

양이온 계면활성제 용액에서 입자이동에 관한 연구

원대진, 김종엽
고려대학교 화공생명공학과

Particle migration in cationic surfactant solution under shear flow

Daelin Won, Chongyup Kim
Department of Chemical & Biological Engineering, Korea University

서론

현탁액내 입자간의 상호작용은 현탁액의 유변학적물성을 결정하는 중요한 인자의 하나이나 비뉴튼성유체내에 분산된 입자간의 상호작용에 관하여는 현재까지 많은 연구가 보고되고 있지 못하다. 더욱이 잘 알려진 고분자용액의 연신유동특성에 따른 현탁액내 입자의 상호작용이나 이동 현상에 관하여도 용액의 유변학적 물성과 연계하여 체계적으로 연구되고 있지 못하다. 계면활성제 용액은 유동장내에서 전단에 의하여 배향을 하거나 구조를 형성하고 있기 때문에, 계면활성제가 분산매로 쓰인 현탁액의 입자간 상호작용이나 유동장에서 전단에 의한 미세구조의 변화등을 예측하기가 매우 힘들다.

고분자 용액에서 입자의 사슬구조 형성에 관하여는 Michele 등(1977), Jefri and Zahed(1989), Lyon(2001)등이 대표적으로 결과를 보고하였으나, 계면활성제 용액에서의 입자의 이동에 관한 연구는 활발히 수행되고 있지 못하다.

본 연구에서는 계면활성제 용액내에서 입자의 이동에 대해 계면활성제 용액의 유변학적인 물성과 연관하여 용액의 배향이나 구조 형성에 따른 입자의 상호작용과 이동에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 계면활성제 용액의 shear rate-viscosity 그래프 상의 plateau한 영역, 또는 shear thinning한 영역에서의 shear를 각각 가해주었을 때, 용액내에 분산된 서로 다른 입자의 거동을 관찰하였다.

실험결과 유체의 shear thinning이 약한 저전단을 유동에서는 사슬구조가 형성되지 않으며, 점도의 shear thinning 현상이 강할수록 사슬구조가 강하게 형성됨을 알 수 있었다. 또한, 높은 영역의 고전단율에서 비슷한 정도의 shear thinning 현상을 보이는 고분자 용액과 비교하여 봤을 때 chaining현상이나 alignment 현상이 더 강하게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

실험

실험장치는 단순전단유동장치로서 그림 1에 보인바와 같이 두 개의 평행한 유리판과 Microstepping motor/Linear motion guide 계를 구성하였다. Flow cell은 아랫판과 윗판으로 나뉘는데, 아랫판은 End effect와 Fingering현상을 없애기 위해 cup형태로 제작하였다. 이 두 개의 평판 중 하나의 유리판을 원하는 속도로 병진이동 시켜 원하는 shear를 가해 주었다. 병진 운동은 장치의 한계 상 지속적으로 계속하여 정상상태에 도달하기 어려우므로 gate function 형태의 진동실험을 실시하였다.

현탁액의 분산매로는 현재 많은 관심의 대상이 되고 있는 양이온 계면활성제인 CPyCl($C_{21}H_{38}NCl$)을 사용하였다. 0.02mmol, 0.04mmol, 0.08mmol CPyCl용액에 counter ion으로 NaSal을 같은 몰수 만큼 첨가한 용액을 사용하였다. 계면활성제 용액은 강한 shear thinning 현상을 나타내는 특징을 가지고 있고, 용액의 농도에 따라 shear rate의 변화에 따른 다양한 용액 특성을 나타내기 때문에 용

액의 shear thinning 현상 및 유동장내 용액의 구조 변화에 따른 미세구조 변화를 검토하기에 적당하였다. 용액의 유변학적 물성은 ARES-LS를 이용하여 측정하였다. 그림 2에서는 실험에 사용한 계면활성제 용액의 점도, 점탄성 그래프를 도시하였다. 전단율에 따라 Plateau한 영역과 shear thinning한 영역으로 나뉘는 것을 볼 수 있고, shear thinning한 특성이 강하게 나타나는 것을 알 수 있다.

입자로는 표준체로 분리한 150-180, 212-250, 425-500micron의 구형 PMMA 입자를 사용하였다. 관찰이 용이하도록 흑색의 분산염료로 염색을 하였다. 현탁액의 농도는 20%로 고정하여 실험하였다.

결과 및 고찰

그림 3에는 현탁액의 1차원 진동실험의 전형적인 결과를 도시하였다. 용액의 점도 그래프상의 plateau한 영역의 shear, 즉 낮은 전단율(1 sec^{-1})에서 입자는 초기 상태보다 더 균일하게 배치되고, align이나 chaining현상은 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었고, 점도 그래프상의 shear thinning한 영역의 shear, 즉 높은 전단율(100 sec^{-1})에서 입자들은 alignment와 chaining현상을 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한, shear thinning 영역에서 전단율이 높아짐에 따라 이러한 현상이 더 강하게 나타나고, 사슬구조를 형성한 chain들이 서로 응집하여 굵은 chain을 형성하여 등간격으로 배치되는 것을 확인하였다. 이로부터 현탁액내 입자의 이동은 shear thinning 한 현상에 의하여 강한 영향을 받는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 4에서 보면 동일한 저전단율이라도 각 용액의 shear rate따른 점도 특성에 따라 용액에 분산된 입자가 서로 다른 거동을 보이는 것을 확인하였다. Shear thinning한 정도가 비슷한 계면활성제 용액과 고분자 용액 내 입자의 거동을 비교해보면 동일한 전단율에서 계면활성제 용액 내 입자가 더욱 강하게 align하고, chaining하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 고분자 용액에서는 뚜렷히 나타나지 않았던, 입자로 형성된 chain이 일정 간격을 두고 서로 응집하는 현상이 전단율이 높아질수록 뚜렷히 나타났다.

본 연구의 결과로부터 적절한 유변학적 특성을 특성을 갖는 유체와 유동 형태를 선택하면 Brown 운동이 없는 입자의 미세구조를 조절할 수 있는 방법의 개발이 가능할 것으로 판단된다. 특히 규칙적인 미세구조를 갖는 미세구조의 조절은 비교적 용이할 것으로 판단된다.

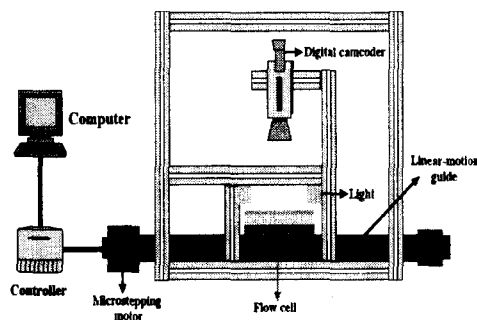


그림 1. 직선왕복운동 실험장치의 개략도.

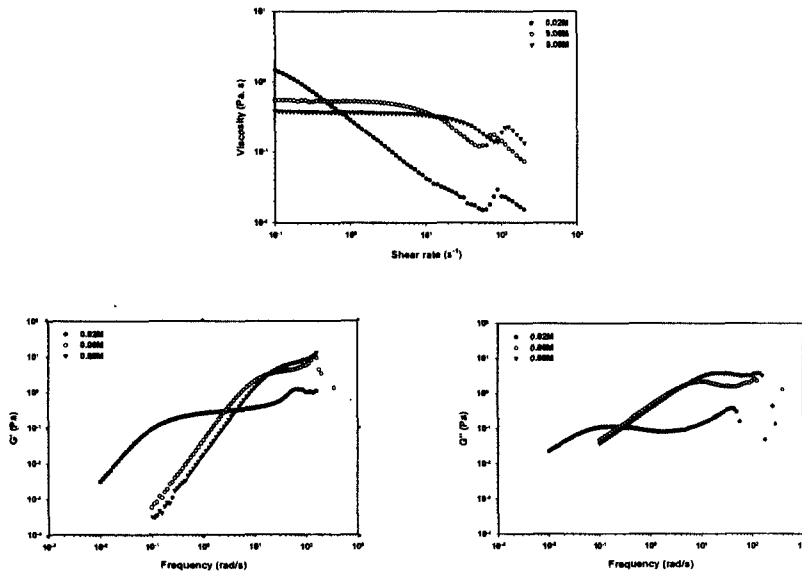


그림 2. 실험에 사용한 양이온 계면활성제의 점도, 점탄성 그래프

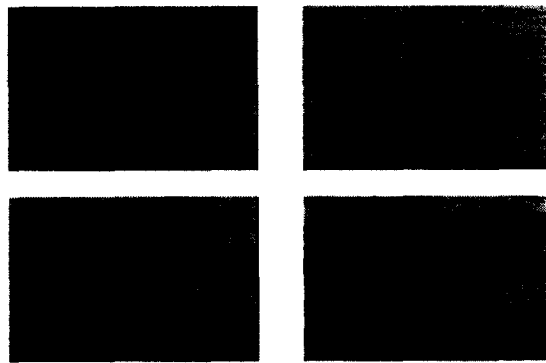


그림 3. 단일입자층 실험의 Dyanmic steady state에서의 입자분포.
 (좌상 : 0.06M용액을 전단을 1 sec⁻¹로 30분간 왕복,
 우상 : 0.06M용액을 전단을 10 sec⁻¹로 40회 왕복,
 좌하 : 0.06M용액을 전단을 100 sec⁻¹로 40회 왕복,
 우하 : 0.06M용액을 전단을 200 sec⁻¹로 40회 왕복)



그림 4. 같은 저전단율(1 sec^{-1})에서 다른 농도의 계면활성제 용액 내 입자분포
(상좌 : 0.08M, 상우 : 0.06M, 하 : 0.02M)

참고문헌

- Joseph, D.D and J. Feng, 1996, *JNNFM* **64**, 299.
Jefri, M.A. and A.H. Zahed, 1989, *J. Rheol.* **33**, 691-708.
Lyon, M.K., D.W. Mead, R.E. Elliott and L.G. Leal, 2001, *J. Rheol.* **45**, 881-890
Michele, J., R. Paetzold and R. Donis, 1977, *Rheologica Acta* **16**, 317-321.