電解フローテーションにおけるコロイド粒子の捕集機構について

福井 義博*
Yoshihiro FUKUI

1. 研究の始まり

いろんな経緯をへて九州工業大学粉体工学実験施設に奉職した私は、研究室にあった電解装置から発生する気泡でインク溶液が浄化される現象をみつけ興味をもった。この方法は廃水処理装置として使用できるのではないかという考えが頭の中をよぎったからである。それから文献を探しはじめたが、適当なものがなかなかみつからない。従来の浮選に属する研究は、pH、捕集剤、凝集剤などを変化させて浮選速度を議論するものが多く、流体力学的な立場からの研究は意外と少ないことがわかった。そのうえ、廃水処理への適用はまだ緒についたばかりで実験的な検討が多く、なかでも電解浮選に関する基礎研究は、ほとんどみあたらなかった。そこで、電解気泡まわりの粒子濃度分布を拡散方程式を解くことによってもとめ、捕集機構を議論するというモデルをたてることから研究を始めた。

2. 主な内容

理 論

電解フローテーションにおける気泡へのコロイド粒子の捕集速度を定量的に評価するために、気泡・粒子間の相互作用力(London 引力および電気二重層による斥力)を考慮して、その単一捕集効率を対流拡散方程式を用いて算出した。気泡径の分布を考慮して発生気泡量からマスバランスを取り全捕集効率をもとめた。本研究では気泡濃度が低い場合を取り扱っているので、気泡と等径の固定球まわりを、気泡の上昇速度と等しい一様流速で流れているモデルを考え、各速度成分は Creeping flow の Stokes 式で表現した。また相互作用ポテンシャルは D. L. V. O. 理論にのっとって与えている。気泡への粒子

の付着は、見方を変えればヘテロ凝集と考えることができる。

実 験

抗力増大の検証

流体中の球形粒子が、平板または自由表面のきわめて近傍を運動する場合、粒子の受ける抗力は Stokes の抵抗則で与えられるものに比べて著しく増大する。水飴中でモデル球を用いて実験をおこない、平板上に沈降あるいは自由表面へ浮上する際の変位速度を VTR に記録してもとめ、この現象に対して Brenner らが導出した理論を検証した。その結果、気泡への粒子の拡散付着速度の計算に際しても、この効果を考慮に入れる必要のあることを確認した。

気泡のゼータ電位の測定

電気二重層の相互作用力を評価するには気泡および粒子のゼータ電位を測定する必要があるが、気泡のゼータ電位の測定には苦勞をとまった。最初は、電解気泡中のより微細な気泡を直接泳動装置に入れることにより測定していたが、混入する気泡数が少なく測定はかなり困難であった。

その頃、Collins らの方法および測定結果が発表されたのだが、彼らの用いたセルのアスペクト比は10と小さく、そのうえセルの側壁に穴をあけ白金線を埋めこんでアラルダイトで固定しているので、側壁の影響がかなり含まれている結果だと考えられた。そこで彼らの方法を次のように改良した。まず三田村理研のマイクロセルを縦型に改造し、アスペクト比を20以上にして側壁の影響を少なくした。次に、彼らは肉眼で気泡を追跡しているが、VTR とモニター TV を用いることによって測定を容易にした。こうすることによって測定可能な気泡径範囲を広げることができた。その結果を Fig. 1 に Collins らの結果とあわせて示している。電解質濃度が高くなるにつれ、ゼータ電位の値が減少する傾向がよく表わされている。

昭和59年2月24日受付

*九州工業大学粉体工学実験施設(〒804 北九州市戸畑区仙水町1)
TEL 093-871-1931

Fig. 1 The zeta-potential of bubble in the solution of Na_2SO_4 and CTAB along with the results of Collins et al.

Fig. 2 Comparison of theoretical and experimental total collection efficiencies.

気泡径分布

電解気泡を溶液表面にはった油膜の中に捕獲し、顕微鏡などを用いて気泡径の分布を測定した。電流密度などによって平均径はいくぶん左右されるが、約 $20\ \mu\text{m}$ 前後で径分布は対数正規によってよく表現されることがわかった。

捕集実験

陽極にフェライト棒、陰極に白金メッキしたチタン棒を用い、 $0.6\ \mu\text{m}$ のラテックス粒子の浮上分離の実験をおこなった。電解質には Na_2SO_4 、界面活性剤には CTAB を用いた。所定時間にサンプリング孔より注射器でサンプリングし、分光光度計を用いて粒子濃度の経時変化を測定した。その際、気泡は粒子のみならず、界面活性剤をも付着して浮上させるため、溶液内の界面活性剤の量は減少していき、粒子および気泡の表面状態が変化する。これを避けるために、溶液内に初期界面活性剤の濃度が90%以上残留している時間を計算し、その時間内で捕集実験をおこない、初期粒子濃度を変化させて実験を繰り返し、それらの粒子濃度の経時変化を重ね合せてプ

ロットした。

結果

捕集実験の結果は、粒子濃度の経時変化を全捕集効率の形になおし、Fig. 2 に3種類の記号を用いてプロットしている。また既述の拡散方程式を解いてもとめた単一捕集効率およびマスバランスより算出した全捕集効率を実線で示している。Hamaker 定数には妥当と考えられる $1 \times 10^{-20}\text{J}$ を用い、付着効率は1とした。図より、計算結果と実験結果はよく一致していることがわかる。電流が 0.3A のとき、実験値が計算値よりいくぶん小さくなっているのは、気泡濃度が高くなり対流が生じたためと考えられる。図中の破線は気泡の個数平均径を用いて計算した、電流が 0.1A の場合に対応する結果であるが、この場合、計算値は実験値をかなり過大評価してしまうことがわかった。気泡の面積平均径を用いて計算すると分布を考慮した場合の結果とほぼ一致した。また本論文が対象とした実験範囲内では、気泡の単一捕集効率は気泡径の約2乗に逆比例することが計算によって明らかになった。

以上、電解フローテーションにおいて、微小気泡によりコロイド粒子が付着捕集され浮上分離される機構は、気泡・粒子間に働く London 引力と両者の電気二重層の相互作用力の影響下における粒子の拡散付着現象であり、その捕集効率は対流拡散方程式に基づいて解析することができるということを明らかにした。

この他に、攪拌翼を電極として利用し、電極を回転することにより泡切れを良くし、かつ気泡・粒子相互の接触効果および粒子の凝集の促進をはかる新型の電解浮上装置を試作し、その性能を検討した。また矩形断面をもつ電気泳動セル内における上下左右非対称の場合の電気浸透流の速度分布についても解析をおこなった。

4. 研究を終えて

電解フローテーションにおけるコロイド粒子の捕集機構について非常に理想化された場合を検討してきたわけだが、実際には、気泡の平均径と同じくらいまで粒子を凝集させ、さらに気泡とその凝集粒子とを凝集させた形で浮上させるなどの方法もとられている。本研究では考慮していない気泡同士の干渉なども、実際の操作では無視できないものであろう。また、浮上されたフロックの物理化学的性質が加圧浮上法などの場合と比べて異なっているという興味深い現場からの報告もある。このように、電解フローテーションそのものに関しても検討すべき点は基礎および応用の両分野において、まだ数多く残されていると思われる。

現在、考案した浮上装置を用い油水エマルジョンを対象にして捕集性能を検討しているが、回転により効率が著しく増大することを確認したところである。この装置が実際面でいくらかでも寄与するところがあれば望外の喜びである。

本研究を進めていく過程で多くの方々と知りあうことができ、そのうえ有益な御助言をも頂くことができたこ

とは何よりもうれしいことであった。しかし本論文に過誤が含まれているとすれば、いうまでもなく私の責任である。間違いをおかすことは恥しいことだが、それを正すことはまた楽しいことでもある。大方の御叱正をお願いしたい。

(学位授与1983年11月京都大学)

PARTICULATE SCIENCE AND TECHNOLOGY

an international journal

Volume 1 Number 1	January-March 1983
An Evaluation of the Kuwabara Model, Frank S. Henry and Teoman Ariman	1
A Procedure for Correcting Measured Particle Size Distributions for Undetected Fine Particles, Richard Hogg	21
Removal of Fine Particles from Nonaqueous Media by Cross-Flow Electrofiltration-Hydrodynamics and Mass Transfer, Y. Liu, D. Gidaspow, and D. T. Wasan	27
Effects of Grinding Aids on Vibration Milling of Aluminum, M. K. Sureshan, R. Vedaraman, and M. Ramanujam	54
Shape Characterization of Two-Dimensional Forms by a Fraction of Ellipse and Diamond, Keishi Gotoh, Akira Suzuki, and T. P. Meloy	66
Measurements and Analysis of the Particulate Emission from a Direct Injection Diesel, Allen D. Gillette and Colin R. Ferguson	76
High Concentration Dust Mass Monitor, Pedro Lilienfeld	90
Morphological Analysis, Ten Years of Progress, John Keith Beddow	100
Book Review	125
FOLLOWING PAGE 125 : Proceedings of the Fine Particle Society	
Volume 1 Number 2	April-June 1983
Particle Morphology Applied to Characterizing Abrasive Materials, A.F. Vetter and P.A. Swanson	127
A Staggered Array Model of a Fibrous Filter with Electrical Enhancement, Frank Henry and Teoman Ariman	139
Characterization of the Behavior of Composite Particles in a Lead-Zinc Flotation Circuit, R.W. Allan and A. J. Lynch	155
A Numerical Model for Steady Nonpoint Source Dispersion of Wind-blown Fine Particles from Storage Piles and Experimental Study, F. F. Chen and S. L. Soo	165
The Use of Factor Analysis in Source Determination of Particulate Emissions, Kathryn G. Severin, Bradley A. Roscoe, and Philip K. Hopke	183
Application of Liapunov's Second Method of Stability to Gas-Solid Transport, Paula J. Larouere, Sebastian Joseph, and George E. Klinzing	193
Floc Size Reproduction in the Turbulent Environment, Jyh-Ping Hsu and Larry Allen Glasgow	205
Design and Calibration of a Stack Sampler for Oil Fly Ash, Andrew R. McFarland and Dwight C. Russell	223
Non-Parabolic Filtration Behavior, M. S. Willis, W. G. Bridges, and R. M. Collins	233
FOLLOWING PAGE 246 : Proceedings of the Fine Particle Society	