

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

可變形次微米粒子之薄膜過濾(II)

Membrane Filtration of Deformable Submicron Particles (II)

計劃編號：NSC 88-2214-E-032-004

執行期限：87年8月1日至88年7月30日

主持人：黃國楨 教授

執行機構：淡江大學 化學工程學系

一、摘要：

中文摘要

本研究是探討可變形次微米粒子之薄膜過濾機構，以假單孢菌(pseudomas)懸浮液進行掃流過濾，並探討懸浮液濃度及過濾壓差等操作條件對其過濾性能的影響。結果顯示：掃流過濾之操作壓差愈大，則其濾速反而會愈低，掃流速度愈大則濾速會跟著提高，懸浮液之濃度愈高則濾速會較低。而由掃瞄式電子顯微鏡之照片則可看出於緊鄰薄膜處有一由可變形粒子所形成之極為緻密的表皮層。為了推究其原因，故建立濾餅局部性質之動態解析程序，對濾餅的局部孔隙度、過濾比阻、及固體壓縮壓力等性質進行模擬。結果顯示，濾餅之過濾阻力係由靠近濾材之薄層(skin layer)所控制，此薄層之壓縮行為是影響濾速衰減的主要因素。且增大壓差將導致表皮層更緊密以致濾阻變大。

關鍵詞：掃流微過濾、次微米粒子、可變形粒子、膜過濾

ABSTRACT

The mechanism of cross-flow filtration of deformable submicron particles is studied. Cross-flow microfiltration were carried out by using pseudomas suspensions. The effect of operating conditions, such as cross-flow velocity, filtration pressure, and suspension concentration, on the filtration performance are

discussed. The results show that the filtration rates increase with the increase of cross-flow velocity, decrease of filtration pressure, and decrease of suspension concentration. The photographs of scanning electronic microscope show that a skin layer with most compact structure may form nearby the membrane surface for the filtration of deformable particles.

A numerical program based on material balance and theory is established for simulating the local porosity, filtration resistance, and solid compressive pressure in a filter cake. The variation of specific surface area due to area contact between particles during a filtration is taken into account. It can be found that a skin layer which control the filtration rate will form near the filter membrane in a membrane filtration of deformable submicron particles. Although the thickness of a skin layer is only 10% for whole cake, it plays a role of 90% filtration resistance.

Keywords : cross-flow microfiltration, submicron particles ,deformable particles, membrane filtration

二、緣由與目的：

可變形粒子所形成的濾餅具有極高的壓縮性，使得傳統的過濾理論容易產生偏差行為。為了將過濾技術有效率地應用於精密

化程序中，本研究針對含可變形次微米粒子之難濾泥漿的掃流過濾機構進行微觀解析，並對粒子在掃流微過濾中之濾餅之成長機構進行詳盡之探討，使研究成果能應用至需求日殷之精密分離。

三、實驗方法：

3-1. 實驗材料

(1). 假單孢菌(pseudomas)粉體

外觀為褐色粉末，其粒子經離心清洗後之形狀近似於橢球形，如 Fig.1 所示。其平均粒徑為 $0.35\mu\text{m}$ 。當假單孢菌粉體懸浮在去離子水中時，pH 值約為 6.0~7.0。其密度為 1420 kg/m^3 ，介達電位為 -18.1 mV 。

(2). 濾材

日本生產之微過濾膜 (cellulose nitrate)，平均孔徑為 $0.1\mu\text{m}$ ，濾材厚度為 $125\mu\text{m}$ ，有效過濾面積為 $1.14\times 10^3\text{ m}^2$ 。最大承受壓力為 50psi ($3.45\times 10^5\text{ N/m}^2$)。

3-2. 實驗步驟

掃流過濾實驗裝置如 Fig.2 所示。先將假單孢菌粉體懸浮於去離子水中，利用離心清洗的方式去除雜質後，重新懸浮於去離子水溶液中，並取樣測量泥漿在離心清洗之後的濃度。將已知濃度之假單孢菌懸浮液置於泥漿槽中，並均勻攪拌。將濾室與濾膜組裝後，打開電子秤並與個人電腦連線，調整掃流過濾速度與過濾壓差至實驗所需之定值。打開連接濾液收集瓶之活栓，開始進行過濾實驗。同時並利用連線將濾液量經由電子秤傳送至電腦，進行自動取樣及數據處理。

四、結果與討論：

可變形次微米粒子之掃流過濾特性

先從圖 3 可知我們在固定其它操作條件而只改變壓差的情形下，濾速是隨著壓差加大而遞減的，這與剛性粒子之掃流過濾是呈相反的趨勢，這也說明可變形粒子形成濾餅

時在高壓下因壓縮較緊密，反而使得濾液更難滲透過去，而形成濾速較低的情況；反觀在低壓過濾時因壓縮效應較小，反而在濾速上佔了優勢，而在較低壓的三組值 ($0.2\sim 0.5\times 10^5\text{ N/m}^2$) 則濾速相當接近顯示壓縮效應較不明顯。而此也再次的應證了低壓掃流過濾的優點。

為了瞭解其濾餅結構，因此在高壓差掃流過濾實驗過程中中止實驗，以便取出濾餅以 SEM(掃描式電子顯微鏡)觀察拍攝，圖 4 為在高壓掃流過濾時取其緊貼於濾材上之緻密的表皮層 (skin layer) 所得到的 SEM 截面圖，這說明了在高壓作用下，可變形粒子所形成之濾餅孔隙度相當低，並將會於薄膜表面產生極大之濾阻，此乃影響濾速的主因之一，而本研究將以動態解析方式進一步探討之。

粒子在濾面上之受力分析

圖 5 是掃流過濾時各種作用於不同粒徑粒子之力分析，由此我們可知介於 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 間其主導粒子附著之力便是掃流方向之拖曳力 F_t ，而分子間的作用力於次微米粒子亦相當重要。我們很清楚的知道粒子粒徑愈小， F_t 亦愈小，以致於粒子較不易被掃走，是以其附著機率會增大，臨界摩擦角亦會升高。

粒子在濾器內之運動

利用了 Lu and Hwang (1995) 年所使用之布朗動態模擬，以了解其粒子運動軌跡。圖 6 是對於不同之進料入口高度做粒子軌跡模擬，可以發現入口高度過高時則因粒子在未著落於濾面便已流出過濾區，是故僅有緊靠濾面上之粒子方有機會附著。

掃流過濾之動態解析

圖 7 是不同時間時其孔隙對濾餅相對位置之關係，由圖可知當 $t=360\text{s}$ 時其濾餅相對高度 x/L 小於 0.6 時便有壓密之現象，時間越久其壓密之相對位置會集中於靠近濾材表面 ($x/L < 0.1$)，當 $t > 4800\text{s}$ 時，則變化已不大，表示壓密情形已趨近於極限。這正可說明濾

餅表皮層之特性。而此表皮層雖只佔濾餅約3%~5%，但卻是主導濾速衰減之關鍵。

由圖8則對不同壓差下對其 $x/L < 0.1$ 之部份做局部孔隙度的分析，由於表皮層皆位於此位置之範圍，因為可以對不同壓差造成之表皮層效應做比較，而分析結果發現壓差愈大其造成的孔隙度變化愈大，亦即其表皮層壓密情形愈明顯，而壓差大至 $1.4 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 時則孔隙度可到達0.1，表示表皮層非常的緻密。

五、結論

在可變形之微米粒子之掃流過濾中，濾阻主要是在濾餅內之一層表皮層，而操作壓差愈大，濾速愈低，這是因為表皮層會壓縮更緻密，使得濾液更難滲透過去。

於粒子之受力分析知次微米粒子受到之掃流拖曳力及分子間作用力最為重要，而探討粒子於濾器溶液中之運動軌跡則必須考慮布朗運動力方能了解真實情形。

藉由動態模擬解析們可更細部的了濾餅內部之結構，若壓差大的情形，則濾阻會更集中於濾材表面上，此表皮層雖只佔了濾餅3%~5%之厚度，卻是主導濾速的主因。

六.參考文獻

- Hwang, K. J. and W. M. Lu, "A Simple Model for Estimating Surface Porosity of Cake in Cake Filtration of Submicron Particles", *J. Chin. I. Ch. E.*, **28**, 2, 121 (1997).
- Hwang, K. J., M.C. Yu, and W. M. Lu, "Migration and Deposition of Submicron Particles in Cross-Flow Microfiltration", *Separation Sci. Technol.*, **32**, 17, 2723 (1997).
- Lu, W. M. and K. J. Hwang, "Mechanism of Cake Formation in Constant Pressure Filtration", *Sep. Technol.*, **3**, 122 (1993).
- McDonogh, R. M., A.G. Fane, and C.J.D. Fell, "Charge Effects in Crossflow Filtration of Colloids and Particulates", *J. Membrane Sci.*, **43**, 69 (1989).

七.圖表

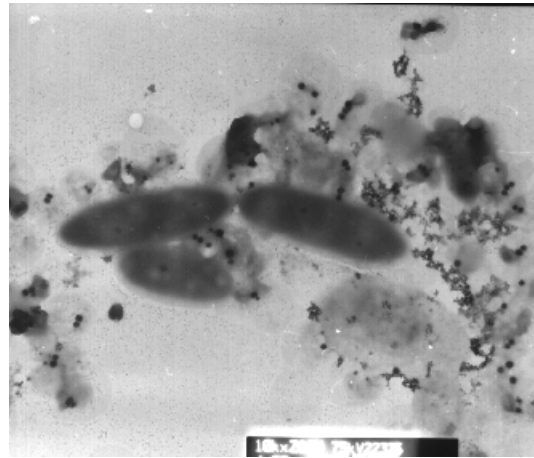


Fig.1 The TEM picture of pseudomonas particles. ($\times 2000\times$)

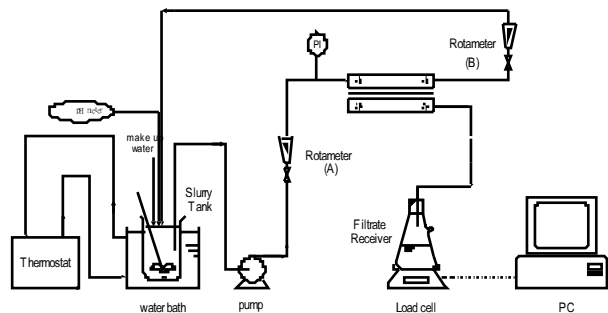


Fig.2 A schematic diagram of crossflow filtration system.

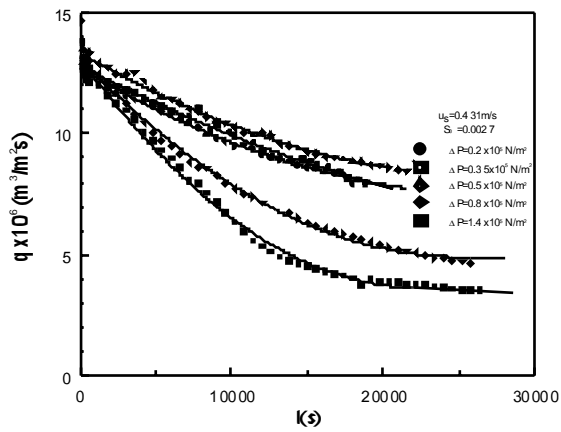


Fig. 3 Decay of filtration rate during crossflow filtration under different filtration pressure

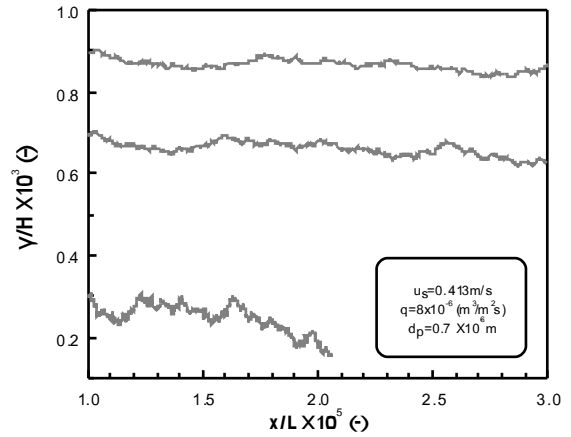


Fig. 6 Trajectories of submicron particles with different inlet heights.

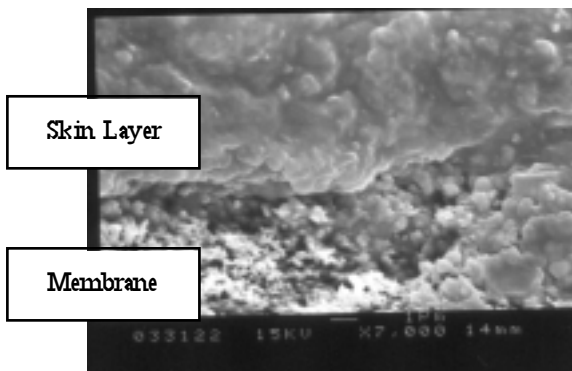


Fig.4 A side view of cake measured by SEM(x7000)

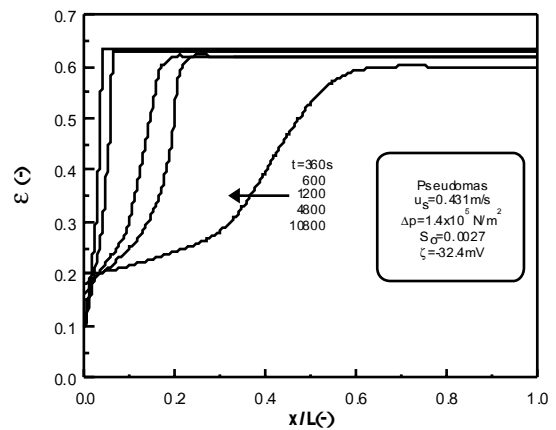


Fig.7 The distribution of local cake porosity during a crossflow filtration.

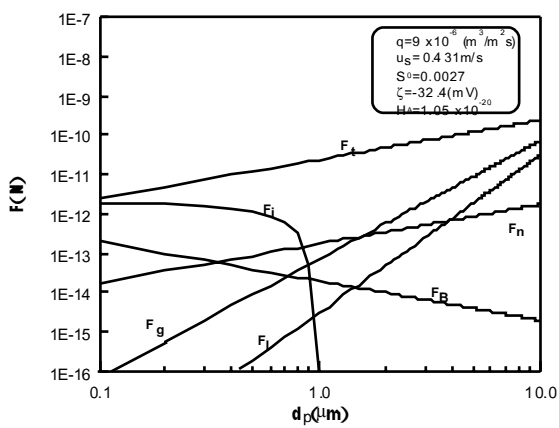


Fig.5 Force analysis on submicron particles in crossflow filtration.

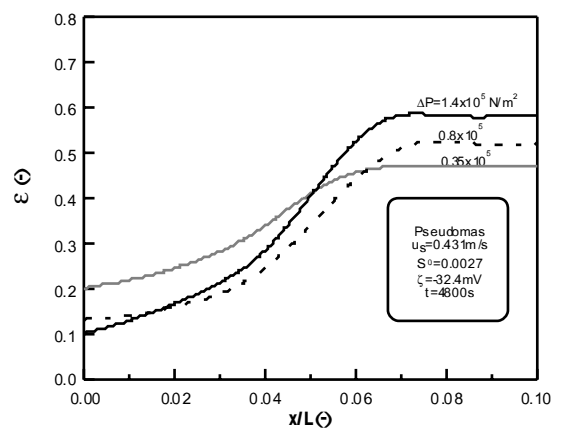


Fig.8 The distribution of local cake porosity during a crossflow filtration for three different pressures.