

Reverse Offset에서 잉크 전이 유동에 관한 시뮬레이션 연구

이연석,[†] 윤종태

부경대학교 공과대학 인쇄정보공학과

(2012년 7월 20일 접수, 2012년 8월 3일 최종 수정본 접수, 2012년 8월 24일 게재 확정)

A Study on the Computer Simulation of Ink Flow in the Reverse Offset Printing

Ane-Seok Lee,[†] Jong-Tae Youn

Dept. of Graphic Arts Information, College of Engineering, Pukyong National University

(Accepted on July 20, 2012, Requisitioned last revision on August 3, 2012,

Publication decision on August 24, 2012)

Abstract

With the development of many display technologies currently applied to them in the field of printed electronics, there have been many researches that high resolution printing for thin and uniform pattern.

In this paper, printing ink flow properties in the reverse offset mechanism were simulated. The aim of this research is to expect the ink flow behavior between cliches to make fine pattern by a printing technique which is a reverse offset. The simulation results show that almost the same as the experiments and the flow behavior according to the ink film thickness and printing pressure changes could be expected.

Keywords: Reverse offset, printed electronics, ink flow, simulation.

1. 서 론

Liquid crystal display(LCD), organic light emitting diode(OLED), plasma display panel(PDP) 등과 같은 다양한 디스플레이 분야는 눈부신 기술 개발을 이루어왔다. 이러한 전자 산업 분야에서 혁신적인 기술 개발을 통한 경쟁력 있는 공정인 인쇄 기술은 인쇄 전자라는 개념으로 자리 잡았다.

인쇄 전자의 다양한 응용 분야로 플렉시블 디스플레이, RFID, 태양 전지 등이 있으며, 이들에 적용되는 유기 전자 소재에 필요로 하는 고해상도의 정밀 패턴 형성(patterning) 기술은 매우 중요한 부분이다.^{1~2)} 정밀 패턴 형성 기술은 여러 인쇄 기술로 발전 해왔으나 고해상도, 얇은 두께로 인쇄하는 부분에 있어 reverse offset 인쇄법이 등장하였고, 이 인쇄법은 비교적 높은 수 um의 해상도를 나타낼 수 있고, 수십에서 수백 nm 정도의 두께 형성이 가능하다.

Figure 1은 reverse offset 인쇄법을 나타낸 것이다. Reverse offset 인쇄법은 실리콘 재료의 블랭킷 롤(blanket roll)에 slit die nozzle을 이용해서 얇고 표면이 균일한 잉크 코팅 막을 형성하고 이를 미리 제작된 cliché(photo lithography 또는 laser 식각을 이용한 패턴) 기판위에 전이시킨다. 이렇게 하여 비화선부의 패턴을 cliché를 통해서 제거한 후 블랭킷 롤에 남아 있는 패턴을 피인쇄체 기판위에 전이하여 원하는 패턴을 형성하게 된다.^{3~5)}

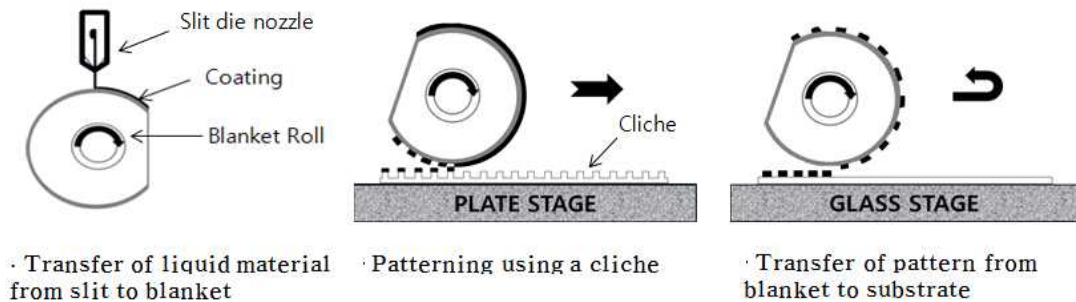


Figure 1. Reverse offset mechanism.

본 논문은 이와 같은 reverse offset 인쇄법의 공정 중 패턴이 새겨진 불룩한 cliché에서 블랭킷 롤과 접촉하였다가 떨어질 때의 잉크 유동 특성을 이론적인 해석과 실험으로 확인 하고자 한 것이다. 본 연구에서는 미소 부분에서 일어나는 잉크의 유동 특성을 실험적으로 볼 수가 없기 때문에 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 인쇄 공정의 조건과 잉크의 특성에 따른 모습을 알아보하고자 한 것이다. 이는 실제 공정이 이루어지기 전 몇 가지

의 변수를 예상해 볼 수 있으며 실제와의 오차 범위를 줄여 나갈 수 있는 중요한 요인이 될 것이다.

위와 같이 비화선부의 패턴을 제거할 때 물과 판사이의 유동 특성을 코팅된 두께와 붙었다가 떨어지는 시간에 따라 예상하고 연구하기 위해 본 논문에서는 유체 해석 시뮬레이션을 위한 소프트웨어 프로그램인 poly flow를 사용하였다.⁶⁾

2. 실험

2-1. 인쇄 적성 시험

실험은 Ag paste를 상단의 블랭킷 롤에 균일하게 도포한 뒤에 아래의 압통 실린더 (impression cylinder) 사이에 압력을 가하여 분리하는 과정을 거치면서 닙(nip) 사이에서의 잉크 유동 모습을 고배율의 디지털 현미경을 사용하여 시간 별로, 코팅층의 두께, 압력 변화를 주어 촬영하였다. 실험 조건은 Table 1과 같았다.



Figure 2. (a) Digital Microscope, (b) IGT Printability tester.

Table 1. Test Condition of Experiments

Factor	Unit	Test Condition
Ink Viscosity	cps	3000~3500 (23℃, 50rpm)
Coating Thickness	μm	60, 90, 120
Time	sec	0~1

2-2. 시뮬레이션

Figure 3은 균일하게 도포된 잉크층에서 비화선부의 볼록한 부분이 잉크와 분리가 될 때의 모양을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 그 사이가 매우 미세하여 결국 부분적으로 나누어 보면 도포된 잉크와 비화선부가 수직 방향으로 변화가 일어날 것이라는 것

과 잉크가 피인쇄체에 완전히 부착한다는 가정을 할 수 있다. 이와 같은 가정 하에 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다.⁷⁾ 시뮬레이션의 조건은 Table 2~4와 같았고 실험한 결과와 시뮬레이션에서의 결과를 비교하였다.

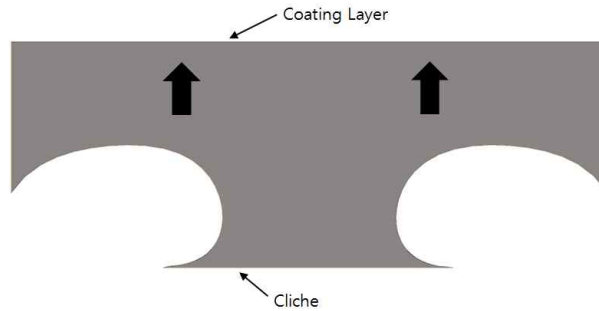


Figure 3. Ink flow of cliché and coating layer.

Table 2. Simulation Condition According to the Velocity

Condition of Simulation	
New-Task	Time Dependent Flow
Sub-Task	Generalized Newtonian Isothermal Flow
Initial Viscosity	2poise
Re-Meshing	Global Remeshing, Lagrangian Method
Thickness(μm)	60, 90, 120
Velocity(m/s)	Substrate(5step)

Table 3. Simulation Condition According to the Pressure Change

Condition of Simulation	
New-Task	Time Dependent Flow
Sub-Task	Generalized Newtonian Isothermal Flow
Initial Viscosity	2poise
Re-Meshing	Global Remeshing, Lagrangian Method
Thickness(μm)	90
Pressure	Free Surface(3step)

Table 4. Simulation Condition According to the Thickness Change

Condition of Simulation	
New-Task	Time Dependent Flow
Sub-Task	Generalized Newtonian Isothermal Flow
Initial Viscosity	2poise
Re-Meshing	Global Re-Meshing, Lagrangian Method
Velocity(m/s)	Substrate(5step)
Thickness(μm)	60, 90, 120

3. 결과 및 고찰

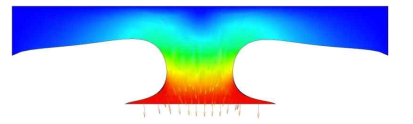

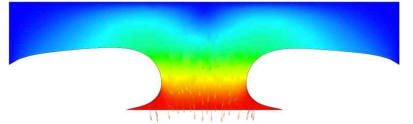

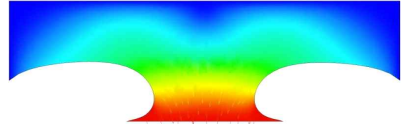

3-1. 코팅층 두께에 따른 잉크 유동

Reverse offset의 두 번째 과정인 코팅층에서 비화선부를 제거하는 패턴 형성 과정을 시뮬레이션을 통해 분리되는 순간의 유동 모습을 관찰하였다. 그 결과에서 볼 수 있듯이 균일하게 코팅된 층이 비화선부의 cliché와 닿았다가 떨어지면서 바깥쪽부터 서서히 안으로 파이고 수직 방향으로 유동한다는 가정 하에 양쪽이 서로 대칭인 형태로 유동하는 모습을 볼 수 있었다. 잉크가 cliché로 완전히 분리되는 방법으로 블랭킷 롤의 곡선 반경과 cliché 표면 상태를 유지하지 않고 고속에서 잉크의 접착력 때문에 롤의 접선에 대한 수직으로 힘이 작용하는 모델이다.

코팅층의 두께에 따른 분리되는 순간의 필라멘트(filament)의 폭 변화를 Table 5에 나타내었다. Table 5의 결과와 같이 $60\mu\text{m}$ 에서 $90\mu\text{m}$ 까지의 두께 변화는 실제 실험에서 블랭킷 롤의 압력이 제거되는 순간 코팅층의 두께가 두꺼울수록 필라멘트의 폭이 넓었으며 더 많은 양의 잉크가 전이되는 유동 모습을 보였다.

Figure 4는 코팅층과 cliché가 완전히 분리되기 직전의 상태에서 그 중간지점의 필라멘트 폭을 두께에 따라 측정하였다. Figure 4와 같이 $60\mu\text{m}$ 일 때 폭이 약 0.12mm 로 늘어났으며 $90\mu\text{m}$ 일 때는 약 0.23mm 로 늘어났고, $120\mu\text{m}$ 일 때는 약 0.50mm 로 비례적으로 늘어난 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 Figure 4와 같이 시뮬레이션 상에서의 결과와도 거의 일치하는 것을 볼 수 있었다.

Table 5. Ink Flow According to The Coating Thickness Change

Division Thickness	Simulation	Experiment
60 μm		
90 μm		
120 μm		

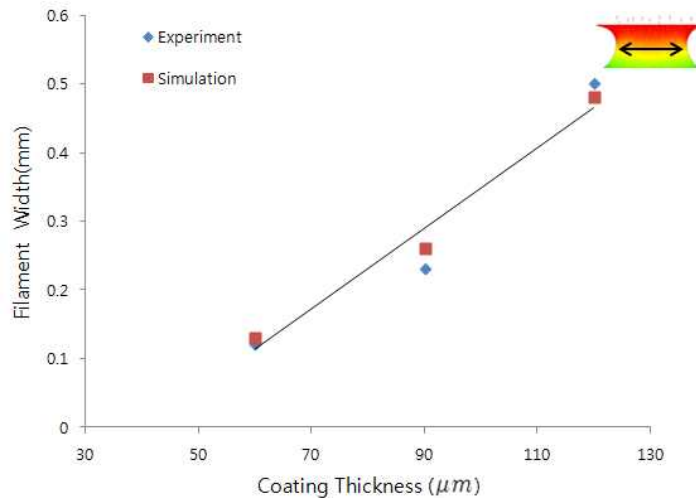


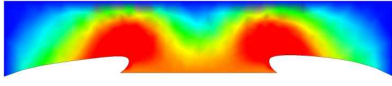

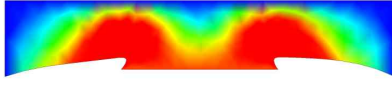

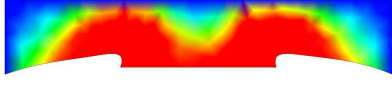

Figure 4. Comparison of the experiments and the simulation results.

3-2. 압력 변화에 따른 잉크 유동

Table 6는 잉크층과 cliché사이의 압력 변화에 따른 시뮬레이션에서의 모습과 실제 잉크 유동 모양을 비교한 결과이다.

Table 6의 시뮬레이션 결과에서는 Figure 5와 같이 100N의 가장 낮은 압력에서부터 1,000N의 높은 압력으로 갈수록 압력 분포 등고선이 붉게 나타나고 필라멘트의 폭이 넓으며 잉크층과 cliché 사이의 잉크 유동량도 많은 것으로 나타났다.

Table 6. Ink Flow According to The Pressure Change

Division Thickness	Simulation	Experiment
100N		
500N		
1000N		

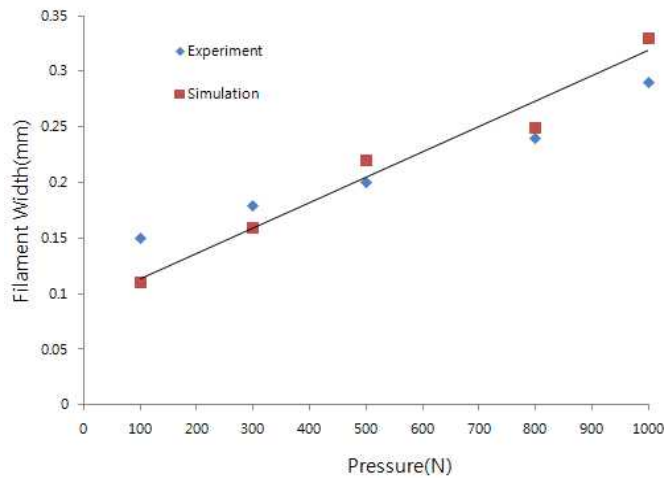


Figure 5. Comparison of the experiments and the simulation results.

또한 현미경을 이용하여 촬영한 실제 실험에서도 압력이 100N일 때는 0.15mm, 300N일 때는 0.18mm, 500N일 때는 0.20mm, 800N일 때는 0.24mm, 1,000N일 때는 0.29mm로 점차 필라멘트의 폭이 증가하는 모습을 보였고 시뮬레이션 결과 값과 비교하였을 때 도 비례적으로 상이한 결과를 나타내었다.

3-3. 시간 변화에 대한 유동

Table 7은 코팅층이 60 μ m일 때 시간대 별로 촬영 및 시뮬레이션한 것이고 Table 8과 Table 9는 각각 90 μ m, 120 μ m일 때 코팅층에서 비화선부가 분리될 때를 나타낸 것이다.

Table 7. Ink Flow According to the Variation of Time(Layer Thickness is $60\mu m$)

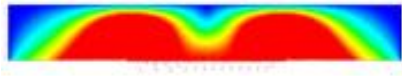

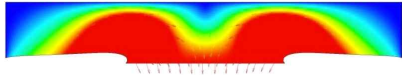

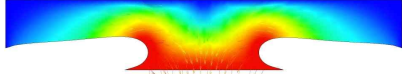

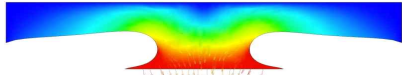

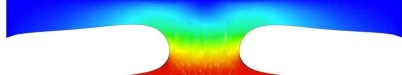

Time \ Division	Simulation	Experiment
0.00s		
0.15s		
0.40s		
0.70s		
1.00s		

Table 8. Ink Flow According to The Variation of Time(Layer Thickness is $90\mu m$)

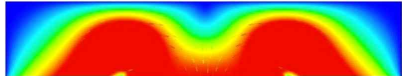

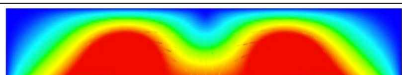

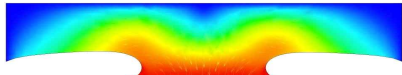

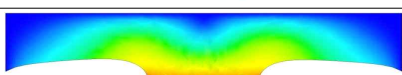

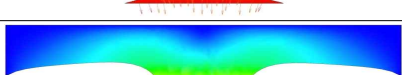

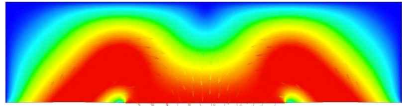

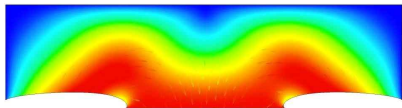

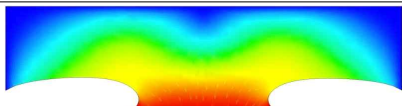

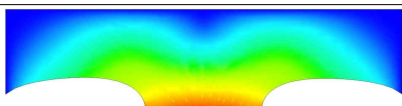

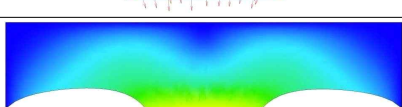

Time \ Division	Simulation	Experiment
0.00s		
0.15s		
0.40s		
0.70s		
1.00s		

Table 9. Ink Flow According to The Variation of Time (Layer Thickness is $120\mu m$)

Time \ Division	Simulation	Experiment
0.00s		
0.15s		
0.40s		
0.70s		
1.00s		

각각의 결과에서 보여주듯이 시간이 지남에 따라 필라멘트의 폭이 점점 얇아지면서 cliché의 비화선부로 완전히 전이되기 전 1.0초 가장 폭이 줄어든 상태를 확인할 수 있었다. 그리고 시간이 흐를수록 필라멘트의 폭이 줄어들어 완전히 떨어지기까지의 반비례 그래프를 예상해 볼 수 있었다. 잉크층이 두꺼울수록 더 많은 양의 잉크가 들어 오르는 유동을 볼 수 있었다. 필라멘트의 폭이 넓어지는데 이는 과도하게 두꺼운 잉크층으로 도포되는 경우에 전이량이 증가하여 많은 양의 비화선부를 떼어내기는 하지만 반대로 전이되고 남은 잉크층의 잉크가 화선부와 비화선부의 경계를 흐려 고해상도를 추구하는 reverse offset printing의 패턴 형성에 방해 요소로 작용할 것으로 사료된다.

Figure 6은 cliché와 잉크층이 분리가 되기 전 사이를 시간대 별로 나타낸 결과이다. 잉크 층이 두꺼울수록 필라멘트의 폭이 넓으며 잉크의 점탄성적 성질로 인해 시간이 지나면서 필라멘트의 폭은 점차 줄어들어 반비례 관계를 형성하는 것을 볼 수 있었다.

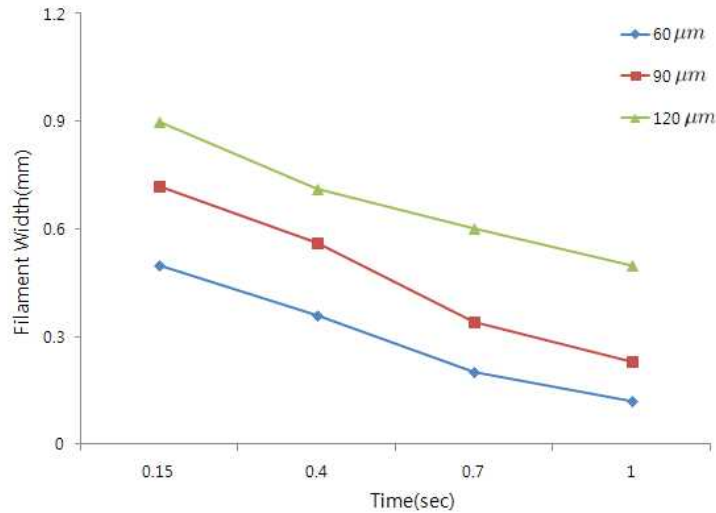


Figure 6. Filament width according to the variation of time.

4. 결 론

본 연구는 reverse offset printing에서 잉크층의 잉크가 cliché의 비화선부로 전이되어 화선부의 미세 패턴 및 고해상도의 패턴을 형성할 때, 잉크의 유동 특성을 시뮬레이션한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 코팅된 잉크층 두께를 실험과 시뮬레이션의 조건 값을 동일하게 했을 때, 실제 공정에서의 변수를 고려하면 실제의 잉크 유동 특성과 시뮬레이션 결과가 거의 일치함을 확인할 수 있었다.
2. 시뮬레이션 결과들을 이용하여 이론적인 요소를 확인할 수 있기 때문에 실험 결과의 오차 범위를 줄이고 실험 및 인쇄 공정에 접근하기가 편리함을 알 수 있었다.
3. Reverse offset printing의 잉크층에서 cliché로 100%의 전이는 일어나지 않으며 고속이기 때문에 실험이나 이론적으로 규명할 수 없는 부분을 시뮬레이션에 의해 예측할 수 있었다.
4. Reverse offset printing 공정 중 잉크층에서 비화선부를 분리하는 과정에서의 잉크 유동 특성을 두께 및 시간에 따른 변화를 확인할 수 있었으며, 이를 응용한 여러 인쇄 조건 변화를 주어 다양한 잉크 유동 현상을 예측해 볼 수 있을 것이다.

참고 문헌

- 1) M. Kim, I. K. You, H. Han, S. W. Jung, T. Y. Kim, B. K. Ju, and J. B. Koo, "Organic thin-film transistor with short channel length fabricated by reverse offset printing", *Electrochem Solid-State Lett*, Vol. **14**, No. **8**, pp. 333~336(2011).
- 2) E. W. Grald, J. A. Kulkarni and A. Dutta, "Application of Multiphysics Simulations to Solve Practical Coating Flow Problems", 11th International Coating Science and Technology Symposium, pp. 181~184(2002).
- 3) J. E. Park, "Patterning of Gate Electrodes of OTFT-backplane with Reverse off-set Printing Combined by Screen Printing", pp. 18~19(2010).
- 4) J. E. Park, C. K. Song, "A Printing Process Combining Screen Printing with Reverse Off-set for a Fine Patterning of Electrodes on Large Area Substrate", *Journal of Electrical and Electronic Material Engineers*, pp. 374~380(2011).
- 5) J. Y. Hwang, M. C. Park, H. J. Gwon, S. J. Min, B. Y. Choi, J. S. Yoo, K. J. Kim, "Polymer Micro Nano Structure Fabrication using Reverse Offset Printing", *Journal of The polymer society of Korea*, Vol. **32**, No. **1**(2007).
- 6) S. S. Lee and J. T. Youn, "Computer Simulation of Ink Flow in the Various Type of Gravure Cell", *Journal of the Korean graphic arts communication society*, Vol. **23**, No. **2**, pp. 103~115(2005).
- 7) S. J. Park, S. M. Lim, J. T. Youn, "A Study on the Computer Simulation in the Changing Velocity and Pressure in Gravure Printing", *Journal of the Korean graphic arts communication society*, Vol. **25**, No. **1**, pp. 53~64(2007).