

# 以超音波/過氧化氫法處理石化廢水之可行性研究

劉志皇\* 馬英石\*\* 林志高\*\*\*

## 摘 要

本研究以超音波/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 程序處理純對苯二甲酸 (purified terephthalic acid, PTA) 製程廢水。研究中除了探討以超音波法直接處理 PTA 製程廢水之效率，也探討以超音波作為前處理程序的可行性。PTA 製程原廢水之性質如下：生化需氧量 (BOD<sub>5</sub>) 和總有機碳 (TOC) 分別為 13,200 及 6,385 mg/L，原廢水中有機物之基本組成包含 benzoic acid, 4-methyl benzaldehyde, phenyl acetic acid 和 4-ethyl benzoic acid 等 4 種。本研究主要探討 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度與 pH 值對廢水中有機物之礦化率與處理後生物可利用率之影響，其中礦化率以總有機碳之移除率表示，生物可利用率則以實際殘留之生化需氧量 ((BOD<sub>5</sub>)<sub>r</sub>) 與理論殘留之生化需氧量 ((BOD<sub>5</sub>)<sub>t</sub>) 之比值表示。反應之 pH 值控制為 3、7 與 11，初始 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度為 100、200 及 500 mg/L。實驗結果顯示，以超音波法處理 PTA 製程廢水時，總有機碳之礦化率呈現一階反應動力模式，當 pH 控制於 3，初始 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度為 500 mg/L 時，反應速率最大；H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的添加可使氧化還原電位上升，在相同量的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 下，pH 3 的初始 ORP 最高，其次為 pH 7 及 11；有機碳的礦化率隨 pH 值的降低而增加，同時隨 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度的增加而增加；在 pH 3，單獨使用超音波處理 PTA 製程廢水時，生物可分解率會隨著總有機碳的去除量增加而減少，實驗結果顯示，添加 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 可使處理後的出流水具有良好的生物可利用性。

### 【 關鍵字 】

1.超音波/過氧化氫程序 2.純對苯二甲酸 3.礦化率 4.生物可分解率

---

\* 國立交通大學 環境工程研究所 碩士班研究生

\*\* 國立交通大學 環境工程研究所 博士班研究生

\*\*\* 國立交通大學 環境工程研究所 副教授

## Efficient Evaluation of Petrochemical wastewater

# Treatment with the Ultrasound/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Process

Chih-Huang Liu\* Ying-Shih Ma\*\* Jih-Gaw Lin\*\*\*

## Abstract

Purified terephthalic acid (PTA) manufacturing wastewater containing aromatic compounds was immune from anaerobic biological treatment. In this study, we found that the ultrasound/hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) process is effective to enhance the biodegradability and mineralization of PTA manufacturing wastewater. The ratio of TOC removal evaluated for mineralization ratio and the ratio of real residual BOD<sub>5</sub> over theoretical residual BOD<sub>5</sub> for biodegradability. The results show that the changing of TOC removal gives an well agreement with the first order expression. The lower the pH value and the greater the initial concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, the greater mineralization ratio is found. During the overall reaction, the ORP values at pH 3 was greater than both at pH 7 and 11. A great ORP value resulted a great mineralization. In addition, the pH value affects the ORP value more significantly than H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dosage in this work. By means of the ultrasound/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process, the biodegradability increases with the amount of TOC removal by the ultrasound/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process but decreases with the amount of TOC removal by the ultrasound only. The optimum condition we obtain in this paper for the purpose of pretreating PTA manufacturing wastewater with the ultrasound/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process before biological treatment is pH 3 and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 200 mg/L. Under such condition, mineralization ratio attained 68%.

## 【 KEYWORDS 】

1. Ultrasound/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process
2. Purified Terephthalic Acid
3. Mineralization
4. Biodegradability

---

\* Master student, Institute of Environmental Engineering, NCTU.

\*\* Doctoral student, Institute of Environmental Engineering, NCTU.

\*\*\* Assistant professor, Institute of Environmental Engineering, NCTU.

# 一、前 言

石油化學工業對我國的經濟發展具有相當重要的地位，石化產品的種類相當繁多，因此，不同製程所產生的廢水均含有不同種類需優先處理列管的危害性污染物。文獻中指出，具有高濃度的苯環有機物質，對厭氧生物處理具有免疫的效果，其中最典型的就是對苯二甲酸的製程廢水<sup>(1)</sup>。一般傳統的石化廢水處理包含了兩個部份：物化預處理設備，如氣提法<sup>(2)</sup>或活性碳吸附<sup>(3)</sup>；第二部份為生物處理，如厭氧生物處理<sup>(4)</sup>或好氧生物處理；一般傳統的預處理設備無法將生物難分解或具生物危害性的有機物達到有效的移除，導致生物處理設備的負荷過大，進而影響處理效率。

近年來國內對於水中危害性有機物 (hazardous organic) 處理方式的研究有許多，其中以高級氧化法<sup>(5)</sup> (advanced oxidation process, AOP) 較受重視，如  $O_3$ 、UV、 $H_2O_2$ 、ultrasonic，或以上之結合法，如 UV/ $TiO_2$ 、UV/ $H_2O_2$ 、 $O_3/H_2O_2$ 、Fenton 法等，因 AOP 的反應時間短且對於一些難分解或具生物毒性的有機物已可被有效的分解礦化，Gulyas *et al.* (1994)<sup>(6)</sup> 實驗證明，以  $O_3/H_2O_2$  或 UV/ $TiO_2$  程序，確實可將石化廢水中的難分解或具生物毒性的有機物破壞分解成生物可利用的有機物，提高去除效率；Anderozzi *et al.* (1995)<sup>(7)</sup> 以臭氧處理橄欖油廢水 (OMW) 中的 *p*-coumaric acid，結果臭氧可將這種含苯酸的有機物分解成易為生物所分解的有機酸；Stockinger *et al.* (1996)<sup>(8)</sup> 以臭氧前處理纖維素的有機溶劑 (n-methylmorpholine-n-oxide)，發現經臭氧前處理後，其出流水之生物可分解率較進流水有顯著的提昇。

## 二、廢污來源與特性

純對苯二甲酸為製造多元酯纖維 (polyester fiber) 的主要原料之一，在台灣，其產量佔全球產量的 20%。純對苯二甲酸是利用醋酸為溶劑、在空氣中以高溫高壓催化氧化對二甲苯，在利用鉛作催化進行氫化的純化步驟而得。

文獻中指出生產對苯二甲酸的製程廢水，成份相當複雜，至少含有十二種以上的有機物質，如 paratoulic acid, trimellitic acid, 4-carboxybenzaldehyde, isophthalic acid 等<sup>(1)</sup>，廢水的 pH 值約為

4.00-4.50；本研究所取水樣為某對苯二甲酸製程工廠之實廠廢水，經分析發現，主要成份由四種有機物組成，分別為 benzoic acid、4-methyl benzaldehyde、phenyl acetic acid 及 4-ethyl benzoic acid，其總有機碳與生化需氧量分別為 6,385 與 13,200 mg/L。

### 三、處理方法與特點

本文將探討以超音波/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 法應用於處理對苯二甲酸製程廢水的可行性，除了觀察其礦化率，並針對處理後的出流水做生物可利用率的分析，整個實驗的控制條件為，超音波輸出能量 (160 W)、頻率 (20 kHz)、振幅 (120 μm)、離子強度 (0.1 N)、曝氣 (O<sub>2</sub>) 和溫度 (25°C)，反應時間控制在 120 分鐘，採樣點數分別為 1、2、5、10、15、30、60、90、120 分鐘，改變的因子為 pH 值和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度。

超音波處理有機物之程序與影響因子發表於民國 86 年 4 月，工業污染防治第 16 期第 2 卷「超音波處理危害性有機物之研究」<sup>(9)</sup>。

以超音波法處理水體環境的污染物，其特點除了保有物化處理效率高的特點之外，且超音波法為同相間的反應，無質傳上的困擾；其振動波長較長，不受物體遮蔽而無法穿透，此點較紫外光法為佳；超音波法對於水中氫氧自由基的產生，並無選擇性，因此只要是水相的污染物，即可使用此種方式處理；另外超音波法不須要添加其它化學物質，對於水中污染物的量不會增大。綜合以上數點優點，超音波法對於環境污染物的處理具有相當大的發展性。對於目前常見的各種高級氧化法的優缺點，與超音波法的比較整理如表 1。

表 1 數種高級氧化法優缺點比較

處理方式	優點	缺點
UV	· 設備簡單	· 直接光解效率不佳
UV/TiO <sub>2</sub>	· 反應快速 · 催化劑轉換率高	· 受限於光照的 TiO <sub>2</sub> 粒子產生反應，阻隔光線的部份無法產生反應
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	· 同相間反應 · 反應快素	· 添加 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 的費用較高 · 須計算添加濃度
O <sub>3</sub>	· 高氧化力反應快速	· 於水中的溶解度較低，受質傳限制較大
O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	· 產生作用快 · 反應速率快	· 添加費用高 · 設備費用較高
Fenton	· 反應速率可隨加藥量改變 · 同相間反應	· 添加亞鐵離子於反應後尚待去除
Ultrasonic	· 同相反應 · 不需添加藥品 · 水相中超音波不受旋浮微粒阻隔	· 對於實際廢水處理研究較少 · 所需能量密度較高

## 四、實驗裝置與方法

### 1. 實驗裝置

實驗裝置如圖 1 所示；反應設備主要為超音波產生器 (Microson XL-2020, Heat System Ltd., USA)、批式反應槽及流動反應器。操作時由電源供應器供給電能，藉由調整旋鈕控制，並供給固定強度的超音波振幅，此電流經振盪子 (horn) 於尖端 (tip) 產生超音波源；批式反應槽為雙層玻璃容器 (1 L)，由循環恆溫水槽控制水溫於 25°C，以磁石攪拌機及攪拌子攪拌混合水樣，水樣經由幫浦以 500 mL/min 流速循環抽入流動反應器中，在流動反應器中進行氧化作用。批式反應槽中並接有酸鹼、溶氧及氧化還原電位測定儀，氧氣連續曝氣至批式反應槽，此時水中溶氧處於超飽和狀態 (30-32 mg/L)，pH 值則經由酸鹼測定儀量測而以控制器自動加藥，使反應時的 pH 值維持於實驗之設定值，同時並監測反應之氧化還原電位 (oxidation-reduction potential, ORP)。

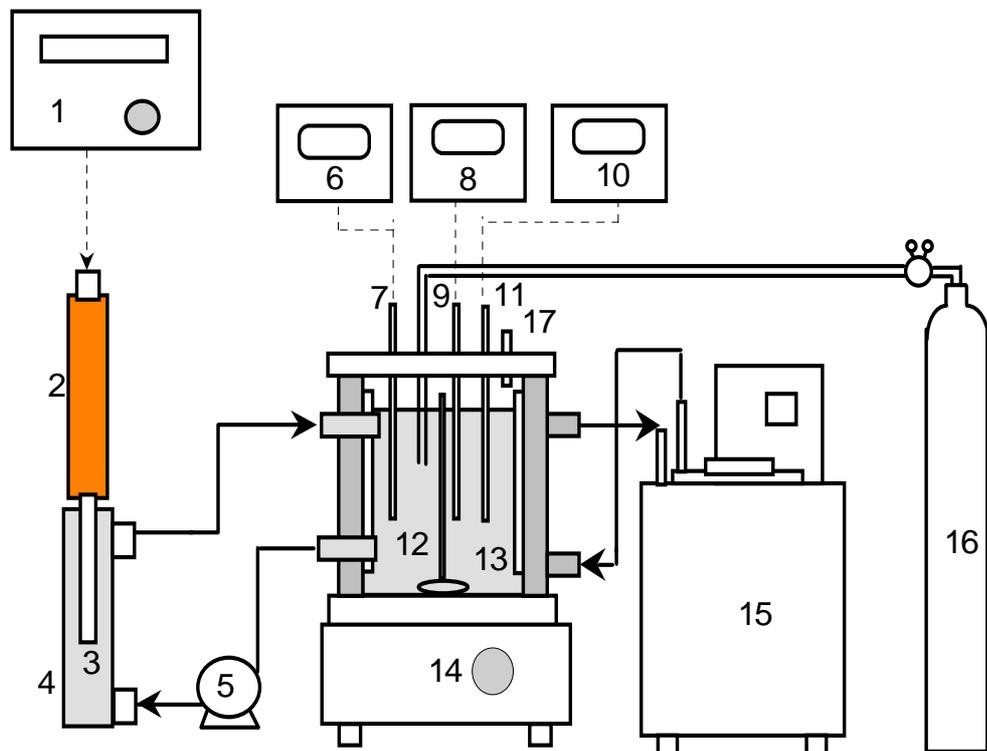


圖 1 實驗裝置

1. 超音波產生器 2. 超音波震盪子 3. 超音波尖端 4. 流動反應器 5. 幫浦 6. 溶氧計量儀 7. 溶氧計感測器 8. pH 計量儀 9. pH 感測器 10. ORP 計量儀 11. ORP 感測器 12. 混合反應槽 13. 攪拌棒 14. 攪拌器 15. 恆溫迴流器 16. 純氧鋼瓶 17. 採樣口

## 2. 實驗步驟及參數

首先監測對苯二甲酸原廢水的有機物組成、總有機碳和生化需氧量；接著將 1 L 的廢水加入反應槽中，調整溶液之 pH 值及離子強度，pH 值以過氯酸 ( $\text{HClO}_4$ ) 和氫氧化鈉 ( $\text{NaOH}$ ) 控制於 3、7 及 11，離子強度 (ionic strength) 以過氯酸鈉 ( $\text{NaClO}_4$ ) 控制為 0.1 N， $\text{H}_2\text{O}_2$  添加濃度分別為 100、200 與 500 mg/L，另做一對照組實驗，將 pH 控制於 3 且不加入  $\text{H}_2\text{O}_2$ ；超音波之振幅控制於 120  $\mu\text{m}$ ，其相對功率輸出約為 160 W，實驗中並連續曝純氧；溫度控制在 25°C。

在 120 分鐘的反應時間中分別取 4 和 9 個採樣點做生化需氧量及總有機碳之定量分析，並在反應過程中分析  $\text{H}_2\text{O}_2$  的剩餘量，同時監測氧化還原電位的變化；由以上的偵測判斷超音波氧化法對於有機物分解的效率，和超音波氧化法做為生物前處理的可行性。

### 3.分析項目與方法

(1)對苯二甲酸製程廢水－氣相層析儀/質譜儀 (GC/MS)

利用醋酸酐酯法萃取液相中之有機物，以 GC/MS 作定性分析，分析儀器 HP GCD 1800A。

(2)總有機碳：( Standard Method 5310C)

總有機碳分析儀 (Astro model 2001 system 2)。

(3)生化需氧量：(環保署標準方法 501.1)

菌種來源為 ABS 石化業廢棄活性污泥，稀釋倍數 3000 倍。

(4)過氧化氫－KI 滴定法：

參考工業污染防治技術手冊之 39

## 五、結果與討論

### 1. ORP 變化

氧化還原電位在化學氧化還原反應中為一個重要指標，氧化還原電位越高則氧化作用越容易發生，反之則還原作用越容易發生；超音波氧化程序，顧名思義為一偏向氧化作用的反應，氧化還原電位越高越利於此程序；影響氧化還原電位的因素有很多，如 pH 值、氧化劑和還原劑等，本文中影響氧化還原電位的因素為 pH 值與氧化劑  $H_2O_2$ 。圖 2 顯示，pH 控制於 3，未加  $H_2O_2$  的 ORP 值為 454 mV，但加入  $H_2O_2$  後，ORP 上升約 200 mV，這代表  $H_2O_2$  的加入有助於 ORP 值的提高，但相同 pH 值下所加入的量對 ORP 不會造成太大的變化，可能因素為廢水中總有機碳與氧化劑的比例太低所造成，即使  $H_2O_2$  加入量為 500 mg/L，其 ORP 值並不會有太大的變動，同時，因超音波的作用，使得 ORP 值不會因為時間的增加而降低；由圖 2 可觀察出，當初始  $H_2O_2$  加入量相同時，pH 3 的初始 ORP 值最高 (601-631 mV)，其次為 pH 7 (274-290 mV) 及 11 (43-58 mV)，經過 120 分鐘的反應時間，ORP 在不同 pH 值與  $H_2O_2$  濃度下的變化情形如表 2，當 pH 值相同時，ORP 隨著  $H_2O_2$  濃度增加而增加，但增加的量小於 50 mV，增加的倍數約為 0.04 倍；當  $H_2O_2$  濃度相同時，ORP 隨 pH 值的降低而升高，增加量大於 600 mV，增加倍數約為 5.88 倍，由前面兩個增加量或增加倍數可知，在本研究中 pH 值影響 ORP 的能力遠大於  $H_2O_2$  的影響程度，而由此圖我們也可以發現，pH 值控制在 3 的條件下，經過 120 分鐘後仍有相當高的氧化還原電位，即控制在 pH 3 時，超音波氧化程序有較良好的氧

化能力，與我們之前所提出超音波處理 2-chlorophenol 有相同的結果 (10-12)。

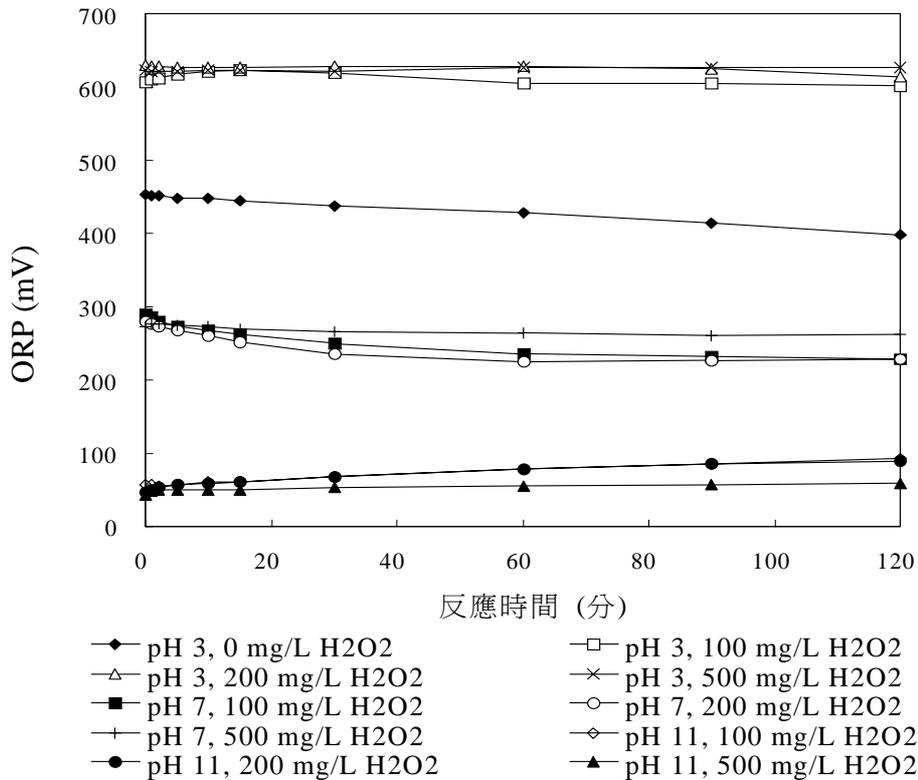


圖 2 不同控制條件下，氧化還原電位 (ORP) 之時間變化圖

## 2. 礦化率

本研究以礦化率作為超音波/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 處理對苯二甲酸製程廢水可行性的探討，並以總有機碳的去除率作為礦化效率的依據，原廢水中的總有機物濃度為 6,385 mg/L，而本研究中所能影響礦化效率的因子為 pH 值和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的初始添加量，圖 3 為反應過程之總有機碳變化，總有機碳的去除可用一階反應動力模式表示，其反應速率常數 (k) 與 R<sup>2</sup> 值列於表 2，因為本實驗所處理的廢水為實廠廢水，其組成成分相當複雜，所以 R<sup>2</sup> 值介於 0.50 至 0.80，雖然較實驗室配製之廢水所得結果低，但仍具有相當之代表性。由表 2 可知，同一 pH 值下，H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的加入有助於反應速率的提昇，當 pH 控制於 3 或 7 時，反應速率會隨初始 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度的增加而增加，當 pH 控制於 11 時，反應速率亦隨初始 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的增加而增加，但最大的反應速率，出現於 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 初始加入量為 200 mg/L 的條件下，加入 500 mg/L 時，反應速率下降，由圖 2 的 ORP 變化可比較出，雖然 ORP 的差距不大

明顯，但 ORP 較高，其反應速率亦會提高，而未加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  條件下的 ORP 值，雖較其他 pH 值條件下的 ORP 值高，其反應速率卻低於有加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  的反應速率；當初始  $\text{H}_2\text{O}_2$  加入量相同時，反應速率會隨著 pH 值的降低而升高。

相同  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度下，礦化率隨 pH 值下降而有增加的趨勢，而 pH 值固定時，增加  $\text{H}_2\text{O}_2$  的濃度亦可提高礦化率（表 2）；當 pH 值控制於 3 時，超音波與  $\text{H}_2\text{O}_2$  的作用為最佳狀態，因為  $\text{H}_2\text{O}_2$  在酸性條件下與超音波反應易生成氫氧自由基如 (1)、(2) 式所示，初始  $\text{H}_2\text{O}_2$  加入量愈多則氫氧自由基的生成量愈多，此時反應速率亦隨著增快（表 2），且礦化率愈高，如 pH 控制於 3，初始  $\text{H}_2\text{O}_2$  分別加入 100、200 與 500 mg/L 時，礦化率分別為 60%、68% 與 70%，反應速率常數分別為  $4.4 \times 10^{-3}$ 、 $4.9 \times 10^{-3}$  與  $5.8 \times 10^{-3}$ ，而另一方面，當 pH 值小於有機物之酸鹼解離常數 ( $\text{pK}_a$ ) 時，有機物會以分子形態存在，因此，有機物進入超音波的熱裂解區的量也會大增，即使  $\text{H}_2\text{O}_2$  的濃度不高，有機物的礦化也有不錯的效果，但 pH 上升至中性甚至鹼性時，礦化率會隨 pH 的上升而有下降的趨勢，超音波的熱裂解功能隨 pH 上升而減低，這是因為有機物解離成離子狀態，無法進入渦漩氣泡中，同時， $\text{H}_2\text{O}_2$  在高 pH 值時會解離成不具氧化能力的離子 ( $\text{HO}_2^-$ 、 $\text{OH}^-$ ) 如 (2) 式 ( $\text{H}_2\text{O}_2$  之  $\text{pK}_a = 11.6$ )，此時的礦化率，一部份是由超音波所提供的能量與有機物反應所造成的，另一部份應是超音波的能量與  $\text{HO}_2^-$  作用形成氫氧自由基如 (3) 式所示，在鹼性條件下， $\text{H}_2\text{O}_2$  的添加量越大則氫氧自由基生成量也越大，相對的礦化率也會有增加的趨勢。因此，在本研究中低 pH 值時，則超音波為與  $\text{H}_2\text{O}_2$  (氫氧自由基) 同時為主要礦化的因子，高 pH 值時， $\text{H}_2\text{O}_2$  (氫氧自由基) 為主要礦化機制。



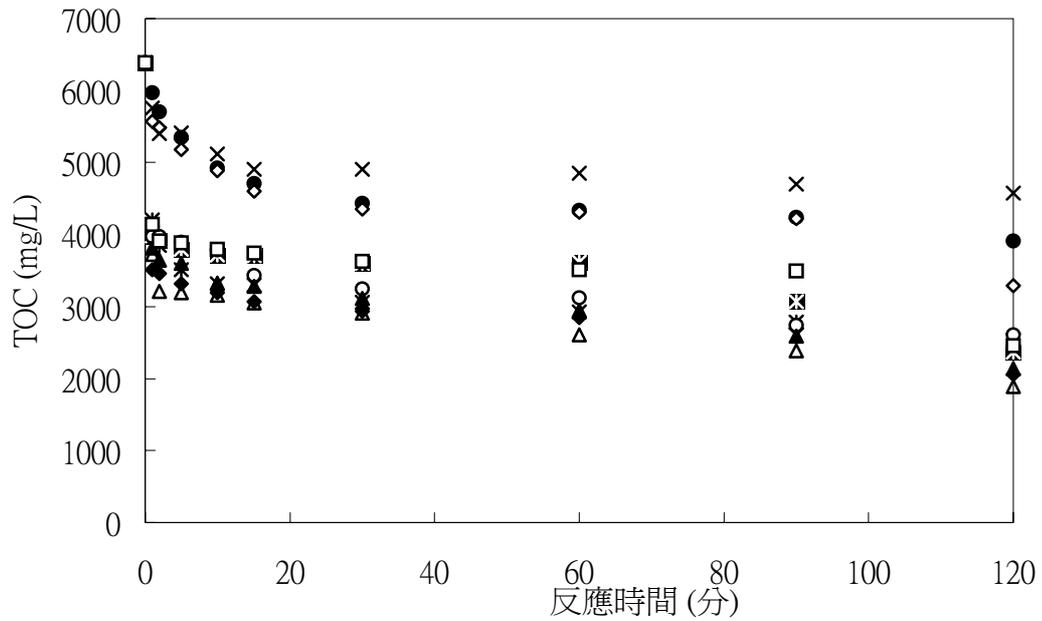


圖 3 不同控制條件下總有機碳之時間變化圖

表 2 以超音波/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 程序處理對苯二甲酸製程廢水時，不同初始 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 加入量與 pH 值控制條件下，R<sup>2</sup> 值、反應數率常數 (k)、礦化率與 ORP 值之變化關係

pH value	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	R <sup>2</sup> value	Rate constant <sup>a</sup> × 10 <sup>-3</sup> (1/min) (k)	Mineralization ratio <sup>b</sup> (%)	ORP value <sup>b</sup> (mV)
3	0	0.71	3.2	39	398
3	100	0.52	4.4	60	601
3	200	0.52	4.9	68	615
3	500	0.60	5.8	70	627
7	100	0.79	3.9	48	229
7	200	0.60	4.5	63	229
7	500	0.63	5.3	66	263
11	100	0.57	1.8	28	93
11	200	0.61	4.6	59	89
11	500	0.55	4.0	61	92

a:  $d\text{TOC}/dT = k \times \text{TOC}$

b: 礦化率與 ORP 值均為反應 120 分鐘後所測得之值。

### 3. 生物可利用率

前述結果均針對以超音波/ $\text{H}_2\text{O}_2$  程序為最終處理進行研究，雖然超音波/ $\text{H}_2\text{O}_2$  程序可使用於實廠廢水的最終處理，但傳統石化廢水都是以生物處理為主要處理步驟，因此，本研究也針對以超音波/ $\text{H}_2\text{O}_2$  程序做為預處理步驟進行探討，而重點為，處理過後之出流水是否可增加其生物可分解性，使後續的生物處理更易進行，亦即研究超音波/ $\text{H}_2\text{O}_2$  程序是否可使原廢水中生物難分解的有機物，作用形成為易被生物所分解的有機物，原廢水中  $\text{BOD}_5$  的濃度為  $13,200 \text{ mg/L}$ ；為了探討超音波/ $\text{H}_2\text{O}_2$  處理後生物可分解性的變化，我們以 (4) 式表示，其中  $k$  若為正值，即表示出流水易為生物所利用，因為  $k$  為 (實際  $\text{BOD}_5$  剩餘量)/(理論  $\text{BOD}_5$  剩餘量) 與總有機碳去除量 ( $\text{TOC}_r$ ) 的關係係數 (斜率)，其中，理論  $\text{BOD}_5$  剩餘量可由 (5) 式求得；當  $k$  值大於零，即表示總有機碳去除量越大，其出流水中的實際  $\text{BOD}_5$  越大，則生物可分解率越好，相反的，若  $k$  值為負值，則處理後的出流水不易為生物所分解，由圖 4 可知，單純使用超音波未加  $\text{H}_2\text{O}_2$  時， $k$  值為  $-3.48 \times 10^{-4}$ 、 $R^2$  值為  $0.50$ ，即未加  $\text{H}_2\text{O}_2$  的處理步驟不會提高處理後廢水的生物可分解性，而加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  後的  $k$  值為  $2.69 \times 10^{-4}$ 、 $R^2$  值為  $0.70$ ，表示  $\text{H}_2\text{O}_2$  的加入有助於提高處理後廢水的生物可分解性，因此，超音波/ $\text{H}_2\text{O}_2$  程序確實有提高生物可分解性的能力，且總有機碳去除量越高，出流水的生物可分解率越好；當不考慮初始  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度的影響時， $k$  值於  $\text{pH}$  3 時為最高，且隨  $\text{pH}$  值的升高而減少，不考慮  $\text{pH}$  值影響時， $k$  值會隨初始  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度的增加而增加，但增加到  $200 \text{ mg/L}$  時已達到一穩定狀態；本實驗設備 (批次) 預處理對苯二甲酸製程廢水的最佳處理參數， $\text{pH}$  值應控制在 3，而  $\text{H}_2\text{O}_2$  的初始濃度為  $200 \text{ mg/L}$  (圖 4)， $k$  值為  $4.37 \times 10^{-4}$  ( $R^2=0.60$ )。

$$(\text{BOD}_5)_r/(\text{BOD}_5)_t = A \times \exp [ k \times (\text{TOC})_r ] \quad (4)$$

其中  $(\text{BOD}_5)_r$ ：實驗過程中實際測得之生物需氧量 ( $\text{mg/L}$ )

$(\text{BOD}_5)_t$ ：去除總有機碳後的理論剩餘生物需氧量 ( $\text{mg/L}$ )

$(\text{TOC})_r$ ：實驗過程中實際測得的總有機碳去除量 ( $\text{mg/L}$ )

$k$ ：常數 ( $\text{L/mg}$ )

$A$ ：常數



作為前處理單元的可行性，以其出流水的生物可分解性為指標，本實驗結果顯示，只要在超音波程序中加入  $\text{H}_2\text{O}_2$ ，都可以提高其流水的生物可分解性。

以超音波為最終處理程序時，最佳的控制條件為 pH 3、 $\text{H}_2\text{O}_2$  500 mg/L，此時的礦化率可達到 70%，若需提高礦化率時，只需再添加  $\text{H}_2\text{O}_2$ ；以超音波為預處理程序時，pH 值也控制在 3，但  $\text{H}_2\text{O}_2$  只需加入 200mg/L，因為超過這個量後，其所能提高的生物可分解率已達最大極限。

## 七、參考文獻

- 1.陳明仁，亞美和化學公司厭氧生物處理廢水系統簡介，環境工程會刊，第三卷，第四期，pp. 93-96，民國 81 年 11 月。
- 2.Rebhun, M. and Galil, N., Technological strategies for protecting and improving the biological treatment of wastewater from a petrochemical complex, *Wat. Sci. & Tech.*, Vol. 29, No. 9, pp.133-141, 1994.
- 3.Al-Muzaini, S., Khordagui, H. and Hamouda, M. F., Removal of VOCs from refinery and petrochemical wastewaters using dissolved air flotation, *Wat. Sci. & Tech.*, Vol. 30, No. 3, pp. 79-90, 1994.
- 4.Stewart, J. M., Bhattacharya, S. K., Madura, R. L., Marson, S. H. and Schonberg, J. C., Anaerobic treatability of selected organic toxicants in petrochemical wastes, *Wat. Res.*, Vol. 29, No. 12, pp. 2730-2738, 1995.
- 5.Glaze, W. H. and Kang J.-W., Advanced oxidation process. Test a kinetic model for the oxidation of organic compound with ozone and hydrogen peroxide in a semibatch reactor, *J. Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 28, pp. 1580-1586, 1989.
- 6.Gulyas, H., Bockelmann, D., Hemmerling, L., Bahnemann, D. and Sekoulov, I., Treatment of recalcitrant organic compounds in oil reclaiming wastewater by ozone/hydrogen peroxide and UV/titanium dioxide, *Wat. Sci. & Tech.*, Vol. 29, No. 9, pp. 129-132, 1994.
- 7.Andreozzi, R., Caprio, V., Damore, M. G. and Insola, A, *p*-Coumaric acid abatement by ozone in aqueous solution, *Wat. Res.*, Vol. 29, No. 1, pp. 1-6, 1995.
- 8.Stockinger, H., Kut, O. M. and Heinzle, E., Ozonation of wastewater

containing n-methylmorpholine-n-oxide, *Wat. Res.*, Vol. 30, No. 8, pp. 1745-1748, 1996.

- 9.林志高、馬英石，超音波技術處理危害性有機物之研究，工業污染防治，第 62 期，pp. 79-99，民國 86 年 4 月。
- 10.Lin, J.-G., Chang, C.-N., Wu, J.-R. and Ma, Y.-S., Treatment of wastewater containing 2-chlorophenol using ultrasound/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. Proceedings in Conference on Environmental Technology and Business Opportunities, Malaysia, Sep, 1995.
- 11.Lin, J.-G., Chang, C.-N. and Wu, J.-R., Decomposition of 2-chlorophenol in aqueous solution by ultrasound/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. *Wat. Sci. & Tech.*, Vol. 33, No. 6, pp. 75-81, 1996a.
- 12.Lin, J.-G., Chang, C.-N. and Ma, Y.-S., Enhancement of decomposition of 2-chlorophenol with ultrasound/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. *Wat. Sci. & Tech.*, Vol. 34, No. 9, pp. 41-48, 1996b.