

結合臭氧與活性碳高級處理程序應用之研究

張添晉¹ 潘勇文² 顏佳慧³

摘要

本研究為模廠結合臭氧與活性碳之高級處理程序，模廠位於基隆市六堵淨水廠，原水經前氣、混凝、沈澱及過濾等傳統淨水程序，再經實驗模廠進行清水之高級處理研究，探討臭氧結合活性碳程序對於天然有機物及消毒副產物之產生及去除能力，並了解臭氧前處理對粒狀活性碳吸附之影響，以評估臭氧結合活性碳處理於傳統淨水廠實廠應用之可行性。

本模廠之進流水為六堵淨水廠之瑪陵坑溪系統與基隆河系統清水，以不同高級處理程序在特定之操作條件下之處理能力。結果顯示，瑪陵坑溪系統之清水經 O_3/GAC 程序，可再去除清水 70% 之 TOC，GAC 單元可去除 50% 之 TOC，臭氧劑量為 2.5 mg/L 時對活性碳吸附 TOC 並無明顯助益，而臭氧劑量 4.5 mg/L 時主要有助於活性碳單元之操作，且對活性碳吸附能力稍有提昇，基隆河系統之清水經 O_3/GAC 可去除 70% 之 TOC，然而 GAC 單元可以去除 75% 之 TOC。

此外，有鑑於甲醛及乙醛為常見之臭氧副產物，實驗中經臭氧處理後其生成量並無增加，但經活性碳吸附後單位 TOC 之甲醛及乙醛比值將會增加，其原因為活性碳對 TOC 有良好之吸附效果，但對甲醛及乙醛效果不佳，故模廠進流水經臭氧處理後，對甲醛及乙醛之生成量無太大改變與影響，且後續活性碳單元亦無法將之去除。

一、前言

國內自來水淨水廠早期設廠時原水水質尚屬良好，但目前以基隆河、大漢溪、曾文溪與東港溪為地面水源之淨水廠普遍遭受養豬廢水、家庭污水或工業廢水及垃圾場滲出水的污染，以致其大腸菌密度、氨氮、化學需氧量及總有機碳均有升高的趨勢。部分並已超過「飲用水水源水質」的最大限值，對於傳統水處理程序產生甚大衝擊，並有危及人體飲用安全之虞。

台灣自來水以地面水為主要的水源，但因河川短促且陡，暴雨高濁度的原水一直為淨水廠極大的挑戰，此外更由於集水區及河川附近山坡地濫墾情形嚴重，破壞水土保持使水源污染負荷增大。造成水源中有機物質含量升高的原因除部分人為因素外，全球大氣環境變遷所導致的有害污染物越境飄移與酸雨等非人為可控制因素，也是造成水源中有機物質含量無法有效控制的重要原因之一。由於水中大量的溶解性有機物質(或稱溶解性有機碳(dissolved organic carbon, DOC))，即所謂消毒副產物前驅物質(precursor)易與淨水處理中之消毒劑產生可能致癌的鹵化有機物質(或稱消毒副產物(disinfection byproducts, DBPs))，若與近來報載大腸癌已成為我國十大死因之一新聞相對照，顯示積極進行有關水源中有機物質去除的研究已屬刻不容緩。

台灣地區淨水廠處理程序多屬傳統單元，對微量污染物的控制效果有限，且對突增負荷的應變能力不佳，造成淨水後水質不佳的情況時有所聞，因此如何尋求可行的高級處理替代程序，以因應全球越來越嚴苛的飲用水標準法令，仍有相當大的努力空間。

面對微量有機物污染與毒性問題的挑戰，需全面重新評估水質標準及淨水技術，而消毒副產物乃最令人關切的議題之一。目前多數專家對傳統淨水程序的預氣、混凝、沈澱、過濾及後氣，所產生鹵化有機物的控制已遭遇瓶頸，一般認為去除加氯副產物的原則為：

1. 在加氯前去除三鹵甲烷前驅物質；
2. 在三鹵甲烷形成後去除；
3. 使用另一種不會形成三鹵甲烷消毒劑。

¹ 國立台北科技大學土木與防災所副教授

² 國立台北科技大學土木與防災所碩士班

³ 國立台北科技大學土木系大四學生

一般文獻中建議可採取降低加氯的替代方案有：改良式混凝、替代性消毒劑、臭氧及生物處理、粒狀活性碳及薄膜等。在這些替代方案中，活性碳及薄膜的使用對於 DBPs 前驅物質的去除常被認為是最有效的方法，美國法規 ICR(information collection rule)甚至將活性碳及薄膜評估為去除 DBPs 前驅物質最有潛力的程序。

二、實驗方法與設備

2-1 研究流程

本研究目的主要探討臭氧結合活性碳處理對於天然有機物(Natural Organic Matters, NOMs)及消毒副產物(DBPs)之去除能力，作為六堵淨水廠實廠應用之可行性評估。研究流程如圖 1。

2-2 水質檢驗方法

淨水處理各處理程序與單元水質分析的試驗工作，使研究人員能根據所得的水質數據，選擇正確的操作參數，並研判處理之效率並尋找操作維護上所遭遇問題之解決對策，才能正確解釋實驗結果。本試驗水樣採樣及保存分別依我國環保署公告之飲用水水質採樣方法—自來水系統採樣(NIEA W101.51A)以及水質檢測方法總則—保存篇(NIEA W102.50A)。

2-3 實驗設計與操作

本研究於六堵淨水廠進行模型廠實驗，該廠位於基隆市七堵區，屬於公告劃定基隆河系飲用水取水口一定距離內，自民國 63 年開始營運，主要供水地區為基隆市六堵區及七堵區，供水人口約 58,600 人，原水來自基隆河七堵河段六合橋處，六堵淨水廠淨水程序為預氣—混凝—沉澱—快濾，加氣方式為液態氣形成氣水注入原水混合，所採用混凝劑為多元氯化鋁(PAC)。目前該場出水量約每日 23,000 立方公尺，最大出水量約每日約 26,000 立方公尺，瞬時最大出水量約每小時 1,200 立方公尺，該廠並採基隆河及瑪陵坑溪兩種原水。

瑪陵坑溪系統清水 GAC 單元之 EBCT 採 1.0 min，基隆河系統清水則為 2.5 min，所採用 GAC 為國產和泰 MAX603 活性碳，為水蒸汽活化椰殼類 GAC，符合 AWWA B604-90 規範。O₃/GAC 處理程序之實驗流程如圖 2，實驗操作條件如表 1，水質採樣點及分析項目如表 2。

2-4 實驗設備

本文為模型廠規模實驗之研究，模型廠試驗可實廠之設計與操作之參考，主要優點為可建立實廠應用遭遇狀況時的改善對策，且試驗結果適用該廠址之應用。模廠設備示意圖如圖 3。

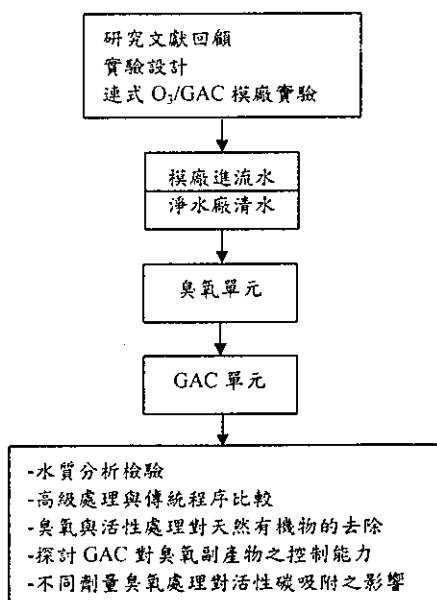


圖 1 研究流程圖

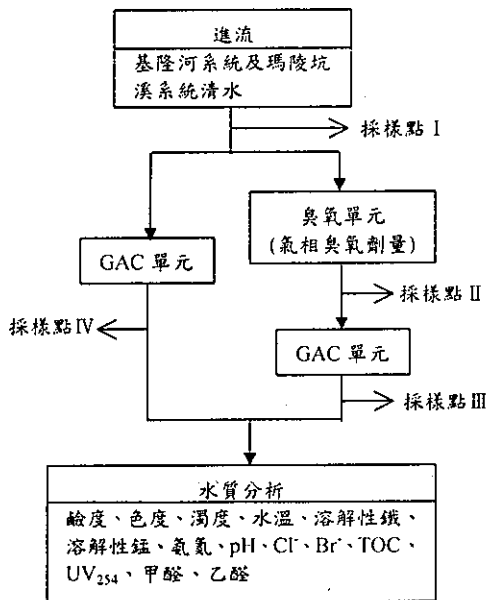


圖 2 O₃/GAC 程序實驗流程

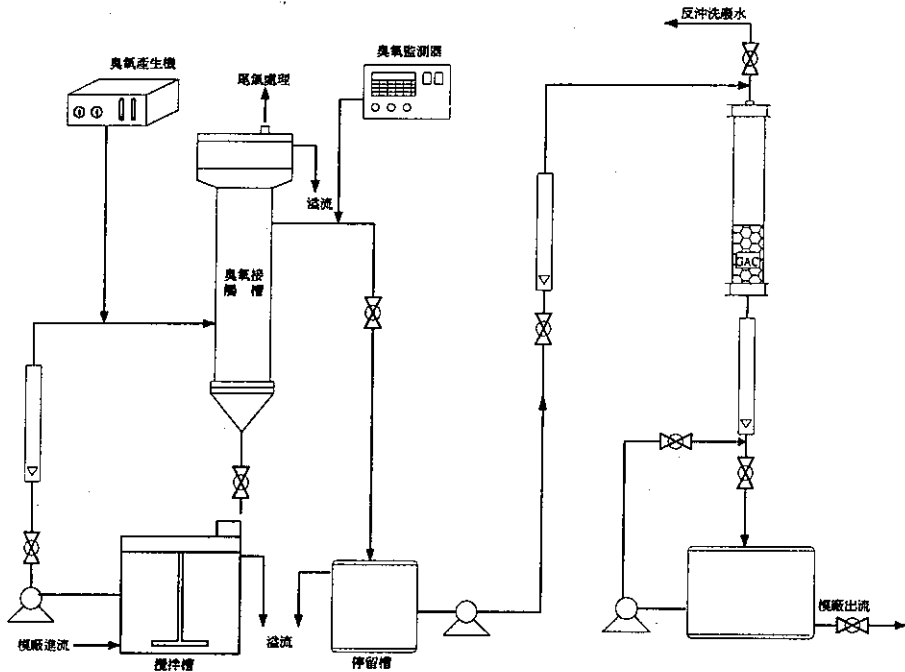


圖 3 模廠設備示意圖

表 1 實驗操作條件

清水	試程代號	臭 氧 單 元				GAC 單 元	
		進流水流量 (L/min)	O ₃ 氣體流量 (L/min)	接觸時間 (min)	氣相 O ₃ 劑量 (mg/L)	進流水流量 (mL/min)	EBCT (min)
瑪陵	試程一	1.0	5.0	12.5	2.5	200.0	1.0
坑溪	試程二	1.0	5.0	12.5	4.5	200.0	1.0
基隆	試程三	1.0	5.0	12.5	4.5	200.0	2.5
河	試程四	1.0	5.0	12.5	6.0	200.0	2.5

表 2 實驗檢測項目及採樣頻率

採樣點 (見圖 2)	檢 測 項 目	每一試程採樣頻率
I	TOC、UV ₂₅₄	48 hr
	鹼度、色度、濁度、水溫、pH	96 hr
	氯鹽、溴離子、氨氮、溶解性鐵、溶解性錳、甲醛、乙醛	2 次
II、III	TOC、UV ₂₅₄	48 hr
	色度、濁度、水溫、pH	96 hr
	氯鹽、溴離子、甲醛、乙醛	2 次
IV	TOC、UV ₂₅₄	48 hr
	色度、濁度、水溫、pH	96 hr
	氯鹽、溴離子	2 次

三、結果與討論

本文採六堵淨水廠清水為模廠進流，試程實驗期間氨氮及溴離子均未檢出，至於真色度、濁度、氯氣、氯鹽及 pH 皆符合我國「飲用水水質標準」，且瑪陵坑溪清水 UV_{254} 變化為 0.008 至 0.020 (1/cm)，TOC 變化為 0.17 至 1.04 (mg/L)，基隆河清水 UV_{254} 變化為 0.010 至 0.055 (1/cm)，TOC 變化為 0.70 至 2.83 (mg/L)。

3-1 傳統程序與 O_3 /GAC 高級處理比較

比較不同傳統程序與 O_3 /GAC 高級處理各單元，係了解在不同水質及程序下對水中有機物之處理能力，以其獲得適合進流水最佳操作程序及該水質之代表性指標。

水中天然有機物一般以 TOC 表示，而 UV_{254} 則代表水中有機物雙鍵結構的多寡，淨水工程的經驗顯示 TOC 與 UV_{254} 的相關性良好，且其濃度常與消毒副產物 (THMs 與 HAAs 等) 生成潛勢成正比，儘管加氯副產物生成潛勢因水中有機物而異，但與 UV_{254} 關係密切，故 UV_{254} 可用來評估各水廠處理單元去除加氯副產物生成潛勢之效果，以作為水中的消毒副產物生成潛勢的替代性指標。圖 4 與圖 5 為瑪陵坑溪及基隆河之 TOC 與 UV_{254} 相關性良好，故 UV_{254} 可作為六堵淨水廠水中有機物代表性指標。

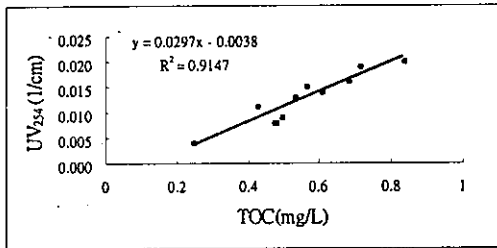


圖 4 瑪陵坑溪系統清水 TOC 與 UV_{254} 的相關性

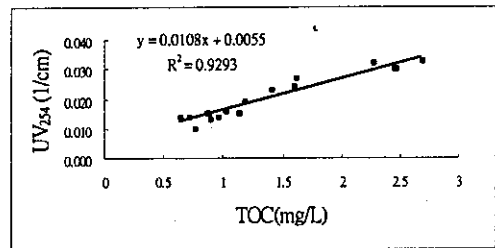


圖 5 基隆河系統清水 TOC 與 UV_{254} 的相關性

真色度為單寧酸、腐植酸等水中有機物、植物的膠體所引起 (Sawyer, 1994)，六堵淨水廠原水經傳統處理後已大幅降低色度，原水經混凝後真色度即符合我國飲用水水質標準，後續高級處理單元雖能降低真色度，但檢測值已接近方法偵測極限，事實上去除效果極為有限。

濁度可作為淨水廠清水水質的綜合性指標，瑪陵坑溪系統及基隆河系統之傳統程序處理，對原水濁度的去除率分別可達 96% 及 93.5%，而經後續高級處理則可達 99% 的去除效果；對模廠進流 0.8 至 1.5 NTU 的濁度而言，經高級處理後皆可降低至 0.2 NTU 以下，已接近薄膜處理的效果，但臭氧單元對濁度去除效果有限，顯示臭氧處理對濁度影響並不大。

不同單元出流水之傳統程序相對原水 TOC 去除率為 50 至 60%，其後之高級處理約可再去除原水中 80 至 90% 之 TOC；不同單元出流水的 UV_{254} 之傳統程序相對原水 UV_{254} 去除率約為 60%，後續高級處理約可降低原水 UV_{254} 至 90%。試驗結果顯示傳統處理對水中有機物的去除有限，再結合後續 O_3 /GAC 程序有較完全的移除能力。

3-2 臭氧處理對 GAC 吸附之影響

後臭氧單元處理的應用一般著重於 (1) 移除傳統程序無法去除的前驅物質；(2) 去除水中有機物以降低後氯的加氯量；(3) 減少需臭氧劑量。但後臭氧單元增加水中 NOM 的生物可分解性，因許多大分子有機物臭氧化後被轉變成可立即被生物分解的小分子有機物，引起生物在配水系統中過度生長及再生長，因此後臭氧後續的 GAC 單元若能增加生物活性，主要優點為 (1) 增加出流水的生物穩定性；(2) 降低除流水之 BDOC；(3) 控制臭氧副產物。工程上經驗顯示臭氧作用通常對降低有機物濃度不具效益，但常有助於 GAC 單元對水中有機物的去除。

表 3 及表 4 為不同單元處理後出流水有機物濃度，其中顯示臭氧單元可去除水中有機物。隨著臭氧劑量的提升，瑪陵坑溪清水 UV_{254} 之去除率由 25.0% 提升至 37.5%，基隆河清水 UV_{254} 之去除率由 7.3% 提升至 28.5%，但不同臭氧劑量對 TOC 的去除並無太大改變。水中 UV_{254} 值代表含共軛雙鍵結構 (如苯環) 以及含雙鍵之不飽和直鏈的水中有機物對紫外光的吸收度 (Sawyer, 1994)，臭氧具高氧化力易與有機物中較高能量之雙鍵或三鍵進行反應，將其斷裂成具較穩定結

構之簡單分子而減少水中 UV₂₅₄。原水中部份疏水性大分子於混凝沈澱程序已被去除，而清水中仍有多數親水性小分子，故後臭氣無法將其完全氧化。試驗期間臭氣劑量提高 UV₂₅₄ 的去除較 TOC 明顯，且相同臭氣劑量下 UV₂₅₄ 的去除率也較 TOC 為高，故本試驗中臭氣作用主要為降低水中有機物的雙鍵結構，避免大量的不飽和共軛雙鍵形成加氯副產物前驅物質，對於 TOC 完全礦化形成 CO₂ 及 H₂O 的能力有限。

表 3 臭氣作用對 TOC 去除之影響

		清水	O ₃	GAC	O ₃ /GAC	
瑪陵坑溪	O ₃ =2.5mg/L	TOC(mg/L)	0.62	0.60	0.39	0.25
		相對清水去除率(%)	-	3.2	37.1	59.7
	O ₃ =4.5mg/L	TOC(mg/L)	0.60	0.55	0.22	0.18
		相對清水去除率(%)	-	8.3	63.3	70.0
	O ₃ =6.5mg/L	TOC(mg/L)	0.43	0.41	-	0.23
		相對清水去除率(%)	-	4.6	-	46.5
基隆河	O ₃ =4.5mg/L	TOC(mg/L)	2.68	2.56	0.48	0.63
		相對清水去除率(%)	-	4.5	82.1	76.5
	O ₃ =6.0mg/L	TOC(mg/L)	0.73	0.70	0.17	0.21
		相對清水去除率(%)	-	4.1	76.7	71.2

表 4 臭氣作用對 UV₂₅₄ 去除之影響

		清水	O ₃	GAC	O ₃ /GAC	
瑪陵坑溪	O ₃ =2.5mg/L	UV ₂₅₄ (1/cm)	0.008	0.006	0.003	0.002
		相對清水去除率(%)	-	25.0	62.5	75.0
	O ₃ =4.5mg/L	UV ₂₅₄ (1/cm)	0.014	0.009	0.005	0.001
		相對清水去除率(%)	-	35.7	64.3	92.8
	O ₃ =6.5mg/L	UV ₂₅₄ (1/cm)	0.008	0.005	-	0.001
		相對清水去除率(%)	-	37.5	-	87.5
基隆河	O ₃ =4.5mg/L	UV ₂₅₄ (1/cm)	0.041	0.038	0.006	0.006
		相對清水去除率(%)	-	7.3	85.4	85.3
	O ₃ =6.0mg/L	UV ₂₅₄ (1/cm)	0.014	0.010	0.003	0.004
		相對清水去除率(%)	-	28.5	78.6	71.4

穿透曲線一般常用來評估 GAC 單元的功能，瑪陵坑溪清水於 GAC 單元之處理，從圖 6 可知臭氣處理對 GAC 單元功能並無提升，試程後期反而較快速飽和穿透。而臭氣劑量提高為 4.5 mg/L 時，對 TOC 去除並無太大改變，從圖 7 臭氣劑量提高主要有助於延長 GAC 單元的使用時間，由於六堵淨水廠仍有多數大分子有機物穿透快濾床進入清水，當 GAC 孔隙被阻塞時，僅藉 GAC 單元的過濾機制易造成 TOC 的穿透，因此當較高劑量的臭氣將大分子有機物打碎成較小碎塊時，可減少 GAC 孔隙的阻塞使其充分發揮吸附功能，增加 GAC 單元的使用時間。圖 8 及圖 9 顯示對於基隆河清水，臭氣作用對 GAC 單元造成不利影響，使其吸附功能降低而較快速飽和穿透，且臭氣劑量提高為 6.0 mg/L 時，臭氣對 TOC 穿透曲線的影響已無太大差別，但仍稍微降低 GAC 單元的吸附能力。

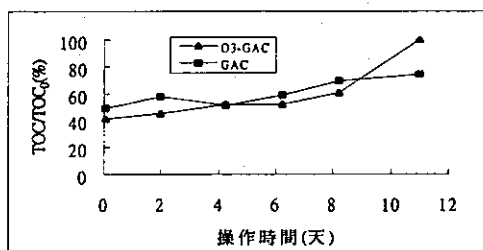


圖 6 臭氧作用對 TOC 穿透曲線影響 (瑪陵坑溪, O₃=2.5mg/L, EBCT=1.0min)

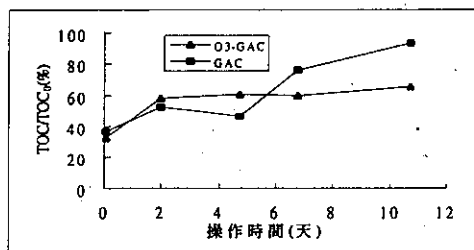


圖 7 臭氧作用對 TOC 穿透曲線影響 (瑪陵坑溪, O₃=4.5mg/L, EBCT=1.0min)

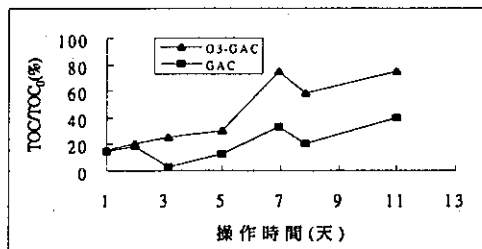


圖 8 臭氧作用對 TOC 穿透曲線影響 (基隆河, O₃=4.5mg/L, EBCT=2.5min)

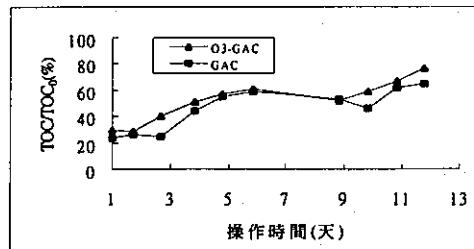


圖 9 臭氧作用對 TOC 穿透曲線影響 (基隆河, O₃=6.0mg/L, EBCT=2.5min)

臭氧作用對瑪陵坑溪清水有正面效益，但對於基隆河系統清水反有不利影響，其原因應為清水中有機物的特性不同導致，瑪陵坑溪清水中有機物可能以疏水性大分子有機物為主，水中經臭氧作用後使有機物分子量變小且官能基增多，但分子的溶解性並沒有改變而有助於後續 GAC 單元的吸附；基隆河系統清水應以親水性小分子佔優勢，因臭氧作用後導致不易吸附的官能基變多以及分子的溶解度增加，使 GAC 吸附功能降低。

由於現場立即測定 TOC 常有設備上的困難，故 UV₂₅₄ 常用來作為有機物的評估指標，模廠進流水各經兩種劑量臭氧處理後，較低臭氧劑量與未經臭氧處理之 UV₂₅₄ 穿透曲線差異較大，提高臭氧劑量時，較高劑量臭氧使得 UV₂₅₄ 穿透曲線差異變小。實廠應用 GAC 單元時，TOC 與 UV₂₅₄ 何者較容易達成穿透也十分令人關心，試驗期間 GAC 單元 UV₂₅₄ 較穿透曲線大致較 TOC 慢，經臭氧處理的 GAC 單元也有相同結果。

3-3 不同高級處理之比較

為了解不同高級處理程序對水中有機物及無機物去除能力，分別探討臭氧、活性碳與 O₃/GAC 程序於試程期間達 50% 穿透前，對真色度、濁度、氯鹽、UV₂₅₄ 及 TOC 的去除。

不同高級處理出流水之真色度，其中臭氧單元、活性碳單元與 O₃/GAC 程序皆能去除水中真色度，但由於進流清水真色度很低，故處理效果差異極為有限。

活性碳單元與臭氧/活性碳程序皆能大幅降低濁度，不同高級處理出流水之濁度，試程一經臭氧單元(O_{3(g)}=2.5 mg/L)有時對濁度並無影響，而試程二、試程三及試程四臭氧單元均稍能降低濁度，至於活性碳單元與 O₃/GAC 程序於試程一前期均能降低濁度，在後期時因活性碳提高穿透現象造成出流水濁度反而提高，但試程二、試程三及試程四中即使活性碳穿透之後，出流濁度仍低於進流清水。

至於對氯鹽的去除影響差異不大，其原因應為氯離子分子量太低所造成，圖 10 至圖 17 則為不同高級處理對 TOC 及 UV₂₅₄ 的影響，對瑪陵坑溪清水平均出流水質來看，O₃/GAC 處理為最佳處理程序，且較佳氣相臭氧劑量為 4.5 mg/L，但對於基隆河清水，則以 GAC 單元處理能力較好。

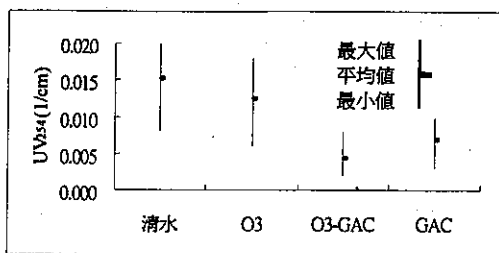


圖 10 不同高級處理出流水之 UV_{254}
(瑪陵坑溪, $O_3=2.5\text{mg/L}$, $EBCT=1.0\text{min}$)

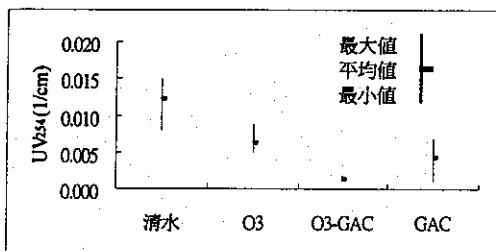


圖 11 不同高級處理出流水之 UV_{254}
(瑪陵坑溪, $O_3=4.5\text{mg/L}$, $EBCT=1.0\text{min}$)

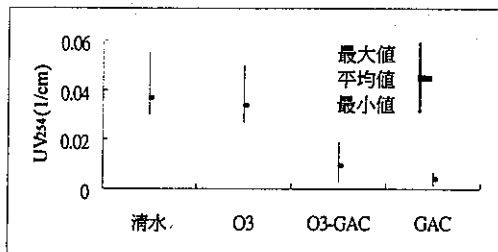


圖 12 不同高級處理出流水之 UV_{254}
(基隆河, $O_3=4.5\text{mg/L}$, $EBCT=2.5\text{min}$)

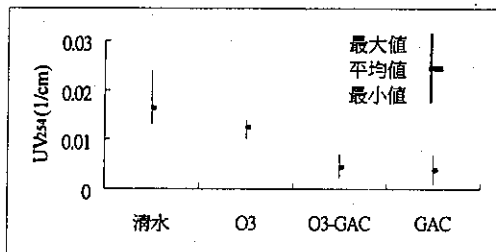


圖 13 不同高級處理出流水之 UV_{254}
(基隆河, $O_3=6.0\text{mg/L}$, $EBCT=2.5\text{min}$)

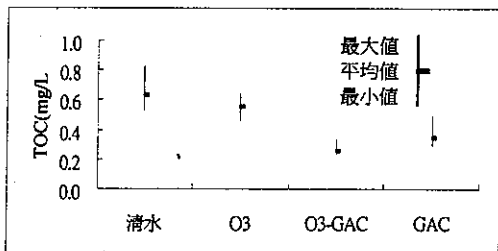


圖 14 不同高級處理出流水之 TOC
(瑪陵坑溪, $O_3=2.5\text{mg/L}$, $EBCT=1.0\text{min}$)

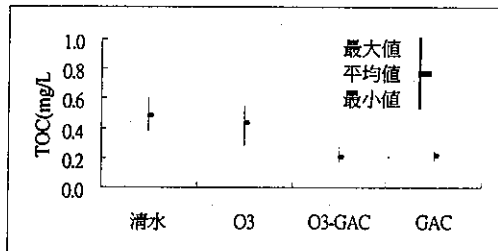


圖 15 不同高級處理出流水之 TOC
(瑪陵坑溪, $O_3=4.5\text{mg/L}$, $EBCT=1.0\text{min}$)

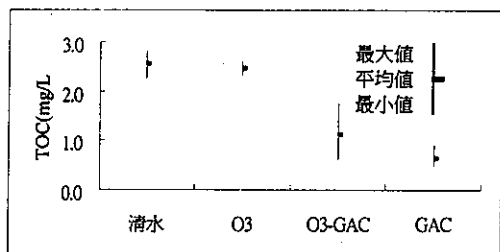


圖 16 不同高級處理出流水之 TOC
(基隆河, $O_3=4.5\text{mg/L}$, $EBCT=2.5\text{min}$)

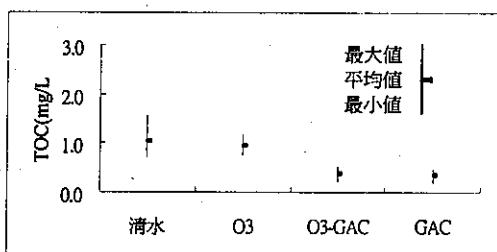


圖 17 不同高級處理出流水之 TOC
(基隆河, $O_3=6.0\text{mg/L}$, $EBCT=2.5\text{min}$)

3-4 臭氧副產物之控制

臭氧於 O_3/GAC 程序的應用，除減少需氯量相對降低加氯消毒副產物的生成，另一項重要的影響為增加了水中有機物的生物可分解性，使 GAC 表面可能產生生物分解作用，也增進了 GAC 單元的生物活性而加強水中有機物的去除。此外在世界多數先進國家，已採用臭氧處理替代加氯作為消毒劑或氧化劑，但臭氧處理也會產生臭氧副產物，如醛類、酸類、酮類及溴化合物等物質，且臭氧副產物的生成機制與加氯副產物亦不相同。

醛類為常見的臭氧副產物且因其易被生物分解特性，可能引起配水系統中生物的再生長 (regrowth) 或後生長 (aftergrowth) 問題，本文選定甲醛及乙醛探討臭氧與水中醛類前驅物質反應

時，臭氧劑量對其生成的影響，以及後續 GAC 單元對醛類的去除控制，以作為實廠臭氧單元應用的參考。

實驗中瑪陵坑溪及基隆河系統清水中有甲醛及乙醛的存在，且甲醛的含量較乙醛為高；清水經臭氧處理後，實驗結果顯示甲醛及乙醛生成量並無太大改變，其原因可能為水中有機物並不高且醛類生成前驅物質含量較低，且臭氧後再經 GAC 單元吸附之出流水，皆可些微去除清水中部份的甲醛及乙醛總量。但從圖 18 至圖 21 單位 TOC 中甲醛及乙醛的比值變化來看，臭氧後變化並不大，但再經 GAC 單元後單位 TOC 甲醛及乙醛有再度上升趨勢，原因為 GAC 單元去除水中大部分 TOC 卻無法吸附甲醛及乙醛，故單藉由 GAC 吸附功能無法控制水中的甲醛及乙醛。

對瑪陵坑溪疏水性有機物，臭氧主要作用為增加有機物極性官能基(如 $-OH$, $-COOH$, $-C=O$)及減少芳香性，未將有機物氧化為醛類等小分子化合物；而臭氧除使基隆河清水有機物裂解為具不同官能基之小分子化合物，且增加有機物的溶解性，並未直接將其打碎成小分子醛類使甲醛及乙醛的濃度增加。

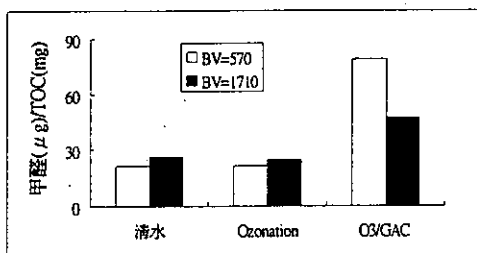


圖 18 單位 TOC 之甲醛變化(試程三)

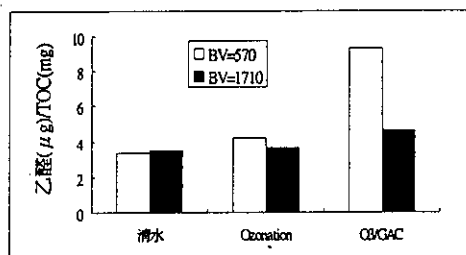


圖 19 單位 TOC 之乙醛變化(試程三)

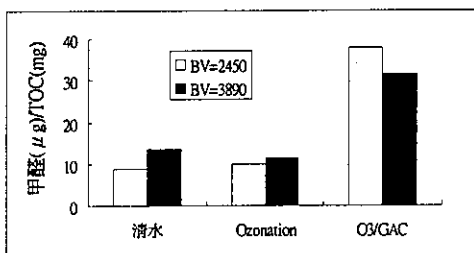


圖 20 單位 TOC 之甲醛變化(試程四)

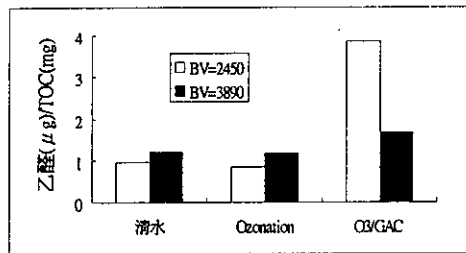


圖 21 單位 TOC 之乙醛變化(試程四)

四、結論與建議

本文於六堵淨水廠進行高級模廠試驗，並與水廠傳統單元功能進行比較。實驗分別採水廠瑪陵坑溪系統及基隆河系統清水為模廠進流，並經不同臭氧劑量處理(瑪陵坑溪為 2.5 及 6.5 $\text{mgO}_3(\text{g})/\text{L}$ ，基隆河為 4.5 及 6.0 $\text{mgO}_3(\text{g})/\text{L}$)，比較有無臭氧作用之後續 GAC 單元穿透曲線(瑪陵坑溪 EBCT=1.0 min，基隆河 EBCT=2.5 min)，以建立模廠及水廠的原水清水水質、操作條件、處理效果及替代處理方法等參考資料，經由實廠之實驗獲致結論與建議如下：

4-1 結論

1. 水廠傳統程序處理原水濁度去除率可達 95%，而經後續模廠高級處理則可達 99% 的去除效果，但臭氧處理對濁度並無影響；傳統程序相對原水 TOC 去除率為 50 至 60%，高級處理約可再去除原水中 80 至 90% 之 TOC；至於不同單元出流水的 UV_{254} 顯示傳統程序可去除率原水 60% 之 UV_{254} ，高級處理約可去除原水 UV_{254} 達 90%。試驗結果顯示傳統處理對水中有機物的去除有限，後續 O_3/GAC 程序有較完全的去除能力。
2. 本試驗中臭氧作用主要為降低清水中 UV_{254} ，對於 TOC 去除能力有限；瑪陵坑溪清水 O_3/GAC 處理為最佳程序，實驗中兩種氣相臭氧劑量以 4.5 mg/L 較佳，基隆河清水經 GAC 單元處理出流水則較 O_3/GAC 處理為佳。
3. 實驗中模廠進流經臭氧處理後，甲醛及乙醛的生成量無太大改變，且後續 GAC 單元並無法將其去除。

4-2 建議

1. 六堵淨水廠基隆河系統清水經後臭氧處理對 GAC 吸附並無助益，未來實驗可使用後臭氧/非吸附性過濾程序(ozonation-filtration process)，或將臭氧處理加藥點移至傳統程序之前進行研究。
2. 生物活性碳(BAC)處理相較於 GAC 可提供較長操作時間及處理量，並可同時建立跨季節長期之模廠操作背景水質資料，本文實驗中 GAC 單元無法去除醛類，也可探討 BAC 中生物效應對醛類控制之影響。
3. 本文主要探討 O₃/GAC 程序對水中有機物的去除，至於高級處理後清水的生物穩定性仍需加以探討；且六堵淨水廠採前加氣處理，臭氧及 GAC 單元對水中自由餘氯的影響需一併考慮，以維持配水系統安全。
4. 水中有機物特性為影響理程序及操作參數的重要因素，建議後續研究對其加以完整討論。

參考文獻

1. 蔣本基，「臭氧搭配活性碳單元對飲用水中消毒副產物之去除效能評估」，行政院環境保護署，1998.05。
2. USEPA. *ICR Manual for Bench- and Pilot-Scale Treatment Studies*, Office of Water, pp.1-1~2-49, 1996.04.
3. AWWA. *Water Quality and Treatment, Fourth ed.*. McGraw-Hill, Inc., 1990.
4. Huck, P. M., P.M. Fedorak, and W.B. Anderson.. "Formation and Removal of Assimilable Organic Carbon During Biological Treatment."
5. 葉宣顯，「淨水程序與清水水質生物穩定性間關係之研究」，第 16 屆自來水研究發表會，1999.11。
6. AWWA. *Water Treatment Plant Design, Third ed.*. McGraw-Hill, Inc., 1990.
7. 台北自來水事業處，「新店溪水源傳統淨水場提升為臭氧活性碳高級處理可行性初探」，1999.06。
8. USEPA. *NSF Equipment Verification Testing Plan for Granular Activated Carbon Adsorption of Disinfection Byproduct Precursors*, 1999.08.
9. Sawyer, C.N., McCarty P. L., Parkin G. F., *Chemistry for Environmental Engineering, fourth ed.*, pp. 444-448. McGraw Hill, Inc., 1994.