次氯酸鈉的使用劑量約500-2,000 ppm；當處理廢氣屬於低濃度臭味物質，次氯酸鈉使用劑量約50-500 ppm（周明顯，2002）。

2.2 界面活性劑（市售清潔劑）增加溶解之效應

2.2.1 界面活性劑之臨界微胞濃度

考量中小型餐飲業之經濟負擔，本研究研發設備及技術亦將操作成本問題列入評估，因此使用之界面活性劑為低成本市售清潔劑。界面活性劑是具有兩性（amphiphilic）構造的化合物，此兩性構造是指包含一個對水溶液親和力很小的疏水端（lipophilic group）與一個對水溶液親和力很強的親水端（hydrophilic group）。此種兩性構造對界面活性劑之物理性質深具影響，當添加低濃度界面活性劑於溶液中，其界面活性分子僅以單體形式存在，但當界面活性劑濃度增加到超過某一界限時，界面活性劑彼此間便開始聚集在一起（Lowe, et al., 1997），此乃由疏水端碳氫長鏈和水分子之間的疏水效應（hydrophobic effect）及親水端所帶電荷產生的靜電排斥之靜電效應（electrostatic effect）造成，此現象使界面活性劑之單體分子集合成微胞，然疏水性有機物可溶於微胞內部，此即界面活性劑藉以去除污染物的主要機制，利用此機制可提高難溶性污染物之溶解量，亦即可以增加氣體污染物被洗滌液吸收至液體的量。

界面活性劑單體形成微胞構造，其內部由疏水性烷基組成，在水溶液中提供一疏水性有機假相（pseudophase），類似有機溶劑對水溶液中疏水性有機化合物進行萃取作用。

此有機假相對低極性或非極性有機污染物具極高親和力，可讓低水溶解度有機污染物易溶於微胞中而增加有機污染物水溶解度；亦即當界面活性劑濃度大於臨界微胞濃度（critical micelle concentration, CMC）時，則低水溶解度或高揮發性難溶有機污染物之水溶解度增加，稱此為界面活性劑之增溶效應（solubilization enhancement）。此微胞乃界面活性劑單體分子集結50-100個以上時所形成的小粒子，形狀有短柵狀、球狀、棒狀、層狀，且會隨濃度、溫度等條件而變化。然在「陰離子及非離子界面活性劑對單環芳香烴類之吸收及微胞增溶效應」（董瑞安等，1997）之研究中指出，一般界面活性劑之臨界微胞濃度在0.1-10 mM之間。為能正確描述臨界微胞濃度，許多學者提出有關CMC的定義，將臨界微胞濃度定義為一固定小量的界面活性劑單體聚集時的濃度（Corrin, 1948），而學者認為臨界微胞濃度應為一個狹小的濃度範圍，在此範圍內界面活性劑水溶液的物理特性（如電導度、表面張力、溶解能力、濁度、滲透壓、光散射、蒸氣壓、冰點下降、黏度等）隨濃度改變的變化率會突然由原來的定值變成另一個定值，此一轉折點即定義為臨界微胞濃度（Williams, 1955）。因此，藉由對界面活性劑溶液物理性質與濃度繪成的變化曲線圖兩條線性直線作外插，其臨界微胞濃度及可由兩直線的交點判斷之。

目前利用界面活性劑促進難溶於水空氣污染物之增溶效應，相關研究結果如：使用陰離子型界面活性劑（sodium C14-16 olefin sulfonate）與三氯乙烯反應，探討水或不同濃度的界面活性劑與三氯乙烯之溶解度。研究結果顯示，2%的界面活性劑可使三氯乙烯溶解度由1,270 mg/L增至16,900 mg/L，且所使用之界面活性劑濃度越高，因其微胞較多，增溶效果亦較為顯著（Jeong and Corapcioglu, 2003）。學者亦探討添加界面活性劑對氣相多環芳香烴化合物（polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs）吸溶作用的影響。研究結果顯示，當添加的陰離子型界面活性劑（sodium dodecyl sulfate, SDS）濃度在CMC以下，PAHs氣體之吸收速率僅與純水相接近，但在濃度大於CMC後，吸收速率明顯隨界面活性劑濃度增加而上昇，且氣體在溶液中的溶解度亦隨界面活性劑濃度之增加而成線性比例增加（Huang and Lee, 2001）。學者另探討添加不同種類之界面活性劑對氣相naphthalene吸溶作用的影響，結果顯示界面活性劑對naphthalene之增溶能力大小順序為：C₁₀E₄>C₁₄E₈>C₁₀E₈。界面活性劑之naphthalene增溶能力與界面活性劑之親水基與親油基平衡值（hydrophile lipophile balance, HLB）成正相關。Naphthalene在界面活性劑溶液中之增溶效應可用一增溶因子（Enrichment Factor，簡稱EF）表示，其定義為添加界面活性劑與不加界面活性劑之純水溶液之naphthalene



吸收量的比值。研究結果顯示， $C_{10}E_4$ 、 $C_{14}E_8$ 和 $C_{10}E_8$ 在0.01M (600 rpm) 之EF為6.09-14.2，綜合以上結果，於水溶液中添加非離子型界面活性劑可大幅提升氣相疏水性有機化合物的去除率 (黃小林, 2000)。然而在實廠研究的部分，學者針對木柵焚化廠現有的濕式洗滌塔廢氣防制設備，添加界面活性劑對氣相多環芳香烴化合物去除作用之影響，研究以Naphthalene作為多環芳香烴化合物之代表物種，以陰離子性界面活性劑 (SDS) 與非離子性界面活性劑 ($C_{10}E_4$ 、 $C_{10}E_8$ 與 $C_{14}E_8$) 探討不同濃度下之增溶因子，然研究報告中顯示在臨界微胞濃度之上具有較佳的增溶效應，實驗最大濃度下之增溶因子分別為 $C_{10}E_4$ (14.20) > $C_{14}E_8$ (12.86) > SDS (9.20) > $C_{10}E_8$ (6.09)，其中以 $C_{10}E_4$ 之增溶效應最大 (羅金翔, 2001)。

2.2.2 界面活性劑之反離子效應

國外學者研究指出，離子型界面活性劑之臨界微胞濃度與微胞的結構及尺寸受溶液中電解質或反離子 (counterions) 之存在而改變，添加與離子型界面活性劑相反電荷之離子 (鹽類或電解質等) 影響微胞疏水端與親水端間之作用力，造成CMC值下降，且增加微胞內聚合的分子數。由於微胞表面電荷密度較界面活性劑單體大，微胞中帶電荷界面活性劑間之排斥力大，微胞因此較易破壞與分解，若在溶液中添加相反電荷離子，可中和微胞表面部分電荷，減少微胞內部強烈電荷排斥力，因此可使微胞得以在較低的界面活性劑濃度下形成，且因為分子間排斥力的降低，也可讓微胞變成更緊密的排列構造，然而微胞內的分子數增加。

離子型界面活性劑濃度在低於其CMC時是完全解離的，然而當濃度超過其CMC值，由於微胞的形成使得微胞表面帶高電荷數，導致反離子的凝聚作用開始產生，如陰離子型劑SDS在形成微胞時，微胞表面帶有數十個負電，造成猶如一個強電場而吸引反離子的情形。而在界面活性劑和鹽類的混合溶液部分，藉由添加一系列單價 (monovalent) 與多價 (multivalent) 鹽類以瞭解競爭凝聚的效應 (competitive condensation effect)，研究結果顯示凝聚效應之增加隨著單價鹽類 $Li^+ < Na^+ < K^+ < Rb^+ < Cs^+$ 和 $F^- < Cl^- < Br^-$ 的形式而增加，然多價鹽類凝聚效果遠優於單價的鹽類，此現象更確定了庫倫靜電力乃整個系統中最重要因素 (蕭晉傑, 2004)。

關於離子或鹽類對界面活性劑CMC值影響，在國外學者的研究中顯示，在溫度同為25°C條件下，四種不同陰離子型之十二烷基硫酸鹽類 (dodecyl sulfates) $LiDS$ 、 $NaDS$ 、 $CsDS$ 及 $Mg(DS)_2$ 所形成的微胞吸引其解離出的 Li^+ 、 Na^+ 、 Cs^+ 及 Mg^{2+} 陽離子，其臨界微胞濃度分別降低為8.92、8.32、6.09

及0.88 mM，然因為 $Mg(DS)_2$ 之臨界微胞濃度僅為0.88 mM，明顯低於其他三者CMC值，此結果也得知二價鹽類之凝聚效果優於單價 (Mukerjee, 1967)。

在學者探討SDS與Octylglucoside混合微胞性質之研究成果顯示，針對離子型界面活性劑乃提出之Corrin - Harkins 公式，用以反應其反離子濃度對臨界微胞濃度之影響與關係，其中 K_g 與 K_2 為常數， C_g 為反離子濃度 (Keiichi, et al., 1997)。公式如下所示：

$$\ln(CMC) = -K_g \ln(C_g) + K_2 \quad (1)$$

2.3 官能測定法

目前空氣污染物分析儀器越益精密，物質質量、濃度等污染特性資料之分析已不是難事，其對於科學理論與數據解析有極高的貢獻，然就以臭氣或異味等污染程度而言，精密儀器的分析卻缺少一份人類與生俱來的「感覺」。且生活環境中夾雜的臭味物質種類繁多，亦非儀器所能逐一分析之，因此以人類感官測定所有厭惡的致臭物質方為可行、合適之方式。

週界或排放管道中臭氣污染，環保主管機關可依「空氣污染防治法」第三十條認定臭味污染行為，但為避免餐飲業者抱怨此法缺乏客觀判定依據，環保署乃採衍生自日本的「六階段臭氣強度表示法」之「臭氣及異味官能測定法—三點比較式嗅袋法」(NIEA A201.10A) 進行臭氣檢測，而此法之檢測步驟與方式如下：

進行官能測定法前將採集氣體以純淨空氣適當稀釋置於三個嗅袋中的一個 (另二個嗅袋裝純淨空氣)，由六名合格嗅覺判定員分別以嗅覺判斷那個嗅袋含有臭氣 (即採集氣體)，再平均算出嗅覺判定員可聞出之稀釋倍數，以臭氣濃度表示。本實驗採樣點屬於排放管道採樣，係利用法規要求之周界臭味標準來評估，空氣中臭氣濃度可用以下公式計算：

$$Y = A1 * 10^{(M - 7/M - N)(\log A2 - \log A1)} \quad (2)$$

其中：

Y：臭氣濃度

A1：同一稀釋倍數12次測定，正解數為7以上之最大稀釋倍數。

A2：同一稀釋倍數12次測定，正解數為6以下之稀釋倍數。

M：稀釋倍數為A1時之正解數 (The Number of Positive Solutions)。

N：稀釋倍數為A2時之正解數 (The Number of Positive Solutions)。

表1 官能測定法之臭氣濃度計算範例

| 稀釋倍數 | 30 | 100 | 300 | 1000 | 3000 |
|-------|------|-----|------|------|------|
| 對數值 | 1.48 | 2 | 2.48 | 3 | 3.48 |
| 嗅覺判定員 | | | | | |
| A | ○ | ○ | × | | |
| B | ○ | ○ | ○ | × | |
| C | ○ | ○ | ○ | × | |
| D | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| E | ○ | ○ | × | | |
| F | ○ | ○ | | ○ | × |
| 調定總次數 | 6 | 12 | | 12 | |
| 正解數 | 6 | 7 | | 4 | |

稀釋 10 倍第一次測定 6 名嗅覺判定員均為正解即進行 30 倍稀釋測定 12 次測定中正解為 7，繼續進行稀釋 100 倍之測定，12 次測定之正解數為 4，即停止測定。

$$Y = 30 \times 10^{(7-7/4)(2.00-1.48)} = 30$$

III. 研究方法與設備

本研究主要實驗設備為填充式洗滌塔，用以探討次氯酸鈉洗滌程序處理餐飲油煙廢氣之實驗。首先以市售沙拉脫作為界面活性劑，採物理分析方法探討其臨界微胞濃度，並評估其運用於餐廳現場之可行性。其次進行餐飲業現場之實驗，評估本污染防治設備對餐飲業油煙廢氣與臭味之去除效能，並建立次氯酸鈉洗滌程序最佳操作參數，最後乃添加界面活性劑在最佳化之次氯酸鈉洗滌系統中，探討界面活性劑/次氯酸鈉洗滌程序對疏水性油煙廢氣之吸收、溶解與去除情形。

3.1 界面活性劑運用在餐飲業現場之可行性評估

3.1.1 油煙氧化塔之傳輸現象 (模場試驗)

在探討界面活性劑對油煙之增溶效應部分，接著乃進行之油煙曝氣實驗，食用油品乃採用烹調時最常使用的花生油，其發煙點為162℃，由於油煙發煙及排放量難以掌握，故本研究以半批次試驗將油品加熱溫度控制在200 ± 10℃，加熱過程中酌量加入水並控制油煙中總碳氫化合物 (total hydrocarbon, THC) 濃度維持穩定，每組實驗之THC濃度皆控制在大約40 ppm。油鍋上方有一集氣罩收集逸散之油煙，藉由抽氣幫浦將油煙當連續曝進油煙曝氣反應槽體內，利用TVA-1000監測隨時間變化之進出口油煙濃度，分別評估花生油煙同樣在11.3 L (水深40 cm) 的曝氣槽內，廢氣停留的反應時間約為1.7 sec，界面活性劑及次氯酸鈉添加與否對油煙之溶解及氧化情形。

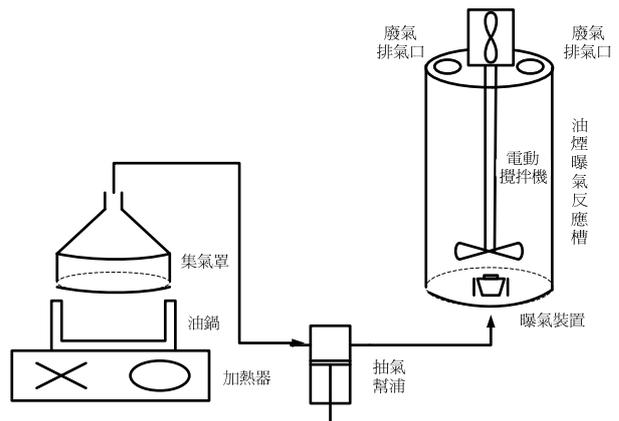


圖1 油煙曝氣實驗系統示意圖

3.1.2 界面活性劑之臨界微胞濃度

本研究主要乃以次氯酸鈉洗滌餐飲業油煙廢氣為主要試驗，然由於前面實驗已證實界面活性劑 (市售清潔劑，品名為沙拉脫) 對油煙有增溶效果，對油煙之去除效果具提升之功效，但因反離子對離子性界面活性劑之CMC有影響，且CMC乃界面活性劑增溶效果明顯增大之指標，故探討界面活性劑在不同次氯酸鈉濃度條件CMC之改變乃為本實驗單元之關鍵。

界面活性劑由於當其濃度由低濃度慢慢增加到臨界微胞濃度時，則水溶液之導電度、表面張力、濁度、光散射等物理特性會產生劇烈變化，因此藉由導電度計、表面張力計、濁度計及分光光度計等儀器分析，記錄各項物理性質隨不同界面活性劑濃度變化，並將其與界面活性劑濃度之對數值 (log C) 繪製成圖，則可由圖上之曲線折點判斷界面活性劑之CMC值。

3.2 建立次氯酸鈉洗滌技術之最佳操作參數 (餐飲業現場)

本研究之填充式次氯酸鈉洗滌塔乃改良自傳統濕式填充洗滌塔，本設備之氧化劑可依需求而更換。洗滌塔主體共可分為三個單元：油煙前處理擋板 (長45 cm × 寬20 cm × 高20 cm)、洗滌塔 (內徑30 cm × 高150 cm)、循環及氧化劑溶解槽 (長60 cm × 寬80 cm × 高60 cm)，皆由壓克力材質所組成，填充塔內以鮑爾環做為填充濾料，其中氧化洗滌液採循環再利用方式，藉由抽水幫浦將其抽引至洗滌塔頂使與油煙污染物進行逆向的接觸及吸收氧化反應。

由於餐飲業油煙廢氣當中成份複雜，若以單一污染物作為去除效率評估的指標，代表性不佳；但對所有臭氣及油煙成份進行全面性評估，其工程浩大，且執行困難。然而考慮餐飲油煙廢氣成分中之揮發性有機物多為含碳、氫之化



合物，且臭味物質主要由碳、氫、氧、氮、硫等元素組成，因此本研究以非甲烷碳氫化合物 (non-methane hydrocarbon, NMHC) 作為污染物指標較適合。藉由攜帶型火燄離子光譜儀 (portable FID) (型號TVA-1000) 在防制設備之進出口即時分析NMHC (NMHC = THC-CH₄)，藉其評估化學氧化洗滌系統對餐飲廢氣之去除狀況及最佳處理參數等，然而利用氣體採樣器及採樣袋於現場收集空氣樣品，藉由研究室氣相層析儀/火焰離子偵測 (型號shimadzu GC-14B) 分析，得知環境中CH₄濃度約為1.5 ppm。本研究以portable FID偵測餐飲業油煙廢氣濃度，除儀器使用上簡易，更有符合法規需求及深具代表性等特點。本研究之重點在於利用次氯酸鈉洗滌程序處理餐飲油煙廢氣，探討pH值、次氯酸鈉濃度與液氣比等條件之影響，最後探討添加沙拉脫後之界面活性劑/次氯酸鈉洗滌系統對油煙廢氣之增加溶解量、吸收量以及氧化去除的情形。

IV. 結果與討論

4.1 界面活性劑運用在餐飲業現場之可行性評估

4.1.1 油煙曝氣處理程序 (模場試驗)

實驗結果如圖2所示 (其中進口濃度為C₀，出口濃度為C)，將花生油煙持續曝進純自來水之反應槽內，出口濃度隨時間的增加而增高，當反應時間為40分鐘時，油煙處理效率接近零，亦即吸收液 (氧化洗滌液) 不再吸收或氧化分解油煙。而將花生油煙連續地曝進添加次氯酸鈉 (無控制pH值) 之反應槽內，油煙的出口濃度在反應前40分鐘幾乎維持穩定去除效率，推判乃次氯酸鈉氧化分解所貢獻，然在反應70分鐘後即達飽和。將油煙連續曝進添加次氯酸鈉 (pH = 6.5) 之反應槽內，油煙的出口濃度在90分鐘的反應時間內以穩定的幅度緩緩上升，當90分鐘實驗終了時之出口濃度約為25 ppm，去除效率約為40%。將油煙連續曝進同時添加界面活性劑 (1.5 mM，約6 mL) 與次氯酸鈉 (pH = 6.5) 之反應槽內，在與上組實驗相似進口濃度情況下，油煙的出口濃度在90分鐘的反應時間內幾乎維持穩定值12 ppm，去除效率約為30%。綜合以上結論，再次驗證次氯酸鈉對油煙具有去除能力，然而pH值能為其重要影響因子，且界面活性劑加入次氯酸鈉洗滌程序中，在有限的反應時間內就可顯示出其對油煙廢氣的氧化及增溶效應。

4.1.2 界面活性劑之臨界微胞濃度

當添加低濃度界面活性劑於溶液中，其界面活性分子乃以單體 (monomer) 形式存在，但當界面活性劑濃度增加到超過某一界限時，由於疏水端碳氫長鏈和水分子之間的疏水效應 (hydrophobic effect)，以及親水端所帶電荷產生的靜

電排斥之靜電效應 (electrostatic effect) 之影響，界面活性劑之單體分子因此集合而形成微胞，然疏水性有機化合物可溶於微胞內部，此即界面活性劑藉以去除污染物之主要機制。

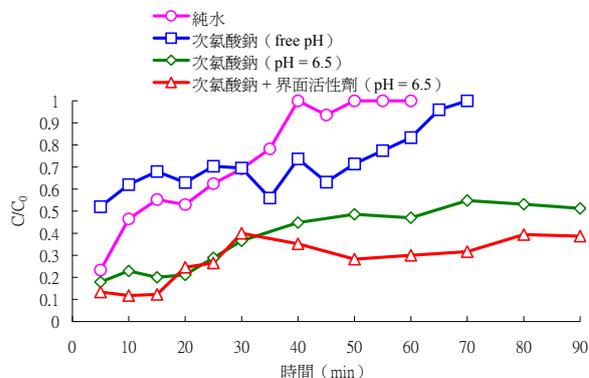


圖2 在四種程序氧化吸收花生油煙之效率

由於當界面活性劑濃度由低濃度慢慢增加到臨界微胞濃度時，其水溶液之電導度、表面張力、濁度、光散射等物理特性會產生劇烈變化，因此本研究選擇以分光光度計 (20 Genesy, Spectronic company, USA) 分析 (波長設定為210 nm)，記錄各項物理性質隨不同界面活性劑濃度變化，並將其與界面活性劑濃度之對數值 (log C) 繪製成圖，則可由圖上之兩條斜率不同的直線之折點可判斷界面活性劑之CMC值。然在不同次氯酸鈉濃度下，由吸光值與界面活性劑濃度對數圖可發現，在不受鹽類沈澱干擾情況下，當水溶液中次氯酸鈉濃度越高時，則界面活性劑之CMC降低，當水溶液分別含有0 ppm、100 ppm、200 ppm及500 ppm之次氯酸鈉時，其界面活性劑之CMC值依序為1.38 mM、1.15 mM、0.76 mM及0.37 mM，此乃由於高濃度次氯酸鈉中之反離子加速微胞生成並降低CMC值。由此結果可得知操作系統中次氯酸鈉各濃度所相對應之CMC值，此值可進一步予以掌握並作為後續研究之重要參數。

4.2 界面活性劑與次氯酸鈉之加藥比

本研究另外須探討界面活性劑的最佳加藥量，以免加藥量過少導致增加溶解的效應無法提升以及加藥量過多導致成本提高或衍生二次廢水的疑慮。藉由離子型界面活性劑其反離子對CMC值的影響 (反離子效應)，便可推估最適和的添加劑量。本研究使用陰離子型界面活性劑 (市售清潔劑多屬陰離子型)，故探討反離子效應只需計算水溶液中總陽離子濃度，然而市售沙拉脫純度無法得知，但因為其主成份為十二烷基苯磺酸鈉，所以假設其純度為100%並予以詳細計算。在系統水溶液當中之陽離子共有Na⁺ (解離自次氯

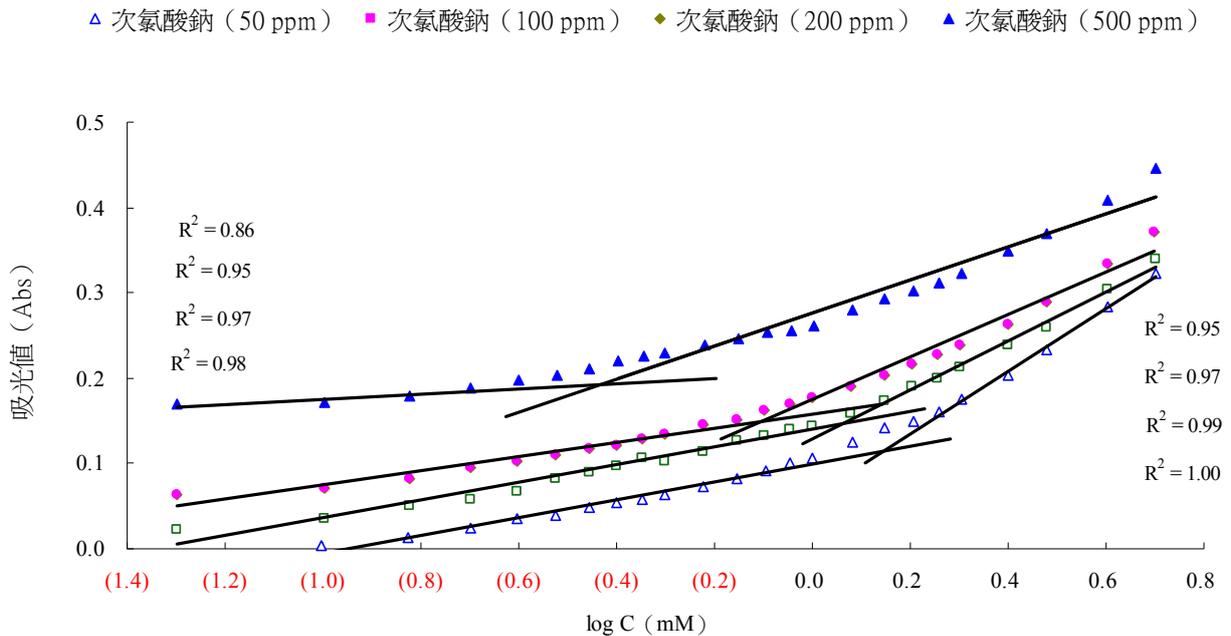


圖3 界面活性劑水溶液中吸光值隨界面活性劑濃度變化之情形

酸鈉及十二烷基苯磺酸鈉) 以及 H^+ (加酸性溶液控制pH時產生), 其中 H^+ 濃度比 Na^+ 相對小很多, 因此可忽略不計; 若再忽略十二烷基苯磺酸鈉本身解離的 Na^+ 之影響, 則影響CMC值的因子只為由次氯酸鈉解離出來的 Na^+ 濃度 (Na^+ 濃度同等於添加之次氯酸鈉濃度), 其濃度值同等於次氯酸鈉之濃度, 所以可藉此直接推算沙拉脫與次氯酸鈉的加藥比例。



本研究推算沙拉脫CMC值與次氯酸鈉濃度之關係, 得知次氯酸鈉與沙拉脫CMC值之經驗公式相關性高 ($R^2=0.96$), 且可推導出次氯酸鈉及界面活性劑添加量之經驗公式: $\ln(CMC) = -0.58 \ln(NaOCl) + 0.32$ 。

4.3 建立次氯酸鈉洗滌技術之最佳操作參數 (餐飲業現場)

由於餐飲業油煙排放不穩定, 本研究在餐廳廚房作業尖峰時段 (約10:30至13:00) 以批次添加氧化劑、界面活性劑及連續處理油煙廢氣方式進行實驗, 由經濟效益評估得知

次氯酸鈉洗滌系統最佳操作參數為液氣比 $11 L/m^3$ 、pH值為6.5、次氯酸鈉劑量200 ppm等 (操作參數如表2), 最佳化之次氯酸鈉洗滌系統對油煙中NMHC去除情形與臭氣及異味官能測定法分別如圖5及表3所示, 次氯酸鈉化學洗滌設備對油煙NMHC去除率達78%, 排放口廢氣之臭味強度低於10之法規要求, 證實本技術與設備可有效處理餐飲業油煙廢氣以及臭味。在本設備之最佳處理參數條件下, 不同濃度範圍之油煙對去除效率的影響, 由研究結果如表4顯示, 當處理時間60 min內之總NMHC濃度分別為57.9 ppm、30 ppm及5.9 ppm, 即在處理正常排放油煙濃度情況下, 對60 min的處理狀況而言, 進口濃度高低對整體去除率並無正面或負面影響, 且處理負荷至少為平均每小時達60 ppm的進口濃度。然由於並非過多油煙導致氧化吸收液達飽和, 而是油煙不易溶解, 因此只要洗滌液量足夠, 高濃度或低濃度油煙被吸收的比例是相近的, 亦即處理 (氧化與吸收) 效

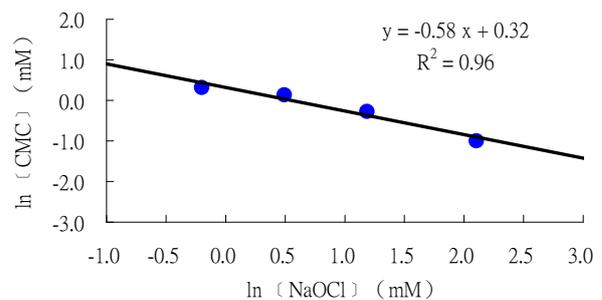


圖4 沙拉脫CMC與水溶液中次氯酸鈉 (Na^+) 濃度濃度之關係圖



率相等。然而因餐飲業種類多且規模不一，本研究成果及各項操作參數有使用上的限制，而研究現場屬中式餐廳，可開火之爐數6座，座位數約150個，由環保署相關統計資料得知其屬於中小型規模餐廳。

表2 次氯酸鈉洗滌油煙廢氣實驗之操作參數

| 試驗項目 | 操作參數 | | | | | |
|-------------------------|------|----|-----|-----|-----|-----|
| pH 值 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8.5 |
| 次氯酸鈉濃度 (ppm) | 0 | 50 | 100 | 200 | 400 | 500 |
| 液氣比 (L/m ³) | 5 | | 8.3 | | 11 | |

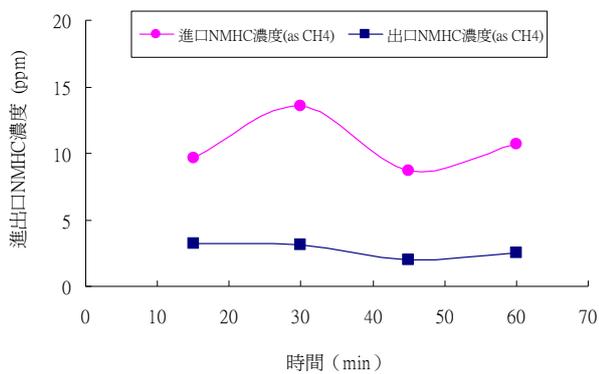


圖5 次氯酸鈉洗滌系統最佳操作條件下之油煙NMHC去除效能

表3 在次氯酸鈉最佳洗滌條件下對油煙臭味之去除情形

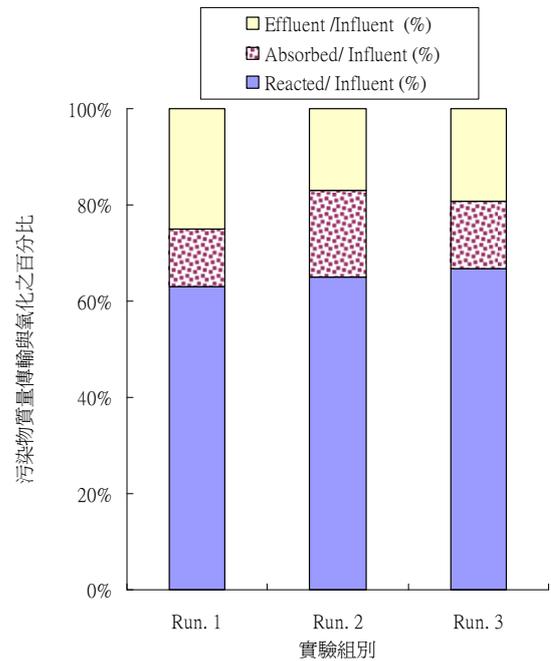
| | 0- 15 min | 15- 30 min | 30- 45 min | 45- 60 min |
|---------|-----------|------------|------------|------------|
| 處理前臭氣強度 | < 10 | 14 | 50 | 30 |
| 處理後臭氣強度 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |

註：空氣污染物臭氣或厭惡性異味周界排放標準規定工業區及農業區臭氣濃度應低於50，其他一般地區之臭氣濃度需低於10，超過則予以罰緩。

4.4 結合界面活性劑及次氯酸鈉之氧化洗滌技術

研究結果如圖6所示，在次氯酸鈉最佳操作條件下處理餐飲油煙60 min，當添加少量 (0.1 CMC) 的界面活性劑，油煙

去除率由78%提高至85%，得知界面活性劑之添加增加油煙溶解與吸收於氧化洗滌液的機會，進而促進污染物氧化分解。另在界面活性劑/次氯酸鈉洗滌程序下，本處理系統經150 min的運作後，對餐飲油煙之去除率仍可維持80%以上。但因添加界面活性劑的量較少，因此因界面活性劑增溶效應所貢獻的油煙溶解量隨時間增加而衰退，由處理時間為60 min時的18%降為150 min時的14%。然若將界面活性劑劑量增加至開始生成微胞之臨界微胞濃度時，則其增溶效應更顯著。



【註】三組試驗皆控制液氣比為11 L/m³、pH為6.5、次氯酸鈉劑量200 ppm (34 g次氯酸鈉/140 L洗滌液)，其他條件如下：
Run 1：試驗時間60 min。
Run 2：沙拉脫劑量為0.1 CMC，試驗時間60 min。
Run 3：沙拉脫劑量為0.1 CMC，試驗時間150 min。

圖6 添加界面活性劑及延長處理時間對油煙污染物之質量傳輸影響

表4 不同濃度範圍之油煙對去除效率的影響

| 濃度單位 | Run 1 | | 去除率 (%) | Run 2 | | 去除率 (%) | Run 3 | | 去除率 (%) |
|-----------------|------------|------|---------|------------|-----|---------|------------|-----|---------|
| | 平均 NMHC 濃度 | | | 平均 NMHC 濃度 | | | 平均 NMHC 濃度 | | |
| | 進口 | 出口 | 進口 | 出口 | 進口 | 出口 | | | |
| 平均去除率 | - | - | 78 | - | - | 77 | - | - | 78 |
| 總 NMHC (ppm) | 57.5 | 12.5 | - | 30.0 | 6.4 | - | 5.9 | 1.5 | - |
| 總 NMHC (g / hr) | 6.9 | 1.5 | - | 3.5 | 0.8 | - | 0.7 | 0.2 | - |
| 去除之 NMHC (g) | - | - | 5.4 | - | - | 2.8 | - | - | 0.5 |

參考文獻

- 行政院主計處，2004，九十年工商及服務業普查總報告。
- 行政院環境保護署，2005，中華民國環境保護統計年報，頁2-36。
- 周明顯，2002，揮發性有機物及臭味控制技術，環保資訊月刊，第54期。
- 黃小林，2000，非離子型界面活性劑對氣相多環芳香烴化合物吸收之影響，第十七屆空氣污染控制技術研討會論文集。
- 董瑞安等，1997，陰離子及非離子界面活性劑對單環芳香烴類之吸收及微胞增溶效應，中國環境工程學刊，第七卷，第三期，頁220-226。
- 蕭晉傑，2004，反離子的凝聚作用和釋放於界劑溶液中添加鹽類的影響之研究，國立中央大學化學工程與材料工程研究所碩士論文。
- 羅金翔，2001，木柵垃圾焚化廠廢氣中多環芳香烴 (PAHs) 化合物防治技術研發計畫。
- Corrin, M. L., J., 1948, Colloid Sci. 3, pp. 333.
- Huang, H. L. and Lee, W. M., 2001, Enhanced naphthalene solubility in the presence of sodium dodecyl sulfate: effect of critical micelle concentration, Chemosphere, 44, pp. 963-972.
- Jeong, S. W. and Corapcioglu, M. Y., 2003, A micromodel analysis of factors influencing NAPL removal by surfactant foam flooding, J. Contam. Hydrol., 60, pp. 77-96.
- Keiichi Kameyama, et al., 1997, Properties of a Mixed Micellar System of Sodium Dodecyl Sulfate and Octylglucoside, Colloid and Interface Science, 196, pp. 48-52.
- Lowe, et al., 1997, Technology practices manual for surfactant and cosolvents, pp. 4-6.
- Mukerjee, P., 1967, Adv. Colloid Interface Sci. 1, pp. 24.
- Williams, et al., 1955, Trans. Faraday soc. 51, pp. 728.

Received 7 December 2007
Accepted 5 May 2008



DEVELOPMENT OF CONTROL TECHNOLOGY FOR COOKING OIL FUMES AND ODOR FROM RESTAURANTS

Hsin-Han Cheng*, Chu-Chin Hsieh** and Wen-Pin Weng*

*Graduate School of Engineering Science and Technology
**Department of Safety Health and Environmental Engineering
National Yunlin University of Science and Technology
Yunlin, Taiwan 64002, R. O. C.

ABSTRACT

At present, there are many type of control equipment for cooking oil fumes, but these pieces of equipment are not effective to remove the odor materials which are the primary cause of creating the odor-complaints pollutants. Due to the complexity of components, cooking oil fumes are difficult to treat using static method. Moreover, the cost of the current control technologies or pieces of equipment are expensive, most of repast business such as snack bar, stall keeper, bakes the shop even the kitchen of most family usually neglect the effect of cooking oil fumes. In this study, chemical oxidation scrubber (COS) has been developed for scrubbing cooking oil fumes. The used oxidant was NaOCl (bleach), and the surfactant was depurative (SalattTM). The column of pilot-plant COS consists of a trap device, a scrubber and an oxidation tank. The results of this study provided established optimum operational parameters of NaOCl scrubber system for treating the cooking oil fumes, and the relationship formula between NaOCl and surfactant. This result of the study demonstrated that adding low concentration surfactant could increase the absorbability of non-polar cooking oil fumes and enhance the probability of reaction between oxidant and pollutant. The system developed in this study could effectively control cooking oil fumes from middle and small scale restaurants

Keywords : critical micelle concentration, triangular odor bag method, odor control