行政院國家科學委員會專題研究計畫　成果報告

顆粒粒徑及混凝前處理對超音波音場降低掃流微過濾積垢之研究

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：NSC92-2211-E-041-010-
執行期間：92 年 08 月 01 日至 93 年 07 月 31 日
執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)

計畫主持人：張錦松
共同主持人：張家源

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中　華　民　國 93 年 11 月 2 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※
※　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　※
※　　顆粒粒徑與混凝前處理對超音波音場　　※
※　　　降低掃流微過濾積垢之研究　　　　※
※　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　※
※　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　※
※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：▒個別型計畫　　□整合型計畫
計畫編號：NSC－92－2211－E－041－010
執行期間：　92　年　8　月　1　日至　93　年　7　月　31　日

計畫主持人：張錦松　教授
共同主持人：張家源　副教授

本成果報告包括以下應繳交之附件：
□赴國外出差或研習心得報告一份
□赴大陸地區出差或研習心得報告一份
□出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
□國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

中　華　民　國　93　年　10　月　28　日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

顆粒粒徑與混凝前處理對超音波音場降低掃流微過濾積垢之研究

計畫編號：NSC 92-2211-E-041-010

執行期限：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人：張錦松　　嘉南藥理科技大學　環境工程與科學系

共同主持人：張家源　嘉南藥理科技大學　環境工程與科學系

一、中文摘要

本研究探討超音波震盪對掃流式微過濾之影響，以人工模擬試液為實驗對象，採用乳膠進行掃流式過濾，實驗結果發現，通過薄膜過濾量隨著壓力增加而增加，於壓力為 12 psi 時，流通量下降迅速，顯示薄膜阻塞較為嚴重，因此要改善掃流式過濾系統的結垢問題，需要加入超音波震盪，以增加掃流式過濾的過濾量與流通量，在固定壓力與流速下，進行超音波對掃流式過濾影響之探討，實驗結果發現，在固定超音波震盪與功率，伴隨著超音波震盪頻率增加，過濾量與流通量亦隨之增加。改變超音波震盪時間而固定超音波震盪頻率與功率，超音波震盪 20 秒與 30 秒無明顯增加過濾量與流通量。固定超音波震盪秒數與頻率，改變不同超音波震盪功率，超音波震盪功率在 87W 與 147W 明顯增加過濾量，且超音波 147W 的過濾量為超音波 87W 的過濾量之 2 倍，由以上實驗可知，若以超音波震盪輔助掃流式過濾，多次而短時間之震盪與較大之震盪功率時，可明顯增加過濾量並提昇其流通量。超音波震盪頻率減少，對於不佳的混凝過濾量之過濾量與流通量，增加效果比混凝的最佳劑量與最佳 pH 值來的好。

關鍵詞： 超音波、掃流式微過濾、流通量

二、緣由與目的

水及廢水處理單元中，薄膜處理程序一直是被廣泛應用的技術之一。薄膜處理程序在淨水處理上可用以去除懸浮微粒、有機物、無機鹽及微生物，同時可有效控制消毒副產物及前驅物質，可取代傳統淨水程序之混凝、沉澱。因此，在土地狹小、人口眾多的台灣，應用薄膜程序亦有節省佔地面積、擴建容易及操控簡單等優點。然而，薄膜在淨水處理程序，最大的瓶頸在於阻塞(fouling)。阻塞使得產水量減少、薄膜清洗頻率增加，縮短薄膜之壽命、增加成本。造成阻塞形成的因素眾多，例如：薄膜的材質、進流水水質及操作參數的控制等，皆是造成薄膜阻塞的原因。也因此，此技術往往存在高成本、高耗能及回收率較傳統程序低等缺點。

使用掃流式－薄膜處理程序時，隨著處理時間增加會造成顆粒持續累積於薄膜上，形成較厚的濾餅，使其流通量下降後趨於穩定。結垢現象是因物質在薄膜上累積所引起，所以是伴隨濃度極化現象而來；產生結垢的方式有(Aimar et al., 1998[1] Tansel et al., 2000[2])：

1. 吸附(adsorption)：由於化學親和力，導致溶質分子吸附在薄膜表面或孔徑結構內。
2. 膠聚(gelation)：高濃度下，分子間之親和力或薄膜材料催化的作用而產生膠聚。
3. 阻塞(blockage)：溶質分子或微粒將孔隙結垢阻塞，使得孔洞縮小(Pore narrowing)。

在上述成因中溶質吸附現象是不可逆反應，其膠層主要是由化學鍵所形成，無法以反沖洗方式完全去除；而濃度極化現象所形成之膠層通常是可逆的，如壓差減小即可降低結垢程度。

超音波技術的應用相當廣泛，由於其產生的特異空化現象引起的作用相當多，在工業上的應用有分散、乳化、凝集、促進反應、洗淨及接合等 [3]。超音波輸出時為疏密波之形式，可分成正壓（波峰）與負壓（波谷）兩部分，如所受之負壓夠大而低於蒸汽壓時，低壓的水會因此汽化，而生成氣泡。超音波洗淨主要利用 cavitation[4] [5] [6] 作用產生之氣泡，洗淨過程分為兩種：1.產生之氣泡，受到後來之高壓波段壓縮而破裂後，產生之音壓及噴水柱衝擊物體表面，造成固體物脫體而達到洗淨之效果。2.氣泡衝擊固體物與物體表面之空隙，而此區間的氣泡受音壓變化的影響，不斷膨脹與收縮，氣泡逐步向前，造成固體物漸漸脫離表面。

本研究利用超音波震盪輔助掃流式微過濾，透過掃流過濾，過濾壓力、震盪頻率與功率等因子之探討，針對超音波震盪之效果進行初步之瞭解與探討。

三、研究設備與方法

1、實驗材料

(1)乳膠試劑：Latex Beads 0.33贡m(SIGMA 試藥級)。

(2)混凝劑：硫酸鋁 Al2(SO4)·16~18H2O(試藥級)
(3)鹼度：NaHCO3(Merck，試藥級)。
(4) 硫酸 H_2SO_4(Merck，試藥級)與 6M NaOH(Merck，試藥級)：調整 pH 值。
(5)薄膜：ISOPORE 0.1贡m VCTP(MILLIPORE)。

2、儀器設備

(1)掃流式薄膜過濾系統：Millipore 公司製造的平行流過濾器(Minitan-S Microfiltration System)，此裝置係以脈動幫浦配合閥門之開關提供所需之過濾壓差及流量。過濾渠道尺寸為 5.65cm(長)X0.7cm(寬)X0.1cm(高)。
(2) 尖端式超音波震盪器(SONICATOR3000-MISONIX)
(3)攪拌混凝試驗設備（Cherng Huei，Jar tester）
(4)磁石攪拌機(JH TSANN，JS-H)
(5)pH 計與導電度計（Suntex SC-170）
(6)電腦連線天平(GF6000-AND)

3、實驗方法

3-1 化學混凝單元

3-1-1 最佳劑量：

於室溫下，取數個燒杯內裝 500mL 之乳膠(10ppm)水樣，放置於瓶杯(jar test)試驗機，加入不同的混凝劑量(硫酸鋁)，調整 pH=7，以 100rpm 快混 2 分鐘，再以 30rpm 慢混 28 分鐘，混凝後靜置 30 分鐘，再取上層液，分析其濁度，以找出混凝劑（硫酸鋁）的最佳劑量。

3-1-2 最佳 pH 值：

於室溫下，取數個燒杯內裝 500mL 之水樣放置於瓶杯試驗機，以最佳劑量與攪拌時間條件下操作，於慢混時調整不同 pH 值混凝，混凝後靜置 30 分鐘，再取上層液，分析其濁度、以找出混凝劑（硫酸鋁）之最佳 pH 值。

3-2 薄膜過濾單元

3-2-1 薄膜過濾實驗

於室溫下，實驗所需之人工模擬試液以 10% latex solution 稀釋配製成 2L 乳膠溶液 10ppm，將配置溶液通過 0.1贡m 孔徑之掃流式薄膜過濾系統，流至電子天平上方燒杯中，再經由連線傳送至電腦中，而無法過濾液體流回原來燒杯中，經由電腦連線，監測出過濾量，將此數據帶入(1)式可得知流通量，掃流式過濾系統操作條件如下表 1。

$$flux = \frac{L}{m^2 \times hr} \quad \ldots\ldots \qquad (1)$$

表 1：掃流過濾系統超作條件

配置溶液	乳膠 10ppm
薄膜孔徑	0.1贡m
壓力(psi)	4、8、12
流速(m/s)	0.25、0.75、1.25
溫度	室溫
過濾時間	60 分鐘

3-2-2 超音波震盪實驗

在掃流式過濾區域上方 3 公分處放置尖端式超音波，如圖 1 所示。由上述實驗固定壓力在 12psi 與流速在 1.25m/s，改變超音波震盪時間與功率(如表 2)，實驗流程如圖 2 所示。

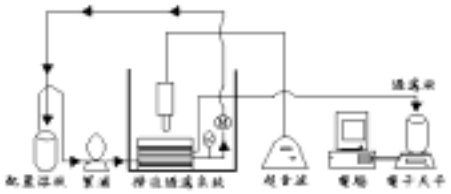

圖 1 掃流式薄膜過濾與超音波實驗設備圖

表 2：超音波的操作範圍

KHz	20
W	87、108、147
溫度	室溫
震盪時間	10 秒、20 秒、30 秒、60 分

3-2-2-1：超音波震盪頻率

在掃流式過濾區域上方 3 公分處放置尖端式超音波，超音波功率則採用 87W，震盪頻率分為連續震盪、2 分 50 秒震 10 秒(20 次)、4 分 50 秒震 10 秒(12 次)與 9 分 50 秒震 10 秒(6 次)，固定壓力 12psi，流速 1.25m/s，做超音波震盪頻率對薄膜過濾之影響。

3-2-2-2：超音波震盪時間

固定超音波功率 87W，改變不同超音波震盪方式為 4 分 50 秒震 10 秒(12 次)、4 分 40 秒震 20 秒與 4 分 30 秒震 30 秒，比較超音波震盪時間對薄膜過濾之影響。

3-2-2-3：超音波震盪功率

震盪方式為 4 分 50 秒震 10 秒，改變不同超音波震盪功率，分別為 87W、108W 與 147W 比較超音波震盪功率對薄膜過慮之影響。

3-3 混凝-薄膜混合單元

經由 3-1 化學混凝單元得到混凝劑(鋁鹽)，最佳劑量(500mg/l)與最佳 pH6，經由混凝沉澱後

再由磁石攪拌機攪拌均勻，由 3-2-2-1 超音波震盪頻率實驗，比較超音波震盪頻率對混凝薄膜過濾系統之影響。

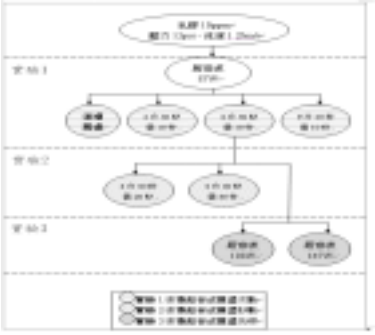

圖 2 實驗流程圖

四、結果與討論

1. 過濾量

圖 3、圖 4 與圖 5 為固定掃流流速 0.25、0.75 與 1.25m/s 條件下，在不同壓力時，過濾量隨時間之變化趨勢。由圖 3 顯示，在流速 0.25m/s 下，壓力 12psi 之過濾量比壓力為 8psi、4psi 過濾量高於 74g 和 170g，由實驗可知壓力增加過濾量明顯增加，圖 4 與圖 5 則有與上述相同之趨勢。但是固定壓力，增加流速下，過濾量反而沒有明顯增加，如圖 3 壓力 12psi，流速 0.25m/s 與圖 5 流速 1.25m/s，過濾量僅相差 45g。由此得知，壓力改變對過濾量之影響較流速改變為大。

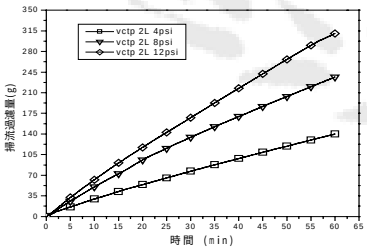

圖 3 不同掃流壓力下之過濾量變化圖(過濾區流速 0.25 m/s，掃流式過濾薄膜總時間為 60min)

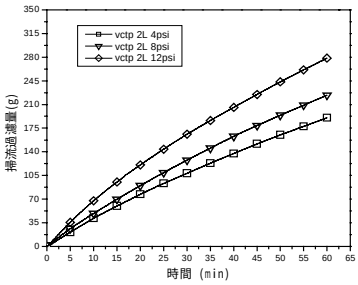

圖 4 不同掃流壓力下之過濾量變化圖(過濾區流速 0.75 m/s，掃流式過濾薄膜總時間為 60min)

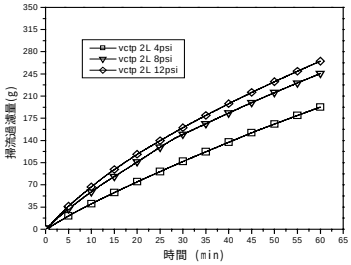

圖 6 不同掃流壓力下之過濾量變化圖(過濾區流速 1.25 m/s，掃流式過濾薄膜總時間為 60min)

2、流通量

圖 6、圖 7 與圖 8 為固定掃流流速 0.25、0.75 與 1.25m/s 條件下，在不同壓力時，流通量隨時間之變化趨勢。由圖 6 顯示，流速 0.25m/s 與壓力 12psi 時，60 分鐘內流通量相差 471(L/m^2・hr)，而壓力 8psi 時流通量相差 358(L/m^2・hr)，壓力 4psi 流通量相差 314(L/m^2・hr)，圖 7 和圖 8 則有與上述相同趨勢，可得知流通量下降速率隨著壓力增加而增加。如圖 6、圖 7 與圖 8 以固定壓力，改變流速來看，流通量並無沒有明顯之變化。

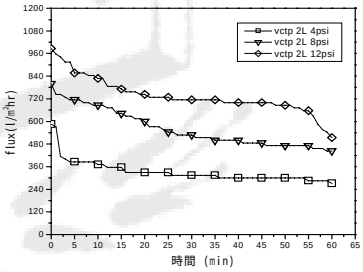

圖 6 不同掃流壓力下之流通量變化圖(過濾區流速 0.25 m/s，掃流式過濾薄膜總時間為 60min)

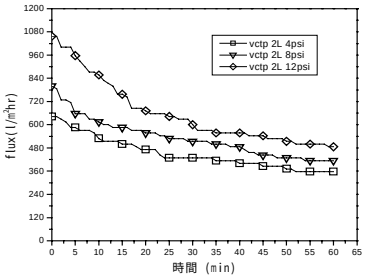

圖 7 不同掃流壓力下之流通量變化圖(過濾區流速 0.75m/s，掃流式過濾薄膜總時間為 60min)

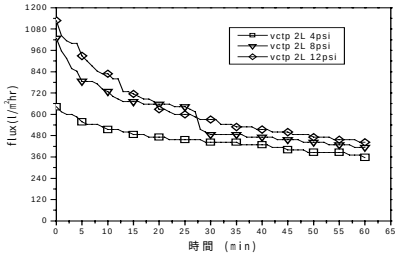

圖 8 不同掃流壓力下之流通量變化圖(過濾區流速 1.25 m/s，掃流式過濾薄膜總時間為 60min)

3、超音波震盪頻率

由上述得知，以壓力為 12psi，流速為 1.25m/s 時，過濾量與流通量下降速率最快，且阻塞現象較為嚴重，因而於此壓力與流速下採用超音波震盪，固定超音波功率為 87W，改變其震盪頻率為連續震盪、2 分 50 秒震 10 秒(20 次)、4 分 50 秒震 10 秒(12 次)及 9 分 50 秒震 10 秒(6 次)，由結果得知，超音波連續震盪比沒加超音波的過濾量減少 45g；超音波震盪 20 次、12 次與 6 次比不加超音波過濾量各增加 18g、17g 與 0.6g 過濾量，而流通量各增加 43、43 與 14(L/m^2・hr)，如圖 9、圖 10。由此可知超音波震盪頻率多寡對過濾量與流通量之增加效果並不明顯。

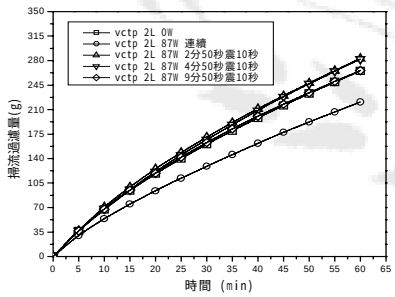

圖 9 超音波對掃流式過濾量下之過濾量變化圖(過濾區流速 1.25 m/s、壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

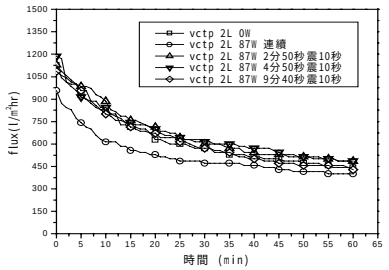

圖 10 超音波對掃流式過濾量下之流通量變化圖(過濾區流速 1.25 m/s、壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

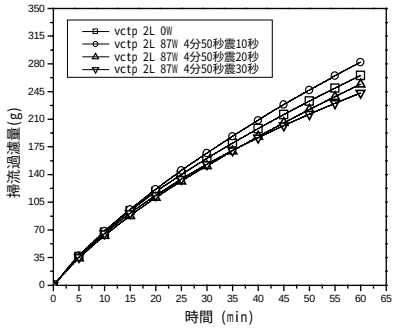

圖 11 超音波對掃流式過濾量下之過濾量變化圖(過濾區流速 1.25 m/s、壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

4、超音波震盪時間

由於超音波震盪頻率對過濾量與流通量之增加效果並不明顯，因此固定其震盪頻率為 12 次，改變超音波之震盪時間為 4 分 50 秒震 10 秒、4 分 40 秒震 20 秒以及 4 分 30 秒震 30 秒。結果顯示 4 分 50 秒震 10 秒比不加超音波之過濾量增加 17g，而流通量增加 43 (L/m^2・hr)，然而，4 分 40 秒震 20 秒與超音波在 4 分 30 秒震 30 秒比沒有加超音波時的過濾量，各減少 11g 與 22g，流通量減少 0 與 88(L/m^2・hr) (如圖 11、圖 12)。由此可知，超音波震盪時間愈長過濾量與流通量會愈少。

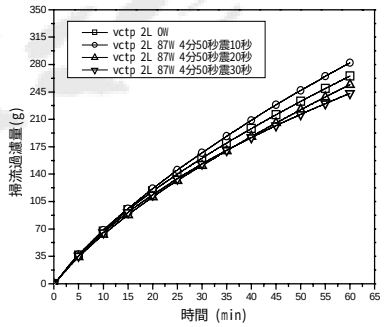

圖 11 超音波對掃流式過濾量下之過濾量變化圖(過濾區流速 1.25 m/s、壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

5、超音波震盪功率

因為震盪頻率與震盪時間之改變對於過濾量與流通量並無明顯之改善，因此改變超音波之功率為 87W，108 W 和 147W，得知超音波功率為 147W 比不加超音波過濾量增加 34g，而流通量增加 100 (L/m^2・hr)；超音波功率 87W 比沒有加超音波時的過濾量增加 17g，流通量增加 44 (L/m^2・hr) (如圖 13、圖 14)，超音波 147W 與超

音波 87W 過濾量之 2 倍。由此可知，超音波震盪功率愈高過濾量與流通量會愈高。

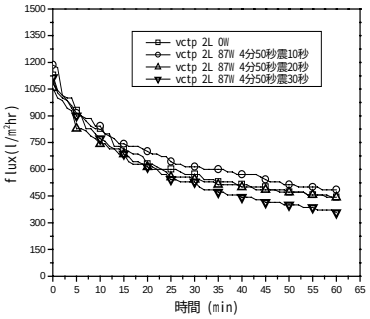

圖 12 超音波對掃流式過濾量下之流通量變化圖(過濾區流速 1.25 m/s、壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

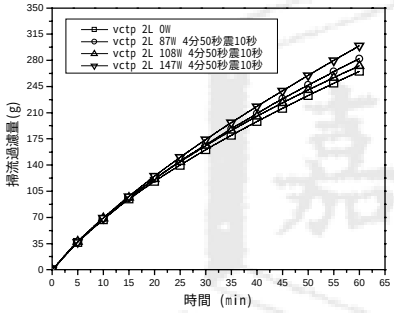

圖 13 超音波對掃流式過濾量下之過濾量變化圖(過濾區流速 1.25 m/s、壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

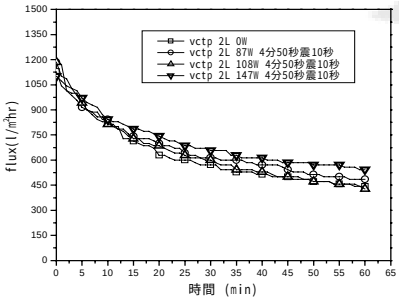

圖 14 超音波對掃流式過濾量下之流通量變化圖(過濾區流速 1.25 m/s、壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

6.超音波對混凝薄膜過濾

6-1 最佳混凝劑量與最佳 pH 值

經由混凝程序過後，再由超音波震盪頻率對掃流過濾系統，由圖 3、7 可知以壓力為 12psi，流速為 0.25m/s 時，過濾量與流通量下降速率最平緩，且阻塞現象較為輕，為了增加過濾量，因而採用超音波震盪，固定超音波功率為 87W，改變其震盪頻率為連續震盪、2 分 50 秒震 10 秒(20 次)、4 分 50 秒震 10 秒(12 次)及 9 分 50 秒震 10 秒(6 次)，由結果得知，超音波連續震盪比沒加超音波的過濾量減少 21g；超音波震盪 20 次、12 次與 6 次比不加超音波過濾量各減少 18g、39g 與 10g 過濾量，而流通量各減少 28、42 與 0(L/m^2・hr)，如圖 15、圖 16。由此可知超音波震盪頻率多寡對最佳的混凝過濾量與流通量之增加效果並不明顯。

6-2 非最佳劑量與非最佳 pH 值

由於 6-1 所採用混凝最佳劑量與最佳 pH 值，但是由於效果不佳，改採混凝效果不佳的鋁鹽 50mg/l，如表 3 所示。經由混凝程序過後，再由超音波震盪頻率對掃流過濾系統，由圖 3、7 可知以壓力為 12psi，流速為 0.25m/s 時，過濾量與流通量下降速率最平緩，且阻塞現象較為輕，為了增加過濾量，因而採用超音波震盪，固定超音波功率為 87W，改變其震盪頻率為連續震盪、2 分 50 秒震 10 秒(20 次)、4 分 50 秒震 10 秒(12 次)及 9 分 50 秒震 10 秒(6 次)，由結果得知，超音波連續震盪比沒加超音波的過濾量增加 60g；超音波震盪 20 次、12 次與 6 次比不加超音波過濾量各增加 78g、37g 與 52g 過濾量，而流通量各增加 142、114 與 114 (L/m^2・hr)，如圖 17、圖 18。由此可知超音波震盪頻率多寡對不佳的混凝過濾量與混凝流通量之增加效果較為明顯，因而超音波震盪頻率減少，對於不佳的混凝過濾量之過濾量與流通量，增加效果比混凝的最佳劑量與最佳 pH 值來的好。

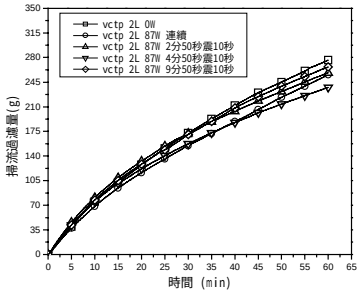

圖 15 超音波之掃流式過濾量下之混凝劑(鋁 500mg/l,pH6)過濾量變化圖(過濾區流速 0.25 m/s，壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

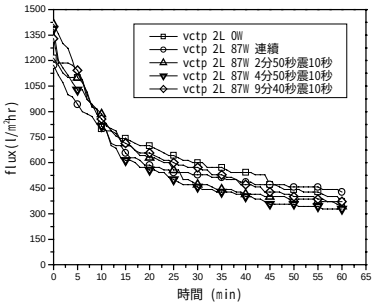

圖 16 超音波之掃流式流通量下之混凝劑(鋁 500mg/l,pH6)過濾量變化圖(過濾區流速 0.25 m/s，壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

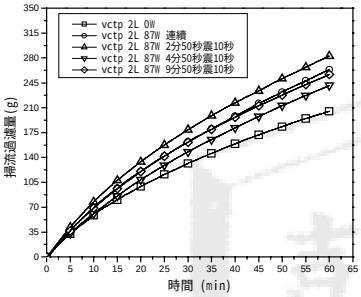

圖 17 超音波之掃流式過濾量下之混凝劑(鋁 50mg/l)過濾量變化圖(過濾區流速 0.25 m/s，壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

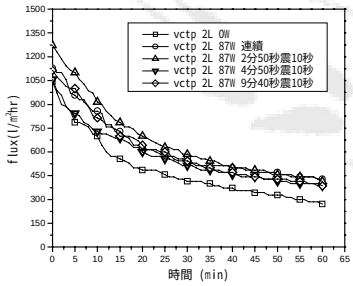

圖 18 超音波之掃流式流通量下之混凝劑(鋁 50mg/l)過濾量變化圖(過濾區流速 0.25 m/s，壓力 12psi，掃流過濾薄膜總時間為 60min)

五、計畫成果自評

本研究主要是探討超音波對掃流式過濾之過濾量及流通量的效益，以流通量相差較大時，薄膜阻塞較為嚴重做為實驗之基礎，配合不同超音波震盪頻率、震盪秒數與震盪功率，初步獲得之結論可為後續研究與實場應用之參考。

六、參考文獻

1.Aimar P., Pignon F., Magnin A., Piau J-M and Cabane B., “Structural characterisation of deposits formed during frontal filtration” J. Mem. Sci., 174(2), 189-204. (1998)

2.Tensel B., Bao W. Y., Tansel, I. N. “Characterization of fouling kinetics in ultrafiltration system by resistances in series model.” Desalination, 129, 7-14. (2000).

3.鄭光庭(2002)，利用超音波清除薄膜結垢，成功大學碩士論文，p21~p22

4.Xijun Chai, Takaomi Kobayashi, Nobuyuki Fujii, “Ultrasound-associated cleaning of polymeric membranes for water treatment,” Sep. Purif. Technol. 15 (1999) 139–146.

5.T. G. Leighton，“The Acoustic Bubble”，Harcourt Brace & Company，1994.

6.森田克美，”超音波洗淨”，近代編集社，1989.