

Slit-Coater내의 Photo Resist의 코팅 특성

김장우[†] · 정진도 · 김성근*

[†]호서대학교 환경안전공학부, *호서대학교 환경공학과 대학원

Coating Characteristics of Photo Resist in a Slit-Coater

Jang Woo Kim[†], Jin Do Chung, and Sung Geun Kim*

[†]Division of Environmental and safety Engineering, Hoseo University,

*Graduate School, Environmental Engineering, Hoseo University

ABSTRACT

The aim of this study is the confirmation of the coating uniformity affected by the surface tension and wall attachment angle in a slit-coater model. In this work, we use the commercial code (Fluent) to solve the two-phase flow formed with air and photo resist numerically. The results show that the surface tension is the most important factor to determine the coating efficiency in the view of coating uniformity, and the coating uniformity is 2% for our slit-coater model and conditions. To improve the coating uniformity, it is in need of minimization of the sidewall effect of slit-coater.

Key Words : Slit-Coater, Photo Resist, Computational Fluid Dynamics, Surface Tension, Attachment Angle, Coating Uniformity

1. 서 론

LCD(Liquid Crystal Display) 제조 공정 중의 하나인 형광액(PR; Photo Resist) 도포 공정은 유리기판 위에 형광액을 도포하여, 노광 후 형성된 패턴을 현상하기 위한 공정으로, LCD 산업에서 경쟁을 좌우하는 가장 큰 변수인 유리 기판 사이즈 확대를 위해서는 가장 먼저 기술적 문제를 해결해야 하는 공정이다.

일반적으로 LCD 분야 및 반도체 제조 분야의 공정 중에는 박막을 원하는 형상으로 패턴화하기 위해 광에 반응하는 PR을 도포하는 공정에는 스핀코팅(spin coating) 방식과 슬릿코팅(slit coating) 방식이 있다[1].

스핀코팅 방식은 기판 위에 PR을 떨어뜨린 후, 기판을 고속으로 회전시켜 기판 위에 균일한 두께의 막을 형성 시키는 방식이다. 이 방식은 형성된 코팅 막의 두께에 비해 PR의 소모량이 너무 많아 비효율적이며, 기판의 크기가 커서 상대적으로 무거운 TFT-LCD(Thin

Film Transistor addressed Liquid Crystal Display)용 기판과 같은 대형 기판을 고속으로 회전시키기 위해서는 에너지 소모가 아주 많고, 기판의 파손 우려가 있어 웨이퍼와 같은 소형 기판의 코팅에 적합하다.

이에 반해 슬릿코팅 방식은 길고 폭이 좁은 슬릿형태의 노즐이 기판 위를 직선으로 이동하며, PR을 분출하여 막을 형성 시키는 방식으로, 스핀코팅 방식에 비해 PR의 사용량을 감소시키고 TFT-LCD용 기판과 같이 스핀코팅 방식의 이용이 불가능한 대형 기판의 코팅에 이용된다.

결론적으로, 도포공정에 사용되는 PR의 양과 대형 기판에 대한 적용 가능성 측면에서 슬릿 코팅 방식은 전통적인 스핀코팅 방식에 비해 우수하나, 이 방식에 대해 발표된 학술적 연구결과는 거의 전무하다.

이러한 내용을 배경으로 하여, 본 연구에서는 간단한 형상의 슬릿 코터(slit coater)의 노즐을 통하여 기판으로 도포되는 PR의 균일성의 정도를 확인하고, PR의 유동에 관련된 유동장의 각종 변수 값의 설정에 대해 논하는 것을 목표로 한다.

[†]E-mail : jwkim@office.hoseo.ac.kr

2. 연구내용

2.1. 연구방법

대형 기관용 슬릿 코터의 개발에 필요한 PR 코팅 막의 균일성 확보 방안 도출을 위해서는 PR의 유동에 관련된 도포 메커니즘을 검증하고, 이를 통하여 도포 균일성 확보 방안을 도출해야 한다. 이를 위해서는 실험적 방법과 수치 해석적 방법이 있으나, 여러 가지 형상의 PR분출 노즐을 가공하여 실험적인 방법으로 도포 균일성 확보 방안을 도출하는 것은 조정밀 노즐 가공에 따른 경비 및 시간 면에서 어려움이 많으므로, 본 연구에서는 수치 해석적 기법(CFD; Computational fluid dynamics, 전산유체역학)을 이용한다.

수치 해석용 프로그램으로는 여러 분야의 유동장 해석에 널리 사용되는 상용 프로그램인 Fluent를 이용한다.

2.2. 지배방정식 및 적용 모델

유체 및 에너지의 유동현상을 지배하는 지배방정식(governing equations)은 질량, 운동량, 에너지 보존법칙을 미소의 체적에 적용하여 얻어진 비선형 연립 편미분 방정식이다[2]. 본 연구 대상인 슬릿 코터는 항온조건에서 운용되므로 유체의 온도변화가 거의 없고, 온도분포가 주요 관심 대상이 아니기 때문에 본 연구에서는 에너지에 대한 해석은 제외하였다.

2.2.1. 부피성분 방정식

본 연구는 PR과 공기가 계면을 형성하는 이상유동(two phase flow)으로서 다상유동 모델 중, 유체 상호간의 침투가 일어나지 않고, 계면 추적이 가능한 VOF(volume of fluid) 모델[3]을 채택하였다. 이 모델은 질량 보존 방정식에서 유추된 각 유체에 대한 부피성분 방정식을 적용한다.

2.2.2. 유동의 형태와 점성계수

일반적으로 유체의 유동은 무차원수인 레이놀즈수(Reynolds No.), Re의 크기에 의해 층류유동 또는 난류유동으로 구분하며, 일반적으로 10^3 정도의 스케일 보다 아주 크면 완전난류영역으로, 아주 작으면 완전층류영역으로 구분한다. 레이놀즈수의 정의는 식 (1)과 같다.

$$Re = \rho v L / \mu \quad (1)$$

여기서, ρ 는 PR의 밀도(980 kg/m^3)를 나타내고, v 는 PR의 평균 분출속도(0.017 m/s)를 나타내며, L 은 대표 길이인 노즐의 폭($75 \mu\text{m}$)을, 그리고 μ 는 점도(0.003 kg/ms)를 나타낸다.

이 경우 PR의 유동은 레이놀즈수가 1보다 아주 작아 층류유동의 영역에 속하므로, 난류 점성계수 계산을 위한 별도의 난류모델은 불필요하게 된다. 또, 항온이고, 층류 유동이므로 점성계수를 상수로 가정할 수 있다.

2.2.3. 표면장력(surface tension) 효과

유체 분자 사이의 인력에 의해서 발생하는 순 힘(net force)은 유체 내부에서는 서로 상쇄되어 0이나, 유체의 표면에서는 표면에서 내부 방향으로 작용하며, 표면적의 증가에 비례한다. 이 표면장력은 단위면적당 일로 표시되며, PR과 공기의 접면처럼 불연속이 존재하는 자유표면을 다루는 문제에서는 그 효과가 유동에 미치는 영향 여부를 고려해야 한다[4].

표면장력의 효과의 중요성은 두개의 무차원수의 값에 기초하여 결정된다. 아래와 같은 경우, 표면장력이 유체의 유동에 미치는 영향을 무시할 수 있다[3].

$$Re \gg 1 \text{ 일 때 } We \ll 1$$

$$Re \gg 1 \text{ 일 때 } Ca \gg 1$$

여기서, We는 Weber수를 나타내고, Ca는 Capillary 수를 나타내며 식 (2)와 (3)으로 정의된다.

$$We = \sigma / \rho L v^2 \quad (2)$$

$$Ca = \mu v / \sigma \quad (3)$$

여기서, σ 는 표면장력을 나타낸다.

본 연구의 경우 레이놀즈수가 1보다 아주 작고, 표면장력을 0.03 N/m 로 가정하므로, Capillary 수도 1보다 작아, 표면장력 효과를 고려한다.

본 연구에서 가정된 표면장력의 값은 2차원 계산 등을 통해 얻은 경험적인 값이나, 코팅 막 형성의 전 과정에 있어 막의 형태에 큰 영향을 끼치는 변수이다.

2.2.4. 접촉각(contact angle)

액적이 고체면에 놓여진 경우, 액체와 공기 사이의 접촉면은 어떤 각도를 가지고 경사져 나타나며, 이 각도를 접촉각이라 부르며 θ 로 표시한다. 이 각도는 액체의 물성 및 고체의 표면 상태에 크게 의존하고, 고체면 위로 액체가 전진하느냐 후퇴하느냐에 의해서도 그 값이 변한다.

2.3. 상태량 및 경계조건

2.3.1. 상태량

계산에 이용된 PR과 공기의 상태량은 Table 1과 같다.

2.3.2. 경계조건

폭이 $75 \mu\text{m}$ 이고, 길이가 295 mm 인 PR분출 노즐의

Table 1. Properties of PR and air.

	PR	Air
Density	980 kg/m ³	1.225 kg/m ³
Viscosity	0.003 kg/m · s	1.7894 × 10 ⁻⁵ kg/m · s
Temperature	20°C	20°C
Pressure		1 atm

출구에서의 속도를 전 영역에 걸쳐 0.017 m/s로 일정하게 설정하고, 길이 방향 중심면을 경계로 대칭이므로, 총 길이의 반인 147.5 mm만을 계산 영역으로 설정하고 대칭 경계조건을 사용하였다. PR표면의 표면장력은 0.03 N/m, PR과 노즐의 접촉각은 30°로 PR과 유리기판의 접촉각은 15°로 하였다. Fluent에서 표면장력은 Brackbill 등에 의해 제안된 CSF(continuum surface force) 모델[5]을 이용한다. 이 모델에서 표면장력은 운동량 방정식의 소스 항(source term)에 더해진다.

PR의 유동장으로부터 일정 거리 떨어져 공기만이 존재하는 계산의 경계면은 자유표면으로 가정하여 pressure boundary 경계조건으로 상압(1 atm)을 적용하였고, 노즐로부터 하부로 150 μm 떨어진 유리 기판이 50 mm/s의 속도를 가지고 이송하는 것으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 계산영역 및 좌표계

Fig. 1은 본 연구에 사용된 모델에 대한 개략도이며 좌표계는 슬릿 코터 내부의 계산 영역에 대한 격자

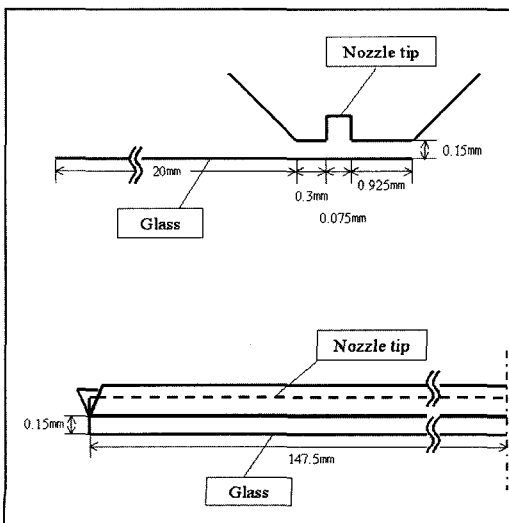


Fig. 1. Schematic of computational model.

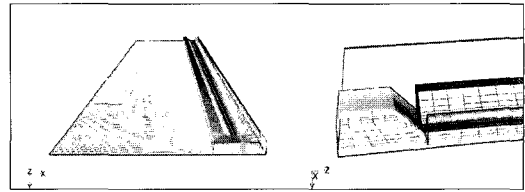


Fig. 2. Computational grid.

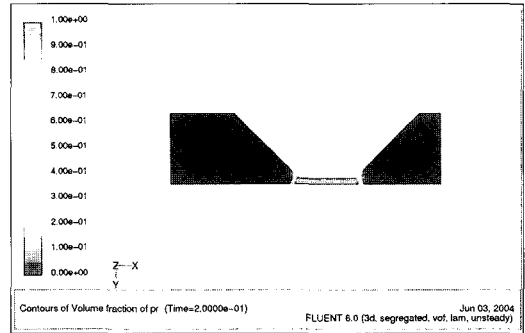


Fig. 3. Volume fractions of PR at z=73.75 mm with non moving condition, calculation time is 0.2 sec.

(grid)를 나타낸 Fig. 2처럼, x방향은 코터의 이송방향으로 MD(machine direction)라 하고, 유리기판의 이송에 대해 반대 방향이며, y방향은 PR의 분출방향을 나타내며, z방향은 이송방향에 수직한 방향으로 TD(transverse direction)이라 하였다.

Fig. 3과 4는 z=73.75 mm인 단면에서 PR의 분포를 PR의 분율(volume fraction)을 통해 나타낸 것이다. Fig. 3은 유리기판을 정지 시킨 상태에서 0.2초 동안 PR을 분출 시킨 후의 유동장의 형태를 나타낸다. 비정상적인 출렁거림은 존재하나 노즐과 기판사이의 면적이 최소인 영역에 먼저 PR이 채워지고, 면적이 증가하는 영역으로 차츰 PR이 채워진다. 이때, 계산상의 설정에 의해 상부의 노즐 벽면과 기판에 PR이 일정 접촉각을 유지하며 분포된다.

Fig. 4는 PR을 노즐을 통해서 분출 시키면서 유리기판을 (-)x 방향으로 50 mm/s의 속도로 이송시키 시작하여 0.1초가 지난 후의 PR의 분포를 나타낸다.

분출된 PR은 시간의 경과에 따라 코팅 막을 형성하며 노즐의 중앙으로부터 (-)x 방향으로 연속적으로 이동하고, 계산 시간의 증가와 더불어 연속적으로 분출되는 PR과 계속된 기판의 이동에 의해 이 형성되었던 코팅 막은 계산 영역의 왼쪽 경계를 지나 외부로 나간다. 코팅 막의 두께가 극단적으로 얇아 Fig. 4로부터는 그 형상을 잘 알 수 없어 확대 것이 Fig. 5이며 이로부터 얇은 PR막이 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있다.

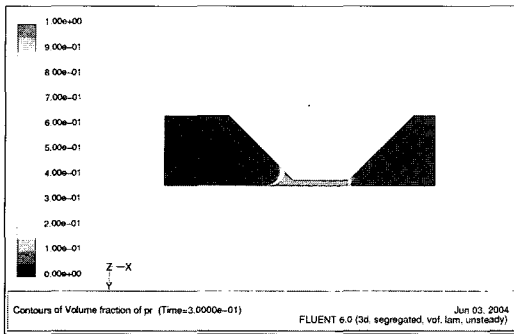


Fig. 4. Volume fractions of PR at $z=73.75$ mm with moving condition, calculation time is 0.1 sec.

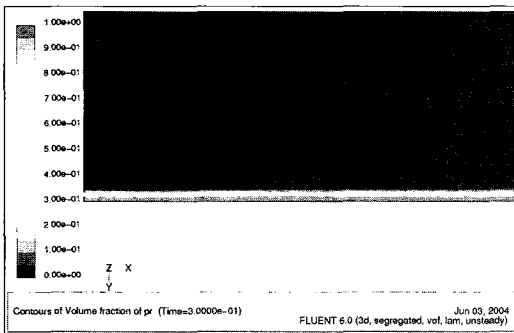


Fig. 5. Magnifications of time dependent change for the volume fractions of PR.

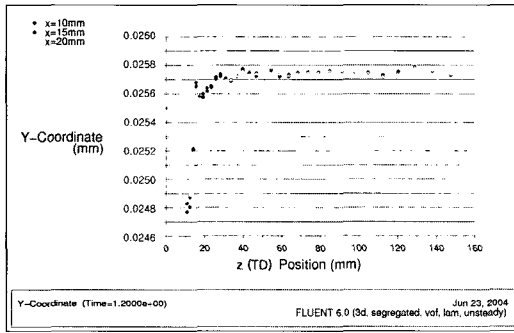


Fig. 6. Distributions of coating thickness for each z (TD) position (Scan time=1.0 sec).

Fig. 6은 유리기관을 이송시키기 시작하여 1.0초가 지난 후의 결과를 노즐의 출구로부터 (-)x방향으로 10, 15, 20 mm 떨어진 곳에서 PR의 분포를 나타낸 것으로 세로축이 코팅 막의 두께를 나타낸다. 세 곳에서 모두 막 두께의 분포가 일치하여 노즐 이송 초기의 불균일한 코팅 막의 분포는 보이지 않고, 정상상태에 도달하였음을 알 수 있다. 이 때 평균적인 막의 두께는 약 25.7 μm 이다. Z방향으로 20 mm 보다 작은 곳에서 코팅 막이

다른 곳에 비해 상대적으로 얇은 것은 $z=0$ mm에 위치한 벽면의 영향이며, 전체적으로 고르게 분포되지 못하고 구배를 갖는 것은 표면장력의 영향으로 생각된다.

본 연구에서 가정한 표면장력 값보다 큰 값으로 계산을 행하는 경우 막의 형성이 연속적이지 않거나, 아주 불균일한 막을 형성하였다.

Fig. 6으로부터 구한 편평도(uniformity)는 약 2%이며, 편평도는 식 (4)로 정의한다.

$$U(\%) = (M-m)/(M+m) \times 100 \quad (4)$$

여기서, M은 막 두께의 최대값이고, m은 최소값을 나타낸다.

4. 결 론

이상의 수치해석을 통해 PR의 균일한 코팅 막 형성에 가장 지배적인 인자는 표면장력이며, 이 값의 정확한 산출이 계산을 통한 코팅 막 형성의 구현에 가장 중요하다.

본 계산의 대상 모델과 사용된 변수 값으로부터 구한 편평도는 약 2%이며, 이것을 개선하기 위해서는 $z=0$ mm에 위치한 벽면의 영향을 최소화해야 한다.

그리고, PR의 분출속도, 노즐의 이송 조건조건 등의 변수를 바꾸어가며 보다 폭 넓은 조건 하에서의 수치 해석이 필요하다.

감사의 글

본 논문은 호서대학교와 (주)한국 디엔에스의 특별 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 손형원, 강호민, 오세준, 정기성, "감광물질 도포방법, 이를 구현하기 위한 슬릿 코터 및 이를 이용한 감광물질 도포장치", 공개특허 10-2002-0012178, pp. 2-5, 2002.
2. Patankar, S.V., "Numerical Heat Transfer & Fluid Flow", McGraw-Hill, New York, pp. 11-22, 1980.
3. Fluent User Guide, Vol. 4, pp. 20.8-20.19, 2001.
4. Taylor, S. D. and Hrymak, A. N., "Visualization and Flow Simulation a Two-Layer slot coater", Chemical Engineering Science, Vol. 54, pp. 909-918, 1999.
5. Brackbill, J. U., Kothe, D. B. and Zemach, C., "A Continuum Method for Modeling Surface Tension", Journal of Computational Physics, Vol. 100, pp. 335-354, 1992.