

# 스크린 인쇄에서 인쇄 속도와 잉크 점도에 따른 잉크 전이 시뮬레이션에 관한 연구

최송아<sup>†</sup>, 윤종태<sup>\*</sup>, 목지수<sup>\*\*</sup>, 구철회<sup>\*</sup>

<sup>†</sup> 부경대학교 대학원 인쇄공학과, <sup>\*</sup>부경대학교 공과대학 인쇄정보공학과, <sup>\*\*</sup>삼성전기  
(2011년 2월 21일 접수, 2011년 4월 11일 최종 수정본 접수)

## Computer Simulation of Ink Transfer in the Different Printing Speed and Ink Viscosity in the Screen Printing

*Song-Ah Choi<sup>†</sup>, Jong-Tae Youn<sup>\*</sup>, Jee-Soo Mok<sup>\*\*</sup>, Chul-Whoi Koo<sup>\*</sup>*

<sup>\*</sup>Dept. of Graphic Arts Information, Graduate School, Pukyong National University  
Dept. of Graphic Arts Information, College of Engineering, Pukyong National University,  
Samsung Electro-Mechanics.

(Received 21 February 2011, in final from 11 April 2011)

### Abstract

As screen printing is changed by automation recently, could print more exactly. However, must suffer great many trial and error to have still gotten perfect result. By the way, at this step, fair time and money should be invested.

Therefore, if search for optimum condition in early time visualizing screen printing process using simulator program before progress printing, is judged that may be correct and gets printing result efficiently.

In this paper, searched optimum printing speed and ink viscosity using FLOW-3D program. Also, the result could confirm truth that is agreeing almost with experiment contents. Through this, is thought that may expect extension of screen printing wide application that vivify advantage of screen print if use simulation program.

Keyword: screen printing, optimum condition, printing speed, ink viscosity, ink

transfer, simulator program, wide application.

## 1. 서론

스크린 인쇄는 잉크층이 두꺼운 선화 인쇄 및 하프톤(half tone)인쇄가 가능한 산업으로써 판면의 유연성으로 인해 여러 가지 피인쇄체에 인쇄가 가능하기 때문에 전자 제품, 문구류, 건축 산업 등 전반적인 산업에 광범위하게 관여 하고 있는 인쇄 방식이다. 이러한 Figure 1의 스크린 인쇄는 그 원리가 극히 간단하나 결과로 미치는 원인의 수는 적지 않다. 이러한 원인들에 대해서 보다 구체적인 값을 시뮬레이션을 통해 확인해보고 적용한다면 제판 과정에서 최종 단계에 이르기까지 기본 검사를 컴퓨터상에서 할 수 있을 것이고, 이로 인해 인쇄 공업의 영역이 더욱 확대되어 부가가치가 높은 분야를 개발 할 수 있을 것이다. 또한 양질의 인쇄물을 도출해 낼 수 있게 됨에 따라 스크린 인쇄의 장점을 살려 스크린 인쇄법 적용 범위의 확대를 기대해 볼 수 있다.

스크린 인쇄에서의 잉크 토출 메커니즘은 스크린판 위에서 잉크를 스퀴징 할 때 스퀴지의 면에서 수직 방향으로 잉크가 유동하여 스크린의 개구부로 흘러들어 간 후 인쇄 압력에 의해 피인쇄체로 전이되는 것이다. 이때 여분의 잉크는 전방으로 회전하면서 이동한다. 잉크의 rolling성이 부족하면 개구부로의 토출량이 작아지게 되어 양호한 인쇄 해상도를 얻을 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 잉크의 물성과 인쇄각도, 인쇄 압력, 속도, 셀의 간격 등이 서로 상호 보완 관계를 유지하며 인쇄되어야 한다.

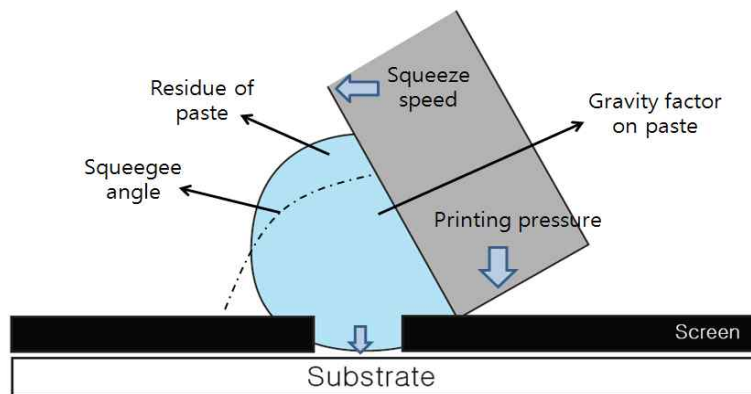


Figure 1. Discharging mechanism of paste.

Figure 2와 같이 Paste 빠짐량의 개선을 위해서는 피인쇄체(substrate)가 잉크를 끌어

당기는 힘(F2)이 피인쇄체로부터 잉크를 가져가는 힘(F1)보다 크게 만들어야 한다. 여기서 k1과 k2는 상수이다. 또한 홀내벽의 면적 A보다 인쇄된 홀경의 면적 B의 크기가 큰 경우에도 빠짐량이 향상된다. 이 외에도 빠짐량을 개선하기 위한 방법으로 잉크의 tacky 성을 낮추거나 피인쇄체 표면의 거칠기(roughness)를 크게 하는 것도 하나의 방법이다. 이러한 방법들을 제품의 사양에 맞춰 적절하게 조절하여 활용한다면 인쇄되는 잉크의 적절한 빠짐량으로 인해 보다 좋은 품질개선과 생산성을 높일 수 있다.

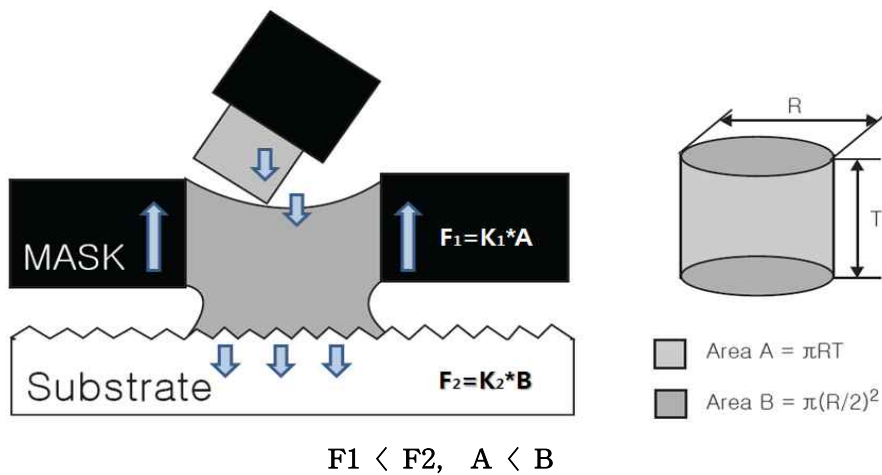


Figure 2. Schematic view of theory of improvement for dischargable paste volume.

현재 시뮬레이션은 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으며 종류에도 여러 가지가 있다. 이 중에서 본 논문은 Flow-3D 프로그램을 사용하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 인쇄 조건

실험에 사용된 인쇄 방식은 범프 인쇄로 향은 향습이 가능한 인쇄기이다. 작업 조건은 Table 1과 같이 인쇄 속도, 인쇄 압력, 인쇄 각도, 판들림, 스퀴지 정도 조건에 변화를 주어 인쇄하였으며 인쇄된 범프의 높이 및 산포를 평가하였다. 이 외의 인쇄기 조건으로 공기 압력 0.25MPa, 마스크 장력 0.24MPa은 모두 동일하게 적용하였다. 이와 같은 조건으로 인쇄된 범프는 높이 검사기를 이용하여 높이를 검사하였고, 레이저 3D 현미경을 이용하여 범프 형상을 측정 분석하였다.

Table 1. Test Conditions of Screen Printing

Factor	Unit	Test Conditions
Printing Speed	mm/sec	45, 60, 80
Printing Pressure	mm	3, 5, 7
Printing Angle	degree	68, 70, 72
Off-Contact	mm	4, 5, 6
Squeegee Hardness	degree	70, 80, 90

### 2-2. 잉크 조건

본 실험에서 사용한 도전성 잉크는 Table 2와 같이 금속 입자 종류별에 따라 물성이 다른 잉크를 사용하여 인쇄 작업성, 생산성이 우수한 잉크를 선정하는 실험을 하였다.

Table 2. Properties of Each Ag Paste

Ink	Powder	Binder	Solvent	Viscosity
A	Sphere + Flake	Epoxy	BCA	320Pa · s
B	Sphere + Flake	Epoxy	BCA	230Pa · s
C	Crystal + Flake	Epoxy	BCA	260Pa · s
D	Crystal + Flake	Epoxy	BCA	290Pa · s
E	Crystal + Large + Flake	Epoxy	BCA	300Pa · s
F	Crystal + Sphere + Flake	Epoxy	BCA	200Pa · s
G	Crystal + Sphere + Flake	Epoxy	BCA	520Pa · s

## 3. 시뮬레이션

스크린 인쇄법이 최근 들어 수동 인쇄법에서 자동화로 바뀌게 되면서 보다 정확한 인쇄가 가능해졌다. 이에, 인쇄를 진행하기 전에 시뮬레이션을 통해 빠른 시간 내에 최적 조건을 찾아내 보다 정확하고 효율적으로 인쇄를 할 수 있다고 판단하였고 FLOW-3D 프로그램을 이용하게 되었다.

본 연구에서는 앞서 실험한 결과를 기반으로 하여 시뮬레이션을 돌린 결과 실제 실험과 동일한 결과를 보이는지에 대하여 확인하였다.

스크린 인쇄에서 인쇄 속도와 잉크 점도에 따른 잉크 전이 시뮬레이션에 관한 연구

### 3-1. 잉크 채움 시뮬레이션

스크린 인쇄에서의 잉크 유동 시뮬레이션을 그려내기 위해 인쇄 현상에 맞는 물리적인 특성을 각각 설정하여 Table 3과 같이 기본 시뮬레이션 틀을 만들어냈다. 또한 육면체 틀의 경계 조건(boundary condition)과 각 점도 조절(Table 4)을 통해서 수차례 프로그램을 실행하였다.

Table 3. Condition of Simulation

Finish Time	1.06e-3
Printing Pressure	5 mm
Off-Contact	5 mm
Surface Tension	40 dyne/cm
Physics	Bubble and Phase Change, Surface Tension, Moving and deforming object, Viscosity and turbulence

Table 4. The Test Condition of Printing Speed(Fill Mechanism)

Printing Speed(mm/s)	
S1	60
S2	70
S3	80
S4	100
S5	200
S6	250
S7	300
S8	500

### 3-2. 판분리 시뮬레이션

실험 시에 사용되는 점도의 잉크를 생산해내기란 쉬운 일이 아닐 뿐 아니라 수많은 시행착오를 겪어야 하는데, 이 단계는 상당한 시간이 투자되어야 한다. 하지만 시뮬레이션 상에서는 수치를 입력하면 바뀌는 것을 그 자리에서 시각화할 수 있기 때문에 다양

한 점도 조절을 해볼 수 있다. 이를 시뮬레이션 해보기 위해 Table 5와 같이 기본 조건을 두고 Table 6으로 잉크 점도에 변화를 주어 시뮬레이션을 실행시켜 보았다.

Table 5. Condition of Simulation

Finish Time	1.5e-5
Printing Pressure	5 mm
Off-contact	5 mm
Surface tension	40 dyne/cm
Physics	Surface Tension, Viscosity and Turbulence, Solidification, Heat Transfer, Moving and Deforming Object

Table 6. The Test Condition of Ink Viscosity (Plate separation mechanism)

Ink Viscosity(Pa.s)	
V1	36.7
V2	200
V3	230
V4	260
V5	290
V6	367
V7	520

## 4. 결과 및 고찰

### 4-1. 잉크 물성 인자 도출(잉크 점도)

잉크 물성 인자 중에서 범프 높이 형성에 영향을 미치는 인자를 도출하고자 하였다. 먼저 점도를 제외한 동일한 물성을 가진 잉크에 점도 260Pa·s에서 290Pa·s으로 변경에 따른 점도에 대한 범프 높이의 유의성 검증 결과 P-value=0.000으로 점도는 범프 높이에 영향을 미치는 인자임을 알 수 있었다(Figure 3).

스크린 인쇄에서 인쇄 속도와 잉크 점도에 따른 잉크 전이 시뮬레이션에 관한 연구

**Boxplots of 260Pa.s and 290Pa.s**  
(means are indicated by solid circles)

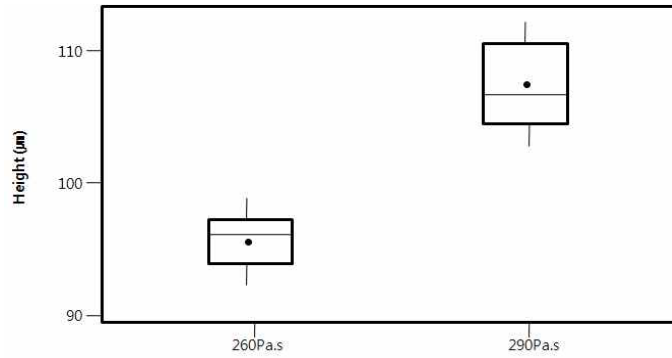


Figure 3. Box plots of paste viscosity.

#### 4-2. 인쇄 속도 변화에 따른 범프 인쇄 결과

새롭게 설계된 은 잉크를 가지고 범프 인쇄기를 이용하여 인쇄 속도 변화에 따른 인쇄된 범프의 높이, 산포를 분석하여 속도 인자의 최적 조건을 도출하였다. 이때, 기준홀은 반복인쇄를 위하여 18 $\mu$ m 구리박을 사용하여 직경 0.2mm의 기준 홀을 가공하였다. 인쇄 속도에 대한 범프 높이와 산포는 Figure 4와 같이 인쇄 속도가 빠를수록 인쇄 높이가 증가함을 알 수 있었다. 인쇄 속도가 빠를수록 잉크가 마스크 위에서 롤링성이 좋아져 내림량이 증가한다. 하지만 인쇄 속도를 빨리 할수록 범프 높이의 산포는 커졌다. 따라서 높이 평균 170 $\mu$ m 이상에 만족하기 위하여 80mm/sec 조건을 선정하였다.

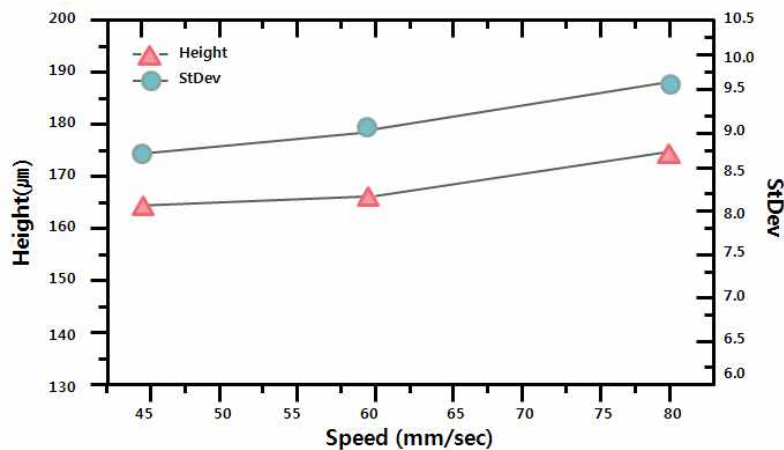


Figure 4. Variation of bump height and distribution under various speed.

### 4-3. 최적 인쇄 조건 선정

은 잉크를 이용했을 때, 스크린 인쇄에 있어서 가장 최적의 인쇄 품질을 낼 수 있는 조건을 실험을 통해 산출해 내었다. 각각의 인쇄 작업 인자 인쇄 속도, 인쇄 압력(실린더 압력), 인쇄 각도, 판들림, 스퀴지 경도 등에 대하여 60,000~100,000개의 범프 수를 가진 마스크로 범프 인쇄 후 높이는 목표 높이 평균 170 $\mu$ m을 인쇄 할 수 있는 조건과 높이 산포를 낮출 수 있는 조건들을 분석하여 최적의 인쇄 조건을 선정하였다. 선정된 인쇄조건은 Table 7과 같다.

Table 7. The Optimized Condition of Screen Printing

Factor	Unit	Optimized Conditions
Printing Speed	mm/sec	80
Printing Pressure	mm	5
Printing Angle	degree	70
Off-Contact		5
Squeegee Hardness	degree	80
Common Conditions	Air Pressure : 0.25MPa Mask Tension	

### 4-4. 잉크 채움 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 프로그램으로 실험 시, 다양한 속도조절을 통해 결과를 얻어내고 싶었지만 그에 따르는 시간과 인력의 문제로 인해 할 수 없었던 부분까지 해볼 수 있었다. 이에, 기존에 실험 속도였던 60mm/s 단위부터 70mm/s, 80mm/s, 100mm/s, 200mm/s, 300mm/s, 500mm/s까지 적용해 보았고, 300mm/s에서 잉크가 셀 속에 완전히 채워지지 않고 기포가 생긴다는 것을 발견 할 수 있었다. 하지만 200mm/s에서는 기포가 생기지 않았기 때문에 Figure 5와 같이 250mm/s에 대해서도 프로그램을 실행시켜 보았고 최소 속도 250mm/s에서부터 기포가 생기게 되는 것을 확인하였다. 또한 이때, 기포가 생김으로 인해서 망목사이로 흘러내린 잉크 전이량이 줄어들었다.

Figure 5에서 기포가 생기는 과정과 잉크 유동 모습을 볼 수 있다면 Figure 6에서는 메시(mesh)를 이용하여 총 잉크 전이량을 계산해 볼 수 있다. 기존호의 직경이 각각 가로, 세로 0.2mm에 18 $\mu$ m이었으므로 기존에 80mm/s로 속도를 조절 하였을 때는 잉크 전이량은  $5.6 \times 10^{-4} \text{mm}^3$  인데 반해, 기포로 인해 250mm/s에서의 잉크 전이량은  $4.88 \times 10^{-4} \text{mm}^3$ 으로 줄어들었다. 또한 속도가 500mm/s까지 증가하였을 때는 Figure 7과



스크린 인쇄에서 인쇄 속도와 잉크 점도에 따른 잉크 전이 시뮬레이션에 관한 연구

같이  $6.48 \times 10^{-6} \text{mm}^3$ 로 상당량의 잉크가 전이되지 못했다는 것을 알 수 있었다. 실험에서 얻어낸 최적의 조건으로 시뮬레이션을 실행해 보았더니, Figure 8과 같이 시뮬레이션에서도 잉크량이 가장 많이 전이되어 이상적인 모습이 나오는 것을 확인할 수 있었다.

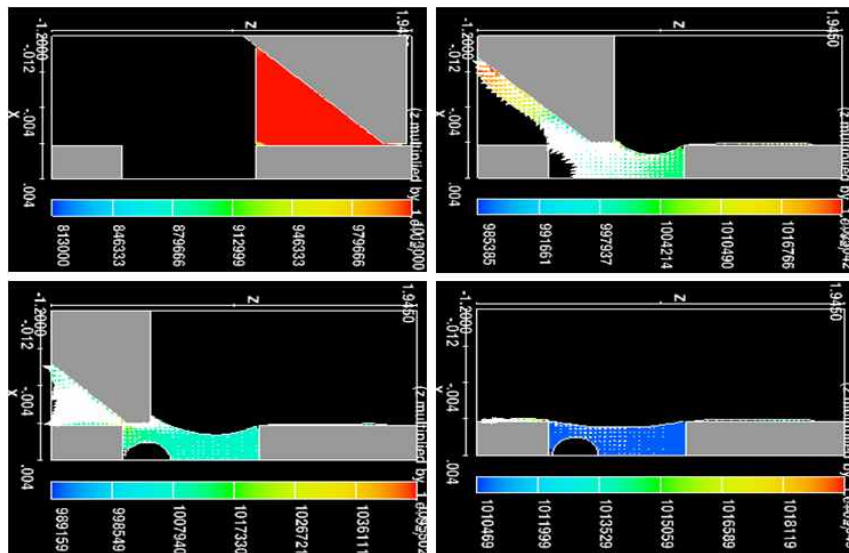


Figure 5. Computer simulation of ink flow in the screen printing(printing speed 250mm/s).

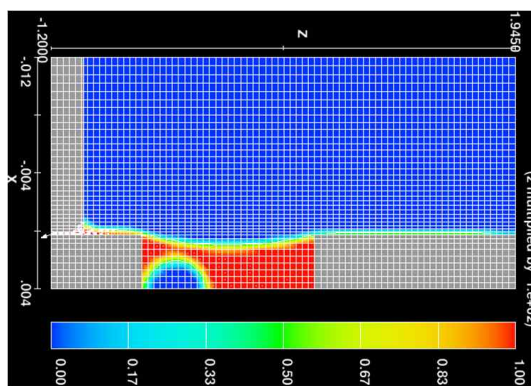


Figure 6. Computer simulation of ink amount in the screen printing(printing speed 250mm/s).

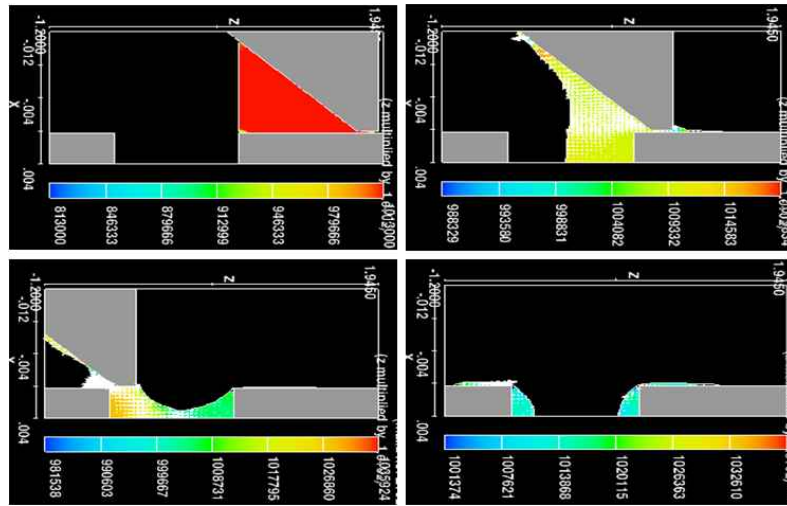


Figure 7. Computer simulation of ink flow in the screen printing(printing speed 500mm/s).

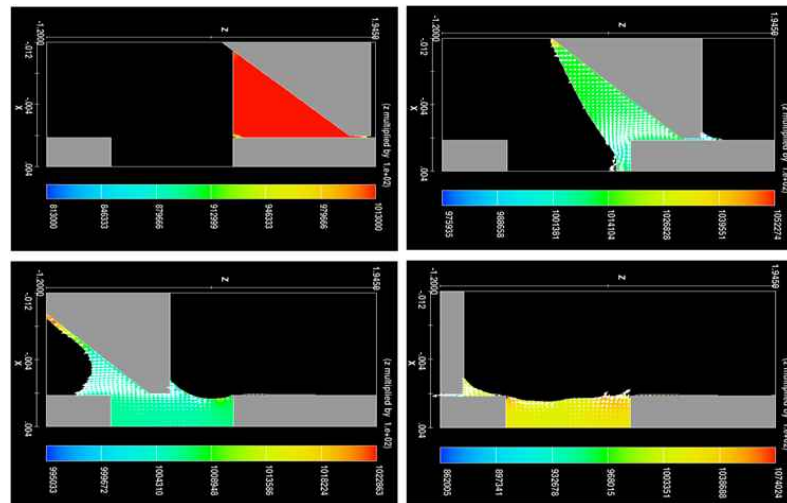


Figure 8. Computer simulation of ink flow in the screen printing(printing speed 80mm/s).

스크린 인쇄에서 인쇄 속도와 잉크 점도에 따른 잉크 전이 시뮬레이션에 관한 연구

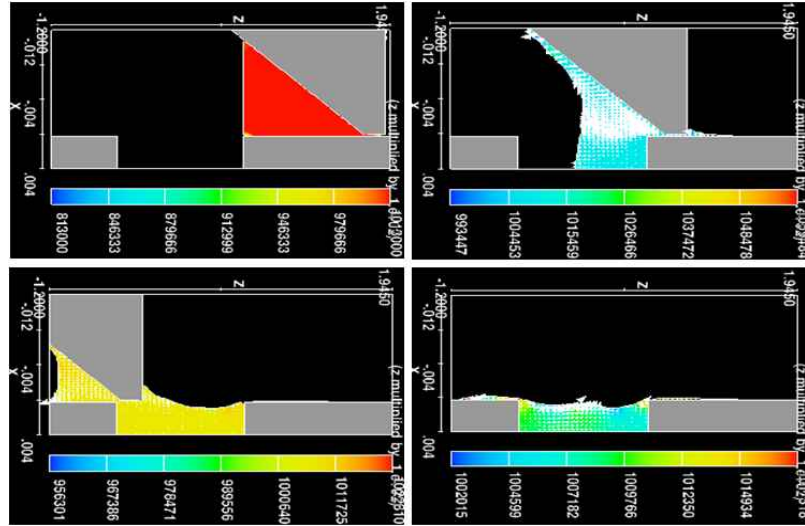


Figure 9. Computer simulation of ink flow in the screen printing(printing speed 100mm/s).

#### 4-5. 판분리 시뮬레이션 결과

이론상으로 알고 있듯이 점성을 조절했을 때, 점도가 낮아질수록 잉크 퍼짐 현상이 심해졌고, 점도가 높아질수록 잉크 전이량이 줄어들고 망목으로 붙는 잉크들이 많아짐을 확인할 수 있었다.

먼저, Figure 10은 36.7Pa.s의 점성을 가지고 있는 잉크를 시뮬레이션화 한 경우로 망목사이로 모든 잉크가 전이되지만 전반적으로 피인쇄체로 퍼짐 현상이 너무 심하여 잉크가 그 형상을 띄지 못하는 것을 볼 수 있다. 다음으로 잉크 점도를 260Pa.s로 향상시킨 Figure 11의 경우에도 마찬가지로 Figure 10의 시뮬레이션 결과 보다는 잉크의 형상을 보이고 있으나 퍼짐 현상이 심할 뿐 아니라 망목 사이로 남게 되는 여분의 잉크가 많아 이상적인 모습이 아니라는 것을 알 수 있었다.

반대로, Figure 12에서는 520Pa.s라는 높은 점도를 주었을 때의 시뮬레이션 결과로 이 또한 잉크가 제대로 전이되지 못하고 있는 것을 확인할 수 있다. 여기에서는 잉크 서로 간의 점성이 강하여 상당량의 잉크가 망목에 붙어 있어 종이로 전이되지 못했다. 가장 이상적인 잉크 전이의 모습을 보여준 Figure 13은 앞서 실험에 의해서도 확인할 수 있듯이 367Pa.s의 점성을 가진 잉크가 흘러내린 모습이다. 범프 높이 또한 166 $\mu$ m 정도로 앞서 실험 결과와 거의 비슷한 수치를 내고 있다. 목표 170 $\mu$ m와 약간의 수치 이상을 보이는 것은 주어진 환경적 요건이 차이에 따른 결과라 생각된다.

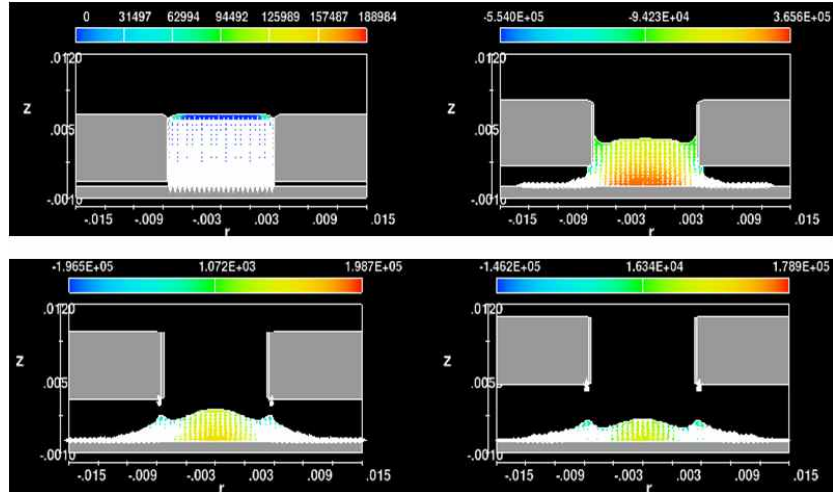


Figure 10. Computer simulation of ink transfer in the screen printing(viscosity 36.7 Pa.s).

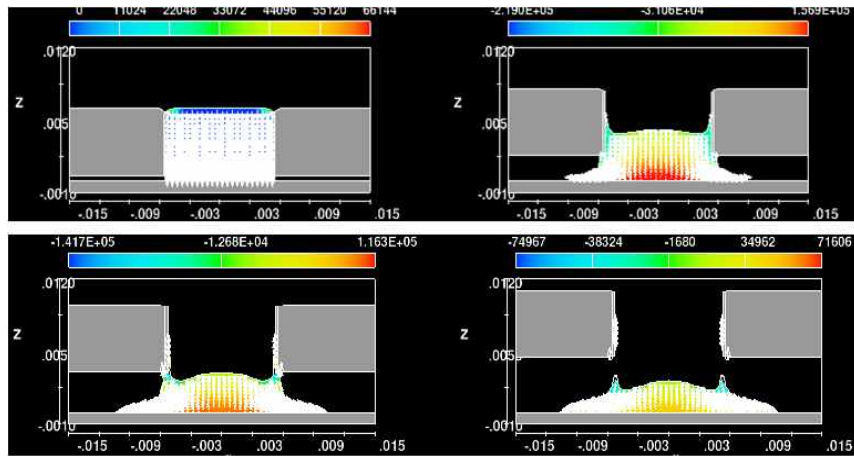


Figure 11. Computer simulation of ink transfer in the screen printing(viscosity 260 Pa.s).

스크린 인쇄에서 인쇄 속도와 잉크 점도에 따른 잉크 전이 시뮬레이션에 관한 연구

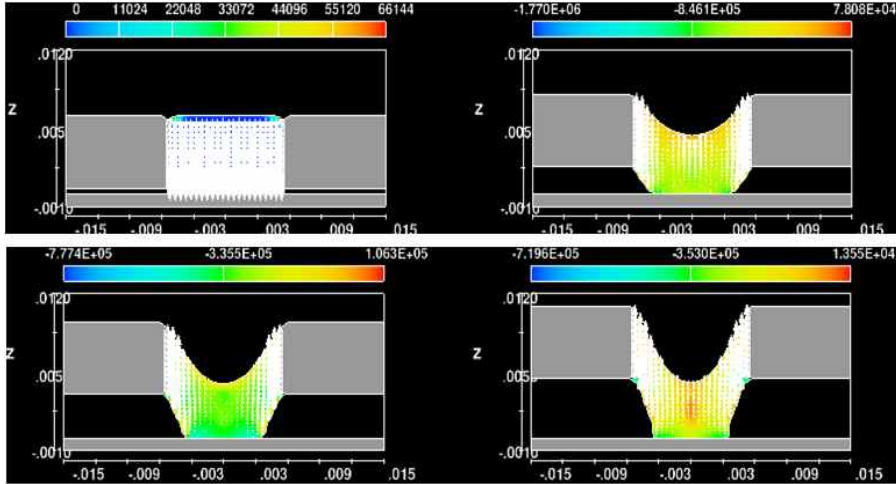


Figure 12. Computer simulation of ink transfer in the screen printing(viscosity 520 Pa.s).

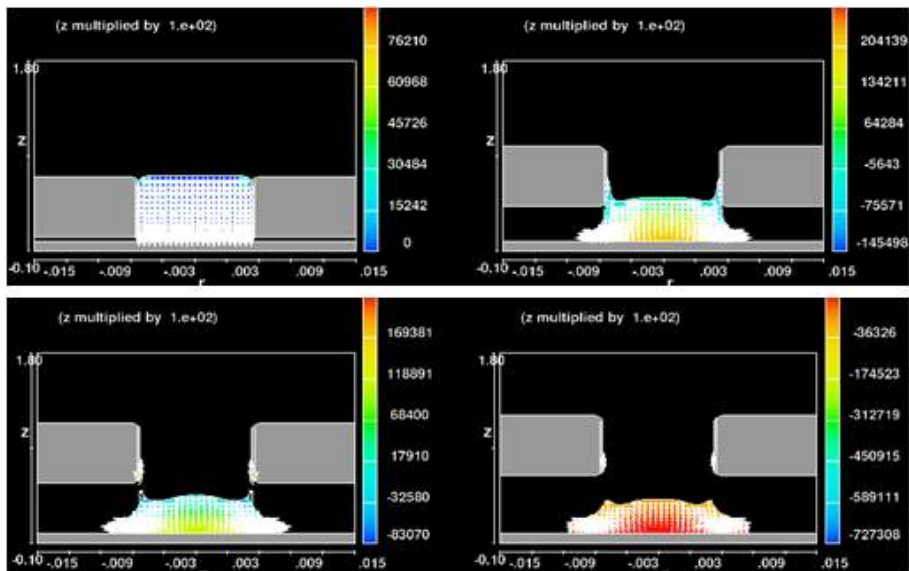


Figure 13. Computer simulation of ink transfer in the screen printing(viscosity 367 Pa.s).

## 5. 결 론

본 연구는 스크린 인쇄에서 인쇄 속도와 잉크 점도를 달리하였을 때, 잉크 전이와 관련한 컴퓨터 시뮬레이션과 그에 따른 실험 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 동일한 조건을 주었을 때, 실험적인 방법의 결과와 시뮬레이션의 결과가 환경적 조건 외 약간의 변수를 고려하였을 때 실제 스크린 인쇄에서의 잉크 잔류량과 시뮬레이션 상의 결과 값이 거의 일치하고 있음을 확인 할 수 있었다.
- 2) 시뮬레이션을 실행시켜 봄으로써 기존에 시각적으로 확인이 어려운 스크린 인쇄 잉크의 유동모습과 흘러내림 현상을 확인할 수 있었다. 또한 시뮬레이션 상에서 인쇄 속도와 잉크점도를 변화시켰을 때, 기포가 생기는 지점과 최적 인쇄 속도가 확인 가능하였다.
- 3) 시뮬레이션 프로그램 이용 시 시간과 인력적인 측면에서 보았을 때, 보다 과학적이고 효율적인 연구가 이루어 질 수 있음을 알 수 있었다. 또한 여러 가지 조건에 변화를 주어 다양한 시뮬레이션 결과물을 얻을 수 있게 된다면 스크린 인쇄의 장점을 살린 스크린 인쇄법 적용범위의 확대를 기대해 볼 수 있을 것이라 사료된다.

## 참고 문헌

1. Hung-Wen Lin, Chang-Pin Chang, Wen-Hwa Hwu, Ming-Der Ger, The rheological behaviors of screen-printing pastes, journal of materials processing technology, pp. 284~291(2008).
2. Jee-Soo Mok, A Study on Via Interconnection with Conductive Paste using Screen Printing for PCB Manufacture, pp. 27~29(2010).
3. J. T Youn, K. H. Kim, and B.T Kim, Computer Simulation for Ink Transfer from Cell onto Paper in the Gravure(2003).
4. Yea-Ri Seo, A study on the simulation of ink penetration into the uncoated papers in gravure printing(2010).
5. Jae-Sul Park, A Study on the thick stencil making in the screen printing, pp. 1~8(1999).