[논문] 한국소성가공학회지, 제 18 권 제 2 호, 2009
Transactions of Materials Processing, Vol.18, No.2, 2009

코팅 공정에서 공기를 고려한 코터형상 및 운전조건에 따른 코팅현상 해석

김혜연[1] · 류민영[#] · 최종근[2]

Computer Simulation of Coating Behavior Including Air for Various Coater Geometries and Operational Conditions

H. Y. Kim, M. -Y. Lyu, J. G. Choi
(Received February 25, 2009)

Abstract

Slot coating has been wide spread in photo-resist coating on the glass for liquid crystal display. Die in slot coater consists of manifold and land. Material comes in inlet of the die and flow into the manifold and then flow out through the land. The coating thickness variations along the die length depend upon inside of die design such as manifold and die land. However the coating thickness variations along the moving direction(coating direction) of the coater depend upon the operational conditions of coater as well as die lip design. The coating behaviors including atmospheric air have been investigated in this study. Die geometries considered in this study were nozzle gap and length of the die lip. Coating gap and coating speed were the variables for coating operational conditions. When the nozzle gap and length of die lip increased climbing effect of PR on the downstream die lip was reduced. Subsequently uniformity of coating thickness improved. Uniformity of coating thickness also enhanced as coating gap and coater speed increased. The uniformity of coating gap was related to the velocity vector distributions on the coating surface.

Keywords : Slot Coating, Photo-resist, Nozzle Gap, Coating Gap, Coating Speed

1. 서 론

대형 TV 를 비롯한 컴퓨터 모니터, 각종 휴대기기 및 각종 의료기기를 비롯한 전자산업 내의 디스플레이 시장은 나날이 수요가 성장하고 있다. 평판 디스플레이 제조 공정 과정 중의 하나인 코팅액의 도포 공정은 유리 기판 위에 감광액 (PR, Photo Resist)을 도포하는 공정으로 균일한 코팅 두께를 얻는 것이 매우 중요하다[1]. 코팅 공정의 종류는 매우 다양하지만, 평판 디스플레이 코팅에는 슬롯 코터 (Slot coater)를 사용하여 감광액을 균일하게 도포하는 방식을 많이 채용하고 있다[2~4]. 다이 길이 방향으로 코팅되는 감광액(PR)두께의 균일성은 다이의 매니폴드(Manifold)나 랜드(Land)와 같은 다이 내부 디자인의 영향을 많이 받게 되는 반면, 다이 운전 방향으로의 코팅 두께의 균일성은 노즐과 기판 사이의 간격(Gap), 노즐의 이송 속도와 같은 운전 조건과 노즐의 간격, 다이 Lip 의 길이나 각도와 같은 기하학적 조건들의 영향을 받게 된다[1, 5, 6]. 본 연구에서는 코터의 다양한 운전 조건과 기하학적 조건에 따른 영향을 관찰하기 위해서 여러 변수에 따른 해석을 진행하였으며 균일한 코팅 두께를 얻을 수 있는 안정된 조건이 무엇인지 고찰하였다.

1. 서울산업대학교 대학원
2. 순천대학교 기계우주항공공학부
교신저자: 서울산업대학교 금형설계학과, mylyu@snut.ac.kr

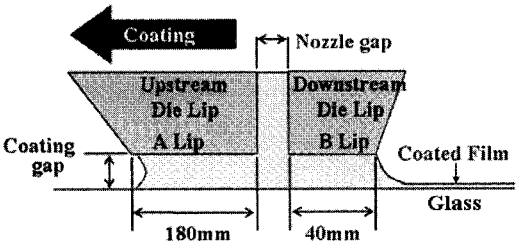

Fig. 1 Geometry of slot coating die

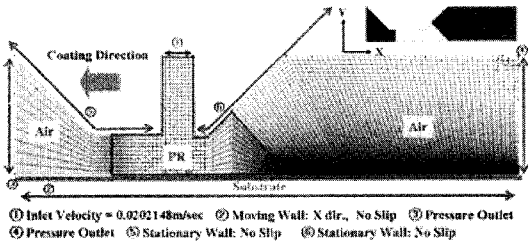

Fig. 2 Modeling of coater and 2D mesh for simulation

Table 1 Rheological properties of PR

Density	1.003g/cm3
Viscosity	3.8 cp
Surface tension	0.025N/m
Contact angle	18.8 deg

2. 본 론

2.1 슬롯 코터의 모델링 및 코팅재료

코터의 노즐 부 형상 및 명칭은 Fig. 1 과 같고 [7], 해석을 진행한 계산영역은 Fig. 2 의 메쉬와 같다. 해석 전 초기 코팅액과 공기의 경계면의 설정은 실제 가시화 테스트를 근거로 설정하였으며, 모든 해석은 2D 로 진행하였다. 코팅의 방향은 노즐의 이송방향인 왼쪽이며, 운전조건 및 기하학적인 조건에 다양한 변화를 주어가며 각 경우에 대한 해석을 진행하였다. 노즐의 입구로부터의 코팅액의 속도는 0.0202148m/s 로 일정하게 설정하였고 공기는 대기압을 적용하여 해석하였다. 코터의 왼쪽방향으로의 이송은 유리판이 오른쪽으로 이송한다고 조건을 주어 해석하였다.

코팅 재료는 감광액(PR)으로 점도, 표면장력 및 접촉각 등은 Table 1 에 나타나 있다. 공정을 통해 얻고자 하는 코팅 두께는 0.008mm 이며, 코팅 현상 관찰을 위한 수치 해석 프로그램은 FLUENT

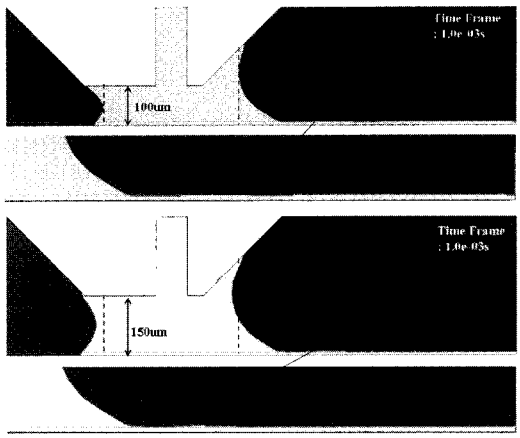

Fig. 3 Interface of PR for coating gap

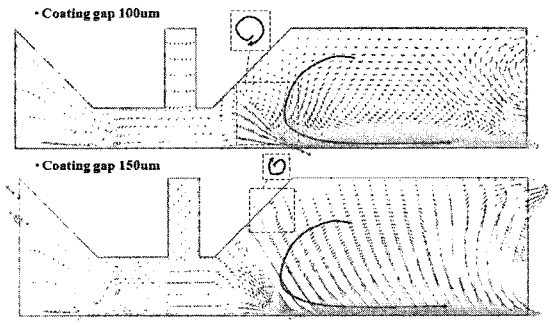

Fig. 4 Velocity vector for coating gap

를 사용하였고, 모든 수치해석은 시간에 따른 변화를 관찰할 수 있도록 진행하였다.

2.2 운전조건에 따른 코팅 현상 해석

2.2.1 코팅 간격에 따른 변화

유리와 노즐의 간격 즉, 코팅 간격을 100, 150 마이크로미터로 변경하여 각각 해석을 진행하였다. Fig. 3 은 공기와 코팅액, 그리고 유리와의 경계면과 속도 벡터를 나타내고 있다.

Fig. 3 과 4 의 해석 결과는 동일한 시간대에서 관찰되었으며, 코팅 간격이 150 마이크로미터인 조건이 100 마이크로미터인 조건보다 PR 과 공기와의 경계가 코팅 방향 쪽으로 이동하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 코팅 간격이 150 마이크로미터일 때에 코팅 두께가 조금 두꺼워 지는 경향을 보여주고 있다. 그 원인은 공기 층의 흐름과 관계가 있다고 판단된다. Fig. 4 의 공기와 PR 의 벡터결과에서 오른쪽 다이 Lip 의 어깨 부근에서 공기의 회전현상이 발생하는 것을 확인할 수 있

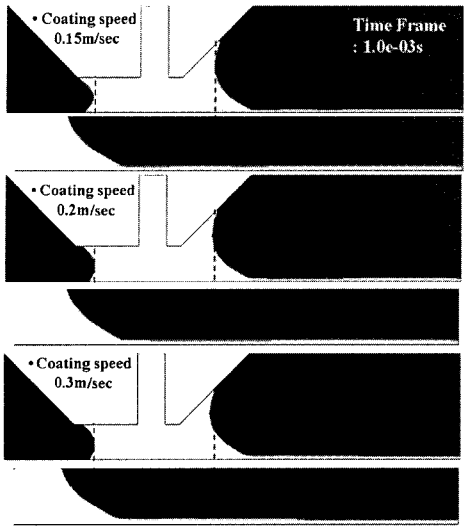

Fig. 5 Interface of PR for coating speed

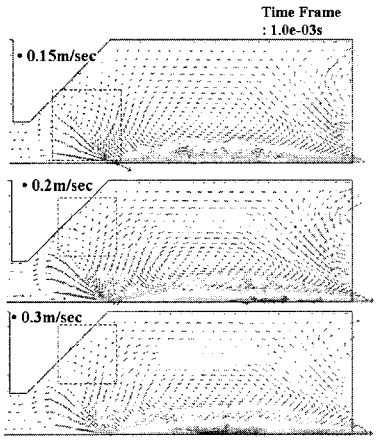

Fig. 6 Velocity vector for coating speed

었다. 이러한 공기의 회전현상은 코팅 간격이 100 마이크로미터일 때 보다 150 마이크로미터 일 때에 코팅 면에서 더 떨어진 곳에서 발생하여 코팅 면에 영향을 덜 주는 것으로 판단된다.

2.2.2 코팅 속도에 따른 변화

Fig. 5 와 6 은 코팅 속도(노즐의 이송 속도)를 0.15, 0.2, 0.3m/s 로 변경하여 각각 해석을 진행한 결과이다.

코팅 속도가 빠를수록, 다이 밑부분 PR 의 분포는 좁아지는 경향을 보였고, 코팅 두께는 두꺼워지는 경향을 보였다. 이것도 코팅 속도가 클수록 다이 Lip 어깨 부분의 공기의 회전이 작아 아래

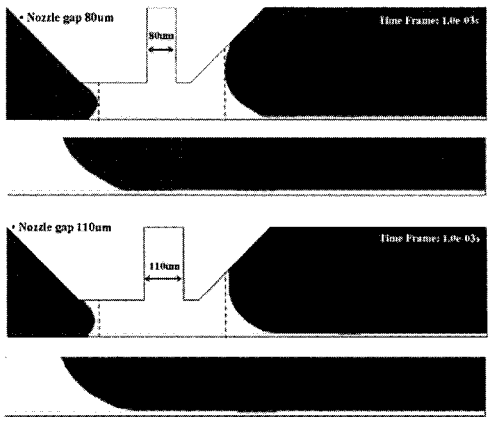

Fig. 7 Interface of PR for nozzle gap

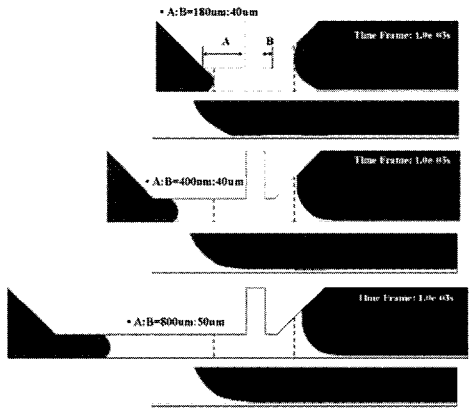

Fig. 8 Interface of PR for die lip length

로 향하는 속도가 줄어들어서 나타난 현상이라 판단된다.

2.3 기하학적 형상에 따른 코팅 현상 해석

2.3.1 노즐 간격에 따른 변화

Fig. 7 은 노즐의 간격을 80, 110 마이크로미터로 변경하여 각각 해석을 진행한 결과이다.

노즐 간격에 변화를 준 해석 결과에서는 노즐 간격이 80 마이크로미터일 때 보다 110 마이크로미터일 때에 더 균일하게 코팅이 이루어지는 결과를 확인할 수 있었다. 노즐 간격이 큰 경우에 공기가 회전하면서 다이 Lip 어깨를 타고 올라가는 형상이 완화되는 경향을 보였다. 다이 위쪽 Lip (Downstream Die Lip) 부분의 경계형상이 코팅에 큰 영향을 준다고 알려져 있는데 경계층이 다이 Lip 어깨를 타고 올라가는 현상이 작을수록 코팅의 균일도는 좋아진다[1].

2.3.2 Lip 의 길이에 따른 변화

Lip 의 양쪽 길이를 180:40, 400:40, 800:50 마이크로미터로 각각 변경하여 해석을 진행하였다. 해석 결과가 Fig. 8 에 나타나 있다.

다이 Lip 의 길이가 길어질수록, 균일한 코팅두께를 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 이도 역시, Lip 이 길어질수록 공기가 회전하면서 오른쪽 다이 Lip 을 타고 올라가는 현상이 완화되어 공기와 PR 사이에 좀 더 안정된 경계면이 형성되고 균일한 코팅 두께를 얻을 수 있었다.

3. 결 론

3.1 코팅의 운전 조건에 따른 해석

(1) 코팅 간격이 100 마이크로미터일 때보다 150 마이크로미터일 때에 노즐 부근에서 발생하는 공기의 회전 형상이 코팅 면에서 멀리 발생하였다.

(2) 그로 인해 PR 이 공기 층의 영향을 덜 받게 되어 코팅 두께가 두꺼워 지는 경향을 보였다.

(3) 코팅 속도가 클수록 노즐 부근에서의 PR 의 분포가 좁게 나타났다,

(4) 코팅 속도가 클수록 노즐 부근에서 발생하는 공기의 회전 현상이 코팅 면에서 멀어져 코팅 두께가 두꺼워 지는 경향을 보였다.

3.2 코터의 기하학적 형상에 따른 해석

(1) 노즐의 간격이 클수록 공기 층의 속도가 균일해지는 경향을 보였다.

(2) 그로 인해 노즐의 간격이 클수록 좀 더 균일한 코팅 두께를 보였다.

(3) 다이 Lip 이 길어질수록 노즐 부근에서 PR 이 넓게 형성되는 경향을 보였다.

(4) 다이 Lip 이 길어질수록 노즐 부근의 공기 층이 매우 안정적으로 형성되었다.

(5) 그로 인해 다이 Lip 이 길어질수록 월등히 코팅 두께의 균일성이 우수해지는 경향을 보였다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임. 본 연구를 도와주신 ㈜나래나노텍에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] Stephan F. Kistler, Peter M. Schweizer, 1997, Liquid Film Coating: Scientific principles and there technological implications, Chapman & Hall, New York.

[2] Jang Woo Kim, Jin Do Chung, Sung Geun Kim, 2004, Coating Characteristics of Photo Resist in a Slit-coater, Journal of the Semiconductor & Display Equipment Technology, Vol. 3, pp. 41~44.

[3] Donatas Satas, edited, 1991, Coatings Technology Handbook, Marcel Dekker, NY.

[4] O. J. Romeo, W. J. Suszynski, L. E. Scriven, and M. S. Carvalho, 2004, Low-flow limit in slot coating of dilute solutions of high molecular weight polymer, Journal of non-Newtonian Fluid Mechanics, Vol. 118, pp. 137 ~156.

[5] Y. Sun, M. Gupta, 2005, Optimization of a flat die including elongational viscosity effects, Vol. 20, pp. 380~387.

[6] T. M. Kim, K.S. Kim, K.W. Kim, 2007, Spring Conference of KSDT, pp. 169~173.

[7] James M. Brethour, 2006, 3-D transient simulation of viscoelastic coating flows, 13th International Coating Science and Technology Symposium.