

## 變動曝氣量對高填充率渠道去除效率之影響

黃玉婷<sup>1</sup>，余呂豐<sup>1</sup>，白子易<sup>2</sup>，林佳穎<sup>3</sup>，楊茂成<sup>3</sup>，李佳璇<sup>3</sup>，彭俊煒<sup>3</sup>

<sup>1</sup>朝陽科技大學環境工程與管理系碩士班    <sup>2</sup>朝陽科技大學環境工程與管理系副教授

<sup>3</sup>朝陽科技大學環境工程與管理系專題生

### 摘要

自然淨化系統，係由自然或以人工設施進行物理性、化學性或生物性之變化的過程所構成。這些系統為使懸浮物質、有機物、氮、磷、微量元素，甚至包括微生物等，控制至特定濃度範圍下，做為環境品質之評估或管理指標所利用。本研究擬利用已架設之渠道模型廠，設置每段 10 m 之渠道 6 段，共計 60 m，渠道高度 1 m，寬 0.5 m，以堰控制水深，渠道內置濾材為蜂巢式濾材，採用接觸材料明渠淨化法，針對二級污水廠放流水以連續流方式分別進行試驗，探討變動曝氣量對自然淨化效率之影響及作為再利用之可行性研究。本研究之目的如下：(1) 探討變動自然淨化處理設施曝氣量時，有機物、氮、磷之去除效率。(2) 探討經自然淨化技術處理後之水質，作為回收水再利用之可行性。(3) 未來在工程實務上遭遇類似問題時，研發結果可供作天然渠道中淨化效能的參考。實驗設置每段 10 m 之渠道 6 段，共計 60 m，渠道高度 1 m、寬 0.5 m，以堰控制水深，渠道內填充之濾材為蜂巢式濾材。曝氣量分別為：30、50、70  $\text{N m}^3 \text{min}^{-1}$ 。研究針對各個曝氣量之水質項目作去除率的比較，實驗結果顯示，去除效率並未隨著曝氣量的增加而提升，化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD)、生化需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD)、懸浮固體物 (suspended solid, SS)、總氮 (total nitrogen, TN)、總磷 (total phosphorus, TP) 之去除效率分別 45.4~56.3 %、42.2 ~ 50.1 %、40.9 ~ 48.7 %、20.9 ~30.5 % 和 7.5 ~ 12.3 %。原因為，當曝氣量增加時相對增加水中溶氧，但曝氣量過大時也會使生物膜剝落的情形發生，因此影響渠道內各水質的去除效率。在曝氣量為 50% 時，各項水質去除效率較佳。

**關鍵字：**自淨作用；接觸材料填充明渠淨化法；蜂巢式濾材；曝氣量

## 一、前言

河流與人類文明發展的過程息息相關且交互影響。由於河流生態系為水循環中非常重要的一環，而其生態特性往往也能反應出陸域包括氣候、地質、化學、生物等自然環境特徵與人為環境之影響。因此，水對人類的生存與發展具最密切的關係及影響力。水提供人類生存所需，除了家庭、工業與農業等各類用水外，還具有發電、航行、遊憩、生態保育及污染涵容與自淨等。另外，也包含社會、經濟及環境方面之重要功能。然而，水資源是有限的，是追求社會與經濟成長的主要資源限制因子，是無法與其他環境資源或系統組織完全分離的。隨著人口、經濟的快速成長，以致原本就有限的地面水及地下水資源遭受到人為的污染、破壞，可供給之水量因此相對減少，而無法滿足各類用水的需求；亦即各團體或個人所能分配與利用的水資源不足現象層出不窮，且情況勢必每況愈下。因此，為追求水資源能永續滿足人類需求，人類除了必須設法保護被破壞的水資源外；更有復育已遭破壞之河川，使得水資源得以永續發展與利用之義務。

物質在自然環境中藉各項物理、化學及生物性的輸送、轉化而降解。自然淨化系統即為藉由自然界的傳輸、轉化機能，使物質在一定空間及一定時間內，降低其濃度之進行系統，統稱自然淨化，其作用又稱自淨作用（self-purification, natural purification）。

陳俊吉 (1999) 研究以三種型式之接觸曝氣法應用於排水的淨化處理，加速排水自淨作用。第一個槽體不放任何介質，第二個槽體放置懸浮性介質，第三個槽體放置固定式介質，並在三個槽體內以散氣式曝氣維持在好氧的狀態。研究結果顯示，填放介質有助於提升污染物質的去除率，在停留時間在 2 個小時以上，懸浮固體物 (suspended solid, SS) 之去除率可達 50%，生化需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD) 為 40%，化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD) 為 30% 左右。

潘豪龍 (1999) 以蜂巢板及繩狀濾材兩種不同接觸濾材處理大洲排水，並比較兩者之去除效率。研究結果顯示，在水力停留時間 4 小時，蜂巢板填充比率 50%、繩狀濾材 38% 之操作條件之下，BOD 去除率為 65~80%，COD 為 36~43%，SS 為 40~60%，NH<sub>3</sub>-N 為 32~43%，總凱氏氮 (total kjeldahl nitrogen, TKN) 為 34~47%，硝化率為 46~57%。

許鎮龍 (2000) 採生物擔體渠道進行連續流試驗，探討經 RBC 及活性污泥法處理後之二及放流水水中氮化物，經生物擔體渠道轉化之機制及重用為灌溉用水之可行性。利用直徑 3.5 cm 之三孔洞及無孔洞之瓷球單體鋪設 6.35 公尺渠道，各採十不同流速進行氮化物之去除效率之研究。結果顯示 NH<sub>3</sub> 去除率可達 60% 至 90%。

蔡曜聲 (2004) 採用接觸材料明渠淨化法進行連續流試驗，設置每段 10 m 之渠道 6 段，共計 60 m，渠道高度 1m、寬 0.5 m，內置蜂巢式濾材，於穩態操作條件下研究不同污染物之出流水質及去除效率。結果顯示 COD、BOD、SS、總氮 (total nitrogen, TN)、總磷 (total phosphorus, TP) 之去除效率分別為 26.37~64.95、46.54~87.12、69.81~89.03、18.86~45.92 和 -2.15~4.83%。TN 去除率隨去除率隨水位及曝氣量增加而增加。

因此本研究之目的為探討變動自然淨化處理設施曝氣量時，有機物、氮、磷之

去除效率及經自然淨化技術處理後之水質，作為回收水再利用之可行性，其相關結果可供作天然渠道中淨化效能的參考。

## 二、實驗設備與方法

### 1. 研究設備與配置

本研究於朝陽科技大學污水處理廠架設渠道模型廠，設置每段 10 公尺之渠道 6 段，共計 60 公尺，渠道高度 1 公尺，寬 0.5 公尺，以堰控制水深。渠道第一段為 0.5 公尺的整流區，並設置整流壁，中間 8.8 公尺為濾材填充區，置蜂巢式濾材，PVC 材質，每單位體積為  $0.25 \text{ m}^3$ ，厚度 0.4 mm，單位體積比表面積為  $108 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ 。最後 0.7 公尺為測水頭高度區（溢流堰）。並設計曝氣及排泥設備，以評估排泥頻率，對出流水水質水量及處理效率之影響，如圖 1 所示。

### 2. 曝氣設備

曝氣設備採用兩台 5 馬力，通風量為  $5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  的鼓風機，利用定時開關每 4 小時交替一次，24 小時全天操作曝氣。在實驗過程中依據變動試程需求，以閥門調整渠道前後段的曝氣量，藉以變動溶氧量，且以流量計控制曝氣量。

### 3. 進流水水質水量

本研究是以朝陽科技大學污水處理廠二級生物處理之放流水為處理對象，該處理廠每日污水量約 450~520 CMD。污水處理廠之廢水主要來源為校內及宿舍之生活用水，餐廳洗滌用水等。污水廠放流水水質概況，如表 1 所示。進入接觸材料填充明渠淨化法模型廠圖 (contact media channel purification process, CMCP) 之流量為  $3.27 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$ ，流速為  $0.36 \text{ m s}^{-1}$ ，水力停留時間為 4.59 hr。

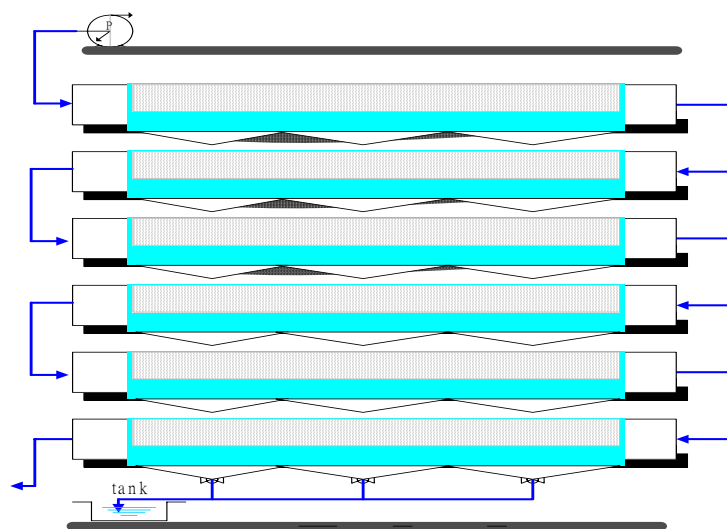


圖 1 接觸材料填充明渠淨化法模型廠圖

### 4. 研究方法

本研究為進一步淨化二級污水廠出流水水質，應用渠道流速之生物膜法作為改善水質的方法。以自然淨化法中的接觸材料填充水路淨化法，於朝陽科技大學污水處理廠架設渠道模型廠，以抽水機 24 小時連續抽取污水廠二級生物處理之放流水至本渠道之進流端，以重力流的方式流動並利用溢流堰控制水深。

渠道內放置蜂巢式接觸濾材，增加生物膜接觸附著生長之表面積，以提高污染

物去除效率。此外為確保微生物在好氧狀態下進行淨化作用，渠道內設置曝氣管至渠道底部進行中心散氣式曝氣，使得渠道內的溶氧維持適當的溶氧，另設計排泥設備。而實驗流程設計上是以變動曝氣量，探討評估曝氣量對水質改善的情形。

## 5. 研究步驟

經由上述研究方法，本計畫之研究步驟將由資料蒐集、採樣分析、現場監測、馴養試驗等，評估試程變動時，各變動項目對二級污水處理效率之影響。

表 1 本研究之接觸填充明渠進流水水質概況

項 目	範圍值	平均值
SS (mg L <sup>-1</sup> )	1.4~24.4	12.9
BOD <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	4.6~24.9	14.6
COD (mg L <sup>-1</sup> )	12.6~76.8	44.7
TN (mg L <sup>-1</sup> )	8.71~60.81	34.8
TP (mg L <sup>-1</sup> )	16.5~19.4	18.0
pH	7~8	7.5

## 三、結果與討論

本試程依曝氣量的不同分為 30、50、70 N m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>，固定水力停留時間為 4.59 小時、流速為 0.36 cm s<sup>-1</sup>、濾材填充率為 70 % 及水位高為 0.5 m。此試程針對變動不同曝氣量，藉以探討污染物濃度與去除率之變動趨勢，以下針對各項水質項目實驗數值變化趨勢作探討。

### 3.1 渠道內 SS 濃度變化分析

在 SS 去除方面，一般與水力停留時間最為相關。當水力停留時間增加，生物膜在適合生長的環境下逐漸繁殖增厚，因此水體中部分老化脫落的生物膜會降低 SS 的去除效果，但是當水力停留時間再增加時，由於水中基質負荷已無法供給更多的生物膜生長，因此去除率會再回升。在高填充率之渠道中，提供更多微生物的生長環境，附著於填充率材的生物膜隨之增加，但當曝氣量過大時，會導致生物膜剝落，SS 去除率因此降低。

由實驗數據顯示，SS 在不同曝氣量下濃度之關係，如圖 3.1。SS 在不同曝氣量下與其去除率之關係。三組不同曝氣量 30、50、70 N m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> 所得平均去除率分別為 48.7、45.2、40.9 %。

### 3.2 渠道內 BOD<sub>5</sub> 濃度變化分析

BOD<sub>5</sub> 為表示有機污染指標之重要且簡易之標準。BOD<sub>5</sub> 值大小可表示生物分解有機物多寡，間接顯示污水或有機廢水的污染程度。其分析方法於環工界已被廣泛應用。故 BOD<sub>5</sub> 可視為河川污染的重要指標。

實驗數據顯示，BOD<sub>5</sub> 在不同曝氣量下濃度與去除率之關係，如圖 3.2。BOD<sub>5</sub> 在不同曝氣量下與其去除率之關係。三組不同曝氣量 30、50、70 N m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>，去除率則分別為 42.2、44.5、50.1%，平均去除率為 45.7%。

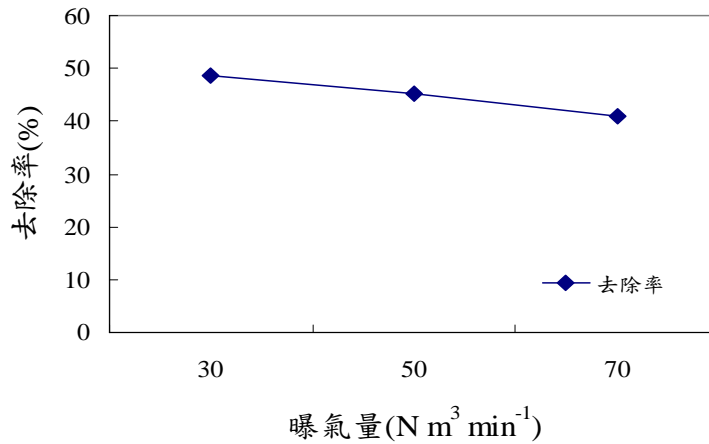


圖 3.1 SS 平均去除率與不同曝氣量下之關係圖

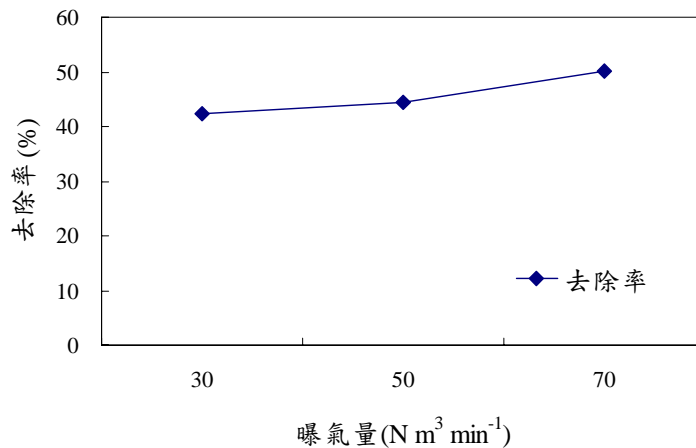


圖 3.2 BOD<sub>5</sub> 平均去除率與不同曝氣量之關係圖

### 3.3 渠道內 COD 濃度變化分析

實驗數據顯示，COD 在不同曝氣量下渠道內濃度與去除率之關係，如圖 3.3。變動曝氣量 30、50、70 N m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>，去除率則分別為 56.1、56.3、45.4%，平均去除率為 52.5%。COD 去除率隨曝氣量增加而減少，推測其可能原因為曝氣量過大時會導致渠道底部沉積之生物膜剝落後殘骸或生物膜本身，因裂解作用而釋放出污染物，致使去除率降低。

### 3.4 渠道內 N 濃度變化分析

污水中的氮分為有機氮及無機氮兩種形式，大體而言無機氮會藉由沉澱、過濾及植物吸收作用而自污水中去除。而有機氮經過生物作用，可行成底泥中腐植質、

水解成氨基酸、及進一步分解成無機氮。總氮之去除主要是藉硝化作用反應成氮氧化物後，由異營菌於缺氧及含碳源的環境下，以  $\text{NO}_x$  為電子接受者，進行脫硝轉化成氮氣去除。

實驗數據顯示，TN 在不同曝氣量下濃度與去除率之關係，如圖 3.4。TN 在不同曝氣量下與其去除率之關係，。三組不同曝氣量 30、50、70  $\text{N m}^3 \text{min}^{-1}$  去除率分別為 20.9、21.2、30.5 %。TN 之去除趨勢隨著曝氣量的增加而增加，其平均去除率為 24.1 %。

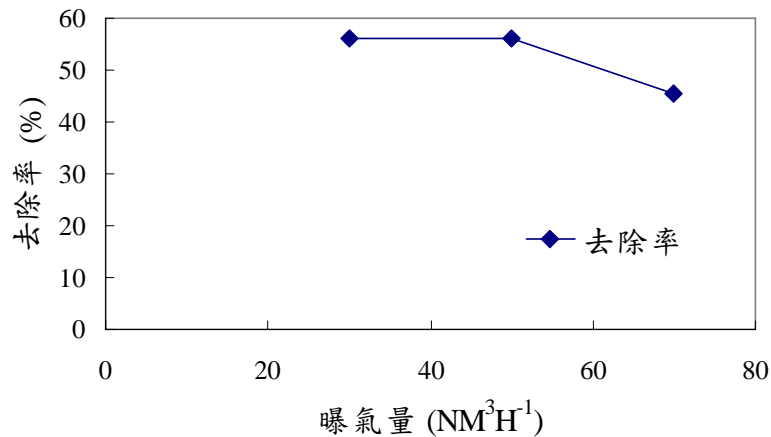


圖 3.3 COD 平均去除率與不同曝氣量之關係圖

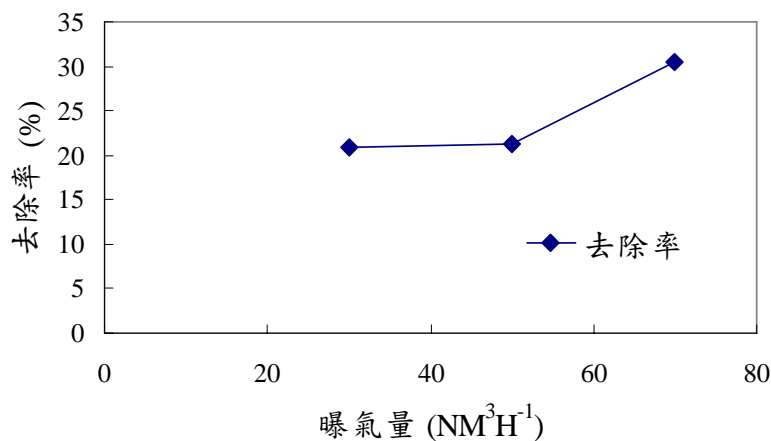


圖 3.4 TN 平均去除率與不同曝氣量之關係圖

### 3.5 渠道內 TP 濃度變化分析

磷是所有生活的細胞所需的營養素，也是湖泊中藻類生長所必須限制的營養素。廢水的平均總磷（包括無機及有機兩種型態）濃度約在 5 至 20  $\text{mg L}^{-1}$ 。一般生態系中磷的收支均能平衡。

由實驗數據顯示，TP 在不同曝氣量下濃度與去除率之關係，如圖 3.5。TP 在不同曝氣量下與其去除率之關係。三組不同曝氣量 30、50、70  $\text{N m}^3 \text{min}^{-1}$ ，平均去除率則分別為 11.4、12.3、7.5 %。平均去除率為 10.3 %。

### 3.6 綜合比較

針對以上不同曝氣量下各個水質項目之去除效率作比較，如圖 3.6。

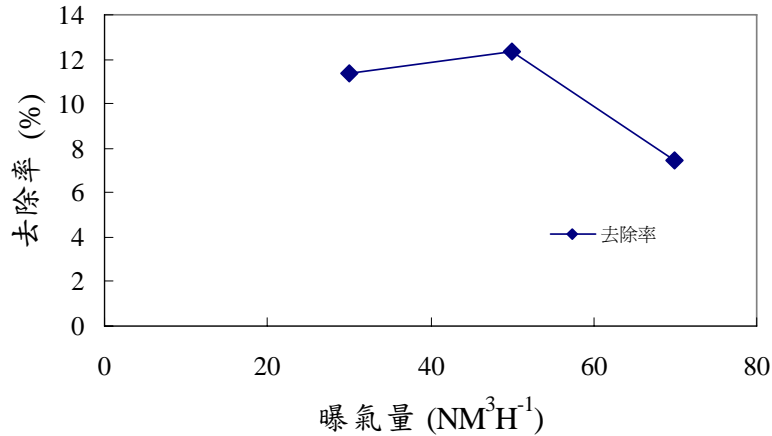


圖 3.5 TP 平均去除率與不同曝氣量之關係圖

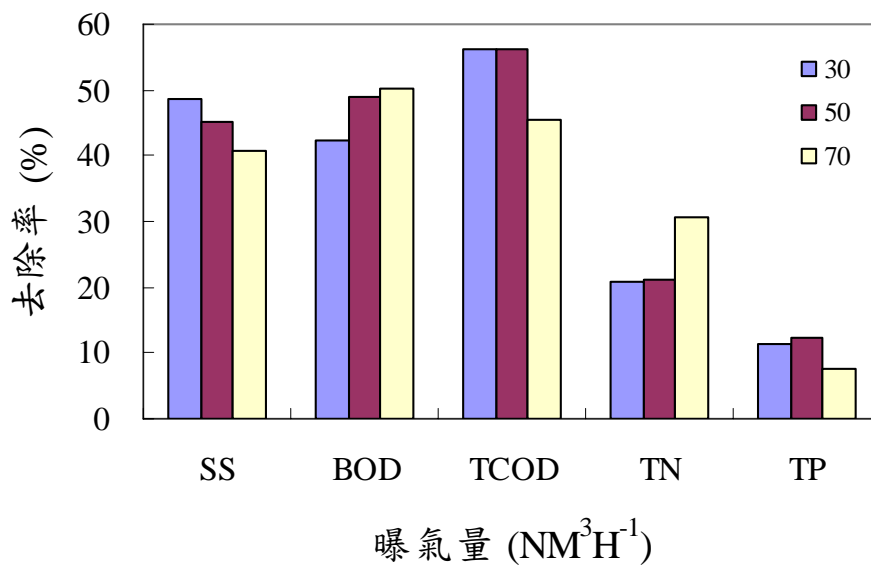


圖 3.6 不同曝氣量對各水質項目去除率之關係圖

### 四、結論

1. 渠道中 SS 進流濃度偏低，平均去除率則分別為 48.7、45.2、40.9 %。SS 之去除趨勢隨著曝氣量的增加而增加，應為渠道內設置之溢流堰可有效控制水深外，亦能提供 SS 沉降環境，增加其去除效果，但隨著曝氣量的增加，可提供更多水中的溶氧，但曝氣量過大時，使的水體中之老化生物膜也更容易產生剝落的現象，結果會導致 SS 去除效率降低。
2. 本實驗數據顯示，BOD<sub>5</sub> 平均去除率則分別為 42.2、44.5、50.1 %，整體而言去除趨勢隨著曝氣量增加而上升。高填充率渠道中，提供更多表面積供生物

膜生長，而提升曝氣量則溶氧增加，且進流之 SCOD/TCOD 值皆大於 0.5 以上，得知渠道內以生物可分解成份居多，因此有利於 BOD<sub>5</sub> 之去除。

3. 在不同曝氣量變動下，由實驗數據顯示其去除率相對增加。其去除率分別為 56.0、56.3、45.3 %。實驗數據分析顯示，COD 之去除率隨曝氣量增加而相對減少，應為曝氣量的增加使得溶氧也增加，但曝氣量過大時，使的水體中之老化生物膜也更容易產生剝落的現象，當微生物老化剝落後之殘骸或微生物本身，會因裂解作用而釋放出污染物，導致去除率下降。
4. 實驗數據分析顯示，TN 之去除趨勢隨著曝氣量的增加而增加，平均去除率則分別為 20.9、21.2、30.5 %。在高填充率渠道中，附於濾材上之生物膜，造成生物膜內部之缺氧，產生脫硝現象。同時附著之懸浮固體物因水解，又可提供碳源而進行脫硝反應。
5. 本研究中對磷之去除效果並不佳，去除率隨曝氣量增加而下降，提升曝氣量對 TP 並無太大的幫助，平均去除率則分別為 11.4、12.3、7.5 %。

## 五、致謝

本研究承蒙財團法人中華顧問工程司補助經費特致謝意。另感謝朝陽科技大學環安組副組長陳銘雄，環境工程與管理系所在職專班林進源。

## 六、參考文獻

- 陳俊吉，“接觸曝氣法應用於處理受污染的天然排水之研究”，國立成功大學環境工程研究所碩士論文，1999，台南。
- 潘豪龍，“以接觸氧化渠法處理受污染的排水路之研究”，國立成功大學環境工程研究所碩士論文，1999，台南。
- 許鎮龍，“生物擔體渠道淨化二級生物處理放流水氮化物之特性探討”，國立中央大學環境工程研究所博士論文，2000，中壢。
- 蔡曜聲，“以明渠淨化生態工法處理二級污水處理廠放流水效率評估之研究”，朝陽科技大學環境工程與管理系研究所碩士論文，2004，台中。