

應用雷射粒度分析儀探討水平 流式過濾池之過濾作用

Using the Laser Granulometer Discussed Filtration Efficiency of Horizontal Flow Filtration Basin

駱尚廉 * 賴進興 **

摘 要

本研究利用水平流過濾池模廠，配合雷射粒度分析儀之應用，探討水平流過濾池在不同原水濁度、濾料粒徑、濾床長度及過濾時間之過濾作用，並分析水中懸浮固體顆粒之粒徑變化。由實驗結果得知，以小卵石為濾料者，濁度去除率隨過濾時間增長其增加趨勢較大，從初期之45~75%至最佳之80~90%；石英砂則較緩，從初期之62~87%至最佳之75~95%。而原水濁度及SS愈高，去除率愈佳，以石英砂為濾料者分別可達90%與95%以上。懸浮固體物深入濾床之深度，小卵石為濾料者介於15~45cm，而石英砂者則小於15cm；且依本研究操作條件，得到較佳濾床長度為75cm左右。以小卵石為濾料者對於32 μ m以上之懸浮固體顆粒有較明顯之去除效果，過濾機制中以沈澱作用最為明顯，較適合高濁度原水之粗濾作用，或取代混凝沈澱以作為過濾之前處理；而石英砂者則對於各粒徑之懸浮固體顆粒均有甚佳之去除效率，建議可朝取代過濾單元之可能性再研究之。

壹、緒論

1.1 前言

傳統上，自來水淨水廠之過濾池（快濾或慢濾）均為垂直流式（向下流、向上流或雙向流）的方式；過濾池主要目的與功能是為了去除水中微小懸浮固體顆粒。依顆粒在濾池中移除理論，包含有截除(Interception)、沈澱(Sedimentation)及擴散(Diffusion)三種主要作用。

對於粒徑小於1微米(1 μ m)之懸浮固體物顆粒，擴散作用為其被去除主因，而粒徑大於10 μ m之懸浮固體物顆粒而言，截除及沈澱為主要作用，尤以在低濾速及較細質濾砂的條件下，重力引起的沈澱作用更勝過截除作用。

天然水中含有懸浮固體物顆粒粒徑並非均一，而過濾使用之濾料種類、尺寸、填充長度及過濾速度，甚至原水水質之改變，均可能會使得過濾池對懸浮固體物顆粒三種主要移除機制，就所占的相對重要性發生改變。

污染物在地下含水層中之傳輸，水平流為其重要且合理假定；利用河岸滲透過濾，以滲水管渠(Infiltration gallery)集取伏流水，此皆為天然的水平流過濾作用。若與自來水廠中垂直流式之濾池相較，就水力學及污染物移除作用應有若干不同之處，此即本研究展開之動機。

* 國立臺灣大學環境工程學研究所教授

** 國立臺灣大學環境工程學研究所碩士

1.2 研究目的及方法

本研究是以傳統自來水廠中過濾池之理論依據，設計並製造水平流過濾池之實驗模廠。藉由濾料種類、尺寸、填充長度之變化，控制濾速及原水水質等不同條件，對水平流過濾池進行實際操作，探討水平流過濾池之過濾作用，以瞭解過濾移除機制受這些條件之影響。

本研究以雷射粒度分析儀(Laser granulometer)分析懸浮固體物顆粒粒徑在水平流過濾池過濾前、後之分布，以得知水中不同粒徑之懸浮固體物顆粒，被濾除之主要部份，並探討懸浮固體物顆粒粒徑對移除效率之影響。而由過濾後出流水中懸浮固體物顆粒之粒徑分布，可得知以水平流過濾池過濾懸浮固體物顆粒之問題所在，而對水平流過濾池之運用與操作，建議較合理的範圍值。

1.3 研究項目

本研究探討項目包含：濁度去除率、懸浮固體物去除率、水頭變化及粒徑分析。

貳、實驗設備、材料及方法

2.1 實驗設備

本研究是以模廠方式進行，探討不同濾料、原水水質情況下，水平流過濾池之過濾作用。本研究所使用之實驗設備含有兩大部分：一為水平流過濾池；一為其周邊設備。實驗操作流程如圖2.1 所示；整體實驗佈置如圖2.2 所示。

2.2 水平流過濾池裝置

1. 水平流過濾池含四個區域：

- (1). 進水區：設有進流孔、溢流口與出口。
- (2). 過濾區：設有採樣口、液位計與出口。
- (3). 出水區：設有出流孔、溢流口與出口。
- (4). 底盤區：設有底流孔、出口。

2. 水平流過濾池採用透明的壓克力材質所製成，尺寸為180cm×30cm×70cm。

3. 在長度分配上，主要填充濾料之過濾區佔有150cm，而進水區與出水區各佔15cm；另外在高度分配上，底盤區佔有10cm，其餘所剩60cm用來填充濾料構成過濾區。但基於實驗室規模及蓄水池用水量之限制，實際操作時，填充濾料高度僅填12cm，且利用其中的10cm為過濾高度，即真正過濾斷面為30cm×10cm，水平流過濾池構造如圖2.3所示。

4. 水平流過濾池之進水區與過濾區、過濾區與出水區、過濾區與底盤區之間亦是以壓克力板相隔，並於進水區與過濾區、過濾區與出水區間之壓克力板上鑽有3mm ϕ 之均勻孔口，使水流能通過相鄰的兩區，另在過濾區與底盤區之間為反沖洗之便，所以鑽有5mm ϕ 均勻孔口。

5. 為防止小於均勻孔口孔徑之濾料，可能發生濾料經由均勻孔口滲漏出過濾區，所以在使用較小濾料時，相隔兩區間之隔板上，均覆加上孔徑為1mm ϕ 的鋼質篩網，以防止濾料外滲。

6. 底盤區設於進水區、過濾區與出水區之下方，高度為10cm。過濾進行中，底盤區是裝滿清水，所以此時底盤區中之清水認定並不影響過濾區之過濾作用。

2.3 實驗材料

1. 實驗濾料選用

在實驗初期，不至發生迅速阻塞之現象，以瞭解所設計水平流過濾池之水力特性與適用狀況，所以先使用較大的濾料（小卵石）；然後再使用一般自來水廠於垂直流式過濾池中所採用之濾砂（石英砂）為實驗濾料。水平流過濾池裝填濾料之級配規格如表2.1。

2. 實驗原水調製

本實驗採用與台灣廣泛當做自來水源之水庫蓄水接近之池水做為原水，使用之原水為台大環工所內噴水池中之蓄水，在抽水過程中，做適當的人工攪拌，以調製所需水質範圍之原水，原水水質是以濁度來控制。實驗用之原水水質如表2.2 所示。

參、濁度、懸浮固體物去除率與水頭變化之結果與討論

本實驗所採用之濾速是依傳統垂直流式快濾池規範所選定的，濾速為120 m/day，以小卵石及石英砂為濾料，過濾面積30cm×10cm。實驗結果如下：

3.1 濁度去除率

1. 濁度去除率與過濾時間之關係

- (1) 圖3.1 為小卵石濾料，濾床長度75cm採樣口出流水濁度去除率，隨過濾時間之變化圖。各原水之濁度去除率均隨過濾時間增加而增高，而原水濁度較高者，濁度去除率亦較佳。
- (2) 圖3.2 為石英砂濾料，濾床長度75cm採樣口出流水濁度去除率，隨過濾時間之變化圖。各原水之濁度去除率受過濾時間影響並不明顯，增加趨勢較緩，乃因以石英砂為濾料，填充濾料間孔隙小，過濾開始濁度去除率就可以達到某種程度，亦顯示原水濁度較高者濁度去除率較佳。

2. 濁度去除率與濾床長度之關係

圖3.3與圖3.4分別是以小卵石及石英砂為濾料，幾個主要位置採樣口出流水濁度去除率變化圖。由各個圖上不同位置採樣口出流水之濁度去除率比較，均顯示出在本研究之實驗條件下，水平流過濾池最佳濁度去除率之濾床長度為75cm左右。

3. 濁度去除率與原水濁度之關係

表3.1 為小卵石及石英砂濾料，不同原水濁度75cm處採樣口出流水之濁度去除率。就最佳濾床填充長度75cm處之數據顯示，原水濁度愈高，濁度去除率愈佳。

4. 過濾機制之探討

- (1) 小卵石濾料，濾料間孔隙大，原水中懸浮固體物顆粒會深進濾料中，就水平流過濾池而言，濾料間之孔隙很類似沈澱池，若干原水中的懸浮固體物顆粒會在濾料間之孔隙沈降，達到過濾效果。就過濾去除機制而論，有利於沈澱作用，此論點於實驗進行中，濾料前半段之孔隙內會充滿懸浮固體物顆粒，尤以濾料下方處之孔隙最多得到證明。可見小卵石為濾料，就過濾機制而言，沈澱作用與傳統過濾池中占有極大效果的截除作用均相當明顯。
- (2) 石英砂為濾料，濾料間之孔隙較小，原水中懸浮固體物顆粒，深進濾床之深度較淺。實驗進行中，濾料間之孔隙充滿懸浮固體物顆粒之位置，分布於濾料前半段數cm範圍內，就過濾機制而言，截除作用較為明顯。

5. 懸浮固體物貫進濾床之深度

- (1) 由圖3.5 小卵石為濾料濁度去除率變化圖之結果顯示，過濾時間約經過30hr左右15cm處採樣口出流水濁度均已無去除效果，表示原水中懸浮固體物顆粒對於以粒徑4.83mm小卵石為濾料之水平流過濾池，貫穿能力超過15cm。
- (2) 而圖3.6石英砂為濾料，濁度去除率變化圖之結果顯示，自過濾開始到濾程結束。15cm處採樣口出流水濁度均有去除效果，表示原水中懸浮固體物顆粒對於以有效粒徑0.53mm石英砂為濾料之水平流過濾池，貫穿能力小於15cm。

3.2 懸浮固體物去除率

1. 懸浮固體物去除率與原水含量之關係

表3.2 所列為不同SS含量之原水，填充濾料75cm處，採樣口出流水SS之去除率。SS之去除率會因濾料粒徑及原水中SS之含量而改變，SS含量愈高去除率均愈佳。而就實驗使用兩種規格之濾料相較，石英砂對SS之去除率較佳。

2. 懸浮固體物去除率與過濾時間之關係

圖3.7與圖3.8分別是以小卵石及石英砂為濾料，不同SS含量之原水，濾床長度75cm採樣口出流水SS去除率，隨過濾時間之變化圖。圖3.7 所示，以小卵石為濾料，自過濾開始至濾程結束，SS之去除率隨過濾時間增加而增高，但增高量不大。而圖3.8 所示，以石英砂為濾料，自過濾開始至濾程結束，SS之去除率幾乎不變。

3. 懸浮固體物去除率與濾床長度之關係

圖3.9 與圖3.10為小卵石及石英砂兩種濾料，幾個主要位置採樣口出流水SS去除率變化圖。圖3.9 所示，以小卵石為濾料之濾床，對於原水中SS之去除率，較佳濾床長度是在75cm左右。而圖3.10所示，以石英砂為濾料之濾床，填充長度45cm處與75cm處採樣口出流水SS去除率已相當接近，不過仍以75cm之填充長度，有較佳SS之去除率。

3.3 水頭變化

1. 本研究之水平流過濾池實驗，在判定到達濾程結束與垂直流式依過濾出流水水質及水頭損

失增高來判定有所不同，本實驗過濾是控制一定出水量，當過濾進行至濾料孔隙間已塞滿篩除物且進水區之原水已溢流至濾床前端之濾料表面造成表面逕流，才能達到一定出水量，吾人即視為濾程結束。表3.3 所列為兩種濾料及不同原水濁度等實驗條件之濾程。

2. 進水區之水頭變化

圖3.11與圖3.12分別是以小卵石及石英砂為濾料，不同原水濁度，進水區之水頭隨過濾時間變化圖。圖3.11顯示，以小卵石為濾料，濾料間之孔隙較大，在過濾經過一段時間後，水位會明顯升高。而圖3.12顯示，以石英砂為濾料，濾料間之孔隙較小，過濾之初水頭即會隨過濾時間增加而升高，以原水濁度高者增加速率大。

3.4 pH值變化

本研究實驗進行中，曾對進流原水及過濾後之出流水，監測pH值，得知pH值幾乎沒有變化，表示在本實驗操作條件下之水平流過濾池，鮮少有生物作用之現象產生。

肆、粒徑分析之結果與討論

4.1 雷射粒度分析儀(Laser granulometer)應用

本研究所使用之雷射粒度分析儀 (Model 715型) ，測定範圍從 0到 192 μm ，各範圍是 1-1.5-2-3-4-6-8-12-16-24-32-48-64-96-128及192 μm 等，雷射粒度分析儀可以量測各粒徑範圍所占重量百分比。

雷射粒度分析儀，測得懸浮固體物顆粒粒徑分布之結果為一相對值，所以可以依量測者需要，預先量測自己所欲比較之基準樣本，即空白(Blank) 樣本之量測，以建立背景值，做為測定水樣之基準值。

4.2 原水粒徑分析

使用之原水中懸浮固體物顆粒，各粒徑範圍所占之重量百分比，會因原水濁度的不同，而有些微差異。

1. 圖4.1 為大於11 NTU範圍之原水，不同採樣時間分析得到之粒徑分布圖。由圖上之結果顯示，原水濁度高於11 NTU以上，各粒徑範圍之重量百分比主要分布於24至96 μm 之間，而以48 μm 所占之重量百分比為最高。

2. 圖4.2 為小於6.5 NTU 範圍之原水，不同採樣時間分析得到之粒徑分布圖。圖上之結果顯示，原水濁度低於6.5NTU以下，各粒徑範圍之重量百分比主要分布於24至128 μm 之間。

4.3 原水與出流水比較

為看出原水與過濾後出流水間粒徑分布之差異，選擇幾個具代表性時間之採樣，就其懸浮固體物顆粒之粒徑分布來做比較。

1. 小卵石濾料

圖4.3與圖4.4為 2種不同濁度範圍之原水，原水與過濾後出流水中懸浮固體物顆粒粒徑分

布之比較圖。

(1) 原水濁度大於17 NTU

圖4.3 為濁度範圍大於17 NTU之原水結果。過濾後出流水粒徑在 $48\ \mu\text{m}$ 以上之重量百分比明顯降低；而對於粒徑 $24\ \mu\text{m}$ 以下之重量百分比明顯增高。這些結果顯示濁度大於17 NTU以上之原水，以粒徑 4.83mm 之小卵石為濾料，對於原水中 $48\ \mu\text{m}$ 以上之懸浮固體物顆粒去除效果，比 $24\ \mu\text{m}$ 以下為佳。

(2) 原水濁度為2.8~3.8 NTU

圖4.4 為原水濁度2.8~3.8 NTU之原水結果。其中兩組出流水分別為過濾進行8 hr與64hr之採樣分析結果，過濾進行8hr，出流水中懸浮固體物之粒徑分布，反而顯示出粒徑大於 $96\ \mu\text{m}$ 以上之重量百分比明顯增高；此結果表示粒徑大於 $96\ \mu\text{m}$ 以上之懸浮固體物顆粒，於過濾初期其去除比例，比粒徑為 $96\ \mu\text{m}$ 以下為低。過濾進行64 hr出流水中懸浮固體物顆粒之粒徑分布，對於粒徑大於 $32\ \mu\text{m}$ 以上之重量百分比明顯降低；此結果表示過濾進行一段時間後，會增加粒徑大於 $32\ \mu\text{m}$ 以上之去除比例。由以上結果得知，以小卵石為濾料之水平流過濾池，原水濁度低時，過濾初期對於較大粒徑之懸浮固體物顆粒反而去除比例較低，當過濾進行一段時間後，濾料間之孔隙已篩除若干量的懸浮固體物顆粒，濾料孔隙變小，而能去除更多懸浮固體物顆粒，所以有此結果產生。

2. 石英砂濾料

圖4.5與圖4.6為2種不同濁度範圍之原水，原水與過濾後出流水中懸浮固體物顆粒粒徑分布之比較圖。

(1) 原水濁度大於11 NTU

圖4.5 為濁度大於11 NTU之原水結果。各粒徑範圍重量百分比並無大的差異，僅於出流水中粒徑大於 $48\ \mu\text{m}$ 以上之懸浮固體物顆粒重量百分比含量略為降低，而粒徑小於 $32\ \mu\text{m}$ 以下之重量百分比含量有些微增高。

此結果顯示，濁度大於11 NTU以上之原水，以有效粒徑 0.53mm 之石英砂為濾料，對於粒徑 $48\ \mu\text{m}$ 以上之懸浮固體物顆粒去除效果比 $32\ \mu\text{m}$ 以下稍佳。

(2) 原水濁度為4.5~6.5 NTU

圖4.6 為濁度4.5~6.5 NTU範圍之原水結果。出流水中懸浮固體物粒徑在 32 至 $96\ \mu\text{m}$ 範圍之重量百分比有些微降低，而對於粒徑 $128\ \mu\text{m}$ 以上之重量百分比有增高趨勢，其它較小顆粒在重量百分比分布上，並無明顯差異。

此結果顯示，較低濁度之原水，以有效粒徑 0.53mm 之石英砂為濾料，對懸浮固體物粒徑大於 $128\ \mu\text{m}$ 以上之顆粒去除比例反而較低。

4.4 不同濾床長度之粒徑分布

1. 小卵石濾料

圖4.7 為不同濾床長度，採樣口出流水中懸浮固體物顆粒之粒徑分布圖。圖上主要不同點是於15cm處採樣口出流水之粒徑分布，而其它45至105cm 間之採樣口出流水粒徑分布差異不大，所以得知以粒徑4.83mm之小卵石為濾料，造成原水中懸浮固體物各粒徑範圍去除比例影響，主要是在濾床填充長度之前半段且小於45cm。

2. 石英砂濾料

圖4.8 為不同濾床長度，出流水中懸浮固體物顆粒之粒徑分布圖。就15至105 cm間不同濾床長度採樣口出流水中懸浮固體物顆粒粒徑分布顯示，各種不同粒徑範圍之重量百分比分布相當類似，而且相近。所以得知以有效粒徑0.53mm之石英砂為濾料，造成原水中懸浮固體物各粒徑範圍去除比例影響，主要是在濾床之最前段，而且小於15cm，比小卵石濾料時更小。

4.5 不同過濾時間之粒徑分布

1. 小卵石濾料

圖4.9 為小卵石濾料於過濾池出流口，不同採樣時間出流水中懸浮固體物顆粒之粒徑分布圖。結果顯示隨過濾時間增加，對於粒徑 $48\mu\text{m}$ 以上之懸浮固體物顆粒去除比例，比其它較小粒徑之顆粒為高。

2. 石英砂濾料

圖4.10以石英砂為濾料於過濾池出流口，不同採樣時間出流水中懸浮固體物顆粒之粒徑分布圖。結果顯示隨過濾時間增加，對於各粒徑範圍之懸浮固體物顆粒重量分布變化不大，即各粒徑範圍之去除比例隨過濾時間變化較小。

4.6 懸浮固體物顆粒之去除率

本研究目的之一，是要測定原水中各粒徑範圍之懸浮固體物顆粒，經過不同濾料過濾後，各粒徑範圍之去除率。

所使用的方法，是利用雷射粒度分析儀，分析水中各粒徑範圍懸浮固體物顆粒之重量百分比分布，並測得相對水質中SS之含量，兩者乘積得到各粒徑範圍之重量，再估算不同粒徑範圍懸浮固體物的顆粒之去除率。

因所設計實驗之水平流過濾池在75cm以後採樣口出流水濁度有升高現象，故僅探討濁度、濁度去除率、SS最佳效果發生位置處，即填充濾床75cm之採樣口出流水中不同粒徑範圍懸浮固體物顆粒之去除率。

1. 小卵石濾料

圖4.11與圖4.12以小卵石為濾料，兩種不同原水濁度實驗，不同過濾時間各粒徑範圍之懸浮固體物顆粒去除率分布圖。

- (1) 由圖4.11所示，原水濁度33~35 NTU時，粒徑小於 $24\mu\text{m}$ 以下之懸浮固體物顆粒去除率約在70~90% 之間，而大於 $32\mu\text{m}$ 以上之去除率可達85~100%。
- (2) 由圖4.12所示，原水濁度2.8~3.8 NTU時，粒徑小於 $24\mu\text{m}$ 以下之懸浮固體物顆粒去

除率,分布較廣,主要分布於40~90%之間,而大於32 μm 以上之去除率可達75~100%。

2. 石英砂濾料

圖4.13至圖4.15以石英砂為濾料,不同過濾時間各粒徑範圍之懸浮固體物顆粒去除率分布圖。

- (1) 由圖4.13所示,原水濁度 16~23 NTU 時,粒徑小於96 μm 以下之懸浮固體物顆粒去除率可達90% 以上;而大於128 μm 以上之去除率可達85~90%。
- (2) 由圖4.14所示,原水濁度11~13 NTU時,粒徑小於96 μm 以下之懸浮固體物顆粒去除率有些分布於70~90% 之間,不過大部分仍可達90% 以上;而大於128 μm 以上之去除率則集中於85~90% 之間。
- (3) 由圖4.15所示,原水濁度4.5~6.5 NTU 時,粒徑小於64 μm 以下之懸浮固體物顆粒去除率分布於85~100%之間,不過大部分仍集中於90% 以上;而大於96 μm 以上之去除率則分布於75~90% 之間。

4.7 懸浮固體物顆粒去除率與過濾時間之關係

1. 小卵石濾料

圖4.11以小卵石為濾料,各粒徑範圍之懸浮固體物去除率,相對於不同過濾時間之分布圖。由圖上顯示出,隨著過濾時間增加,各粒徑之去除率亦隨之增高。此乃過濾進行中,小卵石濾料間之孔隙,被原水中懸浮固體物所填充,孔隙逐漸變小,可以篩除更多的懸浮固體物顆粒,所以各粒徑之去除率隨過濾時間增加而增高。

2. 石英砂濾料

圖4.13石英砂為濾料,各粒徑去除率相對於不同過濾時間之分布圖。由圖上可以得知,以石英砂為濾料,各粒徑範圍之懸浮固體物顆粒去除率受過濾時間影響較小,僅隨過濾時間增加,各粒徑之去除率有些微增高,但增加量相當小。

4.8 懸浮固體物顆粒去除率與濾床長度之關係

探討懸浮固體物顆粒去除率與濾床長度之關係,經本實驗結果顯示,最佳濾床填充長度是在75cm左右,所以此處亦僅比較75cm以前之濾床長度變化對去除率之影響。

1. 小卵石濾料

圖4.16以小卵石為濾料,各粒徑去除率相對於不同濾床長度之分布圖。由圖上可以比較出,以粒徑4.83mm小卵石為濾料,造成各粒徑去除率變化,主要發生於濾床填充長度的前半段大於15cm小於45cm內,即對懸浮固體物顆粒,主要去除範圍發生在濾床長度45cm以前。

2. 石英砂濾料

圖4.17以石英砂為濾料,各粒徑去除率相對於不同濾床長度之分布圖。由圖中得知,15至75cm不同採樣口出流水之分析結果,各粒徑去除率分布相當接近,變化甚小。顯示以有效粒徑

0.53mm之石英砂為填充濾料時，造成去除率變化之濾料位置，主要是發生於濾床填充長度之前半段且小於15cm以內。

伍、結論與建議

本研究是利用實驗室規模之水平流過濾池，控制不同操作及原水水質條件，探討水平流過濾池過濾作用，由結果與討論，提出下列結論與建議：

5.1 結論

1. 以小卵石濾料過濾初期出流水濁度頗高，去除率約45~75%，濁度隨過濾時間增加而遞減，去除率可達80~90%；而以石英砂濾料過濾初期出流水濁度已降至較低，去除率約62~87%，隨過濾時間增加，濁度再降低程度較緩，去除率可達75~95%。
2. 原水濁度與懸浮固體物濃度愈高，則相對去除率愈佳；另就小卵石與石英砂濾料做比較，濁度及懸浮固體物去除率均以石英砂為佳，去除率最高分別可達90%及95%以上。
3. 就濁度及懸浮固體物顆粒粒徑分布之變化判斷，懸浮固體物顆粒深入濾床之深度，小卵石濾料者介於15至45cm之間；而石英砂者則小於15cm。
4. 濁度或懸浮固體物去除率會隨填充濾床長度之增長而增高，依本研究設計及控制條件操作下，得到較佳之濾床填充長度是75cm左右。
5. 依模廠濾床過濾及阻塞狀況判斷，水平流過濾池以小卵石為濾料時，過濾機制中之沈澱作用甚為明顯；而以石英砂為濾料時，則截除作用較為明顯。
6. 水頭損失主要發生於進水區與濾池填充濾料之前端，原水濁度愈高，水頭損失增加速率愈大，造成有效濾程之縮程。依模廠實驗結果，小卵石為濾料，三種原水濁度33~35、17~20及2.8~3.8NTU，濾程分別為15、44及71.5 hrs；而石英砂為濾料，三種原水濁度16~23、11~13及4.5~6.5 NTU，濾程分別為21.5、37.5及48 hrs。
7. 由雷射粒度分析儀分析結果，本研究使用之兩種濾料，小卵石對粒徑大於32 μm 範圍以上之懸浮固體物顆粒有明顯去除效果，小卵石濾料間貯存孔隙大，較適合高濁度原水之粗濾作用或取代混凝沈澱以作為過濾之前處理；而石英砂對各粒徑之懸浮固體物顆粒均有甚佳去除效率，建議可朝取代過濾單元之可能性再研究之。

5.2 建議

本研究乃是對於水平流過濾池之初步探討，建議可依本基礎再進行下列有關研究：

1. 改變不同濾速，探討濾速對水平流過濾池之影響。
2. 使用不同濾料組成，可以雙層濾料或多層濾料組合進行實驗，探討不同濾料組成之效能。
3. 嘗試依本研究建議之濾床填充長度(75cm)，進行實際實驗操作，評估過濾效能。但此時應特別注意控制出水區出口位置之分布，使流出之清水均勻流出，減少不均勻流況現象。
4. 探討水平流過濾池之洗砂方式，嘗試改進過濾池底盤區之設計。
5. 依傳統自來水廠之淨水程序，混凝、沈澱後之出流水進行水平流過濾池之過濾作用，以探討與傳統垂直式過濾池之差異。
6. 改變水平流過濾池型式，配合不同濾料之組成，以向內或向外流方式，依圓形濾池所造成的濾速差異，與矩形濾池比較。

參考文獻

- Amirtharajah, Appiah (1988) Some theoretical and conceptual views of filtration, J. Am. Wat. Wks. Ass., vol.44, pp.36-46.
- Bear, I. (1979) Hydraulics of Groundwater, McGraw-Hill, New York USA.
- Kauo-Hsiang Hsieh (1980) Design Parameters for Horizontal Prefilter, Thesis No. EV-80-11, AIT, Thailand.
- McDowell-Boyer, L.M., J.R. Hunt and N. Sitar (1985) Particle Transport Through Porous Media, UC Berkeley, UCB-SEEHRL Report No.85-12, California USA.
- Nelyn Rome Equina (1979) Iron and Manganese Removal by Horizontal Prefiltration, Thesis No. EV-79-12, AIT, Thailand.
- Oscar del Mundo Jusi (1987) Pretreatment Applications of Horizontal Flow Coarse Media Pre-filtration, Thesis No. EV-87-18, AIT, Thailand.
- Vichian Udomratanasilpa (1984) Application of Horizontal Flow Prefiltration and Slow Sand Filtration for Small Community Water Supply, Thesis No. EV-84-11, AIT, Thailand.
- Yao, K.M., M.T. Habibian and C.R. O'Melia (1971) Water and Waste Water Filtration: Concepts and Applications, Envi. Sci. Tech., vol.5, pp.1105-1112.
- 駱尚廉, 吳先琪, 陳筱華 (1988) 水平流式過濾池之可行性研究 (第一年計劃), 環環境工程研究報告, No.182, 國立台灣大學環環境工程學研究所。
- 賴進興 (1990) 應用雷射粒度分析儀探討水平流式過濾池之過濾作用, 國立台灣大學環環境工程學研究所, 碩士論文。

誌 謝

本研究承台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。

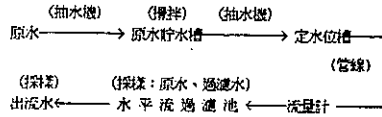


圖 2.1 實驗操作流程圖

表 2.1 濾料之粒徑分析

濾料	有效粒徑	均勻係數	孔隙率
小卵石	4.83 mm	1.0	0.42
石英砂	0.53 mm	1.5	0.46

表 2.2 實驗原水之水質

濾料	次數	濁度 (NTU)
小卵石 (4.83 mm)	一	33 ~ 35
	二	17 ~ 20
	三	2.8 ~ 3.8
石英砂 (0.53 mm)	一	16 ~ 23
	二	11 ~ 13
	三	4.5 ~ 6.5

表 3.1 濾床長度 75cm 之濁度去除率

濾料	原水濁度 (NTU)	濁度去除率 (%)
小卵石 (4.83 mm)	33 ~ 35	75 ~ 90
	17 ~ 20	45 ~ 90
	2.8 ~ 3.8	55 ~ 80
石英砂 (0.53 mm)	16 ~ 23	87 ~ 95
	11 ~ 13	86 ~ 90
	4.5 ~ 6.5	62 ~ 75

表 3.2 75cm 採樣口 SS 之去除率

濾料	原水 SS 含量 (mg/l)	SS 去除率 (%)
小卵石 (4.83 mm)	92 ~ 170	88 ~ 97
	5 ~ 14	82 ~ 90
石英砂 (0.53 mm)	35 ~ 80	93 ~ 95
	32 ~ 44	91 ~ 96
	8 ~ 16	87 ~ 93

表 3.3 不同實驗條件之濾程

濾料	原水濁度 (NTU)	濾程 (hrs)
小卵石 (4.83 mm)	33 ~ 35	15
	17 ~ 20	44
	2.8 ~ 3.8	71.5
石英砂 (0.53 mm)	16 ~ 23	21.5
	11 ~ 13	37.5
	4.5 ~ 6.5	48

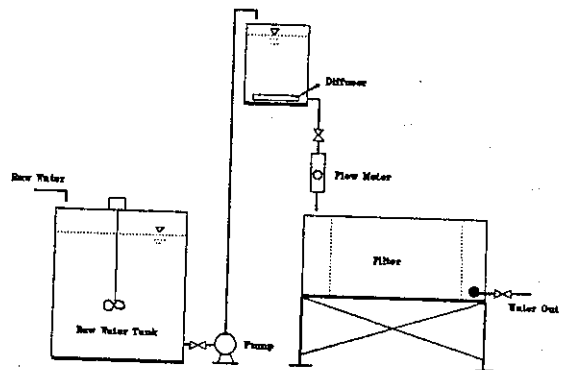


圖 2.2 整體實驗佈置圖

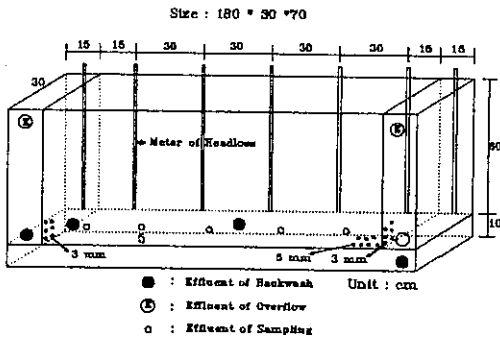


圖2.3 水平流過濾池構造圖

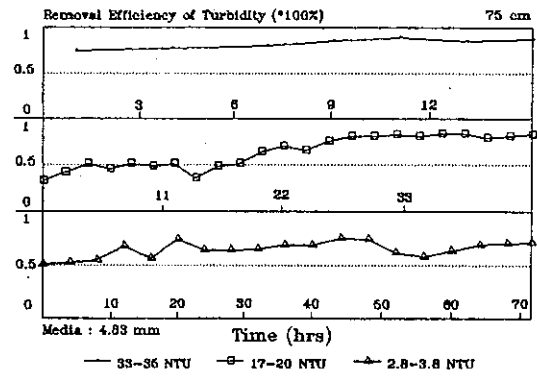


圖3.1 小卵石濾料濁度去除率之變化

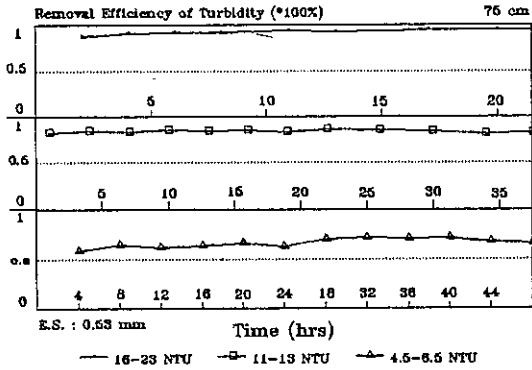


圖3.2 石英砂濾料濁度去除率之變化

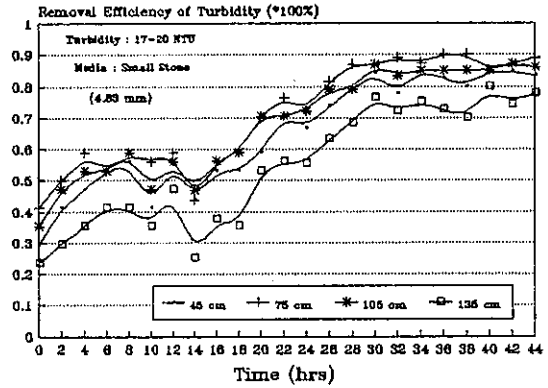


圖3.3 小卵石濾料原水17~20 NTU不同濾床長度濁度去除率之變化

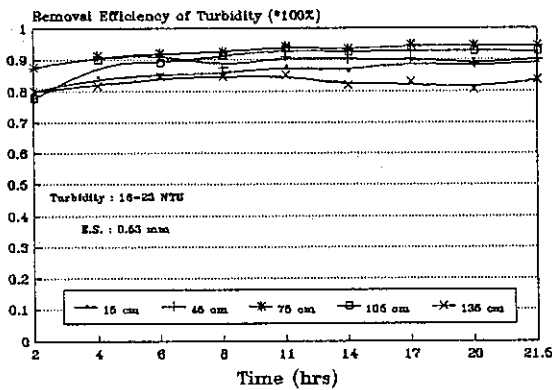


圖3.4 石英砂濾料原水16~23 NTU不同濾床長度濁度去除率之變化

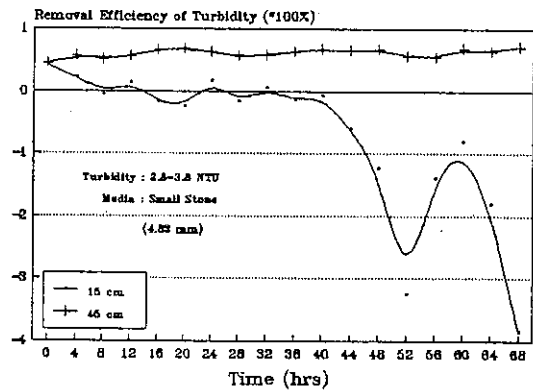


圖3.5 小卵石濾料原水2.8~3.8 NTU 15 cm 處濁度去除率之變化

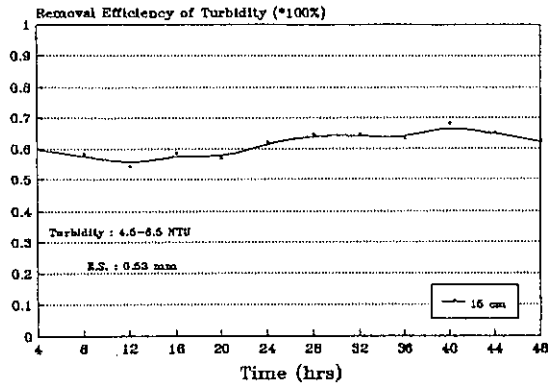


圖3.6 石英砂濾料原水4.5~6.5 NTU
15 cm 處濁度去除率之變化

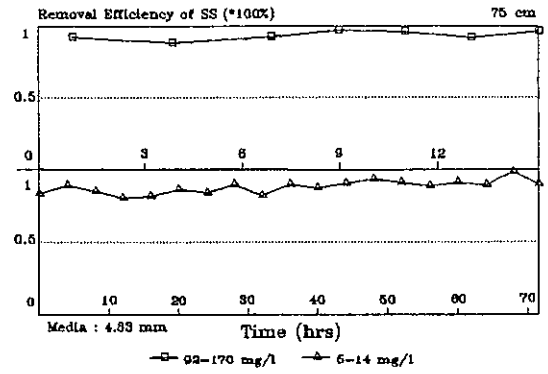


圖3.7 小卵石濾料SS去除率之變化

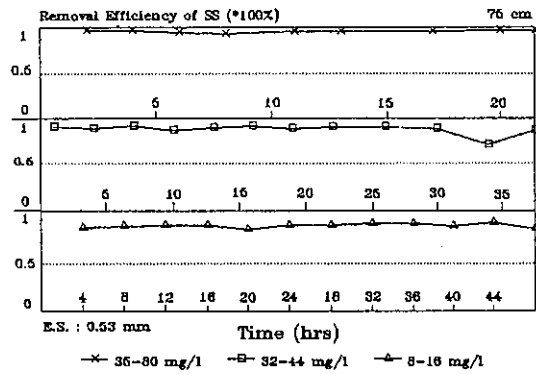


圖3.8 石英砂濾料SS去除率之變化

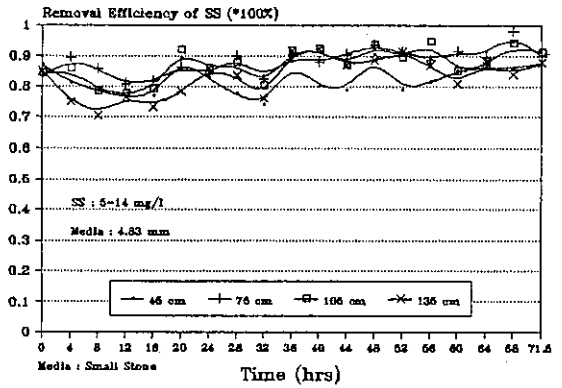


圖3.9 小卵石濾料SS含量 5~14 mg/l
不同濾床長度SS去除率之變化

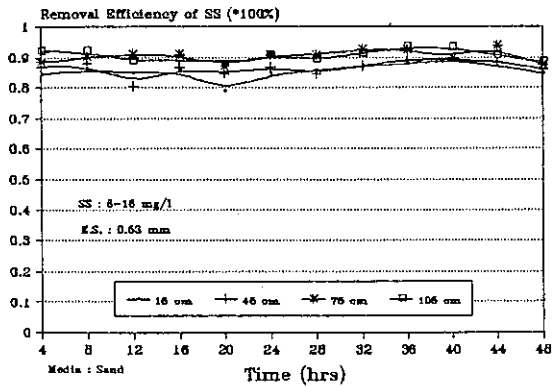


圖3.10 石英砂濾料SS含量 8~16 mg/l
不同濾床長度SS去除率之變化

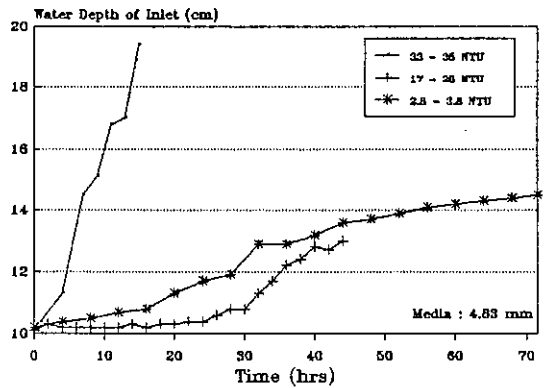


圖3.11 小卵石濾料進水區水頭之變化

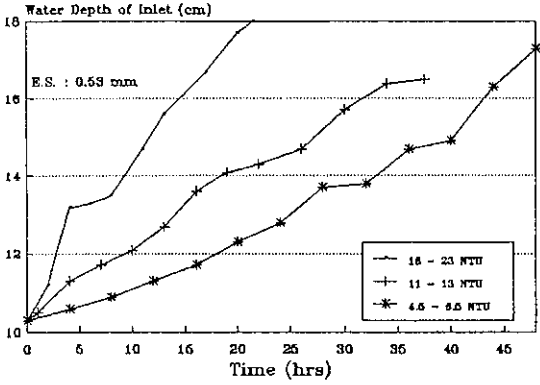


圖3.12 石英砂濾料進水區水頭之變化

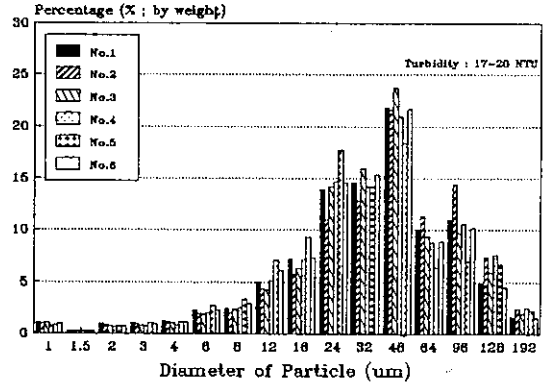


圖4.1 原水17~20 NTU懸浮固體物顆粒粒徑分布

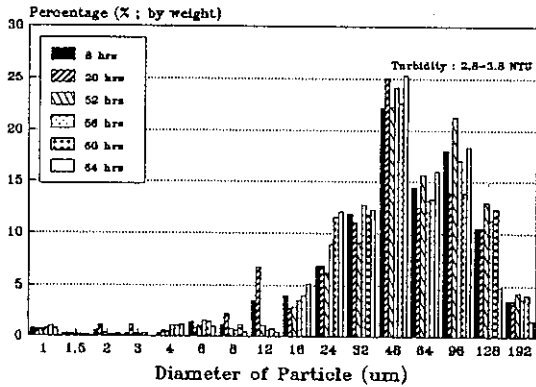


圖4.2 原水2.8~3.8 NTU懸浮固體物顆粒粒徑分布

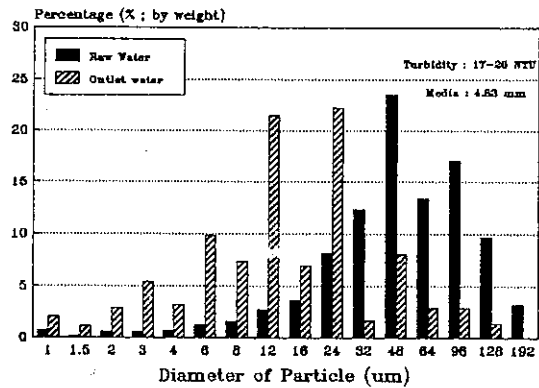


圖4.3 小卵石濾料原水 17~20 NTU
原水與出流水粒徑分布之比較

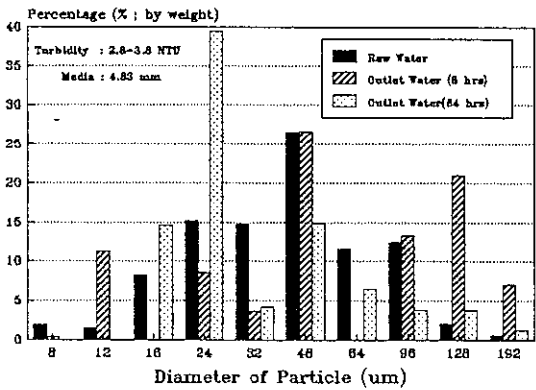


圖4.4 小卵石濾料原水2.8~3.8 NTU
原水與出流水粒徑分布之比較

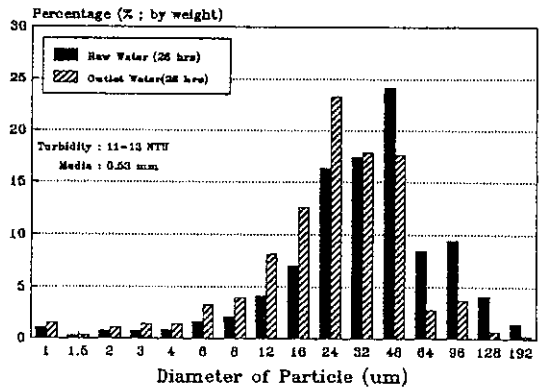


圖4.5 石英砂濾料原水 11~13 NTU
原水與出流水粒徑分布之比較

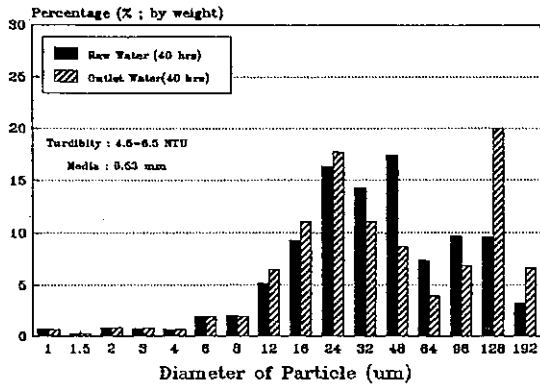


圖4.6 石英砂濾料原水4.5~6.5 NTU
原水與出流水粒徑分布之比較

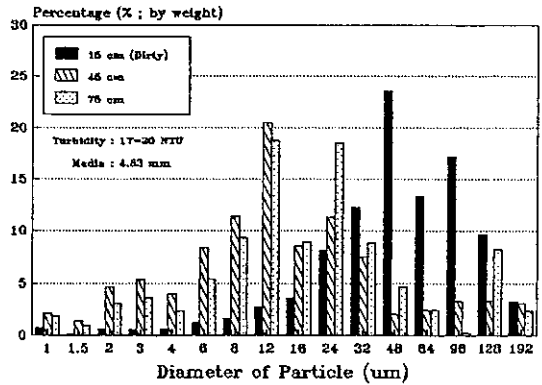


圖4.7 小卵石濾料原水17~20 NTU
不同濾床長度之粒徑分布

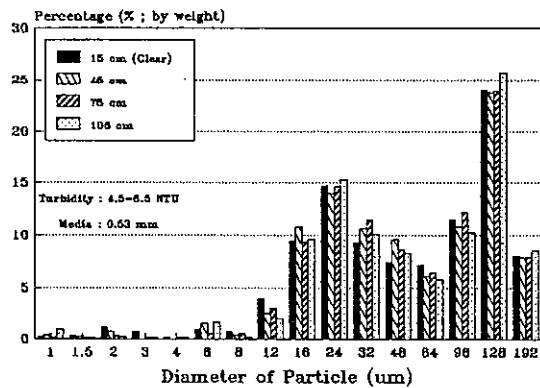


圖4.8 石英砂濾料原水4.5~6.5 NTU
不同濾床長度之粒徑分布

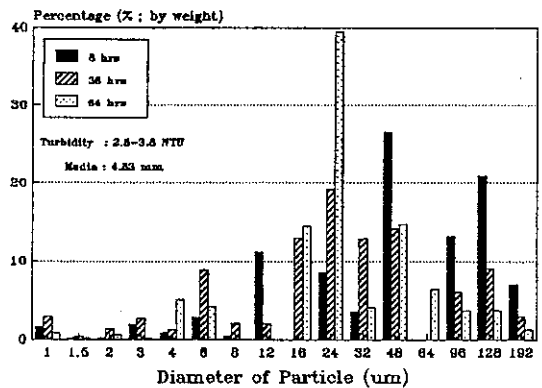


圖4.9 小卵石濾料原水 2.8~3.8 NTU
不同過濾時間出流水之粒徑分布

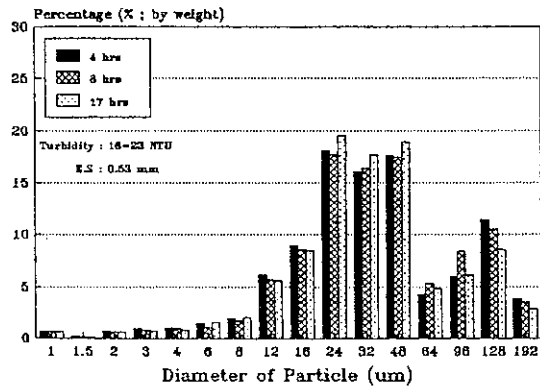


圖4.10 石英砂濾料原水16~23 NTU
不同過濾時間出流水之粒徑分布

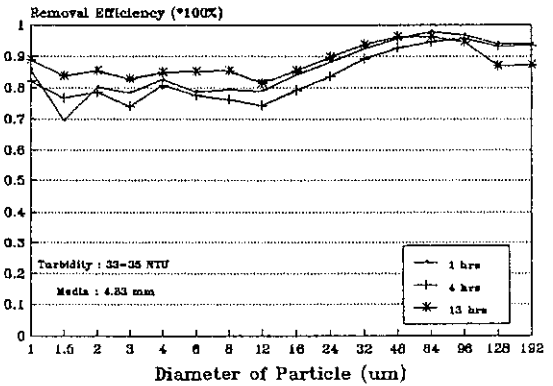


圖4.11 小卵石濾料原水 33~35 NTU
不同粒徑懸浮固體物顆粒之去除率

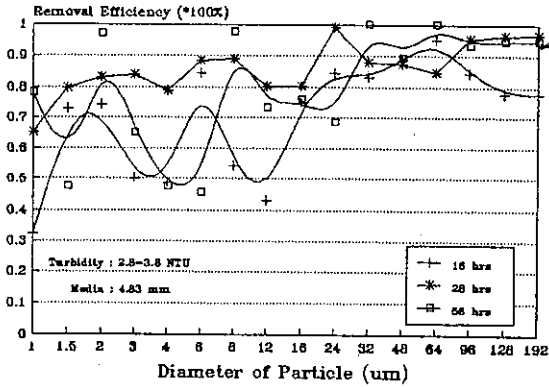


圖4.12 小卵石濾料原水2.8~3.8 NTU不同粒徑懸浮固體物顆粒之去除率

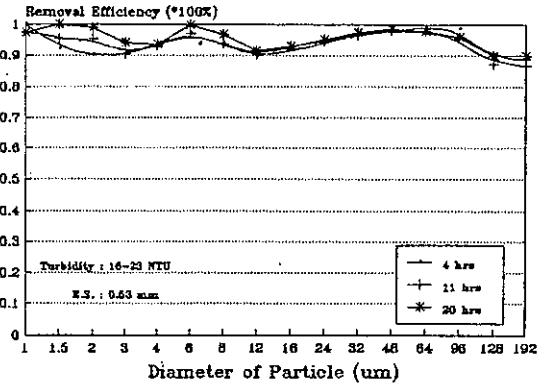


圖4.13 石英砂濾料原水 16~23 NTU 不同粒徑懸浮固體物顆粒之去除率

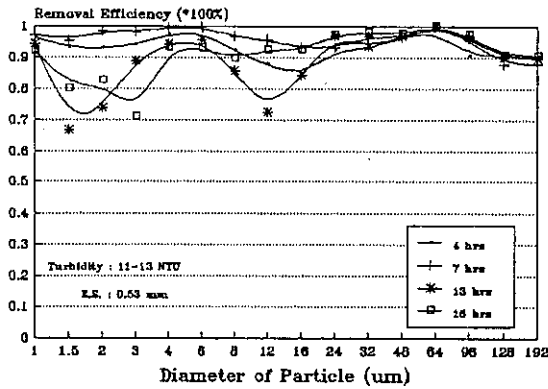


圖4.14 石英砂濾料原水 11~13 NTU 不同粒徑懸浮固體物顆粒之去除率

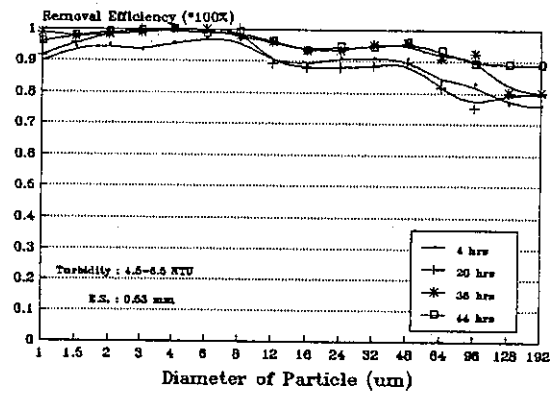


圖4.15 石英砂濾料原水4.5~6.5 NTU不同粒徑懸浮固體物顆粒之去除率

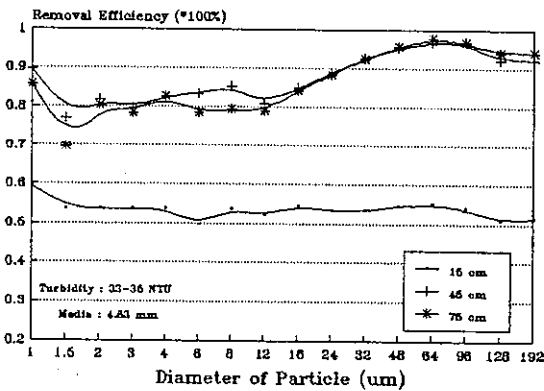


圖4.16 小卵石濾料原水 33~35 NTU 不同濾床長度懸浮固體物顆粒之去除率

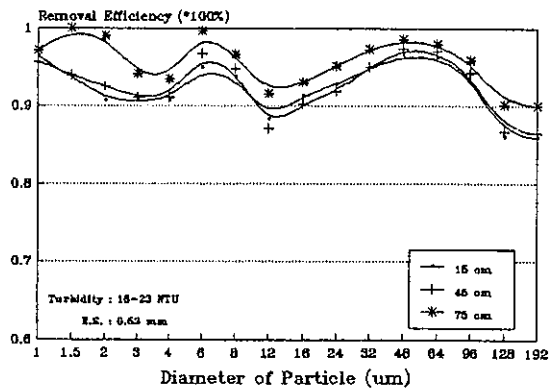


圖4.17 石英砂濾料原水 16~23 NTU 不同濾床長度懸浮固體物顆粒之去除率