

流線電流儀在混凝反應模糊自動控制之應用

吳明德¹ 劉志成²

1. 國立臺灣工業技術學院化工系碩士

2. 國立臺灣工業技術學院化工系副教授

摘 要

本研究利用歐美日漸普遍之流線電流儀，配合模糊控制理論，探討淨水工程中，混凝反應自動控制之可能性。本研究建立一套混凝實驗工廠，並以高嶺土合成原水，利用明礬為混凝劑，進行半批式之自動控制實驗。實驗中，酸鹼度、流線電流值、加藥劑量等均直接偵測，並讀入電腦中；經混凝與沈澱之處理水則經分液收集器收集，量測其殘餘濁度。經杯瓶實驗與初步之實驗工廠操作，最適之酸鹼度為8.0，明礬劑量為 $10^{-2.95}M$ 。實驗工廠之結果顯示，濁度為789 NTU之原水可成功的處理至約小於15NTU之程度，證明淨水工程之結合流線電流儀與模糊理論之自動控制是可行的。

1. 緒論

膠體與膠體之間的作用，在環境的研究中扮演十分重要的角色。最明顯的例子就是淨水工程中的混凝、絮凝與沈澱反應。混凝反應的加藥量等操作往往依靠工程人員的經驗，再輔以杯瓶試驗；正常的操作均可達到標準，然而，一但面對原水水質急劇變化，例如颱風過後濁度大增，或取水口上游遭傾置廢土，則淨水廠往往無法有效去除水中懸浮固體。再者，混凝劑添加過量或不足除了浪費成本，增加污泥量，與某些健康影響外，對後面單元之操作會產生不良之影響。流線電流儀提供淨水工程中，混凝反應自動控制之可能性，以確保水質，並降低操作處理成本。

其實在1963年美國Syracuse之廢水處理場即成功地以流線電流自動控制廢水處理操作[1]；Langsett自來水場以流線電流儀來自動控制混凝劑之加藥量[2]。在1988年美國有3家廠商製造流線電流儀，並有數百個處理單位在應用它[3]。所以流線電流儀應用於淨水及污水處理程序控制上應該是適當可行

的。Dentel在1989年調查了全美10家使用流線電流儀的淨水場發現，一般皆能勝任安全[3]。為謀求一個妥善的方法以解決混凝劑加藥的技術，本研究特以Dentel在1989所提出"流線電流儀之原理"及"流線電流儀應用於杯瓶及連續流之計算"[4,5,6]為基礎，並輔以Zadeh所提出的模糊控制理論[7]。本研究特嘗試以模糊控制來控制混凝操作。模糊控制適用於非線性、時間可變、難定義、多輸入及系統不易計算成定義之系統，混凝操作正具有這些特性。

2. 理論背景

流線電流儀主要由反覆振動之活塞，與圓柱型空室所組成，如圖1所示。含有膠體之水溶液隨活塞的振動流進與流出；流入之膠體吸附於活塞的表面，產生表面電荷。而電中性之要求，令溶液相的反離子電荷密度也有不均勻的分佈；當帶電之活塞往覆振動，電流產生。經過整波，正弦型的電流可轉換成強度約為 10^{-12} 安培的流線電流。其與界達電位之關係為[8]：

$$\bar{i} = \frac{-4\omega s \varepsilon \left(\frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2} \right)}{1 - \lambda^2 + (1 + \lambda^2) \ln \lambda} \left[\frac{1}{R} - \sqrt{2k} \right] \xi$$

混凝反應可由杯瓶實驗求取最適之酸鹼度與明礬劑量。而流線電流之應用亦相似；必須量取流線電流隨酸鹼度與明礬劑量之變化函數關係，然後配合杯瓶實驗的結果，設定最適的控制條件。

模糊邏輯在1965年由Zadah提出後，開始蓬勃發展，並於1973年發表了複合系統分析及決策過程之研討概要[7]，奠定了模糊理論在控制工程應用的基礎。模糊理論常用術語定義[9]：

(1) 歸屬度值(Degree of membership)：

模糊集中元素相對一性質之程度，並將值限制於0至1之間。

(2) 模糊邏輯(Fuzzy logic)：

利用歸屬度值代替平時使用的是或非之邏輯。

(3) 語言變數(Linguistic variable)：

描述一個模糊集合之語言，如熱、冷、很熱及很冷等語言描述程度。

(4) 歸屬函數(Membership function)：

可以決定出模糊集合之歸屬度值的函數。

而模糊控制規則的來源如下：[10]

(1)專家經驗和控制工程知識：

由於模糊控制可以使用日常之語言輸入，將專家經驗和控制工程知識藉由語言轉成歸屬函數值輸入模糊控制系統加以控制。

(2)記錄技師的控制動作：

工業上有很多技師沒有專業知識，但卻能成功地控制系統。因此，記錄技師的操作程序，並整理成若一則（If-Then）的型式，則可構成一組控制規則。

(3)根據受控流程的模式：

根據傳統控制理論分析受控流程的動態特性，以找出適當的控制規則。

(4)學習：

爲了改善模糊控制器的性能，必須讓它具有自我學習或自我組織的能力，使得模糊控制器依設定的目標能夠新增或修改模糊控制規則。

3. 實驗方法與步驟

本實驗所使用的儀器及裝置如下：

(1)雷射電泳儀：Photal ELS-600

(2)pH計：Schott CG84

DKK HB-96K2

(3)電磁加熱攪拌器：Fargo HMS-520

(4)洗滌水過濾裝置：針筒式塑膠過濾器、0.22 μ m(MSF)濾紙

(5)自動微量吸管：Eppendorf 0.01~0.1ml

Nichiryo Model 5000 0.1~5ml

(6)溫度計：水銀溫度計

Chi Hwa CH96-752

(7)恆溫槽：和德科儀model-903，溫度控制 $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$

(8)蠕動泵：Yue Chern Model NOY-3579A

Masta Flex Model 7518-00

- (9)A/D、P/A界面卡：PCLD-779
- (10)數據截取卡：PCL-718
- (11)加藥計量泵：Pro Minent gamma/5
- (12)分液收集器：Advantec SF-2120
- (13)攪拌裝置：Fargo DC-60M
- (14)3486主機板：Cyrilx Cy486DLC
- (15)液位計：J.L. PERSD
- (16)超音波震盪器：C.T.I. Young Chenn Model：SK-20
- (17)抽水馬達：IWAKI Magnet Pump Model：MD-20R-220N
- (18)濁度計：HACH Model：43900
- (19)流線電流偵測器：Chemtrac Model 2000XR

實驗試藥則包括純水與藥品，本實驗為避免水中陰、陽離子影響實驗結果，故本實驗之溶液皆使用去離子蒸餾水來配製。

- (1)高嶺土(Kaolin) : SIGMA試藥
- (2)碳酸氫鈉(NaHCO_3) : Janssen試藥
- (3)氫氧化鈉(NaOH) : Merck試藥
- (4)明礬($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) : Janssenn試藥
- (5)清潔劑(MA 01 alkalisch) : Merck試藥
- (6)硫酸(H_2SO_4) : Nacalai Besque試藥

在實驗方面，我們進行了杯瓶實驗，以及實驗工廠的混凝反應自動控制，主要之設備如圖2。其實驗步驟如下：

混凝杯瓶實驗

配製好 2×10^4 毫克／升、104毫克／升及100毫克／升之高嶺土水溶液，預先配好之試樣400毫升置於500毫升燒杯中，以電動攪拌器以轉速100rpm攪拌，分別加入鋁濃度為 10^{-7} ， 10^{-6} ， 10^{-5} ， 10^{-4} ， 10^{-3} ， $10^{-2.95}\text{M}$ 及 10^{-2}M 後測量時間，一分鐘後移到杯瓶試驗器轉速為20rpm，時間為20分鐘，期間並觀察其膠羽長成情形，最後靜置30分鐘後取上層液一公分處測量其殘餘濁度。

混凝操作實驗工廠操作方法

預先以去離子蒸餾水配製合成原水60公升，再打開各儀器暖機12小時後，

將原水泵打開，並將控制程式按開始鍵即開始實驗，控制方面為半批式法，進水液位由液位計控制，當液位低於設定液位時即自動進水，直到高液面設定點為止，注意操作期間膠羽長成及沈降情形，而整體實驗工廠之結構則如圖3所示。

4. 結果與討論：

首先以杯瓶試驗決定混凝處理之pH值及最佳混凝處理之流線電流值，見圖(4)到圖(9)。由圖(4)得當 $[Al]=10^{-2.95}M$ 時，有最低之殘餘濁度，在實驗中發現pH=8時，其形成之膠羽較大，沈降速率也較快，故混凝操作之pH值設為8，而流線電流值由圖(5)知，在 $[Al]=10^{-2.95}M$ 時， $SC=-0.5$ ，故混凝操作之最佳流線電流值為0.5。

再來針對杯瓶實驗所得之最佳控制值以實驗工廠由人工操作，發現在實驗工廠中，經過多次的實際操作，改變不同之流線電流值，發現當流線電流值測器增益為1，流線電流值為-0.05，pH為8時，處理效果最好，故實驗混凝工廠最後選定pH為8，流線電流值為-0.05來做最佳控制值。

實驗工廠之模糊控制則分成幾部份進行。首先，為瞭解是否單由pH值之控制即可達到混凝的結果，圖(10)到圖(12)即為只控制pH值之結果，此系統之起始濁度為789NTU，過氯酸鈉濃度為0.001M，碳酸氫鈉為294毫克/升，操作時一次進原水到快混槽之液位控制之高水位29公分，開始放流直到低水位14公分再進原水。由於系統剛開始為鹼性，而原水之pH值約為8，所以進料一段時間後即維持在pH=8不變，由圖(12)可看出處理之效果非常差。

第二次實驗亦採用半批式設備操作，見圖(2)，此次加上明礬混凝劑之控制，系統之原始濁度為789NTU，電解質與鹼度的量與前者相同，操作結果如圖(13)至圖(16)，系統隨著原水進料，流線電流值變小，加上原水泵開關信號為ON，故加上藥計量泵有一很大之輸出值，見圖(15)，此時流線電流值急驟上升，而pH值急驟下降，見圖(14)，此時加鹼泵開啓，pH值上升並使流線電流值下降到設定圖-0.05，中圖(16)得知濁度已由789NTU降為十幾個NTU。若經快濾池處理，應能符合水質之標準，證明自動控制是可行的。本研究另外也進行連續式操作之實驗，其結果將另外發表。

5. 結論：

本研究結合流線電流偵測儀與模糊控制理論，探討淨水工程中混凝反應自動控制之可行性，主要發現如下：

- (1)本杯瓶實驗之結果，在 $[A1]=10^{-2.95}M$ 時，混凝效果最佳，在pH值=8時膠羽最大，沈降最快，故最佳混凝條件為 $[A1]=10^{-2.95}M$ ，pH=8。就實驗工廠實作之結果發現，流線電流值為-0.05，pH=8時，為實驗工廠最佳操作條件。
- (2)半批式流程，以明礬為混凝劑，由實驗工廠之操作顯示，濁度為789NTU之原水可經混凝與沈澱，濁度經處理至十餘NTU。

參考資料

1. Priesing, C.P., R.V., Wolfe, W.A., Sack, and S.Kelman, "Plant-Scale Polyelectrolyte Treatment of Wastewater Using Streaming Current Control," J. WPCF, Vol.41, No.8, pp.1524-1969(1969).
2. Bishop, S., "Use of the Streaming Current Detector at Langsett Water Treatment Works", J. IWEM, Vol.6, pp.1-9(1992).
3. Dentel, S.K. and K.M. Kingery, "Using Streaming Current Detectors in Water Treatment", J. AWWA, pp.85-94(1989).
4. Dentel, S.K. and K.M. Kingery, "Theoretical Principle Streaming Current Detection," Wat. Sci. Tech., Vol.21, pp.443-453(1989).
5. Dentel, S.K., A.V. Thomas, and K.M. Kingery, "Envaluation of the Streaming Current Detector-I. Use in Jar Tests," Wat Sci. Tech., Vol.23, No.24, pp413-421(1989).
6. Dentel, S.K., A.V. Thomas, and K.M. Kingery, "Evaluation of the Streaming Current Detector-II. Continuous Flow Tests," Wat. Res.
7. Zadeh, L.A., "Outlinte of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, V. SMC-3, No.1, pp.28-44(1973).

8. 吳明德，"流線電流儀在混凝反應自動控制之應用"，國立台灣工業技術學院化學工程系碩士論文，(1993)。
9. Self, K.L., "Designing with Fuzzy Logic," IEEE Spectrum, Vol.27, pp.42-44(1990).
10. Lee, C.C., "Fuzzy Logic in Control Systems:Fuzzy Logic Controller, Part I," IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, Vol. 20, No.2, pp.404-418(1990).

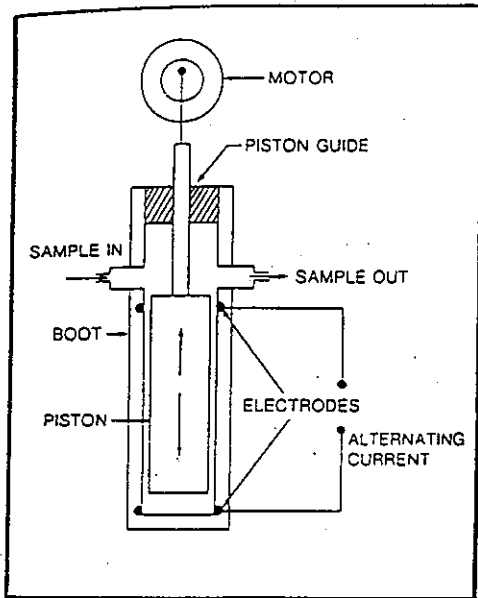


圖 1 流線電流偵測器內部構造圖示

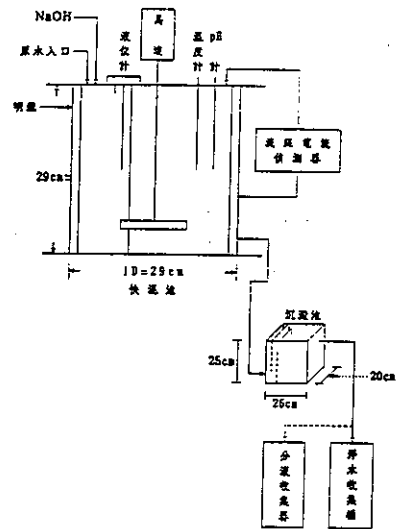


圖 2 泥漿操作實驗工廠裝置圖

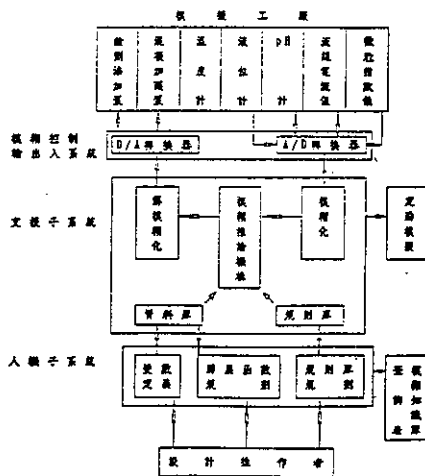


圖 3 模糊控制泥漿處理實驗工廠的結構圖

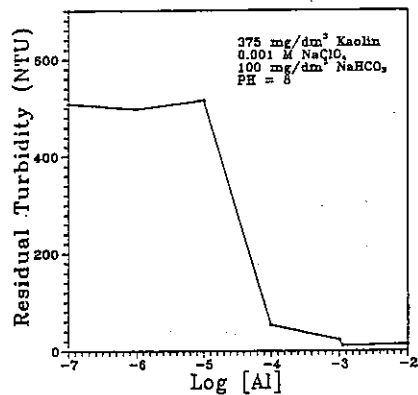


圖 4 杯瓶實驗當 pH 值控制在 8 時，殘餘濁度與明礬加藥量之關係

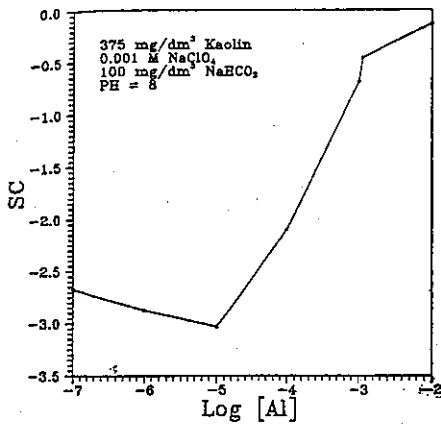


圖 5 杯瓶實驗當 pH 值控制在 8 時，流線電流與明礬加藥量之關係

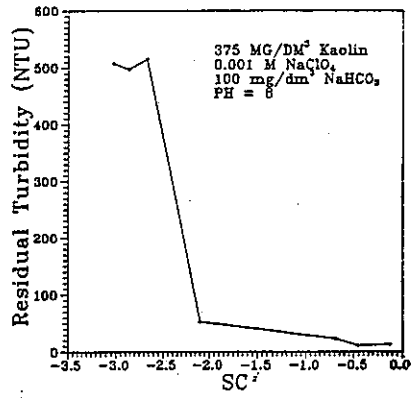


圖 6 杯瓶實驗當 pH 值控制在 8 時，殘餘濁度與流線電流之關係

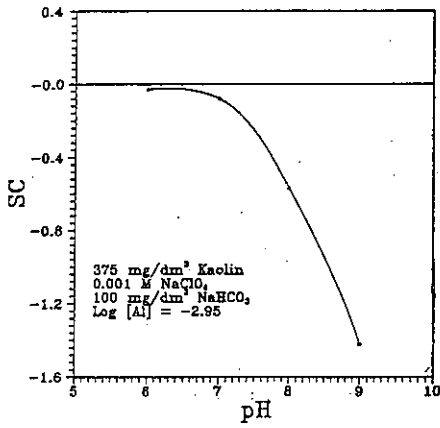


圖 7 杯瓶實驗 $[Al] = 10^{-1.95}$ 時，流線電流與 pH 值之關係

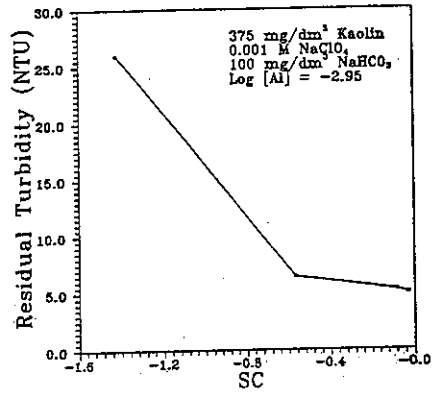


圖 8 杯瓶實驗 $[Al] = 10^{-1.95}$ 時，殘餘濁度與流線電流之關係

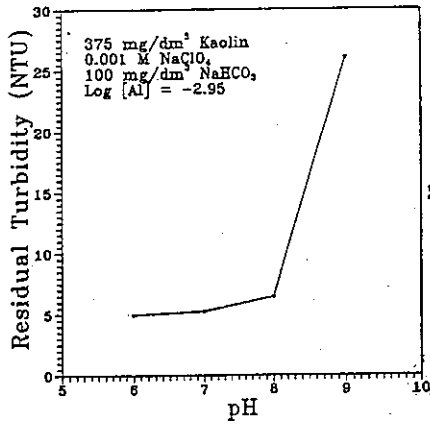


圖 9 杯混實驗 $[Al] = 10^{-2.95}$ 時，殘餘濁度與 pH 值之關係

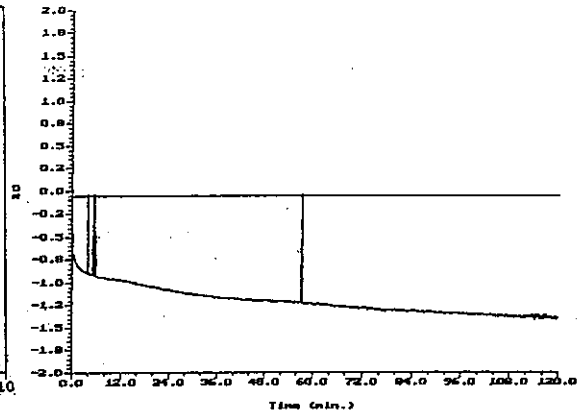


圖 10 在加藥計量泵不動作下，只控制 pH 值之流線電流控制圖

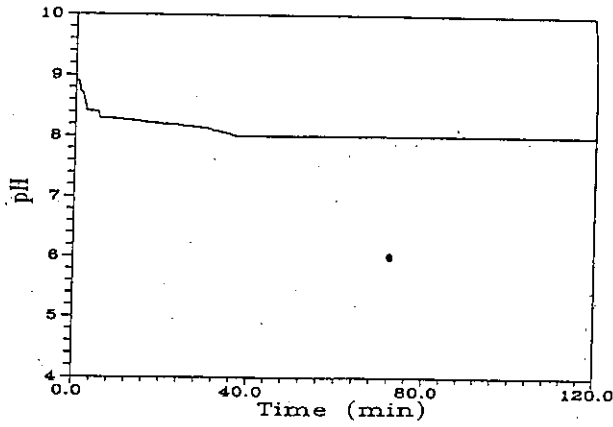


圖 11 在加藥計量泵不動作下，只控制 pH 值之計控制圖

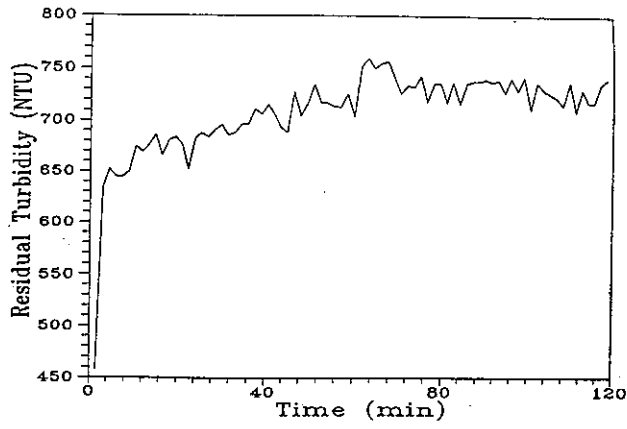


圖 12 在加藥計量泵不動作下，只控制 pH 值之殘餘濁度圖

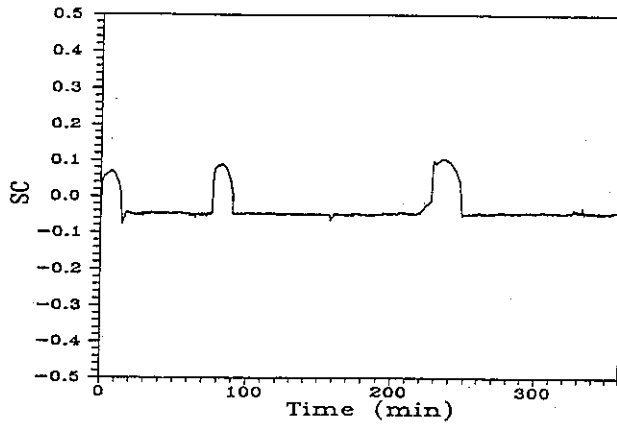


圖 13 在半批式操作系統中，高濁土濁度為 719 NTU，凝凝劑使用明顯下，沉澱電流之控制圖

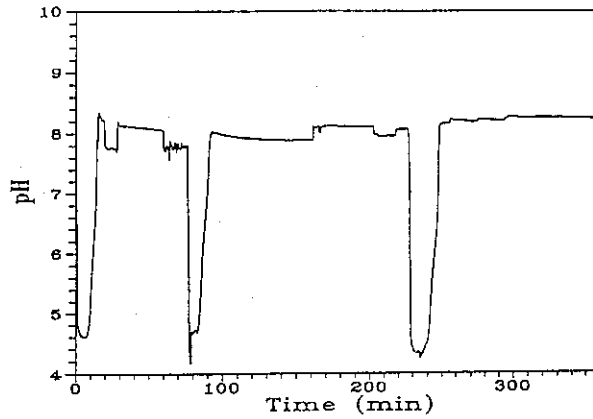


圖 14 在半批式操作系統中，高濁土濁度為 719 NTU，凝凝劑使用明顯下，pH 計之控制圖

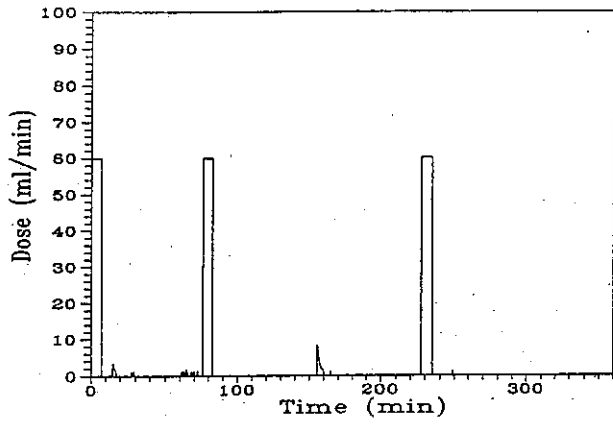


圖 15 在半批式操作系統中，高濁土濁度為189NTU，
混凝劑使用明礬下，加藥計畫表之控制圖

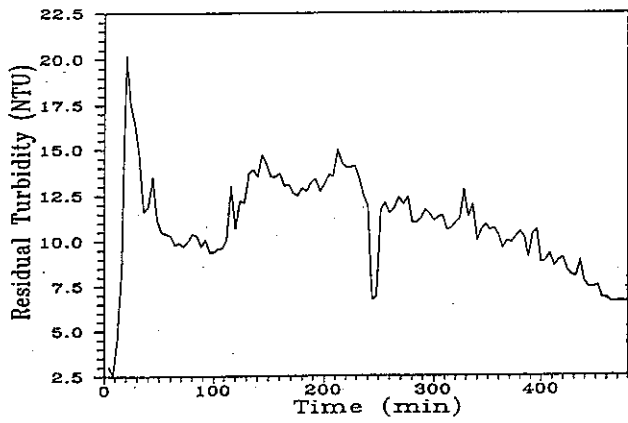


圖 16 在半批式操作系統中，高濁土濁度為189NTU，
混凝劑使用明礬下，殘餘濁度圖