Customization of Algorithm for Progressive Linear Programs (PROLP) Using Neural Net Work

Yoshiaki Shimizu

Research Reactor Institute, Kyoto University, Sennan-gun 590-04

Key Words: Process System, Linear Program, Neural Net Work, Customization of PROLP

In chemical processes, we often take advantage of customizing daily problem-solving when a final solution will be obtained after solving a family of optimization problems repeatedly. In aid of the neural network, in this note we have engaged in improving and customizing the algorithm of progressive linear programs (PROLP) after introducing manifold criteria to estimate active constraints. Through a few numerical experiments, the effect of the approach has been examined.

回転円盤電極を付した双極式犠牲電極による 連続電解浮上分離特性[†]

大佐々邦久・井手元浩・田中宏幸

山口大学工学部 応用化学工学科^{††}

緒 言

犠牲電極を用いた電解浮上分離法は、濁質の不安定化と微細気泡に基づく高速かつ高度な分離が可能のため、分離困難な有機性廃水処理に適している。著者らは、既に平行平板犠牲電極を用いた回分実験^②および回転二重管型犠牲電極を用いた連続実験^③を通じて、分離特性の一端を明らかにしてきた。すなわち回分実験では、双極式および極性切換式犠牲電極の採用により、電極部のコンパクト化および金属イオン溶出効率の増進が可能なことを示した。また連続実験では、電極を回転することにより、フロックと気泡間の衝突効率の増大および流動状態の改善が図れ、分離効率が向上することを示した。

本報では、これら双極式、極性切換式および回転電極式の特長を生かした犠牲電極として、新たに静止および回転電極を交互に配した双極式電極を提案し、濁質の分離効率に及ぼす回転数、電流値、処理量および槽数など

の影響について検討した。

1. 実験装置および方法

Fig. 1 に実験装置の概略を示す。電極は Al 板（厚さ 2 mm）製の回転電極（外径 110 mm）と静止電極（中心部孔径 38 mm、外径 120 mm）をと、-6 mm 間隔で交互に配したものである。回転電極は無断変速器付きモーターを用いて、90～400 rpm で回転させた。回転電極 1 枚を静止電極 2 枚で挟んだ部分を 1 槽とし、槽数は 3～5 と変えた。1 槽当たり容積は $9.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ である。両端の静止電極は、極性切換器を介して直流電源に接続した。極性切換時間は前報^①で示した最適値の 900 秒とした。モデル廃水は、NaCl 0.2 kg/m³ を含む水道水に分散性染料（商品名 Polyester blue TS、(株)日本化薬製）0.1 kg/m³ を混入したものである。

実験は液流量、電流値および電極回転数などをパラメータに行われ、分離効率は、定常状態における浮上槽の入口、出口の濁質濃度を分光光度計で測定することにより求めた。なお Al 溶出量は実験前後の電極板重量差

[†] 1994 年 8 月 25 日受理

^{††} 〒755 宇部市常盤台 2557

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

の測定から求めた。

2. 実験結果および考察

本装置の特長の一つは、Fig. 1 の付図に示すように、円盤回転に伴う流れが電極表面からの気泡の離脱およびフロック成長を促進し、さらに極性切換器の採用と併せて電極表面に生成するゲル状のスケールを防止することである。もう一つは、陰陽両電極の間に電源に接続されていない複数の極板を挿入する、いわゆる双極式電極の採用により電極面積の増大が図れるため、電流効率の高い低電流での操作が可能となったことである²⁾。

Fig. 2 には、連続実験における静止および回転電極からの溶出量、ならびに回分実験（静止平行平板電極）の結果²⁾を示した。溶出量は電源に接続された両端の電極板に比べて、中央部の電極板ではかなり低下した。この現象は実線で示す回分実験²⁾においても観察されており、電流の一部が電極板を通過せずに溶液中を流れるためと思われる。また回転電極の溶出量は静止電極に比べて少ない。これは、電極が回転しているため、電流が変動的に流れたり、あるいは回転電極の中心部分が静止電極に対向していないため、電流が溶液中を流れる割合が増すことなどによると考えられる。

本装置における濁質の分離機構を以下のように考えた。まず濁質は溶出金属イオンにより不安定化され、マイクロフロックが生成される。マイクロフロック同士およびマイクロフロックと微細気泡との間の衝突により、浮上性のフロックが形成される。攪拌場では、破壊により一部のフロックは浮上性を失うであろう。そこで前報³⁾と同様に、分離過程を乱流下の凝集理論における衝突・破

Fig. 2 Effect of electrode structure on dissolution rate of aluminium

壊モデル¹⁾で表した。すなわち m 槽からなる完全混合槽列を仮定し、各槽における凝集速度係数 K_A および破壊速度係数 K_B が同じとすれば、 $i-1$ 槽と i 槽との間のフロック濃度 C の変化は次式で与えられる。

$$\frac{C_{i-1}}{C_i} = \frac{1 + K_A G T / m}{1 + K_B (C_0 / C_{i-1}) G^2 T / m} \quad (1)$$

Fig. 3 Effects of average velocity gradient and electric current on removal efficiency

m 槽の完全混合槽では、分離効率 η は次式で示される。

$$\eta = \frac{(C_0 - C_m)}{C_0} = 1 - \frac{1 + K_B G^2 T / m \sum_{i=0}^{m-1} 1 + K_A G T / m}{(1 + K_A G T / m)^m} \quad (2)$$

ここに G は攪拌強度を表す平均速度勾配値で、回転円盤に働くトルクを測定することにより求められ、5 槽の場合で、次式が得られた。

$$G = (2\pi n T_0 / V \mu)^{1/2} = 7.9 n^{1.3} \quad (3)$$

Fig. 3 には、電流 I をパラメータに η と G との関係を示す。 η は最初 G の増加とともに大きくなるが、 G がある程度大きくなると、槽内の乱れが増しフロックの破壊が起きるため、その後は一定ないし漸減する。また η の値は、電流値のわずかな増加で急増する。これは、双極式電極を採用したためと思われる、同程度の分離効率を得るための電流値は回転二重管式電極の場合の数分の 1 でよい。しかし双極式電極では、陰陽電極間の間隔が広くなり電圧が高くなるため、電解槽のコンパクト化には寄与するが、消費電力の軽減にはならない。このことは前報²⁾にも記した。Fig. 4 には、液流量 Q をパラメータに同様な比較を示した。 η は Q の増大に伴って大きく低下した。これは、 Q が増大することによる平均滞留時間の減少が主な原因であるが、そのほか電流値一定の場合には、 Q の増大とともに流入液単位質量当たりの Al 溶出量および気泡発生量が減少することによる影響も小さくないと考えられる。Fig. 5 には、槽数 N をパラメータに η vs. G を示した。 η は N の増加とともに大となるが、その効果は 3 ~ 5 槽の間では比較的小さい。Figs. 3~5 中の実線は、Eq.(2) から計算したものである。ここで係数 K_A および K_B は、実測値と計算値との偏差が最小となるようフィッティング法により求めた。Fig. 6 には、以上の実験条件下で得た K_A 、 K_B の相関を

Fig. 4 Effects of average velocity gradient and liquid flow rate on removal efficiency

Fig. 5 Effects of average velocity gradient and number of tank on removal efficiency

示した。その結果、次式で整理できた。

$$K_A = 1.6 \times 10^{-6} I^3 / Q^2 \quad (4)$$

$$K_B = 7.0 \times 10^{-6} \quad (5)$$

K_A および K_B の値は、Bratby¹⁾ が凝集操作に関連して指摘しているように、多くの因子、たとえば濁質や凝集剤の特性、あるいは装置構造などで変化する値と考えられる。しかし本実験で得られた K_A および K_B の値は、凝集分野¹⁾あるいは前報²⁾で得られた値と同オーダーであった。また凝集速度係数 K_A が概ね (I/Q) の関数で示されるのは、前述したように凝集速度が液単位質量当たりの Al の溶出量および気泡発生量に左右されるためであろう。双極式電極を用いた前報²⁾の回分実験では、Al 溶出量は消費電力の関数で表され、結果として F に比例した。本実験でも、 K_A の値は F に比例することが予想されたが、実際には、べき数はそれより大きくなった。この理由は明かではないが、以下のことが推測される。従来の単極式電極を用いた回分実験²⁾では、 K_A は I に比例したのに対して、同じ単極式の回転二重管型電極³⁾の

Fig. 6 Correlation of flocculation and breakup coefficient

場合、 K_A は $I^{1.5}$ に比例した。したがって単極式と複極式との違いはあるが、いずれの場合も電極を回転すると、 I のべき数が大きくなることから、電極回転に伴う効果、たとえばスケール防止や気泡脱離の促進などが原因として考えられる。

結 言

染料モデル廃水を対象として、静止および回転電極を交互に配した双極式犠牲電極による連続電解浮上分離特性について検討した。濁質の分離効率、ある電極回転

数で最大値をとったのち、漸減するか、あるいは一定となった。また分離効率は電流値および電解槽数が増加するほど大きくなり、液流量とともに減少した。分離過程は完全混合槽列モデルを用いたフロクの衝突・破壊モデルにより説明できた。

Nomenclature

C_m	=floc concentration at tank m	[1/m ³]
C_0	=floc concentration at tank 0	[1/m ³]
G	=average velocity gradient	[1/s]
I	=electric current	[A]
K_A	=flocculation coefficient	[-]
K_B	=breakup coefficient	[s]
N	=number of mixed tanks in series	[-]
n	=rotational speed of electrodes	[1/s]
Q	=volumetric flow rate of liquid	[m ³ /s]
T	=average residence time	[s]
T_q	=torque	[Nm]
V	=volume of electroflotation cell	[m ³]
W	=dissolution rate of aluminium	[kg/m ² ·s]

η	=removal efficiency	[-]
μ	=viscosity of liquid	[Pa·s]

Literature cited

- 1) Bratby, J.: "Coagulation and Flocculation", p. 204-262, Uplands Press (1980)
- 2) Osasa, K., H. Tanaka and H. Nakakura: *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **19**, 317-324 (1993)
- 3) Osasa, K., H. Itemoto and Y. Fujii: *ibid.*, **20**, 564-567 (1994)

Performance of Continuous Electroflotation by Using Bipolar Type Sacrificial Electrodes Fitted with Rotating Disks

Kunihisa Osasa, Hiroshi Itemoto and Hiroyuki Tanaka

Dept. of Chem. Eng., Yamaguchi Univ., Ube 755

Key Words: Electroflotation, Sacrificial Electrodes, Bipolar Electrodes, Rotating Disk Electrodes, Flocculation-Breakup Equation, Tanks-in-Series Model

A novel electroflotation method using bipolar sacrificial electrodes, which were comprised of alternating stationary and rotating disks was developed. The efficiency of

turbidity removal reached a maximum value at a certain rotational speed of the electrodes, and then decreased gradually with increasing rotational speed, or remained approximately constant. The efficiency increased with increasing electric current and the number of electrode plates, and decreased with increasing flow rate of liquid. The separation process was based on the assumption that the removal of flocs was due to the flocculation-breakup process using the tanks-in-series model.

水平円運動をする揺動攪拌槽壁における輸送現象[†]

加藤禎人・平岡節郎・多田 豊
白井誠二・高 承台*・山口隆生**

名古屋工業大学工学部 応用化学科^{††}

緒 言

揺動攪拌は、おだやかな混合操作法として実験室規模で広く行われてきた。著者らは、水平に緩やかな円運動をする円筒槽の混合操作に着目し、これまで混合時間の推算式と完全混合を達成するのに最小限必要な混合限界回転数^③、所要動力^④について報告した。その中で、単位容積あたりの所要動力を基準にして、従来用いられている翼を用いた攪拌と揺動攪拌の混合性能を比較検討し、槽の回転数が低いところでは揺動攪拌は翼攪拌より性能は劣るが、回転数が高いところでは性能は同程度であるという知見を得ている^⑤。

本研究では、揺動攪拌槽の槽壁近傍での総括物質移動係数および局所物質移動係数を希薄溶液系のイオン移動を利用して測定し、槽内のどの箇所で混合が促進されているかを明らかにした。

ここに、槽壁における局所物質移動係数の分布が解れば、物質移動と熱移動のアナロジーから伝熱特性も明らかとなる。

1. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。槽は内径 D が 0.140, 0.150, 0.173 m のアクリル樹脂製のものをを用い、槽底部と槽壁部全面にニッケル板を張り付けた。また、槽壁部には孤立電極 (2.8 mm ϕ ニッケル線) を鉛直方向に槽底から $D/10$ 間隔で取り付けた^②。総括物質移動

係数を測定するときは、アノードとして槽底のニッケル板、カソードとして槽壁のニッケル板を使用し、局所物質移動係数を測定するときはアノードとして槽底のニッケル板、カソードとして槽壁に取り付けたニッケル線の孤立電極を使用した。

定電位電解装置にはポテンシオスタット (北斗電工 (株) 製 HA-102) を用いた。ただし、局所物質移動の測定に対しては、孤立電極にイオンが集中するのを防ぐために可変直流安定化電源 (メカトロニクス (株) 製 MTR 18-5) を併用し、槽壁に限界電流値と同じ大きさの電流を与えた。

物質移動係数 k は、攪拌液として 1N-KOH+0.2N- $K_4Fe(CN)_6$ +0.01N- $K_3Fe(CN)_6$ 水溶液を用いた定電位電解法により限界電流値を測定し^{②,⑤}、次式より求めた。また、攪拌液の物性^②、操作条件を含め実験条件は Table 1 に示した。

$$k = \frac{I_d}{nFAC_{ferri}} \quad (1)$$

ここで、 I_d は測定される限界電流値であり、 n は電極反応に関与する電荷数、 F はファラデー定数、 A は電極面積、 C_{ferri} は槽内のフェリシアンイオンの濃度である。

ただし、総括物質移動係数を測定する際の電極面積 A は槽側壁の濡れ面積である。しかし、操作中は表面波が発生し、回転数により濡れ面積が変化する^⑥ので、Fig. 2 に示すように、表面波の波形から求めた。すなわち、混合限界回転数 N_c 以上で操作する場合の濡れ面積は、単に静止液面で計算した場合のそれより大きくなるからである。また、局所物質移動係数を測定する場合の電極面積は、孤立電極の断面積とした。

[†] 1994 年 10 月 13 日受理; 化学工学会第 27 回秋季大会 (春日井, 1994 年 9 月) にて発表

^{††} 〒466 名古屋市昭和区御器所町

* 東洋エンジニアリング㈱

** 中部大学工学部