

以高分子凝集劑處理高濁度原水之研究

翁韻雅¹，賴文亮²，葉宣顯³

摘要

本研究旨在探討將高分子凝集劑添加於高濁度原水中，以加速顆粒凝集效果之可行性，並找出高分子凝集劑之選用準則以及其與多元氯化鋁 (PAC) 間之調適，以提昇國內傳統混凝程序對高濁度原水之處理能量。研究之初先蒐集成分符合我國環保署規定之高分子凝集劑十餘種，經由膠體滴定等方法，確定其基本性質。然後以人工原水進行混凝試驗，繼之以實廠高濁度原水之驗證。

研究結果顯示，單獨以 PAC 為凝劑，雖可有效降低高濁度原水混凝後的殘留濁度，但所需劑量極高，連帶產生大量污泥。若直接以陽離子型 polymer 為主凝劑，則上澄液濁度稍高 (約 10 NTU)，但可大幅降低污泥量；而以陰離子型 polymer 直接做為主凝劑則濁度去除效果不佳。至於以 PAC 為主凝劑，polymer 為助凝劑進行混凝，可大幅降低 PAC 之添加量及沉澱污泥量，同時增進膠羽之沉降速度。其中，高分子量之陰離子型 polymer 所生成之膠羽粒徑較大，沉降速度亦較高。但以上澄液之殘留濁度而言，則陽離子型 polymer 之效果優於陰離子型及非離子型 polymers。此外，陰離子型 polymer 做為助凝劑時受加藥順序之影響較大，以 polymer 先加，隨後再加 PAC 之效果較佳，陽離子型及非離子型 polymer 受加藥順序影響較小。

一、前言

台灣地區因具高山陡峻、河川短促之地理特性，河川流速湍急，河岸沖刷嚴重，且洪、枯水量差異大；加以水土保持不完善，部份集水區地質鬆軟，每遇颱風季節帶來暴雨時，洪水夾帶大量泥砂進入河川，水中懸浮固體物增加，導致以表面水為水源之淨水場原水濁度急遽上昇。近年來，北部部分淨水廠發現在颱風或上游水庫洩洪 1~2 週後，下游往往會出現穩定性極佳的懸浮微粒，此種原水呈白色混濁狀 (稱之為白濁水)，久置不易沉澱。Shi and Ching (1998) 亦指出颱風過後之數週，原水中會出現相當多之微細顆粒，傳統之混凝沉澱程序無法控制其出水濁度，並有混凝膠羽不易沉澱、沉澱池出流水殘留濁度仍高及導致後續過濾單元超負荷，縮短濾程及增加反洗頻率等問題。甚者，當水廠操作人員無法找出因應對策時，被迫降低清水水質標準、減量供水或關廠停水，招致民怨。

檢視上述問題之核心，其乃與混凝程序控制不佳相關，若能改善此一單元之處理效果，應可提高出水水質及水量，減緩濁度對淨水工程之影響，使水廠在高濁度期間仍能正常供水。高分子凝集劑 (polymers) 在許多研究中被證實有助於膠體顆粒之快速凝集與沉降，因此可更有效地去除濁度。但市面上可用於水處理之高分子凝集劑種類眾多，即使同一種成份之高分子凝

^{1,3} 國立成功大學環境工程學系

² 大仁技術學院環境工程與科學系

集劑，因聚合與水解狀態之不同，分子量可能由數千至數百

萬，帶電性亦可能有帶正、負電或不帶電之異。如何針對原水水質，選用適當種類之高分子凝集劑、加藥量，以及與主凝劑(如明礬、多元氯化鋁等)間之加藥順序，對淨水廠之操作應具有實用性。

本研究主旨除欲探討高分子凝集劑之選用準則外，另其與混凝劑(多元氯化鋁)間之調配及適當的添加方式，亦是本研究之中心。研究中亦針對不同操作條件下形成的膠羽表面帶電性質、生成沉澱污泥體積及顆粒粒徑變化，探討高分子在混凝過程中所扮演之角色。

二、實驗方法

本研究主要針對高濁度原水，利用高分子凝集劑幫助混凝，探討有效降低沉澱池出流水之殘留濁度，以減輕濾床負荷，延長濾程之方法。為符合上述之期望，實驗設計主要利用瓶杯試驗，探討以 PAC 為主凝劑，高分子凝集劑為助凝劑時，助凝劑種類及劑量對混凝去除濁度之影響，並找出主凝劑及助凝劑之間最佳的比例及 PAC 與高分子凝集劑之加藥順序，並藉由膠體之表面電位及粒徑分佈之變化，探討高分子凝集劑在混凝過程中所扮演的角色。研究中亦對試驗用的高分子凝集劑進行所帶電荷密度的分析。

試驗原水

為模擬實廠之高濁度原水，本研究採集南化淨水廠調勻池底泥，先行進行適當之前處理，做為配製人工原水濁度物質的來源。依據環保署之規定，必須當原水濁度大於 250 NTU 時，使得使用高分子凝集

劑，而南化水庫在暴雨之後，原水濁度可急遽提升到 1000 NTU 以上，因此本研究乃配製 250 NTU 及 1000 NTU 二種不同濁度的人工原水進行相關試驗。其相關水質參數如表一。另於 92 年 6 月間採高雄縣坪頂淨水廠之高濁度原水進行試驗，以印證人工原水之結果。

瓶杯試驗

本試驗中使用 PAC (polyaluminum chloride, Showa, Japan) 為混凝劑，配合一系列不同性質之高分子凝集劑，進行相關研究。試驗的 polymer 包括三種行政院環保署所核可的主成分，分子量分佈介於 5 萬至 1600 萬之間，其中 5 種屬於陽離子型、4 種屬於陰離子型及 1 種屬於非離子型。有關 polymer 的種類、特性、製造廠商及認證單位均列於表二。

瓶杯試驗之進行，乃以 6 個 1 L 自製之方型壓克力燒杯各盛裝 1 L 之原水，加入定量所欲試驗的混凝劑、助凝劑，進行瓶杯試驗；瓶杯試驗之操作條件為快混 100 rpm, 3min，慢混 35 rpm, 25 min，並靜置 30 min。然後於瓶杯之放流口取適量之上澄液，分析其殘留濁度、pH、鹼度及導電度等。試驗過程中，需觀察混凝情形，以數位相機拍攝其膠羽大小，並視情況輔以沉澱污泥量及沉降性的量測。

為瞭解不同 PAC 與 polymer 的加藥順序對混凝效果之影響，本實驗中設計了五種不同的加藥順序如圖一所示，其分別為 (1)於快混前同時加入 PAC 及 polymer，進行快混、慢混及靜置。(2)先加入 PAC，快混 1 min 隨後加入 polymer，快混 2 min，繼續進行慢混及靜置。(3)先加入 polymer，快混 1 min 後加入 PAC，快混 2 min，繼續進行慢混及靜置。(4)加入

PAC，快混 3 min，再添加 polymer，進行慢混及靜置。(5)加入 polymer，快混 3 min，再添加 PAC，進行慢混及靜置。

三、結果與討論

單獨以 polymer 為混凝劑之混凝效果

為瞭解僅以 polymer 為主凝劑時，是否能有效去除混凝沉澱後的殘留濁度，本研究分別以 c、e、f 及 h 四種 polymer 為主凝劑，調整其劑量進行瓶杯試驗後，分析其上澄液之各項水質參數，並將結果繪成各種 polymer 其劑量與殘留濁度的關係圖如圖二 (250 NTU 人工原水) 及圖三 (1000 NTU 人工原水)。由於 polymer 之適用 pH 範圍較廣，而混凝後所測得之上澄液 pH 值及鹼度亦未隨 polymer 劑量的增加而有所改變，因此在以 polymer 為主凝劑的部分並不討論其 pH 及鹼度的變化及影響。

以 250 NTU 人工原水實驗的結果顯示，僅以陰離子及非離子型 polymer (polymer c 及 polymer e) 為主凝劑時，其濁度之去除效果僅能將殘留濁度降至 57 NTU (polymer c) 及 24 NTU (polymer e)，與理想目標相差甚遠，且殘留濁度隨 polymer 劑量之增加而提高。若單獨以陽離子型 polymer h 為主凝劑，殘留濁度則隨劑量之增加而降低，但於劑量達 3 mg/L 以上即趨於平緩，殘留濁度仍高達 15 NTU 以上。而僅添 polymer f 則效果較好一些，在劑量達 5 mg/L 處，殘留濁度可降至 10 NTU 左右，但繼續提高 polymer 劑量，則反而使殘留濁度升高，對於濁度的去除效果亦不甚理想。

以 1000 NTU 人工原水進行實驗，亦得到類似趨勢，polymer e 僅可將殘留濁度

降至 30 NTU，polymer c 可將殘留濁度降至 20 NTU，而使用 polymer f 則可降至 10 NTU，這對初始濁度 1000 NTU 而言，應已是可接受之濁度去除率，短暫時間之高沉澱池出水濁度可由後續之過濾設備承擔，也許可由增加反洗之頻率來加以因應。

僅以 PAC 為混凝劑之混凝效果

圖四及圖五分別為 250 NTU 及 1000 NTU 人工原水以 PAC 為混凝劑進行瓶杯試驗所得之結果。圖四中之殘留濁度隨著 PAC 劑量增加而降低，當 PAC 劑量達 60 mg/L 時殘留濁度可降至 2 NTU 以下，然而在加藥量高於 20 mg/L 後，濁度再降低之速率已趨緩。因此，決定以 PAC 劑量 20 mg/L 探討 polymer 對 250 NTU 人工原水之助凝效果。圖五亦顯示，增加 PAC 劑量可增進 1000 NTU 人工原水之濁度去除效果，而 60 mg/L 以上的 PAC 劑量即可使出流水濁度低於 4 NTU。雖然添加高劑量的 PAC 可有效降低沉澱池出流水之殘留濁度，但污泥量及藥劑費用將大幅提高，故後續研究針對 1000 NTU 之人工原水亦以 20 mg/L 的 PAC 劑量，搭配各種助凝劑之使用進行後續實驗，以瞭解 polymer 做為助凝劑而加強濁度去除效果之可行性。

Polymer 搭配 PAC 作為助凝劑之混凝效果

1. 高分子凝集劑之篩選

在此，以濁度 250 NTU 人工原水，添加 20 mg/L 的 PAC 為主凝劑，不同 polymer 及劑量為助凝劑進行瓶杯試驗，比較各種 polymer 之助凝效果，以觀察高分子凝集劑之性質與助凝效果間之關係。圖六中的四條折線分別表示 PAC 配合 f、g、h、i 四種陽離子型 polymer 進行混凝後，polymer 劑

量與上澄液殘留濁度值的關係。其中 f 及 g 是屬於 poly(DADMAC)，電荷密度均在 210 coulombs/g 左右；此二種 polymer 主成分一樣，電荷密度相近，實驗後的結果也有一致趨勢，在 polymer 劑量達到 3 mg/L 左右時，殘餘濁度可降到 1.5 NTU 以下。h 及 i 主成分為 Epi-DMA Polymer，電荷密度分別為 309.4 及 283.7 coulombs/g，進行混凝試驗後的殘餘濁度也有一樣的趨勢，但電荷密度較高的 h 效果稍好一些。此四種 polymer 中，以 polymer f 的混凝效果最好，故在更深入的實驗時將以之做為陽離子型 polymer 的代表。

圖七中五條折線分別為 PAC 配合 a、b、c、d、e 五種 polymer，其混凝後 polymer 劑量與上澄液殘留濁度值的關係。其中 a、b、c、d、e 的編號乃依其帶陰電性的電荷密度由高而低排列，而 polymer e 的電荷密度趨近於零，屬於非離子型（各種 polymer 的詳細資料請參照表二）。結果顯示，polymer a、b、c 及 d 之殘留濁度皆反較未添加 polymer 時為高，並無助凝之效果；而 polymer e（分子量約 780 萬）混凝後殘留濁度值最低，但與未添加 polymer 時相較，僅降低 1~2 NTU，助凝效果並不明顯。

2. 加藥順序之影響

由先前的實驗結果顯示，在 PAC 及 polymer 的搭配上顯然是以陽離子型 polymer 的效果較好；陰離子型則效果不彰，甚至有惡化的情形出現。為此，本研究乃進一步設計不同的加藥順序，分別以陽離子型、非離子型及陰離子型 polymer 為助凝劑進行瓶杯試驗，探討其受加藥順序影響的可能性。五種不同之加藥順序已示於圖一，並詳述於實驗方法中。

在陽離子型 polymer 的部分，選擇

polymer h (Epi-DMA Polymer, MW = 5~10 萬) 進行實驗。圖八所示為 PAC + polymer h 在不同加藥順序下 polymer 劑量與殘留濁度的關係，顯示 polymer h 在混凝試驗中受加藥順序的影響僅在 2 NTU 之間，且最佳之加藥順序為第一種（同時加入 PAC 及 polymer），恰與先前實驗的加藥順序相同。

Polymer e 為非離子型 polymer，其受加藥順序及劑量的影響情形如圖九所示，於五種不同加藥順序下的混凝效果皆有差異，其中以第三種加藥順序的混凝效果最好，第五種次之，而其他加藥順序甚至使殘留濁度升高，助凝效果不佳。第三種及第五種加藥順序皆為先加入 polymer 後加入 PAC。

陰離子型 polymer 當中乃以 polymer c 進行加藥順序的試驗，實驗結果示於圖十。Polymer c 受加藥順序的影響很大，最適合的加藥順序仍以第三種為首，第五種次之，此結果與非離子型 polymer 一致；但其他之加藥順序皆使混凝結果惡化，且在同樣的 polymer 劑量下殘留濁度會有 10 NTU 之差距。因此，在採用陰離子型 polymer 時，需注意其加藥順序。

至於更高濁度 (1000 NTU) 之人工原水，僅以較有效的 polymer 種類及其最適加藥順序進行試驗。陽離子型 polymer 的部分，以 20 mg/L PAC 配合助凝效果最好的 polymer f，並採用第一種加藥順序進行瓶杯試驗，結果顯示其濁度去除效果良好（如圖十一），在 polymer f 劑量達 8 mg/L 處，殘留濁度降至 3 NTU，如此之濁度去除效果已可等同於單獨加入 60 mg/L 之 PAC；然 polymer f 劑量達 10 mg/L 處，其殘留濁度值反而提高。陰離子型及非離子型 polymer 乃分別以 polymer c 及 polymer e

為代表，配合 20 mg/L PAC，且以第三種加藥順序（如先前實驗結果）進行試驗，圖十二所示即為此二種 polymer 之助凝效果。圖中顯示，polymer c 之助凝效果較 polymer e 為佳，此結果與 250 NTU 人工原水之試驗結果相反，這可能是由於較高濁度的原水進行混凝時，其受架橋作用之影響較大，因此分子量較高（約 1600 萬）之 polymer c 在 1000 NTU 原水濁度下較占優勢。然而，polymer c 及 polymer e 均在 0.5mg/L 劑量處發揮最好之助凝效果，將 1000 NTU 人工原水混凝沉澱後之殘留濁度降至 13 及 16 NTU。

各種加藥方法之比較

前面各節中，以單獨添加 PAC 或 polymer 及 PAC 配合 polymer 三種不同加藥方式之濁度去除效果來討論使用 polymer 之可行性。在人工原水混凝試驗中，以不同的加藥方式雖能達到類似的濁度去除率，但產生的沉澱污泥體積或形成的膠羽性質可能有所不同，而這些情形可能會影響水廠實際上之操作。

1. 膠羽形成速度及外觀

在瓶杯試驗過程中，以肉眼觀察膠羽形成速度並用數位相機拍攝膠羽外觀，以掌握各操作條件下之混凝情形。由觀察發現，PAC 搭配陰離子型 polymer c 或非離子型 polymer e 的瓶杯試驗，膠羽於快混時就已形成，且膠羽顆粒較大，凝結情況良好；但經過水質分析之後發現其上澄液殘留濁度值反較僅加 PAC 而形成膠羽較小且分佈均勻的瓶杯為高。這可能是因為加入 polymer 助凝的瓶杯在混凝時快速形成大型膠羽，而大膠羽通常數量較少且分佈不均，反而減少與水中其他濁度物質之碰撞機會所致。因此，就實驗室之瓶杯試驗

（批次式）而言，形成碩大之膠羽並不一定保證良好的濁度去除效果。再者，就一般淨水廠的設計流程，快混池、膠凝池及沉澱池通常都是分開進行，膠羽於膠凝池形成之後再隨著水流進入沉澱池。而有些水廠的設計水流較強，或水流需流經有跌水的地方，有可能破壞已形成的結構，使其破碎而降低被沉澱去除之效果，故膠羽之性質亦可影響濁度之去除效果。

2. 沉澱污泥體積

下列五種不同的加藥方法，皆可將 1000 NTU 人工原水的殘留濁度降至約 10 NTU。(1)40 mg/L PAC (2)10 mg/L polymer f (3)20 mg/L PAC + 5 mg/L polymer f (4)20 mg/L PAC + 0.5 mg/L polymer e (5)20 mg/L PAC + 0.5 mg/L polymer c。然而不同方法所產生的沉澱污泥體積卻有很大的差異。圖十三顯示，僅加 PAC 時產生的沉澱污泥體積最多（6 ml/L），其次為以 PAC 配合陽離子型 polymer f（沉澱污泥體積 = 5.5 ml/L），陰離子型 polymer c 及非離子型 polymer e（沉澱污泥體積 = 4~4.5 ml/L），而沉澱污泥體積最少的為僅加入 polymer f。由上述結果推論，沉澱污泥體積應是由存在原水中之濁度物質及加入的藥劑所產生，因此當殘留濁度降低、PAC 加量提高，污泥量則提高；而添加 polymer f 時，由於其加量較少，且形成之膠羽較紮實，故產生較少污泥。當 PAC 配合 polymer 時，則因為佔加藥量大宗之 PAC 添加量固定，生成污泥量之變化量亦較小。

3. 膠羽沉降速度

將慢混後之水樣倒入 1L 量筒中，並連續量測固定深度處的濁度值，則可由其濁度降低的情形來看出膠羽的沉降性。濁度降得快代表沉降性佳，反之，濁度值緩慢下降則代表膠羽沉降性較差。在此，同樣

比較達到相同殘留濁度的情形下，五種不同加藥方式之混凝膠羽沈降性（圖十四）。圖中膠羽之沈降性由好至壞分別為 PAC + polymer c、PAC + polymer e、PAC + polymer f、only polymer f，而 PAC 的膠羽沈降性則明顯較差。

此一結果與前二節所描述之膠羽外觀及沉澱污泥體積似可做相同的解釋：polymer 的助凝可產生較大且紮實之膠羽，其中又以分子量最高的 polymer c (1600 萬) 效果最好，polymer e (分子量 780 萬) 次之，polymer f (低分子量) 又次之。僅添加 PAC 則形成均勻分佈之細碎膠羽，而僅添加 polymer f 則膠羽較鬆散。因此，PAC 配合高分子凝集劑可加速膠羽之沈降速度，應有助於高原水濁度期間淨水廠之操作，包括沉澱池之出流水及污泥之處理。

混凝機制之探討

以陽離子型 polymer f 及 polymer h 做為主凝劑時，於較低之 polymer 加藥量下 (1 mg/L)，其界達電位值分別為 -13.8 mV 及 -14.0 mV，但於 polymer f 之最佳加藥量處，殘留濁度最低而界達電位值提高至 3.5 mV，可見電性之中和應是其達到最佳混凝效果之主因。至於陰離子型及非離子型 polymer 做為主凝劑時，於 polymer c 及 polymer e 劑量 1 mg/L 處之界達電位分別為 -15.9 mV 及 -5.9 mV，而混凝效果較差之 5 mg/L 處，其界達電位則分別為 -16.1 mV 及 0.1 mV，顯然電性之中和對於 polymer e 之混凝效果並無助益，另 polymer c 所形成之膠羽 (界達電位約 -16 mV)，其濁度去除效果亦較差。由此推測陰離子型及非離子型 polymer 做為主凝劑之作用機制應以架橋作用為主，電性中和為輔。

在 polymer 做為助凝劑的部分，僅就

陽離子型、陰離子型及非離子型於最佳加藥順序及加藥量下之各點加以討論。陽離子型 polymer f 於第一種加藥順序、4 mg/L 加藥量時，殘留濁度最低，界達電位為 5.5 mV，顯然陽離子型 polymer 的添加對於原水中的 particle 有電性中和的作用。陰離子型 polymer c 及非離子型 polymer e 於最適加藥順序 (第三種加藥順序) 及最佳加藥量 (0.5 mg/L) 下之界達電位值分別為 -14.5 mV 及 -11.2 mV，可見陰離子型 polymer 的添加並未改變水中顆粒之界達電位值。由此推測，陽離子型 polymer 之助凝機制應與電性中和有關，陰離子型及非離子型 polymer 做為助凝劑則受電性中和影響較小，主要應以吸附架橋為主。

另一方面，Twort *et al* (1990) 提到，當混凝劑之作用機制為電性中和時，其最佳加藥量與原水之初始濁度會成正比關係。在本研究中，當人工原水濁度由 250 NTU 提高至 1000 NTU 時，以 PAC 為主凝劑之最佳加藥量隨之提高，以陽離子型 polymer 做為主凝劑或助凝劑之最佳加藥量亦皆隨之提高，然而以陰離子型 polymer 為主凝劑或助凝劑時，其最佳加藥量則固定在 0.5 mg/L 左右，與原水之初始濁度無關。由此現象可推測 PAC 之混凝機制主要應為電性中和，亦可進一步印證陽離子型 polymer 因電性中和而達到混凝，陰離子型 polymer 則以架橋作用為主要機制之推論。

若然，則可進一步解釋以 polymer 為助凝劑受加藥順序影響之原因。各試驗之結果似乎顯示，當架橋作用在混凝中扮演重要角色時，則瓶杯試驗嚴重受加藥順序之影響，且以第三種加藥順序 (先加 polymer，快混一分鐘後立即加入 PAC) 之效果較佳。推測這是由於使用陰離子型 polymer 為助凝劑時，若先加入之 PAC 佔

據顆粒表面之吸附位置，則後加入之 polymer 無法吸附其上而有效達到架橋作用，混凝效果因此惡化。若先加入 polymer 使其吸附於顆粒表面，快混一分鐘後加入之 PAC 則可因電性中和而達到混凝效果。至於第五種加藥順序（先加入 polymer，於慢混時再加入 PAC），可能因為其於 PAC 加入後並未充分混合而降低其混凝效用。但因為陽離子型 polymer 與 PAC 之作用機制皆以電性中和為主，故其先後加藥順序對混凝效果之影響不大。

實廠原水試驗結果

坪頂淨水廠高濁度原水之水質分析結果如表三所示，原水濁度高於 1100 NTU 以上。單獨添加陽離子型、陰離子型及非離子型 polymer 為主凝劑對於坪頂原水的濁度去除結果示於圖十五及圖十六。陽離子型 polymer 的部分，polymer f 及 polymer h 之最佳加藥量約在 6 mg/L 左右，其殘留濁度約 7~8 NTU。至於陰離子型及非離子型 polymer，陰離子型 polymer c 之最低殘留濁度高於 20 NTU，而 polymer e 之殘留濁度又更高，顯然無法單獨達到良好之混凝效果。

以 PAC 進行瓶杯試驗之結果如圖十七。於 PAC 劑量 20 mg/L 處，殘留濁度為 23 NTU，若將 PAC 劑量增加至 80 mg/L，則殘留濁度可降至 3 NTU 以下。為探討 polymer 配合 PAC 之助凝效果，在此仍選擇較低的 PAC 劑量 (20 mg/L) 進行後續之試驗。以陽離子型 polymer 配合 PAC，並以第一種加藥順序（同時加入 PAC 及 polymer 後快混）進行瓶杯試驗，則 polymer f 及 polymer h 的助凝效果亦類似（圖十八），於 4 mg/L 的 polymer 劑量下殘留濁度可有效地降至 3 NTU 左右。在 PAC 與陰

離子型及非離子型 polymer 的搭配使用上，乃採第三種加藥順序（先加入 polymer，快混 1 min 後，加入 PAC）進行混凝，結果顯示 polymer c 的殘留濁度較 polymer e 低一些（圖十九，似乎 polymer c 本身所帶的負電荷 (-168 coulombs/g) 並不影響其助凝效果，而其分子量 (1600 萬) 約為 polymer e (780 萬) 的兩倍，此則有助於其膠凝作用。無論如何，此二種 polymer 皆可在 0.5 mg/L 劑量下將濁度去除至 3 NTU，可見陰離子型及非離子型 polymer 在適當的加藥順序下可以配合 PAC 做為助凝劑使用，而提升高濁度原水的濁度去除率。

最後，更進一步驗證坪頂原水以 PAC 搭配陽、陰離子型 polymer 混凝時，受加藥順序的影響，並且量測於各 polymer 劑量下的界達電位值，藉以推測混凝機制。圖二十為 PAC (20 mg/L) 搭配不同劑量之陽離子型 polymer f，分別以第一種及第三種加藥順序進行混凝後之上澄液殘留濁度值，以及第三種加藥順序下各點之顆粒界達電位值。圖中第三種加藥順序的混凝效果較第一種加藥順序為佳，在 2 mg/L 的 polymer 劑量下，殘留濁度值即以降至 1 NTU 以下（相當於 PAC 劑量=150 mg/L 以上之濁度去除率），而 polymer 劑量提高至 10 mg/L 時，殘留濁度又提高，膠體達到再穩定。然而，兩種加藥順序下的最低殘留濁度值僅相差約 2 NTU，此一結果與 250 NTU 人工原水之實驗結果相符，則可推論陽離子型 polymer 做為助凝劑時受加藥順序之影響不大。觀察其第三種加藥順序下界達電位之變化情形，由 polymer 劑量 0 mg/L 時之 -15 mV（此時之殘留濁度仍高），polymer 劑量提升到 2~8 mg/L 時，界達電位亦升至 ±5 mV 之間（達到最佳之濁

度去除率)，至於 polymer 過量時界達電位升至 10 mV(殘留濁度又升高)。因此，推論陽離子型 polymer 之助凝機制應以電性中和為主。

PAC (20 mg/L) 搭配不同劑量陰離子型 polymer c 之實驗結果示於圖二十一包括兩種加藥順序下混凝沉澱出流水之殘留濁度值與第三種加藥順序下各點之界達電位值。其中，第三種加藥順序可達到不錯之濁度去除效果，而第一種加藥順序則使混凝效果更加惡化，顯然以陰離子型 polymer 為助凝劑時，其受加藥順序之影響相當嚴重，無論是 250 NTU 人工原水或坪頂原水之實驗結果皆以第三種加藥順序之混凝效果最佳。至於其界達電位值，於第三種加藥順序下各點均在-15 mV 左右，與濁度去除率沒有相關性，由此推論陰離子型 polymer 乃以吸附架橋為主要之助凝機制。以上實驗結果與實驗室配製之 1000 NTU 人工原水的結果相似，應可印證先前以人工原水進行各種混凝試驗所得之結論。

沉澱污泥體積的部分，坪頂原水在各混凝試驗中所產生的污泥量與 1000 NTU 人工原水亦有一致之趨勢。選擇上述各試驗中殘留濁度約為 3 NTU (圖二十二 的各點加以比較，由圖中可明顯看出生成污泥量由低而高依序為 PAC + polymer c、PAC + polymer e、PAC + polymer f 及 only PAC。PAC + polymer c 之生成污泥量更低於 only PAC 之 1/2，因此，就坪頂之原水而言，所試驗過之四種 polymer 均有幫助 PAC 之助凝作用，且以高分子量之陰離子型 polymer 有最低之污泥體積。

四、結論與建議

結論

1. 陽離子型 polymer 直接做為主凝劑使用，雖可大幅降低污泥量，但上澄液濁度稍高 (約 10 NTU)，以陰離子型 polymer 直接做為主凝劑則濁度去除效果不佳。
2. 單獨以 PAC 為凝劑，雖可有效降低高濁度原水混凝後的殘留濁度，但所需劑量極高，連帶產生大量污泥。
3. 以 PAC 為主凝劑，polymer 為助凝劑，可降低 PAC 加量及污泥量，同時增進膠羽之沉降速度。高分子量陰離子 polymer 之最佳加藥量低於陽離子 polymer，且前者所生成之膠羽粒徑較大，沉降速度較高。但以上澄液之殘留濁度而言，則陽離子型 polymer 之效果優於陰離子型及非離子型 polymers。
4. 陰離子型 polymer 做為助凝劑時受加藥順序之影響較大，以 polymer 先加，隨後再加 PAC 之效果較佳，陽離子型及非離子型 polymer 受加藥順序影響較小。
6. 就混凝機制而言，陽離子型 polymer 之主要作用機制應是以電性中和為主，而陰離子型 polymer 則以吸附及架橋為主要之機制。而當濁度提高時，架橋作用所扮演之角色亦相對較重要。
7. 因為原水水質可能因地因時而異，故高分子凝集劑在選用時，以實際原水進行瓶杯試驗是必要的。

建議

1. 在本研究中再次印證了 polymer 在使用上之加藥範圍很窄，且 polymer 劑量與殘留濁度之關係並沒有有一定之趨勢，而

是有其最適加藥量存在，過高或過低之加藥量均可能反使混凝效果惡化。因此，淨水廠在使用 polymer 之前應確實以瓶杯試驗找出所選用之 polymer 的最佳加藥量，以免達到反效果。

2. 國內部分淨水廠暴雨期間原水濁度驟增時，常因污泥處理設施之容量不足，污泥濃縮槽之上澄液濁度過高，如需回流到原水進流處，則常會干擾整個淨水程序。可研究在污泥進入濃縮槽之前，添加有助凝效果之高分子凝集劑，加速沉澱、濃縮之效果，以降低回流上澄液之濁度。
3. 目前國內淨水廠多將沉澱污泥與濾床反沖洗水合併處理。當污泥處理設施超負荷時，可考慮將反沖洗水單獨處理，譬如可研究用 Microfiltration 薄膜來處理反洗水，其過濾液加氯消毒後，可直接注入清水池，如此減輕整個淨水廠之負荷。國外爲了 Giardia 與 Cryptosporidia 原蟲之問題，已有許多反洗水用 MF 處理之成功例子。

誌 謝

本研究承中華民國自來水協會提供經費補助，使得完成，敬致謝忱。研究期間，承蒙台灣省自來水公司及台北自來水事業處相關人員熱心提供資料及協助採樣事宜，亦在此一併致謝。

參考文獻

Dentel, S. K., Gucciardi, B. M., Bober, T. A. and Resta, J. J., "Procedures Manual for Polymer Selection in Water Treatment Plants", AWWARF, Denver, CO 80235, 1989.

Shih, W. K. and Chiang C. L., "Treatment of High Turbidity Water", Proceeding 4th International Workshop on Drinking Water Quality Management and Treatment Technology, March 4-5, Taiwan, R.O.C., 1998.

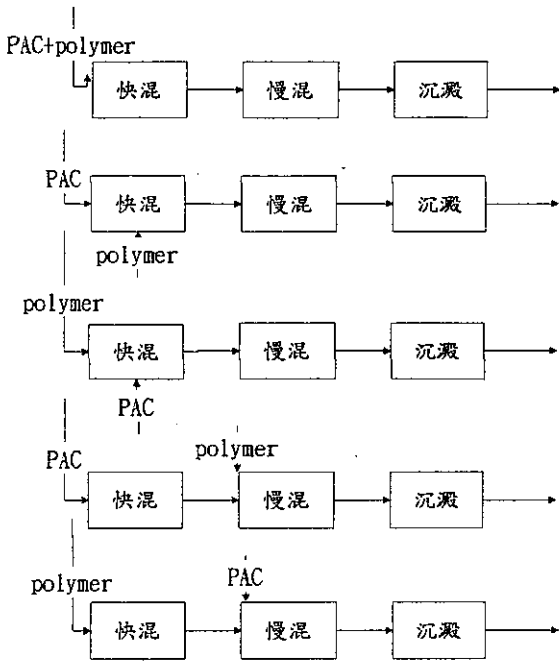
Twort, A. C., Ratnayaka, D. D. and Brandt, M. J., "Chap 7: Storage, Clarification and Filtration of Water", Water Supply. 5th, E. Arnold, Lodon, pp. 267, 1990.

表一 人工原水水質參數

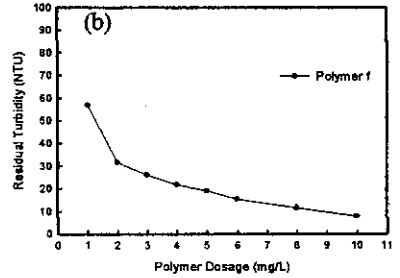
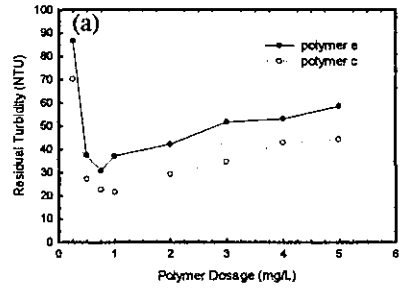
水質參數	人工原水		實驗室自來水
	250 NTU	1000 NTU	
pH	8.11	8.19	8.01
鹼度 (mg/L as CaCO ₃)	140.5	140	134
濁度 (NTU)	1025	224	0.15
NPDOC (mg-C/L)	2.401	1.77	0.29
UV254 (cm ⁻¹)	0.067	0.042	0.010
界達電位 (mV)	-15.4	-15.3	---

表二 本研究採用的 polymer 種類

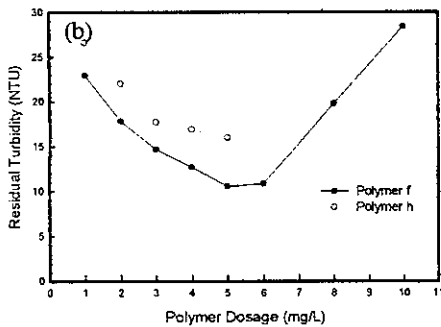
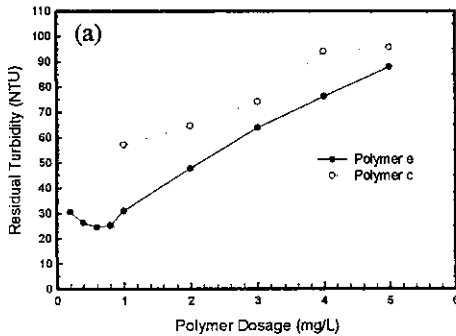
編號	型號	主成分	限制加藥量 (mg/L)	電性/電荷密度 (coulombs/g)	分子量 (萬)	提供廠商	認證
a	Kasfloc 831 AP	Polyacrylamide (PAM)	1 mg/L	陰離子型/-311	高分子量	PT. Kastraco	FDA
b	Magnafloc LT27	Polyacrylamide (PAM)	1 mg/L	陰離子型/-203	高分子量	Ciba Specialty Chemicals	NSF
c	A-110 PWG	Polyacrylamide (PAM)	1 mg/L	陰離子型/-168	高分子量 (約 1600)	Cytec	NSF
d	Kurifloc PA-322	Polyacrylamide (PAM)	1 mg/L	陰離子型/-98	高分子量 (約 900)	Kurita	USEPA
e	Magnafloc LT20	Polyacrylamide (PAM)	1 mg/L	非離子型	高分子量 (約 780 萬)	Ciba Specialty Chemicals	NSF
f	Magnafloc LT35	Poly (DADMAC)	10 mg/L	陽離子型/220	低分子量	Ciba Specialty Chemicals	UK
g	CT-4000	Poly (DADMAC)	10 mg/L	陽離子型/211	低分子量 (約 30)	聯合國際	
h	Superfloc 573c	Epi-DMA Polymer	20 mg/L	陽離子型/310	低分子量 (約 5~10)	Cytec	NSF
i	CT-5000	Epi-DMA Polymer	20 mg/L	陽離子型/318	低分子量 (約 10)	聯合國際	



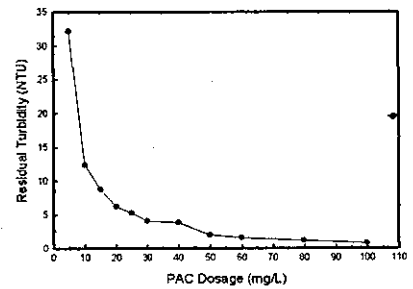
圖一 瓶杯試驗中加藥點的設計



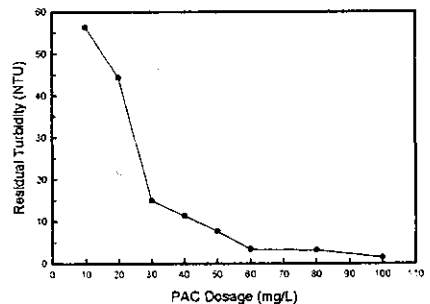
圖三 各種 polymer 劑量與殘留濁度之關係 (1000 NTU 人工原水)(a)陰離子型及非離子型 polymer (b)陽離子型 polymer



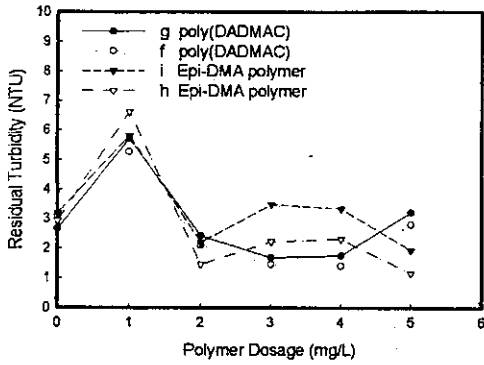
圖二 各種 polymer 劑量與殘留濁度之關係 (250 NTU 人工原水) (a)陰離子型及非離子型 polymer (b)陽離子型 polymer



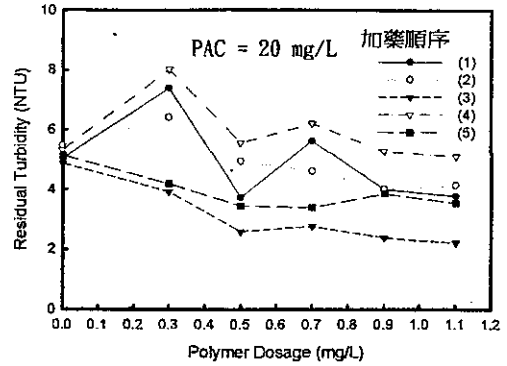
圖四 PAC 劑量與殘留濁度之係 (250 NTU 人工原水)



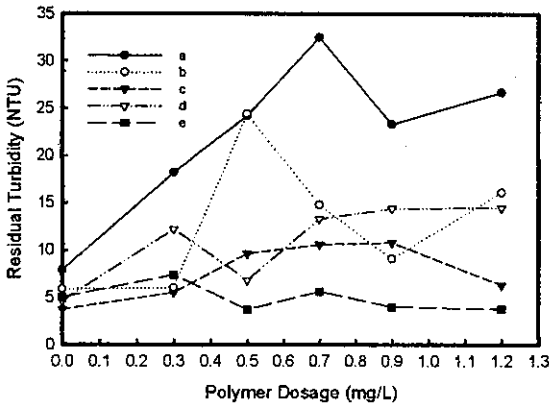
圖五 PAC 劑量與殘留濁度之關係 (1000 NTU 人工原水)



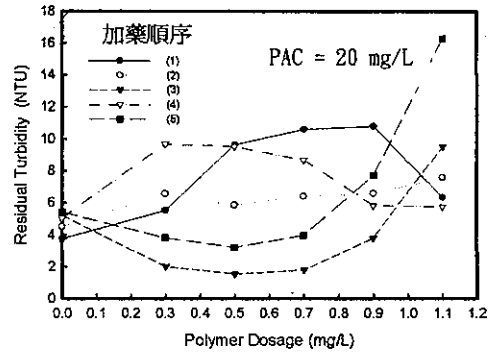
圖六 PAC 配合陽離子型 polymer 之劑量與殘留濁度關係圖(250 NTU 人工原水)



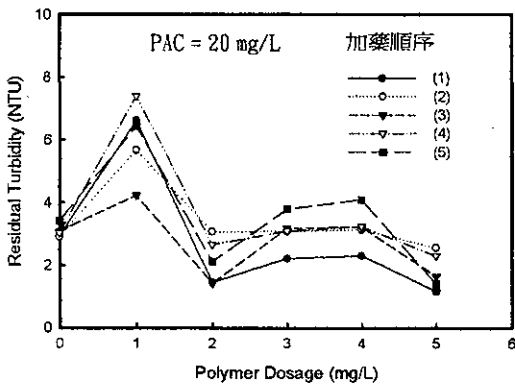
圖九 不同加藥順序下, PAC 配合 polymer e 劑量與殘留濁度之關係(250 NTU 人工原)



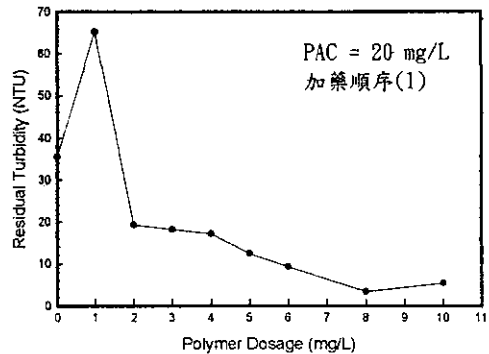
圖七 PAC 配合陰離子型及非離子型 polymer 之劑量與殘留濁度關係圖(250 NTU 人工原水)



圖十 不同加藥順序下, PAC 配合 polymer c 劑量與殘留濁度之關係(250 NTU 人工原水)



圖八 不同加藥順序下, PAC 配合 polymer h 劑量與殘留濁度之關係(250 NTU 人工原水)

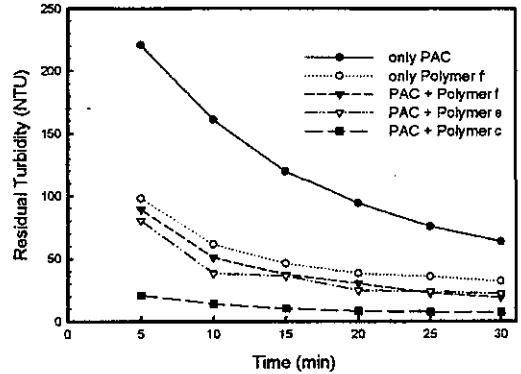


圖十一 PAC 配合 polymer f 之劑量與殘留濁度關係圖(1000 NTU 人工原水)

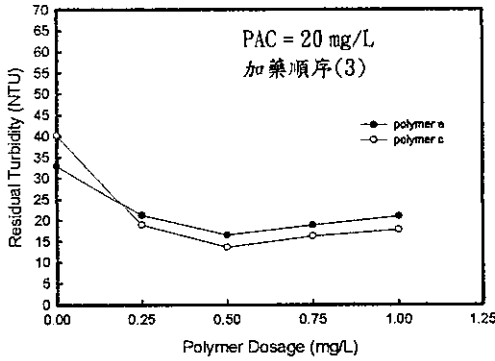
表三 坪頂淨水廠原水水質參數

水質參數	1*	2*
導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	310	313
pH	7.9	8.0
鹼度 (mg/L as CaCO_3)	108	111
濁度 (NTU)	1233	1171
UV254 (m^{-1})	0.054	0.056
界達電位 (mV)	-16.4	-16.0

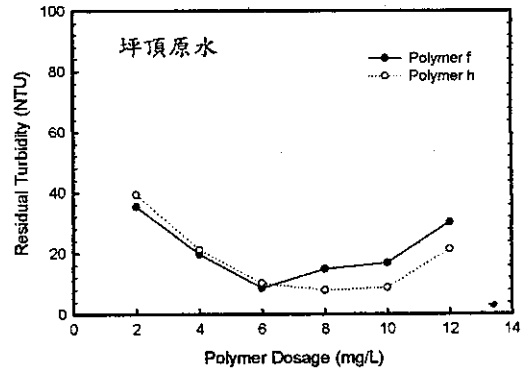
* 1, 2 表示重複測定



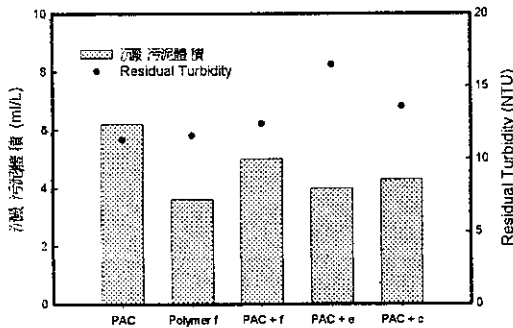
圖十四 各種加藥方法下所形成膠羽之沉降情形(1000 NTU 人工原水)



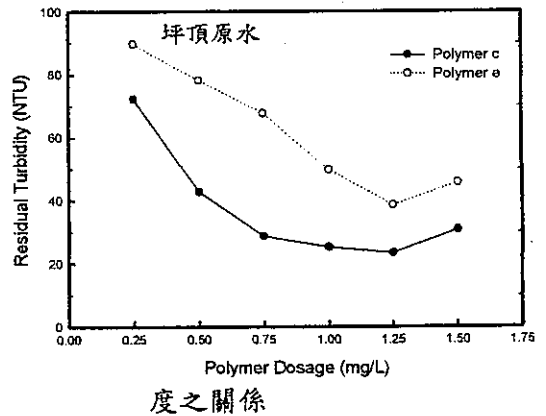
圖十二 PAC 配合 polymer e 及 polymer c 之劑量與殘留濁度關係圖 (1000 NTU 人工原水)



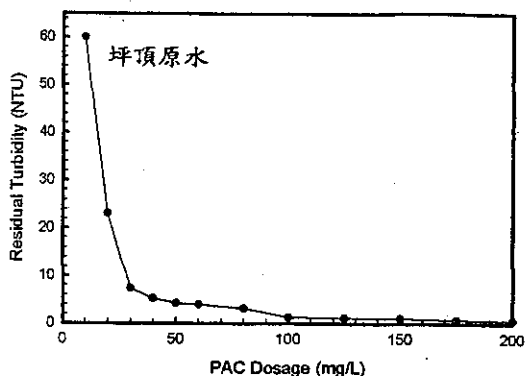
圖十八 陽離子型 polymer 劑量與殘留濁



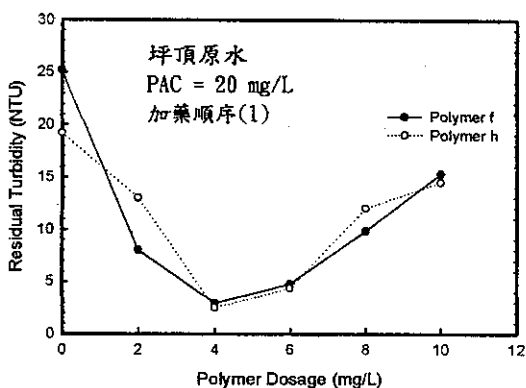
圖十三 各種加藥方法下殘留濁度與沉澱污泥體積之關係 (1000 NTU 人工原水)



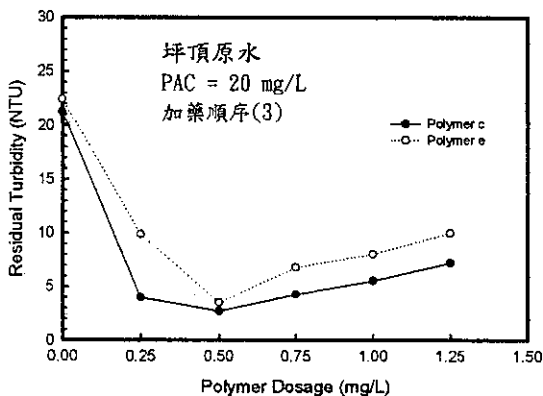
圖十九 陰離子型及非離子型 polymer 劑量與殘留濁度之關係圖



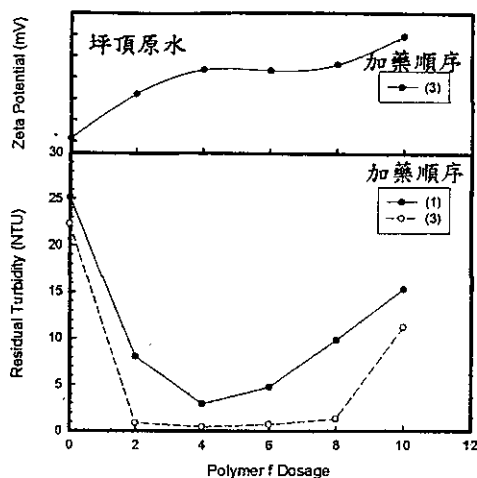
圖二十 PAC 劑量與殘留濁度之關係



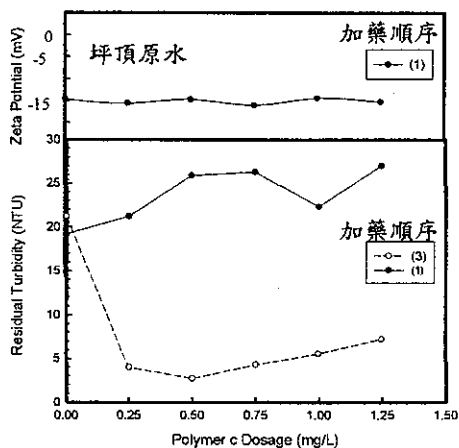
圖二十一 PAC 配合陽離子型 polymer 之劑量與殘留濁度關係圖



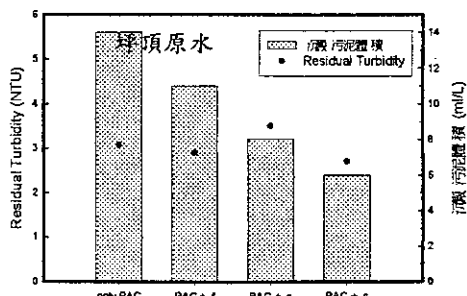
圖二十二 PAC 配合陰離子型及非離子型 polymer 之劑量與殘留濁度關係圖



圖二十三 不同加藥順序下，PAC 配合 polymer f 劑量與殘留濁度及界達電位之關係



圖二十四 不同加藥順序下，PAC 配合 polymer c 劑量與殘留濁度及界達



圖二十五 各種加藥方法下殘留濁度與沉澱污泥體積之關係(殘留濁度約 3 NTU)