

Textile inkjet printing: Drop formation and impaction

박형섭, 박수민, Wallace Carr, 옥현영, Jeff Morris

부산대학교 섬유공학과

1. 서 론

잉크젯 프린팅 테크닉을 이용하는 데 있어서 drop impaction과 drop formation과 같은 역학적 공정은 매우 중요한 역할을 한다. Impaction과 formation은 밀접한 관계를 가지고 있는데, drop formation 공정은 drop impaction시 drop크기, 속도, frequency에 영향을 미친다. 이들 두공정은 보통 같이 사용되고 있지 않지만 서로 밀접한 관계에 있기 때문에 여기서는 같이 설명하기로 한다. 본문에서는 섬유 날염공정에서 사용할 수 있는 잉크젯 프린팅 이해하기 위해 drop formation과 impaction 공정을 논의 하였다.

2. Drop formation from particle-laden liquids

Particle이 분산되어 있는 liquid drop은 복잡한 현상을 야기한다. Pure liquid에서는 단순히 Reynolds number, $Re = \frac{\rho v d}{\eta}$ 와 Weber number, $We = \frac{\rho v^2 d}{\gamma}$ 만 고려하면 되지만, 분산용액에서는 더 나아가 solid volume fraction f ,와 ratio dp/d (particle size(dp)/the orifice diameter(d)) 등을 고려하여야 한다. 그 외에도 낙하 방향으로의 속도 v , 용액 또는 분산 농도 r 와 액체와 기체의 표면 장력 등과 함께 위에서 언급한 dimensionless number를 고려해야 한다. 좀 더 나아가서, particle사이즈가 충분히 작을 경우 Brownian motion을 고려해야 하고 non-infinite Peclet number 등도 고려해야 한다.

Particle-laden drop은 pure liquid와는 달리 drop formation이 두 단계로 나누어진다. Fig. 1에서 pure liquid와 $f=0.2$ suspension의 연속 사진을 비교한 것이다. Figure에 대해 좀 더 알아보자면 노즐 직경은 $d = 0.16$ cm, particle 크기는 125 μ m이고 이미지 간의 시간은 0.004초이고 flow rate은 Reynold number가 0.01일때 0.25cm³/min이다. 이 Figure에서 pure liquid는 drop이 생성될 때 까지 계속 해서 stretching되지만 분산상태에서는 초기에 pure liquid와 비슷하지만 drop이 형성될 때 cone모양의 "spindle"을 만들게 된다. (Furbank and Morris 2004, 2005)

3. Drop impacting

Liquid drop이 고체표면으로 떨어질 때 고려해야 할 요소로는 impact 속도, 부피, liquid 물성 (점도, 표면장력, 밀도), 고체 표면에너지, 계면에서의 상호작용 에너지와 고체표면성질 등이다. 이들 요소들을 3가지 dimensionless number로 설명할 수 있는데, dimensionless number로는 Reynolds number, Weber number와 접촉각을 들 수 있다.

Fig. 2에서는 2.3 mm liquid drop과 textile like rough 표면이나 평평한 표면과의 impaction시 거동의 차이를 보여주고 있다. 이 표면의 높이와 주기는 각각 1.25와 1.3mm이다. Impact 속도는 0.87m/s 이고 Reynolds number와 Weber number는 각각 2000과 24이다. 실험은 유체drop이 메디아 표면의 필라멘트 구조의 중간에 떨어질 때 (position 1), 두 필라멘트 사이에 떨어질 경우(position 2), 그리고 position 1과 2사이인 position 3에 떨어질 경우를 고려할 수 있다. 이 Figure에서 3가지 다른 위치에서의 impact시의 거동을 같은 시간 간격의 연속사진을 보여 주고 있다.

평평한 표면에서는 liquid가 충돌지점에서 바깥쪽으로 빠르게 움직인다. 이와는 달리 rough surface에서는 흐름에 대한 저항이 약한 필라멘트 축 방향으로 빠르게 흐르게 된다. 이렇게 roughness가 유체흐름에 영향을 주기 때문에 spreading, retracting과 maximum spreading ratio에 영향을 주게 된다.

축 반대방향으로의 maximum spreading ratio는 position 2에서 최고 인 반면 필라멘트 방향으로는 position 1에서 최고가 된다. 또한 equilibrium diameters는 position 2와 3은 같지만 position1보다는 크게 된다. 그 이유로는 필라멘트의 구조적 장애 때문이다. 이와 같은 내용은 Josserand *et al.*, 2005, 등도 보고 하고 있는데, 표면의 작은 방해물이 impact drop이 splashing에 영향을 미친다고 발표하고 있다.

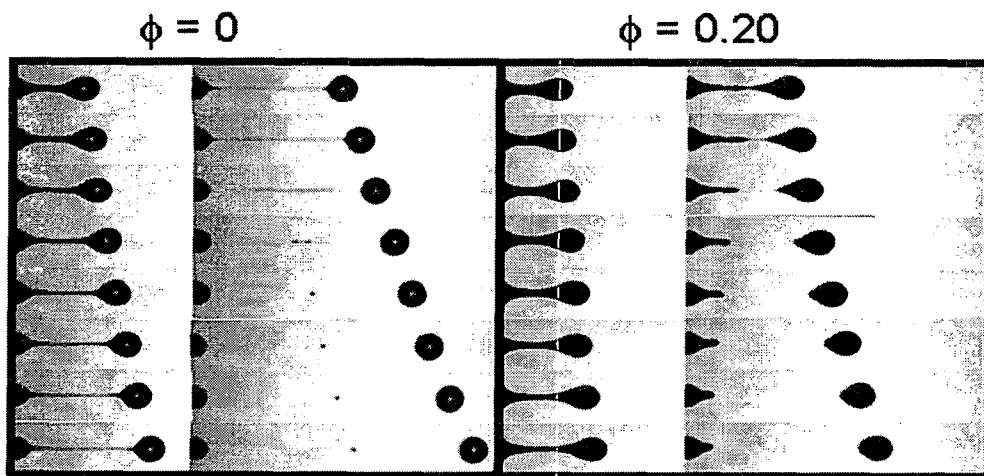


Fig. 1. Sequence of images of drop formations of drops from a pure liquid and a $\phi = 0.2$ suspension

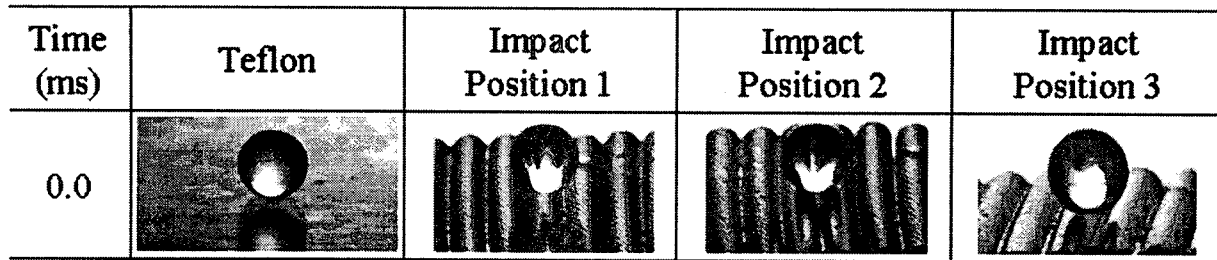


Fig. 2. Sequence of images of 2.3 mm water drop impactation on a smooth and filament-like rough surfaces.

4. Future trends

비록 drop formation과 impaction에 관해 중점적으로 많은 연구가 되었지만 아직 많은 연구 분야가 남아 있다. 컴퓨터나 광학장비와 같은 새로운 실험도구의 도입으로 Newtonian 유체를 이용한 drop formation은 아직 활동적으로 연구 되고 있다. 앞으로도 연구될 수 있는 분야로는 particle-laden liquid를 이용한 inkjet 공정인데 이에는 pigment와 바인더를 사용하는 textile inkjet printing 부분과 금속 particle을 사용하는 전도성물질을 사용하거나 세라믹을 함유한 잉크를 사용하는 비전통적인 잉크젯 기술이 포함된다.

참고문헌

1. Josserand C, Lemoyne L, Troeger R, and Zaleski S (2005), 'Droplet impact on a dry surface: triggering the splash with a small obstacle', *J. Fluid Mech.*, 524, 47-56.
2. Furbank R J and Morris J F (2004), 'An experimental study of particle effects on drop formation', *Phys. Fluids* 16 (5), 1777-1790.
3. Furbank R J and Morris J F (2005), 'Pendant drop thread dynamics of particle-laden liquids', submitted to *Int. J. Multiphase Flow*.
4. Ok H, Park H, Carr W W, Morris J F, and Zhu J (2004), Particle-laden drop impacting on solid surfaces, *J Dispersion Sci Tech*, 25 (4), 449-456.
5. Park H (2003), *Drop impingement and interaction with a solid surface*, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
6. Park H, Carr W W, Zhu J, and Morris J F (2003), 'Single drop impaction on a solid surface', *AIChE Journal*, 49 (10), 2461-2471.