

# 高濁水之混凝沈澱處理

## -- 快混攪拌及加藥方式之影響

黃志彬<sup>1</sup> 甘其銓<sup>2</sup> 吳宏基<sup>3</sup> 邱顯盛<sup>3</sup>

### 摘要

台灣的淨水單位近來飽受高濁度原水的困擾，其主要原因之一為混沈效果不佳。一般而言，混凝/膠凝程序中的影響因子可概分為化學性與物理性，化學性影響因子包含混凝劑種類、pH 值、溫度、離子強度、有機物或氧化物的存在；物理性影響因子包含攪拌強度、混凝劑稀釋比例、混凝劑注入位置等。許多研究對於混凝程序之中化學性影響因子有著較廣泛的探討，但對於物性因子的研究則不多見，其實在高濁原水進入淨水單元中，尤以物性因子的影響甚鉅。

本研究即探討混凝物理性操作參數對高濁水的濁度去除以及特定粒徑(2~15  $\mu\text{m}$ )顆粒去除影響，並於膠凝階段先由混凝槽中導引水樣至光纖膠羽偵測儀，以觀察在不同操作參數下顆粒聚集的狀態。研究之中討論的因子包含攪拌強度、混凝劑稀釋比例、混凝劑注入點及攪拌器型式。結果顯示不同的攪拌強度、混凝劑稀釋比例及攪拌器型式等操作參數對高濁度原水的影響極大，但混凝劑加入點的改變則影響不大。

### 一、前言

台灣地區由於人口增加以及工商業發展迅速，以致山坡地開發日趨嚴重，而水土保持之工作不完善，使得原水濁度逐年升高，再加上高山陡峻、河川湍急的地形條件，三月至五月的梅雨季節以及七月至十月的颱風季節之氣候條件，以致原水水質變化極大，歸納其原因有下列數點(林玉君, 2000):

#### 1. 瞬間豪雨：

當短暫性雷雨發生，雨量高達 50 mm/hr 以上時，必然會引發山洪，在大約 1.5~2.5 小時後，原水濁度便隨之遽增。

#### 2. 颱風：

颱風過境時大量雨水，所造成的山洪爆發，原水濁度快速上升，然後迅速下降，但降至某一程度時就趨緩，鑑於無法預測洪峰發生的時間及流量，且濁度居高不下時水中含有許多微細的顆粒狀物質，並挾帶大量泥沙及雜物進入淨水場。

- 
1. 國立交通大學環境工程研究所教授
  2. 國立交通大學環境工程研究所博士班研究生
  3. 國立交通大學環境工程研究所碩士班研究生

### 3. 其他因素：

921 大地震之後，大台中地區因石岡壩岩盤陷落，導致壩體懸空而失去攔蓄水源的功能，而下游之豐原淨水場又處於地震斷層，設施嚴重龜裂。而後連日豪雨不斷，由於地震後土質鬆動，遇雨變成土石流，溪水極度混濁。因而只要豪雨侵襲，則導致大台中地區和彰化地區的用戶受到無水之苦。

台灣的自來水水源大多來自水庫或河川等表面水，因此易受天氣、季節的影響而水質變動頻繁，變化量也極大。因此常在雨季時，原水濁度會急遽上升，在短短半小時以內從數十 NTU 左右上揚至數千 NTU，原水中的固含量更是可達 1.5%（體積比率）以上，從 1999 年底至今，台中地區每日處理量 80 萬噸且供應 200 萬人的豐原淨水廠，則因為下雨所導致高濁度原水無法處理，有數次關廠紀錄導致無水可用的窘境。

高濁度原水無法處理的原因大致可分為兩類，第一個原因為硬體設備無法負荷如此大量的固含量，例如沈澱池來不及排泥或濾池反沖洗次數頻繁，此類的問題可透過減少處理量並拉長處理時間以獲得解決；另一個主要原因則是在高濁度原水處理時，混凝劑快混攪拌混合效率差，即使加入大量混凝劑量，仍無法達到良好的濁度去除效果 (Tseng *et. al.*, 1998)。

根據 Langer 以及 Klute (1993) 指出，對於固含量較高的污泥 (2~4%) 調理而言，調理效果受高分子聚合物的快混攪拌強度、攪拌器形式以及攪拌時間影響極大，上述因子也會影響最適的調理劑量，在其研究之中，較大的攪拌強度可獲較低的調理劑量，較小的攪拌強度則需數倍的調理劑量才能達到相當的調理效果。

長久以來，混凝/膠凝程序一直是淨水處理過程中重要的單元，其操作的良好關係到後續處理單元的操作負荷及處理水水質的要求；混凝/膠凝包含了一連串的化學及物理的反應，而在淨水處理中，可以利用操作的定義與目的將此一程序概分成快混及慢混兩階段不同的操作。在淨水工程上，混凝劑於快混階段加入，在同時並有外加的能量輸入進行混合，如機械槳葉快混、水躍快混、隔板快混，主要的目的乃是使微粒與混凝劑作用基經由快混之後結合，進而改變水中微粒的表面特性，降低微粒之間的排斥能量，其作用機制主要為吸附及電性中和、沈澱網除與架橋等作用。在後續的慢混階段中，主要的目的則是提供已經去穩定的微粒進行有效碰撞，形成可在沈澱池與過濾池之中被移除的膠羽。

淨水場混凝/膠凝程序中的操作影響因子可概分為化學性與物理性，化學性影響因子包含混凝劑種類、pH 值、溫度、離子強度、有機物的存在、氧化物（氯、臭氧）的存在；物理性影響因子包含攪拌強度、停留時間、混凝劑加藥速度、混凝劑稀釋比例、混凝劑注入位置、攪拌方式以及快、慢混池的幾何形狀等。在相關的研究中，除了對混凝作用機制有著較廣泛的探討 (Xiao *et. al.*, 1987; Jiang, 2000)，而化性因子的影響也常見於許多研究之中(如

O'Melia, 1982)，至於物性因子影響的研究則不多見，且研究重點較著重於膠凝程序中，攪拌對顆粒碰撞、聚集以及破壞的影響(Lu *et. al.*, 1998； Thomas, 1999)。

在環保署新修訂的飲用水管理條例中，對飲用水水質作更清楚與嚴格的規定，飲用水的濁度限值於民國 89 年 12 月，將由現行的 4 NTU 限值降至 2 NTU，面對此一趨勢，台灣省自來水事業於各地的淨水場勢必提升其淨水效能以符合要求。然而經蔣氏 (2000) 及本實驗室 (甘氏及黃氏, 1997；黃氏及袁氏, 2000) 評估國內淨水場的操作效能後發現部份淨水場內快混程序操作不佳，而影響後續處理單元的操作效率，因此提昇此單元的操作效率實為當務之急。根據以上所述，在進流原水為高濁度的情況下，快混操作更是混凝/膠凝單元處理良窳的決定因子，但其快混操作的影響至今仍無一完整討論，有鑑於此，本研究的內容即探討快混物理性因子對後續膠凝以及沈澱單元的影響，並以此釐清本省淨水廠無法有效處理高濁水之主要原因。

## 二、實驗材料、設備及方法

### 實驗材料及設備

#### 1. 水樣來源與性質

水樣可分為淨水場原水及人工原水，其特性如表 1 所示，天然原水為豐原淨水場進流之原水，濁度 350 NTU，pH 值 7.8，水溫 23 °C，比導電度 250  $\mu s$ ，經粒徑分析儀 (Coulter LS-230) 分析後，平均粒徑為 9  $\mu m$ 。人工原水為球土 (Ball clay) 所配製之原水，濁度 180 NTU，pH 值 7.5，水溫 25 °C，比導電度 130~250  $\mu s$ ，平均粒徑為 5.1  $\mu m$ 。研究所採用的稀釋水為自來水經極微過濾 (nanofiltration) 處理後的出流水，水質特性為濁度 0.2 NTU 以下，pH 值 6.5 左右，鹼度 20 以下 (mg/l as CaCO<sub>3</sub>)，TOC (NPDOC) 0.4 mg/l 以下，顆粒數 70 count/ml (2~15  $\mu m$ ) 以下，比導電度在 250 以下，鹼度則利用 NaHCO<sub>3</sub> 調整 (Letterman *et. al.*, 1979)，pH 值以 NaOH<sub>(aq)</sub> 或 HNO<sub>3(aq)</sub> 調整。

表 1 淨水場原水及人工原水特性比較

Sample	濁度 (NTU)	溫度 (°C)	pH 值	比導電度 ( $\mu s$ )	鹼度 (mg/l)	TOC (mg/l)
豐原淨水場 原水	350	23	7.8	250	80	2.0
人工原水 (球土)	180	25	7.5	130~250	80~100	0.2~0.5

#### 2. PACI 混凝劑

本研究使用的混凝劑為聚合氯化鋁 (PACI)，為目前淨水工程中最常被使用的混凝劑種類。使用聯碳企業所提供的多元氯化鋁溶液，濃度為 10% as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (100,000 mg/l)。於實驗之前再以蒸餾水將濃度稀釋為 1,000 mg/l as Al，

此時 pH 值為 3.8。

### 3. pH meter

使用 Radiometer 公司生產之 PHM93 Refence pH meter。具有溫度補償的功能，可量測至小數第三位，使用前以標準液校正之。

### 4. 濁度計

使用 HACH 型號 RATIO/XR。有四個 channel 可適用於 0.2 NTU~2000 NTU 範圍的監測。

### 5. 瓶杯試驗機 (Jar Tester)

使用美國 Phipps&Bird (PB-700 Jar tester) 所製造，最大轉速為 400 rpm，最小轉速為 10 rpm，可以同時操作六個攪拌槽搭配寬葉攪拌器 (Square Gator Jar and Paddle Impeller)，攪拌用的混凝槽為邊長 11.5 公分、高 21 公分的方形，槽內可容納 2 公升的水樣，攪拌器為長 7.6 公分、寬 2.8 公分之片狀槳葉，其攪拌器轉數與剪力值呈線性關係 (AWWA, 1992)。

### 6. 界達電位儀 (Zeta-Meter)

美國 ZETA-METER Inc. 生產型號之 Zeta-Meter System 3.0。具有數字顯示幕及自動運算功能，可測量水樣的比導電度，水中顆粒的電泳值及界達電位值。水中顆粒在混凝劑加入快混的終了階段或慢混初期被取以進行界達電位量測。

### 7. 微粒計數器

所採用的儀器是 Met One 公司 (USA) 生產的微粒計數器，型號為 WGS267，包含採樣器、內建蠕動幫浦，感應器、LED 顯示螢幕及分析軟體，具有 2、3、5、8、10、15  $\mu\text{m}$  六種粒徑掃瞄頻道。

### 8. 光纖膠羽偵測儀

光纖膠羽偵測儀 (PDA2000)，最早是用來監測流動性的懸浮固體溶液顆粒的聚集狀態，PDA 的 Ratio 值可作為懸浮液中顆粒聚集的指標 (Gregory, 2000; 甘氏及黃氏, 1999; Kan & Huang, 1999)。

## 實驗方法

分別使用豐原淨水場及人工原水作為水樣，首先進行混凝劑加藥量的判定，分別使用界達電位儀以及殘餘濁度判定為何種情形 (不足量加藥、最適加藥、過量加藥)，實驗進行只改變下述物理性操作參數，包含快、慢混攪拌強度、混凝劑稀釋比例、混凝劑加藥點等。於混凝程序中，利用重力流方式將攪拌槽中的水樣導引至光纖膠羽偵測儀，以觀察在不同操作參數下水中顆粒聚集之狀況。在沈澱分鐘之後，再取槽中水樣利用微粒計數器進行特定粒徑 (2~15  $\mu\text{m}$ ) 的顆粒數目進行比較，並利用濁度量測混凝沈澱後的殘餘濁度。

### 三、結果與討論

#### (I) 淨水場原水

##### PACl 最佳加藥量判定

實驗之中首先利用 Zeta-Meter 量測原水中濁度顆粒表面的界達電位為 -14.2 mv，屬於輕穩定的膠體系統。因此採用了五種 0.5~10 mg/l 的 PACl 加藥量進行混凝，實驗之中並且提供了 1 分鐘 200 rpm 的快混 ( $G = 350 \text{ s}^{-1}$ ) 以及 20 分鐘 30 rpm 的慢混 ( $G = 25 \text{ s}^{-1}$ ,  $Gt = 30,000$ )，在各加藥量下，所得到的顆粒界達電位值與進行 Jar-Test 之後的殘餘濁度如圖 1 所示。在 0.5 mg/l PACl 加藥量下，顆粒的界達電位達到 -8.1 mv，在 1 mg/l 以及 3 mg/l 的 PACl 加藥量下，顆粒的界達電位達到 -2.5 mv 及 -0.5 mv，已經達到去穩定的狀態，因此在沈澱之後 (10 m/day 的溢流率)，即可得到 6.5 及 8.2 NTU 的殘餘濁度，而隨著混凝劑加藥量的增加，得到更低的殘餘濁度。

由圖 1 中可發現到混凝劑增加至 5 mg/l 的情況下，水中顆粒的界達電位轉為正值為 3.6 mv，上層液的殘餘濁度 2.5 NTU。至 10 mg/l 的混凝劑加藥量時，雖然此時利用界達電位儀的量測，此時界達電位為 8.3 mv，發現已有電性逆轉的情況，然而殘餘濁度並沒有很明顯的升高趨勢，上層液的殘餘濁度即維持在 2.5 NTU 左右。根據文獻指出，由於 PACl 的聚集物具有相當高的表面積體積比 (Alberts, 1982)，所以能更有效地以電性中和的方式吸附於帶負電的顆粒上。因此當 PACl 吸附於顆粒時，顆粒表面電性雖由負電性轉為正電性 (電性逆轉)，但顆粒表面仍有可以供多核鋁錯合物吸附的區位，使顆粒能夠繼續成長，而這膠羽成長的現象將持續到其吸附達到飽和為止，所以在過量加藥的情形下，瓶杯試驗所測得的殘餘濁度並不會有明顯上昇的趨勢。

在圖 1 的數據中，於混凝劑加藥之後並無進行 pH 調整的動作，因此在加藥量愈多的情形下，水樣的最終 pH 值下降愈多，於 10 mg/l 的加藥情形下，pH 值由初始的 7.8 降至 6.8。為了釐清水樣最終 pH 值的變化對水中顆粒的界達電位以及瓶杯試驗中殘餘濁度的影響，因此在另一批次試驗中則針對 pH 值進行控制，透過上一批次的酸鹼變化的當量計算，於初始水樣中加入適量的鹼液，如此水樣的最終 pH 值可控制在 7.8~7.4 的範圍內，並依相同的操作條件進行快、慢混以及沈澱，量測其殘餘濁度與界達電位。結果如圖 2 所示，在水樣 pH 值被控制在較高的情形下，其顆粒的界達電位則顯現隨著混凝劑加藥量的增加而上升與 pH 值未控制的試驗組呈現相同的趨勢，並且在兩組批次試驗中所得的上層液殘餘濁度差距不大，因此在後續的試驗中並不進行 pH 的調整。

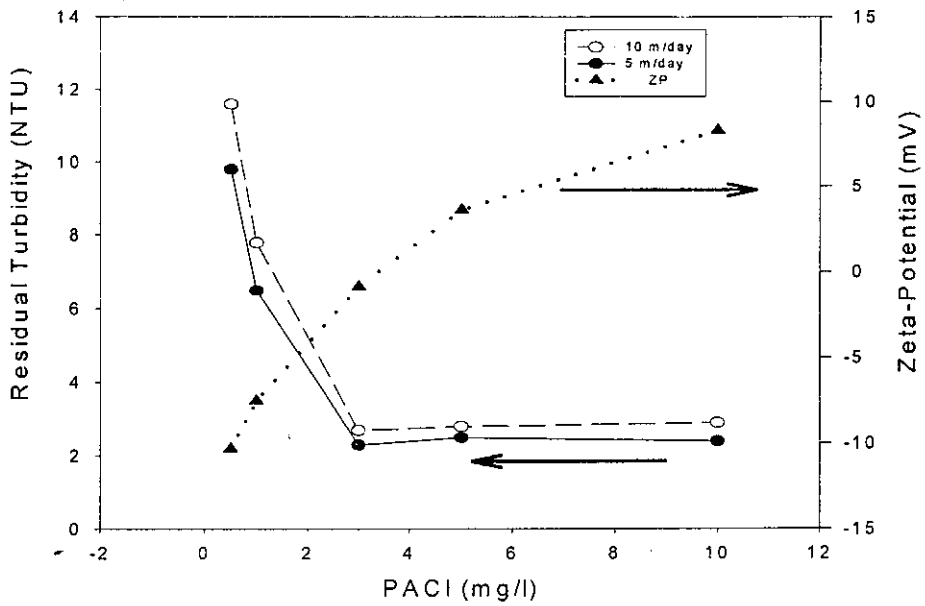


圖 1 批次試驗殘餘濁度（不同溢流率）與顆粒界達電位於不同 PACI 加藥量下的變化

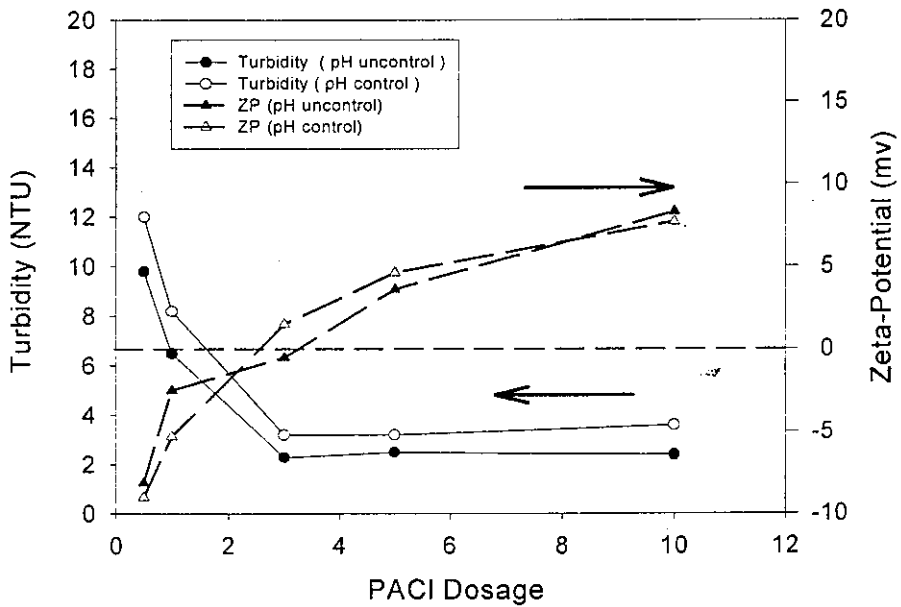


圖 2 殘餘濁度與顆粒界達電位於不同 PACI 加藥量下的比較（pH 值控制與未控制之批次試驗）

## 不同攪拌強度及形式對濁度與顆粒 (2-15 $\mu\text{m}$ ) 去除的影響

接下來試驗之中將探討不同的攪拌強度以及提供四種不同的攪拌形式，為 Type 1 至 Type 4。其中 Type 1 為 1 分鐘的快混與 20 分鐘的慢混，用以模擬快慢混皆佳的情況；Type 2 為只提供 20 分鐘的慢混，用以模擬快混差、慢混佳的情況；Type 3 為 1 分鐘的快混以及 5 分鐘的慢混，用以模擬快混佳、慢混差的情況；Type 4 為 5 分鐘的慢混，用以模擬快慢混皆差的情況。其相對應的 G 值及 Gt 值如表 2 所示。

表 2 四種攪拌形式的 G 值及 Gt 值

	快混	快混 G 值 ( $\text{s}^{-1}$ )	慢混	慢混 G 值 ( $\text{s}^{-1}$ )	慢混 Gt 值	代表情況
Type 1	1 min	350	20 min	25	30,000	快、慢混 皆佳
Type 2	1 min	0	20 min	25	30,000	快混差、 慢混佳
Type 3	1 min	350	5 min	25	7,500	快混佳、 慢混差
Type 4	1 min	0	5 min	25	7,500	快、慢混 皆差

### 快混攪拌的影響

利用 Type 1 以及 Type 2 之實驗結果比較快混攪拌的影響，由於 Type 1 及 Type 2 的操作條件皆提供了足夠的慢混攪拌 ( $Gt = 30,000$ )，主要的差別在於 Type 2 並沒有提供快混，其結果如圖 3 (a) 所示，觀察其趨勢，兩種形式的攪拌都隨著加藥量的增加，殘餘濁度與顆粒數也逐漸下降，而在 Type 1 的操作流程下也可以得到較低的殘餘濁度與顆粒數目。此外，結果亦顯示在 0.5 mg/l 的混凝劑加藥量，屬於不足量加藥的情況，在 Type 1 的操作下可得殘餘濁度 9.5 NTU，在 Type 2 的操作下則可得殘餘濁度 19.2 NTU，有明顯的差距。然而，兩種形式的攪拌所得的殘餘顆粒的數量卻相差不多，其原因可能為本研究所用的微粒計數儀器其偵測範圍為 2~15  $\mu\text{m}$ ，推論依循 Type 2 操作所得小於 2  $\mu\text{m}$  的顆粒數目遠多於 Type 1，因此在濁度上會有較顯著的差距，但在 2~15  $\mu\text{m}$  顆粒的數量上卻相差不多。而在混凝劑加藥足量的情況下 (大於 3 mg/l)，Type 1 比 Type 2 得到更低的殘餘濁度與顆粒數量，分別有 2~3 NTU 以及 150~300 count/ml 的差距。

而利用 Type 3 以及 Type 4 之實驗結果比較快混攪拌的影響，由於 Type 3 及 Type 4 的操作條件皆為慢混攪拌不足的情況 ( $Gt = 7,500$ )，主要的差別在於 Type 4 並沒有提供快混，其結果如圖 3 (b) 所示，觀察其趨勢，兩種形式的攪拌都隨著加藥量的增加，殘餘濁度與顆粒數也逐漸下降，而在 Type 3 的操作流程下也可以得到較低的殘餘濁度與顆粒數目，在 Type 4 的操作條件

下，殘餘濁度相當高，部分樣品也因為濁度太高而需稀釋，利用微粒計數器量測時需注意稀釋問題 (Hargesheimer *et. al.*, 1992)。在 0.5 mg/l 的混凝劑加藥量，屬於不足量加藥的情況，在 Type 3 的操作下可得殘餘濁度 21 NTU，在 Type 4 的操作下則可得殘餘濁度 79 NTU。兩種形式的攪拌所得的殘餘顆粒的數量也相差了 8,500 count/ml。而隨著混凝劑加藥量增加，兩種攪拌形式所得的殘餘濁度及顆粒數量之間的差異才逐漸縮小。在 Type 3 的操作下，除了 0.5 mg/l 所得的殘餘濁度略高於 20 NTU，1mg/l 的加藥量皆可達到 11 NTU 的殘餘濁度，3mg/l 以上的加藥量則可得到 5 NTU 的殘餘濁度，Type 4 的操作則需 10 mg/l 的加藥量才可得到 5 NTU 左右的殘餘濁度。

由以上的結果可得知，在進流高濁度原水的情況下，良好的快混可以促使最適加藥量的減少，如處於慢混也不佳的條件下，良好的快混更可節省混凝劑加藥量達 66%。根據 Edzwald (1998) 之文獻，在原水高濁度的情況下，混凝劑去穩作用是否完全是決定性的因子，由於水中顆粒濃度高，因此混凝劑的有效作用基擴散不易，容易產生局部過量加藥，局部卻不足量加藥的情況，在混凝劑作用基可均勻地達到顆粒去穩作用之後，後續膠凝階段的顆粒結合則可較快速達成。

在快混階段之中，包含幾個階段，第一階段是混凝劑加入後產生的化學反應（如水解反應）形成有效的混凝作用基，接下來形成的作用基透過快混攪拌或布朗運動的驅使，在槽體內進行擴散傳輸，第三個階段即混凝劑與穩定膠體進行接觸，以達到去穩作用。所以在短短的快混階段之中，包含了混凝劑化學反應、混凝劑的傳遞以及膠體去穩，其反應作用在整個反應槽之中，時間互相重疊而且也相互影響，然而就整各系列的反應而言，第一與第三階段屬於化學反應，所耗費的時間較短，因此第二階段混凝劑的擴散傳輸即為整個快混操作的限制階段 (Limited Step)，特別是在膠體高濃度的情況，混凝劑作用基擴散愈不易且無法均勻與全部膠體表面作用，所以此階段需要較高的攪拌強度。

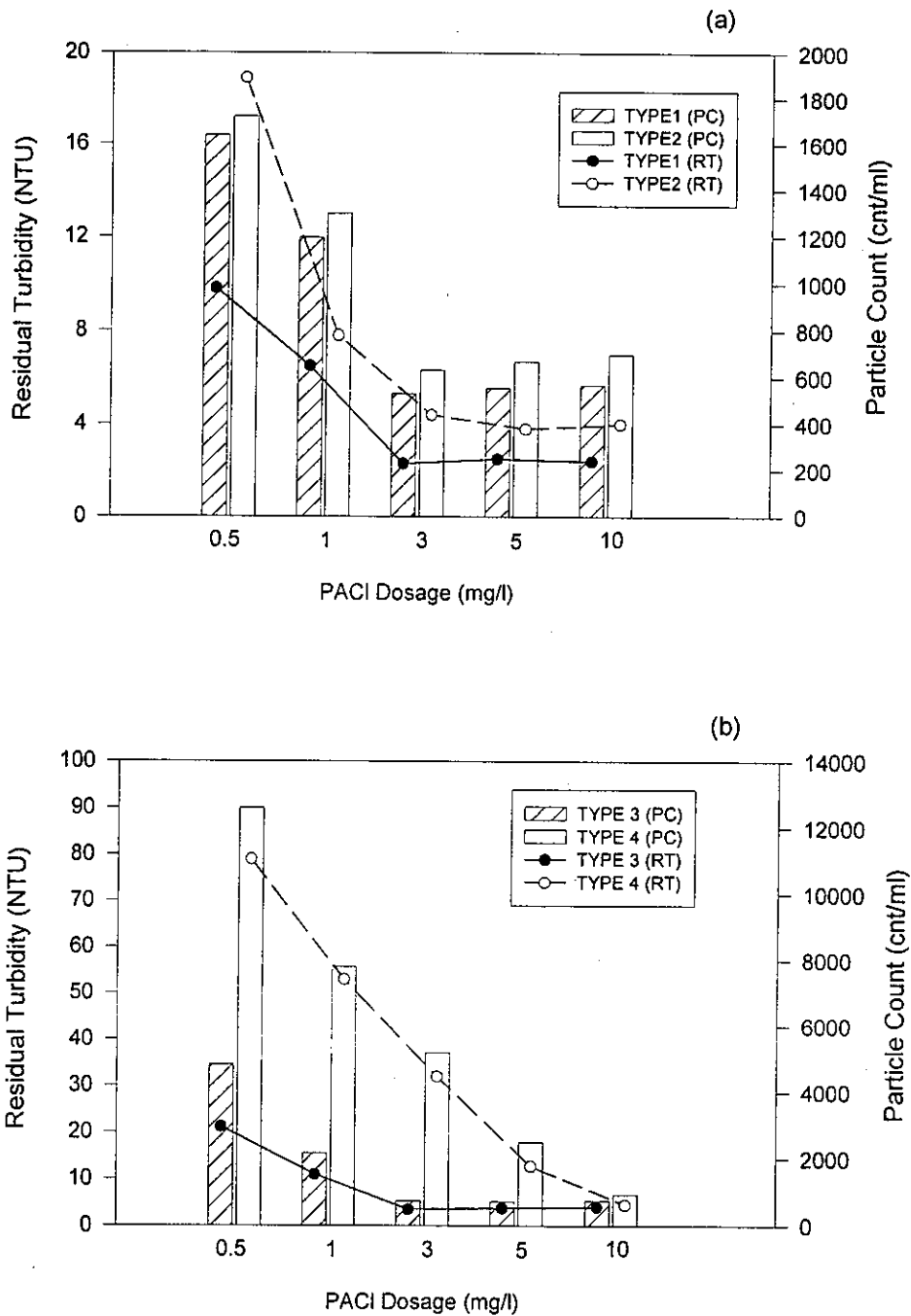


圖 3 (a)Type 1 與 Type 2 (b) Type 3 與 Type 4 於不同加藥情況下殘餘濁度及顆粒數目的比較 (豐原淨水場原水, 濁度: 350 NTU)

## 慢混攪拌的影響

利用 Type 1 以及 Type 3 之實驗結果比較慢混攪拌的影響，由於 Type 1 及 Type 3 的操作條件皆提供了足夠的快混攪拌 ( $G = 350$ )，但 Type 3 並沒有提供足夠慢混 ( $Gt = 7,500$ )，其結果如圖 4 所示。兩種形式的攪拌方式在加藥量 0.5 及 1 mg/l 時，其殘餘濁度與顆粒數目差距較大，但在足量的加藥情況下，殘餘濁度與顆粒數目皆無明顯的差別。

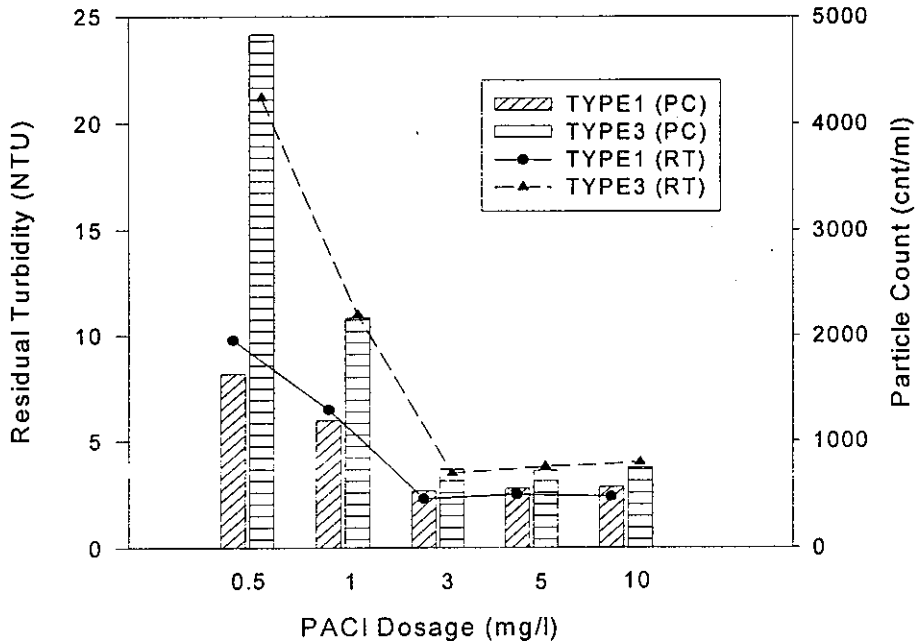


圖 4 Type 1 與 Type 3 殘餘濁度及顆粒數目於不同加藥情況下的比較

當微粒間的排斥力消弭之後，顆粒與顆粒才会有碰撞的機會，進而形成聚集體 (aggregates)，可在後續的沈澱與過濾處理流程中被移除。在慢混的程序中，Smoluchowski 在 1917 年 (Matsui, 1998) 所提出顆粒碰撞公式：

$$\frac{dn}{dt} = -\left(\frac{4}{3\mu}\right)kTn^2$$

式中  $n$  為顆粒數目， $dn/dt$  為顆粒總數的減少速率 (即凝聚速度)， $T$  為溫度， $\mu$ 、 $k$  為常數。所以凝聚速度與水溫有關，與顆粒數目濃度的平方成正比，因此高濁度的原水，如果所有的顆粒可完全去穩，那麼在凝聚的過程中，由於水中顆粒濃度高，凝聚速度也會極快，所以慢混階段所需的時間也可縮短，這也是在我們的試驗中只需 5 分鐘的慢混攪拌 ( $Gt = 7,500$ )，亦可達到良好聚集的效果。

### 快混攪拌與混凝劑加藥量對顆粒凝聚的影響

光學膠羽偵測儀 (PDA)，可用來監測流動性的懸浮固體溶液顆粒的聚集狀態，PDA 的 Ratio 輸出值可作為懸浮液中顆粒聚集的指標並可進行顆粒膠凝聚集 (flocculation) 的動力分析。利用 PDA 進行膠凝的動力分析，結果如圖 5 (a) (b) 所示，Ratio 輸出值於膠凝的階段中於不同的時間達到最大值之後皆逐漸減少，由文獻指出 PDA 的 Ratio 輸出達最大值時為膠凝聚集達穩定平衡，之後 Ratio 值則因聚集的膠羽沉降，水中顆粒濃度減少而下降，因此 Ratio 值最高點之前的階段可視為膠凝初期。

在 Type 1 以及 Type 2 兩種不同的快混攪拌形式之後，利用 PDA 對慢混階段顆粒的聚集情形進行分析，由以上的定義可以發現，於 0.5 mg/l 的 PACl 加藥量，Type 1 於 2.5 分鐘時顆粒聚集可達平衡，Type 2 於 5.5 分鐘時顆粒聚集可達平衡。於 1 mg/l 的 PACl 加藥量，Type 1 於 1.5 分鐘時顆粒聚集可達到平衡，Type 2 於 4.5 分鐘時顆粒聚集可達到平衡。由此可知，在 350 NTU 的原水為高濁度的情況下，快混攪拌強度以及混凝劑加藥量對於膠凝階段的顆粒聚集有相當的影響，與前一節所述相互印證，這可能是因為 Type 1 快混攪拌強度高，因此在膠凝階段初期充分去穩膠體顆粒數目較 Type 2 多，因此在膠凝階段其顆粒聚集的速度也會較快。同理，混凝劑加藥量較充足，也有提高快混程序中顆粒去穩效率的效果，因此，也會加速膠凝階段時顆粒聚集的速度。

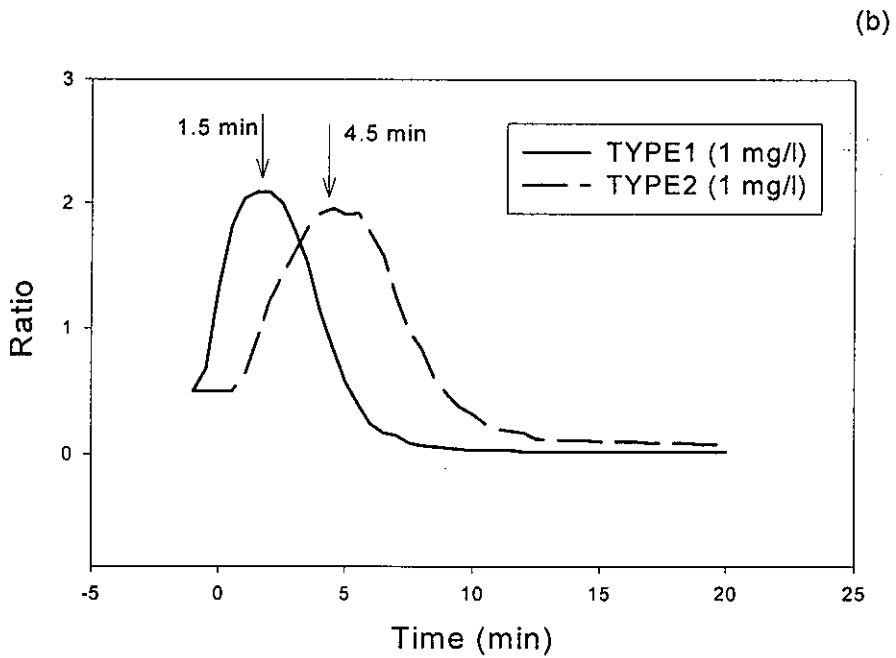
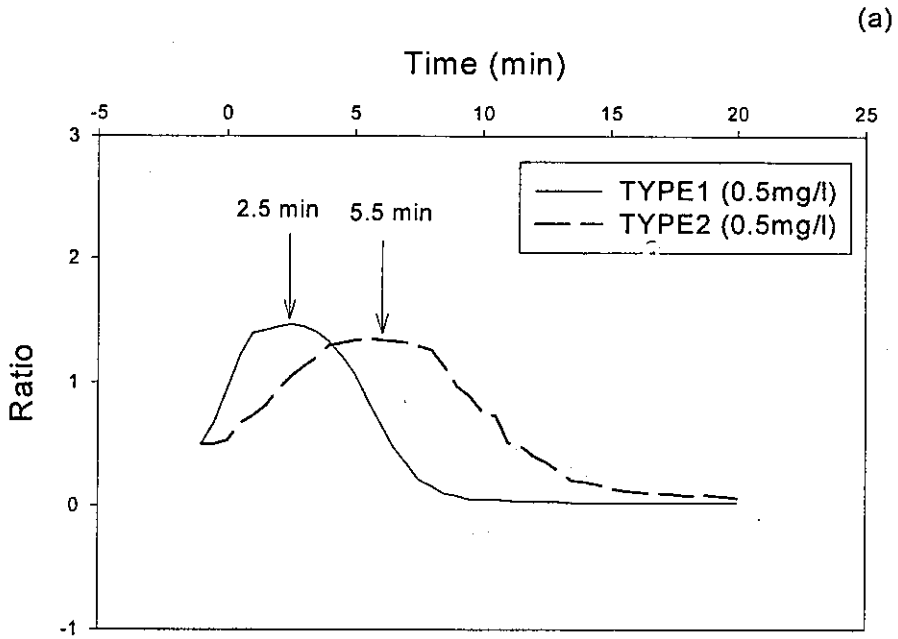


圖 5 Type 1 與 Type 2 於不同加藥量下 (a) 0.5 mg/l (b) 1 mg/l PDA Ratio 輸出值的變化

## (II) 人工原水

實驗之中首先利用 Zeta-Meter 量測球土顆粒表面的界達電位為  $-20 \pm 2$  mv (pH 7.5)，屬於中度穩定的膠體系統。因此採用了五種 0.5~3 mg/l 的 PACl 加藥量進行混凝，實驗之中採用了 Type 1 以及 Type 2 攪拌方式（參考前面敘述），在各加藥量下，所得到的顆粒界達電位值與進行 Jar-Test 之後的殘餘濁度如圖 5 所示。透過 Type 1 的攪拌方式，在 0.5、1 mg/l PACl 加藥量下，顆粒的界達電位達到 -15、-6.5 mv，在 1.5 以及 2 mg/l 的 PACl 加藥量下，顆粒的界達電位達到 -2 mv 及 2 mv，已經達到去穩定的狀態，因此在沈澱之後(10 m/day 的溢流率)，即可得到 4.8 及 2.8 NTU 的殘餘濁度，即使在 3 mg/l PACl 的加藥量，顆粒的界達電位為 4.8 mv，殘餘濁度則為 3.2 NTU。而透過 Type 2 的攪拌方式所量測到的殘餘濁度以及界達電位，與 Type 1 的偵測數據呈現相同趨勢，然而在相同的加藥量下，所得的殘餘濁度卻高於 Type 1 所量測得的結果(見圖 6 及圖 7(a)所示)，由圖 6 結果的比較中可以發現，Type 1 於 1 mg/l 的劑量下其殘餘濁度與 Type 2 於 1.5 mg/l 劑量其殘餘濁度相同，因此於 Type 1 的操作下有 33% 加藥劑量的節省。

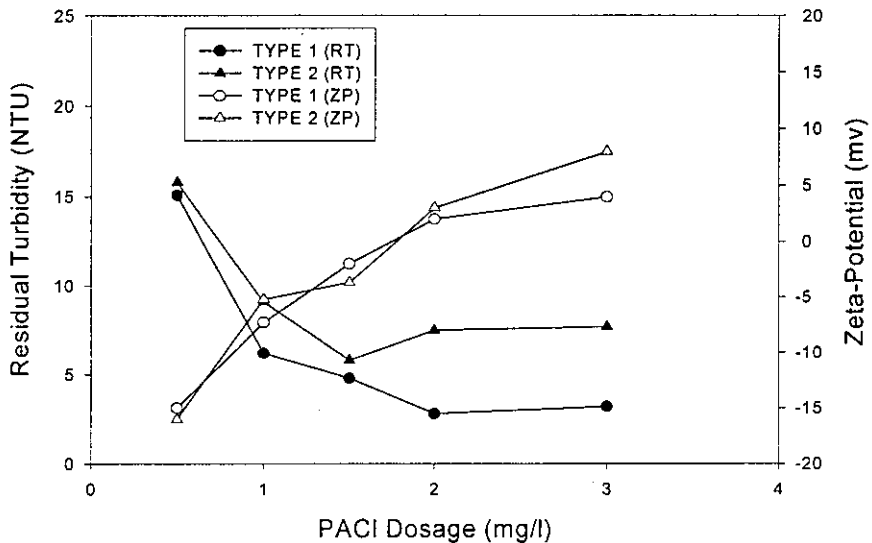


圖 6 殘餘濁度與顆粒界達電位於不同 PACl 加藥量下的比較 (Type 1 與 Type 2 批次試驗)

## 攪拌形式與強度對濁度及顆粒去除的影響

於 Type 1 及 Type 2 的操作下皆提供了足夠的慢混攪拌 ( $Gt = 30,000$ )，但 Type 2 並沒有進行快混，其結果如圖 7 (a) 所示，兩種攪拌的形式都隨著加藥量的增加，殘餘濁度與顆粒數也逐漸下降；在 Type 1 的操作流程下可以得到較低的殘餘濁度與顆粒數目。在 Type 2 的操作流程則於 1.5 mg/l 的加藥量下，可以得到最低的殘餘濁度與顆粒數目。

在 Type 3 及 Type 4 的操作下，皆沒有提供了足量的慢混攪拌 ( $Gt = 7,500$ )，而且 Type 4 沒有進行快混，其結果如圖 7 (b) 所示，在 Type 4 的操作條件下，殘餘濁度相當高，因此並不考慮利用微粒計數器量測。在 Type 3 的操作下，除了 0.5 mg/l 所得的殘餘濁度略高於 20 NTU，其他的加藥量皆可達到 10 NTU 以下的殘餘濁度，更顯示出在高濁度情況下，快混操作是決定混凝成效的因子。由圖 3 以及圖 7 的實驗結果比較，可以發現豐原淨水場原水 (350 NTU) 與實驗室配製的人工原水 (180 NTU) 呈現相同的趨勢，更加證明混凝攪拌形式與強度對後續沈澱程序的影響極大。

### 快混攪拌對顆粒凝聚的影響

以 PDA 量測水中顆粒聚集的變化結果如圖 8 所示，結果顯示 Type 1 以及 Type 2 兩種不同的快混攪拌形式於 1 mg/l 的 PACl 加藥量之下，Type 1 於 3.5 分鐘時顆粒聚集可達到平衡，Type 2 於 9.5 分鐘時顆粒聚集可達到平衡。由此可知，在 180 NTU 的原水為高濁度的情況下，快混攪拌強度對於膠凝階段的顆粒聚集有相當的影響，此與利用豐原淨水場高濁原水所得的結果相同。

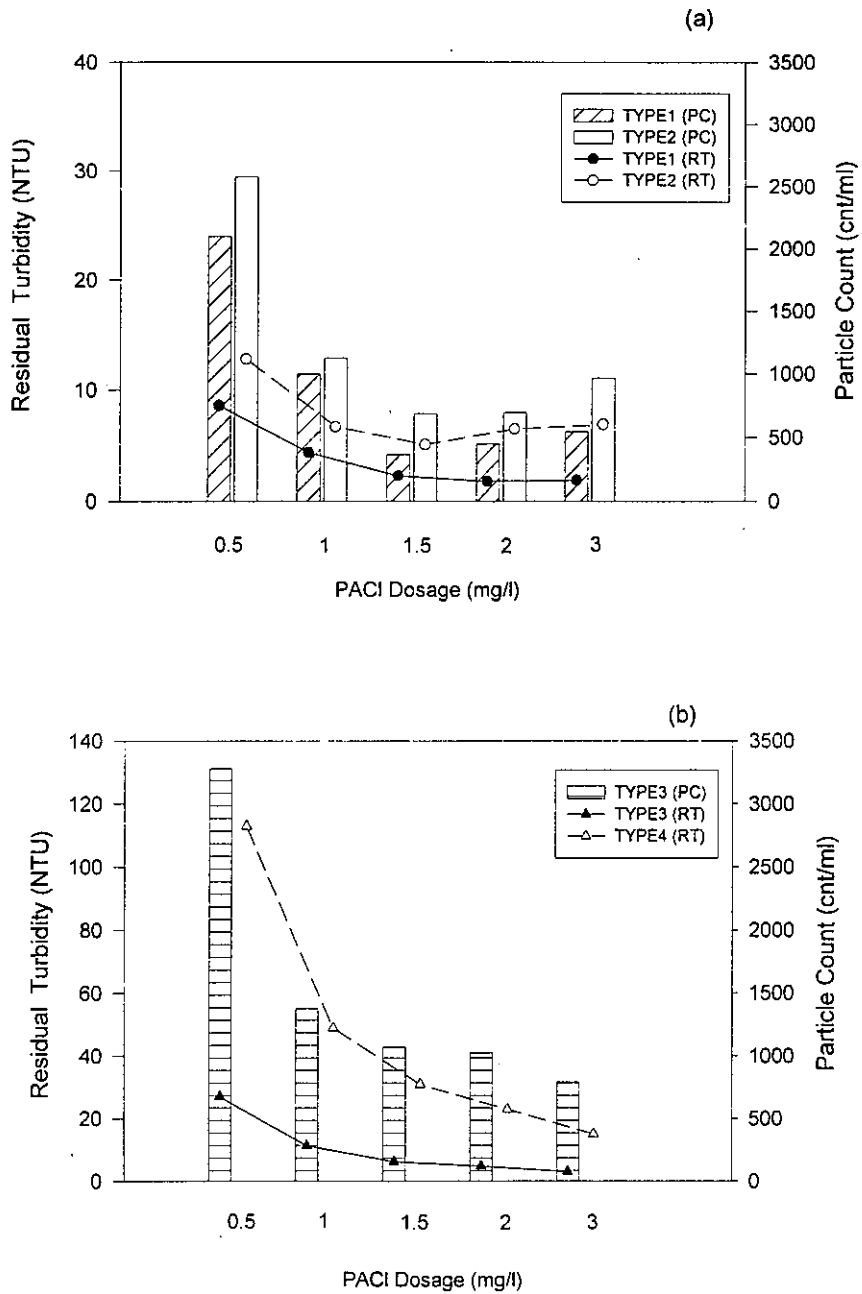


圖 7 (a)Type 1 與 Type 2 (b) Type 3 與 Type 4 於不同加藥情況下殘餘濁度及顆粒數目的比較 (人工原水, 180 NTU)

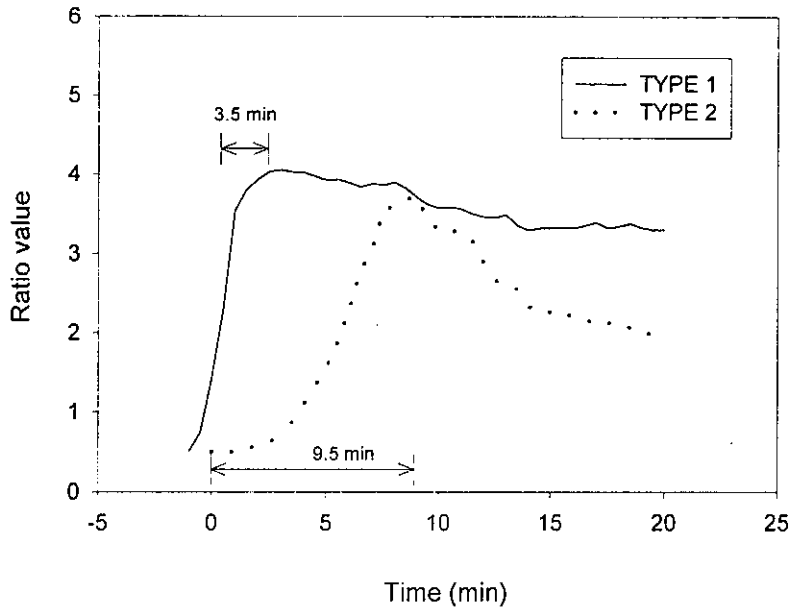


圖 8 Ratio 輸出值於 PACl 1 mg/l 加藥量下的變化 (Type 1 與 Type 2)

### 混凝劑稀釋比例對濁度與顆粒去除的影響

改變混凝劑 (PACl) 稀釋比, 其稀釋比率、濃度以及溶液 pH 值如表 3 所示。

表 3 混凝劑 (PACl) 稀釋比率及其溶液特性 (溫度 25°C)

稀釋比率	濃度(mg/l as Al)	pH 值
1 : 2	50,000	3.1
1 : 10	10,000	3.4
1 : 20	5,000	3.6
1 : 100	1,000	3.8
1 : 200	500	4.0

稀釋比率由 1 : 2 至 1 : 200 (100 倍的差距), 雖然在不同 pH 值下, PAC 溶液中鋁鹽的組成不盡相同, 根據文獻 (Pouillot *et. al.*, 1992) 指出其內容大致可分為聚合型態的多核鋁鹽物種 (polymeric species, 以  $Al_{13}$  為主)、單核鋁鹽物種 (monomeric species,  $Al^{3+}$ 、 $Al(OH)^{+2}$ 、 $Al(OH)_2^+$ 、 $Al(OH)_{3(mol)}$ 、

$\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ) 以及鋁鹽的不定型沈澱物 (precipitate species,  $\text{Al}(\text{OH})_{3(am)}$ )。在本研究之中，實驗使用的稀釋注射液皆為 2 小時內所配製，由於不同稀釋比例注射液的 pH 值皆維持在 4.0 以下 (Van Benschoten *et. al.*, 1990)，可將混凝劑 PACl 水解速度忽略，因此不同稀釋比例注射液的組成物種可視為相同。

混凝劑稀釋液由液面上方注入攪拌槽內，皆於 5 秒內完成，經混合(20 min、30 rpm)，與重力沈澱(10 min) 之後，量測殘餘濁度，並取水樣以微粒計數器分析顆粒數量。結果如圖 9 所示，為五次批次試驗的平均，可以發現在稀釋液濃度 500 及 1000 mg/l 下，殘餘濁度大約在 15~20 NTU 之間，其顆粒數目在 1,800 cnt/ml；而在稀釋液濃度 5,000 及 10,000 mg/l 下，殘餘濁度大約在 10~15 NTU 之間，其顆粒數目在 1,100 cnt/ml；在稀釋液濃度 50,000 mg/l 下，殘餘濁度大約在 50~120 NTU 之間，其顆粒數目在 6,000 cnt/ml。歸納的結果顯示稀釋比例在 1:10 至 1:20 的範圍內，其混沈效果最佳，且 pH 值在 4.0 以下，PAC 的水解速度較慢。稀釋比例在 1:100 至 1:200 的範圍內，其混沈效果次之。稀釋比例在 1:2 時，混沈效果最差，而且差異性也最大，由此可推論在實場操作中，以 PAC 原液直接加入高濁原水而未經適當稀釋，可能是造成操作效果不佳的原因之一。

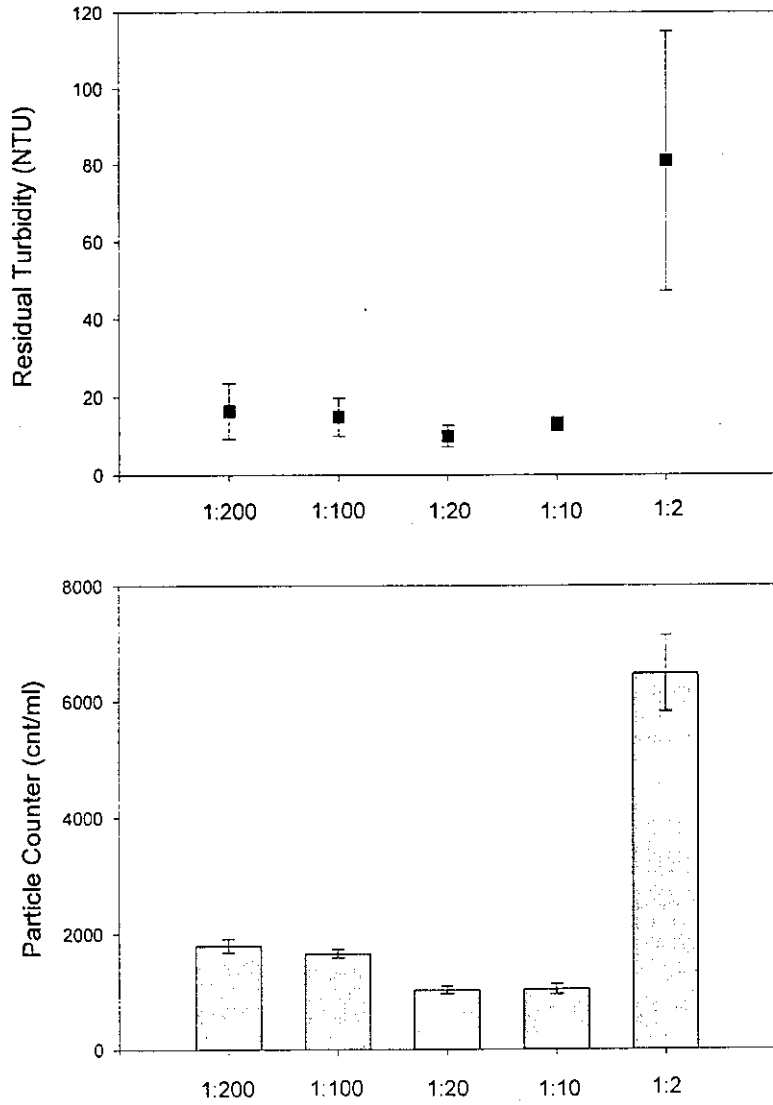


圖 9 殘餘濁度與顆粒數目於不同混凝劑稀釋比率下的變化  
 (1 mg/l PACI 加藥量)  
 (以上為五重複之平均值及其標準偏差)

## 混合攪拌器 (mixing equipment) 對濁度與顆粒去除的影響

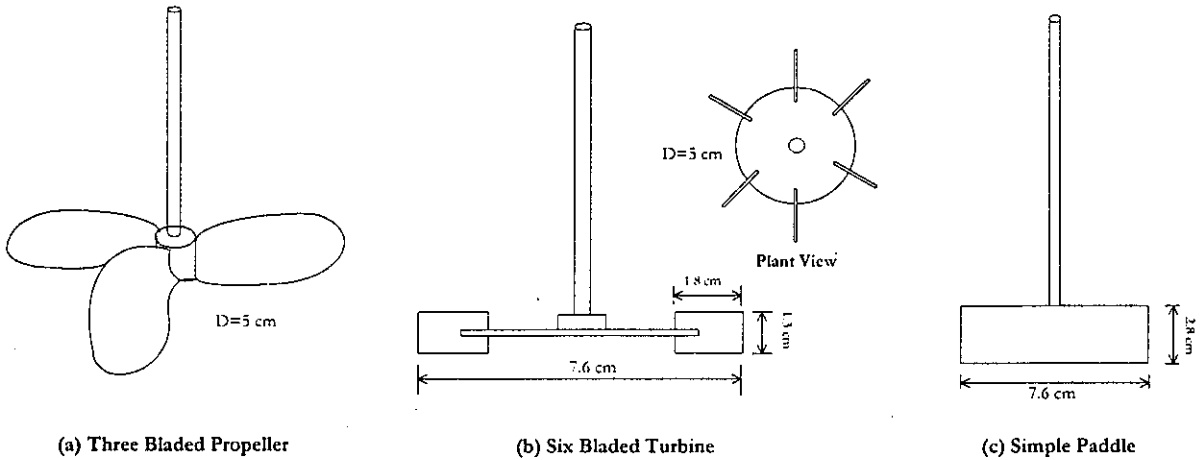


圖 10 各種不同型式的攪拌器及其尺寸

採用 3 種不同型式的混合攪拌器，如圖 10 所示，分別為三葉螺旋攪拌器 (Three Bladed Propeller)、六葉渦輪攪拌器 (Six Bladed Disk Turbine) 及平板攪拌器 (Simple Paddle)，採用三種不同型式的攪拌槽及攪拌器，攪拌用的混凝槽為邊長 11.5 公分、高 21 公分的方形槽，攪拌器轉數與剪力值呈線性函數關係 (AWWA, 1992)，由於尺寸及幾何形狀的不同，因此相同攪拌的速度所提供的剪力大小不一樣，試驗之中，混合攪拌器快、慢混轉速控制則如表 4 所示，快混攪拌時間 1 min，慢混攪拌時間為 20 min，混凝劑加藥量 1 mg/l。

表 4 不同混合攪拌器快、慢混轉速控制及剪力提供

Mixing Equipment Type	Rapid Mixing Speed (rpm)	Rapid Mixing ( $S^{-1}$ )	Slow Mixing Speed (rpm)	Slow Mixing Gt
Three Bladed Propeller	300	160	90	32400
Six Bladed Disk Turbine	100	160	30	32400
Simple Paddle	120	160	35	32400

結果如圖 11 所示，為五次批次試驗的平均，可以發現利用三葉螺旋攪拌器所得的混沈效果最差，平均殘餘濁度 9.1 NTU，其顆粒數目 780 cnt/ml；

六葉渦輪攪拌器所得的混沈效果次之，平均殘餘濁度 7.5 NTU，顆粒數目 290 cnt/ml；利用平板攪拌器的混沈效果最佳，平均殘餘濁度 5.0 NTU，顆粒數目 280 cnt/ml。在試驗的控制之下，3 種不同型式的攪拌器雖然提供了相同的剪力進行攪拌，然而由於幾何形狀的差異，所造成的水流流動情況 (Flow Pattern) 並不一樣 (Tatterson, 1994)，根據所得的結果，顯示出可造成上下循環流的平板攪拌器以及六葉渦輪攪拌器其混沈效果優於單一循環流的三葉螺旋攪拌器。

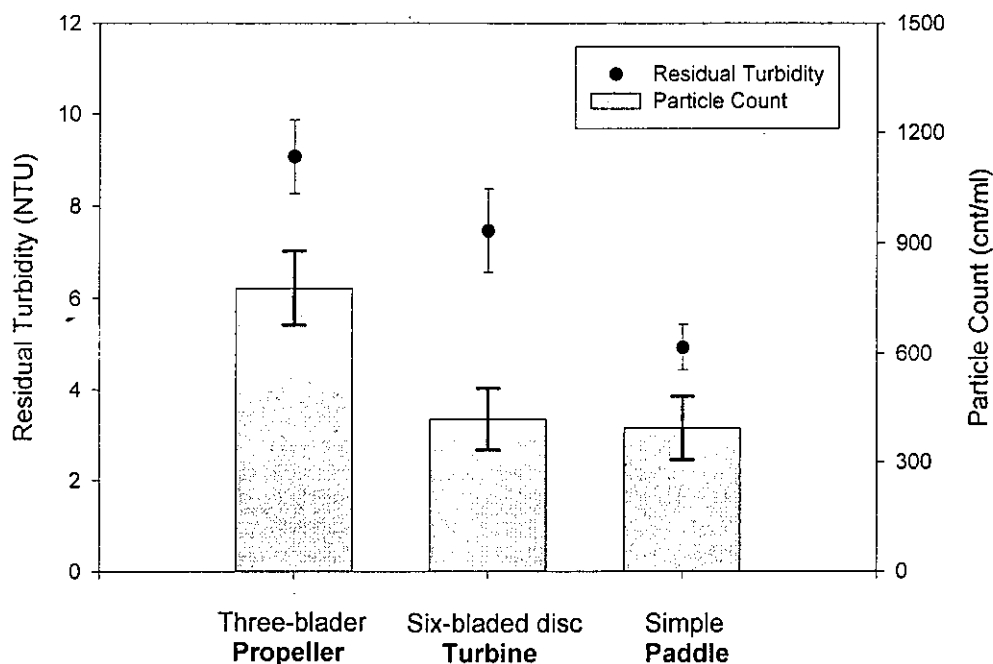


圖 11 殘餘濁度與顆粒數目於不同型式的攪拌器的變化  
(1 mg/l PACl 加藥量)  
(以上為五重複之平均值及其標準偏差)

### 混凝劑注入點對濁度與顆粒去除的影響

試驗之中改變混凝劑的注入點 (共 5 點)，如圖 12 所示，加藥點的不同代表混凝劑於注入方形槽時的瞬間擴散程度不同，試驗所選擇的 5 點，其擴散程度為點 2 最大，點 3、4、5 次之，點 1 最小 (Clark *et. al.*, 1993)。試驗之中使用實驗室特製的注射器 (不鏽鋼製針頭，長 25 cm，內徑 0.2 mm) 以避免影響槽內流動，並採用兩種不同的攪拌型式 (Type 1 及 Type 2)，加藥

速度皆固定為 0.1 mg/l·s，其結果如表 5 所示，顯示在批次槽之中，混凝劑注入點對濁度及顆粒去除效果並無重大的影響。此結論與 Clark 等人 (1993) 所得的結果相同，其原因解釋為本試驗乃批次試驗，加藥點的變動對槽體內的整體的混凝效果為次要影響，如試驗在連續流的情況，加藥點的影響會較明顯。

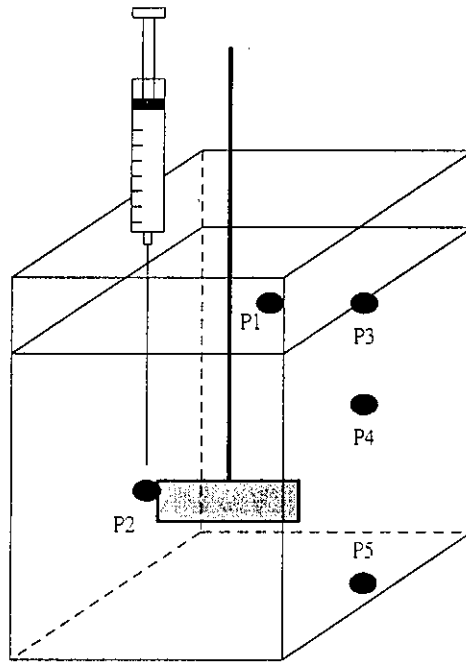


圖 12 混凝劑注入點(P1~P5)

表 5 改變混凝劑注入點於不同操作條件下所得之殘餘濁度及顆粒數目

Test No.	Performance conditions			Residual turbidity (NTU)					Particle Count (cnt/ml)				
	Coagulant Dosage (mg/l)	Rapid Mixing (G)	Slow Mixing (Gt)	Injection Point					Injection Point				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	0.5	0	30,000	14.2	14.0	--	--	--	2456	3060	--	--	--
2	0.5	0	12,000	29	35	31	31	24	--	--	--	--	--
3	0.5	0	9,000	30	28	--	--	28	--	--	--	--	--
4	1	0	30,000	6.6	6.3	--	--	--	1344	1050	--	--	--
5	1	220	30,000	4.2	4.8	4.6	--	5.5	881	984	915	--	1014
6	5	220	30,000	0.47	0.57	--	0.45	0.55	176	153	--	113	147

#### 四、結論

在高濁度原水的處理上，快混單元的操作對混凝沈澱處理的影響極大，在各參數的評估結果中，混凝劑的稀釋比會影響混沈處理的效果，在稀釋比例 1:10 至 1:20 時，效果最好；稀釋比例 1:100 至 1:200 時，效果次之；稀釋比例 1:2 時，效果最差。而對於不同型式的攪拌器進行評估，結果顯示利用三葉螺旋攪拌器所得的混沈效果最差，六葉渦輪攪拌器次之，平板攪拌器的效果最佳。而不同的混凝劑注入點，在研究之中並無顯著的影響，其原因可能為本研究中所採用的試驗為批次系統，因此其影響差異不大，可考慮於連續流系統中再進行評估。

研究中顯示出快混攪拌對高濁原水的濁度及 2~15  $\mu\text{m}$  顆粒的去除影響甚鉅，而利用 PDA 直接偵測膠羽形成，發現快混攪拌也決定了慢混階段顆粒聚集的速度。在良好快混攪拌之後，顆粒聚集的速度極快，因此即使慢混階段的  $Gt$  值不足；依舊可得到不錯的混沈效果。而快混攪拌不足，顆粒的聚集速度則明顯變慢，但如果提供足量  $Gt$  值的慢混，雖仍可得到不錯的混沈效果，但殘餘濁度與顆粒數量仍較高；若快混不佳且接下來的慢混單元也為不良的情況，將會得到極高的殘餘濁度。此外對高濁原水而言，良好的快混操作除可提高混沈單元處理的效率，更可有 33~66 % 混凝劑量的節省，亦減少了因過量加藥導致水中過多殘餘鋁對人體健康的疑慮。

的確，當高濁度原水進入淨水場中時對操作人員而言是一大挑戰，根據本實驗室對國內數個水場所進行的淨水場主要單元及操作效能的評估，發現淨水廠對進流高濁原水難以應付的情況，除了如本研究提可能是部份主要單元操作效率不彰之外，另一主要原因是大量污泥產生，導致沈澱池排泥不及而發生顆粒溢流的情況，過濾池也因進流水濁度太高而發生顆粒貫穿的情況，導致清水品質低落。因應此一問題，淨水場內各主要處理單元應避免超負荷運轉，而在高濁度原水的情況下更應減少處理量，甚至於濁度過高的情況可採用暫時關場的措施，除了可確保出水品質亦可避免主要處理單元受損；此外，進入主要單元之前設置沈砂池，也可將高濁原水中大量的泥砂、雜物先行沈澱，可減少混凝劑量與各單元的負荷。由此可見，於平時即進行自來水廠最佳化的動作為因應高濁度原水最好的辦法，而水廠自我評鑑的工作當是最佳化首要之工作。

## 五、参考文献

- Alberts G. and Haute. A. V. (1982) Stability of colloid types and optimal dosing in water flocculation. *Physicochemical Methods for Water and Wastewater Treatment*, Pawlowski. L. ed.
- AWWA. (1992) Jar Testing. *Operation Control of Coagulation and Filtration Processes*. Denver, AWWA Research Foundation., 1-41.
- Clark M. M., and Srivastava R. M. (1993) Mixing and aluminum precipitation. *Env. Sci. Tech.*, **27**, 2181-2189.
- Edzwald J. K. (1998) *Treatment Process Selection for Particle Removal*. (Edited by McEwen J. B.), Chap. 4. American Water Work Association Research Foundation.
- Gregory J. and Rossi L. (2000) Dynamic testing of water treatment coagulants. *Proceedings of 1st World Water Congress of the International Water Association(IWA)*, Paris, French, July. 3-7.
- Hargesheimer E. E., C. M. Lewis and C. M. Yentsch (1992) *Evaluation of Particle Counting as a Measure of Treatment Plant Performance*. Denver, CO: AWWA Research Foundation.
- Jiang J. Q. (2000) Development of coagulation and new coagulants for water treatment: its past, current and future trend. *Proceedings of 1st World Water Congress of the International Water Association(IWA)*, Paris, French, July. 3-7.
- Kan, Chichuan and Huang Chihpin (1998). Coagulation monitoring in surface water treatment facilities. *Wat. Sci. Tech.*, **38** (3), 237-244, 1998.
- Langer S. J. and Klute R. (1993) Rapid mixing in sludge conditioning with polymer. *Wat. Sci. Tech.* **28**(1), 233-242.
- Letterman R. D., Tabatabaie M. and Ames R. S. (1979) The effect of the Bicarbonate ion concentration on flocculation with aluminum sulfate. *J. AWWA.* **71**, 467-472.
- Lu S., Ding Y. and Guo J. Y. (1998) Kinetics of fine particle aggregation in turbulence. *Adv. in Colloid and Interface Sci.*, **78**, 197-235.
- Matsui Y., Yuasa. A., Furuya Y. and Kamei T. (1998) Dynamic analysis of coagulation with alum and PACl. *J. AWWA.* **90**, 90-106.
- O'Melia C. R. (1982) *Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer* (Edited by Sanks R. L.), Chap. 4. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Mich.
- Pouillot M. and Suty (1992) High-basicity polymeric aluminum salts for drinking-water production. *Water Supply*, **(10)4**, 133-153.
- Tatterson G. B. (1994) Power and Flow. *Scaleup and Design of Industrial Mixing Processes*. McGraw- Hill, Inc., 53-105.

Thomas D. N., Judd S. J. and Fawcett N. (1999) Flocculation modelling: A review. *Wat. Res.*, **33**(7), 1579-1592.

Tseng T., Segal B. and Edward M. (1998) Maintaining effective turbidity removal during runoff events. *Proceedings of AWWA Annual Conference*, Dallas, Texas, June. 21-25.

Van Benschoten J. E. and Edzwald J. K. (1990) Chemical aspects of coagulation using aluminum salts- I. Hydrolytic reactions of alum and polyaluminum chloride. *Wat. Res.*, **24**(12), 1519-1526.

Xiao T. H. and Stumm W. (1987) The coagulating behaviors of Fe(III) polymeric species-I. *Wat. Res.*, **21**, 115-121.

甘其銓、黃志彬、張怡怡、蔣本基，"淨水效能評鑑之方法及實例"，*自來水會刊*，**16**(4)，pp31-50，民國八十六年九月。

甘其銓、黃志彬，"淨水場快混程序之動力分析"，*第十六屆自來水研究發表會論文集*，pp190-206，台北，民國八十八年十一月。

蔣本基、張怡怡，"建立國內淨水場綜合效能評估（CPE）制度研究"，*自來水協會*，民國八十九年五月。

黃志彬、袁如馨，"自來水廠最佳化之自我評鑑技術手冊"，*自來水協會*，民國八十九年六月。

林玉君，"以混凝、絮凝處理高濁度原水之研究"，*國立台灣科技大學碩士論文*，民國八十九年六月。