OS7-02

界面活性剤水溶液のせん断誘起構造と流動特性の関係

Relationship between shear-induced structures and rheological properties of surfactant solutions

○学 小井手 祐介, 井上 ひろこ, 後藤 晋

Yusuke Koide, Hiroko Inoue, Susumu Goto

大阪大学 基礎工学研究科 Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Key Words : Surfactant, Shear-induced structure, Rheology, Dissipative particle dynamics

水に微量の高分子を添加すると流れの抵抗がニュートン流体の場合に比べて大幅に低下する現象は 1949 年に Toms によって報告された⁽¹⁾。界面活性剤を添加した場合も高分子と同様に抵抗低減が生じることが知られている⁽²⁾。この現象は、石油パイプラインの輸送能力向上や船舶の摩擦抵抗低減などの工学的応用においても重要であるので、これまで多くの研究がなされており、抵抗低減の機構において「せん断誘起構造 (SIS)」と呼ばれる構造が重要な役割を担うとされている⁽³⁾。しかし、流れ場中での高分子やミセルの形状を直接観察することは容易ではないため十分な理解には至っていない。本研究では、界面活性剤水溶液の流動特性の変化と SIS の発現との関係を明らかにする事を目的として、室内実験と数値シミュレーションを行う。

まず、室内実験では、流れ場中でのミセル形状の同定のために、文献⁽⁴⁾のように、主に界面活性剤の臨界ミセル濃度 (critical micelle concentration, CMC) の測定に用いられる蛍光プローブ法と呼ばれる手法を用いる。つまり、周囲の環境によって蛍光プローブが発する蛍光強度が変化することを利用して溶液中でのミセルの形状変化を調べる。作動流体としてヘキサデシルトリメチルアンモニウムクロリド (CTAC) と対イオンのサリチル酸ナトリウム (NaSal) の混合水溶液を用いる。閉じた系でありせん断速度が一樣な同心二重円筒内流れに対して実験を行い蛍光強度と粘度の同時測定を行う。両者から得られた結果を比較することで、ミセルの構造と流動特性の直接的な関係を明らかにし SIS がもたらす影響について検討する。

さらに、数値シミュレーションを用いて実験では測定できない流れ場中でのミセルの詳細な運動を解析することで、流れがミセルに及ぼす影響を検討する。高分子や界面活性剤水溶液の流動現象に関する数値シミュレーションでは構成方程式のモデルを適用して連続体として扱うことが多いが、本研究では SIS やそれに付随して発現する特異的な流動特性の物理機構の解明を目的とするので、流体の内部構造に注目した分子スケールの数値シミュレーションを行う。しかし、水分子と高分子やミセルの時間スケールが大きく異なるため、全原子分子動力学法を用いて高分子や界面活性剤のふるまいを調べようとすると十分な時空間領域での計算を行うことができない。すなわち、実験で観測されるような特異的な流動特性を調べるためには何らかの粗視化が必要である。本研究では、分子の集団を 1 つの仮想的な粒子とみなす散逸粒子動力学法 (dissipative particle dynamics, DPD)⁽⁵⁾を用いる。まずは、静的な状態で界面活性剤の濃度を変化させて数値シミュレーションを行い CMC を決定し実験と比較する。さらに、Lees-Edwards 境界条件と SLLOD 法によりせん断流下でのミセルの運動を計算し流動特性や SIS の評価を行う。

文 献

- (1) Toms, B. A., "Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers", *Proc. 1st Int. Congr. Rheol.*, Vol. 2, (1949), pp. 135-141.
- (2) Li, F.-C., "Experimental study of drag reduction mechanism for a dilute surfactant solution flow", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 51, (2008), pp. 835-843.
- (3) Wakimoto, T., Araga, K., and Katoh, K., "Simultaneous determination of micellar structure and drag reduction in a surfactant solution flow using the fluorescence probe method", *Physics of Fluids*, Vol. 30, (2018), 033103.
- (4) Ananthapadmanabhan, K. P., Goddard, E. D., Turro, N. J., and Kuo, P. L., "Fluorescence probes for critical micelle concentration determination", *Langmuir*, Vol. 1, (1985), pp. 352-355.
- (5) Hoogerbrugge, P. J., and Koelman, J. M. V. A., "Simulating Microscopic Hydrodynamic Phenomena with Dissipative Particle Dynamics", *Europhys. Lett.*, Vol. 19, (1992), pp. 155-162.