

生物薄膜程序處理都市廢水效能之研究

計畫編號：NSC90-2211-E009-023

執行期間：90年8月1日至91年7月31日

主持人：陳重男 國立交通大學環境工程研究所教授

一、中文摘要

一般而言無氧/好氧生物程序有操作簡單、節省能源之特性，但也有許多操作上的瓶頸如污泥膨化、處理水質受污泥沉降性影響極大等。在眾多改良生物處理技術中，生物薄膜程序為一創新與極具發展潛力的新技術，除了解決傳統生物程序所面臨的瓶頸外，更具有可於高污泥濃度下操作，高級處理水質、節省空間、減少污泥產量與耐污染負荷變化等優點。本研究將以無氧/好氧生物程序及無氧/好氧生物薄膜程序作為都市生活污水處理設備，探討其處理效能、優缺點，以作為未來實廠設計與操作之依據。

無氧/好氧生物程序於控制條件下之研究結果顯示，經無氧/好氧生物程序處理之都市生活污水，有機碳、COD、氨氮、有機氮、總氮，其去除率分別 91.6%、92.4%、95.7%、72.2%、71.8% 以上，此外經沉澱池溢流之出流水懸浮固體物平均濃度為 23.4 mg/L，具有穩定處理效果，唯一美中不足的是於提升處理負荷時，即無法穩定操作且有污泥膨化的問題，故仍有操作上的瓶頸。

根據無氧/好氧生物薄膜程序於控制操作條件下之研究結果顯示，於污泥濃度 5710-6350 mg/L 下提升處理負荷，經無氧/好氧生物薄膜程序處理之都市生活污水，有機碳、COD、氨氮、有機氮、總氮，其去除率分別 96.9%、96.9%、93.2%、86.4%、85.7% 以上，此外經薄膜過濾之出流水懸浮固體物平均濃度為 0 mg/L，且薄膜更具有物理性消毒作用，因此無氧/好氧生物薄膜程序不僅能提升水力負荷縮短水力停留時間至 4 小時，其處理水質更可符合水回收再利用之水質標準。

在預防薄膜單元阻塞的研究中，當薄膜操作壓力在 40 kPa 以下時，以間歇式操作薄膜過濾 10 分鐘加上返沖洗 1 分鐘，(當薄膜停止過濾時以重力進行返沖洗)能維持薄膜通量於 10.6 L/m²-hr 穩定操作，並有效預防薄膜阻塞而延長薄膜使用時效。當薄膜操作壓力大於 40kPa 時，以 1.5 wt(%) NaOH (pH10-11)化學藥劑清洗薄膜，則能有效去除薄膜積垢避免薄膜阻塞更為嚴重。

關鍵詞：無氧/好氧程序、生物薄膜程序、都市生活污水、好氧槽混合液、水力停留時間、物理性消毒、間歇式操作、返沖洗、薄膜積垢。

英文摘要

In general, Anoxic/Aerobic process (A/O process) is an economical process and useful to remove organic and nutrient from domestic wastewater. However, it still has some disadvantages. Numerous of biological treatment technique, membrane bioreactor is a new and create technique and it improves shortcomings of activated sludge process. High biomass, complete solids removal, a significant disinfection capability, high rate and high efficiency organic matter and nutrient removal, sludge production reduced and be able to endure the variation of contamination are all characteristics of MBR. The investigation on efficiency of domestic wastewater treatment by A/O process and by membrane bioreactor will be used as accordance of full plant design and operation.

Under the control, the investigation of A/O process reveals that the removal efficiency of TOC, COD, NH₃-N, Org-N and T-N is 91.6%, 92.4%, 95.7%, 72.2% and 71.8% respectively. Furthermore, the concentration of effluent suspended solids is 23.4 mg/L. It is effective to treat domestic wastewater but it still has shortcomings on operating.

Under the control, the investigation of membrane bioreactor reveals that the removal efficiency of TOC, COD, NH₃-N, Org-N and T-N is 96.9%, 96.9%, 93.2%, 86.4% and 85.7% respectively. Furthermore, the concentration of effluent suspended solids is 0 mg/L and membrane provides a significant disinfection capability. The quality of the treated water from membrane bioreactor is so high that recycling and reuse is often a viable option.

The investigation of preventing membrane fouling produced, when the membrane operating pressure under 40 kPa, It is useful to make membrane clean by physical backwash with gravity. And when the membrane operating pressure up to 40 kPa, It is useful to make membrane clean by chemical washing with 1.5 wt (%) NaOH (pH10-11)

Key words : anoxic/aerobic process, membrane bioreactor, domestic wastewater, mixed liquid, hydraulic retention time, physical disinfection, intermittent operation, backwash, membrane fouling

二、計畫緣由與目的

都市生活污水的處理方式大都以傳統生物程序為主，且主要處理對象為都市生活污水中之有機物，以傳統生物程序處理污水之優點包括技術簡單而成熟、操作條件易於控制、處理效率穩定等。但傳統生物程序仍具有技術上的瓶頸例如：廢棄污泥於固、液分離時受沉降性影響極大、易導致污泥膨化造成處理效率不佳、污泥產生量龐大以致污泥處理成本高、曝氣動力利用效率低等問題，進而影響傳統生物程序之應用性。此外，由於環保法規對放流水標準的規定日趨嚴格且氮、磷等造成水體優養化之營養物質在傳統生物程序中並無法有效的去除，以致經傳統生物程序處理之水質無法達到放流水標準。雖然有過許多針對改善這些問題之相關生物程序改良與研究，然而解決卻仍有限，均受限於傳統生物程序之功能而無法同時有效去除有機物、氮及磷，故隨著時代之演變，處理對象物質及水污染問題愈趨複雜，更需要一優於傳統生物程序之新技術而生物薄膜程序(Membrane Bioreactor Process)正是因應此一需求而發展出來之技術，以確保經生物程序處理後之都市生活污水符合放流水標準。

近年來先進各國皆相繼研究發展生物處理單元結合薄膜固液分離單元之生物薄膜程序。此程序將傳統生物程序之二級沉澱池以薄膜單元取代，其優點正可改善傳統生物程序現今所面臨的問題，並可有效提升處理水質，其優點包括良好固液分離、節省土地面積有效利用空間、增進生物處理單元之效能，提昇氮、磷營養鹽及有機物之去除效率、易達操作穩定、可靠、自動控制及整合，最終提昇放流水水質並減少污泥產量進而使污泥處理成本下降。因此對於解決傳統生物程序急待突破之項目，生物薄膜程序實為最佳方法且具發展潛力並符合世界潮流的新技術。

根據國外研究結果指出，生物薄膜程序確實具有極佳處理效率及經濟可行的新技術，國內目前生活污水處理廠對於氮、磷的有效處理仍然有限，且由於傳統生物程序有操作之瓶頸並無法有效提升處理水質，為減輕水環境的負荷，如何提升有機物、氮、磷的處理效率，勢必是都市生活污水處理未來研究之重點。而國內在生物薄膜程序處理都市生活污水效能之

相關研究與操作經驗卻顯貧乏與不足，因此更應積極研究與發展，以作為實廠設計與操作之參考。

三、結果與討論

1. 無氧/好氧生物程序

無氧/好氧生物程序研究結果顯示，經控制生物反應槽於 pH 值 (7.0-7.5)、溫度 (30 ± 3)、溶氧條件 (無氧槽小於 0.1 mg/L，好氧槽大於 5 mg/L) 生物槽污泥濃度為 2200-2420 mg/L、污泥迴流比 0.5Q、污泥齡 15 天時，藉由控制好氧槽混合液迴流比於 3Q 時，使無氧槽水力停留時間為 0.4 小時，並控制好氧槽水力停留時間於 6.35 小時，見圖三、四、五為經無氧/好氧生物程序處理都市生活污水後之放流水質，(原污水中有機碳、COD、氨氮、有機氮、總氮平均水質分別是 81.9 mg/L、250 mg/L、23.5 mg/L、46.6 mg/L、70.5 mg/L)，有機碳、COD、氨氮、有機氮及總氮濃度可分別達到 6.9 mg/L、19 mg/L、1mg/L、12.9 mg/L 及 19.9 mg/L 以下，而去除率分別 91.6%、92.4%、95.7%、72.2%、71.8% 以上，此外經沉澱溢流之出流水懸浮固體物平均濃度 23.4 mg/L，此說明無氧/好氧生物程序在操作正常時，能有效的處理都市生活污水。但將無氧/好氧生物程序處理之水力停留時間縮短至 5.5 小時以下時，則生物槽中之污泥會發生膨化現象造成沉澱池沉降效率不佳，因此生物槽中污泥會隨放流水溢流而使處理水質惡化，造成無氧/好氧生物程序處理效能不穩定，因此仍具有操作上的瓶頸如無法提升處理水質、處理負荷、處理功能受限於沉澱池之效率、難以自動控制等而影響其應用性。

2. 無氧/好氧生物薄膜程序

於模型廠試驗期間，經控制各槽中 MLSS 濃度於 5500-6000mg/l(圖六)且控制生物反應槽於微生物最佳生長之 pH 值 (7.0-7.5) 溫度 (30 ± 3) 及溶氧條件 (Anoxic Tank < 0.1mg/l, Aerobic Tank > 7mg/l)，並藉控制好氧槽混合液 (Mixed liquor) 迴流量於 3Q 時，使無氧槽水力停留時間為 0.25 小時、好氧槽水力停留時間小時及污泥齡 40 天時，經無氧/好氧生物薄膜程序處理都市生活污水之研究結果顯示，經由薄膜過濾之出流水中 SS 偵測值幾乎皆為 0 mg/L，也因此出流水有著極為清澈之水質外觀(圖六)。有機物則有著極佳的去除率(圖七)推測其原因為放流水經薄膜(UF)單元固液分離後，由於附著於薄膜表面之微生物行代謝分解有機物作用加上 UF 薄膜本

身也有去除大分子有機物之功能，故可增進約 10% 之有機物去除效率。至於總氮之去除效能可由圖八中看出，生物薄膜程序對總氮去除效能相當穩定，這是因為薄膜單元能有效控制污泥停留時間為 40 天，故有利於好氧槽中硝化菌生長促使硝化作用的進行，進而轉化有機氮與氨氮成為硝酸鹽氮，之後再藉由無氧槽脫硝菌行脫硝作用將硝酸鹽轉化成氮氣自污水中去除而達成除氮的目的，因此無氧/好氧生物薄膜程序對總氮有較好的去除效能。經生物薄膜程序之放流水質(原污水中有機碳、COD、氨氮、有機氮、總氮平均水質分別是 88.9 mg/L、267 mg/L、25.2 mg/L、28.2 mg/L、55.3 mg/L) COD、NH₃-N、有機氮、總氮及 SS 可分別達到 8.3 mg/l、1.7mg/l、3.8mg/l、6.8mg/l 及 0mg/l 以下，而去除率分別為 96.9%、93.2%、86.4%、87.7%、100% 以上，由於 SS 幾乎全部去除因此處理水有極為清澈之水質外觀，且薄膜對於都市污水中大腸菌類有去除效果，可將大腸菌去除至 20 CFU/100mL 以下，因此生物薄膜程序對污水也具有物理性消毒效果，由此可見無氧/好氧生物薄膜程序具有極佳的處理水質。

從無氧/好氧生物薄膜程序操作方式可知其並無污泥膨化的問題，因此於程序操作穩定性與自動控制上均較易達成。且由於生物槽中具有高污泥濃度，因此從其處理效能、處理負荷與去除效率來看均較無氧/好氧生物程序為佳，且處理水質再經由簡單的消毒措施即可符合水回收再利用之水質標準，因此以無氧/好氧生物薄膜程序作為都市污水回收再利用之處理設備極為適當，如此也可有效解決水資源不足之窘況，進而大大提升無氧/好氧生物薄膜程序應用之價值。

3. 薄膜單元

薄膜單元之膜穿透壓(TMP)與通量長期操作之關係如圖九，當操作壓力上升時則薄膜通量下降。由長期觀察，欲維持薄膜通量於 10.6L/m²-hr 下穩定操作，則薄膜操作壓力應避免大於 40 kPa 以上時操作過久，以免造成薄膜阻塞嚴重。因此在薄膜操作壓力超過 40 kPa 後應該進行物理性或化學性清洗。本研究中以曝氣所產生的水流剪力並無法有效避免薄膜阻塞，推測其原因主要是薄膜與水流相關位置不佳所造成，因此建議當薄膜操作壓力小於 40 kPa 時，利用間歇式操作薄膜過濾 10 分鐘加上返沖洗 1 分鐘來避免薄膜的阻塞，當薄膜操作壓力大於 40 kPa 時，則以 1.5 wt(%) NaOH (pH10-11) 化學藥劑清洗薄膜之積垢以維持薄膜操作之穩定性。根據上述將薄膜操作條件整理成下表一使薄膜於操作上能有所依據。

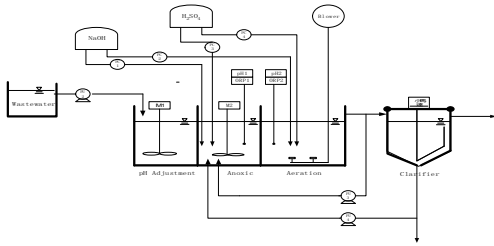
四、計畫結果自評

本研究針對二種不同生物處理程序處理都市生活污水，發現無氧/好氧生物薄膜程序具有可於高污泥濃度下操作，高級處理水質、節省空間、減少污泥產量與耐污染負荷變化等優點。且薄膜對於生活污水中大腸菌類有去除效果，因此無氧/好氧生物薄膜程序對生活污水也具有物理性消毒效果，並發現經無氧/好氧生物薄膜程序處理之放流水在各項水質指標皆符合水回收再利用標準，由此可知無氧/好氧生物薄膜程序的確可作為都市污水回收再利用之處理設備，因此也可有效解決水資源不足之窘況。而根據水回收再利用之用途有所不同，對於處理水也有不同之後續處理，在廁所沖洗水方面應加氯消毒至自由餘氯為 1 mg/L，確保在利用水於儲存時之衛生安全；景觀用水與灑水用水則需經臭氧或 UV 消毒後直接使用，不宜儲存以保護環境安全衛生。

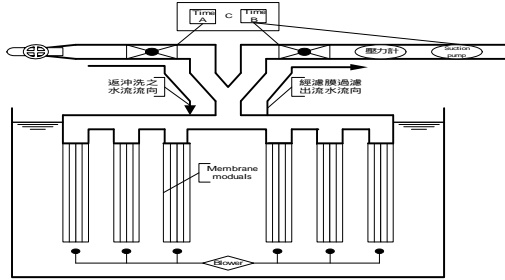
薄膜於應用上最大的限制即為薄膜積垢後，造成薄膜操作壓力上升而使薄膜通量下降，採用避免薄膜產生積垢效能較佳之物理性方法，除了能維持薄膜操作穩定外，更能有效減少化學清洗的頻率進而節省薄膜單元管理、維護之成本。在生物薄膜程序中，薄膜的操作與維護是相當重要的環節，如能有效解決薄膜阻塞問題，將可大大提升薄膜的應用性與經濟性、而促成生物薄膜程序的發展與普及。

五、參考文獻

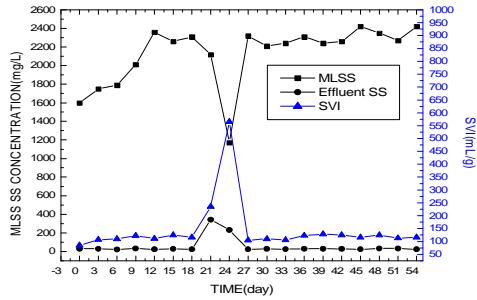
1. Stephenson T., Judo S., Jefferson B., and Brindle K. "Membrane bioreactors for wastewater treatment." IWA Publishing, London, UK. (2000).
2. Smith, J. C., Di Gregorio, D. and Talcott, R. M. "The use of membrane for activated sludge separation.", Purdue University, Lafayette, Indiana, U.S.A. pp.1300-1310. (1969).
3. Côté, p. and Thompson D "Wastewater treatment using membrane the north American experience." Membrane Technology in Environmental Management, pp. 46-53. (1999).
4. Yamamoto K. "Membrane filtration. In Rapid Filtration, Biological Filtration and Membrane Filtration", Shuppan, Tokyo. pp.255(1994)
5. Berthold et al., "Replacement of Secondary Clarification by Membrane Separation-Results with Tubular, plate and Hollow Fibre Modules", Wat. Sci. Tech. Vol. 40, No. 4-5, pp.311-320(1999)



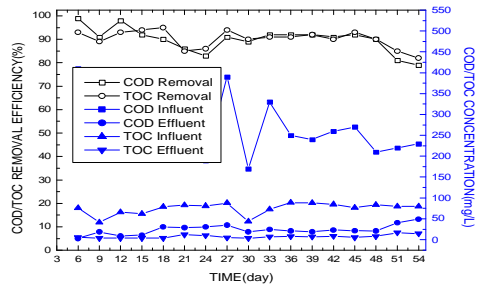
圖一 無氧/好氧生物程序流程設備圖



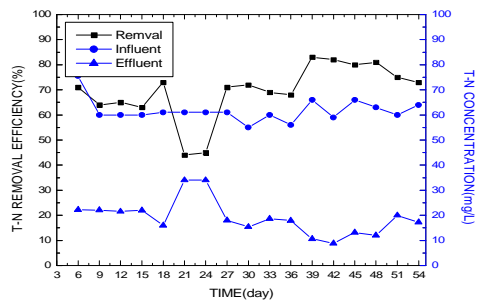
圖二 薄膜單元設計圖



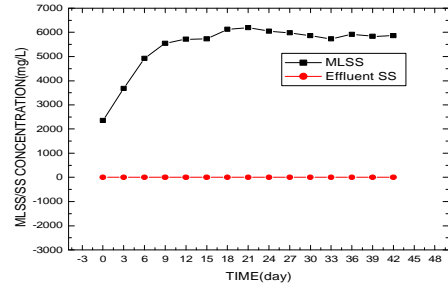
圖三 無氧/好氧生物程序 MLSS、SS、SVI 圖



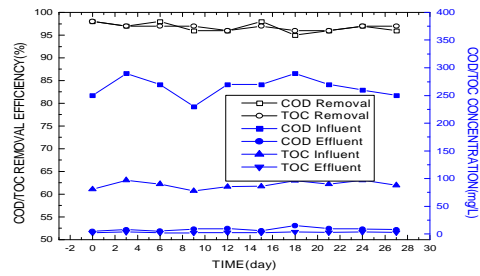
圖四 無氧/好氧生物程序有機物去除率



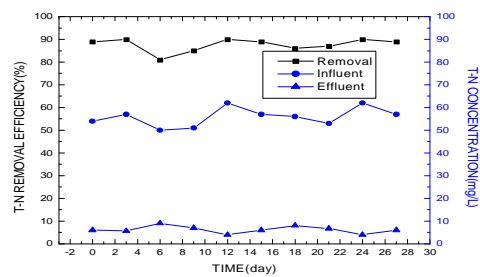
圖五 無氧/好氧生物程序總氮去除率



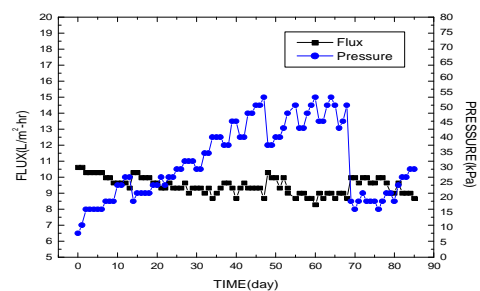
圖六 無氧/好氧薄膜程序 MLSS、SS 濃度圖



圖七 無氧/好氧生物薄膜程序有機物去除率



圖八 無氧/好氧生物薄膜程序總氮去除率



圖九 薄膜操作壓力與通量隨時間變化圖

表一 薄膜操作條件	
方法	時機與操作方式
物理性清洗	薄膜操作壓力 < 40kPa 間歇式操作加返沖洗(10-1)
化學性清洗	薄膜操作壓力 > 40kPa 1.5 wt(%) NaOH (pH10-11)

註：(10-1)為操作 10 分鐘停 1 分鐘