

活性碳物理化學特性對VOCs吸附之影響

蔣本基*

摘要

本研究主要藉由活性碳吸附處理VOCs來探討活性碳對不同吸附質之吸附效能，進而以臭氧氧化、NaOH含浸、NaOH及臭氧共同處理等三種方法改變活性碳比表面積、孔隙體積等物理特性及表面含氧官能基、表面酸度、元素組成等化學特性，再評估活性碳物理化學特性改變對VOCs吸附效能之影響。活性碳經臭氧處理後比表面積、孔隙體積、含氧官能基皆有顯著增加；而經NaOH處理的活性碳僅在孔隙體積及含氧官能基（羥基、羧基）有顯著增加。在30°C、70°C及120°C時，由不同溫度下AC、AC(O₃)及AC(2N NaOH+O₃)三種活性碳對苯及MEK吸附量之分析顯示，溫度較高時進流濃度變化對吸附量影響較常溫顯著。研究結果發現綜合活性碳物化特性、吸附質特性及吸附條件之統計經驗模式，可預測不同活性碳對吸附質之吸附量，頗具應用價值。

【關鍵字】

- 1.活性碳(activated carbon)
- 2.臭氧氧化(ozone oxidation)
- 3.氫氧化鈉含侵(NaOH impregnation)
- 4.表面物化特性(surface physico-chemical characteristic)
- 5.吸附經驗模式(empirical adsorption model)

*國立台灣大學環境工程學研究所教授

一、前　　言

隨著經濟發展、物質生活水準的提昇，污染問題愈形嚴重，民眾對環境品質維護的要求也日益提高。尤其空氣中毒性物質(toxic air pollutants; TAPs)對人體健康的影響，有關當局及民眾皆極為重視。工業污染物中，揮發性有機物(volatile organic compounds; VOCs)為眾多HAPs之一，因其極易揮發而普遍存在於環境中，如PU皮革廠、粘性膠帶廠、煉油廠、印刷業、乾洗業、食品工業及噴漆使用業等；且因其具有滲透、脂溶、揮發等特性，會經由接觸、呼吸等途徑，影響人體之呼吸道、肺臟、神經系統、腎臟、肝臟、造血系統及消化系統。目前國內工廠普遍缺乏對VOCs的控制，不但造成作業環境空氣品質惡化，且影響鄰近周界環境，若再經由光化反應(photochemical reactions)則產生更具危害性之二次污染物。一般控制VOCs之方法包括：燃燒(combustion)、凝結(condensation)、吸附(adsorption)等各種方法，其中吸附法可處理低濃度廢氣，且VOCs可回收再利用，因此常被使用。揮發性有機溶劑多為具毒性之有害廢棄物，極易揮發於大氣中，美國1990年通過之“空氣清淨法修正案”(Clean Air Act Amendment; CAAA)Title III中將多種揮發性有機物列為有毒空氣污染物(toxic air pollutants; TAPs)；我國在未來勢必會將其列為法訂管制物種。基於VOCs排放對人體健康、環境的危害及活性碳物理化學特性對吸附作用的重要性，本研究希望藉由活性碳吸附處理VOCs來探討活性碳對不同吸附質之吸附效能，進而以臭氧氧化活性碳與NaOH及臭氧共同處理活性碳兩種方式來改變其比表面積、孔隙體積等物理特性及表面含氧官能基、元素組成成份、表面電荷等化學特性。最後評估活性碳物理化學特性改變對VOCs吸附效能之影響，並期冀建立含有活性碳物化特性參數之吸附模式，以解釋吸附作用之現象。

二、研究方法

本研究探討椰殼(COSMOS,8×30mesh)活性碳經NaOH及O₃處理後對苯(benzene)及甲乙酮(MEK)之吸附特性，並建立活性碳之物理化學吸附模式。本研究選用苯及甲乙酮為吸附質之主要考量因素為：1.工業上使用量；2.吸附質所含之官能基特性；3.吸附質之分子結構；4.對人體健康之影響；5.分析技術之可行性。蔣等人^(1,2,3,4,5)曾評估活性污泥研製活性碳之可行性，並探討其附後之再生特性。本研究氧化性吸附劑之配製乃取500g活性碳數份，分別加入1、2、3、4、5N之NaOH溶液各1L，旋轉振盪24小時；再於105°C下烘乾48小時。將經不同濃度NaOH處理之活性碳，依重量等分為兩份；其中一份通入2.5L/min之40mg/L臭氧，維持30分鐘。再將兩份活性碳分別以蒸餾水淋洗後以離子層析儀測鈉離子濃度，直至淋洗液與空白樣之測值相同；再將活性碳於105°C烘箱中烘乾48小時；最後將配製完成之活性碳放入乾燥箱中貯存。

活性碳物理特性分析包括比表面積、孔隙體積、孔徑分佈、孔隙度、顆粒密度與外觀特性等。其中前三項分析利用Micromeritics Instrument Corporation之ASAP 2000型微孔隙分析儀完成。大孔隙部分(>20Å)，以N₂為分析氣體；對於小孔隙(>20Å)，則以Ar為分析氣體⁽⁶⁾，並由液態N₂控制溫度。此外Pycnometer(型號Accupyc 1330)用以分析活性碳之真密度；大於200Å之孔隙分佈及顆粒密度則由Mercury porosimeter(型號Autopore II 9200)分析之；而活性碳表面外觀特性則由掃描式電子顯微鏡觀測之。活性碳化學特性分析包含元素分析、表面含氧官能基、表面團其和電荷特性分析。活性碳中所含的N, C, H, O以Heraeus CHN-O Rapid分析儀分析之，Cl, S元素則經由Tacussel Coulomax 78分析之。而ICP-AES亦用以分析活性碳中所含的金屬元素。含氧官能基分析採用Boehm及Dieh等人⁽⁷⁾之表面官能基滴定分析方法；表面團基之定性分析則藉由FTIR為之⁽⁸⁾；而表面電荷特性乃利用Zeta-meter測定界達電位⁽⁹⁾。

活性碳吸附裝置之主要設備為：微量天平、數據截取系統、VICS產生器、恆溫控制器等。吸附之溫度控制於30°C、70°C及120°C左右，活性碳顆粒

以單層方式均勻置於吸附管柱內之秤盤上。VOC以每分鐘2升通入吸附裝置中，其中苯和甲乙酮濃度分別界於370~2500和500~1500ppm如圖1。

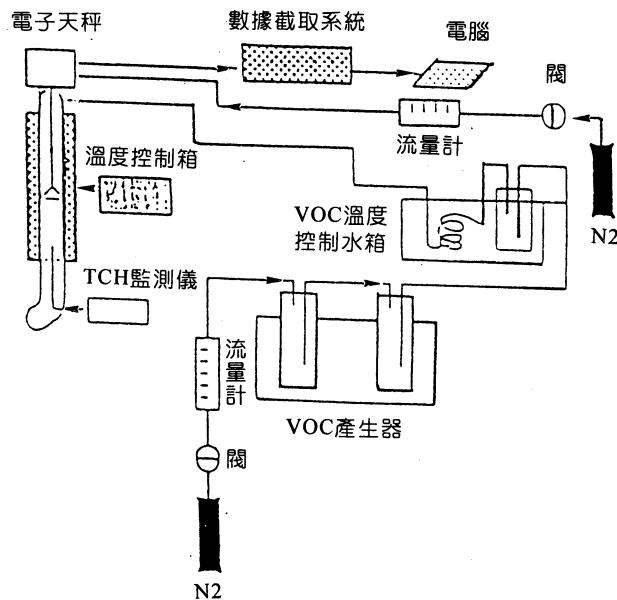


圖1 研究設備配置

三、結果與討論

3.1 活性碳物理特性分析

本研究共配製出12種不同的活性碳，此12種活性碳與一般商用顆粒活性碳之基本物理特性皆相當接近。活性碳經臭氧及NaOH處理後其物理特性主要改變如表1所示。就BET比表面積而言，處理後的活性碳以通臭氧處理AC(O₃)及含浸3NNaOH處理的AC(3N NaOH)與原來的活性碳有顯著差異；微孔隙比表面積亦與BET比表面積類似，僅AC(O₃)與AC(3N NaOH)和原來的活性碳有顯

著差異；微孔隙體積則是經臭氧及NaOH處理後的活性碳皆有顯著的改變。而對於孔隙直徑則僅AC(2N NaOH + O₃)及AC(6N NaOH + O₃)的孔隙直徑未明顯改變。比較含浸NaOH的活性碳[AC(1N NaOH)~AC(5N NaOH)]及含浸NaOH後再通臭氧的活性碳[AC(1N NaOH + O₃)~AC(5N NaOH + O₃)]之物理特性，其結果顯示比表面積、微孔隙比表面積、孔隙體積及孔隙直徑等物理特性皆未有顯著改變，此現象可能由於活性碳含浸NaOH後附著於活性碳表面，進而影響臭氧的作用。圖2為活性碳在SEM觀測下之外觀形態，可發現顆粒中存在植物之木栓組織組成之大孔洞，由SEM之觀測結果配合ASAP 2000分析之微孔隙結果比較，若無NaOH存在時臭氧對活性碳表面之氧化主要產生於孔洞內之微孔隙，並未對活性碳表面外觀有顯著影響。而當有NaOH含浸後再通臭氧，則會氧化活性碳表面而產生較多之微小孔洞，此亦說明臭氧在高pH值下進行自由基反應活性碳表面有較大之氧化能力。

表1 臭氧及NaOH處理對活性碳物理特性主要影響

處理	物理特性	結果說明
O ₃	<ul style="list-style-type: none"> • BET比表面積：顯著增加 • 微孔隙面積：顯著增加 • 微孔隙體積：顯著增加 • 孔隙直徑：顯著增加 	臭氧氧化活性碳產生新的孔隙或加大孔隙。可由 $C + O_3 \rightarrow CO_3$ $C + O_3 \rightarrow CO + O_2$ 說明
NaOH	<ul style="list-style-type: none"> • BET比表面積： 僅AC(3N NaOH)顯著增加 • 微孔隙面積： 僅AC(3N NaOH)顯著增加 • 微孔隙體積：顯著增加 • 孔隙直徑：顯著增加 	經不同處理之活性碳其界達電位約為原活性碳的2.8倍，因此以化學計量的觀點，3N NaOH有最佳的反應效果，而NaOH濃度超3N則會產生過量CO ₃ ²⁻ ，而有沉澱的現象，影響物理特性的改變。
NaOH+O ₃	<ul style="list-style-type: none"> • BET比表面積：無顯著增加 • 微孔隙面積：無顯著增加 • 微孔隙體積：無顯著增加 • 孔隙直徑：僅AC(2N NaOH+O₃)及AC(3N NaOH+O₃)有顯著增加 	活性碳含浸NaOH乾燥後將覆蓋活性碳表面而影響O ₃ 與活性碳表面之反應。

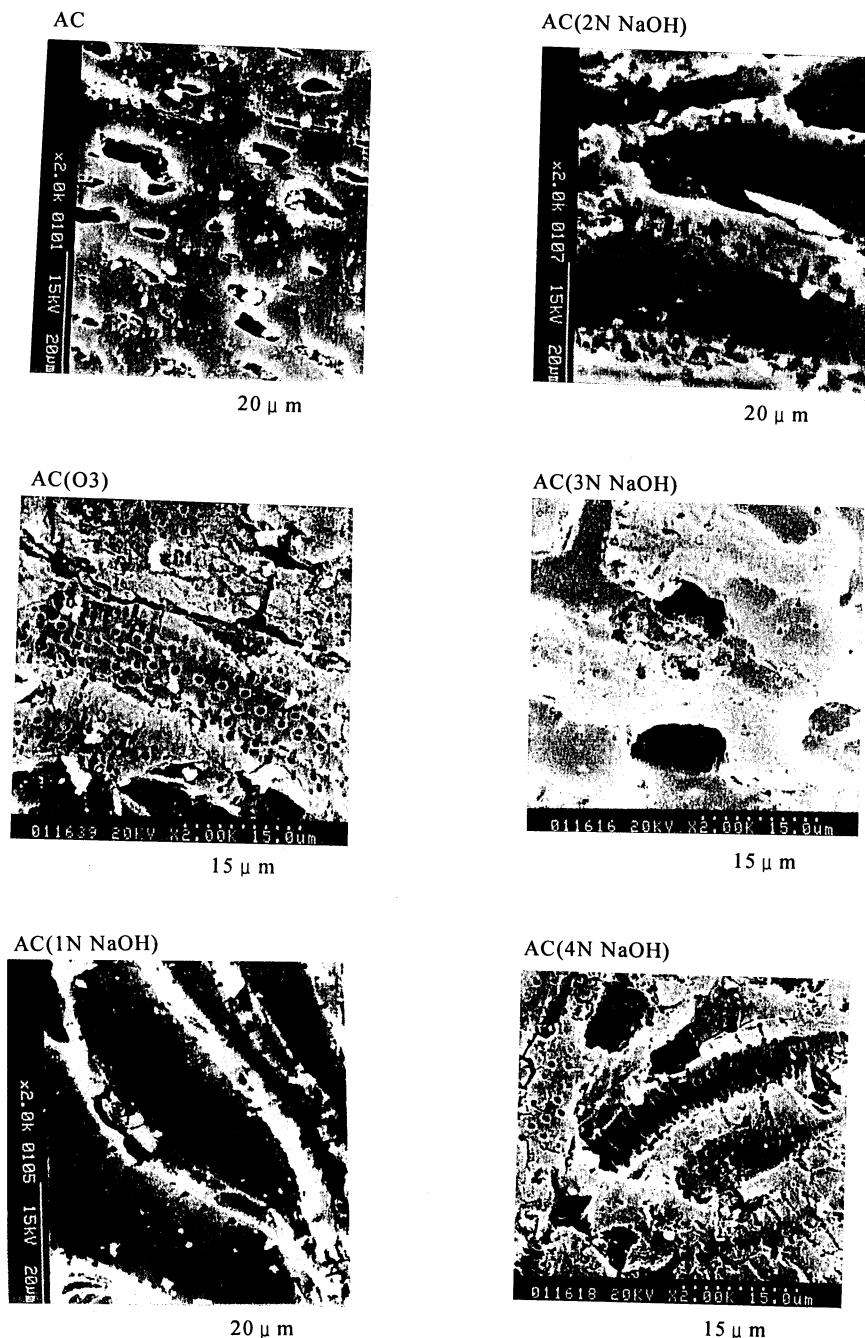
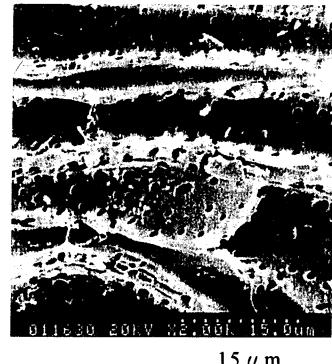


圖2 活性碳放大2,000O倍之SEM照片

AC(5N NaOH)



AC(3N NaOH+O₃)



AC(1N NaOH+O₃)



AC(4N NaOH+O₃)



AC(2N NaOH+O₃)



AC(5N NaOH+O₃)

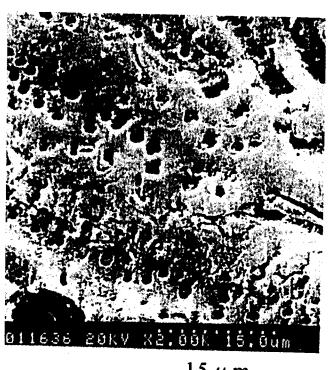


圖2 活性碳放大2,0000倍之SEM照片(續)

3.2 活性碳化學特性分析

由元素分析結果顯示AC、AC(O₃)、含浸NaOH的活性碳及經NaOH及O₃處理之活性碳，主要微量元素含量為S、Ca、Na、Fe、Mg、K及Al，而Pb、As、Se、Cr及Sb則為較次要之元素。經NaOH處理後活性碳之Mg、Ca、Sr、Cd、Ba，皆有隨著NaOH處理濃度增加而增加之趨勢，同時顯示NaOH中應含有Mg、Ca、Sr、Cd、Ba等金屬成份而造成此現象；Fe、Cr、Mn、Ni四種元素皆以處理前之AC濃度最高，經NaOH及O₃處理後其濃度有降低之現象，顯示由於NaOH及O₃的作用生成可溶水及鹼之Fe、Cr、Mn、Ni化合物而降低該成份濃度。此外硫元素亦因NaOH及O₃的處理，其濃度隨著NaOH濃度增加而降低。顯示NaOH與S反應生成可溶性之化合物，而S可能與O₃生成硫氧化物，而造成活性碳之硫濃度減少。由IR分析結果發現12種活性碳表面之可能振動團基有：苯環、C-H團基、環上的C-H團基、COOH、C-O-C團基、碳=碳雙鍵、C=O、CH₃及OH團基。比較經不同處理程序活性碳之吸收峰，因受NaOH及O₃作用之影響，表面化學特性改變，而造成吸收峰有化學位移之現象。其中臭氧處理活性碳對表面含氧官能基有顯著之增加，但表面官能基所佔比例與處理前差異不大。而NaOH氧化活性碳，對表面含氧官能基增加效能亦相當顯著。三類官能基之增加量主要以羥基(OH)為主。經NaOH及臭氧處理之活性碳則顯示NaOH的作用使活性碳表面呈鹼性而造成O₃趨向自由基反應，而有濃度較穩定之含氧官能基生成，臭氧的作用亦促使於相對較低之NaOH濃度下有較高之含氧官能基生成。由於活性碳表面存在羥基(OH)、羧基(COOH)、羰基(C=O)等酸性或其它鹼性官能基，因此在水合(Hydration)後，活性碳表面會因其官能基的特性不同，而有帶正電荷或負電荷的差異。比較界達電位分析量測之總電荷(N_B)Boehm滴定法滴定之活性碳羥基(OH)、羧基(COOH)及羰基(C=O)三種官能基含量，顯示界達電位之量測值均大於Boehm滴定法分析之三種含氧官能基總和，造成兩者差異之原因除來自分析方法的不同外，亦可能由於活性碳表面其它團基產生水合電荷造成。活性碳經臭氧及／或NaOH處理後，對表面化學特性之影響示如表2。

表2 臭氧及NaOH處理對活性碳化學特性之影響

處 理	化 理 特 性	結 果 說 明
O ₃	<ul style="list-style-type: none"> • 三種含氧官能基濃度顯著增加 • 表面酸度增加 • 元素組成中氧濃度增加 	因O ₃ 為強氧化劑，活性碳表面受O ₃ 氧化，酸化含氧官能基增加。
NaOH	<ul style="list-style-type: none"> • 三種含氧官能基濃度顯著增加，但其中C=O官能基僅在 AC(3N NaOH)及 AC (5N NaOH)顯著增加 • 表面酸度增加 • 元素組成中氧濃度增加 	NaOH對活性碳有侵蝕／氧化作用，故使活性碳表面酸性官能基增加。且由化學計量觀點分析，若NaOH與活性碳為表面反應則以3N NaOH之反應效果最佳。
NaOH+O ₃	<ul style="list-style-type: none"> • 含氧官能基濃度皆顯著增加，通臭氧後C=O顯著增加 • 表面酸度增加 • 元素組成中氧濃度增加 	由於NaOH與O ₃ 皆會氧化／侵蝕活性碳，於活性碳表面生成含氧官能基。另外由於O ₃ 之氧化能力較NaOH強，所以有較多C=O生成。

3.3 活性碳吸附量分析

本階段針對原活性碳[AC]、臭氧處理之活性碳[AC(O₃)]及經1~5N NaOH含浸再通臭氧之活性碳[AC(1N NaOH+O₃)~AC(5N NaOH+O₃)]，使用苯(Benzene)及甲乙酮(MEK)為吸附質，不同濃度之吸附量如表3及4與圖3及4所示。AC(O₃)隨進流濃度降低而吸附量減少之比例較AC大，可能由於AC經臭氧處理後，其表面含氧官能基增加，造成AC(O₃)表面極性程度大於AC。為探討溫度變化對活性碳吸附效能之影響，本研究針對進流濃度約5%的苯，於10°C至120°C以AC及AC(O₃)為吸附劑分析其等溫吸附曲線及吸附量（如表5），結果顯示溫度變化對AC(O₃)吸附苯之能力影響較AC大。可能AC(O₃)表面含較多之極性官能基，分子受熱後因振動而影響吸附效能。同時由活性碳對苯之最初10分鐘吸附速度（如表6）顯示AC(O₃)之苯吸附速率受溫度變化影響大於AC。由AC及AC(O₃)低溫之苯吸附速率比較顯示，低溫時(30°C以下)AC(O₃)之吸附速率約大於AC10%，而於30°C至90°C兩者吸附速率之差異不

大；於120°C之高溫下，AC(O₃)之苯吸附速率受溫度影響極大，吸附率僅為AC之79%。此結果可能由於低溫時苯之吸附受比表面積、孔隙之影響較官能基之作用大，而由於AC(O₃)之比表面積大於AC故有較大之吸附速率；高溫時則由於AC(O₃)表面極性官能基受溫度作用，振動之能量增加而影響其吸附能力。

表3 活性碳吸附苯之飽和吸附量分析

濃 度	AC	AC(O ₃)	AC (1N NaOH+O ₃)	AC (2N NaOH+O ₃)	AC (3N NaOH+O ₃)	AC (4N NaOH+O ₃)	AC (5N NaOH+O ₃)
2486ppm	226±18 (1.00) ¹	212±6 (0.94)	226±20 (1.00)	230±4 (1.02)	224±10 (0.99)	222±24 (0.98)	228±6 (1.01)
2019ppm	222±8 (1.00)	204±12 (0.92)	224±8 (1.01)	214±4 (0.96)	216±18 (0.97)	214±16 (0.96)	212±24 (0.95)
1465ppm	2.18±30 (1.00)	194±4 (0.89)	218±12 (1.00)	196±8 (0.90)	210±6 (0.96)	206±6 (0.94)	192±16 (0.88)
784ppm	208±10 (1.00)	182±20 (0.88)	214±14 (1.03)	170±6 (0.82)	202±8 (0.97)	198±8 (0.95)	168±14 (0.81)
372ppm	204±14 (1.00)	176±16 (0.86)	206±10 (1.01)	150±12 (0.74)	196±4 (0.96)	192±20 (0.94)	154±10 (0.75)

1：括號內之數值為經臭氧及氫氧化鈉處理後活性碳與處理前活性碳對苯吸附量之比值

表4 活性碳吸附MEK之飽和吸附量分析

濃 度	AC	AC(O ₃)	AC (1N NaOH+O ₃)	AC (2N NaOH+O ₃)	AC (3N NaOH+O ₃)	AC (4N NaOH+O ₃)	AC (5N NaOH+O ₃)
1470ppm	214±10 (1.00) ¹	230±10 (1.07)	224±14 (1.05)	214±14 (1.00)	220±4 (1.03)	212±22 (0.99)	210±8 (0.98)
1200ppm	200±18 (1.00)	192±22 (0.96)	220±6 (1.10)	204±2 (1.02)	202±8 (1.01)	200±24 (1.00)	200±14 (1.00)
800ppm	192±8 (1.00)	176±16 (0.92)	214±20 (1.11)	200±24 (1.04)	192±34 (1.00)	196±24 (1.02)	190±8 (0.99)
500ppm	186±30 (1.00)	158±20 (0.85)	204±12 (1.10)	204±12 (1.10)	178±20 (0.96)	190±16 (1.02)	188±16 (1.01)

1：括號內之數值為經臭氧及氫氧化鈉處理後活性碳與處理前活性碳對MEK吸附量之比值

154 活性碳物理化學特性對VOCs吸附之影響

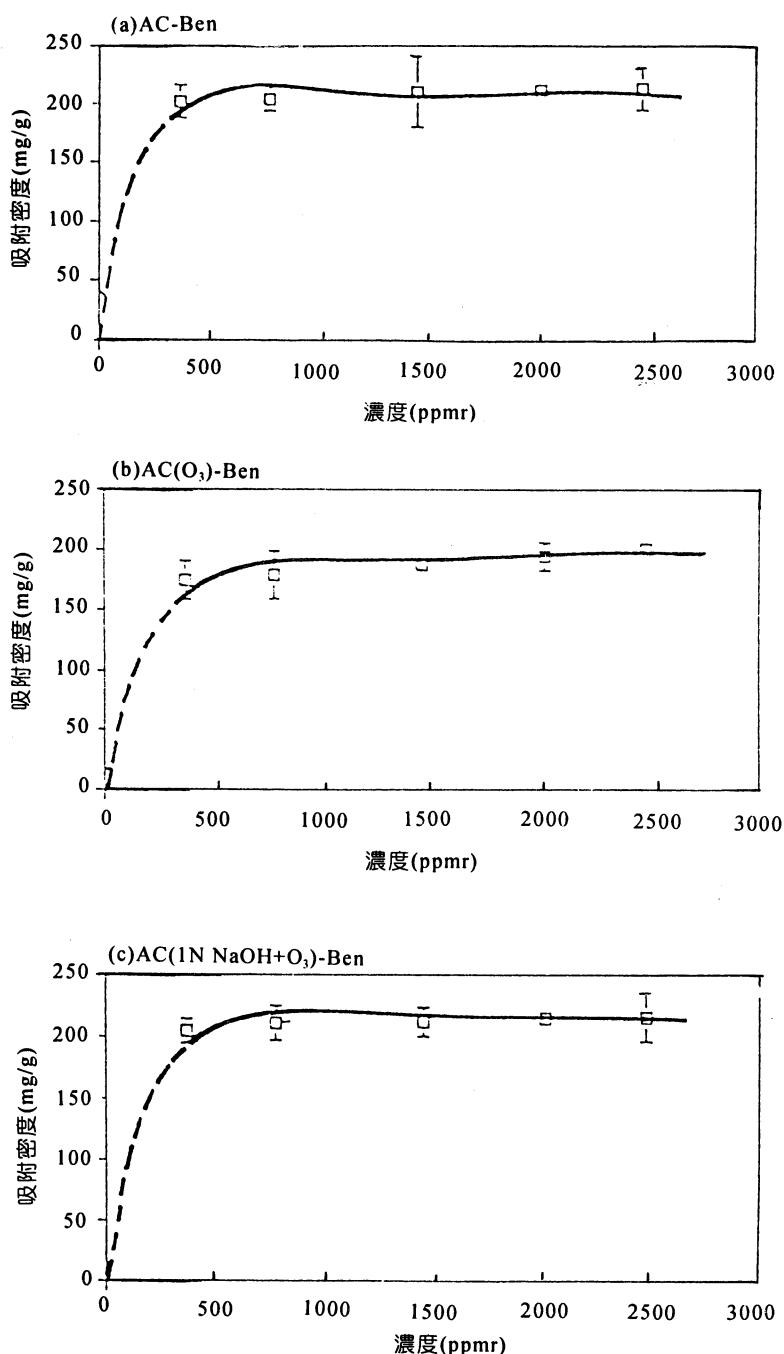


圖 3 活性碳對不同濃度苯之吸附量曲線

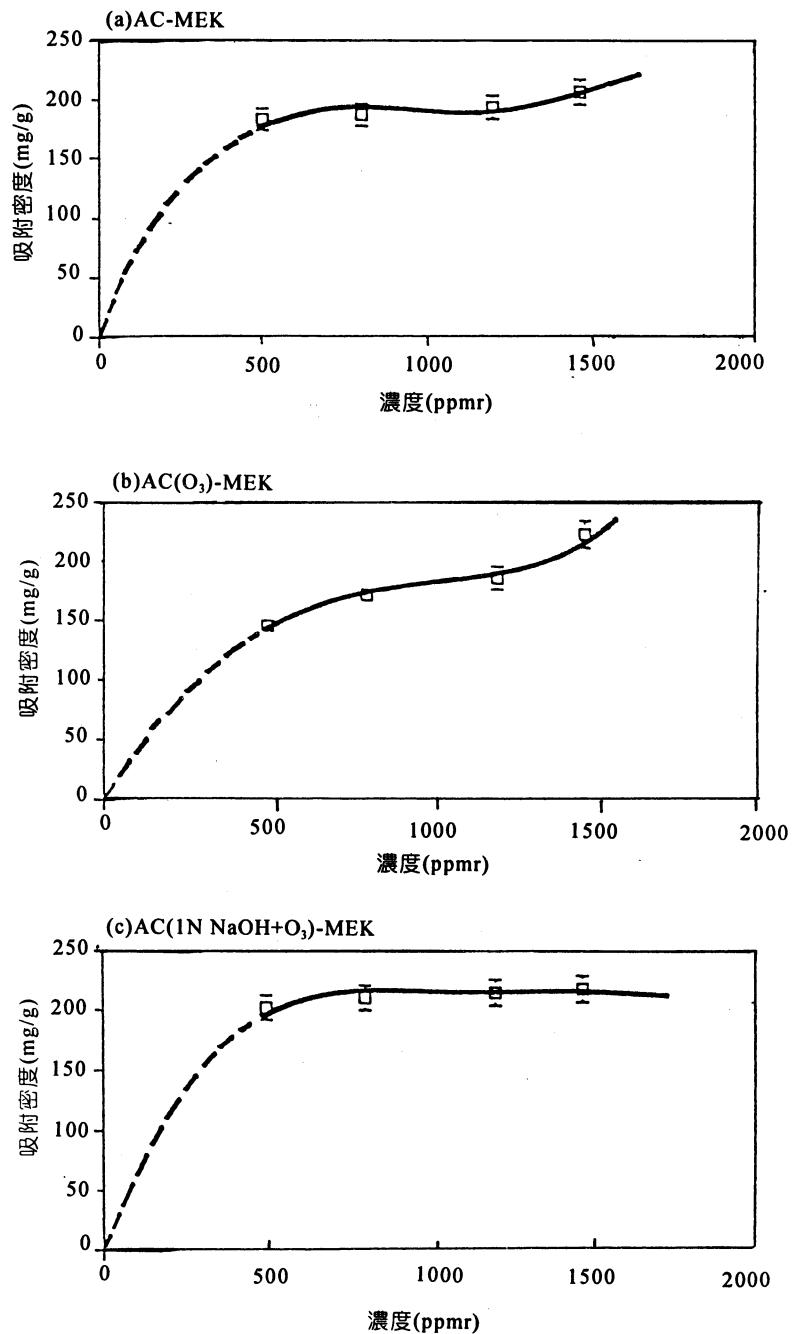


圖 4 活性碳對不同濃度MEK之吸附量曲線

表5 不同溫度下AC及AC(O₃)–苯之飽和吸附量(n=4)

溫 度	AC(mg/g)	AC(O ₃)(mg/g)	AC(O ₃)/AC
10°C	268±4	262±10	0.98
30°C	254±6	245±18	0.96
40°C	241±24	239±6	0.99
60°C	229±16	199±14	0.87
80°C	216±2	187±7	0.86
120°C	192±12	158±6	0.82

表6 不同溫度下AC及AC(O₃)–苯之前10分鐘吸附速率(n=4)

溫 度	AC(mg/g)	AC(O ₃)(mg/g/min)	AC(O ₃)/AC
10°C	14.11±1.89	15.8±1.25	1.13
30°C	19.2±2.61	21.2±0.42	1.11
40°C	21.9±2.99	22.1±0.98	1.01
60°C	21.5±0.85	19.7±0.90	0.92
80°C	20.0±0.05	18.4±0.77	0.91
120°C	19.1±0.15	15.1±1.0	0.79

3.4 活性碳吸附模式分析

活性碳之吸附模式在本研究中主要藉由Dubinin-Raduskevich(D-R)、Dubinin-Astakhov(D-A)、Freundlich、Langmuir、修正的BET方程式、潛勢理論(Potential theory)、極性理論(Polarization theory)及Harkins-Jura theory等公式評估。假設苯分子之截面為44A²，分析苯於不同分壓下之覆蓋比例(θ)如圖5所示。表7為以D-R、D-A、Langmuir、Freundlich、BET、潛勢理論、極性理論及Harkins-Jura理論分別計算七種活性碳對苯吸附量之計算誤差。由表中分析顯示八種方法對活性碳吸附苯之計算能力誤差皆小於60%，而平均誤差小於3.0%左右；其中平均誤差最大為BET，而誤差最小為潛勢理論。

BET之計算誤差最大，乃由於BET公式中，當分壓低時，C值愈大其等溫吸附線愈陡，而由於本實驗之分壓(P_0/P)均小於0.02，且由實驗之等溫吸附結果，BET公式之C值介於450~2600之間，所以在低分壓未能與實驗結果相吻合。潛勢理論之計算結果與本實驗數據較符合，乃由於潛勢理論之基本假設為吸附質以擴散型式傳送至活性碳顆粒，而後氣固相間再發生反應，與本實驗系統相符合，故對於本實驗之結果有較佳的預測能力。對於D-R與D-A公式，每種吸附質均有其固定的親和係數(β)，其估計方式有三分別為(1)molar volume ratio,(2)Polarization,(3)Parachor，實驗結果以molar volume ratio方法最好，平均誤差為8.7%和8.5%，Polarization方法最差，但藉由D-R及D-A公式預測七種吸附劑對MEK之吸附量均較實驗值有低估的現象。表8比較Freundlich、Langmuir及BET對MEK吸附之計算誤差，介於0.2至5.2%之間。其中Freundlich方程式之計算結果較Langmuir及BET方程式好。由於目前之吸附公式如Langmuir及Freundlich方程式只考量吸附質進流濃度變化與吸附量之關係，而D-R與D-A公式考量吸附劑之孔隙體積(W_0)與吸附潛勢(A)之關係，亦僅考量吸附劑之物理特性，而未考量化學特性，因此對含氧官能基較多的吸附劑適用性較差。基於此，本研究依據D-R及D-A公式之微孔隙填滿理論再考量活性碳表面含氧官能基等化學特性，進行吸附量與活性碳物理化學特性之統計分析。藉統計經驗模式分析經不同處理程序之七種吸附劑，於30°C時對不同濃度之苯及MEK其吸附方程式為

$$W = -0.00001039(A) - 0.001956(BET) + 4.072(MV) - 0.1437(OFG) + 0.8538(OH) - 0.105(CO) - 0.09356(COOH) - 0.34751(\beta) + 0.8869, R^2 = 0.76$$

其中W為吸附劑對吸附質吸附量；A為吸附潛勢；BET為BET比表面積；MV為微孔隙體積；OFG為三種含氧官能基濃度；OH為羥基濃度；CO為羰基濃度；而COOH為羧基濃度； β 為吸附質莫耳體積之親和係數。

統計經驗模式之計算結果與實驗值比較如圖6(a)所示，其計算平均誤差為3.7%；此外將本研究於70°C(343K)選擇AC、AC(O₃)、AC(2N NaOH+O₃)三種吸附劑於不同濃度下對苯及MEK吸附之實驗結果與模式預測比較如圖6(b)所示，平均之預測誤差為16.1%。由上述實驗分析之結果顯示，將吸附劑的物理化學特性、吸附質的特性及吸附操作條件(濃度、溫度)整合以統計經驗模式來預測不同吸附劑及吸附質之吸附，預測誤差小於20%，未來應有相當工程應用上的價值。

158 活性碳物理化學特性對VOCs吸附之影響

表7 苯吸附實驗與D-R、D-A、Langmuir、Freundlich、BET、Potential Theory、Polarization Theory、Harkins-Jura Theory^{±†}
算誤差比較

吸附劑	D-R Eq. 計算誤差 (%)	D-A Eq. 計算誤差 (%)	Langmuir Eq. 計算誤差 (%)	Freundlich Eq. 計算誤差 (%)	BET Eq. 計算誤差 (%)	Potential Theory 計算誤差 (%)	Polarization Theory 計算誤差 (%)	Harkins-jura 計算誤差 (%)
AC	0.9	0.8	1.3	0.6	1.5	0.4	1.1	1.0
AC(O ₃)	1.8	2.1	2.8	1.5	3.2	1.3	1.8	2.5
AC(1NNaOH+O ₃)	0.4	0.4	0.9	0.3	0.9	0.3	0.5	0.7
AC(2NNaOH+O ₃)	2.4	3.1	4.3	1.7	4.7	1.6	2.6	2.6
AC(3NNaOH+O ₃)	1.2	1.5	1.7	1.1	2.2	0.9	1.1	1.8
AC(4NNaOH+O ₃)	1.4	1.7	2.1	1.3	2.6	1.0	1.4	2.2
AC(5NNaOH+O ₃)	3.4	4.0	5.1	2.6	5.6	2.4	3.2	2.8
平均值	1.6	1.9	2.7	1.3	3.0	1.1	1.7	1.6

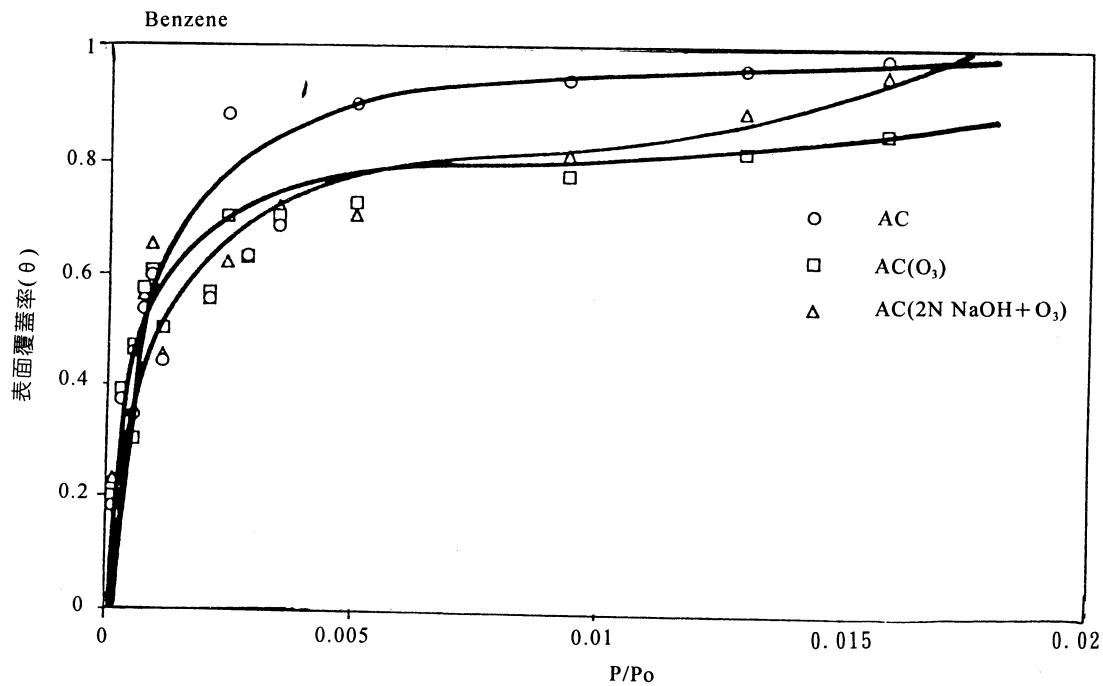
圖5 AC,AC(O₃),AC(2N NaOH + O₃)於不同分壓下對苯吸附之表面覆蓋率

表8 MEK吸附實驗值與Langmuir、Freundlich及BET計算誤差比較

吸附劑	Langmuir Eq. 計算誤差(%)	Freundlich Eq. 計算誤差(%)	BET Eq. 計算誤差(%)
AC	2.2	1.7	2.4
AC(O ₃)	4.9	3.9	5.2
AC(1N NaOH + O ₃)	0.25	0.23	0.22
AC(2N NaOH + O ₃)	1.6	1.4	1.8
AC(3N NaOH + O ₃)	2.2	1.5	2.4
AC(4N NaOH + O ₃)	1.7	1.3	1.9
AC(5N NaOH + O ₃)	2.0	1.6	2.3
平均值	2.1	1.7	2.2

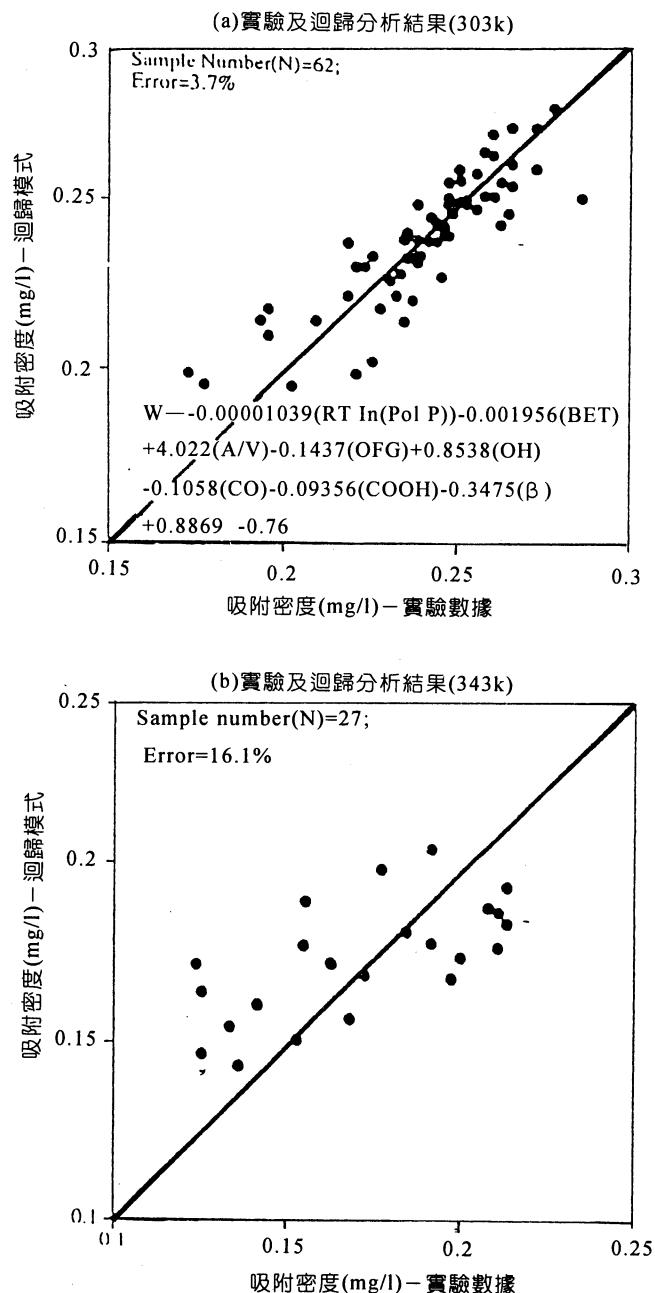


圖 6 活性碳物化特性統計經驗模式對苯及MEK之吸附量分析

四、結論與建議

- 1.活性碳經臭氧處理後物理特性有顯著改變，但含浸NaOH之活性碳因NaOH乾燥後，附著於活性碳表面而影響臭氧與活性碳的作用，故含浸NaOH後再通臭氧之活性碳物理特性改變並不顯著。
- 2.臭氧及NaOH處理對活性碳的含氧官能基、表面酸度及組成成分中，含氧濃度皆有明顯增加；其中官能基增加量主要以羥基(OH)及羧基(COOH)為主。
- 3.評估Langmuir、Freundlich、D-R、D-A、BET方程式、潛勢理論、極性理論及Harkins-Jura理論等在活性碳對苯吸附量分析之適用性顯示，潛勢理論之計算誤差最小。乃因潛勢理論中假設吸附質以擴散方式傳送至吸附劑表面，與本實驗系統相符合，故較適用。
- 4.D-R及D-A公式對苯及MEK之吸附量預測能力無顯著差異；以親和係數(β)修正D-R及D-A公式來預測七種吸劑對MEK之吸附量時，三種估算 β 值的方法中以Molar volume ratio方法最好，其餘依序為Parachor方法及Polarization方法。
- 5.活性碳物化特性、吸附質特性及吸附操作條件對吸附量之統計分析結果顯示，統計經驗模式對30°C(303K)時苯及MEK吸附量之計算誤差約3.0%；而70°C(343K)時苯及MEK吸附量之誤差約為16.1%，顯示此統計經驗模式頗具應用價值。
- 6.本研究使用之COSMOS活性碳為椰殼材質，將來可考慮使用泥煤、木材等其它材質製成之活性碳，比較其物化特性在NaOH及O₃處理後之變化。
- 7.本研究僅探討苯及MEK之吸附，後續之研究宜分析它揮發性有機物或無機性氣體之吸附反應。

參考文獻

1. Chiang, P.C. and J.H. You, The Possible Utilization of Waste Sludge As Adsorbent for Removal of Organic Vapor, *J. Wastewater Science Technology*, vol. 18, pp.413-420,1986.
2. Chiang, P.C. and J.H. You, Use of Sewage Sludge for Manufacturing Adsorbents, *Can. J. of Chemical Engineering*, vol. 65, pp. 912-920, 1987.
3. Chiang, P.C. and J.S. Wu, Evaluation of Chemical and Thermal Regeneration of Activated Carbon, *Water Science and Technology*, vol. 21, 1697-1701, 1989.
4. Chiang, P.C., F.T. Jeng and J.H. You, The Utilization of the Reclaimed Adsorbent for Removal of Organic Vapor, *Proc. 7th World Clean Air Congress & Exhibition*, Sydney, Australia, vol. 1, pp. 383-390,1986.
5. Chiang, P.C. and J.S. Wu, Adsorption and Desorption of Phenolic, Benzyl and Naphthyl Compounds by Activated Carbon, *Proceedings of the 1988 NSC/CSIR Binational Symposium on Environmental Technology*, Taipei, Taiwan, ROC, Oct, 1988.
6. Everett, D.H. and R.H. Ottewill, Surface Area Determination, *Proceedings of the International Symposium on Surface Area Determination*, University of Bristol, U.K., 16-18, July, 1969.
7. Bansal, R.C., J.B. Donnet and F. Stoeckli, *Activated Carbon*, Marcel Dekker Inc. New York and Basel, 1990.
8. Kinoshita, K., *Carbon:Electrochemical and Physico-chemical Properties*, John Wiley & Sons, 1988.
9. Corapcioglu, M.O. and C.P. Huang, The Surface Acidity and Characterization of Some Commercial Activated Carbons, *Carbon*, vol. 25, pp. 569-578, 1987.