

# Investigation of a Scraping Type Electrochemical Machine for Nitrogen Removal in Aquacultural Wastewater

## 刮除式電化學除氮機應用在養殖廢水之研究

Chih-Wei Chang <sup>1)</sup> Hsi-chuan Huang <sup>2)</sup> Feng-Jehng Wang <sup>1)</sup>

張智為

黃錫泉

王豐政

Jiunn-Ming Chen <sup>1)</sup> Chung-Chyi Yu <sup>1)\*</sup>

陳俊明

尤瓊琦

### Abstract

The main purpose of this research is to adopt electrochemical process to improve the function of the aquacultural wastewater treatment. The ammonium and nitrite were attracted and grown on the surfaces of the rotating anode and cathode pole-plates, respectively, as ions in the water were driven by the electropotential force. The high density of ammonium and nitrite adhered to the pole-plates surfaces was first drawing off by the scrape stick and then removed away from the water, and the goal of water purifying was eventually achieved. The experimental results demonstrated that the machine constructed using the graphite and the stainless steel for the anode and cathode, respectively, and operated under the pole-plates conditions with the rotating speed 60 rpm, distance 20 mm, and the direct electric

voltage between 100 and 200 V, obtained a better performance of scraping off both of the ammonium and nitrite as the scrape stick was made by the hard rubber and the wastewater pumped into the treating tank was mixed with disturbance. When treating with the simulation water, in which was prepared with ammonium sulfate and sodium nitrite for two sample sets with equal concentrations of 5 and 10 mg/l, respectively, for ammonium and nitrite in the RO water, the concentrations of the scraped ammonium and nitrite solution were 1.54-3.47 times higher than those in the untreated water. These results also showed that a prototype machine of nitrogen removal was established in this research for the aquacultural wastewater.

**Key words:** electrochemical, water treatment, scraping type

1) Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung-Hsing University, Taiwan, R.O.C., \* Corresponding Author. 國立中興大學生物產業機電工程學系, \*通訊作者。

2) The Automation Engineering Department & Mechatronic Systems Institute, Chienkuo Technology University, Taiwan, R.O.C. 建國科技大學自動化工程系暨機電光系統研究所。

## 摘要

本研究之電化學養殖廢水處理方式，係利用離子在水中受電動勢之驅動，將水中鉍及亞硝酸離子遷移吸附於轉動之陰陽極板表面上，再以刮條將極板上之高濃度鉍及亞硝酸離子刮除，藉以使鉍及亞硝酸與水分離，達到淨化水質之目的。研究結果顯示，以石墨為陽極、不銹鋼為陰極、液動攪拌、極板轉速 60 rpm、極板間距離 20 mm 及以硬橡皮為刮條，於極板電壓介於 100-200 V 時，有較佳之刮除效果；且濃度皆為 5 mg/l 或 10 mg/l 之兩組鉍與亞硝酸之混合溶液處理結果，亦顯示在此電壓範圍所刮除鉍及亞硝酸濃度皆較原水中之離子濃度高約 1.54-3.47 倍，顯示本研究已獲致應用於養殖廢水之除氮離型機開發。

**關鍵詞：**電化學、水質處理、刮除式

## 前言

目前水質處理方式一般概分為物理、生物和化學處理等三種，其中物理處理法有以換水之方式稀釋有毒物質，或以沉澱之方式將較粗大之粒子由重力之作用分離，亦有以壓力差之驅動而使水經網目過濾；生物處理法則利用微生物或水生植物本身特性，以硝化對魚類有害之物質，其處理型式如活性污泥法、生物膜法、厭氧處理、光合菌等處理方式，然其硝化效率則受諸多環境因子影響，如 pH 值、水力停留時間(HRT)、溶氧量、水溫及進流水速率等，且其設備費用高、裝置佔用空間大則為其主要缺點<sup>(6)</sup>；而化學處理法係以鋁鹽添加物質

與水中較小顆粒之溶解性物質，進行凝集 (coagulation) 使溶解物顆粒變大，再以物理方式去除之，此法因有二次污染之虞故目前較少採用<sup>(1)</sup>。

上述之物理過濾仍無法有效移除水中之氨鹽、亞硝酸鹽、硝酸鹽及磷酸鹽等成分，僅可有效過濾大顆粒物質，以滾筒式粒子過濾機為例，其網目孔徑 50  $\mu\text{m}$  以上，對池水之濁度較有幫助<sup>(9)</sup>。但若欲過濾更小之顆粒則須採用薄膜分離技術，一般薄膜分離技術有微濾 (microfiltration)，其可過濾之粒徑為 0.1-10  $\mu\text{m}$ ；超濾 (ultrafiltration)，其可過濾之粒徑為 0.01-0.1  $\mu\text{m}$ ；及逆滲透，其亦可過濾粒徑為 0.01  $\mu\text{m}$  之離子性懸浮微粒<sup>(2)</sup>。且由於營養物質如氨鹽、亞硝酸鹽、硝酸鹽及磷酸鹽等，其粒徑皆為 0.01  $\mu\text{m}$  以下，若以薄膜技術分離則使得薄膜受粒徑為 0.01-50  $\mu\text{m}$  之顆粒所阻塞，而影響其過濾效果。

近來亦有以電化學方式處理水質、海水淡化及土壤重金屬等問題<sup>(11)</sup>，其有別於傳統之物理、生物及化學過濾法，係利用電動力法之原理來驅動介質中之離子以達淨化去除之作用。在水質處理上，其是以直流電導入水體中，使水體內之物質及水本身與電極進行化學反應及電荷之轉移，以產生電化學之現象，一般可區分為電透析法 (electrodialysis)、電聚浮除法 (electroaggregation)、電解凝膠法 (gel electrophoresis) 及電解氧化法 (electrolytic oxidation) 等；並可依據欲處理水質之特性，分別應用在海水淡化、製鹽、脫硫等食品工業，及石化與電鍍等之工業廢水處理<sup>(4, 5, 7, 10)</sup>。但在養殖廢水處理上，則仍少有電化學處

理方式之應用，其原因可能肇因於電化學作用時，易有極板因氧化分解使有毒之物質溶於水中，或是其淨化水質之過程，水中對魚體有益之有機碳微粒亦一併被去除<sup>(13)</sup>。但當與傳統之上述過濾法比較時，電化學方式處理水質，則有裝置系統操作容易、處理效率穩定、水體滅菌、水體可密閉無臭及佔用體積小與成本較低等優點<sup>(3, 10)</sup>，因此以電化學方式應用於養殖廢水之處理實有其探討之價值與必要。

本研究將探討以電化學方式進行養殖廢水中氮去除之可行性，首先依據廢水中之主要處理對象為銨( $\text{NH}_4^+$ )與亞硝酸( $\text{NO}_2^-$ )離子，將採用電透析法之裝置原理進行除氮機之設計與規劃；同時為解決在傳統電透析時，透析膜受微粒阻塞之問題，本除氮機將不規劃透析膜裝置，且為避免極板受離子之吸附累積而影響其性能，將設計極板刮除機構，以刮除附著於極板之物質，使極板皆能處於良好之電化學反應狀態。而其除氮機制之試驗則主要分為基礎測試與模擬廢水實機測試，其中基礎測試分別針對陰極板材料、極板間距離及極板轉速，在不同極板電壓條件下進行測試，以獲取最佳相關條件作為機體之裝置參考，而陽極板之材料則依據袁<sup>(8)</sup>文獻採用石墨(graphite)；模擬廢水實機測試，則分別調配不同濃度之銨( $\text{NH}_4^+$ )與亞硝酸( $\text{NO}_2^-$ )離子模擬廢水溶液，以進行相關組合之除氮測試，獲致結果則可進一步做為未來除氮機之改良設計參考。

### 刮除式電化學之廢水除氮機設計

本研究之機體設計部分包含系統機構設計、刮除機構設計及電化學處理裝置設計，將

分述如下：

#### 一、系統機構設計

本研究之刮氮機構示意及電化學廢水除氮機構，如圖 1、2 所示。其中圖 1 中極板轉軸是以圖 2 機體中之減速馬達(nissei CTR HUL-

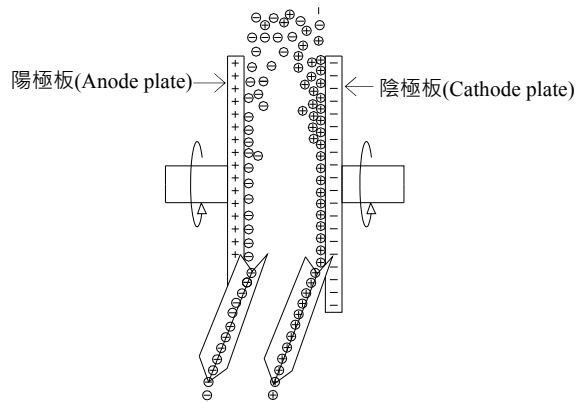


圖 1. 刮氮機構示意圖

Fig. 1. Schematic chart of the nitrogen scraping mechanism

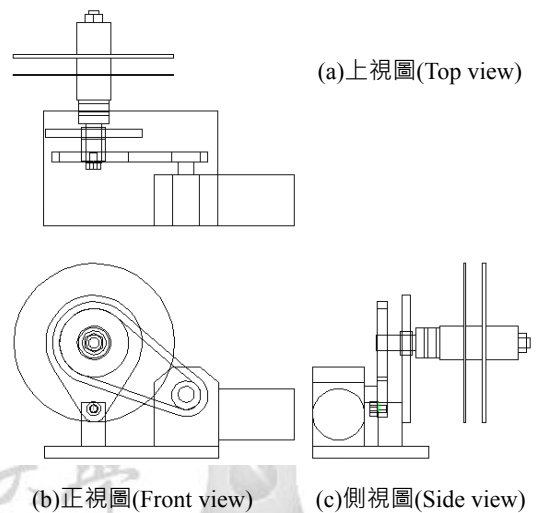


圖 2. 刮除式電化學廢水除氮機機構圖

Fig. 2. Schematic chart of the scraping type electrochemical nitrogen removal machine

15R-15-S25 25W) 驅動，並以鍊輪驅動配合 SCR 變速開關控制轉速。傳動之主動輪為 12 齒，被動輪為 24 齒，減速比為 2 之方式減速傳動。且圖 1 之極板吸附刮除機構，則置於如圖 3(A) 所示之處理槽中進行除氮作業，且其極板之導電裝置，則如圖 3(B) 所示，以產生兩極板間之電動勢。

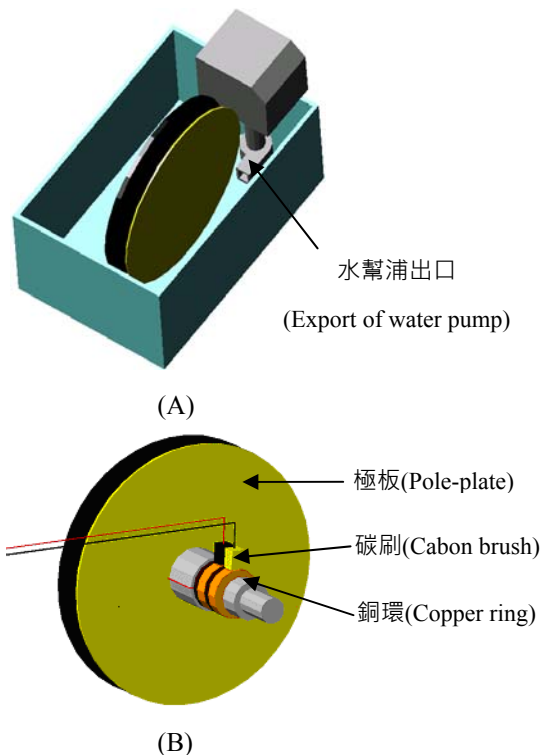


圖 3. (A)電化學處理裝置；(B)極板導電裝置  
Fig. 3. (A)Device of the electrochemical treatment mechanism; (B)Conductance device of the pole-plate

## 二、刮除機構設計

刮除原理乃利用直流電導通陰陽（正負）極板產生之電動勢吸引不同極性的離子（如圖 1 所示），在離子接近極板附近時，因極板的

轉動而將離子濃度較高之水帶離水體，並在轉動中被固定之刮條刮除吸附於極板之離子生成物，此刮除之濃縮水將順著刮條固定臂之凹槽流下而被收集。

刮除機構係將 V 型刮條架設在陰陽極板間，當收集正離子時刮條緊貼陰極板，收集負離子時刮條緊貼陽極板，且刮條調整傾斜角度，以使刮下之濃縮液可適度流下，同時刮條之固定座為配合不同大小之極板與間距，須能做橫向及縱向之調整移動；且為再增加收集之效率與避免損傷極板表面，刮條上與極板之接觸處需貼以橡皮。

本研究之實驗裝置以直徑 200 mm、厚度 5 mm 石墨為陽極板，另以直徑 200 mm、厚度 2 mm 之鈦、不銹鋼、鋁、銅及石墨（厚度 5 mm）為陰極板，以試驗不同材質之陰極板吸附離子之能力，並以絕緣材質作為陰陽極板之轉軸，且為測試極盤間距對處理效率之影響備有厚度 1-5 mm 之間隔片。當極板旋轉時，極板表面將覆蓋著少部分水，因電動勢之作用，水中含較高濃度之離子將遷移至極板表面，且旋轉極板表面之濃縮水亦將被刮條所刮除。

## 三、電化學處理裝置設計

電化學處理裝置設計，主要係探討電化學處理裝置與極板導電裝置之設計，其中電化學處理裝置之極板吸附刮除機構，將置於容積約 6.5 公升之處理水槽中，其水位以不溢出為原則，水體容積約 4.5 公升，極板浸水高度約 75 mm，並以一水幫浦（流量 20 l/min）自廢水箱底部抽取廢水至電化學處理裝置，進行廢水之吸附及刮除處理，其抽取之廢水經水流量調

整後，以 7.64 l/min 之流量注入極板水槽內，水力停留時間約為 35 sec，同時為避免處理槽內廢水混合均勻性影響極板之電化學吸附作用，將調整水幫浦之出口，使水流之方向調整至正對極板下方，水流由下方進入，向外噴流，使其能將處理水槽內之溶液攪拌均勻，如圖 3(A) 所示。且為使轉動之極板能導電，將使用發電機之碳刷零件，應用於極板之導電裝置，其位於電極轉板軸之末端，轉板軸之末端套住兩與轉軸絕緣之銅環，兩銅環再分別以電線連至陰陽極板上，如此當正負電由電源供應器傳來時可經兩不動之碳刷傳給轉動之陰陽極板，同時因碳刷有導電與潤滑之功能，能防止電壓降之產生及過早之磨損，若系統增大時，則可考慮使用含銅成分較多之碳刷，其裝置如圖 3(B) 所示。

## 材料與方法

### 一、實驗設備與方法

本研究之水質量測設備包括分光光度計 (Spectronic Instruments, U.S.A., MODEL 4001/4)；電子秤(A&D Company Limited, GF-300)；定量吸管(NICHI RYO)；超純水機(NANO Pure Diamond Barnstead)；手提式電導度計(WTW, LF340)。模擬廢水之  $\text{NH}_4^+$  溶液調配係以硫酸銨  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  粉末 (實驗室級，日本島久藥品株式會社製)，加入 RO 逆滲透水均勻攪拌獲得； $\text{NO}_2^-$  溶液之調配，則以亞硝酸鈉  $\text{NaNO}_2$  粉末 (實驗室級，日本昭和化學株式會社製)，加入 RO 逆滲透水均勻攪拌獲得。水中  $\text{NH}_4^+$  與  $\text{NO}_2^-$  濃度量測方法，將分別

以 APHA 之 Phenolhypochlorite 方法 640 nm 波長量測  $\text{NH}_4^+$ ；Wood-Armstrong-Richard 方法 543 nm 波長量測  $\text{NO}_2^-$ 。

### 二、實驗設計

本研究包括基礎測試及模擬廢水實機測試，基礎測試包含極板材料、極板間距離與轉速等因子進行探討，選擇最佳之上述三種操作條件後，再以模擬廢水實機測試進行刮除銨與亞硝酸之性能分析；試驗時調配好之模擬廢水皆經攪拌均勻後再進行測試，且每測試組皆三重覆，亦皆取其平均值進行其性能分析比較。

#### (一) 基礎測試

本實驗將測試在不同之極板電壓下，極板材料、極板間距離及極板轉速對其吸附除氮影響，以找出試驗裝置最適操作條件。各項測試之方法將分述如下：

##### 1. 極板材料測試

陽極板採用石墨，陰極板分別採用不銹鋼、銅、鋁、鈦及石墨五種材料，在極板轉速 60 rpm，極板間距離 20 mm，銨溶液濃度 5 mg/l 等條件下，分別於 0、10、50、100 及 200 V 之五種極板電壓進行各陰極板材料吸銨效果測試，以比較、分析最佳之陰極板材料選擇。

##### 2. 極板間距離測試

極板材料陽極板為石墨，陰極板為不銹鋼，在 0、10、50、100 及 200 V 之五種不同電壓下，分別進行極板間距離為 20、25、30 及 35 mm 之模擬廢水銨離子濃度 5 mg/l 之除銨測試，以比較、分析本研究除陰陽極板之最佳極板間距設定。

### 3. 極板轉速測試

本測試依據極板材料與間距結果，設定電壓為 100 V，並分別以 10、20、30、40、50 及 60 rpm，共六種極板轉速進行銨及亞硝酸之刮除水量及刮除濃度之測試。本測試之銨與亞硝酸離子模擬廢水濃度均為 5 mg/l，以探討極板最佳轉速之應用。

#### (二) 模擬廢水實機測試

本測試將依據上述基礎測試所獲致之最佳陰極材料、極板間距及轉速條件，作為本研究雜型機之應用與操作條件設定，進行模擬廢水水質處理實機測試，並依三種濃度之銨、亞硝酸及銨與亞硝酸混合液於各不同電壓下探討其刮除去氮之效果。

##### 1. 銨廢水刮除測試

量測各種銨濃度在不同電壓下之實機刮除效果，廢水溶液分別調配銨濃度為 1、5 及 10 mg/l 三組，極板電壓則分別為 0、10、50、100、150 及 200 V 六種電壓設定，分別進行如圖 2 所示之實機測試，以探討銨濃度與極板電壓對實機之除銨影響。

##### 2. 亞硝酸廢水刮除測試

量測各種亞硝酸濃度在不同電壓下之實機刮除效果，廢水溶液亦分別調配亞硝酸濃度為 1、5、10 mg/l 三組，極板電壓亦分別為 0、10、50、100、150 及 200 V 六種進行測試，以探討亞硝酸濃度與極板電壓對實機刮除亞硝酸離子之影響。

##### 3. 銨與亞硝酸混合廢水刮除測試

調配相同銨與亞硝酸離子濃度分別為 1、5 及 10 mg/l 之混合模擬廢水溶液三組，並分別以五種極板電壓 0、10、50、100 及 200 V

進行混合液之刮除效果測試，以探討混合溶液之銨與亞硝酸離子濃度及極板電壓對實機之除氮影響。

## 結果與討論

本研究於各試驗條件下，皆發現極板吸附作用所刮除之銨與亞硝酸離子濃度，未隨系統運作時間有明顯差異，故試驗之結果將不針對刮除濃度與時間之關係進行討論。

### 一、基礎測試結果

#### (一) 極板材料吸附特性測試結果

為避免陽極氧化，對水質產生不良之影響，本研究試驗裝置採用石墨為正極。由於陽極之石墨材料較不易氧化，試驗結果顯示其電化學效能未隨試驗進行而受影響，而陰極材料之導電度則影響銨離子吸附濃縮效果，圖 4 為本研究之五種陰極板材料測試結果。圖中顯示各材料組刮除濃度皆隨電壓提高而增大，且當

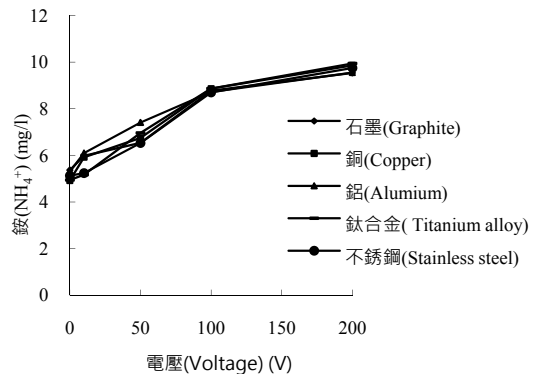


圖 4. 不同陰極板材質除銨濃度變化曲線圖

Fig. 4. Concentration changes of the removal ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) using different materials for the cathode pole-plate, respectively

電壓達 100 V 以上時，各材料之除銨濃度未有顯著差異，其刮除濃度於電壓 100 V 時分別介於 8.72-8.90 mg/l 之間，即五種陰極材質之吸附效果差異不大，導致其對銨之濃縮效果相近。因此本研究之試驗裝置乃選用較便宜、耐用且在水中較不易生銹之不銹鋼為陰極材料。

(二) 極板間距離測試結果

不同極板間距離刮除之廢水銨濃度測試結果，如圖 5 所示。圖中顯示各間距組之除銨濃度亦隨電壓提高而有增大之趨勢，但卻隨極板間距增大而有下降之現象，且當極板間距離至 35 mm 時，各設定電壓下幾乎已無刮除效果；同時間距 20 mm 組，其刮除之銨濃度於電壓達 100 V 時，亦顯現除銨效果趨勢於平緩，其刮除濃度約為 9.49 mg/l，大於次高之 25 mm 組約 1.90 mg/l，且由於本研究之試驗裝置，在兩極板間裝配刮條之最小間隙為 20 mm，小於 20 mm 之效果，暫無法測試，因此獲致 20 mm 為本研究裝置之最佳極板間距設定，且電壓 100-200 V 為最適之電壓範圍。

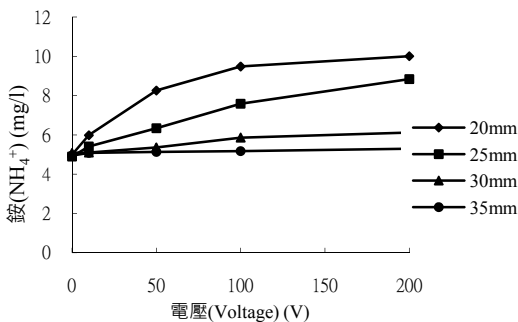


圖 5. 不同極板間距離除銨濃度變化曲線圖

Fig. 5. Concentration changes of the removal ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) using different distances between pole-plates of anode and cathode, respectively

(三) 極板轉速測試結果

極板間電壓設定為 100 V 時，本研究裝置極板之各轉速測試下所刮除之廢水，其銨與亞硝酸離子刮除濃度及刮除水量，分別如圖 6 與 7 所示。圖中結果顯示，當極板轉速提高時，兩測試組刮除水量亦隨著增加，且兩組之刮除水量相似，轉速 60 rpm 時，兩組之刮除水量約為 50.17 ml/min，而當轉速調降為 10 rpm 時，兩組之刮除水量則降為約 2.61 ml/min。但濃度測試結果卻顯示，兩組刮除濃度隨轉速

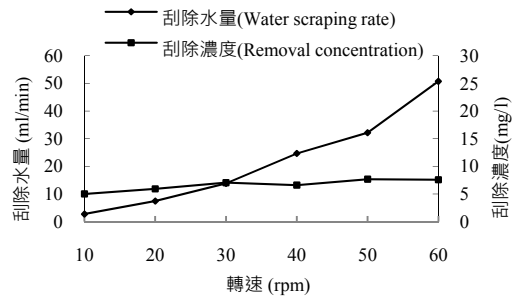


圖 6. 不同轉速銨之刮除量與刮除濃度

Fig. 6. The removal concentration and the water scraping rate changes of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) under different rotating speeds

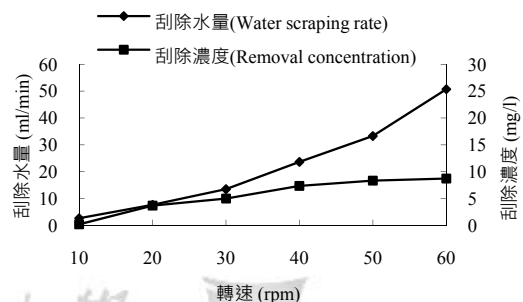


圖 7. 不同轉速亞硝酸之刮除濃度與刮除水量

Fig. 7. The removal concentration and the water scraping rate changes of nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) under different rotating speeds

顯現不同現象，圖 6 中銨之刮除濃度並未隨轉速變化而有明顯改變，於 60 rpm 測試，其刮除銨濃度約為 7.57 mg/l，而圖 7 中亞硝酸之刮除濃度則隨轉速提高而增大，由 10 rpm 時之 0.18 mg/l，至 60 rpm 時則增為 8.73 mg/l，因此處理銨時以較低轉速即可，而處理亞硝酸時，則以較高轉速有較佳之刮除濃度；同時為使處理養殖廢水中之銨與亞硝酸有較大之去除速率，本研究獲致極板轉速條件為 60 rpm 時較佳，其銨與亞硝酸離子去除率分別為 0.38 與 0.44 mg/min。

綜合上述基礎測試之試驗結果，本研究之電化學廢水除氮機裝置，其極板材料中的陽極板將採用石墨，陰極板則以不銹鋼為材料，兩極板間距離設定為 20 mm，極板轉速 60 rpm，電壓則介於 100-200 V 時為較佳之設定條件，且採用刮條之刮除方式，亦獲致可有效刮除正負極板離子生成物，以避免生成物之累積而影響其吸附濃縮之效果。

## 二、模擬廢水實機測試結果

### (一) 銨廢水刮除測試結果

實機模擬銨廢水測試結果，其所刮除之銨濃度，如圖 8 所示。在初始銨濃度分別為 5 與 10 mg/l 兩組中，顯示刮除濃度隨電壓提高而增大，且電壓介於 10-100 V 間有顯著增加現象，100-200 V 時其增率則趨緩，達 200 V 時趨於平緩，兩組刮除濃度分別為 9.97 與 20.03 mg/l，約為初始濃度之 2 倍；而初始濃度為 1 mg/l 組，其刮除濃度未隨電壓提高而有明顯變化，即其刮除效果未隨電壓增加而改善，其原因可能為在此低濃度下，部分銨於陰極處已

有還原反應發生，且刮條無法完全刮除吸附於極板附近之低濃度銨離子所導致。因此，本測試亦獲致銨離子濃度大於 5 mg/l 時，電壓介於 100-200 V 之設定，實機具有較佳之除銨效果，但當廢水銨離子濃度低時，即小於 1 mg/l 時，其電化學刮除效果不顯著，則以較低之電壓為佳，可節省電力之消耗成本。

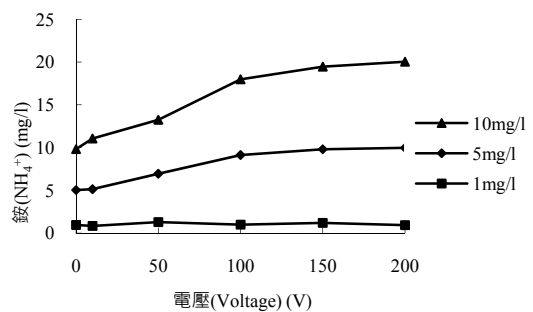


圖 8. 各銨濃度與極板電壓之銨刮除濃度測試結果

Fig. 8. The removal concentration changes of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) using the simulation wastewater under different concentrations of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) and different electric voltages

### (二) 亞硝酸廢水刮除測試結果

亞硝酸之模擬廢水，各濃度在實機不同電壓下之刮除濃度變化，如圖 9 所示。其亦顯示與上述之銨廢水刮除結果相似，圖中顯示亞硝酸初始濃度分別為 5 與 10 mg/l 之兩組，其刮除濃度亦隨電壓上昇而提高，當電壓達 200 V 時，其刮除濃度分別為 13.38 與 18.13 mg/l，於 5 mg/l 組達原模擬廢水濃度的 2.55 倍以上，且電壓介於 100-200 V 仍有較平緩之上昇現象；而初始濃度為 1 mg/l 組，亦顯示未隨電壓提高而有顯著變化，其刮除濃度皆接近 1



mg/l，其原因亦如上述銨測試所述；亦顯示刮除效率於高濃度時較佳，濃度低時則效果較差。因此，本測試亦獲致電壓介於 100-200 V，為高濃度之亞硝酸廢水之較佳設定範圍，低濃度時則在考量電力成本下，亦以低電壓為佳。

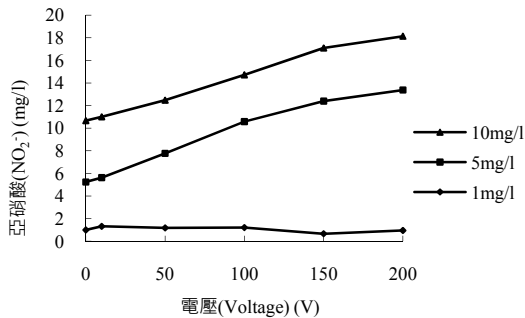


圖 9. 各亞硝酸濃度與極板電壓之亞硝酸刮除濃度之測試結果

Fig. 9. The removal concentration changes of nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) using the simulation wastewater under different concentrations of nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) and different electric voltages

(三) 銨與亞硝酸混合廢水之刮除測試結果

1. 1 mg/l 銨與亞硝酸混合廢水之測試結果

初始銨與亞硝酸離子濃度各為 1 mg/l 之混合模擬廢水溶液，測試結果如圖 10 所示。圖中顯示其刮除之濃度隨電壓變化呈現不穩定之狀況，銨於電壓介於 0-100 V 時，呈現增大現象，而亞硝酸則呈現遞減趨勢，當電壓介於 100-200 V 時，其趨勢則相反。其原因可能是當濃度較低時，銨於低電壓下電化學變化較少，高電壓時電化學變化較多，高電壓時刮除水中含銨量因而較少；而低電壓時亞硝酸已產生電化學變化，使刮下之濃度比原混合廢水之

濃度低，此與 Lin and Wu<sup>(12)</sup>以電解法處理養殖池水之結果吻合，即亞硝酸以電解法處理時，其完成去除時間較銨短。

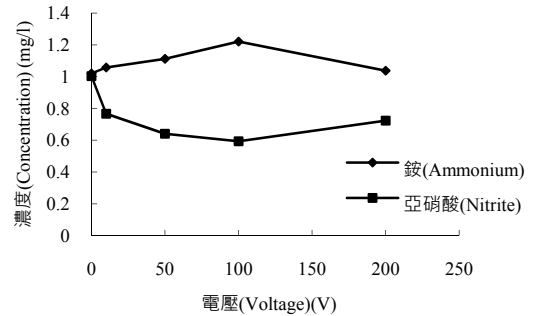


圖 10. 銨與亞硝酸濃度各為 1 mg/l 之混合液，在不同電壓下之刮除測試結果

Fig. 10. The removal concentration changes of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) and nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) using the solution prepared with 1 mg/l of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) and nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), respectively, under different electric voltages

2. 5 mg/l 銨與亞硝酸混合廢水之測試結果

初始銨與亞硝酸離子濃度各為 5 mg/l 之混合模擬廢水測試結果，如圖 11 所示。圖中顯示於此較高之銨與亞硝酸離子濃度，兩者皆隨電壓提高，其刮除濃度皆呈增加之趨勢，且亞硝酸之刮除效果高於銨；當銨於電壓超過 100 V 時，其刮除濃度趨於一定值，然亞硝酸則持續升高，且當電壓為 200 V 時，所刮除之銨濃度僅達 7.20 mg/l，為原混合廢水中銨濃度 4.68 mg/l 的 1.54 倍，而所刮除之亞硝酸濃度則達 13.42 mg/l，為原混合廢水中亞硝酸濃度 4.68 mg/l 的 2.87 倍，顯示實機在較高之銨與亞硝酸濃度下，對兩者皆具有顯著之刮除效

果；然亞硝酸之刮除效果約為銨之 1.86 倍，即銨之刮除效果較基礎測試單以銨調配為廢水溶液時低，顯示銨的刮除易受混合廢水中亞硝酸含量之影響，其結果亦與 Lin and Wu<sup>(12)</sup>之實驗結果吻合。

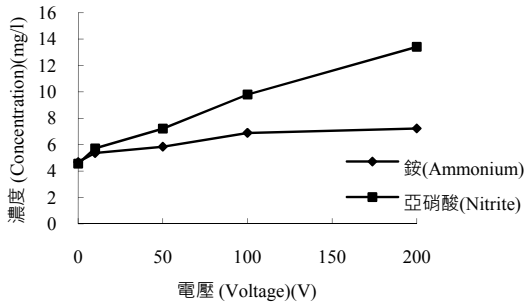


圖 11. 銨與亞硝酸濃度各為 5 mg/l 之混合液，在不同電壓下之刮除測試結果

Fig. 11. The removal concentration changes of ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) using the solution prepared with 5 mg/l of ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), respectively, under different electric voltages

3. 10 mg/l 銨與亞硝酸混合廢水之測試結果

圖 12 為初始銨與亞硝酸濃度各為 10 mg/l 之混合模擬廢水測試結果，亦如上述之 5 mg/l 混合廢水組，且亞硝酸之刮除效率亦高於銨。圖中亦顯示當銨於電壓達 100 V 時，其刮除濃度亦趨於一定值，而亞硝酸則仍持續升高，當電壓為 200 V 時，所刮下之銨濃度達 15.32 mg/l，為原混合廢水中銨濃度 9.96 mg/l 的 1.54 倍，而亞硝酸濃度則達 34.53 mg/l，為原混合廢水中亞硝酸濃度 9.96 mg/l 的 3.47 倍，其刮除效果亦約為銨之 2.25 倍。兩者亦皆顯

示實機使用極板電壓介於 100-200 V 時，對高濃度之銨與亞硝酸離子混合模擬廢水皆具有顯著之刮除效果。

綜合上述模擬廢水實機測試結果，顯示本研究所設計開發之刮除式電化學除氮機，已具有除銨與亞硝酸離子之功能，未來可再進一步結合養殖系統，進行實際養殖廢水之處理，使能做進一步之設計開發改良，以使其能達實際應用之階段，提供養殖系統另一方式之水質處理選擇。

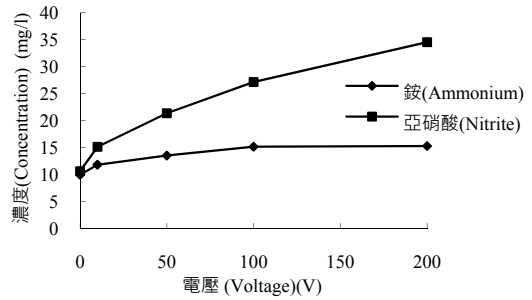


圖 12. 銨與亞硝酸濃度各為 10 mg/l 之混和液，在不同電壓下之刮除測試結果

Fig. 12. The removal concentration changes of ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) using the solution prepared with 10 mg/l of ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), respectively, under different electric voltages

結論

本研究已開發完成刮除式電化學除氮雜型機，其處理裝置陽極板採用石墨，陰極板採用不銹鋼，兩極板間距離 20 mm，極板轉速 60 rpm，於液力攪拌下，測得吸附刮除效果較

佳；並獲致在相同刮除濃度下，高轉速可有較大之刮除水量，即可獲得較多之氮去除率；同時鉍濃度愈高時所刮下之濃縮液濃縮倍率有增大之趨勢，而低濃度時則刮除效果較不明顯，其原因可能為於陰極處有電化學（還原）反應發生，以致低濃度時，於極板處被刮下之水中鉍已有部分被反應，且於低濃度時刮條亦無法完全將附著於極板上之少數離子刮除，以致低濃度時無法獲致吸附濃縮達到高濃度之鉍，此現象亦顯現於亞硝酸之測試；且亞硝酸因較鉍易氧化<sup>(12)</sup>，在伴隨著氧化效果，及在刮除作用下，亦較鉍可快速的將水中亞硝酸去除；當處理 10 mg/l 濃度之鉍與亞硝酸混合溶液時，以極板轉速 60 rpm，電壓 100 V 時，可獲致鉍與亞硝酸之刮除濃度分別為 15.18 與 27.15 mg/l，而其去除率則為 0.762 與 1.362 mg/min；且本研究所設計開發之電化學除氮機，因在無透析膜使用下，亦可避免系統阻塞問題，進而減少未來使用時之維護成本。

### 參考文獻

1. 王占云。2000。水處理在漁業水質調控方面應用。閩西職業大學學報(1): 22-23。
2. 方進忠。1998。薄膜技術於水處理之應用。技術與訓練 23(6): 18-33。
3. 李奇樺。2000。啤酒廢水二級出流水之回收處理再利用。國立成功大學環境工程研究所碩士論文。台南。
4. 吳泓明。2001。電化學薄膜程序處理低濃度含銅重金屬廢水。長庚大學化學工程研究所碩士論文。桃園。
5. 林正欣、林東源、陳伯榕。2000。電透析法對澎湖地下半鹹水淡化之研究。礦冶 44(1): 113-117。
6. 侯文祥。1996。中日養鰻池環境設計及管理效率考察。中國水產 520: 47-61。
7. 涂寶玉。1975。以離子交換膜電透析法製造高品質精鹽。台肥月刊 12 月號: 22-25。
8. 袁本滋。1976。通宵精鹽廠簡介。科學月刊 7(5): 41-45。
9. 郭世榮、丁雲源。1996。機械過濾機應用於草蝦池之初步研究循環水養殖模式建立之研究成果報告集(一)。農委會漁業特刊 58: 149。
10. 張志銘。2000。電聚浮除配合逆滲透法處理石化廢水之研究。淡江大學水資源及環境工程研究所碩士論文。台北。
11. 鄭孟嘉。2001。以電化學方法處理受鎘、鉛污染土壤之研究。國立台灣大學化學工程學研究所碩士論文。台北。
12. Lin, S. H. and C. L. Wu. 1996. Electrochemical removal of nitrite and ammonia for aquaculture. Water Research 30(33): 715-721.
13. Moss, S. M. and G. D. Pruder. 1995. Characterization of organic particles associated with rapid growth in juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei* Boone, reared under intensive culture conditions. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 187(2): 175-191.