

슬릿 코터 노즐의 최적 설계 및 고속도포 공정의 적용 가능성에 대한 연구

김태민†, 김광선†, 김기운†, 임태현*, 정은미*

† 한국기술교육대학교 대학원 메카트로닉스공학과 * (주)케이씨텍

Abstract

Slit-coater nozzle is one of core equipments of coating process in LCD panel manufactory. As a glass substrate size become bigger, a nozzle performance and a high-speed coating process are considered important issues. To design the optimal nozzle, the characteristics of fluid inside nozzle are studied using CFD (Computational Fluid Dynamics) method. Through research on design factors, we can know the coating uniformity influenced by lip length, cavity angle and gap size. The future work for this study is to find the factors in high-speed coating process and function between factors of design

Key Words : Slit-Coater, Nozzle, Photo Resist,

1. 서론

감광액 도포 공정은 LCD 공정에서 TFT와 컬러필터 유리기판 위에 회로 패턴을 형성시키기 위해 감광액을 균일하게 입혀주는 공정으로써 LCD 공정용 트랙시스템의 가격에 40% 수준에 이르는 핵심 공정이다. 현재 기판의 대형화로 인하여 기존의 스프인 방식이 아닌 슬릿 타입의 노즐을 사용하여 감광액을 기판 상면에 균일하게 도포하는 방식을 선택하고 있다. 그러나 8세대 이상에서는 대형화된 기판에 따라 노즐의 폭과 길이의 비가 극단적이어서 최적화 된 노즐 개발에 어려움이 많다.

또한 공정에서 추구하고 하는 양산속도와 생산량을 위하여 고속 도포 공정에 업계의 관심이 집중되고 있다. 그러나 실험장비, 노즐 제작 등 실험을 통한 자료 확보가 어려움이 많으므로, 수치해석을 통한 이론적 접근이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 감광액 도포 공정에 사용되는 슬릿타입의 노즐을 최적 설계하기 위하여 감광액 도출 균일성에 영향을 줄 수 있는 설계 인자와 선행 연구에서 도출된 설계 인자의 최적값으로 노즐을 설계 시 고속 도포 공정에 적용 가능성에 대해 수치해석 (Numerical Analysis)을 통하여 알아 보았다.

2. 연구 내용

2.1 연구 방법

본 연구의 목적인 노즐의 최적설계 조건을 찾기 위해 실험적 방법을 도입하기에는 슬릿 노즐이 정밀한 가공을 요구하고, 대형화 된 장비 구성을 하기에는 경비 및 시간 적인 면에서 어려움을 갖고 있기 때문에 수치 해석적 기법(CFD; Computational Fluid Dynamics)중 하나로 여러 분야의 유동장 해석에 널리 사용되고 있는 Fluent를 이용한다. 정확한 설계인자를 찾고 이를 고속 도포 고정에 적용 시키기 위하여 노즐 내부 유동을 먼저 해석하였다.

2.2 지배 방정식

내부 유동현상에서는 질량, 운동량, 에너지 보존법칙에 지배되며, 이것을 미소 체적에 적용한 연속

방정식, 각 방향의 운동량 방정식, 에너지 방정식등으로 구성된 지배 방정식을 사용한다. 그리고 슬릿 코터 노즐에서는 상온에서 사용되므로, 온도에 영향을 받지 않는다 가정한다. 대신에 출구의 압력의 균일함을 보기 위하여 속도와 압력의 관계식을 적용한다. 이에 맞게 Fluent의SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations)알고리즘을 사용하였고, 고속도포공정 모델에서는 PR 과 공기가 계면을 형성하는 이상유동이므로 다상 유동 모델 중 서로의 계면을 정확히 보여주는 VOF(Volume Of Fluid)모델을 적용하였다.

2.2.1 연속 방정식

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

2.2.2 운동량 방정식

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

2.2.3 부피 성분 방정식

$$\frac{\partial \alpha_q}{\partial t} + u_i \frac{\partial \alpha_q}{\partial x_i} = S_{\alpha_q}$$

Source term은 VOF 모델에서는 0이다.

2.2.3 Momentum Equation

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho u_i + \frac{\partial}{\partial x_i} \rho u_i u_j = -\frac{\partial P}{\partial x_i} \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \rho g_j + F_j$$

2.3 해석 모델

2.3.1 노즐의 최적설계를 위한 모델

우선 기존의 제작, 생산된 노즐 구조를 바탕으로 하여 Fig.1과 같이 해석 대상의 모델을 구현하였다. 이 연구에서 최적조건을 찾기 위하여 Lip부 길이, Cavity각도, 노즐Gap, 노즐내부 형상을 고려하였다.

해석하려는 모델은 길이와 높이의 비가 극단적이고 입구를 중심으로 대칭을 이루고 있기 때문에 전체 Fig. 2와 같이 전체 모델의 반만 그리고 경계면에 Symmetry조건을 주었다.

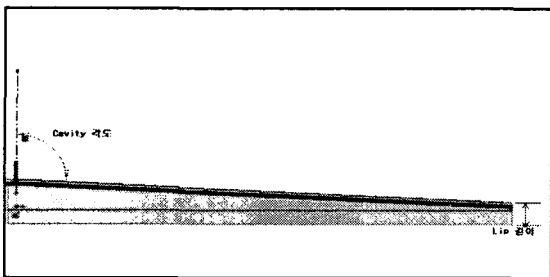


Fig. 1. Schematic of Nozzle

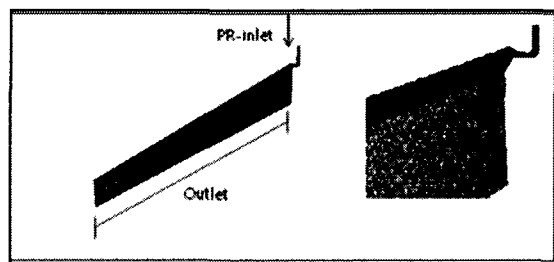


Fig. 2. Computational Grid

해석 조건은 Table 1에서 제시한 것처럼 lip부 길이와 Cavity 각도의 값들을 일정 간격으로 증가시키면서 노즐 토출부의 압력 균일성을 검토하였다.

Table 1. Range of setting about inside flow

해석 변수		해석 범위		
Lip부 Gap	길이	Min 50mm	Max 80mm	Interval 1~5mm
	Gap	Min 50 μ	Max 150 μ	Interval 10 μ
Cavity각도	Min	Max	Interval	
	85'	90'	1'	

Table 2. Photo Resister specific

종류	BM PR
viscosity	3.5cp(고용분포함량 18%)
모델명	BK-4700(TOK)

또한, 노즐 lip부 형상의 변화가 노즐 끝 단의 압력 균일성에 영향을 줄 수 있다고 판단되어 두타입의 모델을 선정하여 해석을 진행하였다. Case2는 기존 형상(Case1)에서 노즐 Lip부 전단에 다단을 주는 형상이다.

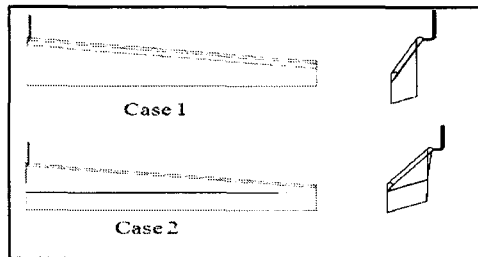


Fig. 3. 2 Type simulation modeling

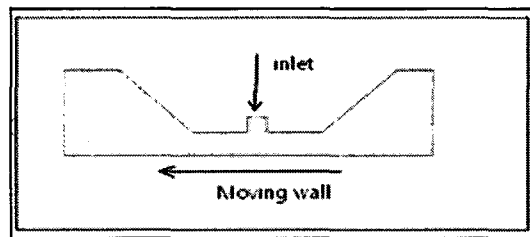


Fig. 4. 2D Modeling for rapid spread process

2.3.1 고속 도포공정에 적용한 모델

Table 3. Setting for rapid spread process

해석 변수	해석 범위		
	Min	Max	Interva
Scan Speed (mm/s)	150	270	30

선행 연구에서 도출한 최적 설계 요인을 적용한 노즐이 고속 도포 공정에 적용 가능성을 확인하고자 해석을 진행해 보았다. 해석 결과에서 수평방향으로 균일한 압력 분포를 보였기 때문에 2D로 모델을 구현하였다.

또한 실제 공정에서는 노즐이 이동을 하면서 감광액을 도포 하지만 해석상 구현이 어려우므로 기판이 상대적으로 이동을 하는 것으로 진행하였다. 해석 조건으로는 실제 공정에 사용되는 도포속도에서부터 일정한 값을 증가시키면서 최대 270mm/s까지 진행하였다.(Table 3.)

Nozzle Gap은 최적화 설계에서 얻은 값인 0.8mm를 사용하였고, Nozzle 에서 유리기판 까지 간격을 0.15mm로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 노즐의 최적설계를 위한 모델의 결과

도포의 균일성은 감광액이 도포되는 노즐 출구 부분의 압력 값이 균일해야 하므로 Case1과 Case2에서 노즐의 토출부에서의 압력 분포를 확인하였다.

Case1에서의 노즐 끝 단 토출부 압력 분포가 중앙과 끝 부분에서의 많은 차이를 보였으나(Fig. 5) Case2에서는 중앙과 끝 부분의 압력 분포의 차이가 없다. 그러나 두 모델 다 Lip부 길이에 따른 압력 상태가 비슷하며, lip부 길이가 30mm이하에서는 도포 공정이 이루어지지 않음을 알 수 있었다.

노즐의 Gap 크기가 증가 할수록 균일한 압력 분포를 보여주며, 90 μ m이상에서는 비슷한 양상을 보여 준다.. (Fig.7)

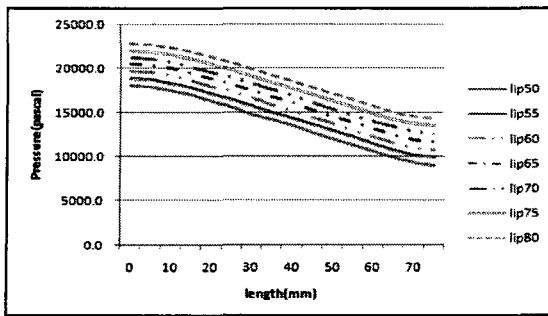


Fig. 5. Contours of pressure in case 1

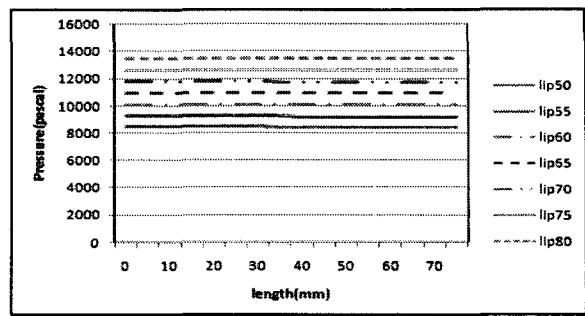


Fig. 6. Contours of pressure in case 2

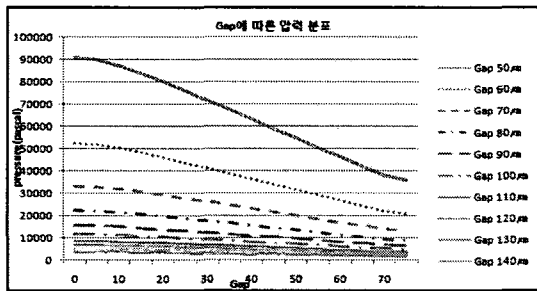


Fig. 7. Simulation result in different nozzle gaps.

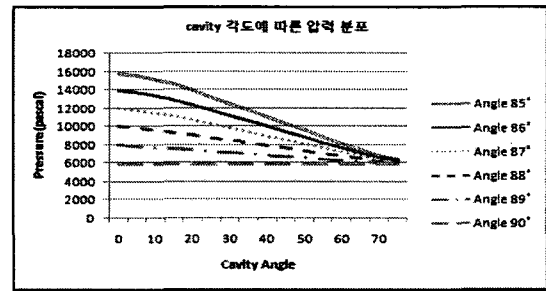


Fig. 8. Simulation result in different cavity intensities

Cavity 각도에 따른 압력 분포 역시 각도가 증가 할수록 균일한 압력 분포가 나타난다. 각도가 90도, 즉 Cavity가 평행일 때 가장 좋은 압력 분포를 나타내고 있다.

3.1 고속 도포 공정에 대한 해석 결과

노즐에서 유리기관 위에 도포되기까지는 크게 세 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 원활한 도포 공정을 위하여 예비 토출을 통해 노즐 끝단에 Fig. 9 처럼 Bead를 형성 시킨다.

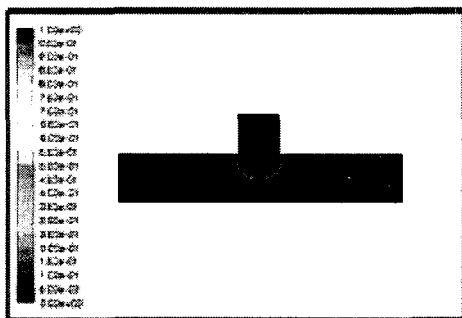


Fig. 9. Contours of PR volume fraction (bead shape)

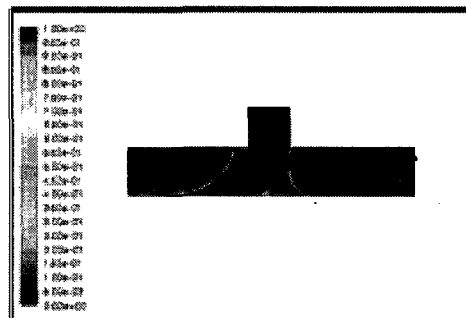


Fig. 10. Contours of PR volume fraction (coating)

두 번째 단계는 Glass 면에 감광액을 도포하는 과정이다. 감광액이 Glass에 도포되면서 노즐이 이동하여 일정한 두께로 유지하면서 도포를 진행한다.(Fig.10)

마지막으로 Fig.11처럼 안정된 도포상태를 보이면서 유리기관 위에 감광액이 균일하게 도포된다.

Fig.9~11은 도포속도가 210mm/s로 설정되었을 때 감광액이 도포 되는 과정이다. 각 인자의 최적 값으로 설계한 노즐을 공정 과정에 적용하였을 때, 현재 사용되는 공정조건인 150mm/s에서부터 210mm/s까지는 안정적인 도포가 이루어 졌으나 210mm/s 이상인 도포속도 에서는 Fig.12, Fig.13 처럼 도포 상태가 불안정하거나 도포되지 않는다.

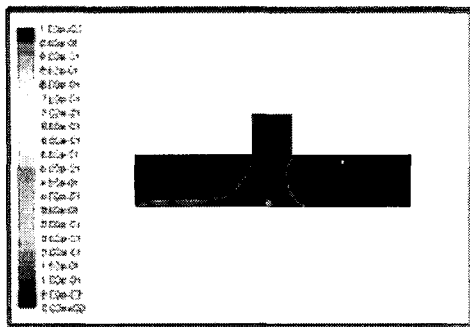


Fig. 11. Contours of PR volume fraction (coating state)

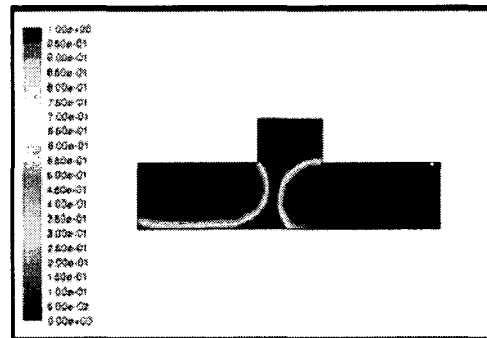


Fig. 12. Contours of PR volume fraction (unstable state)

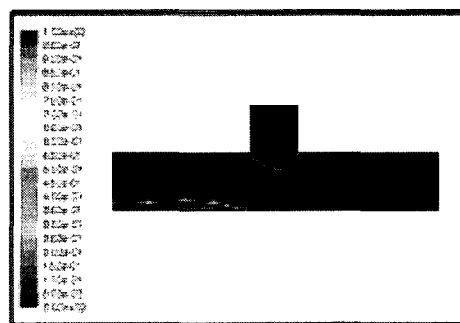


Fig. 13. Contours of PR volume fraction(coating failure)

4. 결론

이상의 연구를 통하여 슬릿 타입의 노즐에서 Lip 길이, 노즐Gap 크기 그리고 Cavity각도가 출구에서의 압력 균일성에 영향을 미치는 것을 볼 수 있었다. 실제 도포되는 약액의 두께가 매우 얇기 때문에 토출부의 균일도가 기관 도포 품질의 중요한 인자가 되고 이를 최적화 시키기 위하여 Gap의 크기와 Cavity각도를 크게 해야 하고 Lip부 형상에 다단을 주었다. 그러나 실제로Cavity각도가 커짐에 따라 Air vent부분에 문제가 있으며, 노즐 Gap은 공정조건이나, 감광액 소모량, 감광액 도포 두께와 관련이 있으므로, 실제 장비에 적용하기 위해서는 더 많은 요인에 대해 연구가 필요하다. 추후에 현재 개발되어 개선이 요구되는 8세대나 더 나아가 10세대 이상의 장비 개발 시에도 이번 연구를 기반으로 추가적인 여러 가지 조건이 더 고려 되어져야 한다. 특히 지금보다 대형화되었을 때, 노즐의 처짐 현상 등 기구적 문제에 대해서도 충분히 고려해야 되며, 이를 반영한 연구가 진행 되어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 부품소재 기술개발 사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] Srinath Modasu "Wetting on Flexible substrates: Finite Element Formulation", Drexel Univ. 2002.7
- [2] Patankar, S.V., "Numerical Heat Transfer & Fluid Flow", McGRAW-Hill, New York, pp.11-14, 120.1980.
- [3] Frank M.White, "Viscous Fluid Flow", McGRAW-HILL
- [4] Frank M.White, "Fluid Mechanics", McGRAW-HILL
- [5] Fluent User's Guide Vol.3 Chapter 15