

Slit-Coater 노즐에서 Photo Resist의 유동 특성

김장우[†]

[†]호서대학교 환경안전공학부

Flow Characteristics of Photo Resist in a Slit-Coater Nozzle

Jang Woo Kim[†]

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

ABSTRACT

This study presents numerical solutions of three-dimensional laminar flow-field formed by photo resist flow in a slit-coater model. We discuss on the governing equations, laminar viscosities and the computational model applied in our numerical calculation and some results. We prove that the structure of tapered-cavity aid to make uniform pressure-field and boundary effect is an important problem to improve coating uniformity. In view of uniformity improvement, it is necessary to study for the structure of cavity and flow path.

Key Words : Slit-Coater, Photo Resist, Computational Fluid Dynamics, Boundary Layer Effect, Velocity Distribution

1. 서 론

한국은 LCD(Liquid Crystal Display) 분야에서 최근 세계 1위 생산량을 기록하고 있는 반면, 관련 장비 및 재료 부문은 국산화율 저조로 인해 부진을 면치 못하고 있는 실정이며, 국내 완제품 디스플레이의 경쟁력을 저해하는 요인이 되고 있다는 지적을 받아왔으며, 관련 기술의 개발은 중요한 국가 과제이다.

LCD 제조 공정 중의 하나인 형광액(Photo Resist) 도포 공정은 LCD 산업에서 경쟁을 좌우하는 가장 큰 변수인 유리기관의 사이즈 확대를 위해서 기술개발이 필수적인 공정이다[1]. LCD 생산에 있어 생산성 판단의 중요한 기준 중의 하나인 유리기관의 사이즈는 세대가 높을수록 투입되는 유리기관의 크기가 커, 한번에 다량의 LCD 패널을 생산할 수 있게 되어 생산성이 향상되나 유리기관의 사이즈를 키우는 것, 즉 높은 세대로 이행하는 것은 유리기관의 코팅기술을 확보하고 있지 못해 어려운 것이 현실이다.

도포공정에서 막이 목표 두께 보다 부분적으로 두껍

게 형성되면 박막 중 원하는 부분이 식각되지 않게 되고, 얇게 형성되면 원하는 양보다 더 많이 식각되어, 공정 중 불량률이 발생하게 되므로, 코팅막의 균일성 확보를 위해서는 노즐로부터 분출되는 형광액의 유속분포가 노즐 출구의 전단면에서 일정해야 한다[2].

이와 관련하여, 일본의 T사는 대형기관 코팅용의 MMN(Multi Micro Nozzle) 시스템이라는 형광액 분출 노즐에 대한 기술을 확보하고있다. 이와 같은 대형의 초박막 코팅 기술의 확보를 위해서는 이상적인 코터용 노즐의 구조 및 이에 대한 가공기술 그리고 여러 가지 조건 하에서의 최적 장비운용 조건의 도출이 필요하다.

LCD 제조 공정상의 필요성 및 생산성 향상을 위해, 형광액에 의해 도포되는 막의 두께는 20~30 μ m 정도이고, 이에 따라 통상 직사각형의 출구를 갖는 slit coater 용 노즐의 구조 또한 폭과 길이의 비가 1 대 1 \times 105에서 1 \times 10⁶ 정도로 매우 극단적이어서 이상적인 분출 특성을 실현할 수 있는 노즐 개발에는 많은 어려움을 가지고 있으며, 이와 관련된 핵심 기술들은 외국 기업으로부터의 아웃 소싱에 의한 것으로 장비의 대형화에 필요한 원천 기술의 개발이 필수적이다.

본 연구는 부가적인 기계적 구조의 변경이 용이하여 대형의 유리기관의 코팅에 적용 가능성이 크고, 비교적

[†]E-mail : jwkim@office.hoseo.ac.kr

간단한 구조를 갖는 slit형 노즐 장치에 대해 수치해석(numerical analysis)을 행하여 노즐 내부에 형성되는 유동장의 형태와 분출 특성을 밝히는 것을 목표로 한다.

2. 연구내용

2.1. 연구방법

본 연구에서는 유체 및 열의 유동해석에 관련된 생산현장 및 다양한 학술적 연구에 많이 이용되어 그 실효성인 인정된 상용 프로그램 Fluent를 사용하여, 형광액에 의해 형성되는 유동장을 해석한다.

2.2. 지배방정식

유체의 유동현상은 질량, 운동량 그리고 에너지의 보존법칙에 의해 지배되며, 이것을 미소의 체적에 적용한 것이 연속방정식, 각 방향 운동량방정식, 에너지방정식의 총 5개로 구성되는 지배방정식(governing equations)이다. 유동장의 해명에 필요한 변수는 일반적으로, 각 방향 속도 성분(3개)과 밀도, 압력, 온도로서 총 6개이나, 밀도와 압력 그리고 온도는 이들 사이의 상관 관계식에 의해 구할 수 있으므로 총 5개의 변수값을 구해야 하고, 총 5개인 지배방정식을 연립하여 풀면 유동장 해석에 필요한 변수값을 구할 수 있다[3].

본 연구 대상인 slit coater용 노즐은 항온조건에서 운용되므로 유체의 온도변화가 거의 없고, 따라서 밀도가 일정하여, 지배방정식으로부터 에너지방정식을 제외할 수 있고, 대신에 속도와 압력의 상관관계에 대한 설정이 필요하며, 본 연구에서는 SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) 알고리즘을 사용한다[4, 5].

2.2.1. 연속 방정식

연속 방정식은 식(1)과 같은 벡터의 형태로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

여기서, ρ 는 유체의 밀도를 나타내고, \vec{v} 는 속도 벡터를 나타낸다.

2.2.2. 운동량 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla \cdot \tau + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

여기서, P 는 압력, τ 는 응력텐서(stress tensor), \vec{g} 는 중력가속도 그리고 \vec{F} 는 외력을 나타낸다.

2.3. 점성계수

식(2)의 τ 를 구하기 위해서는 점성계수(점도, viscos-

ity)를 알아야 하며, 점성계수 μ 는 다음 식과 같이 정의된다.

$$\mu = \mu_l + \mu_t \quad (3)$$

여기서, μ_l 은 층류(laminar flow) 점성계수, μ_t 는 난류(turbulent flow) 점성계수를 나타낸다.

유체의 유동은 점성력과 관성력의 비를 나타내는 무차원수인 레이놀즈수(Reynolds No.), Re 의 크기에 의해 층류와 난류로 구분하며, 층류의 경우 점성계수는 온도의 함수로 정의할 수 있고, 난류의 경우는 대수 난류모델(algebraic turbulence model) 또는 비교적 난해한 k- ϵ 모델과 같은 2-방정식 난류모델(2-equation turbulence model)을 도입해야 정확한 유동장의 해를 구할 수 있다[6].

본 연구의 대상인 형광액의 밀도는 980 kg/m^3 이고, 유동장 내의 형광액의 평균속도는 0.02 m/s 보다 작으며, 대표 길이 L 을 노즐의 폭에 해당하는 $75 \mu\text{m}$ 라 가정하고, 점성계수 μ 를 20°C 물의 점성계수의 3배인 0.003 kg/ms 라 하면, 레이놀즈수는 1보다 작아 완전층류영역에서의 유동으로 취급할 수 있어 난류모델의 도입이 불필요하게 된다. 또, 온도가 일정하므로 점성계수를 상수로 가정할 수 있다. 레이놀즈수의 정의는 다음 식과 같다.

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (4)$$

2.4. 계산모델 및 경계조건

2.4.1. 계산모델

본 연구의 해석 대상이 되는 slit형 노즐은 Fig. 1과

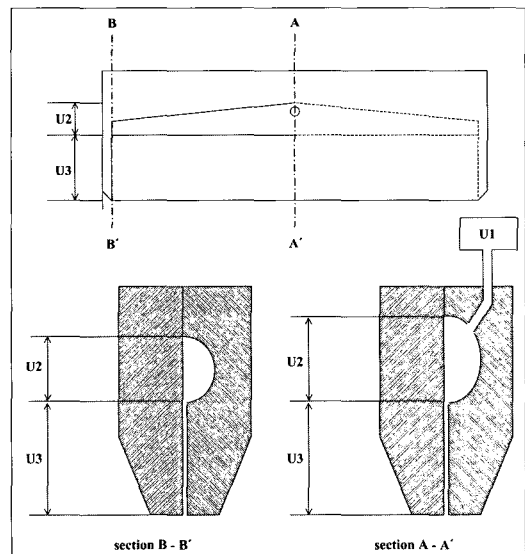


Fig. 1. Schematic of Computational model.

같다. U1으로 표시된 이송펌프에 의해 유입되는 형광액은 U2와 같이 끝단(단면 B-B')으로 갈수록 면적이 좁아지는 캐버티(cavity)의 영향으로 캐버티의 출구(U2와 U3의 경계면)에서 일정 정도 압력의 균형을 이루도록 설계되었으며, 캐버티의 출구에서 형광액의 분출구까지의 거리는 31 mm이고, U3 하면 분출구의 폭은 75 μm , 길이는 295 mm이다.

2.4.2. 경계조건

Fig. 1에 나타난 것과 같이 대상 모델이 단면 A-A'를 경계로 대칭이므로, 계산영역은 단면 A-A'에서 B-B'까지로 하였다.

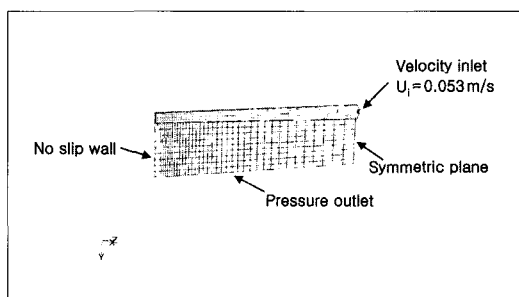


Fig. 2. Computational grid and boundary conditions.

Fig. 2와 같이 단면 A-A'에는 대칭 경계조건을 적용시키며, 단면 B-B'는 벽면으로서 non-slip 조건을 적용시킨다. 형광액의 유입은 단면 A-A'의 캐버티의 입구에 일정 유속 0.053 m/s로 이루어지고, 형광액의 분출구는 압력 경계면으로서 압력을 대기압인 1 atm으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 노즐 출구의 x방향(폭 방향) 중앙에서 z축(길이 방향)을 따라 자른 단면에서의 압력분포를 나타낸 것이다.

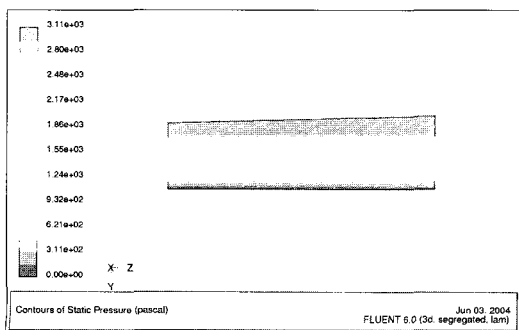


Fig. 3. Pressure contour at the center of x direction in nozzle tip

중앙에 위치한 velocity inlet으로부터 0.053 m/s의 속도로 유입된 형광액이 고체벽면이 있는 끝단 쪽으로 갈수록 면적이 좁아지는 캐버티의 테이퍼(taper) 형상에 의해 캐버티의 내부에서 z방향으로 큰 압력의 차이가 존재하지 않아 일정 정도 압력 균형이 이루어지며, 이 때 형성되는 압력은 대기압의 약 3배정도이다.

Fig. 4는 출구와 인접한 고체벽면 근처에서의 y방향(분출방향) 속도성분을 나타낸다. 캐버티에서 일정 정도 압력 균형을 이룬 형광액이 폭이 좁은 유로를 통해 분출되는 과정에서 끝단의 벽면(Fig. 1의 B-B'단면)과의 점성마찰로 인해 벽면에 아주 근접한 영역에 상대적으로 저속인 경계층이 형성되어 있음을 알 수 있다. 그러나 이 경계층의 영향은 분출구에 아주 접근하면 감소되는 특징을 보인다.

Fig. 5는 분출구에서 노즐의 폭 방향 중앙 지점에서의 y방향 속도 성분을 도시한 것이다.

전체적으로 끝단으로부터 대칭면 쪽으로 갈수록 유동속도가 감소하고, 벽면에 아주 근접한 영역에 상대적으로 저속인 경계층의 영향이 남아있음을 알 수 있다.

Fig. 5의 속도 분포로부터, 본 연구의 모델 형상과 계

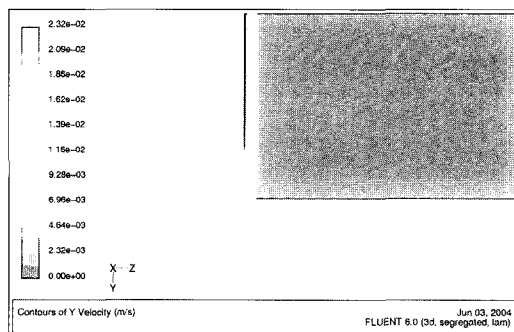


Fig. 4. magnification of y-direction velocity at the center of x direction in nozzle tip.

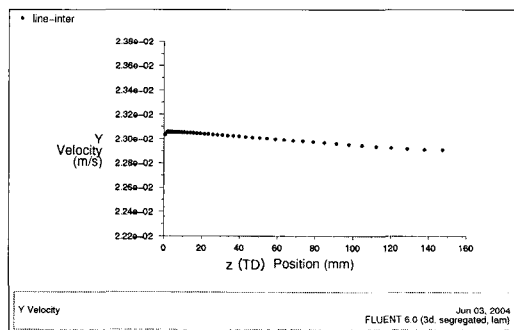


Fig. 5. Distribution of y-direction velocity at the center of x direction in nozzle tip

산조건 하에서는 완전히 이상적인 분출을, 즉 노즐 출구의 전 단면에서 형광액이 등속유동을 하지 않고 속도 분포에 경사가 존재함을 확인할 수 있다.

분출속도는 가장 빠른 곳에서 약 0.0231 m/s이고, 벽면근처의 경계층 바로 바깥영역에서 경계층에 의해 배제된 형광액의 유동에 의해 형성된 것으로 사료된다. 가장 느린 곳은 노즐의 길이방향 대칭면에서 형성되며, 약 0.0229 m/s 정도로서, 최고속도와 최저속도의 차이는 0.0002 m/s로 매우 미세하나, 형성되는 막의 두께가 20~30 μm 정도임을 고려하면 큰 차이라고 할 수 있다.

분출구의 면적이 일정하므로 분출 속도는 분출 유량을 의미하며, 이것의 불균일성은 막형성 과정에서의 불균일성을 초래할 것으로 사료된다.

대칭면에 접근할수록 감속되는 현상을 해결하기 위해서는 캐버티 구조의 개선이나, 캐버티 출구로부터 형광액의 분출구로 이어지는 미세한 유로의 면적비 조절이 필요할 것으로 생각된다. 경계층의 영향은 유체역학적 관점에서 근본적인 해결이 불가능한 문제이고, 그 영향을 최소화하기 위한 연구가 필요하다.

4. 결 론

이상의 본 연구의 계산 모델에 대한 결과로부터 캐버티의 테이퍼 구조는 캐버티의 출구에서 압력 균형에 기여하며, 형광액 분출 노즐의 분출구 단면에서 최고속도와 최저속도의 차이는 0.0002 m/s로 매우 미세하

나, 코팅막 형성에는 영향을 미칠 수 있는 차이임을 알았다.

그리고 경계층의 영향과 대칭면에 접근할수록 분출속도가 감속되는 현상을 해결하기 위해 유로의 구조 개선에 더 많은 연구가 필요하다

감사의 글

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

참고문헌

1. 이충훈, "TFT/LCD", 북스힐, 서울, pp. 43-49, 2000.
2. 손형원, 강호민, 오세준, 정기성, "감광물질 도포방법, 이를 구현하기위한 슬릿 코터 및 이를 이용한 감광물질 도포장치", 공개특허 10-2002-0012178, pp. 2-5, 2002.
3. Anderson, D. A., Tannehill, J. C. and Pletcher, R. H., "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", McGraw-Hill, Washington, pp. 181-197, 1984.
4. Patankar, S. V., "Numerical Heat Transfer & Fluid Flow", McGraw-Hill, New York, pp. 11-22, 1980.
5. Fluent User Guide, Vol. 5, pp. 22.24-22.27, 2001.
6. Rumsey, C. L. and Vatsa, V. N., "Comparison of the Predictive Capabilities of Several Turbulence Models", Journal of Aircraft, Vol. 32, No. 3, pp. 510-514, 1995.