

三段式生物程序處理有機氮廢水之研究

鄭幸雄* 李文桐** 王正杰** 許旭東*** 林健三****

摘要

本研究計畫選定困難度較大之鋼鐵冷軋工廠電解清洗廢水(HCD)為研究對象，針對其中溶解性有機胺類化合物，進行三階段不同微生物菌種之生物分解程序研究。藉高溫厭氧菌於上流式厭氧汙泥床中，進行生物消化有機胺類化合物，使之裂解為無機氨氮；再於第二段接觸曝氣床中，利用固定生物膜之好氧性硝化菌生物氧化氨氮至硝酸鹽氮；最後流經無氧汙泥床，藉由兼氣性脫硝菌將硝酸氮經生物還原為氣態氮而逸出水中。本研究進行五個月之中高溫(37°C及42°C)厭氧處理，可將250ppm有機氮裂解出150ppm氨氮，再經接觸曝氣床轉化90%以上之氨氮，最後無氧脫硝使硝酸鹽氮降至50ppm及氨氮5ppm以下，已符合民國八十二年將執行之放流水新標準。至於三段式生物程序去除COD之效率，各別為72%、25%、28%，可將原廢水1,000ppm COD處理至150ppm以下，迄今尚待加強厭氧及兼氣脫硝單元之有機碳分解能力，未來一年將延續本研究計畫，擬提高厭氧反應槽溫度至55°C，以徹底裂解有機氮，並促進下游硝化脫硝之基質轉化效率。

一、前言

鑑於我國對環境品質之要求逐年提高，環保署修訂水污染防治法中放流水水質標準也遞次提高。民國82年將執行新制定之水質標準項目中新增規定氨氮不得超過20ppm，硝酸氮不得超過100ppm，旨在防制廢污水排放氮、磷等營養成分而造成承受水體之優養化及其二次污染。然而國內各廢污水處理廠並無特殊處理單元可有效去除氨氮，既無硝化也無脫硝程序，如何達到八十二年之放流水標準，值得探討。

鋼鐵廠冷軋廢水(High Current Density,HCD)之化學成份，主要是含氮之陽離子型界面活性劑，或為含氮之兩性界面活性劑。其物化之特性，HLB(Hydrophile Lipophile Balance)值在8~10之間，呈穩定乳化狀分散，桶分式廢液化學需氧量(Chemical Oxygen Demand,COD)偏高，約為35,000~45,000mg/L。另外就廢水生物分解性而言，由

* 國立成功大學環境工程研究所副教授

** 國立成功大學環境工程系大學部學生

*** 私立崑山工專化工科主任

**** 私立崑山工專環工科講師

文獻記載獲知，含有機氮之化合物（如蛋白質），其生物分解速率較為緩慢，故 HCD廢水可能也會面臨到生物分解速率的瓶頸反應。

基於上述HCD 廢水之特性，以及本研究群在厭氧UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)、硝化(Nitrification)、脫硝(Denitrification)等方面之研究經驗，本研究以三段式（上流式厭氧汚泥床，好氧接觸曝氣床，無氧兼氣性脫硝汚泥床）生物處理程序處理 HCD廢水。第一段處理程序包括UASB遞升溫度(35, 37, 42°C)之連續流程序試驗以高溫厭氧菌提昇有機氮裂解速率。並利用生化甲烷產能試驗 (Biochemical Methane Potential,BMP)進行長時間生物分解能力探討，以判定HCD 廢水厭氧生物分解特性之難易。後續處理部份，則包括UASB出水流經氣舉式接觸曝氣槽氨氮硝化試驗，以及無氧汚泥床脫硝試驗，探討不同之操作條件以評估三段式生物處理程序對HCD 廢水中總氮量之徹底去除能力。

二、實驗設備及方法

2.1 HCD 廢水生物處理設備

本研究HCD 廢水處理設備如圖 1 所示，為三段式之處理裝置。第一段為上流式厭氧汚泥床(UASB)。反應槽系統之裝置如圖 2 包括：1. 厭氧汚泥床反應槽主體。2. 反應槽頂之氣、固、液分離裝置。3. 進流槽及進流定量泵。4. 溢流沉澱槽及迴流泵。5. 排水集氣槽。6. 恒溫水槽及恒溫水迴流泵等部分組成。反應槽主體高200cm，由上下兩段內管長各100cm，直徑10cm，外管直徑14cm的同心圓壓克力管所構成。外環接以恒溫水套管，維持溫度由37°C升至42°C。反應槽頂加一45°斜面之氣、固、液分離器，以便從槽體帶上之生物微小顆粒可因擴大管徑效應，而減速沉降回到反應槽。反應槽底部為一錐形狀，內填以蜂巢式組合之陶磁套環。整個反應槽之容積（至出流口高度260cm）為46.8公升。

第二段為氣舉式喜氣固定生物膜曝氣槽反應槽，為一圓形之壓克力管，管徑25cm，高度215 cm，管下方設置一錐形汚泥斗，斗高25cm，汚泥斗連接一迴流管，以備迴流或排放斗內聚集之汚泥。反應槽中央設一曝氣室，為直徑5 cm之PVC，與壓克力外管呈同心圓排列，此管下方連接進流管，曝氣頭(diffuser) 位於進流管下方約7cm 處。空氣經壓縮機打入曝氣室底部而上浮，氣舉(air-lifting) 帶動水流循環，攪拌混合稀釋進流水並提高溶氧。外環管部份為生物膜接觸料，槽兩側配置出流管兩支。接觸濾料佔有體積約74公升、高度150cm，水液佔有之總體體積約90公升，使用之生物接觸濾料(Biodek、S19型)比表面積 $140\text{m}^2/\text{m}^3$ ，使用濾材總面積 6.44m^2 。

第三段為兼氣性脫硝槽，反應槽型式與第一槽相同，為上流式汚泥床僅植入脫硝汚泥。以上三種反應槽均為壓克力製品，厭氧汚泥床反應槽操作溫度分別為35, 37, 42°C外，其它兩槽皆在室溫下操作。

2.2 厥氧生化甲烷產能試驗裝置

本研究採用Owen之生化產能試驗 (Biochemical Methane Potential, BMP test) 及模擬設備見圖3之厥氧污泥植種傳送裝置。皆以 N_2 及 CO_2 比例70%及30%之無氣體抽送厥氧污泥及營養劑溶液至血清瓶，細節分述如下：

1. 廢水基質液

配置已知濃度之HCD 廢水或廢液。

2. 厥氧培養液營養劑儲備液

採用Owen之配方，分瓶為 S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 及 S_6 並避免各種成分混合發生氧化沉澱作用。

其中 S_1 為Resazurin係氧化還原指示劑（氧化時呈粉紅）, S_5 為 Na_2S 係加入血清瓶以維持還原無氣環境。

3. 基質溶液及血清瓶之製備

以100mL 血清瓶（容積約120±3mL），依測試基質種類及濃度加入定量之儲備液後，以脫氣之蒸餾水（煮沸或氮氣曝氣）稀釋至30mL，加入基質時以1L/min流量之氮氣沖洗約3分鐘後蓋上橡皮塞，以作進一步之厥氧污泥植種。

4. 厥氧污泥植種液之製備

依Owen氏之步驟並修正如下：

- (1) 加1L去離子水於2L三角瓶。
- (2) 加入1.8mLS₁ , 5.4mLS₂ 及27mLS₃ 。
- (3) 加入去離子水至總容積1600mL。
- (4) 加熱沸騰15分鐘，其間並以1L/min之氮氣沖洗溶液上方以脫氣。
- (5) 冷卻至室溫。（繼續維持1L/min之氮氣）
- (6) 加入18mLS₆ , 1.8mLS₄ 及1.8mLS₅ 。
- (7) 改變氣體組成為30% CO_2 及70% N_2 ，並維持流量於1L/min。
- (8) 加入8.4g碳酸氫鈉粉末。
- (9) 以30% CO_2 及70% N_2 曝氣。
- (10) 加入400mL之厥氧污泥。

5. 厥氧污泥之植種

以圖3之無氣傳送設備加30mL之污泥植種液於血清瓶，並再以30% CO_2 及70% N_2 氣體曝氣1~2分鐘後，蓋上矽膠塞並以鋁蓋封口後放入35°C內培養箱，於一小時後排除過剩氣體後再放於35°C下培養。

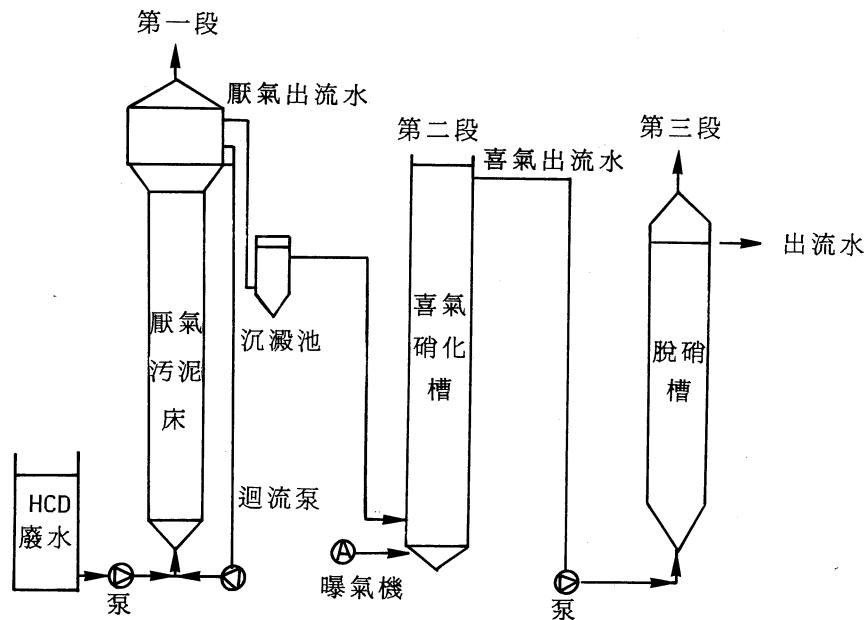


圖 1 HCD廢水厭氣、喜氣硝化、兼氣性脫硝三段式生物處理流程

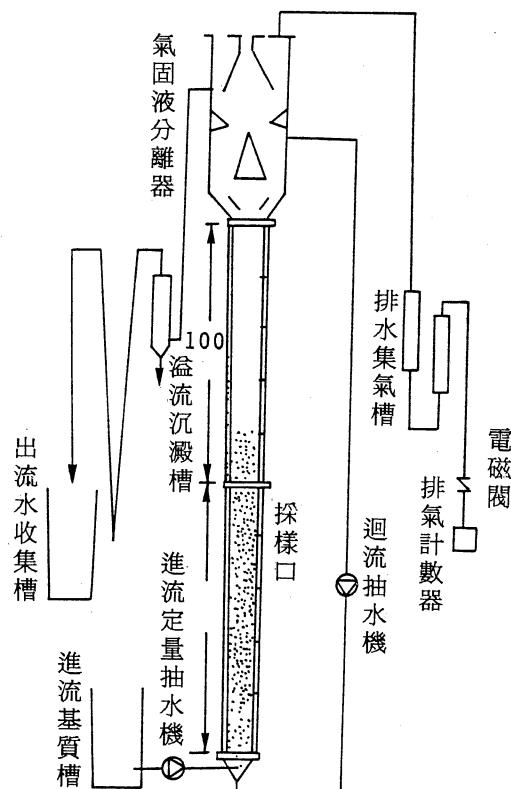


圖 2 厭氣UASB反應槽

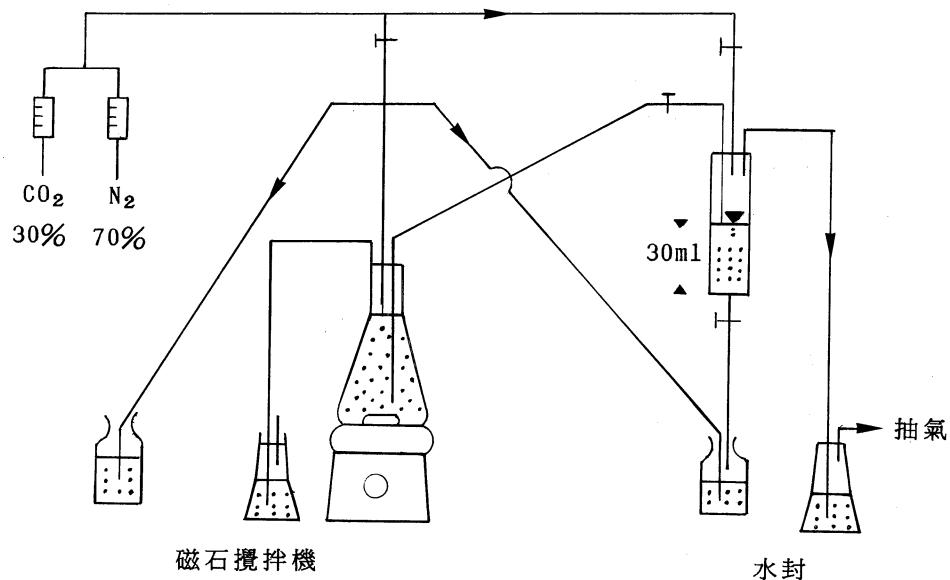


圖 3 無氧植種裝置

2.3 水質分析項目及方法

如表 1 所示。

表 1 水質分析項目及方法

分 析 項 目	分 析 方 法 與 儀 器
pH值	直接電極法, TOA HM-7E pH Meter
化學需氧量(COD)	重鉻酸鉀迴流法(580A)*
生化需氧量(BOD)	改良疊氮滴定法
總凱氏氮(TKN)	Macro-kjeldahl Method(420A)
氨氮($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)	直接電極、Orion Research Expandable Ion Analyzer、EA940
亞硝酸鹽(NO_2^-)	NED(419)
硝酸鹽(NO_3^-)	UV method
懸浮固體物(SS)	過濾 103-105°C 烘乾(209C)
揮發性固體物	550-600°C 焚燒(209D)

*括弧內為 Standard Method 16th Edition (1985) 之編號

三、實驗結果及討論

3.1 上流式厭氧污泥床處理HCD 廢水（第一段）

鑑於以往以生物處理HCD 廢水均不能有效裂解有機氮轉變為自由氨氮，為了突破此瓶頸，反應槽內擬馴養活性較高之高溫微生物來替代中溫菌，進而嘗試是否能有效分解HCD 廢水中之有機氮並利用高溫微生物活性大之特性分解廢水中有機碳之成分，即降低COD (陳文卿等)。

為了使微生物能適應高溫環境，並且為探討溫度與污泥活性及分解有機物間之關係，因此實驗研究採漸進提昇溫度，期待能對各試程有完整之探討。

3.1.1 試程一(37°C)UASB生物處理之結果

鄭幸雄與楊英賢之論文記載，UASB在 35°C ，及蔗糖之輔助效應下，大約將有機氮之45%裂解為氨氮，而COD去除率則大約68%左右。試程一在 37°C 下操作UASB共34天，進流廢水量控制在水力停留時間為1.7天，則反應槽體積負荷為 $0.8\text{kg COD/m}^3 \cdot \text{day}$ (圖4)。從溶解性COD與總COD之比較來看，其間之差值非常有限，意即由懸浮性固體物所產生之COD遠小於溶解性之COD(表2)。有鑑於此，討論中均以溶解性COD作為探討標準。

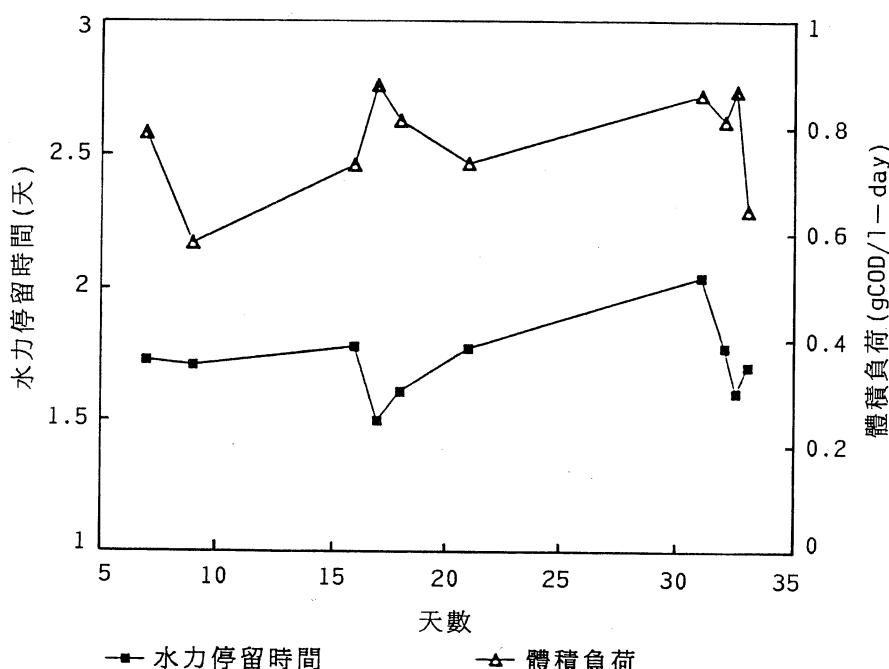


圖4 UASB試程一操作期間水力停留時間與體積有機負荷量之變化

表 2 UASB試程－進出流水質分析表

DATE	DAY/S	I-COD (mg/l)	E-COD (mg/l)	I-DCOD (mg/l)	E-DCOD (mg/l)	DCOD REMOVE (%)	I-NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	E-NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	I-pH	E-pH	I-SS (mg/l)	E-SS (mg/l)	I-VSS (mg/l)	E-VSS (mg/l)	I-OrgN (mg/l)	E-OrgN (mg/l)	FLOW (ml/min)	HRT (day)	GAS
7-10	1	1296	583	1159	557	51.9	0.8	62.0											
7-13	4	435	338	382	308	19.5	0.8	62.0	6.4	6.5									
7-17	8	1400	134	1359	129	90.4	11.0	31.0	6.7	8.6									
7-19	10	1076	306	988	257	73.9	31.0	45.0	7.4	8.5									
7-26	17	1350	318	1290	284	77.9	39.3	83.8	6.5	7.3	154	62	95	23			18.4	1.77	
*7-27	18	1395	303	1311	289	79.8	3.7	86.2	8.0	8.9							21.8	1.49	
7-28	19	1332	268	1299	254	78.8	18.5	82.3	6.6	7.5									
7-31	22	1345	327	1286	298	76.8	29.6	86.9	6.5	7.2	215	81	157	50			18.5	1.76	
8-01	23	1454	326	1440	301	79.0	30.5	78.9	6.9	7.2									
*8-05	27						1.5	256.0	7.5	7.5									
*8-07	29			2000	400	79.9	0.2	131.0	6.1	7.5									
8-08	30			1620	358	77.9	16.9	109.0	6.8	7.6									
*8-09	31			1708	477	72.0	12.9	100.2	7.4	8.1							174.1	0	
8-10	32			743	484	72.2	3.1	76.6	6.3	7.4							16.0	2.03	
8-10.5	32.5			1686	437	74.0	9.7	71.7	6.9	7.2	350	67	232	34			10.8		
8-11	33			1425	477	66.5	13.0	75.7	7.3	7.8	372	62	250	37			18.5	1.76	
8-11.5	33.5			1379	460	66.5	10.4	72.8	7.5	7.8	374	51	254	15			72.5	16.2	
8-12	34			1283	450	64.3	1.8	75.7	8.1	8.0	416	17	276	6			20.4	21.6	
NO.	9	9	17	17	18	18	17	17	6	6	6	6	2	3	7	7	5		
AVERAGE	1231	324	1374	366	70.7	13.0	88.1	7.0	7.7	313.5	56.7	210.7	27.5	180.5	84.5	19.0	1.73	14.8	
STD	298	109	344	109	15.1	11.9	46.1	0.6	94.9	19.8	63.8	14.6	—	—	1.7	0.16	8.8		

圖 5 顯示，37°C下之進流與出流COD有一穩定之差值，其去除率約70%，其與35°C比較時並無顯著增加。而 NH_4^+ -N產生方面，則大約裂解60~80mg/l之有機氮，裂解率大約30~45%左右。因此在溫度未明顯提昇時，其所得之結果均與35°C時所差甚小。

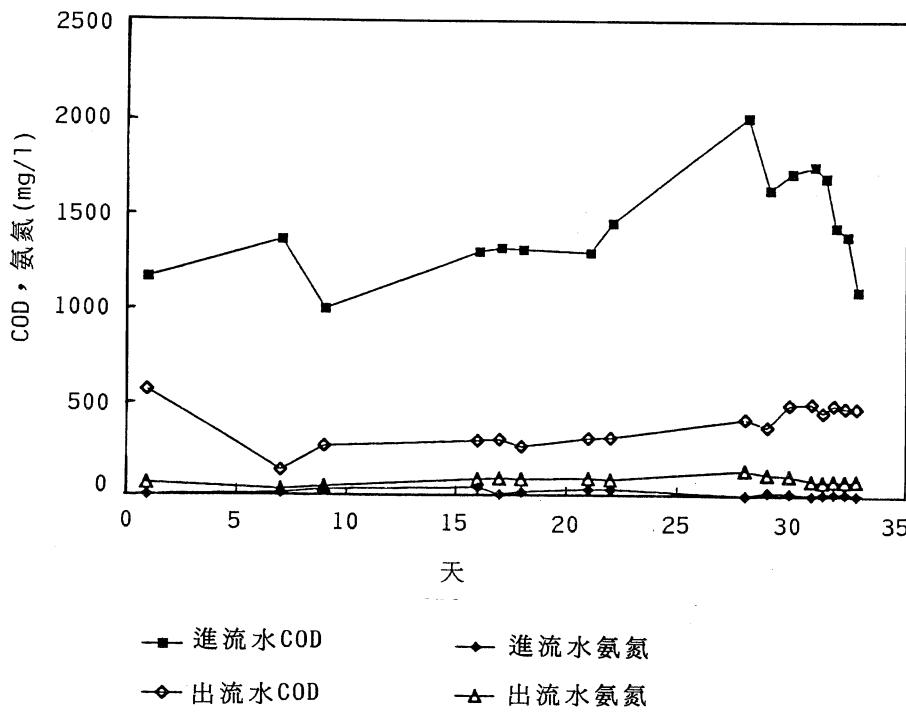


圖 5 UASB 試程一進出流水之 COD 及氨氮變化

本研究期間發現，即進流基質桶中貯存HCD 廢水有自行酸化現象，由圖 4 可看出無論進流之 COD 或 NH_4^+ -N 均有呈現一波一波之明顯升降現象（其每一波即代表同一批進流基質）。當剛新配製進流水時其 COD 與 NH_4^+ -N 之值為 HCD 廢水之含量大小；但隨著貯存時間之延續，進流桶內基質進行裂解而水質變黑現象，桶內之微生物分解部份之有機氮並去除了部份之 COD。而厭氧污泥槽出流水質也隨著進流水之趨勢，呈現等量之去除量（意即進流 NH_4^+ -N 升高，出流亦隨之升高，進流 COD 降低，出流亦隨之降低，其間差值呈現等距狀態）。此一結果可得一重要啓示，即吾可利用進流基質之先前裂解，再經 UASB，則去除有機物之效率相對提高，此可供實際廠改善流程之參考。

另外 pH 值亦會影響污泥活性，由文獻得知微生物在 pH 為 6.5~8.5 中活性最大，因此操作時進流之 pH 均調至 7.0 左右。但進流槽有氧化裂解現象，其有機氮所分解出氨氮，會明顯提高 pH 值，為防止 pH 變化太大，進流中加入 NaHCO_3 當緩衝劑，保持穩定之 pH 值使污泥處於極佳環境中。（如圖 6 所示）。

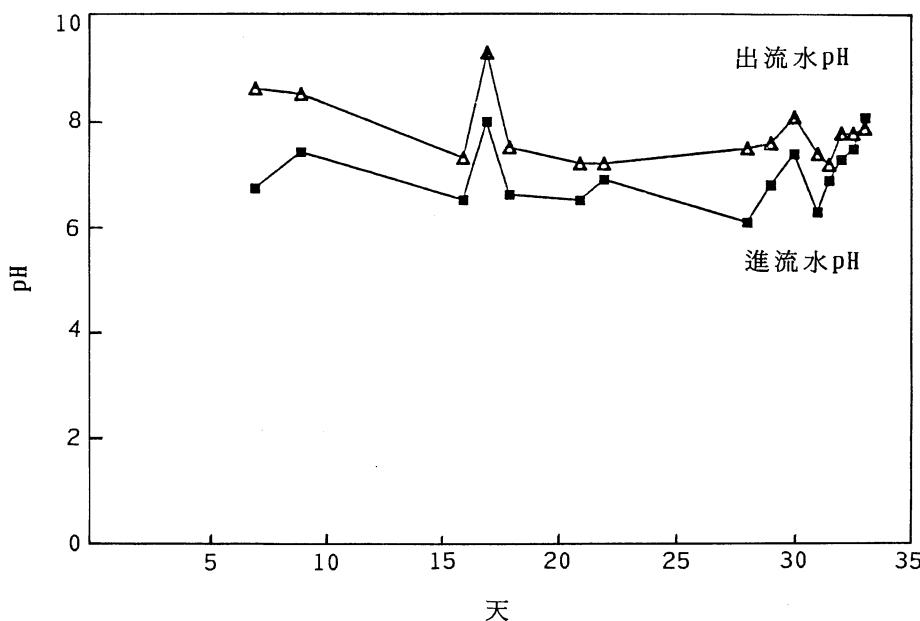


圖 6 UASB試程一進出流水pH之變化

3.1.2 試程二(42°C)UASB生物處理結果

本研究之第二階段將反應槽溫度升至 42°C ，以探討溫度差 5°C 下之生物活性及對有機物去除之良劣為何？

本試程在 42°C 下操作UASB共96天，其COD去除率並無明顯之提升（僅約2%見表3），但值得一提的是產生 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 之變化。由圖7得知。 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 由 37°C 時之 $60\sim 80\text{ mg/l}$ 提升至 110 mg/l 左右，有時出流水亦能達 150 mg/l ，顯示溫度之提升能更有效裂解有機氮，亦逐漸符合研究之目的。由圖9及圖10得知溫度之提升有助於有機氮裂解為氮氣並小幅提升COD去除率。因此未來之試程乃要漸升溫度至 55°C ，進而評估高溫菌對處理HCD廢水之效率提昇幅度。本UASB之加溫系統，並未能有效精確控制水溫，尤其冬天的來臨更會影響系統之外在氣溫。因此，如加強設備之維護和系統之控制能達完美，則誤差相對減少，結果更加可靠。

表 3 UASB試程二進出流水質分析表

DATE	DAY	I-DCOD (mg/l)	E-DCOD (mg/l)	DCOD(%) REMOVE	I-NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	E-NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	I-pH	E-pH
*8-13	1	1858.5	448.9	75.85	17.2	115.3	7.1	7.8
8-14	2	1281.0	433.0	66.20	9.57	110.0	7.0	8.0
8-21	9	1378.9	293.65	78.7	4.96	84.1	6.9	7.8
8-22	10	1496.0	324.69	78.29	9.8	119.0	7.1	7.7
8-23	11	1130.8	464.00	60.00	43.8	144.3	7.6	8.0
*8-24	12	1217.1	353.68	71.00	1.61	75.3	6.7	7.8
8-29	17	1302.6	554.00	57.01	4.59	101.0	7.4	8.1
9-01	20							
9-02	21							
*9-04	23	1189.8	254.59	78.60	5.58	74.02	7.9	8.0
9-06	25	928.00	180.00	80.60	53.3	143.0	7.8	8.2
9-07	26	938.02	210.82	77.52	50.0	150.0	7.9	8.0
10-04	53				13.0	85.6	7.0	7.7
10-05	54	1145.7	416.6	63.63	15.5	88.8	7.1	7.6
10-17	66	1334.0	435.5	67.35	29.0	116.0	7.3	8.0
10-18	67	1259.0	515.5	59.09	31.3	118.0	7.3	7.5
10-24	73	939.7	325.5	65.36	15.0	116.0	7.0	7.4
10-27	76	1154.0	310.7	73.08			6.5	7.6
11-08	88	1172.8	223.6	80.93			7.5	7.8
11-14	94	1257.2	198.3	84.23			7.5	7.8
11-16	96	978.8	198.2	79.75	50.1	117.0	6.8	7.0
TIMES		18	18	18	16	16	19	19
AVERAGE		1220.1	341.2	72.07	22.1	109.8	7.3	7.8
STD		218.3	114.1	8.31	17.6	23.0	0.4	0.3

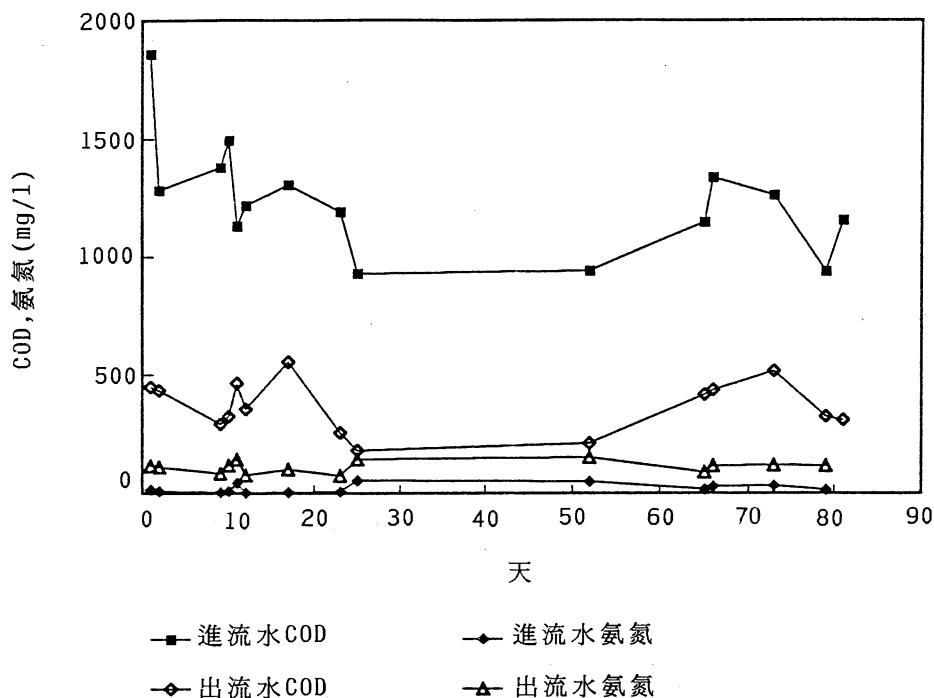


圖 7 UASB試程二進出流水COD及氨氮之變化

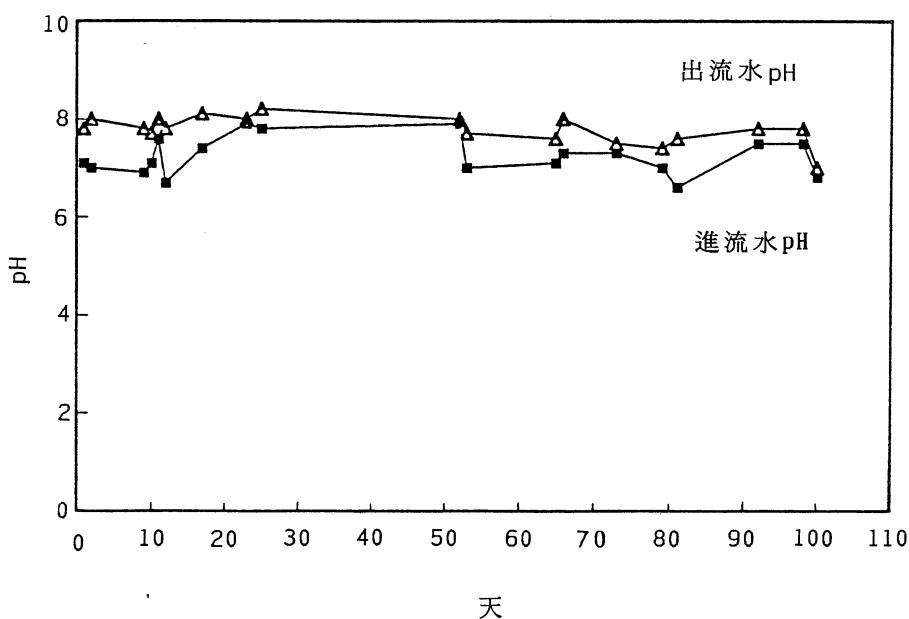


圖 8 UASB試程二進出流水pH之變化

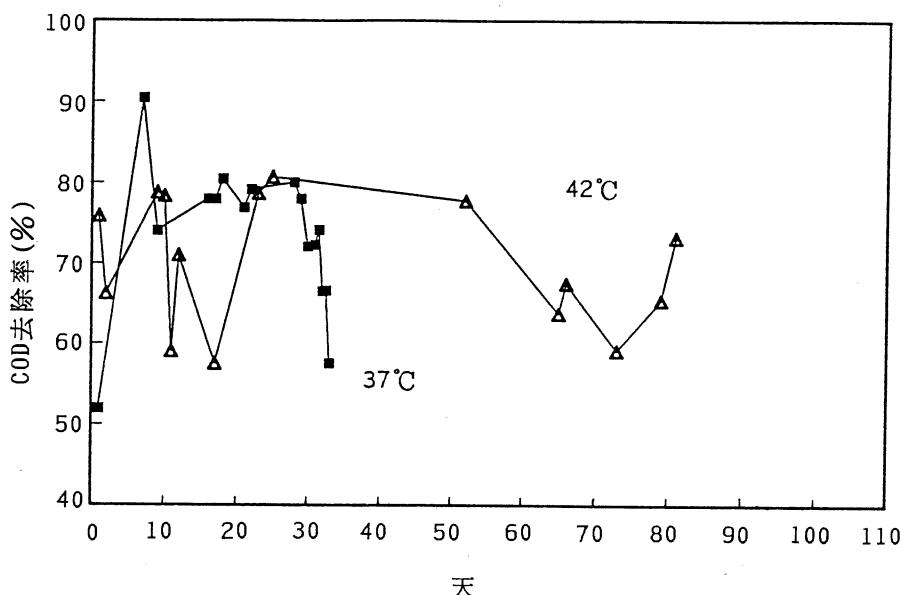


圖 9 UASB試程一與試程二COD去除率比較

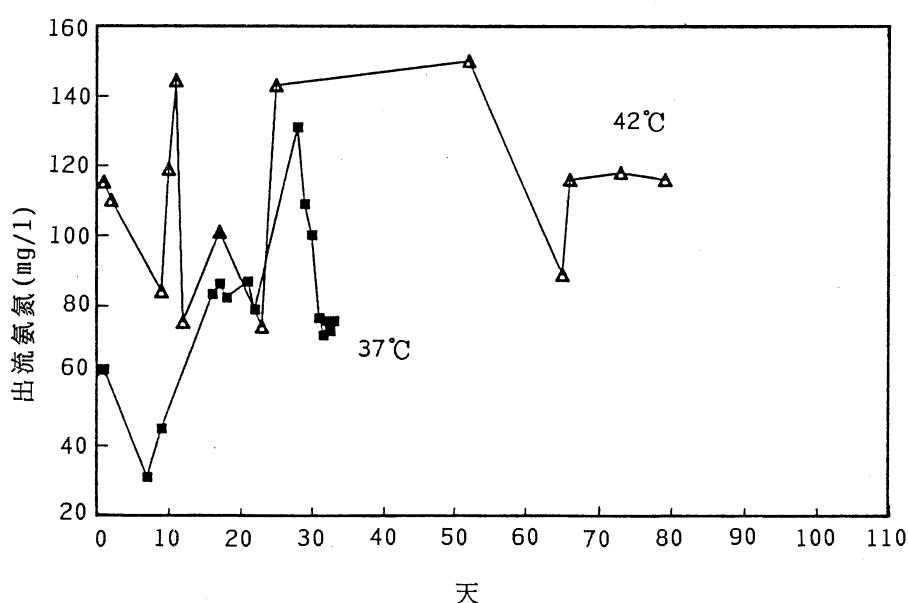


圖10 UASB試程一與試程二出流水氨氮比較

3.2 厳氧污泥生化甲烷產能試驗(BMP test)

為了解嚴氧污泥床連續流程序之微生物活性，在延續數個月控制不同溫度控制試程中，應定期採取嚴氧污泥槽中之污泥，進行不同廢水濃度之甲烷產氣速率之測定，以探討不同試程中嚴氧污泥分解HCD 廢水之生化反應動力學特性，並研判生物分解作用之最適廢水濃度，另可比較生物馴養程度之演進。茲就不同操作溫度(37°C 及 42°C)之兩試程所作 BMP試驗解釋之。

3.2.1 試程一(37°C)嚴氧污泥之批分式產氣實驗結果

定量污泥於各血清瓶中加入不同濃度之HCD 廢水，自 COD : 289ppm至 1447ppm，逐日觀測甲烷產氣量，並以連續產氣累積量與培養時間，點繪五條累積產氣量曲線如圖11。圖中曲線顯示，初期產氣量很小，直至三天後，逐漸增加產氣速率。最初濃度COD868 ppm 之產氣率在十天後仍繼續增加，而COD 大於1200ppm 者，產氣速率已趨平緩，表示未能完全分解廢水有機成分。若以初期產氣速率代表嚴氧生物對不同廢水濃度之分解能力，則兩者間之關係可繪成圖13，顯示有生物抑制的反應動力學特性，即產氣速率隨基質濃度增加而提昇，但增至COD:868ppm及 1254ppm，產氣速率達最高點(0.045g COD/g VSS-day)；濃度再增大至 1447ppm，產氣速率反而下降，表示嚴氧菌無法承受太高廢水濃度，或受廢水中有害成份之抑制，而減小產氣速率。

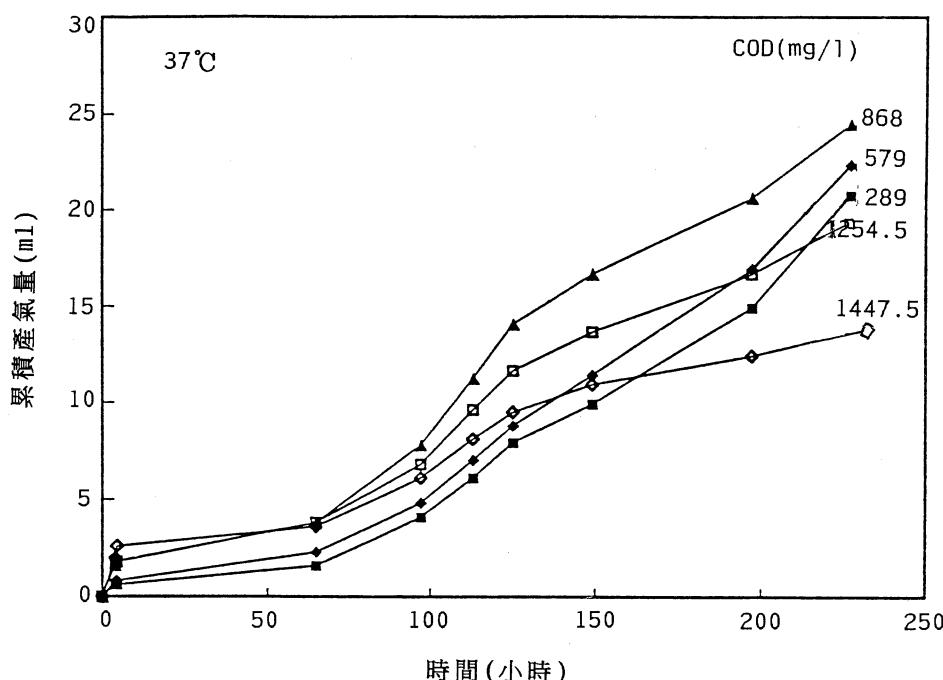


圖11 UASB試程一嚴氧污泥之生化甲烷產氣量曲線

3.2.2 試程二(42°C)厭氧污泥之批分式產氣實驗結果

厭氧反應槽延續三個月之升溫(42°C)操作後，採出污泥所做之BMP 試驗結果，點繪為累積產氣量與培養時間之關係圖如圖12。不同廢水濃度在最初兩天內，即有明顯之產氣現象，表示此厭氧菌已能承受HCD 廢水成份，並立即分解產氣，無初期抑制或滯緩現象。其中COD:600ppm之產氣曲線最為顯著升高，產氣速率也最大；COD大於1000ppm者則減緩產氣速率，各種初始濃度在十天以後皆趨向產氣緩和現象，可生物分解之有機物不再存在，或生物分解能力已達極限。再由不同廢水濃度之產氣速率曲線，如圖13所示，COD : 600ppm 為產氣速率最高之初始濃度，其產氣速率達 $0.17\text{g COD/g VSS-day}$ ，比 37°C 最高值 $0.045\text{g COD/g VSS-day}$ ，約增大四倍。產氣速率之增大，意謂厭氧菌活性及馴化程度之提升。又由此圖顯示，HCD 廢水COD 濃度大於 $1,500\text{ppm}$ ，則產氣速率明顯減小，亦表示HCD 高濃度會抑制厭氧菌之生物分解能力，此時厭氧污泥床無法提高進流廢水濃度或有機負荷量，須再提昇生物活性才可。

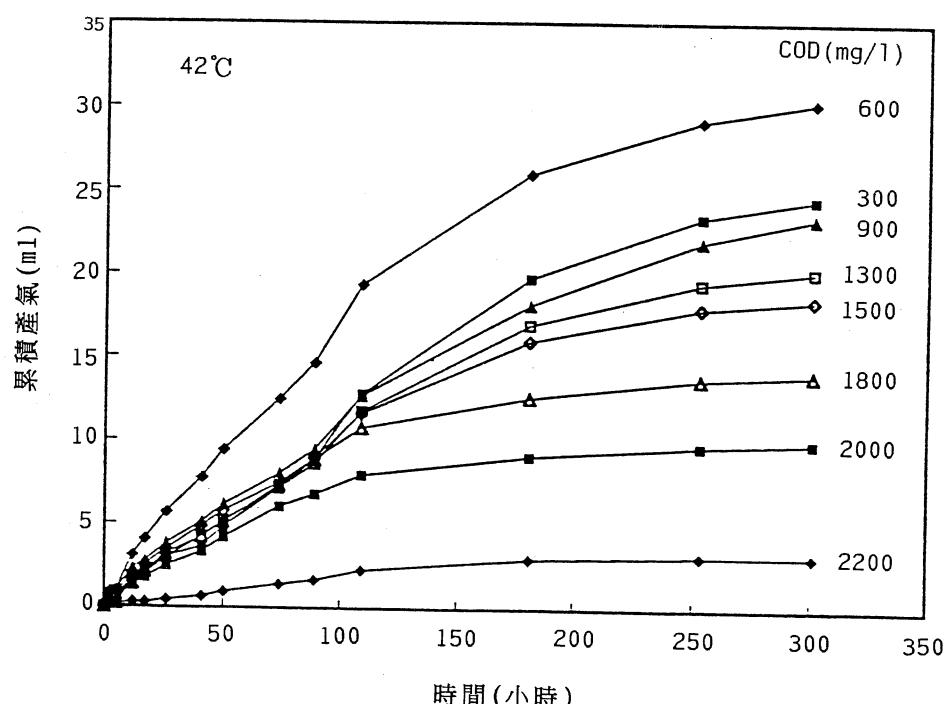


圖12 UASB試程二厭氧污泥之生化甲烷產氣量曲線

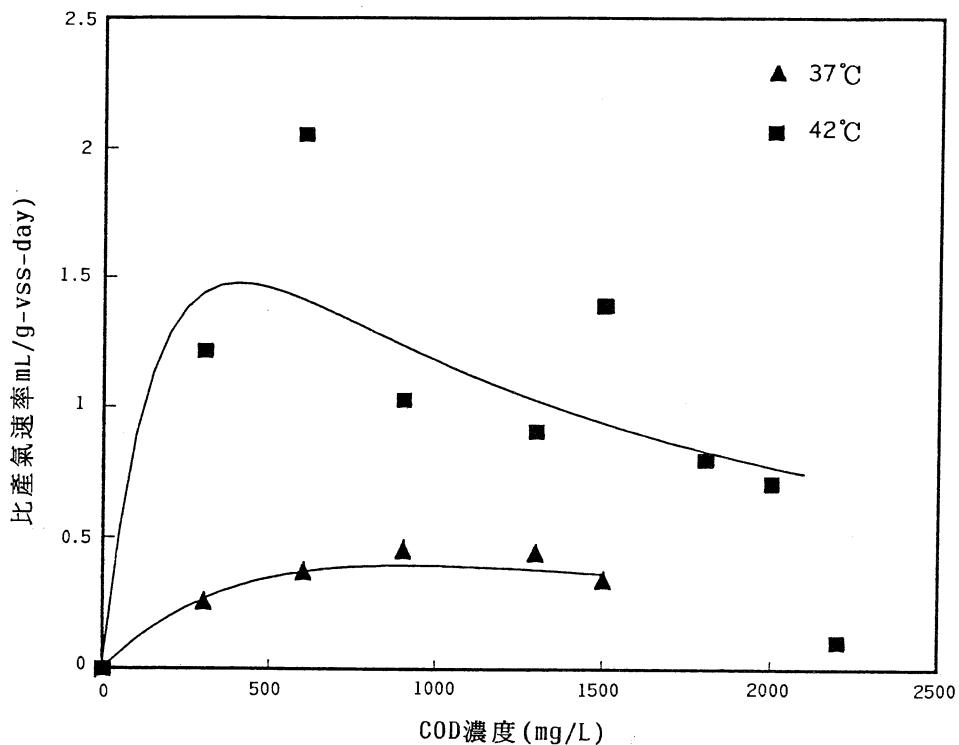


圖13 UASB試程一與試程二厭氧污泥對HCD
廢水不同濃度之比產氣速率

3.3 氣舉式固定生物膜接觸曝氣法處理HCD 廢水（第二段）

由於UASB厭氧反應，將HCD 廢水中之有機氮裂解釋出 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 濃度在60~100mg/l之間，必須再藉好氧性固定生物膜法，以氧化第一段出流水中之COD 與 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 。

第二段程序，採用氣舉式固定生物膜接觸曝氣法，以空氣壓縮機提供充足之曝氣量，並行延長式曝氣法，操作HRT=3.8 天之結果如下討論。厭氧UASB反應槽之出流水pH在7.5~8.5之間，而Sharma指出硝酸菌與亞硝酸菌之最佳硝化pH在7.5~8.5之間，因此不用調整進流水之pH值。又根據硝化之基本理論，每硝化一單位 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 約消耗4 單位鹼度，而本研究發現進出流水之pH差異不大，並無pH下降之現象（圖14），表示原水中已有足夠之鹼度以供給硝化時所消耗之鹼度。

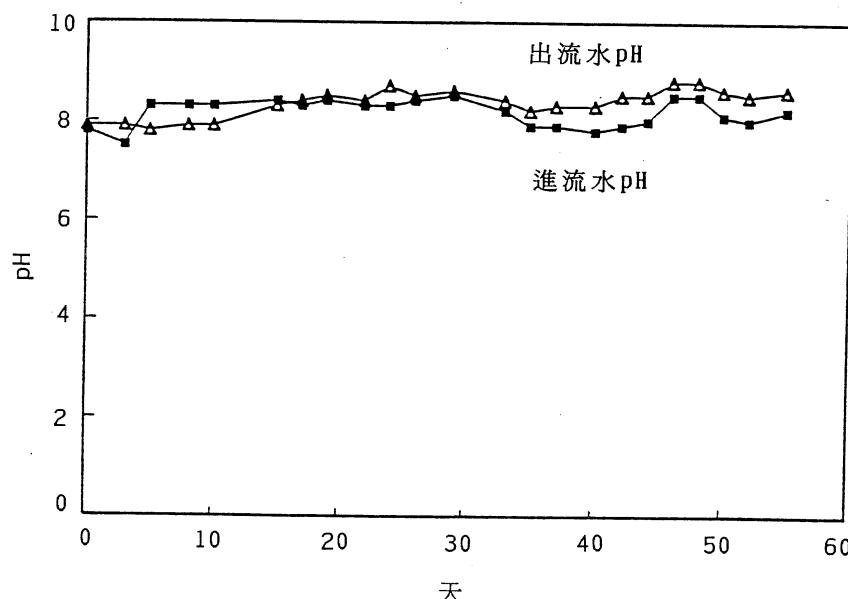


圖14 硝化槽進出流水 pH變化

有機物分解部分，由圖15得知試程中進流之COD在400~600mg/l之間，而出流在250~450mg/l之間，即 COD之去除率約在25%左右；表示此反應槽對有機物之去除效果有限，與鄭幸雄之研究結果相符。而進流NH₄⁺-N 值在60~100mg/l之間，出流水之NH₄⁺-N則皆在1 mg/l以下，其去除率在98%以上。又由出流水 NO₃⁻-N 變化發現固定生物膜硝化98%之氨氮中約有90%以上轉換為NO₃⁻-N，監測出流水NO₂⁻-N皆在0.5ppm以下顯示本系統硝化作用完全，並無NO₂⁻-N累積之現象。

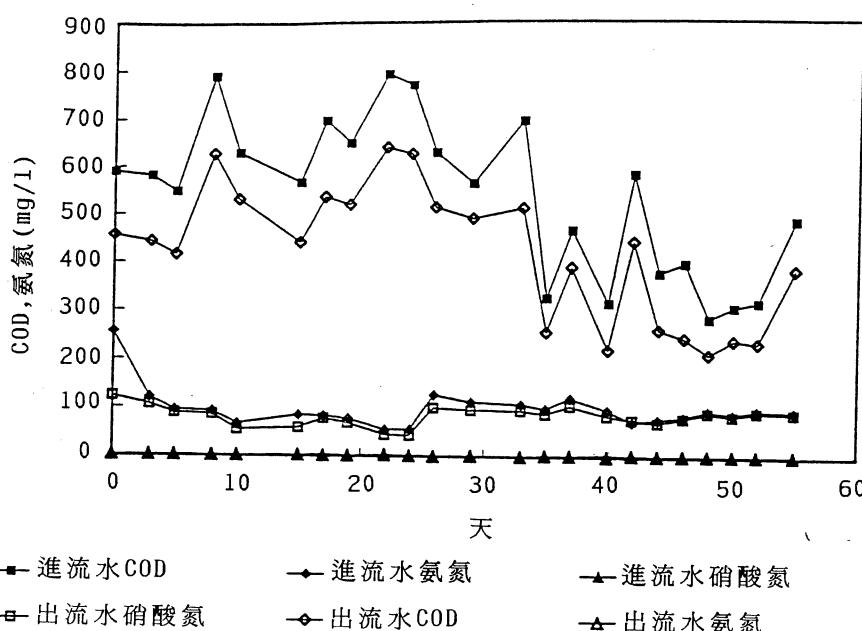


圖15 硝化槽進出流水 COD 及氨氮、硝酸氮變化

此外監測硝化槽出流水之SS，發現其值皆在20ppm以下，顯示固定生物膜硝化槽截留固體物效果佳，能聚集之污泥量多，可減免污泥沉澱池之操作費及建設費。

3.4 無氧兼氣性脫硝槽處理HCD廢水(第三段)

依 Aftring et al 之研究結果證實苯二甲酸可作為脫硝所須之有機碳源。故本研究脫硝槽先植種脫硝污泥並以苯二甲酸為碳源($COD=300\text{ppm}$)亞硝酸鈉為氮源($\text{NO}_2^- \text{-N} = 100\text{ ppm}$)，馴養穩定後，直接以喜氣固定生物膜出流水為進流基質，探討脫硝槽處理實際廢水之效果。

脫硝槽進流水之pH在8.5左右與適當脫硝作用之pH相較略偏高，經脫硝作用後pH略有提高(圖16)。分析進流水之 $COD/\text{NO}_3^- \text{-N}$ 之值約在2.6~4.4之間，根據 Abufayed et al 之研究指出，若以初沉污泥為碳源時， $COD/\text{NO}_3^- \text{-N}$ 之值必須達到6.3以上才能有效的去除氧化態碳。顯然本研究廢水之碳源不足。另外根據鄭幸雄之研究指出硝化槽後殘留之COD皆不易為微生物所分解，因此脫硝槽之COD去除效果不佳。本研究第三段進流之COD在250~400ppm之間，出流則在160~300ppm之間，COD去除率僅為28%左右(圖17)。 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 部分，進流水之 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在75~100ppm之間，出流水之 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 則在35~55 ppm之間，去除率約37%，同時發現出流水之 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 反而增至5ppm左右，可能是分解殘留之有機氮所產生。

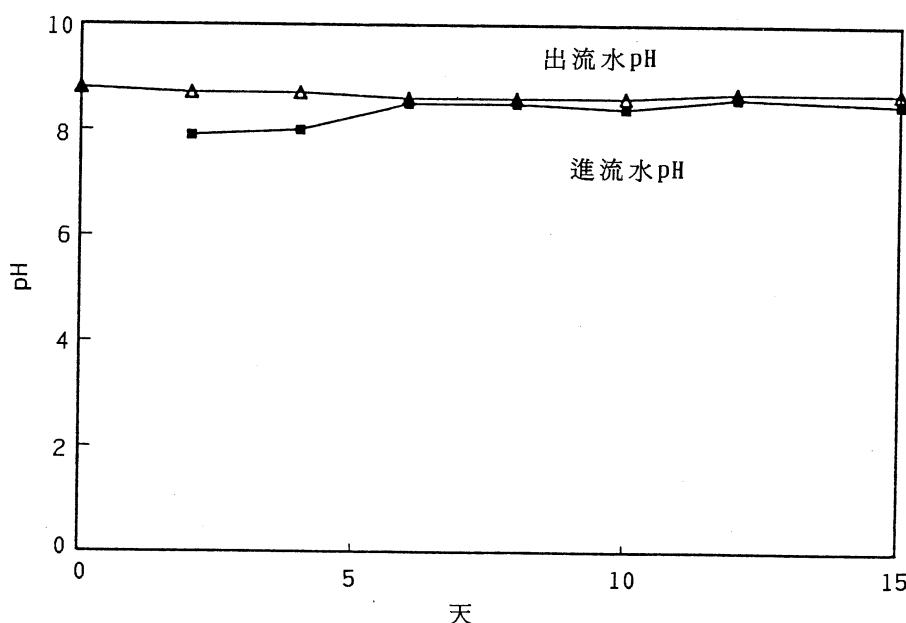


圖16 脫硝槽進出流水pH變化

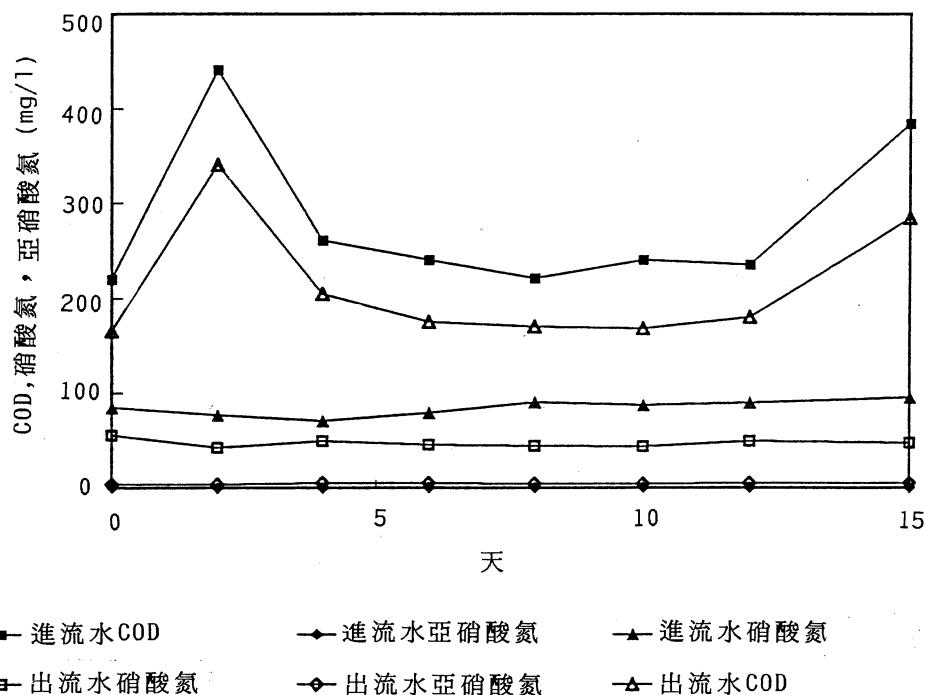


圖17 脫硝槽進出流水COD及硝酸氮、亞硝酸氮變化

在脫硝反應槽操作時，發生汚泥阻塞之現象，此乃脫硝菌黏度高，而脫硝作用之產氣量少，不足以擾動汚泥床，因此造成汚泥壓緊而阻塞，影響質量傳送。可能須增加出流水之迴流量或迴流氣體以避免此現象。另外本反應槽無加溫設備，因此無法在恆溫下操作，亦可能影響脫硝菌之脫硝作用。

四、結論及建議

本研究針對冷軋廢水中有機污染物($COD=1000\text{mg/l}$)，及有機氮($TKN=250\text{mg/l}$)，採用三段式生物處理程序，可有效去除其污染成分，得下列結論及建議。

1. 第一段厭氧汙泥床(UASB)之操作水溫，由 35°C 逐次提高至 37°C 及 42°C ，前者並未顯著提升有機氮去除效率(45%)，但 42°C 試程已明顯提升有機氮裂解效率(57%)，可產生 110 mg/l 氨氮，並有72%之COD去除率，厭氧反應槽體積負荷為 $0.8\text{kg COD/m}^3 \cdot \text{day}$ ，水力停留時間為1.7天。
2. 生化甲烷產能試驗，可評估兩種操作溫度下厭氧汙泥之產氣速率及生物活性，顯示 42°C 厭氧生物分解 600mg/l COD時可得最高活性為 $0.17\text{g COD/g VSS-day}$ ，比較 37°C 之

0.045g COD/g VSS-day，可見提昇溫度明顯促進厭氧菌之生物分解速率。

- 3.第二段氣舉式生物膜接觸曝氣槽，承接厭氧裂解之氨氮廢水，可轉化90%以上之氨氮為硝酸鹽並無亞硝酸鹽之累積，但此段對COD之去除效率僅25%左右。固定生物膜硝化菌大多為自營性，不易利用有機碳。
- 4.第三段兼氣性脫硝汙泥床，生物還原固定生物膜硝化後之硝酸鹽氮，無法有效利用原廢水中殘留之惰性有機碳，僅去除進流COD之28%，以及38%之硝酸鹽氮，出流水仍含有35~55mg/l之NO₃⁻-N，與5mg/lNH₄⁺-N。
- 5.三段式生物程序可有效去除冷軋廢水中之有機氮至民國82年之放流水標準，但須另加補助有機碳源才能完全脫硝，尚待進一步研究提昇各段之生物處理效率，及程序控制條件之最適化。

五、參考文獻

- (1)鄭幸雄，「冷軋廢水處理程序可行性之研究(一)」，國立成功大學環境工程研究所研究報告68號，民國77年5月。
- (2)楊英賢，「冷軋廢水生物處理可行性之研究」，碩士論文，國立成功大學環境工程研究所，民國79年6月。
- (3)鄭幸雄、馬健雄，「迴流式厭氣汙泥床法處理高負荷酚廢水之程序控制」，第十三屆廢水處理技術研討會，pp.391-340，民國77年9月。
- (4)鄭幸雄、陳賢焜、卓清昆，「固定生物膜硝化程序之基礎研究」，第十三屆廢水處理技術研討會，pp.82-93 民國77年9月。
- (5)鄭幸雄、陳賢焜、卓清昆，「固定生物膜亞硝酸化及脫硝程序之研究」，第十四屆廢水處理技術研討會，pp.163-172，民國78年10月。
- (6)鄭幸雄、張明倉、魏裕庭，「三段式生物程序處理垃圾滲出水之研究」，第十五屆廢水處理技術研討會，pp.247-256，民國79年11月。
- (7)陳文卿、林吉成、蕭碧蓮、陳榮耀，「利用高溫厭氣消化作豬場廢污之完全處理」，第十五屆廢水處理技術研討會，pp.53-70，民國79年11月。
- (8)Owen, W. F., et al, Bioassay for Monitoring Biochemical Methane Potential and Anaerobic Toxicity, Water Research, Vol.13, pp.485-492, 1979.
- (9)Sharma, B. & Allert, R. C., Nitrification and Nitrogen Removal , Water Research, 11, pp.897, 1977.
- (10)Aftring, R.P. et al, Degradation of Phthalic Acids by Denitrifying, Mixed Cultures of Bacteria, Appl. Envir. Micr. pp. 1177-1183, 1981.
- (11)Abufayed, A. A. & Schroeder, E. O., Performance of SBR/Denitrification with a Primary Sludge Carbon Source, JWPFC, vol. 58, no. 5, pp.387-397, 1986.