

토출된 유체의 퍼짐 현상

박성현, 김종엽

고려대학교 화공생명공학과, 유변공정연구센터

Spreading of dispensed fluids

Sunghyun Park, Chongyoup Kim

Department of Chemical and Biological Engineering
and Applied Rheology Center, Korea University

서론

전자 산업에서 packaging이나 coating 등에서 사용하는 epoxy나 slurry 등의 유체는 전단율이 증가함에 따라 점도가 감소하고 점탄성을 갖는다. 이러한 유체를 복잡한 기하학적 내부 구조를 갖고 있는 밸브나 디스펜서 등을 이용해 토출하는 경우 유체의 점탄성 등의 영향으로 정량 토출이 어렵고 유체의 끝이 쉽게 끊어지지 않아 공정 시간이 오래 걸리거나 끊어지는 과정에서 생긴 satellite drop이 원하지 않는 위치에 떨어지는 등의 문제가 생기게 된다. 또한 현탁액이나 유탁액과 같은 2상 혹은 다상계는 내부적으로 복잡한 미세구조를 가지는데[1], 유로의 크기와 형태가 다양하게 변화하는 밸브나 디스펜서의 내부를 통과하는 동안 이러한 미세구조가 유동 및 변형 과정을 통하여 발달한다. 즉 평형상태에서는 가장 무작위한 배열을 가지나, 유동, 변형 과정에서 서로 다른 상들이 이동, 분열, 회합함으로써 미세구조를 형성하게 되는 것이다. 이러한 미세구조를 갖는 유체 또는 paste, slurry 등을 사용해 토출 공정이나 coating 공정을 수행하는 경우, 유체의 유변학적 성질과 유체 내부에서 일어나는 입자 이동 등에 의해 토출된 액적의 형태가 제한되거나[2, 3] 불균일한 coating layer가 생성되는 등[4, 5] 바람직하지 않은 결과를 얻을 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 사용하는 유체의 유변학적 성질을 파악하고, 그에 적합한 밸브와 디스펜서를 설계하여 사용하며, 결과물의 품질과 공정 속도를 만족시킬 수 있는 공정 조건에서 작업이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 고분자 용액 및 epoxy를 대상으로 실제 공정 상황과 유사한 조건에서 토출 실험을 수행하고, 점탄성이 있는 유체를 토출할 때 바닥면에서 액적이 퍼지면서 일어나는 현상 및 그에 따른 공정에 대한 제한 요건 등에 대한 실험적인 연구를 수행하였다. 이러한 연구는 궁극적으로 paste, suspension, slurry 등의 다상 유체를 토출하는 공정을 개선하고 사용하는 유체에 적합한 공정 조건을 정하는 데에 도움을 줄 수 있을 것이다.

실험방법

본 연구에서 토출 실험은 실제 공정에서 사용되는 것과 유사한 디스펜서 장치를 이용해 수행하였다. 디스펜서 장치는 실린지 내부의 유체에 질소나 압축 공기 등으로 압력을 가해 유체를 토출하는 장치로서 유체에 가하는 압력을 조절하는 토출압력 조절장치와 압력을 가하는 시간을 조절하는 토출시간 조절장치, 토출하려는 유체가 들어있는 실린지로 이루어져 있다. 토출압력 조절장치와 토출시간 조절장치를 거친 질소는 실린지 내부의 유체에 압력을 가하고, 유체는 실린지에서 밀려나와 디스펜서 팁을 거쳐 토출된다.

실험에 사용한 유체는 Polyacrylamide(PAAm)를 ethylene glycol (EG)과 glycerin (GL)에 용해시킨 고분자 용액과 전자산업용 epoxy이다. PAAm+EG+GL 용액은

PAAm(Aldrich Chem. Co., 분자량 15,000,000)을 EG(Junsei Chem. Co.)에 먼저 용해시킨 뒤 GL(Junsei Chem. Co.)을 혼합하여 제조하였고 용액의 농도는 200ppm이다. Epoxy는 업체에서 제공받은 그대로 사용하였다. 각 유체는 TA Instruments의 ARES와 AR2000을 이용하여 유변물성을 측정하였고 Kruss의 K9 tensiometer를 이용해 표면장력을 측정했다.

토출 실험은 실린저 내부에 들어있는 유체에 일정 압력에서 일정 시간 동안 압력을 가해 유체를 토출시키고, 디스펜서 팁을 통해 유체가 나와서 바닥면에서 퍼지는 과정을 고속카메라(XStream XS-4, IDT Inc.)로 촬영하여 수행했다. 이후 촬영한 영상을 image processing을 통해 분석하고 바닥면에서의 액적의 지름과 높이를 계산했다. 실험은 토출압력, 토출시간, 디스펜서 팁과 바닥면 사이의 거리, 디스펜서 팁의 내경 등을 변화시키면서 수행하였다.

결과 및 토론

디스펜서에서 epoxy가 토출되는 과정을 촬영한 영상은 Figure 1에 나타나 있다. 초기에 epoxy가 압력에 의해 밀려나오면서 디스펜서 팁 끝에 맺히는 것을 볼 수 있다. 액적이 디스펜서 팁과 epoxy 사이의 표면장력이 지탱할 수 있는 정도의 크기 이상으로 커지면 액적이 디스펜서 팁에서 떨어지면서 바닥면으로 이동하게 되고, 액적이 바닥면에 도달한 이후에는 변형이 일어나면서 퍼지게 된다.

PAAm 200ppm+EG+GL 용액을 사용해서 토출 실험을 수행 시 토출압력과 토출시간을 변화시켰을 때 시간에 따른 바닥면에서의 액적의 지름과 높이의 변화는 Figure 3, 4와 같이 측정되었다. 토출압력이 높고 토출시간이 길어질수록 평형 상태에서의 액적의 지름이 커지는 것을 알 수 있다. 또한 두 경우 모두 충분한 시간이 흐르면 액적이 더 이상 퍼지지 않고 일정한 지름과 높이를 유지하게 되는 것을 알 수 있다.

결론

토출 실험 결과를 통해 토출압력과 토출시간, 디스펜서 팁과 바닥면 사이의 거리, 디스펜서 팁의 내경 등의 변화에 따라 토출된 유체의 양과 바닥면에서의 액적의 지름이 달라짐을 알 수 있었다. 이 같은 결과로 미루어 볼 때 위와 같은 공정 변수를 조절하면 원하는 크기의 액적을 만들 수 있을 것으로 생각된다. 또한 유체의 relaxation time에 따라 바닥면에서 변형이 일어나는 속도가 다르다는 것을 관찰할 수 있었다.

참고문헌

1. Leighton, D., A. Acrivos, The shear-induced migration of particles in concentrated suspensions, *Journal of Fluid Mechanics*, **181**(1987), 415-439.
2. Rose, P., N. Walker, The influence of pigment selection on particle size and migration stability in aqueous ink jet inks, *Proc. IS&T NIP 19*(2003), 190.
3. Desie, G. O. Pascaul, T. Pataki, P. de Almeida, P. Mertens, S. Allaman, A. Soucemarianadin, Imbibition of dye and pigment-based aqueous inks into porous substrates, *Proc. IS&T NIP 19*(2003), 209.
4. Timberlake, B. D., J. F. Morris, Particle migration and free-surface topography in inclined plane flow of a suspension, *Journal of Fluid Mechanics*, **538**(2005), 309-341.
5. Loimer, T., A. Nir, R. Semiat, Shear-induced corrugation of free interfaces in concentrated suspensions, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **102**(2002), 115-134.

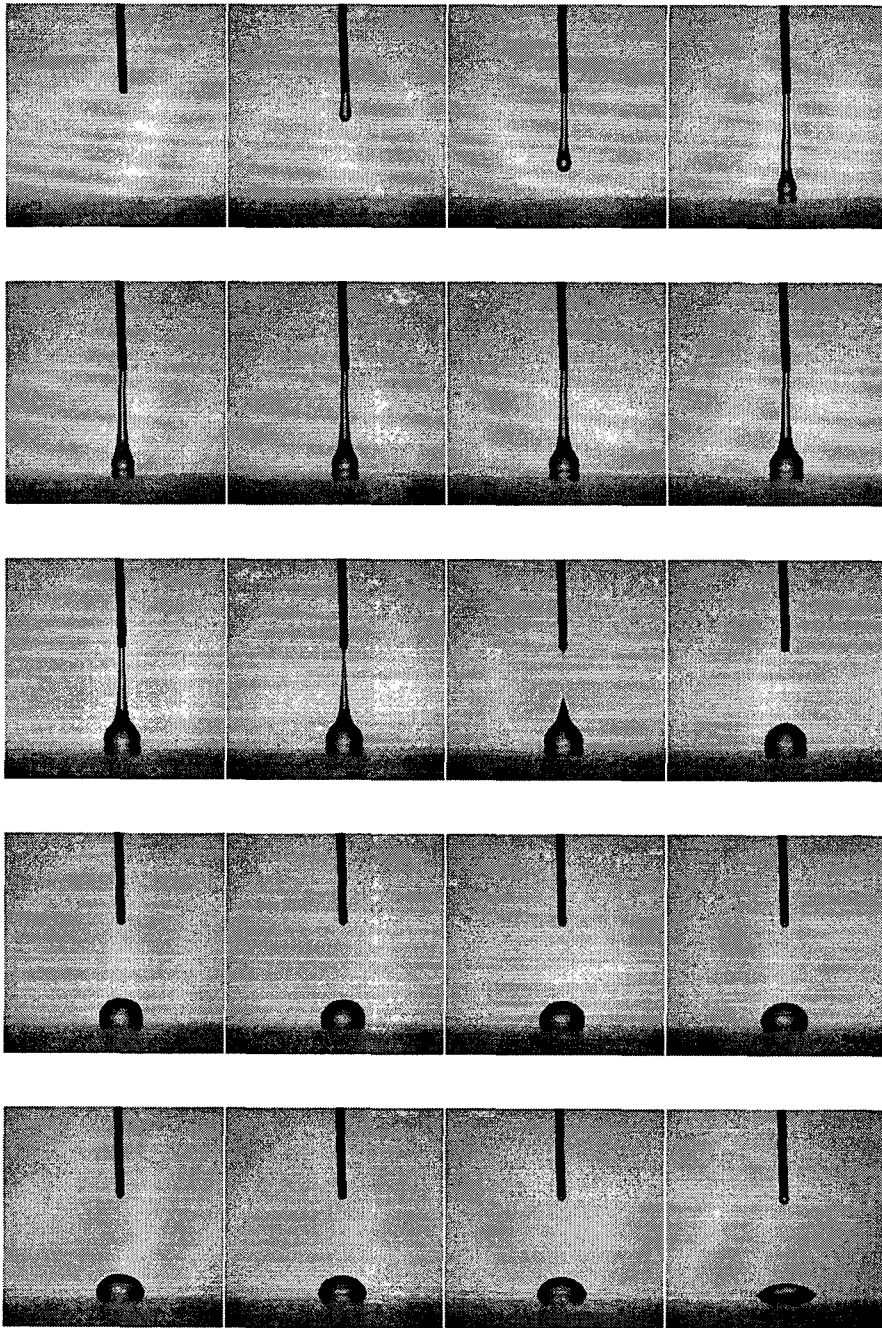


Figure 1. Images of epoxy dispensed at 5atm for 15s, 10mm from surface

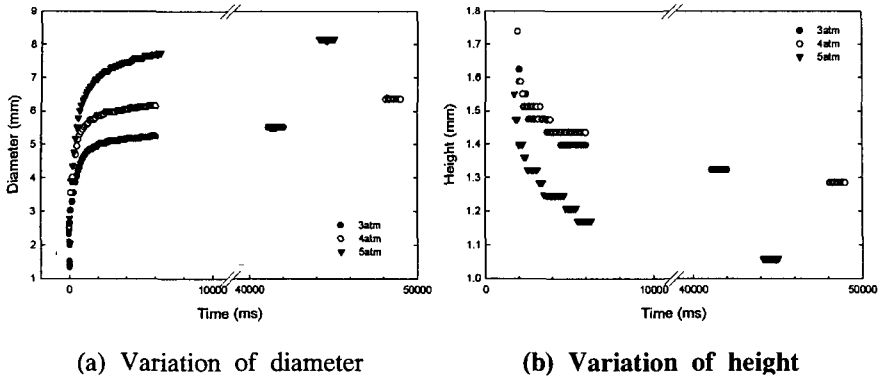


Figure 2. Variation of diameter and height of droplets on the surface for different dispensing pressure (Dispensed at 600ms of dispensing time, 10mm from the surface)

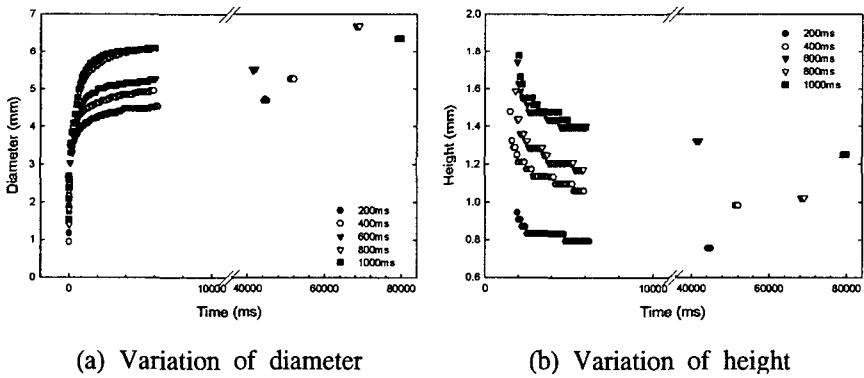


Figure 3. Variation of diameter and height of droplets on the surface for different dispensing time (Dispensed at 3atm of dispensing pressure, 10mm from the surface)