

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

沉浸式生物薄膜程序回收處理都市污水及其清洗策略

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2622-E-009-007-CC3

執行期間：94 年 05 月 01 日至 95 年 04 月 30 日

執行單位：國立交通大學環境工程研究所

計畫主持人：黃志彬

計畫參與人員：蘇育俊 李信杰

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 95 年 7 月 11 日

國科會補助提升產業技術及人才培育研究計畫成果精簡報告

學門領域：環境工程學門

計畫名稱：沉浸式生物薄膜程序回收處理都市污水及其清洗策略

計畫編號：94-2622-E-009-007-CC3

執行期間：2005.5.01~2006.4.30

執行單位：交通大學環境工程研究所

主 持 人：黃志彬

參與學生：

姓 名	年 級 (大學部、碩士班、博士班)	已發表論文或已申請之專利 (含大學部專題研究論文、碩士論文)	工作內容
蘇育俊	博二		實驗設計、廢水採樣及水質分析
李信杰	碩二	沉浸式生物薄膜反應器之積垢特性探討	分析水質及設備操作

合作企業簡介

合作企業名稱：環康科技有限公司

計畫聯絡人：陳鴻儒

資本額：一千一百萬元

產品簡介：沉浸式生物平板膜模組

網址：電話：02-87929288

研究摘要(500 字以內)：

生物薄膜反應器(membrane bioreactor, MBR)之特點在於以薄膜單元取代傳統沉澱池，達到有效之固液分離。目前 MBR 無法被廣泛應用的原因為薄膜積垢。薄膜積垢的發生會使得薄膜通量衰減或透膜壓力(trans-membrane pressure, TMP)增加，導致薄膜清洗的次數增加而縮短薄膜壽命，提高操作及維護成本。因此本研究將探討 MBR 於次臨界通量操作下污泥性質變化與薄膜積垢之關係，及水流剪力和薄膜孔徑對薄膜積垢的影響

將 MBR 於次臨界通量下操作，其積垢速率極為緩慢，但若系統中存有過量絲狀菌時，積垢速率則會急速增加，推測其與污泥黏滯性及胞外聚合物(extra-cellular polymeric substances, EPS)中多醣類濃度有關。薄膜過濾阻抗以濾餅阻抗(R_c)為主，隨著薄膜滲透率

(permeability)的增加，濾餅阻抗及總阻抗(R_t)會變大，但孔洞阻塞阻抗(R_f)則會變小，可能原因為濾餅的形成可做為薄膜表面之屏障，避免小分子物質的進入。水流剪力的增加雖能有效降低 R_c 及 R_t ，卻無法改善 R_f ，反而會因 R_c 的減少而使其增加。薄膜積垢程度與 soluble EPS 中多醣類濃度及 total EPS 中蛋白質/多醣類比有關。

人才培育成果說明：經由此計畫訓練博士班及碩士班研究生於研究中對於實驗的規劃及分析充分的訓練，並於研究過程中增加研究生的思考能力及反應，有助於未來研究上的突破。

技術研發成果說明：

1. 沉浸式生物薄膜程序之處理效能

(一) 沉浸式生物薄膜程序之有機物去除效能

控制微生物生長環境於適當條件下(pH = 6.8 ~7.2、DO = 6 ~7 mg/L)，SRT = 10 天，污泥濃度 3,000 ~ 3,400 mg/L，由圖 1 發現經 MBR 處理之人工合成污水水質 TOC，其平均進流水濃度為 157 mg/L，而平均出流水濃度為 2.5 mg/L，去除率可達 98.4 %。由於 MBR 系統能達到完全的固液分離，故即使是在系統啟動初期也有好的出流水水質。MBR 系統之進流水濃度呈現些微地跳動，可能原因為：(1)進流水組成中含有澱粉等物質，具有沉澱性 (2)本實驗所採用之進流水成分較易生物分解，因此部份有機物於 feed tank 中就被分解(酸化)，如第 18 ~ 19 天。由於此系統之曝氣設備於第 63 天停止曝氣，導致 TOC 之去除率不佳，但經由 1/3 的污泥置換後，TOC 去除率馬上又可恢復穩定。

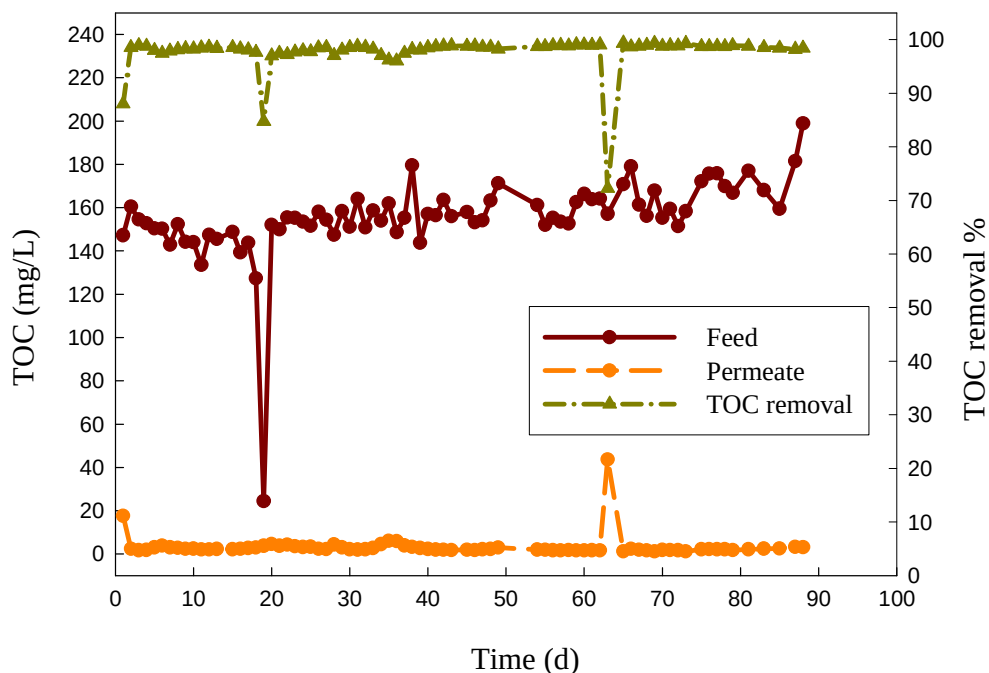


圖 1 生物薄膜程序之有機物進流、出流濃度及去除率

(二) 沉浸式生物薄膜程序之氮氮去除效能

由圖 2 中發現經 MBR 處理之人工合成污水水質 $\text{NH}_3\text{-N}$ ，其平均進流水濃度為 32 mg/L，而平均出流水濃度為 0.24 mg/L，去除率可達 99.25 %。由於 MBR 能有效地延長污泥停留時間並完全截流汙泥中之固體物，使得生長緩慢之自營性硝化菌較易累積於 MBR 反應槽內，故可提高傳統生物程序之氮氮處理效能。此外實驗結果亦指出 MBR 之污泥膠羽顆粒較小，其溶氧及基質傳輸效率較快，因而活性較高。儘管菌體活性會被系統中 SMP 之濃度有所抑制，不過 TOC 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率仍可達 98 % 以上，確實符合其他文獻的結果，其 TOC 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率較一般傳統活性污泥高，使生物薄膜程序之處理水具有回收再利用的潛能。

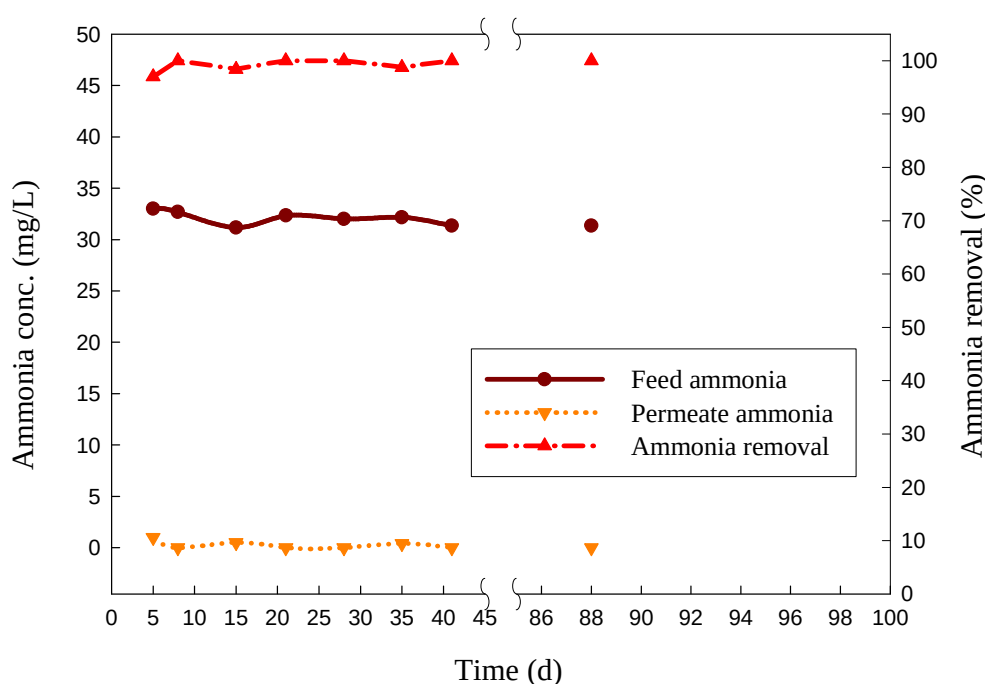


圖 2 生物薄膜程序之氮氮進流、出流濃度及去除率

2. 污泥膠羽大小變化

Visvanathan *et al.* (2000) 指出，MBR 之膠羽大小大多小於 100 μm ，且集中在一小範圍，而活性污泥法之膠羽大小分佈較廣，從 0.5 ~ 1000 μm 。

由圖 3 中發現，由交大水質淨化廠取回之植種污泥(seeding)，其膠羽顆粒較經由 MBR 馴養後所產生的膠羽顆粒來得大且其分佈範圍較廣。污泥膠羽之平均粒徑由第 5 天

的 281 μm ，馴養至第 88 天的 80 μm ，如圖 4 所示，其主要原因在於 MBR 系統中較強的水流剪力所致。Ng *et al.* (2005) 指出，MBR 操作時需施加較強的曝氣強度以防止顆粒沉積或吸附於薄膜表面及孔徑中，因而在此高水流剪力的情況下所生成之污泥膠羽顆粒較小。

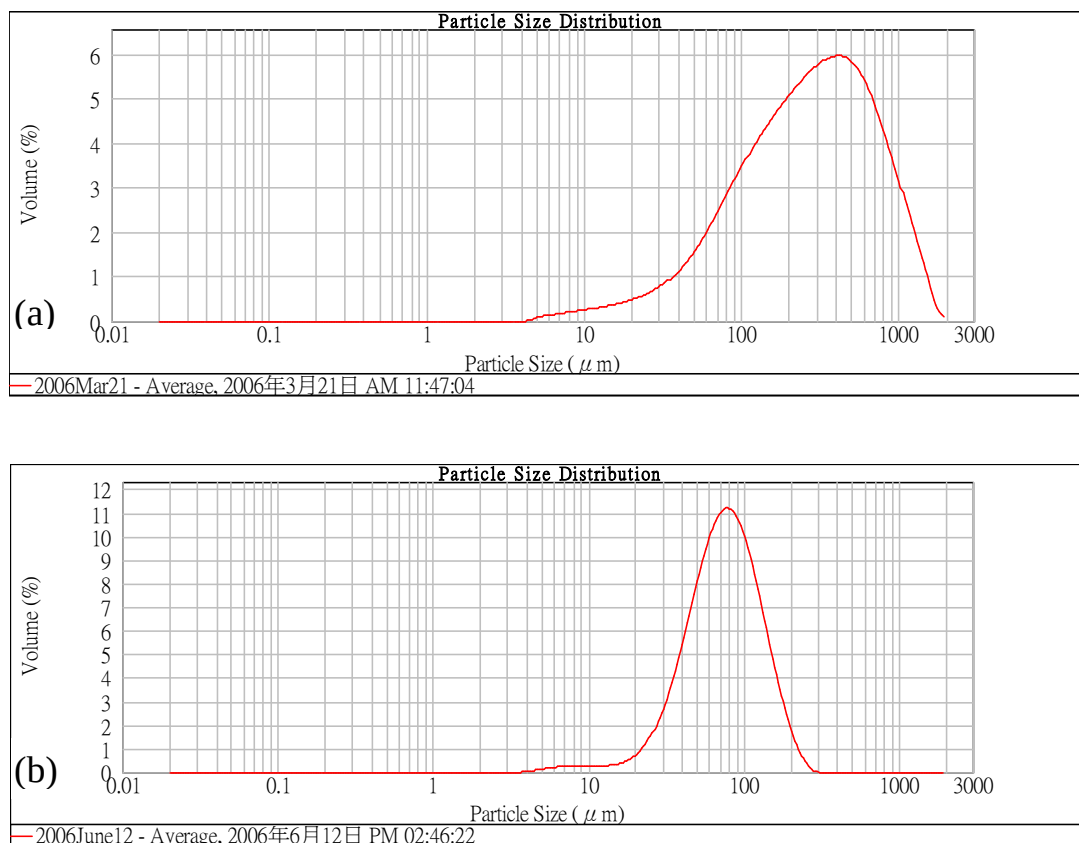


圖 3 污泥膠羽大小之比較 (a)第 5 天 (b)第 88 天

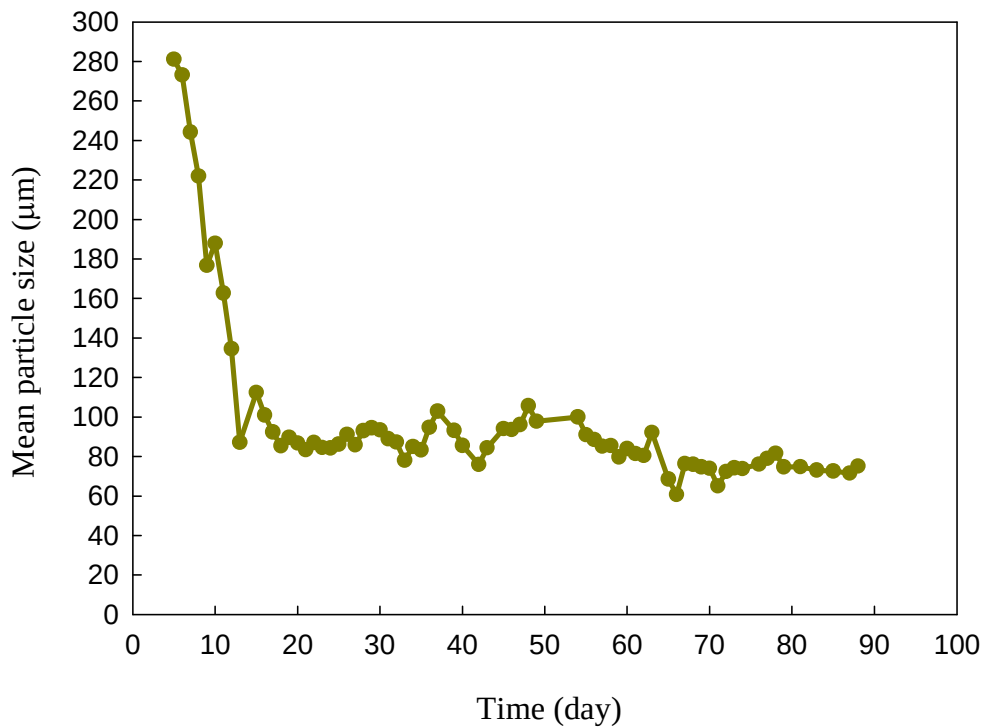


圖 4 MBR 污泥膠羽大小之變化

3. 次臨界通量下之薄膜積垢

有或無選種槽 MBR 系統之 TMP 變化，如圖 5 所示。由圖 5 (a) 發現，在 MBR 系統初期，TMP 上升極為快速，其與系統中過量之絲狀菌相關。為了改善 MBR 中過量絲狀菌存在的問題，實驗進行的第 5 天，在 MBR 系統前架設一選種槽，經過 5 天後，TMP 增加速率便趨於緩慢($dp/dt = 0.03 \text{ kPa/h}$)，大約需再經過 10 天，系統之 TMP 才會快速地增加。文獻中指出，即使 MBR 在次臨界通量下操作，經過一段時間後(critical time, t_{crit})，TMP 仍舊會快速地增加，這是因為一些大分子有機物會沉積或吸附於薄膜表面或孔洞中，造成薄膜孔洞逐漸地縮小或阻塞，導致局部通量大於臨界通量，使得 TMP 快速上升 (Kaichang et al. 2003; Ognier et al. 2004; Pollice et al. 2005)。為了避免過度更換薄膜，本實驗採用間接性操作，以幫助系統 TMP 之回復

當 MBR 系統中絲狀菌成為優勢菌種時，系統 TMP 之上升極為快速($dp/dt = 28.73 \text{ kPa/h}$)，如圖 5 (b) 所示。Meng et al. (2006) 指出，絲狀菌之過度生長會使得 MBR 中 EPS 含量、污泥膠羽疏水性及污泥黏滯性增加，生成之濾餅為無孔洞(non-porous)形式，造成嚴重的薄膜積垢問題。

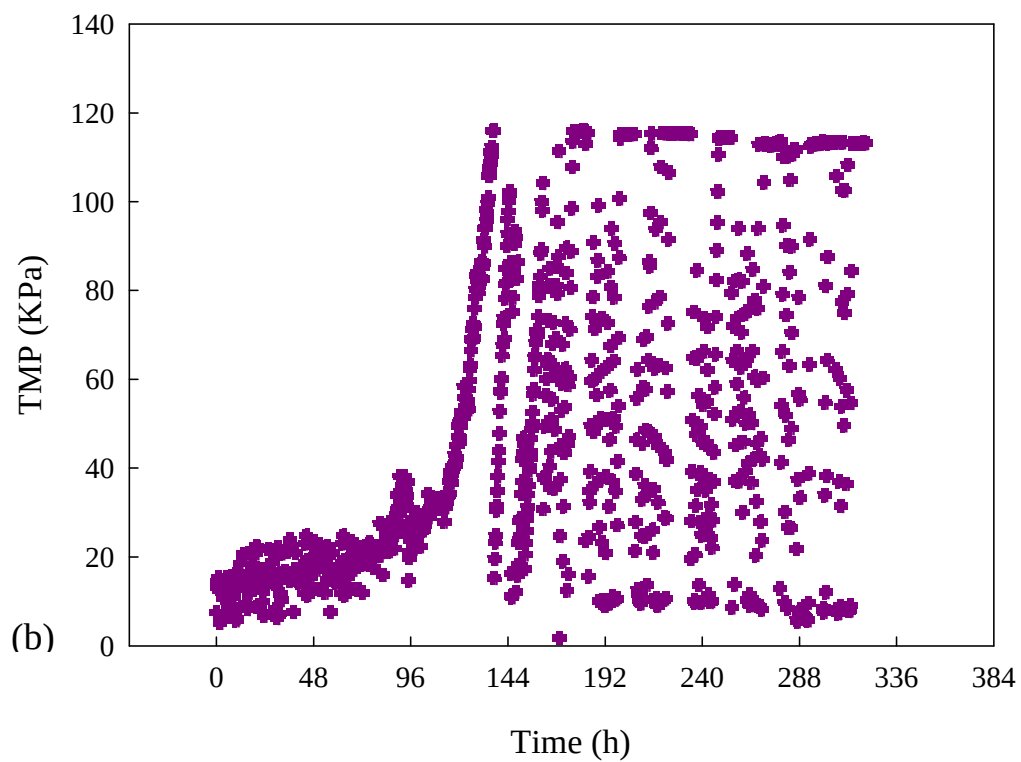
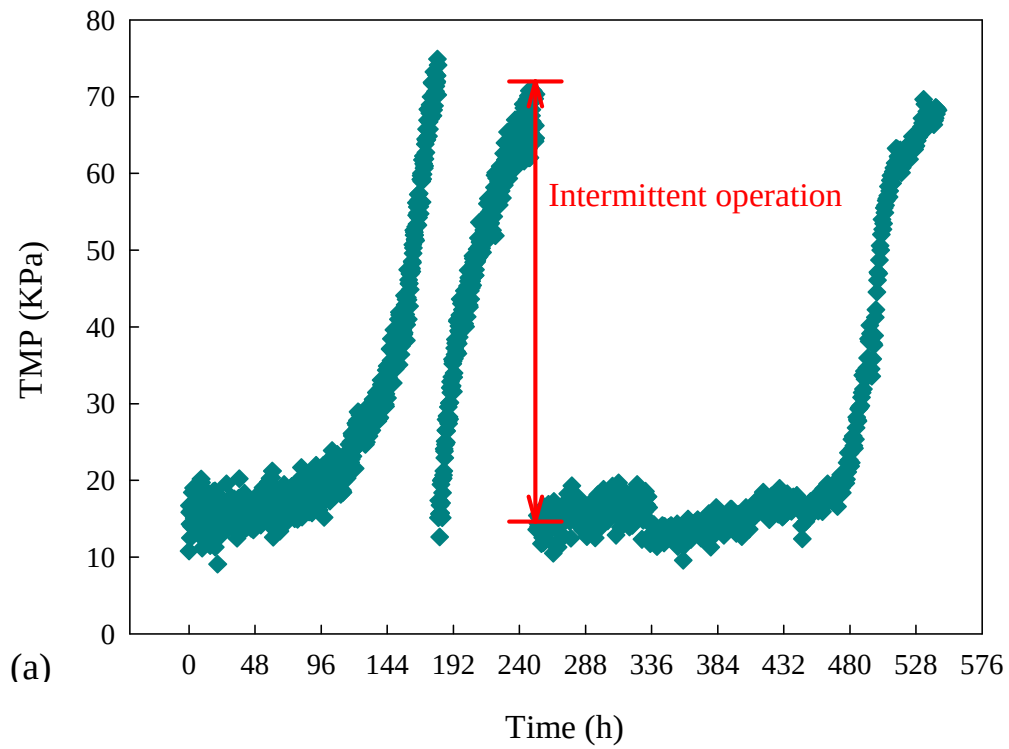


圖 5 MBR 系統之 TMP 變化 (a)有選種槽 (b)無選種槽

4. 薄膜孔徑對積垢之影響

孔徑大小影響薄膜積垢之因素主要取決於進流水中顆粒粒徑的分佈範圍。Shimizu et

al. (1990) 與 Chang et al. (1994) 皆指出大孔徑的薄膜並不一定有較大的通量，有時會因薄膜孔洞阻塞而有所不一定。因此我們假設在 MBR 系統中，若使用越大孔徑的薄膜，反而會使孔洞阻塞變的更加嚴重，造成薄膜操作上的失敗。

以不同孔徑大小之 MCE 薄膜於固定轉速下所做之薄膜積垢分析結果，如表 1 所示。由此實驗結果得知，不論孔徑大小為 0.1、0.2 或 0.45 μm ，所產生的過濾阻抗均以濾餅阻抗 (R_c) 為主，且隨著薄膜滲透率的增加，濾餅阻抗及總阻抗 (R_t) 會隨之變大，而不可逆之孔徑阻塞阻抗 (R_f) 則會逐漸變小。此實驗結果雖與原假設不同，但卻與 Bae and Tak (2005) 在 UF 系統中得到之結果相同，可能原因為當薄膜滲透率變大時， R_c 會增加，如此可於薄膜表面形成一保護屏障(barrier)，導致小分子顆粒物質無法進入薄膜孔隙中造成 R_f 的增加。雖然在 MF 系統中，薄膜孔徑之增加會導致 R_t 的提升，但卻可有效減少 R_f ，如此將可減少化學清洗的頻率，並延長薄膜壽命。

表 1 不同孔徑薄膜之過濾阻抗分析

Pore size ^a (μm)	R _m	R _c	R _f	R _t	R _m /R _t	R _c /R _t	R _f /R _t	Permeability (10 ⁻⁸ m ³ m ⁻² s ⁻¹ Pa ⁻¹)
	(10 ¹² m ⁻¹)				(%)			
0.1	0.13	0.45	0.08	0.66	19.31	68.14	12.55	0.78
0.2	0.02	2.46	0.04	2.52	0.93	97.31	1.76	4.23
0.45	0.01	2.69	0.03	2.73	0.29	98.79	0.92	12.50

a. Mixed cellulose ester

b. Stirring rate = 60

5. 水流剪力對積垢之影響

沉浸式 MBR 之薄膜單元是置於生物反應槽內，故表面會因內部之曝氣作用而產生一股上昇的水流剪力，此水流剪力有助於降低薄膜表面阻塞物質的累積。本實驗是將 lab-scale MBR 使用之 Kubota 薄膜，以截流式過濾系統做薄膜積垢的分析，用來模擬出 MBR 中積垢之情形，其結果如表 2 所示。由表 2 中可發現 Kubota 薄膜主要之積垢形式以 R_c 為主，且隨系統水流剪力的增加， R_t 會變小，此結果證明了一般的論點。然而其中

卻也發現，水流剪力的增加儘管能有效降低 R_c 及 R_t ，卻無法改善 R_f ，反而會使其增加， R_c 的形成有助於 R_f 的降低，因此當系統水流剪力增加時， R_c 雖會減少，但 R_f 卻會上升。

由於在上述結果中已指出水流剪力對薄膜積垢之影響，因此本實驗欲以不同孔徑之 MCE 薄膜，探討不同水流剪力對於不同孔徑大小薄膜之影響程度，結果如表 4-4 所示。由實驗結果可發現隨著系統水流剪力的增加，對於 0.1、0.2 及 0.45 μm 孔徑大小的薄膜，分別可減少 0.35、1.08 及 2.51 10^{12} m^{-1} 的總阻抗。因此在 MF 系統中，隨著薄膜孔徑的增加，水流剪力的效果會隨之提升。然而關於 Madaeni *et al.* (1999) 所指出，水流剪力對於小孔徑的薄膜系統有較大之影響，其是指 MF 與 UF 系統相較下所得之結果，若單獨對於 MF 系統，其結果也與本實驗結果類似。此外由表 3 中也可發現孔徑越大的薄膜隨著 R_c 的減少， R_f 所增加的程度也越大。因此於實際 MBR 操作時，對於大孔徑的薄膜系統，水流剪力的掌控需更為仔細。過高的水流剪力，不僅會消耗大量能源，也可能對薄膜的阻塞產生負面的影響。

表 2 水流剪力對 Kubota 薄膜之過濾阻抗分析

Stirring rate	R_m	R_c	R_f	R_t	R_m	$R_c/$	$R_f/$
					$/R_t$	R_t	R_t
	(10^{12} m^{-1})				(%)		
40	0.02	4.89	0.01	4.92	0.51	97.54	1.95
70	0.02	3.58	0.13	3.73	0.63	95.81	3.56
100	0.02	1.61	0.20	1.83	1.34	88.01	10.65

表 3 水流剪力對不同孔徑大小 MCE 薄膜之過濾阻抗分析

Pore size	Stirring rate	R_m	R_c	R_f	R_t	R_m/R_t	R_c/R_t	R_f/R_t
		(10^{12} m^{-1})				(%)		
0.1 μm	40	0.15	2.30	0.07	2.52	5.75	91.40	2.85
	70	0.15	2.24	0.08	2.47	6.03	90.70	3.27
	100	0.14	1.93	0.10	2.17	6.59	89.00	4.41
0.2 μm	40	0.02	2.99	0.03	3.04	0.68	98.48	0.84
	70	0.02	2.14	0.05	2.21	1.00	96.65	2.35
	100	0.02	1.88	0.06	1.96	1.22	95.73	3.05
0.45 μm	40	0.01	4.22	0.01	4.24	0.18	99.63	0.19
	70	0.01	2.47	0.02	2.5	0.34	98.72	0.94
	100	0.01	1.67	0.05	1.73	0.47	96.75	2.78

技術特點說明：本計劃提出臨界通量的觀念，在實際操作中應避免薄膜在臨界通量以上操作以減緩薄膜的積垢，減少維護及操作成本。此外，本計劃更提出後續之減緩薄膜積垢之策略(適當之水流剪力、薄膜表面改質及添加混凝劑)，對於後續在學術上可進一步之研究探討以供實際應用上之參考。

可利用之產業及可開發之產品：此研究主要開發技術之對象為都市污水處理廠，未來可更進一步開發大型的模組以應用於實廠的操作。並且對於一般之都市污水進行回收再利用，以達環境之永續發展。

推廣及運用的價值：薄膜積垢之減緩讓 MBR 技術在使用上更具實用性，因此上述之主要發現及結論，對於 MBR 之應用上可提供一重要之參考。本計劃除了提出可行之 MBR 操作方式(次臨界通量下操作)，亦提出薄膜積垢之影響因子及其

解決方式，使得 MBR 於應用上更具可行性及競爭性。