



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

회전하는 고체표면에 충돌하는
액체 젯의 퍼짐 연구

Liquid jet impingement on rotating substrates
of various wettability

2021년 2월

서울대학교 대학원

기계공학부

정 윤 석

회전하는 고체표면에 충돌하는 액체 젯의 퍼짐 연구

Liquid jet impingement on rotating substrates
of various wettability

지도 교수 김 호 영

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2021년 2월

서울대학교 대학원
기계공학부
정 윤 석

정윤석의 공학석사 학위논문을 인준함
2021년 2월

위 원 장 _____ 송 성 진 (인)

부위원장 _____ 김 호 영 (인)

위 원 _____ 황 원 태 (인)

국문 초록

고체 표면에 액체 젯이 충돌하면 액막이 방사 방향으로 퍼지며 hydraulic jump를 생성하는 것은 그동안 활발히 연구되어왔다. 본 연구에서는 액체 젯이 회전하는 소수성 표면에 충돌할 때 finger가 생성되며 배수로 역할을 하여 액막의 성장이 멈추게 되는 현상을 발견하였다. 이러한 현상은 반도체 공정 내의 회전 공정을 사용하는 경우, 액막이 표면을 다 덮지 못하게 되어 불균일한 공정 결과를 나타내는 등의 문제가 발생한다. 이러한 현상이 나타나는 이유를 파악하기 위하여 접촉각, 각속도, 액체의 물성, 유량이 액막의 성장에 끼치는 영향을 실험을 통하여 정성적으로 파악하였다. 또한 이를 바탕으로 steady-state에 도달한 액막의 반지름을 정확히 예측할 수 있는 이론 모델을 완성하였다.

주요어 : Substrate wettability, fingering

학 번 : 2018-29820

목 차

국문 초록	i
목차	ii
List of figures	iii
List of tables	iv
기호 설명	v
1. 서론	1
2. 실험 장치 및 실험 방법	3
2.1 실험 장치	3
2.2 실험 방법	5
3. 실험 결과	11
4. 최종 액막 반지름 이론 모델링	16
5. Finger 개수 분석	21
6. 결론	24
참고문헌	25
Abstract.....	28

List of figures

Fig. 1	Schematic of experimental setup	4
Fig. 2	Contact angle measurement on each coated surface. a) Bare wafer. b) SiO ₂ PVD coated wafer. c) Parylene CVD coated wafer. d) Teflon coated wafer.....	7
Fig. 3	Liquid films on rotating substrates induced by jet impingement with a flow rate of 20 mm ³ /s and angular velocity of 52 rad/s on a) hydrophilic surface, b) hydrophobic surface.....	8
Fig. 4	Steady-state film radius on non-wetting rotating substrate.	9
Fig. 5	PIV experiment with micro-glass beads	10
Fig. 6	Relationship between the final radius to each parameter (flow rate, angular velocity, contact angle). Observations were obtained under the following conditions (a) flow rate of 20 mm ³ /s and contact angle of 86 deg. (b) Flow rate of 12 mm ³ /s and angular velocity of 52 rad/s. (c) Angular velocity of 52 rad/s and contact angle of 86 deg.	12
Fig. 7	Images of saturated film with flow rate of 20 mm ³ /s, contact angle of 86 deg, and under the following angular velocity (a) 10 rad/s (b) 52 rad/s (c) 104 rad/s (d) 157 rad/s	13
Fig. 8	Images of saturated film with flow rate of 20 mm ³ /s, angular velocity of 52 rad/s, and under the following contact angle (a) 20 deg (b) 56 deg (c) 86 deg (d) 110 deg.....	14

Fig. 9	Images of saturated film with angular velocity of 52 rad/s, contact angle of 86 deg, and under the following flow rate (a) 13.3 mm ³ /s (b) 20 mm ³ /s (c) 26.6 mm ³ /s (d) 33.3 mm ³ /s.....	15
Fig. 10	PIV result conducted with the following condition: flow rate of 20 mm ³ /s, angular velocity of 104 rad/s, and the contact angle of 86 degree.	18
Fig. 11	Control volume at the liquid film's edge.	19
Fig. 12	(a) Separated film radius data with the angular velocity. (b) Collapsed data through our theoretical model	20
Fig. 13	Number of fingers with the final radius.	22

List of tables

Table 1 Coating method and contact angle of each surface...	10
Table 2 Finger's number with the parameters	22

기호 설명

Q	Flow rate of liquid
U	Average radial velocity
ω	Angular velocity
ρ	Density of liquid
μ	Viscosity of liquid
θ	Contact angle of liquid and substrate
σ	Surface tension of liquid
R_f	Final radius of saturated liquid film

1. 서론

원심력에 의한 액막의 퍼짐(spreading)은 액체의 양이 고정되었을 때와 액체가 계속적으로 주입될 때 두가지의 경우에 대하여 연구가 이루어져왔다. 먼저 액체의 양이 고정된 경우, 일정량의 Newtonian 액체가 회전하는 표면 위에서 퍼져나갈 때 액막의 윤곽선에 대한 분석이 이루어졌다.[1] 그 후에 율할이론을 이용하여 fingering instability을 분석하여 finger가 나타나는 critical radius를 구할 수 있는 연구가 진행되었다.[2] 이때, 접촉각과 표면장력이 instability를 증가시키고,[3, 4] 탄성은 instability를 감소시킨다는 것이 밝혀졌다.[5] 또한 Finger의 형상을 결정짓는 것이 Coriolis force라는 것이 드러났다.[6, 7] 스핀 공정이 발달하게 되면서 위치럼 회전하는 액막에서 나타나는 finger에 대한 연구들이 활발히 이루어졌고 지금도 활발히 진행되고 있다. Finger의 성장 simulation, suspension 액막의 성장, 중첩된 액막의 spin coating 등이 추가로 연구되었다. [8 - 12]

액체가 계속적으로 회전하는 표면에 주입될 때에 관한 연구는 반도체 공정의 발달로 인하여 그동안 여러 선행연구들이 진행되었다. 회전하는 표면 위의 액체가 공급될 경우, 액막 표면에 wave가 나타나는데 이때 wave를 없애기 위한 방안이 고안되었다. [13] 이때, Reynolds 수가 증가하면 hydraulic jump가 나타났고 hydraulic jump가 생성되는 위치와 Reynolds 수의 관계가 밝혀졌다.[14] 이에 대한 연구는 그 후로도 계속되어 유량에 따른 jump의 높이가 수치해석적으로 구해졌고,[15] 탄성의 영향이 밝혀졌다.[16, 17] 이를 바탕으로 hydraulic jump가 일어나는 최대 반지름과 최대 jump의 높이를 정확히 예측하는 이론 모델이 수립되었다.[18] 그 외에도 photoresist를 효율적으로 도포하기 위한 방안

이 제시되었다.[19, 20] 더 최근엔 회전하는 표면에 충돌하는 액체로 인한 finger의 형상을 분류하고 그 과정에서 액막이 회전하는 표면을 다 덮을 수 있는 시간을 finger의 형상에 따라 분류하는 연구가 진행되었다. [21, 22] 위와 같이 그동안 많은 연구들이 진행되어 왔지만 그동안의 연구들이 친수성의 표면과의 충돌에 집중되었기 때문에 소수성 표면과 액체와 회전하는 표면이 충돌할 때의 현상은 밝혀지지 않았다.

본 연구에서는 액체가 회전하는 소수성 표면에 충돌할 때 액막의 반지름이 더 이상 증가하지 않고 saturation 상태에 도달하는 것을 발견하였다. 이를 분석하기 위하여 초고속 카메라와 spin coater를 이용하여 액막의 성장과 saturation을 촬영하였고 액막의 성장을 방해하는 주요 요인이 표면장력과 배수로 역할을 하는 finger임을 밝혀내어 액막이 saturation 되는 지점을 예측할 수 있는 이론 모델을 수립하였다.

2. 실험 장치 및 실험방법

2.1 실험장치

모든 실험은 spin coater(LT-MS 300, LTS)와 초고속 카메라(Fastcam SA1. 1, Fotron)를 이용하여 진행되었다. 접촉각이 다른 300mm의 웨이퍼를 스피너 챔버 중앙에 놓고 진공펌프로 고정시킨 후 약액을 중앙에 분사하여 액막의 변화를 500fps ~1500fps로 촬영하였다(Fig. 1). 이때 spin coater 주위를 하얀 종이로 원뿔 모양으로 감싸 액막의 경계선을 구분할 수 있도록 하였다.

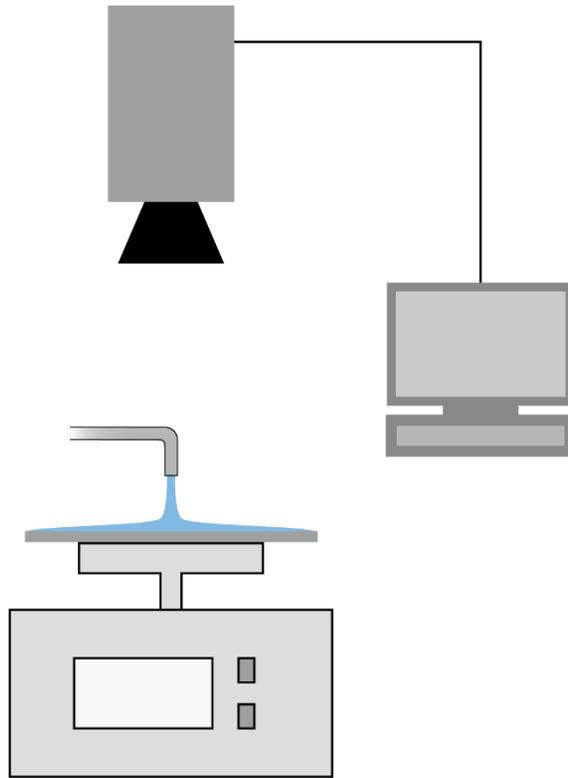


Fig. 1. Schematic of experimental setup.

2.2 실험방법

접촉각에 의한 영향을 파악하기 위하여 4가지 표면을 준비하였다. 먼저 코팅 되지 않은 bare Si 웨이퍼와 SiO₂, Parlyene, 그리고 Teflon으로 코팅된 웨이퍼를 이용하였다. 각각의 코팅 방법과 접촉각은 Table 1에 기술하였다..

회전하는 표면에 충돌하는 유체로 DIW(Deionized water)가 쓰였고 유량과 각속도는 실제 반도체 세정 공정을 바탕으로 각각 6.67 - 33.3 mm³/s, 10 - 160 rad/s 내에서 변화시키며 실험을 진행하였다. 이때 친수성 표면에서는 액막이 웨이퍼를 다 덮는데 성공하였지만 소수성 표면의 경우에는 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 액막의 성장이 멈추는 것을 볼 수 있다. 이를 정량적으로 비교하기 위하여 최종 액막 반지름을 Fig. 4와 같이 정의하여 실험 조건별로 측정하였다. 이때 액막이 saturation 상태에 도달하였을때의 이미지를 이용하여 finger 개수를 측정하였다. 또한 액막 내부의 유속을 확인하기 위하여 지름 25 μm의 유리 bead를 사용하여 PIV(Particle image velocimetry) 실험을 진행하였다 (Fig. 5). 이때 유리 bead는 스펀코터에 분사되기 전 노즐에 투여되었다.

Table 1 Coating method and contact angle of each surface.

Coated material	Bare Si	SiO ₂	Parylene	Teflon
Coating method	–	PVD coating	CVD coating	CVD coating
Contact angle (deg)	20	56	86	110

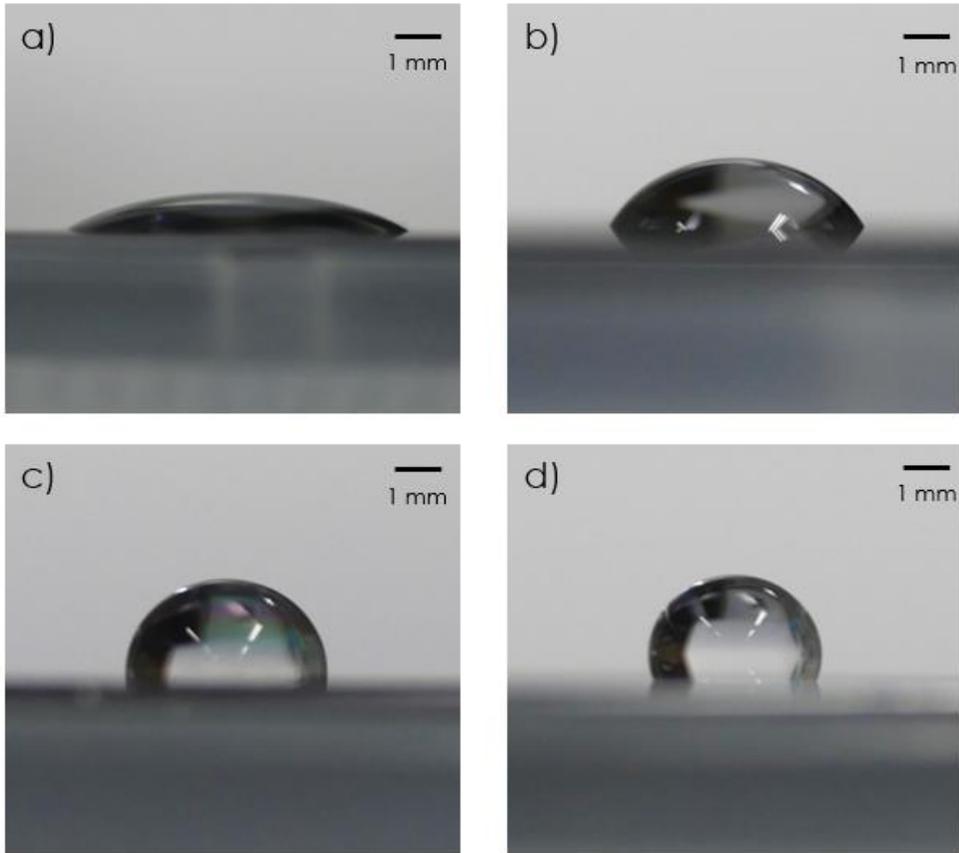


Fig. 2. Contact angle measurement on each coated surface. a) Bare wafer. b) SiO_2 PVD coated wafer. c) Parylene CVD coated wafer. d) Teflon coated wafer.

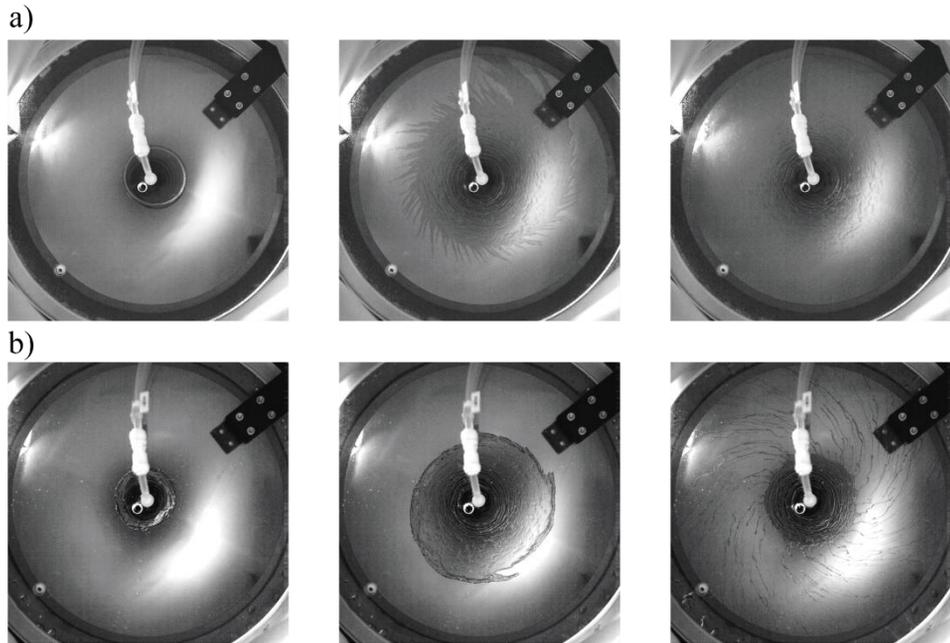


Fig. 3. Liquid films on rotating substrates induced by jet impingement with a flow rate of $20 \text{ mm}^3/\text{s}$ and angular velocity of 52 rad/s on a) hydrophilic surface, b) hydrophobic surface.

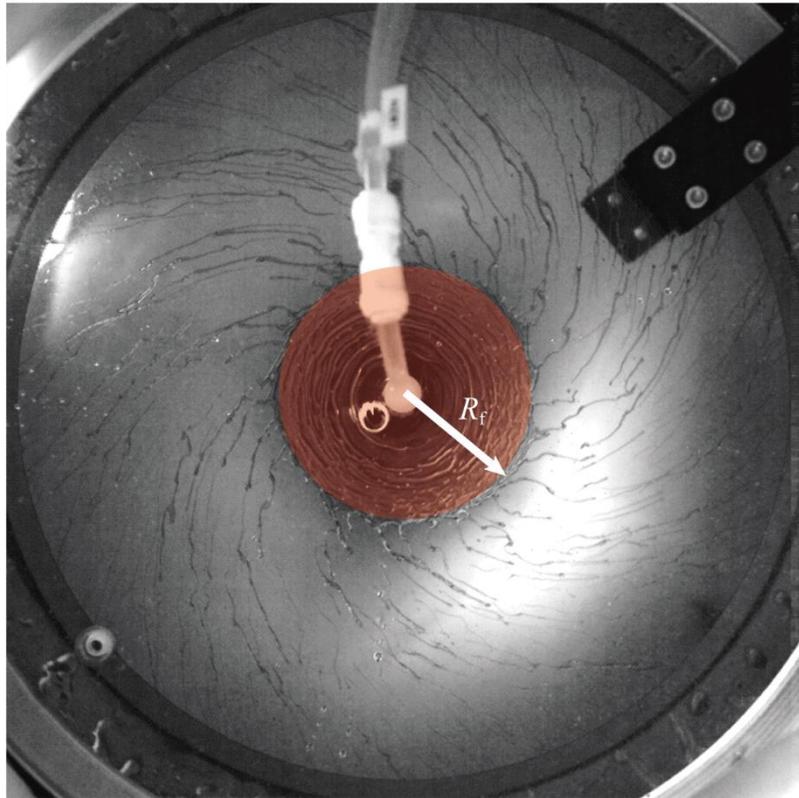


Fig. 4. Steady-state film radius on non-wetting rotating substrate.

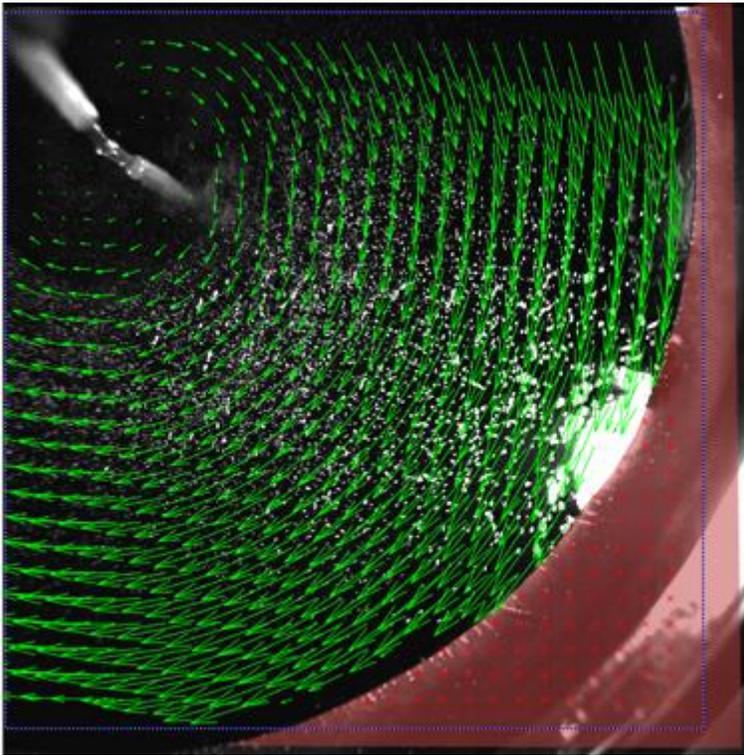


Fig. 5. PIV experiment with micro-glass beads.

3. 실험 결과

초고속카메라를 이용하여 다양한 조건(유량, 각속도, 접촉각) 속에서의 회전하는 표면 위에서의 액막의 성장, 축소, 그리고 포화상태를 관찰할 수 있었다. 최종액막 반지름(R_f)은 액막이 포화상태에 도달하였을 때 측정하였다. 각 조건에 따른 액막의 성장을 비교하였을 때, 변수 별 경향성을 정성적으로 파악할 수 있었다 (Fig. 5). 유량과 각속도의 경우 최종액막 반지름 R_f 와 양의 상관관계를 갖고, 접촉각의 경우 음의 상관관계를 가지고 있다. 또한 친수성 표면에서는 액막이 웨이퍼를 다 덮을 수 있었던 반면에 소수성 표면에서는 dry spot이 발생하는 것을 확인하였다.

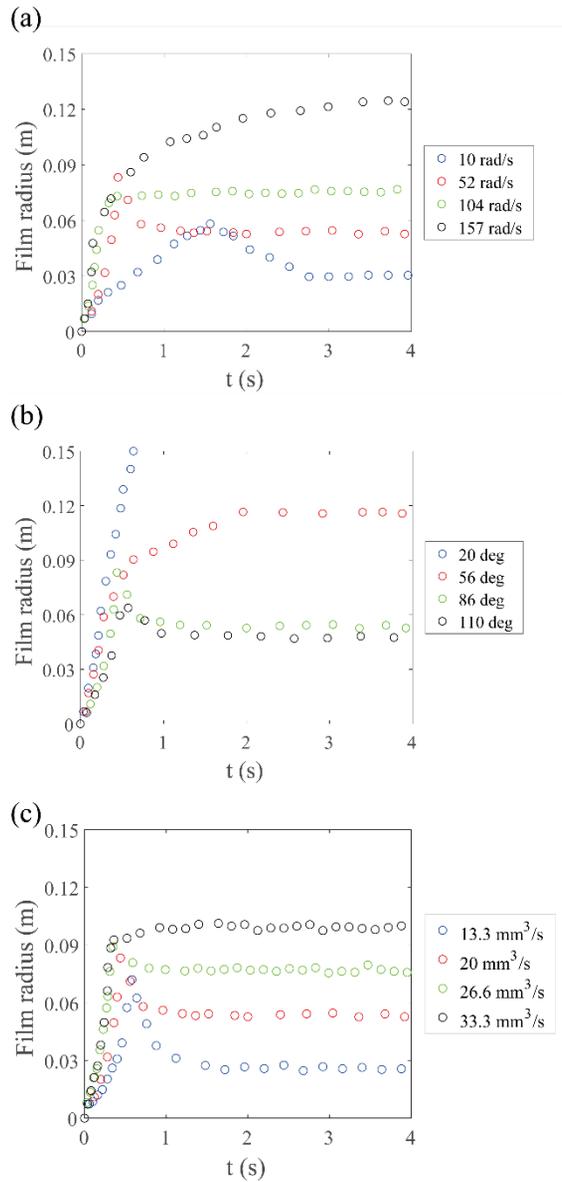


Fig. 6. Relationship between the final radius to each parameter (ow rate, angular velocity, contact angle). Observations were obtained under the following conditions (a) flow rate of 20 mm³/s and contact angle of 86 deg. (b) Flow rate of 12 mm³/s and angular velocity of 52 rad/s. (c) Angular velocity of 52 rad/s and contact angle of 86 deg.

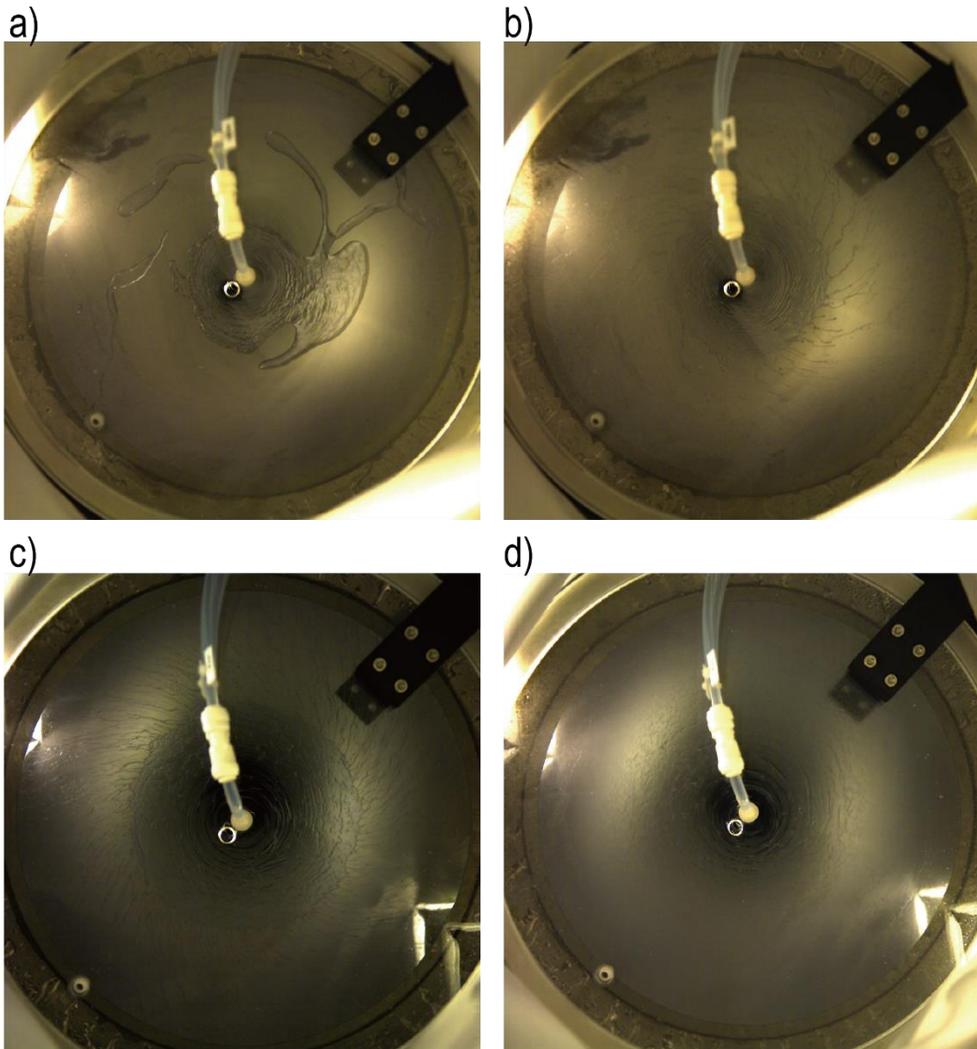


Fig. 7. Images of saturated film with flow rate of $20 \text{ mm}^3/\text{s}$, contact angle of 86 deg , and under the following angular velocity (a) 10 rad/s (b) 52 rad/s (c) 104 rad/s (d) 157 rad/s .

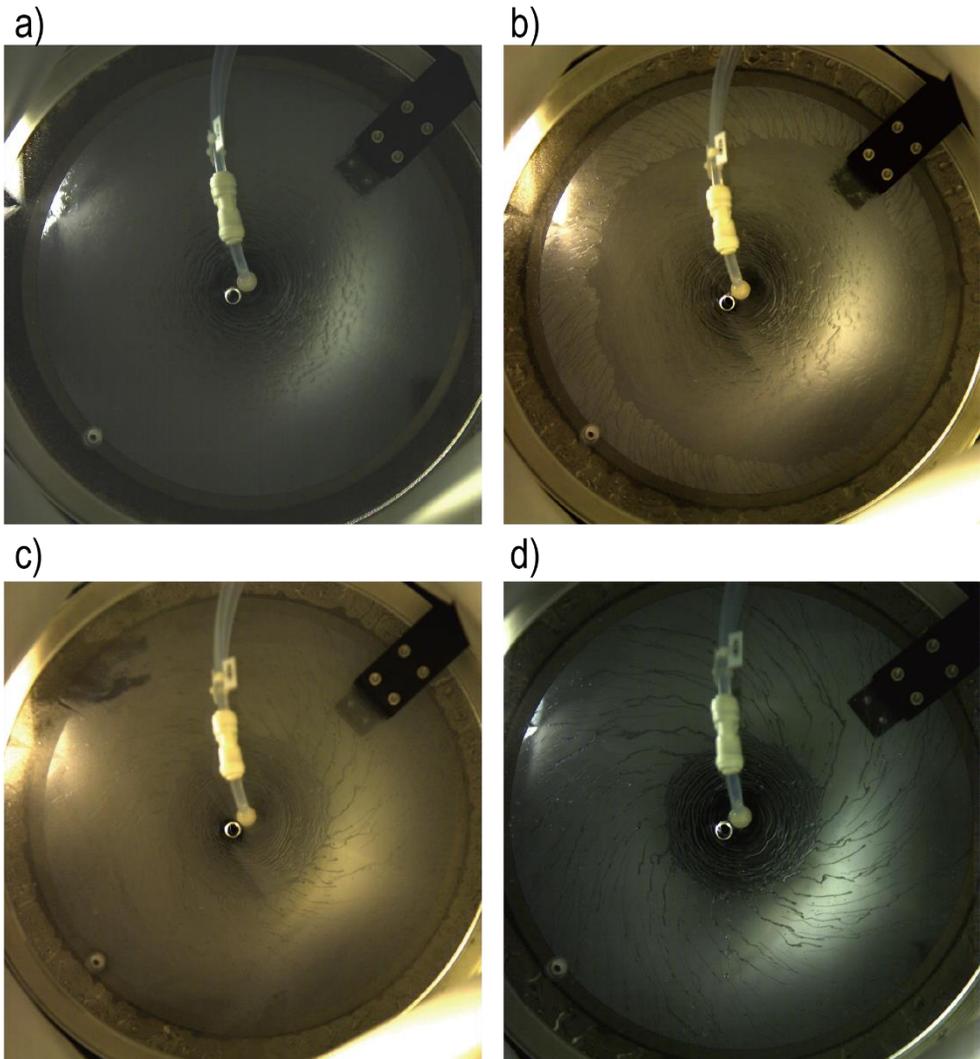


Fig. 8. Images of saturated film with flow rate of $20 \text{ mm}^3/\text{s}$, angular velocity of 52 rad/s , and under the following contact angle (a) 20 deg (b) 56 deg (c) 86 deg (d) 110 deg .

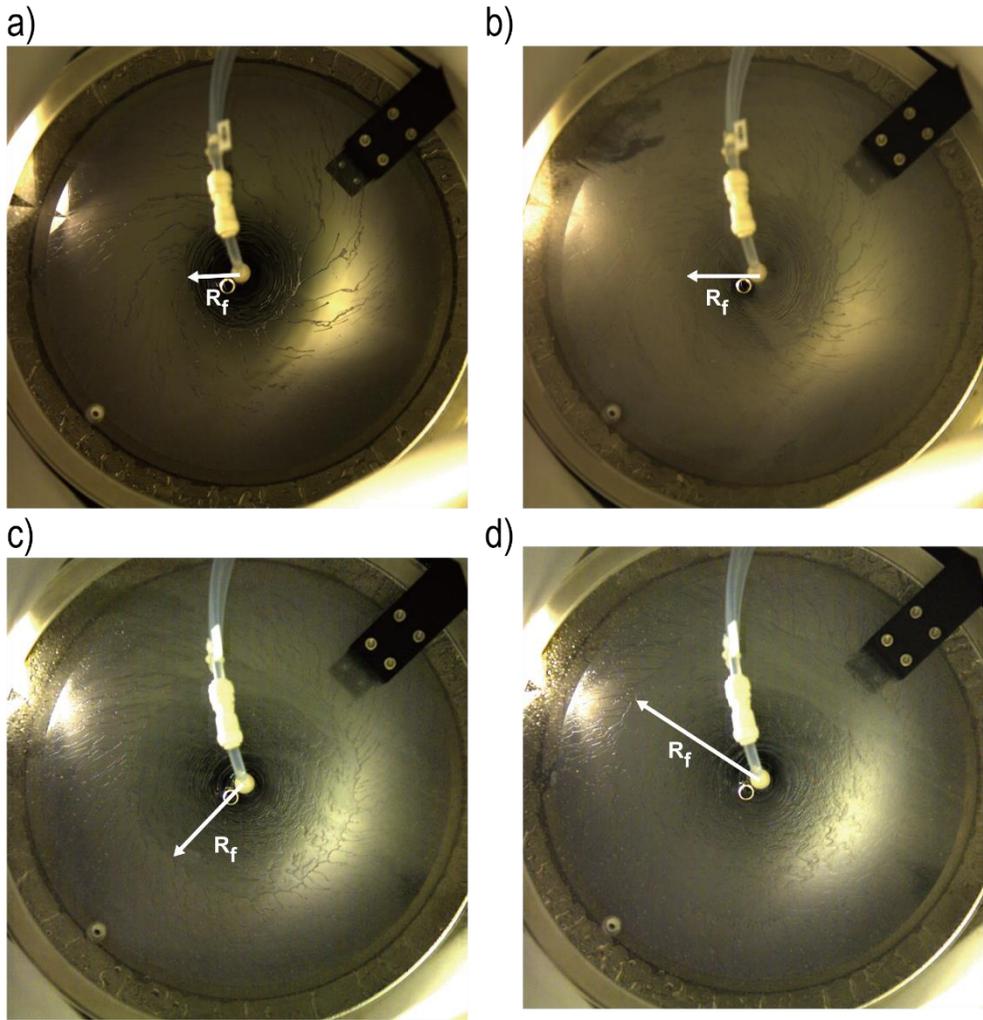


Fig. 9. Images of saturated film with angular velocity of 52 rad/s, contact angle of 86 deg, and under the following flow rate (a) 13.3 mm³/s (b) 20 mm³/s (c) 26.6 mm³/s (d) 33.3 mm³/s.

4. 최종 액막 반지름 이론 모델링

액막이 포화상태에 이르렀을 때 이를 정상상태로 가정하고, 좌표계를 Fig. 6과 같이 Ω 의 각속도로 회전하고 있다고 정의할 수 있다. 이때 질량보존 법칙에 의하여 다음 식이 성립한다.

$$Q = 2\pi r U h \quad (1)$$

이때 r 은 중심으로부터의 거리, h 는 액막 두께, U 는 r 에서의 평균 유속을 의미한다.

그 다음으로 윤회이론을 적용하여 Navier-Stokes 방정식을 간단히 할 수 있다. 각속도 ω 로 회전하는 액막의 Navier-Stokes 방정식은 다음과 같다.

$$\rho \frac{Du}{Dt} + \rho(u \cdot \nabla)u = \rho\omega^2 r + \mu \nabla^2 u \quad (2)$$

여기서 ρ 는 밀도, μ 는 점도를 의미한다. 이때 inertia term과 viscous term을 비교하여 보면 inertia term 이 무시될 수 있어 식(4)와 같이 간단히 할 수 있다.

$$\frac{\rho u \frac{\partial u}{\partial r}}{\mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}} \sim \frac{\rho u}{\mu r} h^2 \sim Re_h \frac{h}{r} \ll 1 \quad (3)$$

$$\mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \rho\omega^2 r = 0 \quad (4)$$

따라서 식 (1)과 식 (4)에 scailing law를 적용하면 다음과 같이 반지름 방향 유속에 대한 식을 얻을 수 있다.

$$U \sim \left(\frac{\rho\omega^2 Q^2}{\mu} \right)^{1/3} r^{-1/3} \quad (5)$$

위의 이론을 검증하기 PIV 실험을 진행한 결과 실험값과 이론 모델이 일치하는 것을 알 수 있다 (Fig. 7).

액막은 관성과 원심력으로 인하여 성장하지만 동시에 표면장력과 점성력에 의해 저항을 받는다. 액막이 포화상태에 도달하였을 때 위의 힘들의 평형은 control volume 분석을 이용하여 구할 수 있다. 먼저 Fig. 8과 같이 액막의 끝 부분을 control volume으로 잡고 Navier-stokes 식을 적분하여 각각의 힘들을 구할 수 있다. 이는 다음과 같이 나타난다.

$$\int \rho u^2 dz + \int \rho \omega^2 r h dr = (1 - \cos \theta) \sigma + \int \mu \frac{u}{h} dr \quad (6)$$

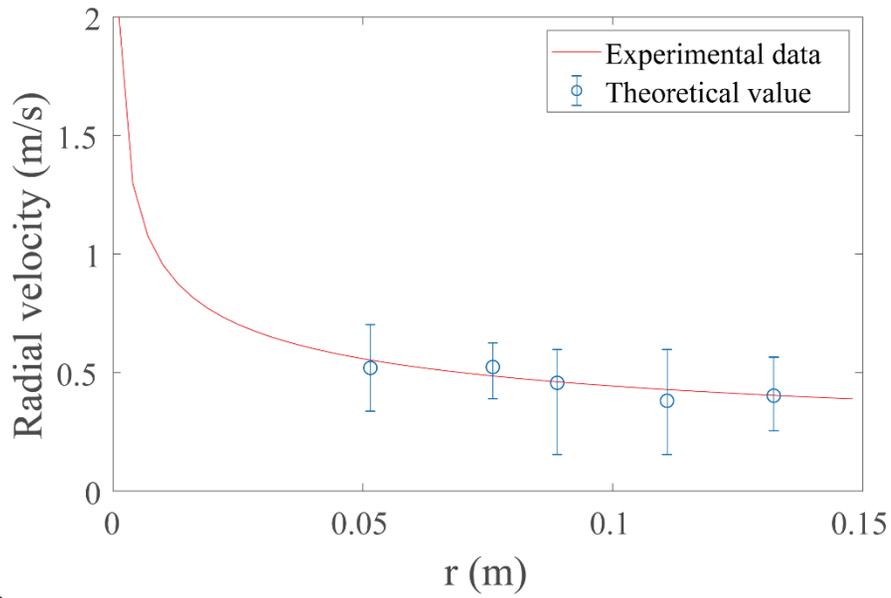
이때, θ 와 σ 는 각각 접촉각과 표면장력을 의미한다. Control volume에 작용되는 관성, 원심력, 표면장력과 점성력은 각각 $F_i \sim \rho U^2 h R_f \delta$, $F_c \sim \rho \omega^2 h e R_f^2 \delta$, $F_s \sim (1 - \cos \theta) \sigma R_f \delta$, 그리고 $F_v \sim \mu U e R_f \delta / h$ 로 scale 된다. 이때 좌변의 경우, 관성과 원심력을 비교해보면 $F_c / F_i \sim 10^{-2} - 10^{-1}$ 으로 관성이 액막의 성장에 더 주요하게 작용하고 있음을 알 수 있다. 마찬가지로 우변의 표면장력과 점성력을 비교하여 보면 $F_v / F_s \sim 10^{-2} - 10^{-1}$ 으로 표면장력이 점성력보다 주요하게 작용하고 있다. 따라서 식 (6)을 식 (7)과 같이 간단히 할 수 있다. 마지막으로 앞서 구한 식 (1), 식 (5), 그리고 식 (7)을 통하여 최종 액막 반지름 R_f 에 대한 이론 모델을 완성시킬 수 있다.

$$\rho U^2 h \approx (1 - \cos \theta) \sigma \quad (7)$$

$$R_f \sim \rho \omega^{1/2} Q^{5/4} \mu^{-1/4} \sigma^{-3/4} (1 - \cos \theta)^{-3/4} = f(\rho, \mu, Q, \omega, \sigma, \theta) \quad (8)$$

최종 액막 반지름 이론 모델을 확인하기 위하여 실험 데이터와 이론식을 비교해보았다 (Fig. 9). 실험값과 이론값을 비교하였을때, 0.13의 계수를 가지고 실험값과 이론이 일치하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이론 모델을 통해 최종 액막 반지름을 정확히 계산할 수 있다.

a)



b)

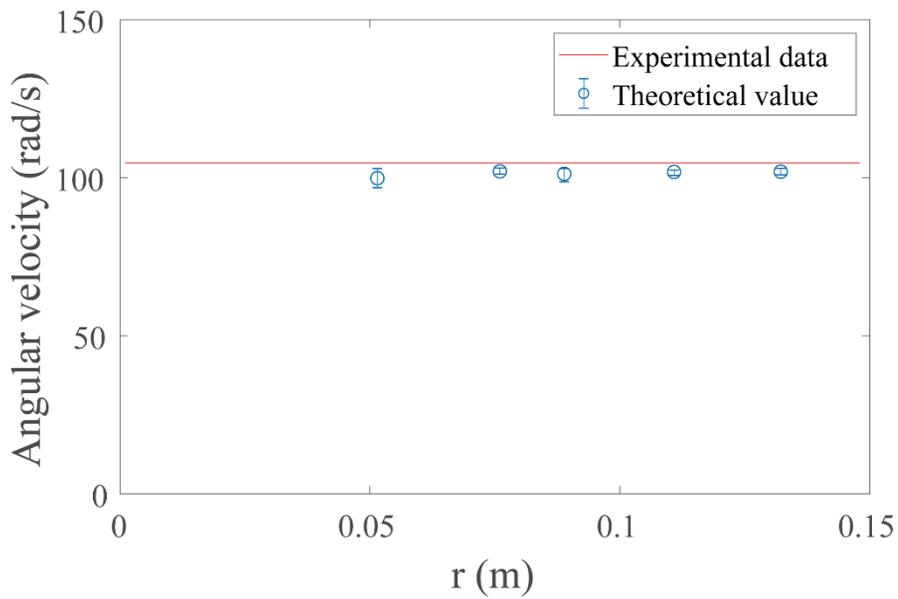


Fig. 10. PIV result conducted with the following condition: flow rate of $20 \text{ mm}^3/\text{s}$, angular velocity of 104 rad/s , and the contact angle of 86 degree.

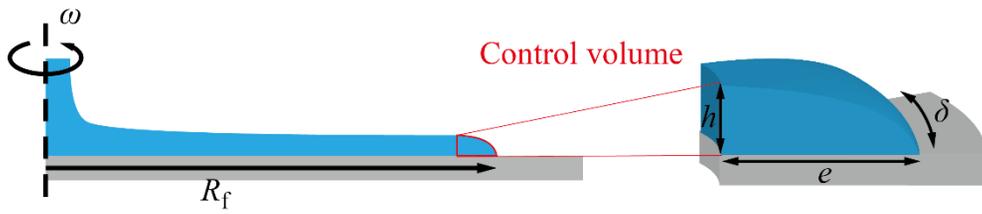
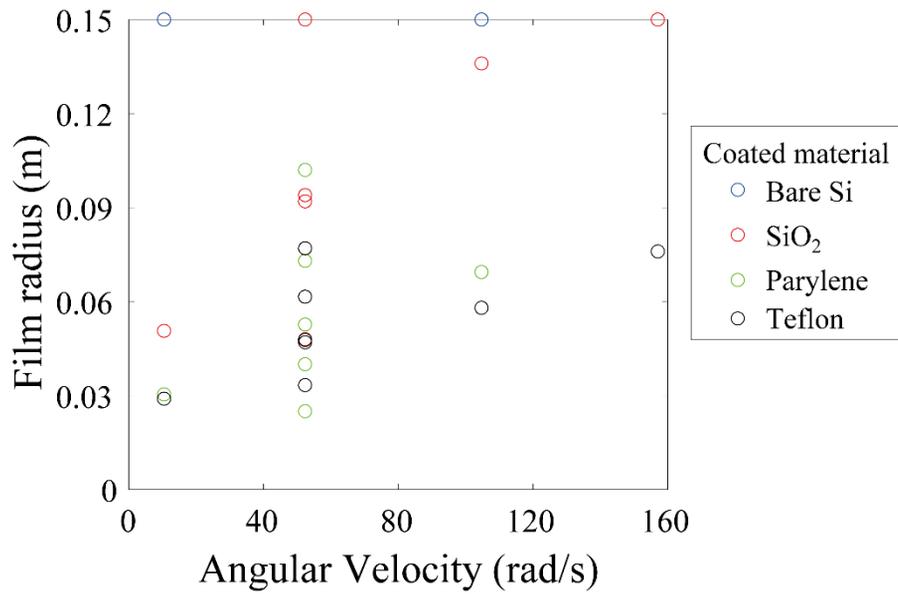


Fig. 11. Control volume at the liquid film's edge.

a)



b)

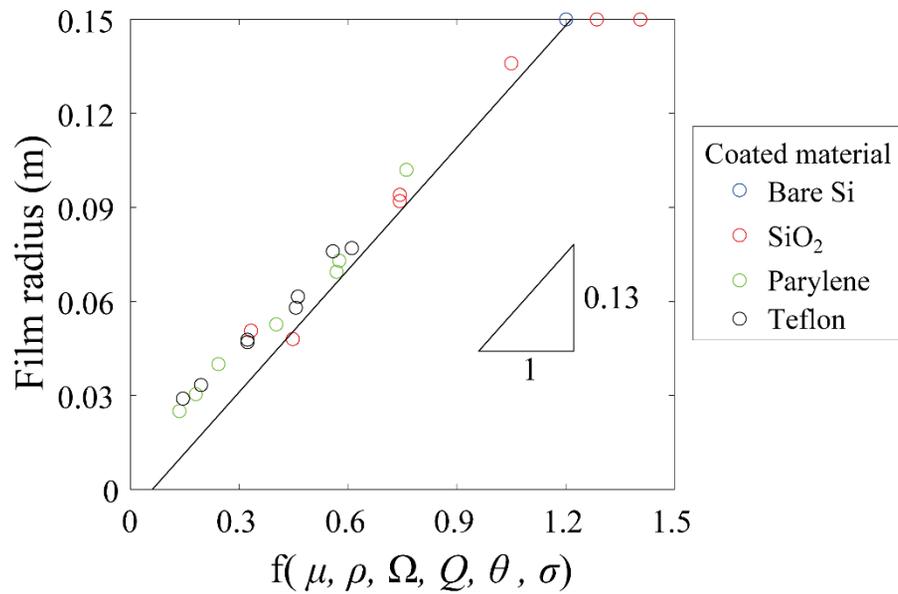


Fig. 12. (a) Separated film radius data with the angular velocity. (b) Collapsed data through our theoretical model.

5. Finger 개수 분석

앞서 언급되었던 최종 액막 반지름과 finger의 개수 사이의 흥미로운 결과가 발견되었다. 액막이 saturation 상태에 도달하였을 때 최종 액막 반지름의 제곱과 finger의 수가 비례함을 실험을 통하여 확인할 수 있다 (Fig. 13). 이때 앞선 실험에서 최종액막 반지름이 관측되었을 때의 finger의 개수를 관찰하였고 각 조건은 Table. 2에 기술되었다. 비록 상관관계는 밝혀졌지만 정확한 원인은 아직 파악되지 않아 추후 연구를 통하여 확인되어야 한다.

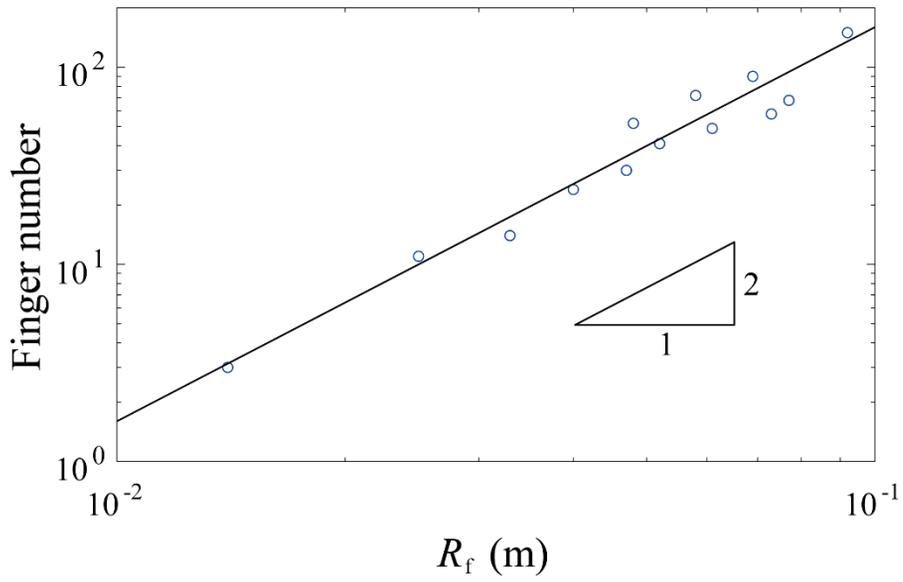


Fig. 13. Number of fingers with the final radius.

Table 2 Finger's number with the parameters

접촉각(deg)	각속도(rad/s)	유량 (mm ³ /s)	최종액막 반지름 (m)	Finger 개수
56	52	13.3	0.048	52
56	52	20	0.092	150
86	52	8.33	0.025	11
86	52	13.3	0.04	24
86	52	20	0.052	41
86	52	26.6	0.073	58
86	104	20	0.069	90
110	52	13.3	0.033	14
110	52	20	0.047	30
110	52	26.6	0.061	49
110	52	33.3	0.077	65
110	104	20	0.058	72

6. 결론

본 연구는 회전하는 고체 표면에 충돌하는 액체 젯(jet)의 충돌 현상을 이론적으로 해석하는 것을 목표로 한다. Spin coater와 초고속 카메라를 이용하여 액막의 변화를 관측하였다. 유량, 각속도, 접촉각에 따른 액막의 변화를 비교하였으며 소수성 표면에서는 배수로 역할을 하는 finger로 인하여 액막이 회전하는 표면을 다 덮지 못하고 성장이 멈추는 현상을 발견하였다. 이러한 현상이 강한 표면장력으로 인하여 일어난다는 것을 이론적으로 밝혀내었고 각 조건에 따른 최종 액막 반지름을 예측하는 이론 모델을 완성하였다. 결과적으로 실험 결과는 모델을 기반으로한 최종 액막 반지름과 일치한다. 이는 회전 공정을 주로 활용하는 반도체 공정의 최적화에 응용될 수 있다. 이때의 최종 액막 반지름의 제곱은 배수로 역할의 fingers의 수와 상관관계를 갖지만 정확한 원인을 밝혀지지 않아 추후 연구를 필요로 한다.

참고 문헌

1. A. G. Emslie, F. T. Bonner, & L. G. Peck, “Flow of a viscous liquid on a rotating disk,” *J. Appl. Phys.*, **29**, 858 (1958).
2. F. Melo, J. F. Joanny, & S. Fauve, “Fingering instability of spinning drops,” *Phys. Rev. Lett*, **63**, 1958 (1989).
3. N. Fraysse & G. M. Homsy, “An experimental study of rivulet instabilities in centrifugal spin coating of viscous Newtonian and nonNewtonian fluids,” *Phys. Fluids*, **6**, 1491 (1994).
4. S. K. Wilson, R. Hunt, & B. R. Duffy, “The rate of spreading in spin coating,” *J. Fluid Mech.*, **413**, 65 (2000).
5. M. A. Spaid & G. M. Homsy, “Stability of viscoelastic dynamics contact lines: An experimental study,” *Phys. Fluids*, **9**, 828 (1997).
6. H.-C. Cho, F.-C. Chou, M.-W. Wang, & C.-S. Tsai, “Effect of Coriolis force on fingering instability and liquid usage reduction,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44**, 606 (2005).
7. H.-C. Cho & F.-C. Chou, “Rivulet instability with effect of Coriolis force,” *J. Mech.*, **22**, 823 (2006).
8. A. Arora & P. Doshi, “Fingering instability in the flow of a power-law fluid on a rotating disc,” *Phys. Fluids*, **28**, 013102 (2016).

9. S. Sahoo, A. Arora, & P. Doshi, “Two-layer spin coating flow of Newtonian liquids: A computational study,” *Comput Fluids*, **131**, 180 (2016).
10. M. Kulkarni, S. Sahoo, P. Doshi, & A. V. Orpe, “Fingering instability of a suspension film spreading on a spinning disk,” *Phys. Fluids*, **28**, 063303 (2016).
11. D. E. Weidner M. Chappat, “Analysis of the flow of a thin liquid film on the surface of a rotating, curved, axisymmetric substrate,” *Phys. Fluids*, **30**, 082110 (2018).
12. S. Sahoo, A. V. Orpe, & P. Doshi, “Spreading dynamics of superposed liquid drops on a spinning disk,” *Phys. Fluids*, **30**, 012110 (2018).
13. A. F. Charwat, R. E. Kelly, & C. Gazely, “The flow and stability of thin liquid films on a rotating disk,” *J. Fluid Mech.*, **53**, 227 (1972).
14. B. Ozar, B. M. Cetegan, & A. Faghri, “Experiments on the flow of a thin liquid film over a horizontal stationary and rotating disk surface,” *Exp. Fluids*, **34**, 556 (2003).
15. N. O. Rojas, M. Argentina, E. Cerda, & E. Tirapegui, “Inertial lubrication theory,” *Phys. Rev. Lett*, **104**, 187801 (2010).

16. T. T. Hsu, T. W. Walker, C. W. Frank, & Gerald G. Fuller, “Role of fluid elasticity on the dynamics of rinsing flow by an impinging jet,” *Phys. Fluids*, **23**, 033101 (2011).
17. T. W. Walker, T. T. Hsu, C. W. Frank, & G. G. Fuller, “Role of shear–thinning on the dynamics of rinsing flow by an impinging jet,” *Phys. Fluids*, **24**, 093102 (2012).
18. Y. Wang & R. E. Khayat, “Impinging jet flow and hydraulic jump on a rotating disk,” *J. Fluid Mech.*, **839**, 525 (2018).
19. F.–C. Chou, M.–W. Wang, S.–C. Gong, & Z.–G. Yang, “Reduction of photoresist usage during spin coating,” *J. Electron. Master.*, **30**, 432 (2001).
20. M.–W. Wang, J.–L. Ma, & L.–W. Hourng, “Effects of dispensing flow rate on fingering instability during spin coating,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **53**, 036501 (2014).
21. A. S. Ylitalo, D. J. Walls, D. S. L. Mui, J. M. Frostad, & G. G. Fuller, “Evolution of rivulets during spreading of an impinging water jet on a rotating precoated substrate,” *Phys. Fluids*, **31**, 082104 (2019).
22. D. J. Walls, A. S. Ylitalo, D. S. L. Mui, J. M. Frostad, & G. G. Fuller, “Spreading of rinsing liquids across a horizontal rotating substrate,” *Phys. Rev. Fluids*, **4**, 084102 (2019).

Abstract

Liquid jet impingement on rotating substrates of various wettability

Yunsuk Jeung

Department of Mechanical Engineering

The Graduate School

Seoul National University

Prior studies have shown the formation of a hydraulic jump at a particular radius in flows impinging stationary surfaces. In the case of liquid jets impinging rotating surfaces, however, fingers form at a critical radius. These fingers act as drainage ducts, eventually causing the liquid film to reach a constant radius. Here we experimentally deduce that substrate wettability, angular velocity, fluid properties, and flow rate to affect the film's radius. We further construct a theoretical model to predict the steady-state film radius as function of the mentioned parameters and find that our predictions are in well agreement with experimental observations.

Keywords : Substrate wettability, fingering

Student Number : 2018-29820