

應用光纖偵測技術決定混凝加藥量之研究

An Fiber-Optical Technique for Monitoring the Doseage of Coagulation

黃志彬* 陳國聲** 吳志超***

摘要

水處理單元中混凝程序的加藥控制一直是水處理自動化的瓶頸，但尚缺乏有效的監控方法對混凝膠凝行為作即時監控。光纖膠羽偵測技術為使用光學的方法，利用量測穿透懸浮液的光強度變動情形作為膠羽生成大小的指標，並可依其作為現場混凝監控及決定混凝膠凝最適加藥量之方法。本研究利用批次實驗探討PDA(Photometric Dispersion Analyzer)在各種情況下的操作，評估用於實場監控膠凝的可行性及實用性。

由結果顯示監測的過程中，PDA可以靈敏地偵測出不同混凝劑量對膠羽生成之效應，其輸出值的最大值表示生成最大程度且沈降性最良好之膠羽，可用來作為決定最適加藥量之依據。PDA適合不同種類混凝劑的監測，能即時得到膠凝生成膠羽大小特性之資料。此外在不同的濁度情況之下，尤其是高濁度，亦能正常操作，顯示其能適應濁度突然變化的情況，而且能正確地指出最適藥量。另外，使用實場濁度顆粒測試的結果顯示其和高嶺土濁度有相同的趨勢，監測值不會因實場顆粒複雜的組成而有波動之情形。由上述的結果指出，使用光纖偵測技術最適合作為現場監測膠凝及決定混凝加藥量的技術。

而比較近年發展出之流導電流技術(Streaming Current Detector, SCD)，其在使用上會遭遇到高濁度及生成膠羽使感應棒阻塞而需時常清洗、高離子強度原水使訊號衰減及實場顆粒帶電性質複雜導致監測值波動等問題，使用光纖技術將不會有這些困擾，因此在決定混凝加藥上其為一極具潛力之監控方法。

一、前言

混凝/膠凝(Coagulation & Flocculation)，是水及廢水物化處理的重要處理單元，其關係著操作正常與否及處理水質的好壞。然而在混凝加藥方面，以淨水為例，往往僅根據操作者的經驗(如原水濁度)或不定期的施行瓶杯試驗(Jar Test)來決定混凝的加藥量，不但耗費人力且不符合科學，尤其當水質迅速變化時，常導致處理上的延遲，致淨水效率不彰。

* 交通大學環境工程研究所副教授

** 交通大學環境工程研究所碩士

*** 逢甲大學講師交通大學環境工程研究所博士班

目前在淨水混凝方面，混凝劑大都以硫酸鋁(Alum)及多元氯化鋁(PACl)為主，為了確保混凝的效果，通常使用超量加藥以達到沈澱拌除方式被廣泛的採用著，因此容易造成混凝劑的大量殘餘及成本上的浪費。1988年Letterman等曾提出對殘餘鋁量的研究，認為淨水的出水中所殘留的鋁鹽來自混凝劑的殘餘，而且攝取過量鋁鹽可能導致神經系統的疾病(如老年癡呆症)。鑒於此，歐美各先進國家已訂出鋁鹽的殘餘標準。除此之外，使用聚合物形態的混凝劑如 acrylamide，若其混凝後的殘餘量過高，也將對人體產生神經毒性。因此，不論淨水或廢水處理，使用過多的混凝劑量，其超量的殘餘將對人類及水體生態造成影響。

基於健康及經濟上的理由，如何決定混凝/膠凝程序上的適當混凝劑量，實屬必要，而這又得仰賴能即時監測混凝/膠凝程序技術之應用。因此本研究採用新的即時監測膠凝之技術，探討其應用於監測膠凝行為的可靠性，期能解決混凝加藥上所面臨的問題。

二、光纖偵測技術

藉由監測懸浮液的膠凝聚集情況，可以作為控制混凝加藥的方法。而用來作為監測混凝膠凝的技術，必須能連線即時監測，並且水樣不必經過前處理(例如稀釋)，因此很少技術能夠滿足這樣的要求。傳統顆粒計數及量測大小的方法，不論是利用電子方式或光學方式測量，通常需要很大的稀釋倍數以避免顆粒相互遮蔽產生的共同效應(coincide effect)。

對於懸浮液膠凝的監測及控制，詳細的顆粒大小分布情形並不是很必要的，這些大量的顆粒大小分布的數據，只會增加控制上的困難度。因此只需要一個能描述聚集情況的簡單指標就能夠即時地測量聚集情況。針對這些問題，Gregory及Horn發現了一種新的技術可用來監測流動懸浮液之聚集情形，基本上這種技術是量測穿過流動懸浮液光強度之變動情形。

由光穿透過懸浮液，並量測其穿透光的強度，我們可以決定一個懸浮液的濁度，若組成顆粒為單一分布，可以得到如式(1)的結果：

$$\frac{V_0}{\bar{V}} = \exp(\tau \cdot \ell) = \exp(NA_p \ell) \quad (1)$$

其中 V_0 : 入射光相對之電壓輸出

\bar{V} : 入射光穿透過懸浮液之相對平均電壓輸出

τ : 濁度

N : 單位體積之顆粒數目

A_p : 顆粒之散射截面積

ℓ : 通過懸浮液之光徑長

在懸浮液中，特定體積內懸浮液的顆粒進行布朗運動隨機擴散進出此特定體積，而使得此定義體積內的顆粒數目隨機改變。這隨機改變的機率符合卜瓦松分布(Poisson Distribution)，其在統計上有一個有用的特性就是相對於平均數目 \bar{v} 的標準偏差恰為 $\bar{v}^{1/2}$ ，也就是說如果已知平均顆粒數目是500，則實際數目將是在 500 ± 45 (95%的可信賴區間，2個標準偏差) 的範圍內。前面這些論述不只是針對布朗運動，只要在任何攪拌良好的懸浮液，其所含顆粒進出特定體積是隨機變化，也一樣符合Poisson Distribution。

考慮懸浮液流經光徑管如圖二所示，若光徑長為 ℓ ，有效光徑截面積為 A_c ，因此測試體積為 $A_c \ell$ ，則在光徑中的顆粒平均數目 $\bar{v} = NA_c \ell$ ，將其與(1)式結合，針對單一分布之懸浮液可得到(2)式：

$$\frac{\bar{I}}{I_0} = \frac{\bar{V}}{V_0} = \exp\left(-\bar{v}A_p/A_c\right) \quad (2)$$

其中 I_0 : 入射光相對應之電流

\bar{I} : 入射光穿透過懸浮液後相對應之平均電流

A_c : 光徑之截面積

當懸浮液流經過光徑，在光徑中的真實顆粒數目將會針對其平均數目而隨機變動。例如已知一個懸浮液中的單位體積顆粒平均數目為1000，則在光徑中實際觀察其顆粒數目可能為998、990、1003、1008等數值，相對於平均值有一隨機的變動存在。最簡單的變動訊號是其均方根值(root mean square value)，考慮穿透光強度去除平均值部分(dc component)而剩下相對平均值的變動部分(ac component) (見圖一)。結果，變動值的輸出電壓 V_{rms} 相當於平均輸出電壓 \bar{V} 的標準偏差。理論上，rms值和變動訊號的頻率無關，因此和流量無關。

Gregory利用式(2)來導出 V_{rms} 。其利用光徑中的顆粒變化將會高於或低於平均值一個標準差，其差異為兩個標準差而導出 V_{rms} 如式(3)及(4)：

$$V_{rms} = V_0 \left[\exp(-NA_p \ell) \right] (N\ell/A_c)^{1/2} A_p \quad (3)$$

$$\text{or } V_{rms} = \bar{V} (N\ell/A_c)^{1/2} A_p \quad (4)$$

其中 V_{rms} : 針對穿透懸浮液平均電壓所變動之均方根電壓

由(3)式及(4)式指出， V_{rms} 的值決定於顆粒的散射截面積及其顆粒濃度（光徑之長度和截面積為固定）。可以直接由(4)式得到 V_{rms} 和 \bar{V} 的比值，如式(5)：

$$\frac{V_{rms}}{\bar{V}} = \left(\frac{N\ell}{A_t} \right)^{1/2} A_p \quad (5)$$

這個ratio值將會隨著顆粒濃度的根號值而有線性關係。但在顆粒非單一分布的懸浮液中，用(6)的表示式來表示：

$$\frac{V_{rms}}{\bar{V}} = \left(\frac{N\ell}{A_t} \right)^{1/2} \left(\sum N_i A_{pi}^2 \right)^{1/2} \quad (6)$$

其中 A_{pi} : i 粒徑顆粒之散射截面積

N_i : i 粒徑顆粒之數目

當顆粒產生聚集，顆粒的數目濃度下降，但是聚集顆粒的散射截面積將比沒有聚集的顆粒大。相對地，在所有實際上的例子，當聚集發生時， V_{rms}/\bar{V} 之值明顯地增加，將導致 V_{rms}/\bar{V} 增加，若由示波器顯示混凝前後 V_{rms} 變動之情形如圖二所示。當此比值（本研究稱其為膠凝指標(F Index)）愈高，表示其生成膠羽愈大。

三、實驗材料與方法

3.1 試劑的配製

1. 人工合成濁度原水: 依照所需要的濁度濃度，將適量的高嶺土(koalinite, Nacalai Tesque)以實驗室的自來水(離子強度 $2-5 \times 10^{-3} N$)配製人工合成濁度原水，以高嶺土來模擬原水中的膠體顆粒，分別模擬20、80、200NTU的濁度，代表低、中、高的不同濁度變化。而且為了使實驗條件一致，一次配製的量以足夠相關試驗之使用為原則。
2. 實場原水顆粒: 實場原水顆粒為自豐原淨水場所採集的原水顆粒，保留沈降後之顆粒。混合實驗室內的自來水，配製出需要的濁度來測試。
3. 硫酸鋁溶液: 使用 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (Merck 出品)
4. 聚合物混凝劑: 使用由開廣公司提供液態之陽離子型聚合物 Cat Floc-T，其組成的單體為 DMDAAC (Dimethyl Diallyl Ammonium Chloride)
5. 多元氯化鋁: 由豐原淨水場提供經過檢驗且組成分符合 CNS 國家標準之 PACI 溶液，所含 $AlCl_3$ 之比率介於 10%-11%
6. 標準顆粒: Duke Scientific Corp. 之標準顆粒

3.2 實驗設備

濁度計：使用HACH型號RATIO的濁度計

pH meter：使用SCHOTT CG840之pH meter

蠕動泵：使用WATERSON的蠕動泵

攪拌器：Forgo 型號 DCG-54M 及EYELA型號DC-RT

杯瓶試驗機：使用Phips & Bird之杯瓶試驗機

界達電位儀(Zeta Meter)：美國ZETER-METER Inc.型號Zeter-Meter System3.0*

PDA (Photometric Dispersion Analyzer)：光纖膠羽分析儀(PDA2000, Rank Brothers Ltd.)

3.3 界達電位分析

當懸浮液加入混凝劑之後流經PDA一定時間，記錄其所顯示之膠羽指標值，在水樣移作Jar Test之前取適量水樣置於電泳室內，通上適當電壓，促使帶電微粒向電極移動。由顯微鏡觀察電泳現象，儀器將換算顯示出界達電位。

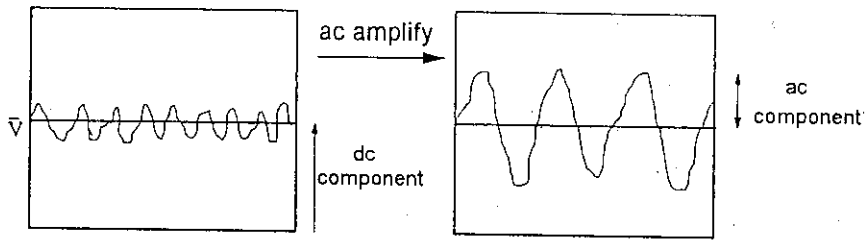
由於膠凝發生時，顆粒聚集長大，很容易因重力而在觀察的過程之中沉降，因此在量測界達電位時通常在1min之內完成其測定，每個水樣迅速地重複量測10次，取其平均值避免產生誤差過大的情形。

3.4 殘餘濁度的分析

記錄了PDA之讀值後，將反應槽內已經過快混的懸浮液置於瓶杯試驗機下，以17-20rpm的攪拌速率進行慢混，20min之後移出靜置20min，取其液面下5cm處之水樣，由濁度計測其殘餘濁度。

3.5 光纖膠羽偵測儀PDA2000

光纖膠羽偵測儀PDA2000（見圖三），流動的懸浮液被一高強度發光二極體所發出的細微光線照射，照射的體積很小（約為 1mm^3 ），而光源之波長為紅外光範圍之820nm。當懸浮液流動時，在光徑中的顆粒數目不斷更新，而這個變化將導致穿透懸浮液之光強度發生變動。光的強度由一個靈敏的光接收器偵測，而將其轉換成相當於光強度的電壓輸出。輸出的電壓有一個很大的固定組成(dc component)，即平均穿透光的強度（和懸浮液的濁度有關），以及一個非常小的變動組成(ac component)為針對平均顆粒數目變化的情形如圖一。這個技術設定針對平均值之變動均方根值放大後作為懸浮液中顆粒聚集的指標，但無法由這些讀值來對顆粒聚集的大小分布作一個定量的解釋。



圖一 穿透光變動之組成及放大情形

3.6 實驗的流程

實驗的配置如圖四，在進行實驗之前先要配製符合實驗所需要不同濁度之人工原水，通常快速攪拌一個小時以上，使其攪拌均勻，以量瓶取1L容量懸浮液倒入反應槽內。同時進行PDA的設定，先利用純水通過並調整DC輸出值為10Volts，再將反應槽內的懸浮液引出並流經PDA，將RMS輸出值調整為0.5Volts左右，至此實驗的準備工作大致完成。

當混凝劑加入反應槽中，迅速調整pH值，使其維持在7.0左右，快混槽的轉速維持在300rpm，提供混凝劑和膠體顆粒接觸的機會。與混凝劑充分混合後的懸浮液，經過纏繞於量筒上的彎管時，藉由彎管提供的剪力促使膠羽生成，以此模擬水處理程序中的慢混單元，並在通過PDA時被偵測出來。在本研究中定加藥之後的5min為記錄PDA輸出值的時間，這是由PDA對低劑量混凝劑隨時間的反應所決定出來的。

懸浮液流經PDA之後先引入一個cell，再由蠕動泵抽回，因為在抽回的過程中管線接觸大氣，使得蠕動泵的運作並不會影響到懸浮液以重力流流經PDA，但須注意的是為了不使水樣在cell之中累積，導致膠羽的成長，因此蠕動泵操作的流量將大於重力流之流量，以使水樣被抽回至反應槽中，維持反應槽的水位恆定及管線之中的流量不會改變。

懸浮液已被記錄其膠羽生成指標值之後，取出適量水樣作界達電位分析，同時將其餘水樣作Jar Test試驗，測其沈澱後表面水之殘餘濁度。至此，實驗完成一個run，接下來改變加入反應槽中的混凝劑量，重覆上述步驟，記錄PDA的輸出值和藥量的關係。

四、結果與討論

4.1 顆粒濃度的影響

PDA輸出之平均電壓 \bar{V} 及相對於 \bar{V} 之均方根值 V_{ms} 的關係，如(5)的關係式， $V_{ms}/\bar{V} = (NL/A_t)^{1/2} A_p$ 。因此當光徑的長度及光徑截面積為固定且顆粒大小維持不變時（即散射截面積 A_p 維持不變）， V_{ms}/\bar{V} 的比值（F Index值）將和顆粒數目濃

度的根號值成正比，本研究為證實此關係式而進行此實驗，使用不同顆粒濃度之高嶺土作實驗，測其通過PDA時之ratio值。實驗之結果如圖五，顯示顆粒濃度開根號值和ratio值 (V_{rms}/\sqrt{V} 值) 及rms值 (V_{rms} 值) 呈現良好的線性關係，亦即當顆粒濃度愈高時，其相對應之F Index值及rms值愈高。

4.2 顆粒大小的影響

為了印證顆粒大小對其之影響而進行此實驗，本研究使用單一分布之標準顆粒，依其粒徑大小及體積之關係分別以精密天平秤重，使不同粒徑所含之顆粒數目相近，則在此條件之下，式(5)中唯一的變數為顆粒的散射截面積，而和顆粒之大小成正比 (粒徑大於入射光波長之情形下)。結果如圖六顯示當顆粒粒徑愈大，所產生之F Index值愈高且和F Index成良好之線性關係，驗證了式(5)的結果。

雖然在膠凝的程序中，顆粒數目減少但顆粒因聚集長大，使得散射截面積跟著增大。而顆粒成長的效應將明顯地大於顆粒數目減少的影響，而使得ratio值 (F Index) 隨著膠凝的程度之增加而愈大。因此依據本實驗結果，F Index值可作為膠凝監測時生成膠羽的一個指標，當其值愈大表示生成的膠羽愈大。

4.3 應用不同混凝劑最適劑量之探討

使用不同的混凝劑，由於混凝劑本身的特性或者混凝/膠凝的機制不同，導致膠凝的行為有所不同，因此本研究對硫酸鋁、多元氯化鋁(PACl)以及陽離子型聚合物(Cat-Floc T)等三種混凝劑進行測試，探討其膠凝行為。

本研究嘗試以F Index監測膠凝曲線來決定混凝膠凝程序所需之最適混凝劑量，依不同的混凝劑分別以圖七至圖十五之結果討論如下：

(a) 硫酸鋁(見圖七、圖十及圖十三)：當使用鋁鹽作為混凝劑，由混凝沈澱後之殘餘濁度所得到的結果看來，雖然變化濁度之大小，但不論何種濁度之下，當F Index達到最高值時殘餘濁度皆達最低點。再添加過量之鋁鹽，由於掃除膠羽“sweep-floc”的作用及膠羽短時間沈降的結果，使得加入過度劑量時並沒有產生顆粒再穩定的現象且表面水之殘餘濁度並沒有上升的現象。由Dentel之研究指出在pH為7附近的範圍內，鋁鹽作用的機制為電性中和加上沈澱拌除或者純粹為沈澱拌除之作用，因此過量加藥並不產生再穩定的情形，導致過量加藥之殘餘濁度不會上升。

將F Index曲線對照界達電位的結果，發現不論何種濁度之下，F Index最高值皆產生在表面零電位點附近，顯示當濁度顆粒表面電性被中和時，可生成最大的膠羽。過量加藥時，顆粒電性逆轉，F Index值下降，顯示生成膠羽變小。

而一般混凝的操作在使用鋁鹽時，都以過量加藥的方法使其以沈澱排除的方式去除顆粒間的穩定。因此若改以PDA來控制混凝所需的加藥量，將可以避免混凝劑的浪費且得到穩定而良好的混凝效果。

(b) PACI(見圖八、圖十一及圖十四)：PACI的F Index膠凝曲線趨勢和鋁鹽相似，即PACI量多的時候，由於沈澱排除的作用及膠羽在短時間沈降的因素，使得由Jar Test表面水之殘餘濁度並無法看出過量加藥對於膠羽生成大小的影響。由隨劑量變化的界達電位來看F Index指標值，不論何種濁度之下，當F Index達到最大值時，顆粒所帶的電性都已逆轉而帶正電荷。這是由於PACI的聚集物具有相當高的表面積體積比(area-to-volume ratio)，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PACI吸附於顆粒時，顆粒表面電性雖由負電性轉為正電性，但顆粒表面仍有可以供多核鋁錯合物吸附的區位(site)，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，因此F Index值最高時之生成膠羽表面電性為帶正電性。

對於PACI來說，其生成最大程度膠羽時之劑量將會大於鋁鹽，以20 NTU的情形為例，鋁鹽之F Index達到最高值所需的劑量為1.4 mg l as Al，PACI則為7.3 mg/l as Al。但無論在實場的應用及研究上均指出使用PACI作為混凝劑，需要藥量將會比使用硫酸鋁的量為少，約為使用鋁鹽的一半。這是由於PACI之生成膠羽良好，因此不必添加至使其產生最大膠羽的劑量即可達到比鋁鹽好的效果。由此看來，在使用PACI時若依照F Index曲線來決定混凝最適藥劑量，將會比傳統加藥量要高，造成使用混凝劑的浪費，所以如果使用PDA系統來決定PACI的混凝劑量時，必須由控制的方法來改善加藥程序(例如由加藥量變動時F Index上升的程度控制或者加入其他輔助判斷的因子如顆粒表面電性)，以避免不必要的混凝劑之浪費。雖然如此，但PDA系統確實地觀察了PACI劑量對於膠羽大小的影響。

另外PACI在不同濁度下的試驗時，尖峰隨著顆粒濃度的增加而漸寬且漸趨緩和(見圖十六)，顯示PACI對於顆粒濃度高的懸浮液其最適加藥範圍也愈寬，Kaeding亦提及PACI適用於較高濁度的原水。

(c) polymer(見圖九、圖十二及圖十五)：不論在何種顆粒濃度之下，F Index曲線相對應於加藥劑量產生的尖峰均相當窄，顯示其最適藥量的範圍很狹窄。將此F Index曲線相對應於混凝沈澱之後的殘餘濁度結果顯示，當F Index達到最高值時，其對應的殘餘濁度為最低，一旦加入的混凝劑量超過最適劑量時，由於顆粒吸附聚合物達到飽和，致超量加藥將使得膠羽生成反而減小，其殘餘濁度上升。

以F Index及劑量的曲線對照界達電位結果顯示當顆粒濃度愈高的時候，產生最大膠羽劑量的界達電位往往尚未達到電性中和的程度，而且這趨勢將隨著顆粒濃度的增加而更趨明顯。當顆粒的濃度很低，達到最適劑量時顆粒幾乎為聚合物完全包覆，故此時界達電位約在0 mv左右，隨顆粒濃度增加，如原水濁度

200NTU時，其顆粒數目變多，加入最適劑量而產生最大膠羽時，卻無法將顆粒全部包覆，致此時的表面電性無法呈現電性中和的程度，若此時再繼續加入polymer時，將導致顆粒再穩定的現象發生。

總而言之，當使用polymer作為混凝劑時，由於其最適劑量範圍相當狹窄，加藥時不易以人工憑經驗判斷加藥劑量，很適合藉由PDA系統來控制其加藥量。

4.4 不同混凝劑膠羽大小

表（一）為三種混凝劑對三種不同濁度之原水進行膠凝作用所得到最大的F Index值，可以看出不論何種濁度之下，使用PACl將可產生最大程度的膠羽，其使得F Index的量測值為使用鋁鹽的兩倍左右。致使PACl產生較大膠羽的原因是由於多核鋁錯合物種的存在，導致PACl的生成膠羽比其他的混凝劑為大。而這也可以間接由Jar Test沈澱後殘餘濁度之結果來加以印證，使用PACl在F Index達到最高值的範圍時，可以使得殘餘濁度低至0.1 NTU的程度，遠低於使用硫酸鋁及polymer的結果，可以了解由於膠羽較大、沈降性較好所致。在鋁鹽及聚合物生成膠羽大小方面，Gregory提及使用聚合物的膠羽生成大小將會大於使用金屬鹽類所生成的膠羽，但本研究的結果顯示還需考慮到原水的濁度情況，如Cat-floc T除了在20NTU時所產生最大膠羽明顯地小於鋁鹽之外，而在80NTU及200NTU的情形之下，使用Cat-floc T將產生比鋁鹽大的膠羽。推測是由於低濁度下，因顆粒數目較少致顆粒間碰撞頻率低，使得一部份附著於顆粒之polymer因無法接觸其它顆粒而蜷縮回顆粒表面，使架橋作用不顯著所導致。

表（一），三種混凝劑相對三種濁度情形下之最大膠羽指標值

| | Alum | Cat-floc T | PACl |
|--------|------|------------|------|
| 20NTU | 2.50 | 1.44 | 5.21 |
| 80NTU | 2.94 | 3.29 | 5.93 |
| 200NTU | 3.06 | 4.35 | 6.44 |

4.5 不同濁度情形的探討

為了瞭解PDA一旦應用在實場上是否能夠適應濁度的變化以及對於高濁度情形的適用性，因此改變原水濁度作探討。圖十六之結果顯示，不論在低、中、高濁度，使用PDA都可以完整地監測膠凝時隨混凝劑量不同所顯示生成膠羽大小的變化，其F Index膠凝曲線之趨勢均相似。結果亦顯示不論何種混凝劑，顆粒濃度增加將使得F Index指標的最大值亦隨之增加。此可以根據Smoluchoski理論來說明，當顆粒濃度增加時，其碰撞頻率將會增加，導致生成較大的膠羽，另一方面則可能因為顆粒數目增加而影響F Index指標值(如4.1之說明)，兩者均會使得F

Index值上升。此外，若以F Index達到最高值對應之劑量為最適藥量，由F Index曲線針對各種不同濁度情況下所指出之最適藥量來看，在使用polymer方面，中濁度的最適藥量並沒有大於低濁度所需要的劑量，而在使用鋁鹽及PACl時則是中濁度所需的最適劑量都小於低濁度的情形。這是因為顆粒濃度低，碰撞機會少，必須使用較高劑量的混凝劑才可以解除顆粒間之穩定。

表(二),三種混凝劑對應三種濁度情形下由F Index決定之最適劑量

| | Alum (mg/l) | Cat-floc T (ppm) | PACl (ppm) |
|--------|----------------|---------------------|---------------|
| 20NTU | 17.28 | 0.2 | 30 |
| 80NTU | 7.38 | 0.2 | 22 |
| 200NTU | 22.22 | 0.35 | 64 |

因此推估在實場應用時，對於突然增加的濁度PDA也能適應並且對其膠凝行為為有效監測。本研究亦嘗試一組異常高濁度(1750NTU)之試驗(見圖十七)，結果顯示PDA可正常操作，幾乎不受異常濁度的影響，因此應用PDA之適用濁度範圍很廣。所以應用此技術進行自動監測，將可適用在常受濁度異常干擾之台灣自來水原水中。Gregory曾嘗試使用PSL標準顆粒來測試PDA的偵測極限，發現即使在 2×10^9 particles/ml的顆粒濃度之下，亦不受影響。比較其它利用光學監測膠凝的方法，不僅可以連續監測，對於高濁度水樣的測試也不需要將水樣前處理稀釋後再做測試，而可以達到即時監測之目地。

4.6 應用實場顆粒的測試

由於整個實驗過程中皆使用高嶺土作為人工原水顆粒，而不同的懸浮顆粒種類具有不同的物化性質(如大小、表面電荷)，顆粒的性質將會影響到混凝/膠凝作用時膠羽之生成，因此以不同性質的濁度顆粒來作測試。而為了瞭解在實場應用上的情形，選擇使用豐原淨水場的原水顆粒進行實驗，評估實驗室人工原水顆粒和實場原水顆粒的膠凝行為之差異性。

本研究中所採集之實場原水顆粒，在觀察界達電位顆粒電泳的過程中，可以明顯地看出其大小比實驗室中的人工濁度要小很多，此外界達電位的測量顯示在pH 7時其表面所攜帶的負電荷(界達電位為-17.7 mv)要比高嶺土(界達電位為-12.2 mv)大。在以光學作為偵測之技術，顆粒種類的改變會影響偵測之因子除了顆粒的大小之外，顆粒的散射性質包括不同性質顆粒具有不同散射常數及顆粒外形等，都會對這些光學技術的偵測產生不同的效應。

使用實場原水顆粒進行加藥試驗結果如圖十八及圖十九，可以看出實場顆粒和高嶺土顆粒具有同樣的趨勢，因此將PDA應用於實場上，同樣能夠偵測實場複雜的顆粒組成之膠凝行為，而且和實驗室的人工原水有著類似的膠凝行為。此外，比較相似濁度（模擬原水為20 NTU、實場原水為25 NTU）之情形下的這兩種顆粒之膠凝現象（見圖十九），使用人工原水的F Index最大值比使用實場濁度的大，顯示出使用高嶺土生成之膠凝聚集物將會比使用實場原水產生之膠羽大，而且達到最大值所需的劑量也比使用實場濁度顆粒來得低，顯示人工原水經加藥混凝所生成沈降性最好之膠羽所需的最適劑量小於實場濁度。這樣的結果可以由不同的顆粒大小得到合理的解釋，依據Smoluchoski的理論，顆粒的碰撞頻率正比於顆粒半徑的三次方及正比於顆粒數目的平方，兩種原水之顆粒大小不同對於碰撞頻率所表現的效應將明顯地有差異，亦即高嶺土顆粒之碰撞頻率將明顯地大於實場原水顆粒，因此將導致人工原水之生成膠羽大於實場原水所產生的膠羽，也使得其聚集的最適劑量將低於實場所使用之劑量。因此，在實驗室的高嶺土顆粒和實場顆粒的膠凝行為非常類似，且PDA能靈敏地指出最適藥量的不同。此與過去利用流導電流偵測時，受天然顆粒組成份複雜致帶電性不均而使偵測值波動之情形不同，亦即PDA的監測並不因為顆粒組成複雜而產生監測值波動的情形，而純粹反應出生成膠羽大小的特性。

4.7 光纖偵測技術與流導電流技術比較

由本研究對光纖偵測技術之各種條件進行測試，所獲致之結果和流導電流技術作比較，歸納如表（三）：

表（三），光纖偵測技術與流導電流技術之比較

| | 光纖偵測技術 | 流導電流技術 |
|--------|---------------------|-----------------|
| 偵測方式 | 膠羽生成大小 | 顆粒表面電性 |
| 濁度適用範圍 | 適用範圍廣 | 不適用高濁度 |
| pH | 不會影響 但反應出膠羽大小 | 隨pH變化 會影響偵測值 |
| 色度物質 | 不影響 | 不影響 |
| 離子強度 | 不影響 | 影響大 |
| 附著干擾 | 管壁附著影響可扣除 不須時常清洗 | 感應棒附著 須時常清洗 |
| 實場顆粒應用 | 輸出值穩定 | 輸出值可能波動 |

由表(三)之結果顯示使用PDA之光纖偵測技術在監測膠凝行為方面將比流導電流技術具有多方面之優越性，更適合對條件複雜原水之膠凝作監測。

五、結論

1. PDA的輸出值可以正確地指示出膠凝初期膠羽生成大小的情形，並可依輸出值達到最大時所對應之劑量認定為混凝最適劑量。
2. 應用光纖膠羽偵測技術，可以適用於不同混凝劑膠凝行為之監測，並可依PDA輸出值決定最適劑量。
3. 不同濁度濃度的變化，尤其是高濁度的情形下，PDA系統亦能正常操作，顯示一旦用於實場監測，將能適應濁度驟升的情況。
4. 實場顆粒之膠凝行為與高嶺土顆粒之膠凝行為類似，使用PDA能正確地指出其生成膠羽大小及最適劑量之差異。
5. 應用PDA作監測膠凝，要謹慎地選擇操作條件，如流速、攪拌情況及記錄時間等，以避免誤判最適劑量的情形發生。
6. 離子強度、pH及色度將不會影響PDA的操作，故PDA之使用範圍將不限於淨水膠凝行為之監測。
7. 光纖偵測技術將比流導電流技術更適於作為連續監測膠凝行為之工具。

六、建議

1. 本研究為批次實驗，建議後續之研究採取連續式試驗。
2. 本研究僅探討濁度對於生成膠羽大小及加藥量之關係，對於會影響膠凝行為之因子如有機物等並未加以探討，建議後續研究可以考慮探討有機物吸附量與膠羽生成之關係並判別其對最適劑量之影響。

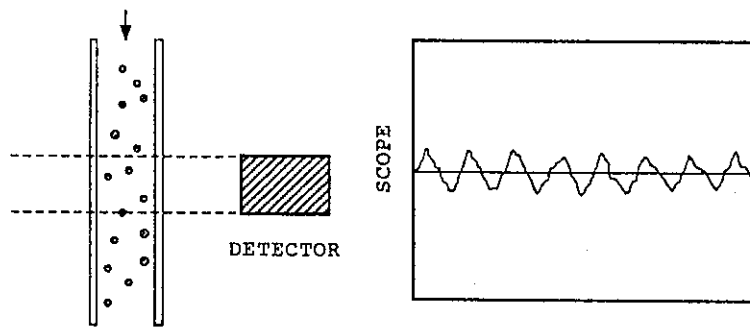
七、參考資料

- [1] Gregory, J. , "Flocculation in laminar tube flow," *Chem. Eng. Sci.*,36,1789-1794,1981.
- [2] Gregory, J., "Turbidity Flutuations in flowing suspension," *J. Colloid Interface Sci.*,105,2,357-372,1985.
- [3] Eisenlauer, J. and D. Horn, "Fiber-optic sensor for flocculant dose control in flowing suspension," *Colloids and Surf.*,14,121-134,1985.
- [4] Gregory, J. and W. D. Nelson,, "Mornitoring of aggregates in flowing suspension," *Colloid and Surf.*,18,175-188,1986.

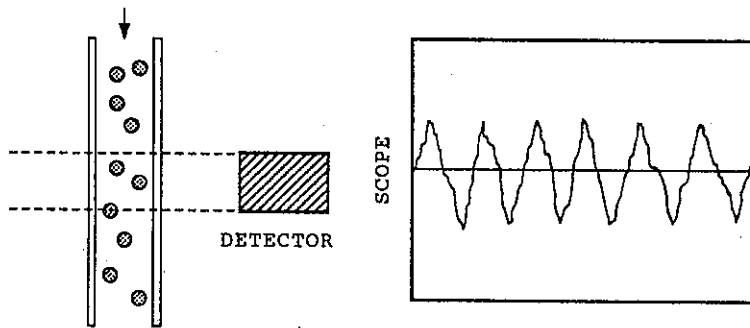
- [5] Eisenlauer, J. and D. Horn, "Fiber-optic on-line Flocculant dose control in water treatment operations," *Colloid Surf.*, **25**, 111-129, 1987.
- [6] Kayode, T. O. and J. Gregory, "A new technique for monitoring alum sludge conditioning," *Wat. Res.*, **22**, 85-90, 1988.
- [7] Gregory, J., "Laminar dispersion and the monitoring of flocculation processes," *J. Colloid Interface Sci.*, **118**, 397-409, 1987.
- [8] Guibai, L. and J. Gregory, "Flocculation and sedimentation of high-turbidity waters," *Wat. Res.*, **25**, 1137-1143, 1991.
- [9] Lee, S. Y. and J. Gregory, "The effect of charge density and molecular mass of cationic polymers on flocculation kinetics in aqueous solution," *Water Supply*, **9**, 11-17, 1991.
- [10] Matsui, Y. and N. Tambo, "Online floc size evaluation by photometric dispersion analyzer," *Wat. Supply*, **9**, 71-78, 1991.
- [11] Ito, T. et al., "Advances in photometric dispersion analyzer with dual wavelength light," *Wat. Sci. Tech.*, **27**, 257-260, 1993.
- [12] Matsui, Y. et al., "Dual wavelength photometric dispersion analysis of coagulation and flocculation," *Wat. Sci. Tech.*, **27**, 153-165, 1993.
- [13] Jackson, P. J. and E. J. Tomlinson, "Automatic coagulation control-evaluation of strategies and techniques," *Wat. Supply*, **4**, 55-67, 1986.
- [14] Ching, H. W. et al., "Dynamic of coagulation of clay particles with aluminum sulfate," *Env. Eng.*, **28**, 169-189, 1994.
- [15] Gregory, J. and D.W. Nelson, "A new optical method for flocculation monitoring," *Solid-liquid separation*, Ellis Horwood, pp172-182, 1984.
- [16] Eisenlauer, J. and D. Horn, "Influence of shear and salt on flocculation in laminar tube flow," *Solid-liquid separation*, Ellis Horwood, pp183-195, 1984.
- [17] 陳建中, "流導電流儀在淨水混凝/膠凝程序中自動加藥控制之研究," 交通大學環境工程研究所碩士論文, 民國八十二年。

八、致謝

研究期間，感謝自來水公司張進興先生之協助。本研究承國科會專題研究補助經費 (NSC 83-0410-E009-027) 而完成，謹致以謝意。

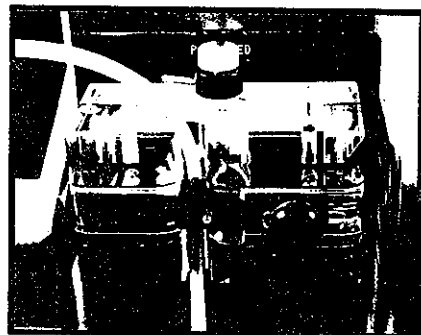
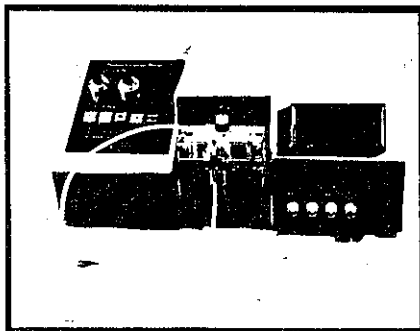


BEFORE FLOCCULATION

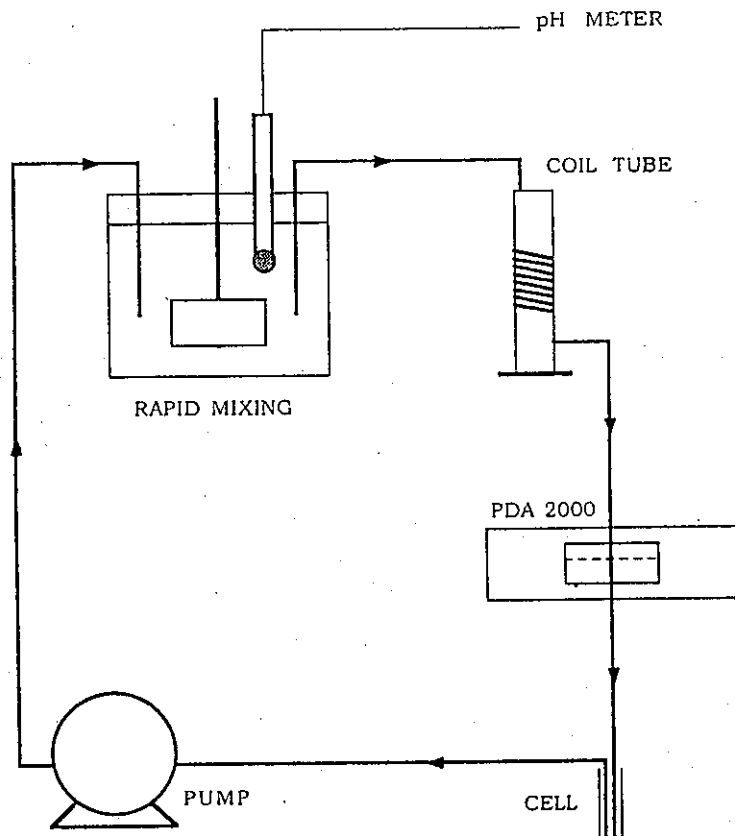


AFTER FLOCCULATION

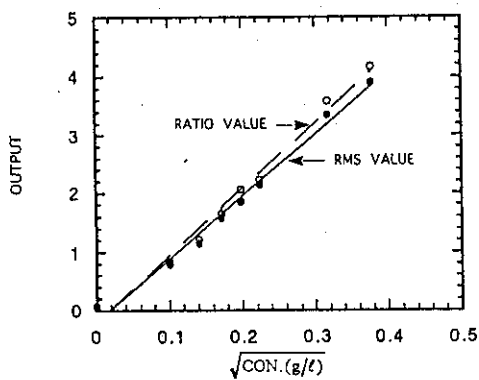
圖二 懸浮液膠凝前後流經PDA之光強度變動情形



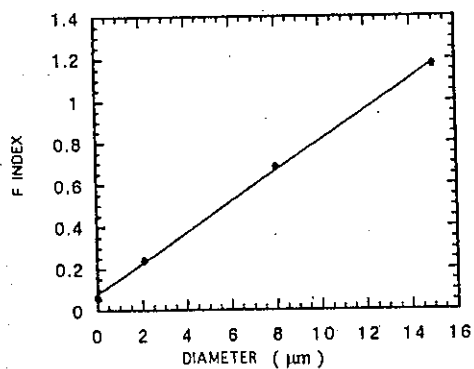
圖三 光纖膠羽偵測儀 PDA 2000



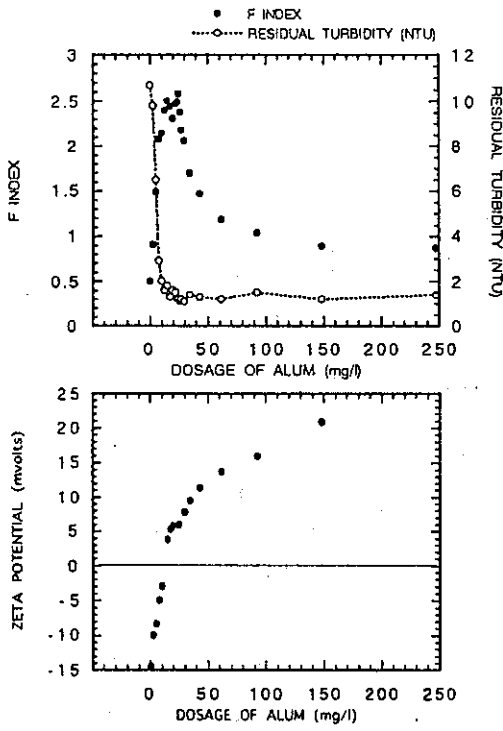
圖四 實驗設備圖



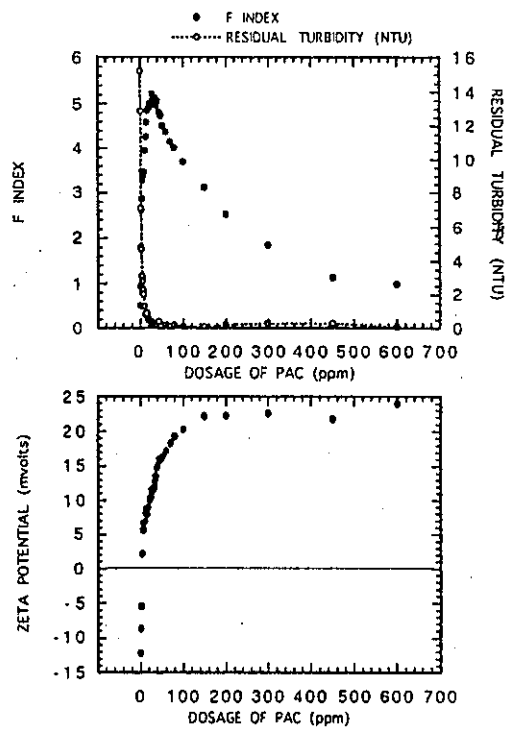
圖五 顆粒濃度和輸出值之關係



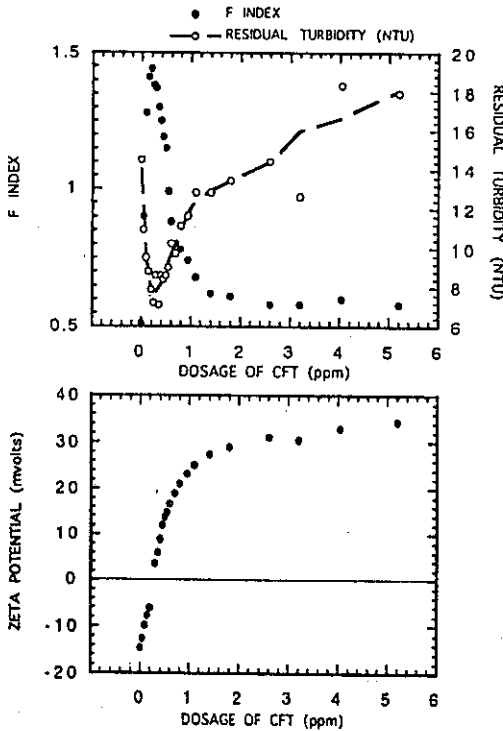
圖六 顆粒大小和F Index之關係



圖七



圖八



圖九

圖七(a) 20 NTU下F Index及膠羽經沈澱後上澄液殘餘濁度與鋁鹽劑量之關係

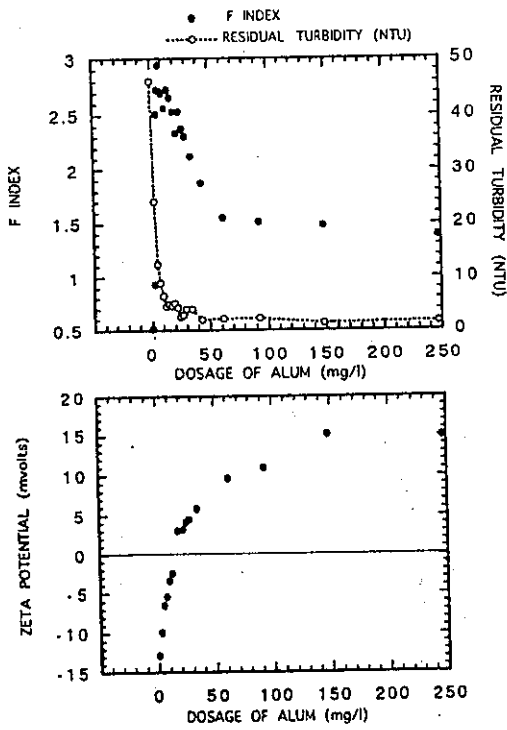
圖七(b) 20 NTU下膠羽表面界達電位與鋁鹽劑量之關係

圖八(a) 20 NTU下F Index及膠羽經沈澱後上澄液殘餘濁度與PAC劑量之關係

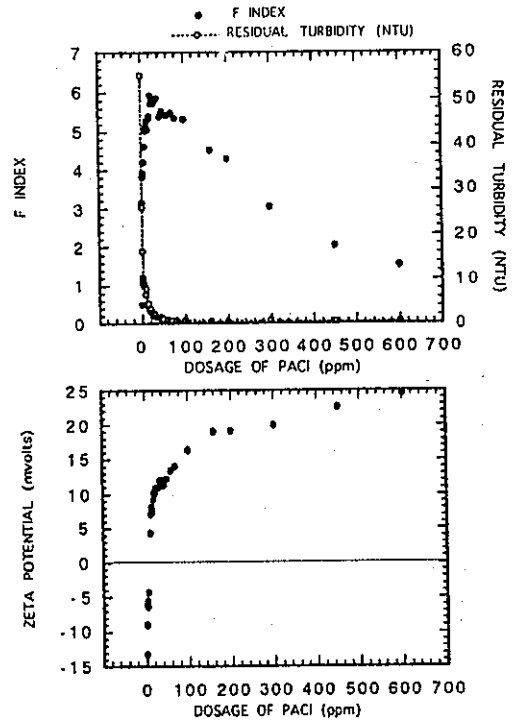
圖八(b) 20 NTU下膠羽表面界達電位與PAC劑量之關係

圖九(a) 20 NTU下F Index及膠羽經沈澱後上澄液殘餘濁度與Cat-floc T劑量之關係

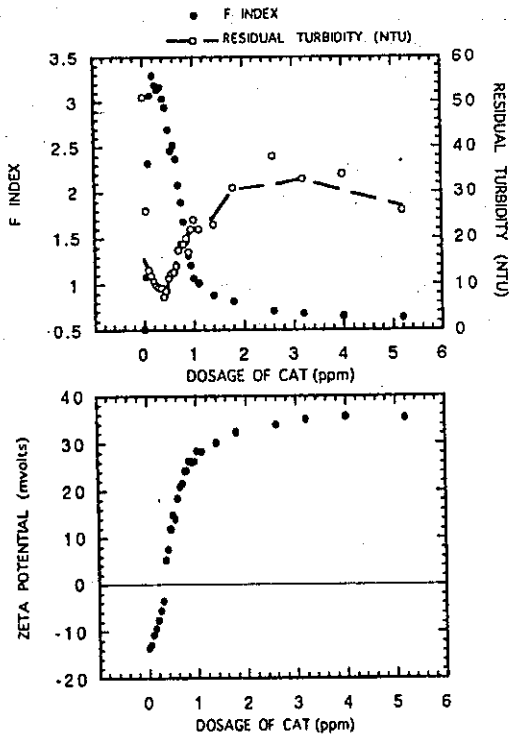
圖九(b) 20 NTU下膠羽表面界達電位與Cat-floc T劑量關係



圖十



圖十一



圖十二

圖十(a) 80NTU下F Index及膠羽經沈澱後上澄液殘餘濁度與鋁鹽劑量之關係

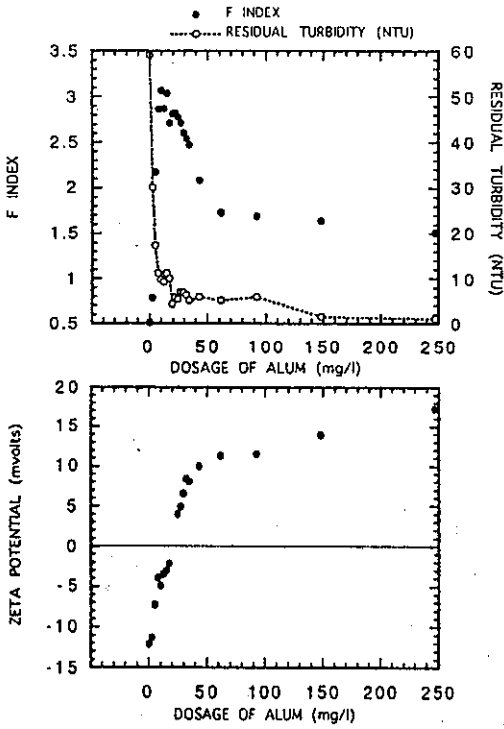
圖十(b) 80NTU下膠羽表面界達電位與鋁鹽劑量之關係

圖十一(a) 80NTU下F Index及膠羽經沈澱後上澄液殘餘濁度與PACI劑量之關係

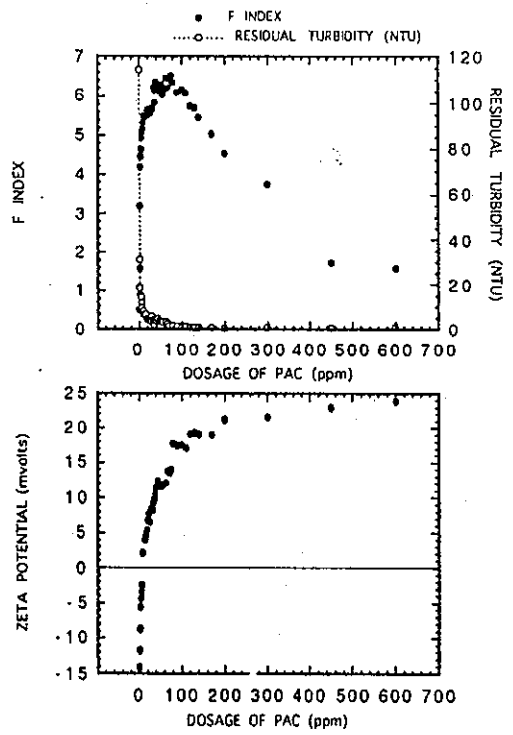
圖十一(b) 80NTU下膠羽表面界達電位與PACI劑量之關係

圖十二(a) 80NTU下F Index及膠羽經沈澱後上澄液之殘餘濁度隨Cat-floc T劑量之關係

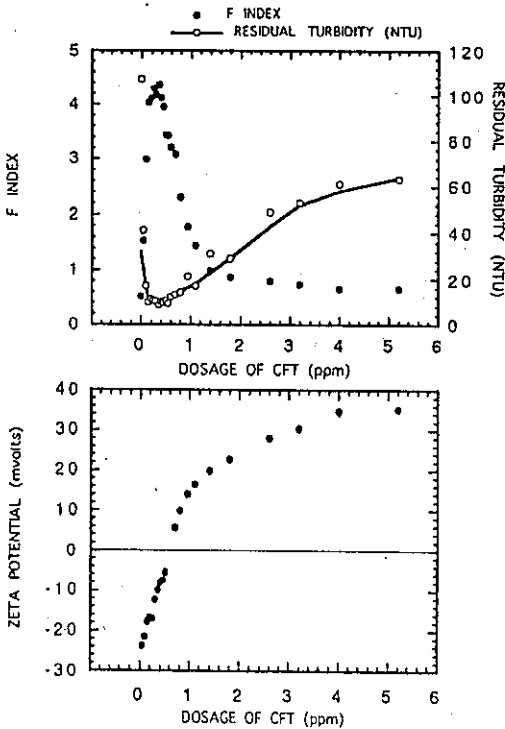
圖十二(b) 80NTU下膠羽表面之界達電位隨Cat-floc T劑量之關係



圖十三



圖十四



圖十五

圖十三(a) 200NTU下F Index及膠羽經沈澱後上澄液殘餘濁度與鋁鹽劑量之關係

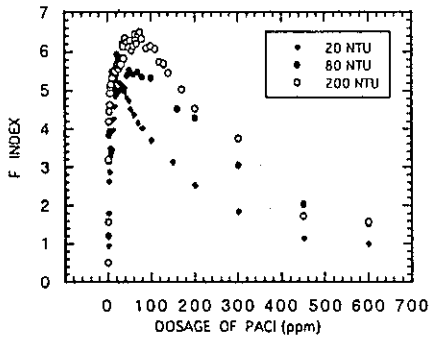
圖十三(b) 200NTU下膠羽表面界速電位與鋁鹽劑量之關係

圖十四(a) 200NTU下F Index及膠羽經沈澱後上澄液殘餘濁度隨PAC劑量之關係

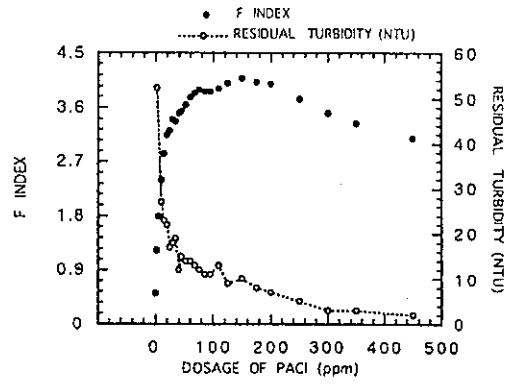
圖十四(b) 200NTU下膠羽表面界速電位隨PAC劑量之關係

圖十五(a) 200NTU下F Index及膠羽經沈澱後上澄液殘餘濁度隨Cat-floc T劑量之關係

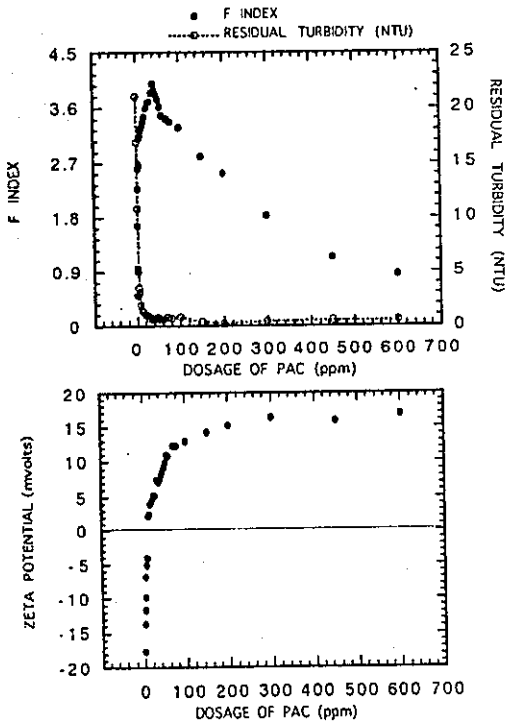
圖十五(b) 200NTU下膠羽表面界速電位隨Cat-floc T劑量之關係



圖十六 不同濁度下使用PACI之F Index曲線

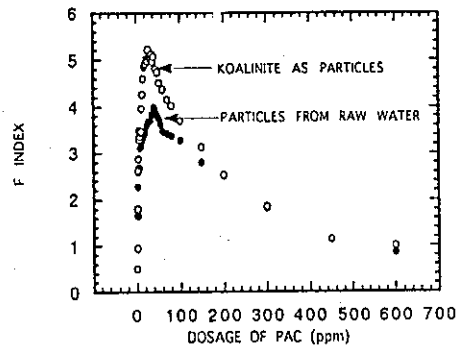


圖十七 1750 NTU下的F Index及膠羽經沈澱後上澄液殘餘濁度與PACI劑量之關係



圖十八(a) 實場濁度25 NTU下F Index及膠羽經沈澱後上澄液之殘餘濁度與PACI劑量之關係

圖十八(b) 實場濁度25 NTU下膠羽表面之界電位與PACI劑量之關係



圖十九 實場濁度25 NTU及高嶺土顆粒20 NTU下F Index與PACI劑量之關係