

水平流式過濾效率與水頭損失探討

駱尚廉* 陳筱華** 吳先琪*

摘 要

本文利用 QUICK 內隱式數值方法求解水平流式過濾池模式，模擬內容包括進流污染物濃度改變對過濾效率之影響，過濾效率及水頭損失隨時間之變化，污染物粒徑及濾速對過濾效率及水頭損失之影響等。分析結果顯示：進流污染物濃度愈高，其污染物截除之效率愈低，但攔除之污染物總量較高，濾程也大幅縮短；濾床愈短，水頭損失曲線之曲率愈大，愈容易在長時期產生堵塞，過濾時間愈長，其水頭損失之增加率愈快；濾程與濾床厚度成正比，濾床厚度愈大，濾程愈長；矩型水平過濾池之水頭損失要比圓型過濾池者為大，而此現象在濾床厚度愈短愈明顯，而過濾效率則相差無幾；過濾效率最差而水頭損失最大之污染物粒徑為 $0.5\ \mu\text{m} \sim 1 \sim 5\ \mu\text{m}$ ，且濾速愈大，欲去除 $1\ \mu\text{m}$ 之粒子愈不容易；在 $d_p = 1\ \mu\text{m}$ 附近，矩型過濾池之水頭損失要比圓型過濾池者為大，且濾速愈大愈明顯。

一 前 言

在前文「水平流式過濾池模式分析」(駱等, 1989)中，已從過濾機制之傳輸與附著效率探討水平流式過濾與垂直流式之差異，並由多孔性介質內之污染物傳輸模式發展水平流式過濾池模式，包括水平流圓型與矩型過濾池之過濾模式，與濾床之水頭損失模式，本文將進而比較與選擇水平流式過濾池之數值模式，並模擬各種過濾情況與變化、影響，模擬內容包括進流污染物濃度改變對過濾效率之影響，過濾效率及水頭損失隨時間之變化，污染物粒徑及濾速對過濾效率及水頭損失之影響等。

* 國立臺灣大學環境工程學研究所副教授

** 國立臺灣大學環境工程學研究所碩士

二 模式參數之選擇與考慮

1 孔隙率之考慮

由前文知，孔隙率 P_0 變化造成濾床係數 λ 和濾速 U 之改變，而孔隙率本身則由於懸浮微粒之累積作用而改變。

濾床開始過濾後，污染物粒子會逐漸塞於孔隙內，今設某一時間時，濾床某一 Δx 內保持某一固定之 U 及 P_0 。（即 P_0 為 t 之函數，亦為 x 之函數），若時間 t 時，距進流端距離 x 處之進流污染濃度為 $C(x)$ ，流經 Δx 之長度後，出流之污染濃度為 $C(x+\Delta x)$ ，則於 Δt 時間內累積於 x 及 $x+\Delta x$ 間之污染物質質量為：

$$\{C(x) - C(x+\Delta x)\} \cdot U \cdot A \cdot \Delta t$$

而累積污染物佔有之體積為：

$$\{C(x) - C(x+\Delta x)\} \cdot U \cdot A \cdot \Delta t / \rho_p$$

故 $t+\Delta t$ 時之孔隙率變為：

$$\begin{aligned} P_0(x, t+\Delta t) &= P_0(x, t) - \frac{\{C(x) - C(x+\Delta x)\} \cdot U \cdot A \cdot \Delta t / \rho_p}{\Delta x \cdot A} \\ &= P_0(x, t) - \frac{\{C(x) - C(x+\Delta x)\} \cdot U \cdot \Delta t}{\Delta x \cdot \rho_p} \end{aligned} \quad (1)$$

式中， $P_0(x, t)$ 表示為 t 時至 $t+\Delta t$ 時之間，在 x 至 $x+\Delta x$ 段所採用之孔隙率，即 t 時之初始孔隙率； $P_0(x, t+\Delta t)$ 為 $t+\Delta t$ 時之初始孔隙率。故計算機程式之編寫原則係：某一時間 t ，某一點 x 處，由模式及 $P_0(x, t)$ 求得進流濃度 $C(x)$ 及出流濃度 $C(x+\Delta x)$ ，代入(1)式求得 $P_0(x, t+\Delta t)$ ，及另式求得之 U 及 λ ，乃作為下一時間 $t+\Delta t$ 時（或說是 $t+\Delta t$ 至 $t+2\Delta t$ 時段）在 x 點處（或說是 x 至 $x+\Delta x$ 區間）之 P_0 ， U 及 λ ，以求解 $t+\Delta t$ 之進、出流濃度。

2 參數係數之選擇

(1) 濾床濾除係數 λ 。

求 λ 。公式中之各係數範圍及選定如下：

P_o : 濾床之孔隙率, 0.1 ~ 0.4, 選用 0.2

v_s : Stoke's 沈澱速率 = $\frac{g}{18\mu} \cdot [\rho_p - \rho_1] \cdot d_p^2$

式中, μ = 動力滯性, $8.91 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$

ρ_p = 污染物之質量密度, $1.05 \times 10^3 \text{ Kg}/\text{m}^3$

ρ_1 = 水之質量密度, $1.00 \times 10^3 \text{ Kg}/\text{m}^3$

d_p = 污染物粒子直徑, $10^{-2} \sim 10^2 \mu\text{m}$

g = 重力加速度, $9.81 \text{ m}/\text{sec}^2$

故 $v_s = 30583.6 d_p^2$

d_m = 濾料之平均直徑, 0.25 ~ 0.50 mm (慢濾池)

U = 濾速, 1 ~ 10 m/day

D_p = 布朗運動擴散係數, $4.3 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{sec}$

A = Hamaker常數, $10^{-13} \sim 10^{-12} \text{ erg}$, 選用 10^{-13} erg

(2) 水頭損失, h_L

h_L 式中之各係數範圍及選定如下:

K = 配合參數, 選用 5

ν = 動滯性, 選用 $10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$

g = $9.81 \text{ m}/\text{sec}^2$

$P_o = 0.1 \sim 0.4$

ψ = 圓球度, 選用 0.8

$d_m = 0.25 \sim 0.50 \text{ mm}$

$U = 1 \sim 10 \text{ m}/\text{day}$

ℓ = 濾床長度, 0.6 ~ 1.2 m

三 水平流式過濾池數值模式

依 U , P_o 及 λ_o 呈彼此相關之現象, 前文將水平流矩型及圓型過濾池之過濾模式分別表示成:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U(P_o) \frac{\partial C}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \lambda_o(P_o, U) UC \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U(x, P_o) \frac{\partial C}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \lambda_o(P_o, U) UC \quad (3)$$

(2)式及(3)式若欲以有限差分法求解, 必須有一假設, 即將 U 及 λ_o 視為與變數 C 獨立 (Independent), 如此方能將其簡化並帶入有限差分法求解之。(2)式及(3)式之邊界及起

始條件爲：

$$C(x, 0) = 0$$

$$C(0, t) = C_0 \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right|_{x=l} = 0$$

爲使模式變數無因次化，因此設：

$$\theta = \frac{C}{C_0}, \quad \bar{x} = \frac{x}{l}, \quad \bar{t} = \lambda_0 \cdot U \cdot t \quad (5)$$

並令

$$a = \frac{D}{\lambda_0 U l^2}, \quad b = \frac{1}{\lambda_0 l} \quad (6)$$

故(2)式及(3)式成爲

$$\frac{\partial \theta}{\partial \bar{t}} = -b \frac{\partial \theta}{\partial \bar{x}} + a \frac{\partial^2 \theta}{\partial \bar{x}^2} - \theta \quad (7)$$

而邊界及起始條件成爲：

$$\theta(\bar{x}, 0) = 0, \quad \theta(0, \bar{t}) = 1, \quad \left. \frac{\partial^2 \theta}{\partial \bar{x}^2} \right|_{\bar{x}=1} = 0 \quad (8)$$

1 Explicit Schemes

(1) UPWIND Differencing Explicit Scheme

$$\theta_j^{n+1} = (s+c) \theta_{j-1}^n + (1-2s-c) \theta_j^n + s \theta_{j+1}^n - \Delta t \theta_j^n \quad (9)$$

$$s = \frac{D \Delta t}{\Delta x^2}, \quad c = \frac{U \Delta t}{\Delta x} \quad (10)$$

(9)式中， θ_j^n 表示在j位置、n時刻之無因次濃度值，亦即數值節點(j, n)之 θ 值； θ_j^{n+1} ， θ_{j-1}^n ， θ_{j+1}^n 定義同前。將(9)式全部除以 Δt ，並定義A, B, E值，則：

$$\theta_j^{n+1} = \frac{1}{E} (2A + 4B) \theta_{j-1}^n + \frac{1}{E} (E - 4A - 4B - 1) \theta_j^n + \frac{2}{E} A \theta_{j+1}^n \quad (11)$$

式中，

$$A = \frac{D}{2 \Delta x^2}, \quad B = \frac{U}{4 \Delta x}, \quad E = \frac{1}{\Delta t} \quad (12)$$

(2) Richardson Explicit Scheme

$$\theta_j^{n+1} = (2s+c)\theta_{j-1}^n - 2s\theta_j^n + (2s-c)\theta_{j+1}^n + \theta_j^{n-1} - \Delta t \theta_j^n \quad (13)$$

式中，s 與 c 之定義同(10)式，將全式除以 Δt ，則：

$$\theta_j^{n+1} = \frac{1}{E} (4A+4B)\theta_{j-1}^n - \frac{1}{E} (4A+1)\theta_j^n + \frac{1}{E} (4A-4B)\theta_{j+1}^n + \theta_j^{n-1} \quad (14)$$

2 Implicit Schemes

(1) Crank-Nicolson Implicit Scheme

$$\begin{aligned} & -\left(\frac{s}{2} + \frac{c}{4}\right)\theta_{j-1}^{n+1} + (1+s)\theta_j^{n+1} + \left(-\frac{s}{2} + \frac{c}{4}\right)\theta_{j+1}^{n+1} \\ & = \left(\frac{s}{4} + \frac{c}{4}\right)\theta_{j-1}^n + (1-s)\theta_j^n + \left(\frac{s}{2} - \frac{c}{4}\right)\theta_{j+1}^n - \Delta t \theta_j^n \end{aligned} \quad (15)$$

將全式除以 Δt ，則：

$$\begin{aligned} & - (A+B)\theta_{j-1}^{n+1} + (E+2A)\theta_j^{n+1} - (A-B)\theta_{j+1}^{n+1} \\ & = (A+B)\theta_{j-1}^n + (E-2A-1)\theta_j^n + (A-B)\theta_{j+1}^n \end{aligned} \quad (16)$$

當 $j=1$ 時，

$$\begin{aligned} & (E+2A)\theta_1^{n+1} - (A-B)\theta_2^{n+1} \\ & = (E-2A-1)\theta_1^n + (A-B)\theta_2^n + 2(A+B) \end{aligned} \quad (17)$$

由初始條件可得：

$$n=0 \text{ 時， } \theta_{j-1}^0 = \theta_j^0 = \theta_{j+1}^0 = 0 \quad (18)$$

由邊界條件可得：

$$j=0 \text{ 時， } \theta_0^n = 1 \quad (19)$$

$$j=N \text{ 時， } \theta_{N+1}^n - 2\theta_N^n + \theta_{N-1}^n = 0 \quad (20)$$

故當 $j=N$ 時，將(20)式代入(16)式，可整理得：

$$-2B\theta_{N-1}^{n+1} + (E+2B)\theta_N^{n+1} = 2B\theta_{N-1}^n + (E-1-2B)\theta_N^n \quad (21)$$

將(16)式、(17)式及(21)式以矩陣表示之，為：

$$\begin{bmatrix}
 (E+2A) & -(A-B) & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\
 -(A+B) & (E+2A) & -(A-B) & \dots & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -(A+B) & (E+2A) & -(A-B) & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -(A+B) & \dots & (E+2A) & -(A-B) & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -(A+B) & (E+2A) & -(A-B) \\
 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -2B & (E+2B) & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \theta_1^{n+1} \\
 \theta_2^{n+1} \\
 \theta_3^{n+1} \\
 \vdots \\
 \theta_{N-1}^{n+1} \\
 \theta_N^{n+1}
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
 (E-2A-1)\theta_1^n + (A-B)\theta_2^n + 2(A+B)\theta_1^n \\
 (A+B)\theta_1^n + (E-2A-1)\theta_2^n + (A-B)\theta_3^n \\
 \vdots \\
 (A+B)\theta_{N-2}^n + (E-2A-1)\theta_{N-1}^n + (A-B)\theta_N^n \\
 2B\theta_{N-1}^n + (E-1-2B)\theta_N^n
 \end{bmatrix}
 \tag{22}$$

(22)式可利用高斯消去法以求得 θ_j^{n+1} 之矩陣解。

(2) QUICK Implicit Scheme

$$-(s+c)\theta_{j-1}^{n+1} + (1 + \frac{c}{2} + 2s)\theta_j^{n+1} + (\frac{c}{3} - s)\theta_{j+1}^{n+1} = \theta_j^n - \frac{c}{6}\theta_{j-2}^n - \Delta t \theta_j^n
 \tag{23}$$

將上式除以 Δt ，則：

$$\begin{aligned}
 & -(2A+4B)\theta_{j-1}^{n+1} + (E+4A+2B)\theta_j^{n+1} + (\frac{4}{3}B - 2A)\theta_{j+1}^{n+1} \\
 & = (E-1)\theta_j^n - \frac{2}{3}B\theta_{j-2}^n
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

當 $j = 1$ 時，

$$-(E+4A+2B)\theta_1^{n+1} + (\frac{4}{3}B - 2A)\theta_2^{n+1} = (E-1)\theta_1^n + (2A + \frac{10}{3}B)\theta_1^n
 \tag{25}$$

當 $j = N$ 時，

$$(-\frac{16}{3}B)\theta_{N-1}^{n+1} + (E + \frac{14}{3}B)\theta_N^{n+1} = (E-1)\theta_N^n - \frac{2}{3}B\theta_{N-2}^n
 \tag{26}$$

同理，(24)式、(25)式及(26)式可構成 -Tridiagonal 矩陣方程式，並利用高斯消去法解得

θ_j^{n+1} 之矩陣解。

(3) UPWIND Implicit Scheme

$$-(s+c)\theta_{j-1}^{n+1} + (1+2s+c)\theta_j^{n+1} - s\theta_{j+1}^{n+1} = \theta_j^n - \Delta t \theta_j^n \quad (27)$$

將上式除以 Δt ，則：

$$-(2A+4B)\theta_{j-1}^{n+1} + (E+4A+4B)\theta_j^{n+1} - 2A\theta_{j+1}^{n+1} = (E-1)\theta_j^n \quad (28)$$

當 $j=1$ 時，

$$(E+4A+4B)\theta_1^{n+1} - 2A\theta_2^{n+1} = (E-1)\theta_1^n + (2A+4B)\theta_1^n \quad (29)$$

當 $j=N$ 時，

$$-4B\theta_{N-1}^{n+1} + (E+4B)\theta_N^{n+1} = (E-1)\theta_N^n \quad (30)$$

同理，(28)式、(29)式及(30)式可構成 **- Tridiagonal** 矩陣方程式，並利用高斯消去法解得 θ_j^{n+1} 。此處必須注意的是，當以高斯消去法解 **Tridiagonal** 矩陣及其右側 $N \times 1$ 矩陣時，矩陣中之係數在某一時間 t 時不再是一些定數，而是隨著不同的 x 而變，也就是說，第一行之 A, B, E 與第二行之 A, B, E 已然因 U, λ 之改變而有所改變。

四數值模式之選擇

1 Explicit Scheme 與 Implicit Scheme 之比較

茲選擇 UPWIND Explicit Scheme 與任何一種 Implicit Scheme 比較，示如圖 1 與圖 2。由圖 1，當 Δt 小於或等於 0.005min 時，看不出此兩種數值解法之差別；然而當 Δt 一增大至 0.00545min (圖 2)，即可看出在某固定條件上，Explicit Scheme 出現了不穩定 (Unstable) 之現象。

2 三種 Implicit Schemes 之比較

圖 3 所示為三種 Implicit Schemes 在與圖 1、圖 2 相同之條件下，將 Δt 放大許多 ($\Delta t = 0.2 \text{min}$) 之結果，三法求解出之圖形十分吻合，且保持相當好之穩定性。

由 1 及 2 中之分析，本研究選用 QUICK Implicit Scheme 來作解析過濾模式之方法。

五 模擬結果與討論

1 進流污染物濃度改變對過濾效率之影響

圖 4 為四種進流污染物濃度 (SS:20,50,80 及 100mg/l) 對過濾效率之影響，其他模式參數或係數如前所選擇。由圖可看出在不同的進流污染物濃度下，進流污染物濃度愈高，其污染物截除之效率愈低，但實際上攔除之污染物總量較高。圖 4 係採用 $\Delta t=0.2\text{min}$ ，經模擬過濾 200min (即經過 1000 次 Δt 之計算) 後之結果，並未考慮水頭損失之情況。

2 過濾效率及水頭損失隨時間之變化

進流污染物之濃度在短時間內雖然對過濾效率之影響不大，然而進流污染物濃度愈高，則濾床愈容易阻塞，水頭損失劇增，因此導致濾程之縮短。現就兩種不同之進流污染物濃度， 2mg/l 及 20mg/l ，分別模擬過濾經過 960 小時 (40 天) 及 240 小時 (10 天)，來看其過濾效率及水頭損失之變化情形 (註：一般慢濾池之濾程為 10 ~ 60 天)，並分別計算圓型及矩型過濾池之情況，以比較其優劣。

圖 5、圖 6 分別為圓型水平過濾池在不同濾床厚度下之過濾效率與水頭損失，隨時間之變化情形；圖 7、圖 8 則為與圓型過濾池同濾料體積之矩型水平過濾池之效率與水頭損失；圖 9 為兩類過濾在濾床同為 1.2m 厚度，濾程 10 天之出水濃度比較；圖 10 則為其水頭損失之比較。圖 5 至圖 10，均為進流污染濃度為 20mg/l 之結果。

圖 11 至圖 16 為進流污染濃度為 2mg/l 之結果。圖 11 與圖 12 分別為圓型過濾池之效率與水頭損失隨時間之變化；圖 13 與圖 14 為矩型過濾池之結果；圖 15 為兩類水平過濾池在濾床厚度 1.2 m，且濾料體積相等之情況下之效率比較；圖 16 為水頭損失之比較。

綜合圖 5 至圖 16 之結果，可得如下數點：

- (1) 慢濾池之限界水頭損失為 1.2 m，對於 20mg/l SS 之進流污染物濃度而言，大約在 240 小時 (10 天) 左右就會達到 $h_L=1.2\text{m}$ ，而對於 2mg/l 之進流污染物濃度而言，則其濾程約可達 960 小時 (40 天)。

(2)由圖 6 及圖 8 結果，不論是圓型或矩型水平過濾池，當 SS 達 $20\text{mg}/\ell$ 時，濾程大約只有 10 天了。而由圖 12 及圖 14 來看，當 $\text{SS}=2\text{mg}/\ell$ 時，濾程可達 40 天。

(3)而由圖 6、圖 8、圖 12 及圖 14 綜合比較，不同厚度之濾床，其 h_L 曲線之曲率不同，濾床愈短，曲率愈大（曲率半徑愈小），愈容易在長時期產生堵塞，過濾時間愈長，其 h_L 之增加率愈快。且其濾程與濾床厚度成正比，濾床厚度愈大，濾程愈長（因其曲線交會點之 h_L 均小於 1.2m ）。

(4)由圖 10 及圖 16 之結果比較，矩型過濾池之 h_L 要大於圓型過濾池之 h_L ；且參看圖 6、圖 8、圖 12 及圖 14 之結果，可發現此現象在濾床厚度愈短時愈明顯。而過濾效率則相差無幾，因此圓型水平過濾池應較矩型者更為實用。

3 污染物粒徑及濾速對過濾效率及水頭損失之影響

圖 17 及圖 18 為污染物粒徑大小（ $0.01 \sim 50\mu\text{m}$ ）及濾速（ $5.18 \sim 2.59\text{m}/\text{day}$ ）對圓型過濾池效率及水頭損失之影響，模擬之濾池濾床厚度為 1.2m ，進流 SS 為 $20\text{mg}/\ell$ ，濾程 10 天，過濾效率最差的是 $1\mu\text{m}$ 大小之污染粒子，但濾速降低至 $2.59\text{m}/\text{day}$ （ $0.00003\text{m}/\text{s}$ ）時，過濾效率最差的是 $5\mu\text{m}$ 粒徑者；水頭損失最大的情況亦出現在 $1\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 左右，但隨濾速之降低而逐漸移至較大粒徑者。

圖 19 及圖 20 為矩型過濾池效率及水頭損失之影響，過濾效率在濾速 $5.18 \sim 2.59\text{m}/\text{day}$ 範圍內，最差之情況均出現在 $1\mu\text{m}$ 粒徑之污染粒子；水頭損失最大者亦逐漸隨濾速之降低而由 $1\mu\text{m}$ 粒徑者移至 $5\mu\text{m}$ 粒徑者。

圖 21 及圖 22 亦為圓型過濾池效率及水頭損失之影響，但模擬之進流 SS 改為 $2\text{mg}/\ell$ ，濾程為 40 天之結果，圖 21 顯示最差之過濾效率出現在 $1\mu\text{m}$ 粒徑者；圖 22 則顯示最大水頭損失分別在 $1\mu\text{m}$ 及 $5\mu\text{m}$ 粒徑者。圖 23 及圖 24 為對矩型過濾池效率及水頭損失之影響，均以污染粒徑為 $1\mu\text{m}$ 時效率最差、水頭損失最大。

綜合圖 17 ~ 24 之結果，可得：

- (1)過濾效率最差而水頭損失最大之污染物粒徑為 $0.5\mu\text{m} \sim 1 \sim 5\mu\text{m}$ ，其中以 $1\mu\text{m}$ 出現之次數最多。
- (2)濾速 U 愈大，欲去除 $d_p = 1\mu\text{m}$ 之粒子愈不容易，而且 U 愈大，水頭損失 h_L 亦愈大，愈容易造成堵塞（此乃在濾料之 d_m 為 0.5mm 之情況下之分析結果）。
- (3)在 $d_p = 1\mu\text{m}$ 附近，矩型過濾池之水頭損失 h_L 要遠大於圓型過濾池者，且 U 愈大愈明顯。

六 結 論

- 1 比較 UPWIND Explicit Scheme 與 Implicit Scheme 之數值模式，當 Δt 較小（在模擬情況下， $\Delta t \leq 0.005 \text{ min}$ ）時，兩種數值解法之差別極小；然而當 Δt 一增大（至 $\Delta t = 0.00545 \text{ min}$ ），Explicit Scheme 即出現了不穩定之現象。再經比較三種 Implicit Schemes，本研究選擇 QUICK Implicit Scheme 來作解析過濾模式之方法。
- 2 在不同的進流污染物濃度下，進流污染物濃度愈高，其污染物截除之效率愈低，但攔除之污染物總量較高。
- 3 對於 20 mg/l SS 之進流污染物濃度而言，大約在 240 小時（10 天）左右就會達到限界之水頭損失 1.2 m ；而對於 2 mg/l 之進流污染濃度而言，則其濾程可達 960 小時（40 天）。
- 4 不同濾床厚度，其 h_L 曲線之曲率不同，濾床愈短，曲率愈大（曲率半徑愈小），愈容易在長時期產生堵塞，過濾時間愈長，其 h_L 之增加率愈快。且其濾程與濾床厚度成正比，濾床厚度愈大，濾程愈長。
- 5 矩型水平過濾池之水頭損失要比圓型過濾池者為大，而此現象在濾床厚度愈短愈明顯。而過濾效率則相差無幾，因此圓型水平過濾池應較矩型者更為實用。
- 6 過濾效率最差而水頭損失最大之污染物粒徑為 $0.5 \mu\text{m} \sim 1 \sim 5 \mu\text{m}$ ；且濾速愈大，欲去除 $1 \mu\text{m}$ 之粒子愈不容易；在 $d_p = 1 \mu\text{m}$ 附近，矩型過濾池之水頭損失要遠大於圓型過濾者，且濾速愈大愈明顯。

七 參 考 文 獻

- 1 駱尚廉、吳先琪、陳筱華，“水平流式過濾池模式分析”，第六屆給水技術研討會論文集（in Press），1989。
- 2 Al-khafaji, A.W. and Tooley, J.R., Numerical Methods in Engineering Practice, Chapter 13, pp. 500-605, Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1986.
- 3 Smith, G.D., Numerical Solution of Partial Differential Equations: Finite Difference Methods, 3rd Ed., Chapter 2, pp. 11-79, Clarendon Press, Oxford, 1985.

誌 謝

本研究承臺灣省自來水股份有限公司提供研究經費，陳協理耀楠先生、劉總工程師家堯先生、陳經理榮藏先生及企劃處、營運處、技術處、中區工程處等有關人員之關注，及張組長朝慶先生之協助連繫，衷心銘感，謹此致謝。

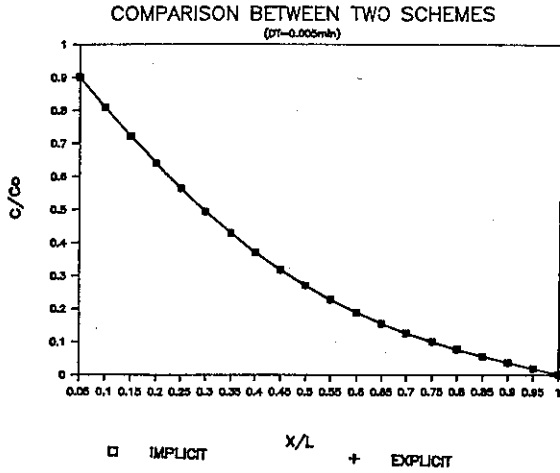


圖 1 內隱式與外顯式有限差分法結果之比較
($\Delta t = 0.005 \text{ min}$)

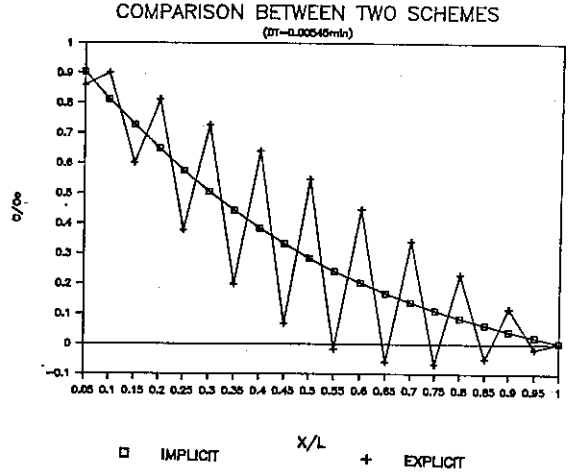


圖 2 內隱式與外顯式有限差分法結果之比較
($\Delta t = 0.00545 \text{ min}$)

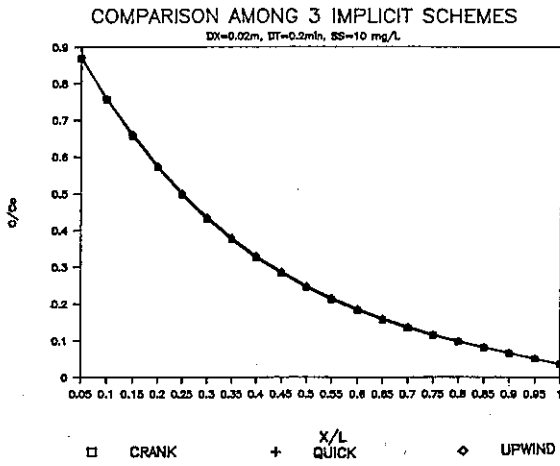


圖 3 三種內隱式有限差分法結果之比較
($\Delta t = 0.2 \text{ min}$, $\Delta x = 0.02 \text{ m}$)

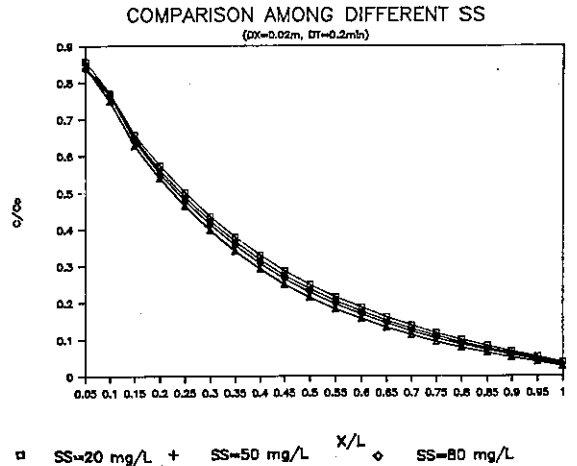


圖 4 進流污染物濃度對過濾效率之影響

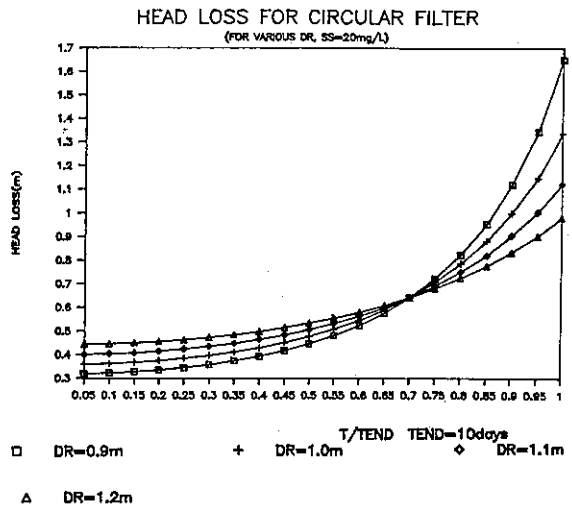
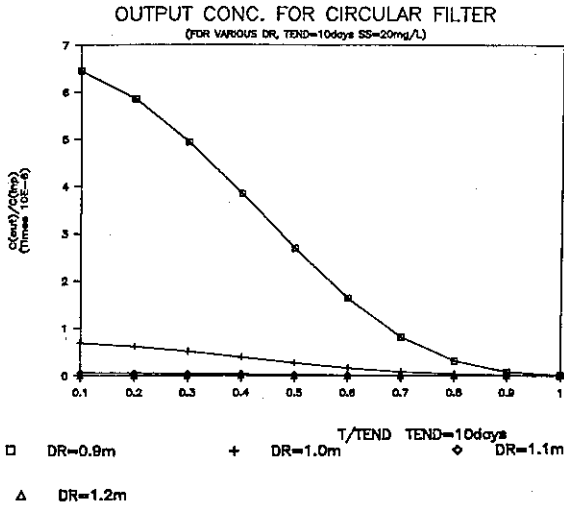


圖 5 不同濾床厚度圓型過濾池之效率隨時間之變化 (SS = 20 mg/l) 圖 6 不同濾床厚度圓型過濾池之水頭損失隨時間之變化 (SS = 20 mg/l)

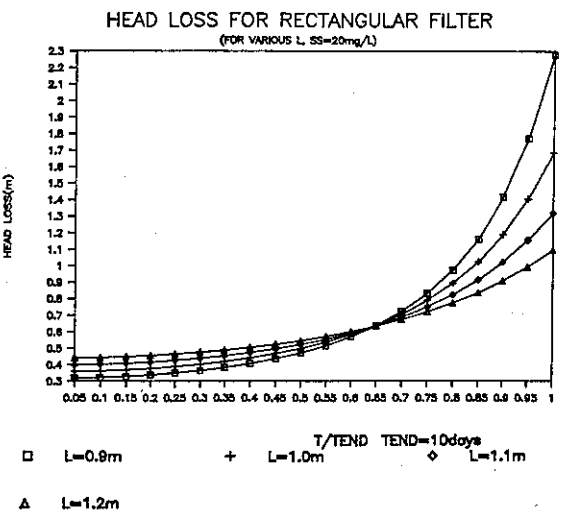
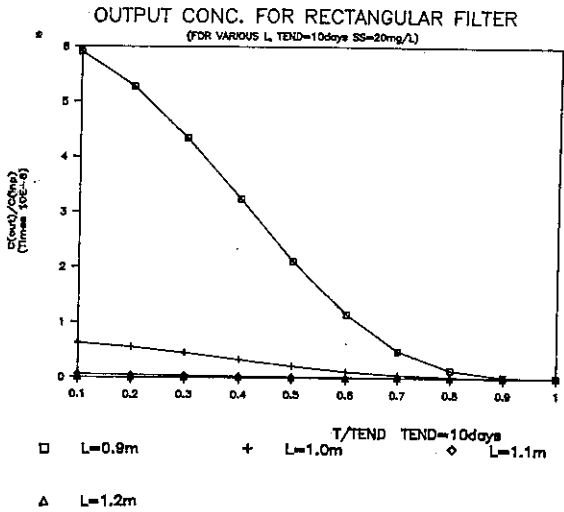


圖 7 不同濾床厚度矩形過濾池效率隨時間之變化 (SS = 20 mg/l) 圖 8 不同濾床厚度矩形過濾池水頭損失隨時間之變化 (SS = 20 mg/l)

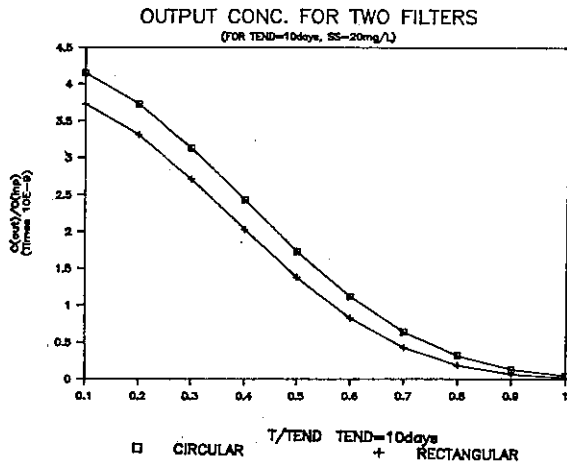


圖 9 圓型與矩型水平過濾池效率之比較
(濾床厚度 1.2m, SS = 20 mg/l)

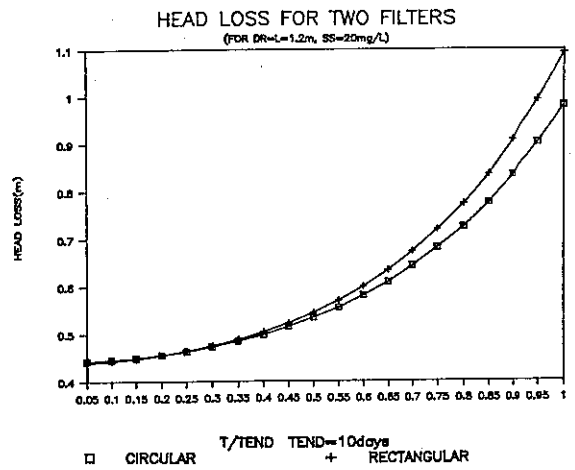


圖 10 圓型與矩型水平過濾池水頭損失之比較
(濾床厚度 1.2m, SS = 20 mg/l)

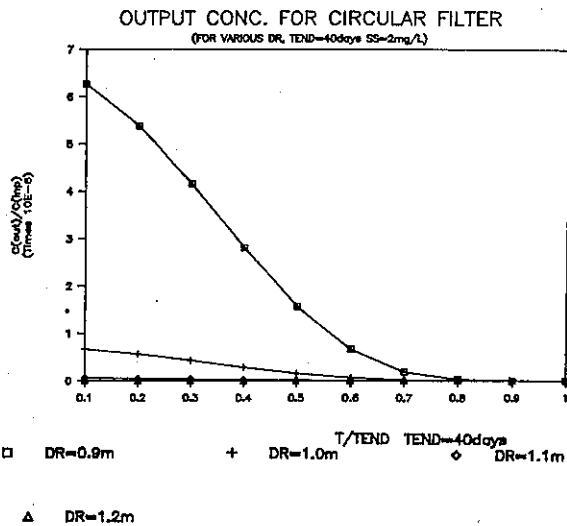


圖 11 不同濾床厚度圓型過濾池效率隨時間之變化
(SS = 2 mg/l)

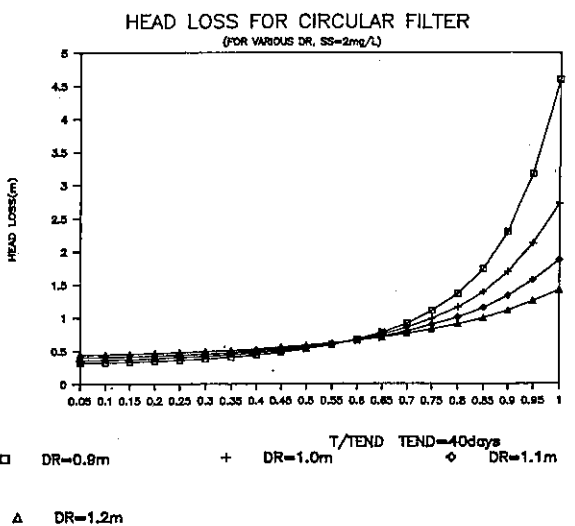


圖 12 不同濾床厚度圓型過濾池水頭損失隨時間之變化
(SS = 2 mg/l)

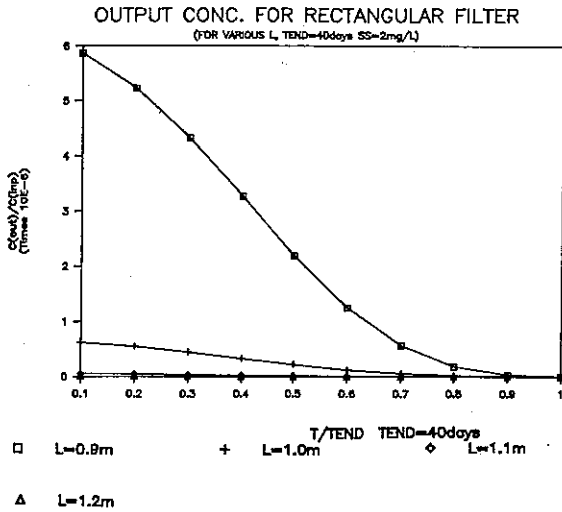


圖 13 不同濾床厚度矩形過濾池效率隨時間之變化
(SS = 2 mg/l)

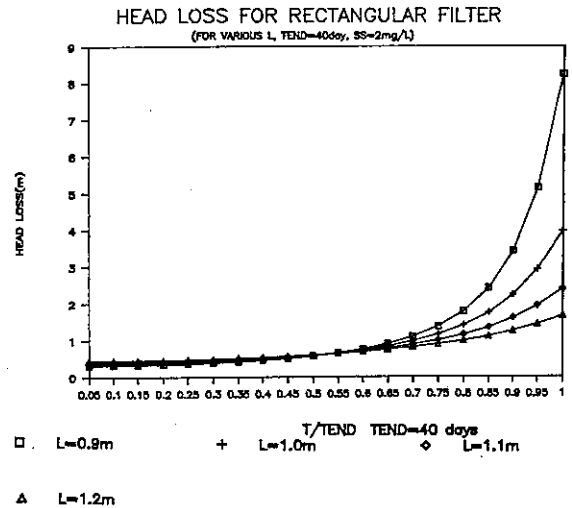


圖 14 不同濾床厚度矩形過濾池水頭損失隨時間之變化
(SS = 2 mg/l)

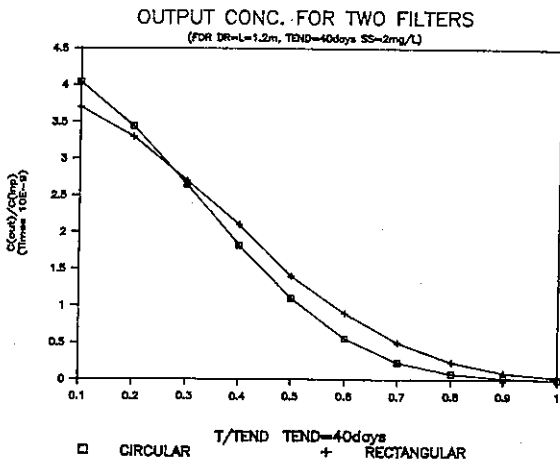


圖 15 圓型與矩型水平過濾池效率之比較
(濾床厚度 1.2m, SS = 2mg/l)

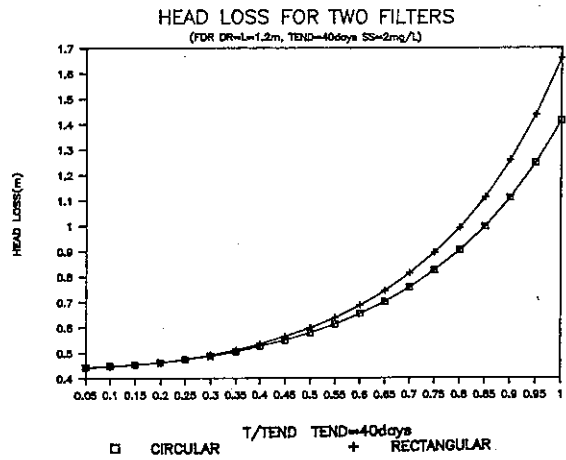


圖 16 圓型與矩型水平過濾池水頭損失之比較
(濾床厚度 1.2m, SS = 2mg/l)

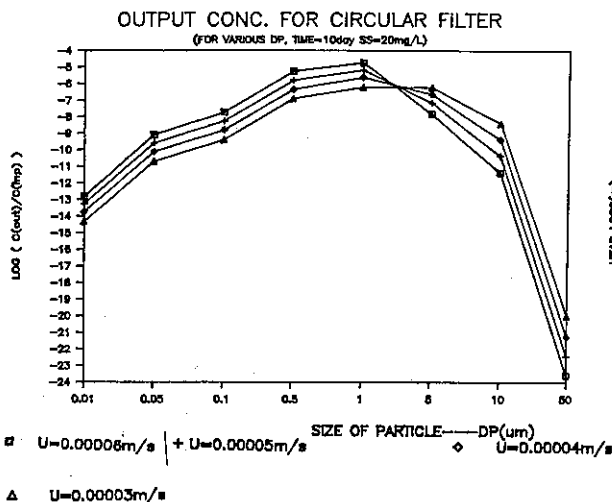


圖 17 污染物粒徑及濾速對圓型過濾池效率之影響
(SS = 20 mg/l, 濾床厚度 1.2m, 濾程 10 天)

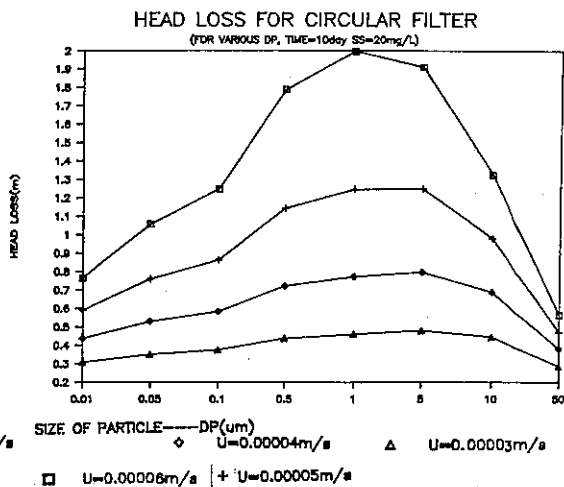


圖 18 污染物粒徑及濾速對圓型過濾池水頭損失之影響
(SS = 20 mg/l, 濾床厚度 1.2m, 濾程 10 天)

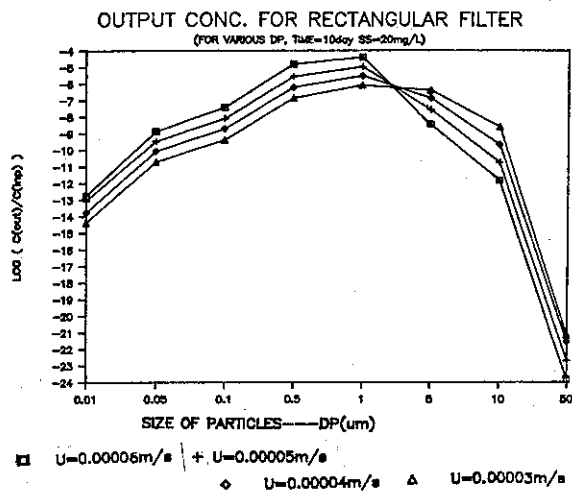


圖 19 污染物粒徑及濾速對矩型過濾池效率之影響
(SS = 20mg/l, 濾床厚度 1.2m, 濾程 10 天)

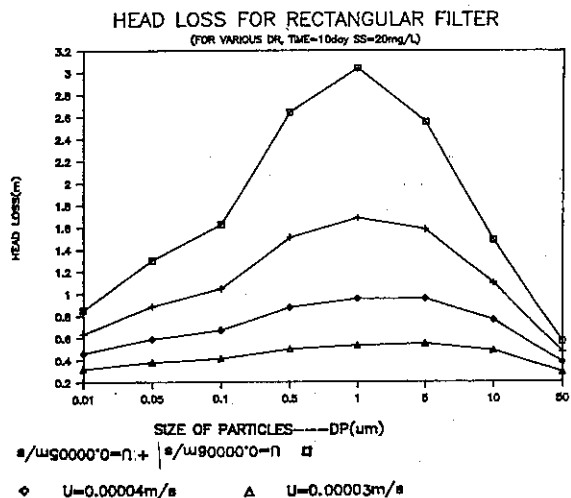


圖 20 污染物粒徑及濾速對矩型過濾池水頭損失之影響
(SS = 20mg/l, 濾床厚度 1.2m, 濾程 10 天)

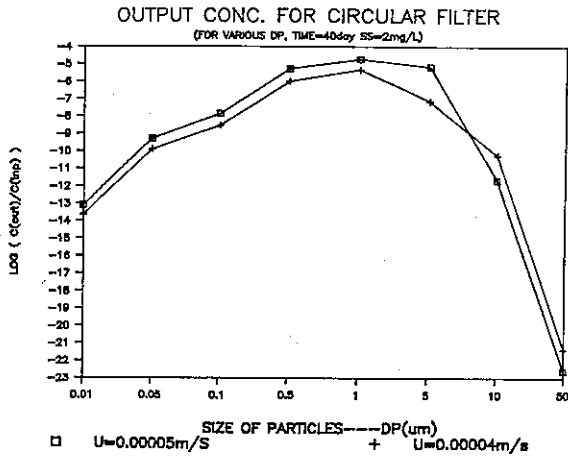


圖 21 污染物粒徑及濾速對圓型過濾池效率之影響
(SS = 2mg/l , 濾床厚度 1.2m , 濾程 40 天)

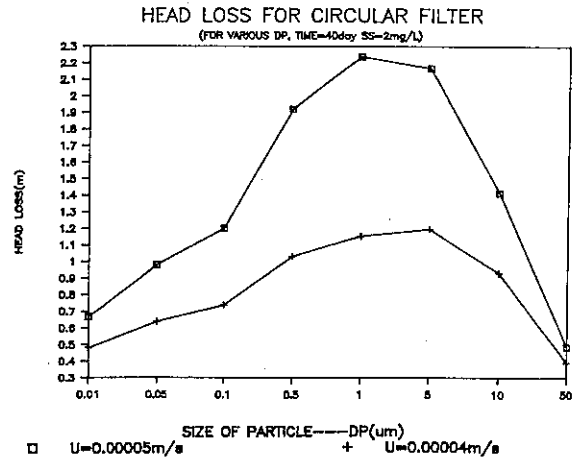


圖 22 污染物粒徑及濾速對圓型過濾池水頭損失之影響
(SS = 2mg/l , 濾床厚度 1.2m , 濾程 40 天)

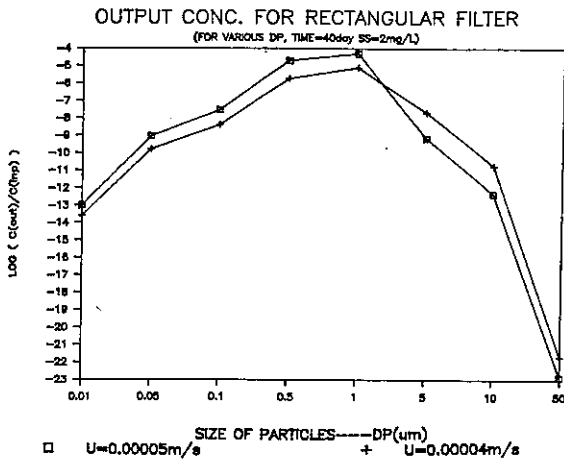


圖 23 污染物粒徑及濾速對矩形過濾池效率之影響
(SS = 2mg/l , 濾床厚度 1.2m , 濾程 40 天)

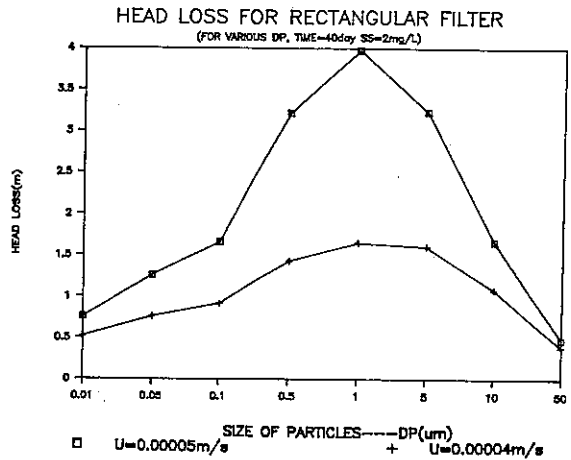


圖 24 污染粒徑及濾速對矩形過濾池水頭損失之影響
(SS = 2mg/l , 濾床厚度 1.2m , 濾程 40 天)