

공학석사학위논문

스크린 인쇄에서 인쇄속도와 잉크점도에  
따른 잉크전이 시뮬레이션에 관한 연구



2012년 2월

부경대학교대학원

인쇄공학과

최송아

공학석사학위논문

스크린 인쇄에서 인쇄속도와 잉크점도에  
따른 잉크전이 시뮬레이션에 관한 연구

지도교수 윤 종 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



2012년 2월

부경대학교대학원

인쇄공학과

최송아

# 최송아의 공학석사 학위 논문을 인준함

2012년 2월 22일



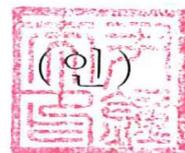
주 심 공학박사 구 철 회



위 원 공학박사 백 용 국



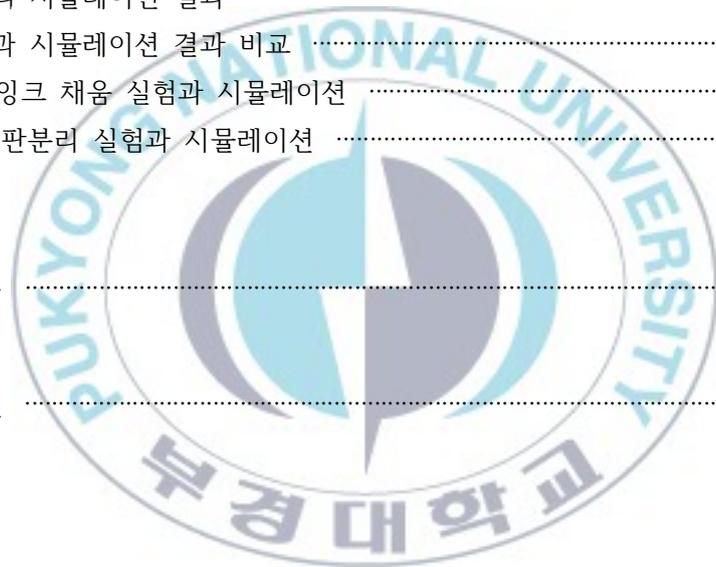
위 원 공학박사 윤 종 태



# 목 차

목차 .....	i
List of figures .....	iii
List of tables .....	v
Abstract .....	vi
1. 서 론 .....	1
2. 이 론 .....	3
2-1. 잉크의 전이 이론 .....	3
2-1-1. 오프닝의 구성 .....	3
2-1-2. 판 떨어짐 조작 .....	6
2-2. 전이 방정식 .....	9
2-2-1. 전이 정수 .....	10
3. 실험 .....	14
3-1. 인쇄조건 .....	14
3-2. 잉크조건 .....	14
3-3. 시뮬레이션 .....	15
3-3-1. 잉크 채움 시뮬레이션 .....	15
3-3-2. 판분리 시뮬레이션 .....	16

4. 결과 및 고찰 .....	18
4-1. 잉크 물성 인자 도출 (잉크 점도) .....	18
4-2. 범프 높이 .....	18
4-2-1. 범프 높이 분석 .....	18
4-2-2. 인쇄 속도 변화에 따른 범프 인쇄결과 .....	20
4-3. 최적 인쇄 조건 선정 .....	21
4-4. 잉크 채움 시뮬레이션 결과 .....	21
4-5. 판분리 시뮬레이션 결과 .....	25
4-6. 실험과 시뮬레이션 결과 비교 .....	28
4-6-1. 잉크 채움 실험과 시뮬레이션 .....	28
4-6-2. 판분리 실험과 시뮬레이션 .....	29
5. 결 론 .....	31
참고문헌 .....	32



# List of figures

Fig. 1. Discharging mechanism of paste. ....	1
Fig. 2. Schematic view of theory of improvement for dischargable paste volume. ....	2
Fig. 3. Opening of imagine cross-section. ....	4
Fig. 4. Opening cross-section. ....	5
Fig. 5. Valva of squeezy motion. ....	6
Fig. 6. The falling plate lately. ....	7
Fig. 7. A falling force of plate and cohesiveness. ....	8
Fig. 8. Conceptual curve of ink transfer. ....	12
Fig. 9. Curves of typical ink transfer and fractional ink transfer. ....	13
Fig. 10. Box plots of paste viscosity. ....	18
Fig. 11. Bump height of each pastes by printing. ....	19
Fig. 12. Tailing problem of a paste after printing. ....	20
Fig. 13. Variation of bump height and distribution under various speed. ....	20
Fig. 14. Computer simulation of ink flow in the screen printing. (Printing speed 250mm/s) ....	22
Fig. 15. Computer simulation of ink amount in the screen printing. (Printing speed 250mm/s) ....	23
Fig. 16. Computer simulation of ink flow in the screen printing. (Printing speed 500mm/s) ....	23
Fig. 17. Computer simulation of ink flow in the screen printing. (Printing speed 80mm/s) ....	24
Fig. 18. Computer simulation of ink flow in the screen printing. (Printing speed 100mm/s) ....	24

Fig. 19. Computer simulation of ink transfer in the screen printing.  
 (Viscosity 36.7 Pa.s) ..... 26

Fig. 20. Computer simulation of ink transfer in the screen printing.  
 (Viscosity 260 Pa.s) ..... 26

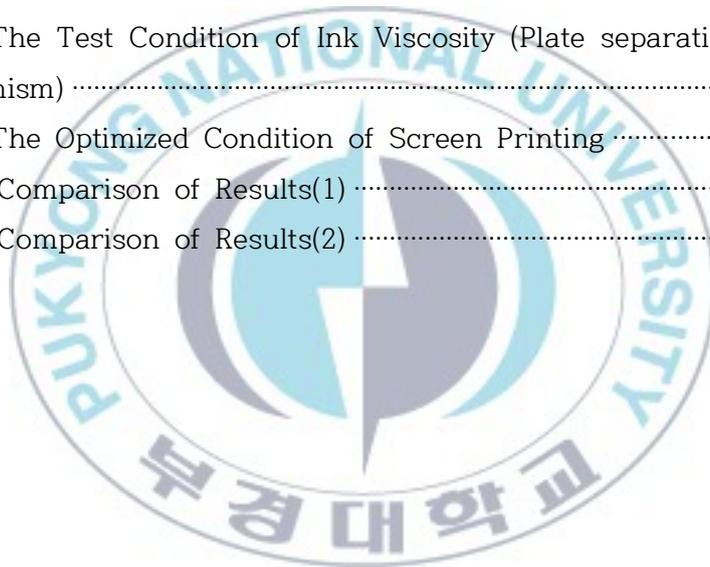
Fig. 21. Computer simulation of ink transfer in the screen printing.  
 (Viscosity 520 Pa.s) ..... 27

Fig. 22. Computer simulation of ink transfer in the screen printing.  
 (Viscosity 367 Pa.s) ..... 28



# List of tables

Table 1. Test Conditions of Screen Printing .....	14
Table 2. Properties of Ag Paste .....	15
Table 3. Condition of Simulation .....	16
Table 4. The Test Condition of Printing Speed (Fill mechanism) .....	16
Table 5. Condition of Simulation .....	17
Table 6. The Test Condition of Ink Viscosity (Plate separation mechanism) .....	17
Table 7. The Optimized Condition of Screen Printing .....	21
Table 8. Comparison of Results(1) .....	29
Table 9. Comparison of Results(2) .....	30



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

Song-Ah Choi

Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate school,  
Pukyong National University

**Abstract**

Recently, Screen printing are changed into automation and it can be possible to make accurate printing. However, there have been lots of trial and error to get perfect result. Also, much time and money must be input in this process. So, before printing progresses, if screen printing process becomes visualization by simulator program, finding optimum point will be in a short time and it was judged that printing result will be collected more exactly and efficiently.

In this study, figure out optimum printing speed and ink viscosity by FLOW-3D program and get the result almost accorded with experiment. Through this study, it would be expected that the application of the screen printing method will be extended with screen printing advantage by using simulator program.

# 1. 서론

스크린 인쇄는 잉크층이 두꺼운 선화인쇄 및 하프톤(half tone)인쇄가 가능한 산업으로써 판면의 유연성으로 인해 여러 가지 피인쇄체에 인쇄가 가능하기 때문에 전자제품, 문구류, 건축 산업 등 전반적인 산업에 광범위하게 관여 하고 있는 인쇄방식이다. 이러한 스크린 인쇄는 그 원리는 극히 간단하나 결과로 미치는 원인의 수는 적지 않다. 이러한 원인들에 대해서 보다 구체적인 값을 시뮬레이션을 통해 확인해 보고 적용한다면 제판과정에서 최종단계에 이르기까지 기본 검사를 컴퓨터상에서 할 수 있을 것이고, 이로 인해 인쇄공업의 영역이 더욱 확대되어 부가가치가 높은 분야를 개발할 수 있을 것이다. 또한 양질의 인쇄물을 도출해 낼 수 있게 됨에 따라 스크린 인쇄의 장점을 살려 스크린 인쇄법 적용범위의 확대를 기대해 볼 수 있다. Fig. 1과 같이 스크린 인쇄에서의 잉크 토출 메카니즘은 스크린판 위에서 잉크를 스퀴징 할 때 스퀴지의 면에서 수직방향으로 잉크가 유동하여 스크린의 개구부로 흘러들어 간 후, 인쇄압력에 의해 피인쇄체로 전이되는 것이다. 이 때 여분의 잉크는 전방으로 회전하면서 이동한다. 잉크의 롤링성질(rolling properties)이 부족하면 개구부로의 토출량이 작아지게 되어 양호한 인쇄 해상도를 얻을 수 없게 된다.

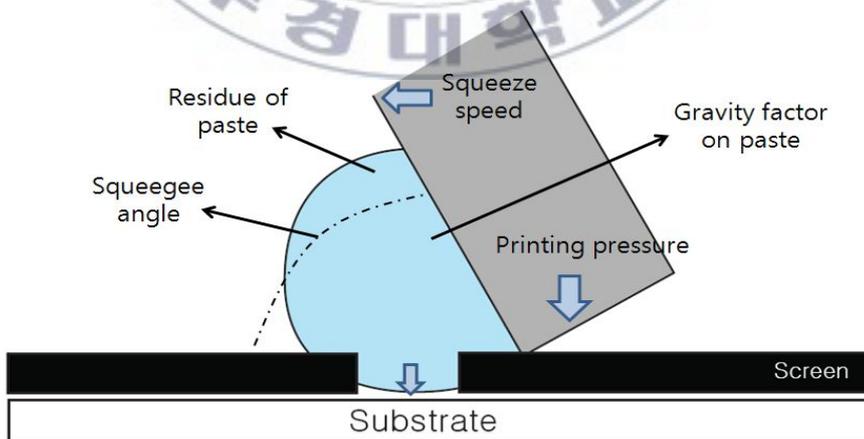


Fig. 1. Discharging mechanism of paste.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 잉크의 물성과 인쇄각도, 인쇄압력, 속도, 셀의 간격 등이 서로 상호 보완관계를 유지하며 인쇄되어야 한다.<sup>1)</sup>

페이스트(paste) 빠짐량의 개선을 위해서는 Fig. 2와 같이 피인쇄체가 잉크를 끌어 당기는 힘(F2)이 피인쇄체로부터 잉크를 가져가는 힘(F1)보다 크게 만들어야 한다. 여기서 k1과 k2는 상수이다. 또한 홀내벽의 면적A보다 인쇄된 홀경의 면적 B의 크기가 큰 경우에도 빠짐량이 향상된다. 이외에도 빠짐량을 개선하기 위한 방법으로 잉크의 택(tack)을 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.

현재까지 PCB 제조에서 스크린 인쇄를 이용한 도전성 페이스트의 비아 접속에 관한 연구가 발표된 바 있다.<sup>2)</sup> 본 논문에서는 이러한 실험결과의 이론적인 배경을 확립하고 논리적으로 해석하고자 시뮬레이션을 이용하였다. 현재 시뮬레이션은 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으며 종류에도 여러 가지가 있다. 이 중에서 본 논문은 Flow-3D 프로그램을 사용하여 실험 결과값과 비교하였다.

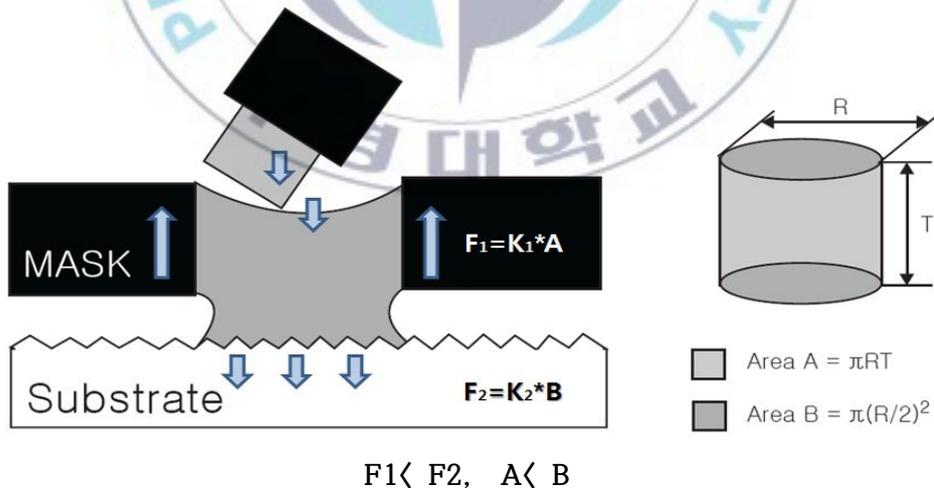


Fig. 2. Schematic view of theory of improvement for dischargeable paste volume.

## 2. 이 론

### 2-1. 잉크의 전이 이론

인쇄작업은 인쇄판과 스퀴지를 장착하고 조정된 잉크를 여기에 공급하여 피인쇄체를 놓고 스퀴지를 접동하여 실시한다. 스퀴지 작동을 위한 잉크의 보급은 잉크 반복흡개로 하는 것이 일반적이다. 잉크는 스퀴지의 접동에 따라 내압이 가해져 인쇄판의 오프닝부에 있는 사의 오프닝을 통과하여 피인쇄체에 전이된다. 오프닝은 사의 실에 의해 구성되어 있다. 사의 실의 재질, 굵기, 직조직이 구성 요소이다. 잉크가 사를 통과할 때 실을 적셔 오프닝을 통과한다.<sup>3)</sup>

#### 2-1-1. 오프닝의 구성

잉크의 통과 경로로서의 오프닝의 구성을 살펴보면, 이때 사의 직조직은 일반적으로 사용되고 있는 평직이고, 실은 모노필라멘트인 것을 전제로 한다. 사메이커의 카탈로그에는 품종, 규격, 메시, 실, 굵기, 오프닝, 오프닝 에리어, 두께, 중량, 폭 등이 명시되어 있다. 이것은 인쇄판 제작을 위한 것일 뿐만 아니라 인쇄작업에도 필요한 데이터이다. 사의 구성요소는 실이며, 이 실이 짜여져 네모형의 공간을 만드는데, 이 공간이 오프닝이다. 그 크기를 표시하는 데에는 하나의 오프닝 낱실과 낱실 사이의 길이와 씨실과 씨실 사이의 길이 곱의 제곱근으로 계산한다. 일반 사에서는 낱실과 씨실의 짜넣는 실의 수는 같으므로 오프닝은 정사각형이 된다. 날염사의 저신장 메시 중에는 직사각형도 있다. 사를 지정함에 있어서는 실의 재질, 메시 수, 실의 굵기를 말하면 된다.

그 중에서 수치로 표현할 수 있는 것은 메시 수  $M$ 과 실의 굵기  $D$ 이다. 이 두가지로 사의 구성요소가 되는 수치를 유출해 낼 수 있다. 이것을  $M$ 으로 나누면 하나의 오프닝을 포함하는 실의 중심간 길이  $L$ 이 얻어진다.  $L$ 에서  $D$ 를 뺀 것이 오프닝을 표시하는 수치이다.<sup>4)</sup>

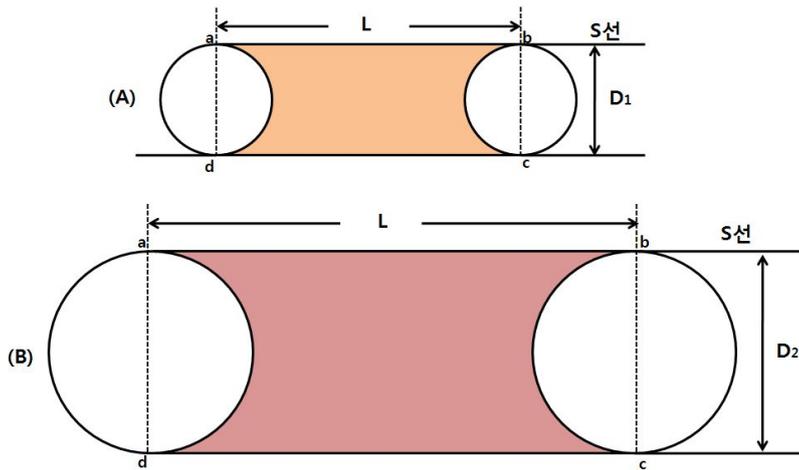


Fig. 3. Opening of imagine cross-section.

Fig. 3은 오프닝의 가상 단면도로서 메시 수는 같지만 실의 굵기는 다른 사로 한다. 원형은 실의 단면으로 그 지름을  $D_1$ ,  $D_2$ 로 하고,  $D_1 < D_2$ 이다. 그림에서 빗금을 그은 부분의 면적을 비교하면  $B > A$ 이다. 경험으로 볼 때 명백히 A의 사보다 B의 사 쪽이 잉크 전이량도 많고 인쇄시의 잉크 피막은 두껍다. 스퀴지가 작동할 때 빗금 부분의 잉크가 전이된다. 이때 전부가 전이하는 것이 아니라 잉크의 분열에 의해 일부는 실에 얽혀 잔류하게 된다. 사의 메시 수를  $M$ 으로 하고 실은 모노필라멘트로 지름을  $D$ 로 한다. 실과 실의 중심간 길이  $L$ 은 25,400미크론/ $M$ 이다. 메시 수가 정해져 있는  $L$ 이 일정할 때 실의 굵기  $D$ 의 변화에 따라 Fig. 3의 빗금 부분의 면적이 어떻게 변하는지를 고찰해 본다. 점 a와 점 b를 연결하는 선을 스퀴지가 통과하는 선이라고 가정하여 스퀴지 선이라고 부르자. 밑변  $dc$ 는 평활한 피인쇄체의 표면선이다.  $D \times L$ 은  $abcd$ 의 면적이다.  $(D/2)2\pi$ 는 실의 단면적이다.<sup>5)</sup>

여기서

$$DL - (D/2)2\pi = Y \quad \dots\dots\dots(1)$$

라고 하면  $Y$ 는 빗금 부분의 면적이다. (1)의 방정식을  $D$ 에 대해 미분하면,

$$Y' = L - D\pi/2$$

Y' 를 0으로 하면

$$L = D\pi/2, 2L = D\pi \dots\dots\dots (2)$$

로 된다.

이것은 빗금 부분의 면적이 최대치를 취할 때의 조건이고, 실의 굵기 D가 L의 두 배 길이를 원주로 된 원의 지름값과 같을 때 빗금 부분의 면적은 최대치를 갖게 된다. 이 방정식을 기준으로 오프닝 공간을 고찰한다.

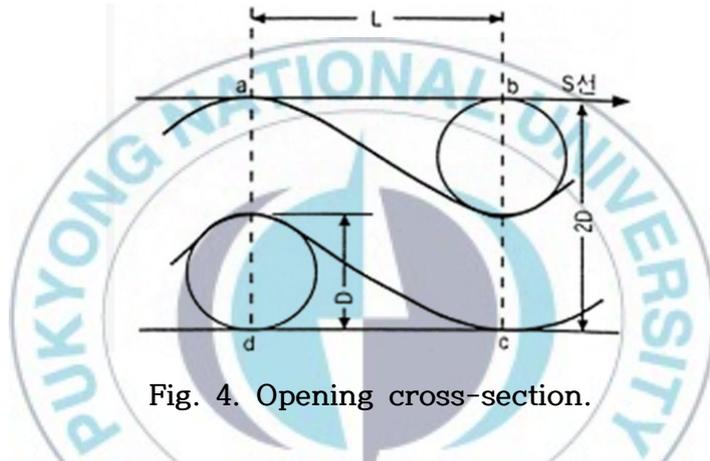


Fig. 4. Opening cross-section.

Fig. 4는 사의 하나의 오프닝 단면도이다. ab는 스퀴지선 S이고 dc는 피인쇄체의 표면이다. 날실과 씨실이 직교하는 점(結節點)의 중심선 ad와 bc를 연결하는 네 개 면으로 막혀진 공간은 사를 구성하는 하나의 단위로 생각할 수 있다. 이 덩어리가 사방으로 연결되어 사를 이루고 있는 것이다. 이 단위 공간 A에서 실이 점유하는 부피 B를 제거한 빈틈을 오프닝 공간이라고 정의한다. 이 부피는 실의 지름을 D, 실 사이의 길이를 L, 오프닝 공간을 Y로 하면

단 위 공 간 :  $A = 2DL^2$

오프닝 공간 :  $Y = 2DL^2 - 2(D/2)2\pi L \dots\dots\dots (3)$

(3)식을 D로 미분하면,

$$Y' = 2L2 - D\pi L$$

Y'를 0으로 하면,

$$2L = D\pi \dots\dots\dots(4)$$

(4)식은 (1)식과 같은 결과로서 오프닝 공간이 최대치를 갖는 L과 D의 조건에는 변함은 없다. 그런데 L을 일정하게 하여 D를  $2L = D\pi$ 에서  $2L < D\pi$ 로 할 때 실은 굵어져서 오프닝 공간은 감소되어 간다.  $2L > D\pi$ 로 되어 실이 가늘어 저도 마찬가지로 오프닝은 감소한다.

이것은 전체적인 체적이 감소하기 때문이다. 잉크 통과성의 요소로서 오프닝 공간과 실 표면적과의 관계를 고찰해 보았을 때, (3)식은 오프닝 공간의 용적이다. 실의 표면적은  $2D\pi L$ 이므로 (3)식을 이것으로 나누면  $(L/\pi) - (D/4)$ 로 된다. 이것은 D에 관한 일차식이므로 D가 작아지면 그 값은 증가하고, 그 극한은  $L/\pi$ 가 된다. 이것은 잉크가 전혀 통과되지 않음을 의미한다.<sup>67)</sup>

### 2-1-2. 판 떨어짐 조작

인쇄작업에 있어서 판의 장착 위치는 피인쇄체에 밀착시키는 것이 아니고 일정한 간격을 둔다. 판막과 피인쇄체는 스퀴지 선단의 한 선에 접촉하고 다른 부분은 피인쇄체와 떨어져야 한다.

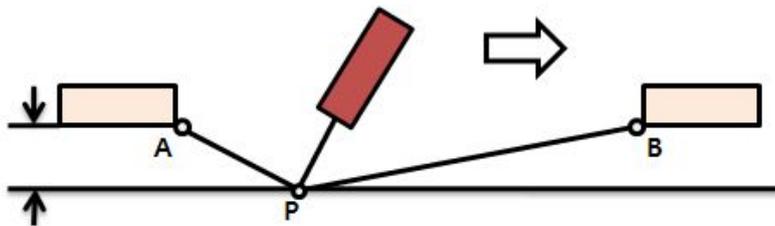


Fig. 5. Valva of squeezy motion.

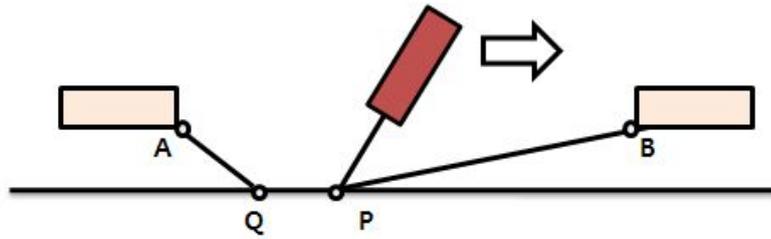


Fig. 6. The falling plate lately.

Fig. 5에서 스퀴지 선단과 접촉되고 있는 P점이 스퀴지의 접동에 따라서 A에서 B의 방향으로 이동하고 있을 때 P점 통과 후의 AP면의 판막은 반드시 피인쇄체에서 떨어져야 한다. AP의 떨어짐이 늦어져 Fig. 6 과 같이 Q까지만 떨어지는 경우는 다음 두 종류가 있다. 첫 번째는 Q도 P점의 이동에 따라서 떨어지지만 P점과 일치하지는 않는다. 두 번째는 Q점이 순간적으로 정지되거나 또다시 이동을 개시하거나 또는 정지한 경우이다. 이 거동을 일으킨 시점에서 인쇄잉크 피막은 경계와 같은 피막 얼룩이 생긴다. 이전의 시점에서 판의 한 쪽을 조금 올려주면 Q점은 P점에 근접하거나 일치된다. 판을 피인쇄체와 거리를 두고 장착하는 것은 항상 피인쇄체와 판막이 스퀴지 선단에서 압착된 한 선만으로 밀착시키는 조건이 필요하기 때문이다. 판막 AB라고 하는 길이를 APB로 늘리기 위해서 판막은 본래의 AB라고 하는 길이로 복원하려는 장력이 P점에 걸려 이것이 판 떨어짐 작용을 하게 되는 것이다. 판막을 피인쇄체로부터 떨어뜨리는 거리에는 P점이 피인쇄체에 접촉하고 그 밖에는 떨어져 있다고 하는 것만이 아니라 치수 정밀도의 확보 문제와 더불어 생각해야 한다. AP + PB와 AB의 차가 커지면 판을 지나치게 늘려 인쇄하여 인쇄된 무늬와 원고와의 치수 오차가 커지게 된다. 이때는 스퀴지의 인압과도 관련이 있게 된다.

스퀘지를 장착했을 때의 인쇄테이블에 대한 압력을 VP로 하면, 판막에 대해서 이 압력으로 피인쇄체와 밀착된다. 그러나 판막은 판 떨어짐의 장착에 의해 AB로의 복원력 VP로 들어 올려지므로,

$$VP - VP1 = \text{스퀘지 선단의 피인쇄체에 대한 압력}$$

$$VP + VP1 = \text{스퀘지 선단이 받는 압력}$$

으로 된다. VP1이 강할 경우에는 외관상 스쿠지 압을 강하게 하더라도 판막과 피인쇄체의 밀착력이 약하고 화상이 샤프하게 인쇄되지 않는다. 또 스쿠지 고무가 이 압력으로 직선성을 잃어 전방에서 구부러진다.<sup>8)</sup>

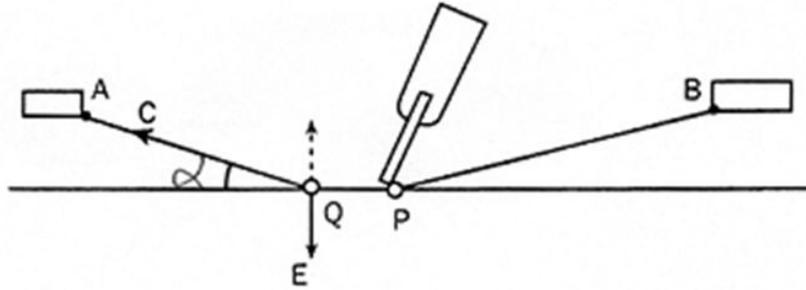


Fig. 7. A Falling force of plate and cohesiveness.

Fig. 7의 P점에서 판 떨어짐이 늦거나 정지되는 것은 판 떨어짐 점인 Q에 있어서의 판의 장력에 대해서 판과 피인쇄체 사이에서 전이중인 잉크의 응집력이 큰 경우이다. Q점에서 볼 때 QA의 방향으로 판막의 복원력이 움직이고 있다. 이를 QC로 하고, QC와 평탄한 피인쇄체와의 각도를  $\alpha$ 로 하면 Q점에 있어서의 잉크의 응집력을 이겨내어 판막을 끌어 올리는 힘은  $QC\sin\alpha$ 로 된다. 잉크의 응집력을 QE로 하면,

$QC\sin\alpha \leq QE$ 일 때 Q점은 정지.

$QC\sin\alpha > QE$ 일 때 Q점은 P점과 함께 이동하거나 또는 P점과 일치.

한다. 다색인쇄의 경우에는 전이된 잉크가 앞의 잉크피막 위에 놓이면 용제가 급속히 흡수되어 잉크농도는 상승하므로 점성이 강해진다. 요변성(搖變性, thixotropy)의 잉크는 스쿠지 통과 후 즉시 분자의 응집이 시작되고 이것이 흡착 현상과 부합되어 점착력이 증대된다. 다색의 경우, 여러 색의 인쇄 피막이 형성되어 있으면 이 피막은 새롭게 전이된 잉크가 팽윤, 용해되어 급격히 점착도가 높은 겔상(狀)으로 판막에 점착하여 무리하게 판막을 떼면 잉크 피막마다 박리가 일어나게 된다.

이와 같이 잉크 중의 용제에 의한 재용해, 피인쇄체인 중합계 플라스틱의 용제 흡수 속도가 온도에 비례해서 빠르다. 그래서 인쇄판의 판 떨어짐의 조건은 스퀴지 통과 직후에 개시되어야 한다. 판 떨어짐을 증가시키는 힘  $QC\sin\alpha$ 는 각도  $\alpha$ 의 변화에 따라서 변한다. P점이 P1, P2, ... 로 A보다 떨어짐에 따라  $\alpha_1 > \alpha_2 \dots$  로 작아져서  $QC\sin\alpha_1 > QC\sin\alpha_2 \dots$  로 판 떨어짐의 인상력도 작아진다. 따라서 A점은 P점의 이동에 따라서 커져서 A1, A2, ... 로 상승하여  $QC\sin\alpha > QE$ 를 확보, 판 떨어짐을 확실하게 하는 것이 필요하다.<sup>9)10)</sup>

## 2-2. 전이 방정식

인쇄적성을 과학적이고 공학적으로 연구하기 시작한 것은 1950년대부터이며 가장 먼저 해석하려고 했던 것은 잉크와 종이의 전이적성이다. 이 문제를 수학적으로 해석하기 위한 첫 단계는 인쇄판상의 잉크의 양에 따른 인쇄물의 잉크량을 정량적으로 측정하는 것이다. 이와 같이 인쇄판상의 잉크량과 종이 위에 전이되는 잉크량을 그래프로 나타내면 S곡선이 나타나게 되는데 이를 전이곡선이라 하고 전이율로 나타낸 결과를 전이율 곡선이라고 한다. 잉크의 전이율은 종이의 표면 구조 및 판 위의 잉크량과 점도에 따라 달라지며, 일반적으로 표면적이 큰 표면이 거친 종이일수록 전이율이 높아진다. 비도포지는 잉크가 종이 속에 침투하는 양이 많으므로 전이율이 더욱 높아지며, 신문인쇄와 같이 점도가 낮은 잉크를 사용할 때는 최대 85% 까지 이르게 된다.

잉크의 전이 거동은 기본적으로 잉크의 레오로지 특성과 전이 방식에 의존하지만, 인쇄기계 상에서 수반되는 잉크의 고속 신장이나 전단 거동으로 인하여 잉크의 전이율에 대한 점도나 동적 점탄성 등의 미시적인 관계를 이론적으로 규명하는 것은 대단히 어려운 일이다. 따라서 대부분의 잉크 전이 모델에서는 인쇄판과 피인쇄체 사이에서 발생하는 거시적인 전이 기구에 입각하여 실험 결과에서 나타나는 곡선을 정확하게 방정식으로 표현하는데 초점을 맞추어 왔다. 보통 백분율로 표시되는 잉크 전이율은 어

면 Nip안에 존재하는 잉크가 잉크를 전달하고자 하는 잉크 수용롤러로 전이되는 비율로 정의된다. 인쇄기의 궁극적인 기능은 잉크를 종지로 전이시키는 것이므로 잉크를 운반하는 롤러나 실린더에서의 잉크 전이율은 대단히 중요한 문제이다. 잉크막의 분리에 관한 이러한 특성은 인쇄기계 상에서 측정하기가 매우 곤란하다. 그러므로 이러한 연구는 거의 전적으로 인쇄적성 시험기나 교정 인쇄기에서 이루어져 왔으며, 연구의 대부분은 종이에 대한 잉크 전이에 집중되었다.<sup>11)</sup>

### 2-2-1. 전이 정수

Walker와 Fetsko<sup>12)</sup>는 인쇄판의 중량을 측정하여 처음으로 전이관계를 수식으로 만들었으며 다음과 같은 세 가지 개념을 가정하였다. 먼저, [가정1] 종지와 잉크가 접촉하였을 때 잉크량이 적으면 불완전한 접촉을 하여 잉크 공급의 증가에 따라 빠르게 접촉면이 늘어난다. [가정2] 종지의 표면에는 공극이 발달하여 있으므로 잉크와 접촉 시 압력이 가해지면 적당량의 잉크를 고정화 한다. [가정3] 고정화하고 남은 자유잉크는 일정한 비율로 나누어 분열한다.

위의 세가지 가정 하에 얻은 식을 Walker-Fetsko식이라고 하고 각각 아래와 같은 세가지 계수를 얻게 된다. 먼저,  $k$ 는 용지의 피복 면적비로 종지의 요철부에 채워지는 잉크가 얼마나 빠르게 완전피복에 도달하는가를 의미한다. 다음  $b$ 는 고정화 잉크량으로 완전 피복점에서 용지가 고정화시킨 잉크의 양이며,  $f$ 는 자유잉크 분열비로 완전 피복된 후 잉크의 분열비를 뜻한다.

잉크량을 증가시키면서 종지에 전이된 잉크량을 플로트하면 Fig. 8과 같은 곡선을 얻을 수 있다. 여기서 잉크량이 많을 때는(포화점 이후) 1차 함수로 표현할 수 있는데 식 (1)과 같다.

$$y = b + f(x - b) \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $y$ 는 종이에 전이된 잉크량,  $b$ 는 고정화 잉크량,  $f$ 는 자유잉크의 분열비,  $x$ 는 인쇄판상의 잉크량(공급량)이다.

식 (1)을 다시 쓰면 식 (2)와 같으며,

$$y = fx + b(1 - f) \dots\dots\dots (2)$$

식 (1)을 전이율로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$y/x = b/x + f(x - b)/x \dots\dots\dots (3)$$

그러나 잉크량이 작을 때는 잉크의 용지가 불완전한 접촉으로 용지의 요철을 효과적으로 채울 수 없게 된다. 따라서 접촉면적비와 실제 접촉된 영역에서 전이된 잉크량의 개념을 도입하면 잉크에 의해 접촉된 종이의 면적은 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$F = 1 - e^{-kx} \dots\dots\dots (4)$$

또한 실제 접촉된 영역에서 전이된 잉크의 양을 고려하면 식 (5)와 같다.

$$\phi b = b(1 - e^{-x/b}) \dots\dots\dots (5)$$

이 개념으로 식 (2)를 다시 정리하면 식 (6)과 같이 된다.

$$y = (1 - e^{-kx})[b(1 - e^{-x/b}) + f[x - b(1 - e^{-x/b})]] \dots\dots\dots (6)$$

식 (6)이 Walker 와 Fetsko의 전이 방정식이다. 따라서 식 (1)과 식 (3)에서 전이계수  $b$ ,  $f$ ,  $k$ 를 얻을 수 있다. 이 식은 종이와 잉크의 관계를 나타낸 것으로 종이와 잉크의 고유한 관계를 얻을 수 있다.  $k$ 값은 적은 양의 잉크범위에서 얻은 값이므로 포화점 이상의 잉크필름 영역에서는 사용할 수 없다. <sup>13)14)</sup>

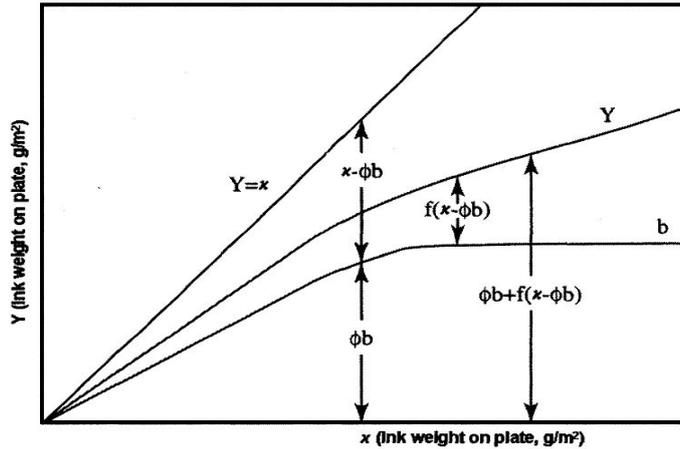


Fig. 8. Conceptual curve of ink transfer.

Fig. 8은 민자 인쇄(Solid Printing)에서 잉크의 전이 메커니즘을 고려한 것으로서, 피인쇄체와 관련되는  $k$ ,  $b$ 의 전이 정수의 연관성을 배제하고 자유 잉크량만을 고려하였다. 이와 같이 전이 정수는 인쇄 재료와 인쇄 공정상 조건들에 따른 인쇄 잉크의 전이를 나타내는 변수이므로, 인쇄 공정의 상태를 표현하는 중요한 변수로 사용된다.

잉크량이 증가하면서 종기와 얼마나 빨리 완전한 접촉에 도달되는가를 평활도 상수로서 인쇄 평활도의 측정으로 가능하며 좋은 평활도일수록 높은  $k$ 값을 보인다. 인쇄 압력이 증가하면 인쇄 평활도도 증가하고 종기에 영향을 많이 받는다. 인쇄 속도가 올라가면  $k$ 값은 다소 떨어진다.<sup>15)</sup>

$b$ 는 전이율 곡선의 최대 전이율 부분에서의 값이 되며, 종이가 인압을 받고 있는 동안 잉크를 고정화 혹은 수용할 수 있는 최대량이다. 이 값은 종이의 투기도와 평활도에 깊은 관계가 있으며 인압이 증가하면 증가하며, 속도를 감소시키면 증가한다. 또한 잉크의 점도에 큰 영향을 받는다.

$f$ 는 포화점 이후 잉크 필름 영역에서의 값을 의미한다.  $f$ 값은 고정화되고 남은 잉크의 분열비를 나타내는 것으로 지배인자가 아직 명확히 알려지지 않는 않지만 종이의 흡수 특성과 관련이 있다고 보고되어 있다.<sup>16)</sup>

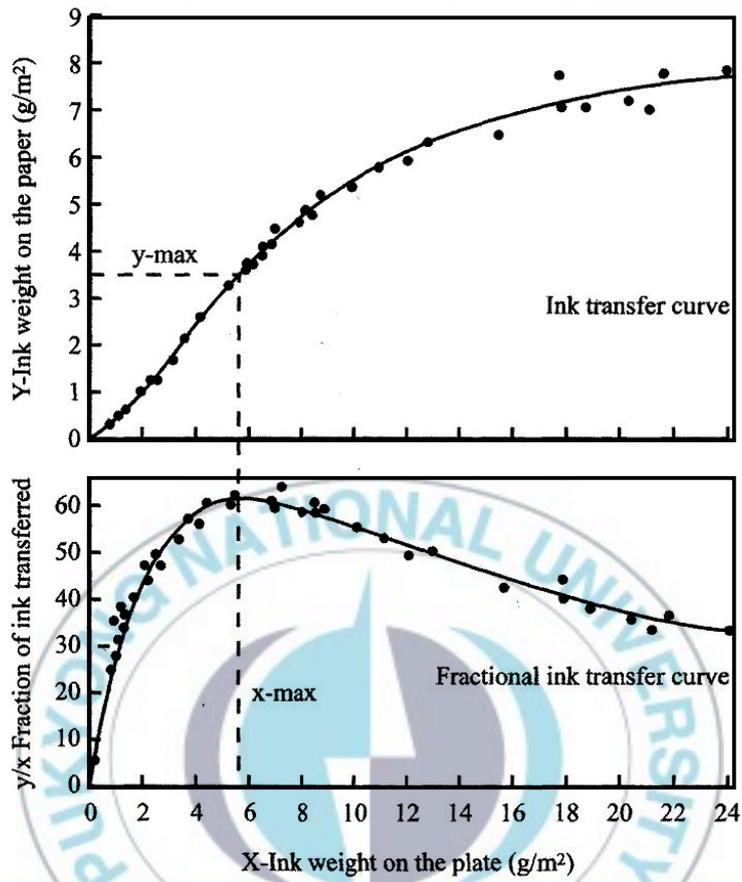


Fig. 9. Curves of typical ink transfer and fractional ink transfer.

### 3. 실험

본 논문에서는 스크린 인쇄에서 실험적인 방법과 이론적인 해석을 일치 시키는데 그 목적을 두었다. 실험 데이터 결과값을 연구하고, 실험과 동일한 조건을 시뮬레이션 하여 얻은 데이터를 비교 분석하였다.

#### 3-1. 실험 인쇄조건 <sup>17)</sup>

실험에 사용된 인쇄방식은 범프 인쇄로 향온향습이 가능한 인쇄기이다. 작업 조건은 Table 1과 같이 인쇄속도, 인쇄압력, 인쇄각도, 판들림, 스쿼지 경도 조건에 변화를 주어 인쇄하였으며 인쇄된 범프의 높이 및 산포를 평가 하였다. 이 외의 인쇄기 조건으로 공기압력 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

#### 3-2. 잉크조건

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

	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

### 3-3. 시뮬레이션

스크린 인쇄법이 최근들어 수동인쇄법에서 자동화로 바뀌게 되면서 보다 정확한 인쇄가 가능해졌다. 이에, 인쇄를 진행하기 전에 시뮬레이션을 통해 빠른 시간내에 최적조건을 찾아내 보다 정확하고 효율적으로 인쇄를 할 수 있다고 판단하였고 FLOW-3D 프로그램을 이용하게 되었다. 본 연구에서는 앞서 실험한 결과에 기반하여 시뮬레이션을 돌린 결과가 실제 실험과 동일한 결과를 보여주는지 확인해 보았다.

#### 3-3-1. 잉크 채움 시뮬레이션

스크린인쇄에서의 잉크 유동 시뮬레이션을 그려내기 위해 인쇄현상에 맞는 물리적인 특성을 각각 설정하여 Table 3과 같이 기본 시뮬레이션 틀을 만들어냈다. 또한 육면체 틀의 경계조건(boundary condition)과 각 점도조절(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

### 3-3-2. 판분리 시뮬레이션

실험시에 사용되는 점도의 잉크를 생산해내기란 쉬운일이 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 다양한 점도 조절을 해볼 수 있다. 이를

시뮬레이션 해보기 위해 Table 5와 같이 기본 조건을 두고 Table 6으로 잉크 점도에 변화를 주어 시뮬레이션을 실행시켰다.

**Table 5. Condition of Simulation**

<b>Finish Time</b>	1.5e-5
<b>Printing Pressure</b>	5 mm
<b>Off-contact</b>	5 mm
<b>Surface tension</b>	40 dyne/cm
<b>Physics</b>	Surface tension, Viscosity and turbulence, Solidification, Heat transfer, Moving and deforming object

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

<b>Ink Viscosity(Pa.s)</b>	
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. Fig. 10에서 보는바와 같이 먼저 점도를 제외한 동일한 물성을 가진 잉크에 점도 260Pa.s에서 290Pa.s으로 변경에 따른 점도에 대한 범프 높이의 유의성 검증 결과 P값이 0.000으로 점도는 범프 높이에 영향을 미치는 인자임을 알 수 있었다.

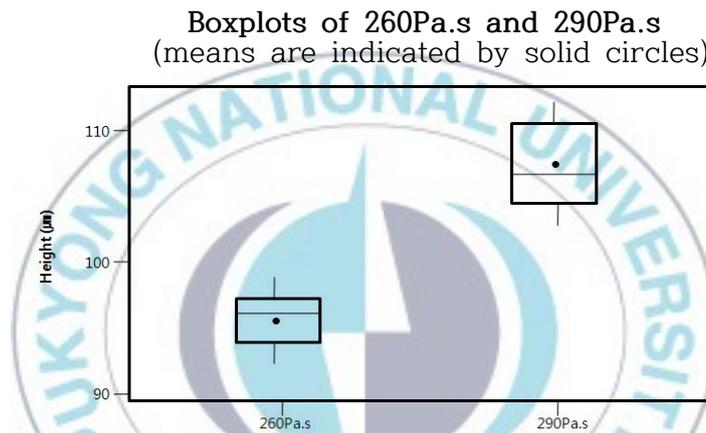


Fig. 10. Box plots of paste viscosity.

또한 금속 분말의 종류를 변경하여 범프 높이 형성의 상관관계를 알아 보았다. 원형과 무정형 크리스탈 형태의 은 분말을 변경하여 유의성 검증을 분석한 결과 P값은 소수점 셋째자리 이하에서 유효하였으며, 플레이크 (flake)에 대하여 크기를 변경한 결과 P값이 0.007로 범프 높이에 영향을 주는 인자임을 확인할 수 있었다.

### 4-2. 범프 높이

#### 4-2-1. 범프 높이 분석

A~G까지의 페이스트 종류별로 제작하여 동일 조건으로 인쇄한 후 형성된 범프 높이를 측정된 결과는 Fig. 11과 같다.

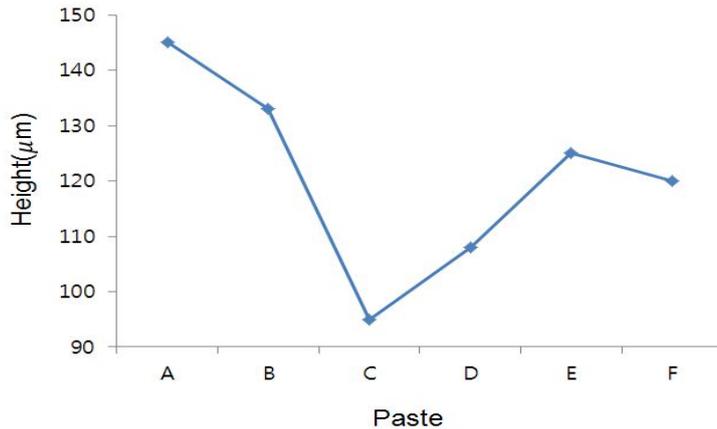


Fig. 11. Bump height of each pastes by printing.

원형 분말이 무정형 분말보다 평균  $20\mu\text{m}$  정도 높게 형성되었고, 동일한 분말을 가진 페이스트에서 점도를 변경한 경우, 저점도보다는 고점도에서 범프의 높이가 높게 형성되었다. A 페이스트가 범프의 높이 면에서 가장 높게 형성되었으나, 테일링(tailing) 현상에 의한 침상 형태의 결과를 보였다. 또한, D와 E 페이스트는 금속 분말 중에서 플레이크의 크기를 변경한 것으로 플레이크 크기가 상대적으로 큰 E 페이스트가  $17\mu\text{m}$  정도 높게 형성되었다. 하지만 E 페이스트의 경우 인쇄 수가 증가 할수록 마스크의 홀 막힘 문제가 발생하였다. 그리고 F 페이스트는 3종류 금속 분말을 적용한 것으로서 점도가  $200\text{Pa}\cdot\text{s}$ 로 비교적 낮지만 범프 높이는 2종류 금속분말의 점도  $290\text{Pa}\cdot\text{s}$ 를 적용한 D 페이스트보다 범프 높이가  $10\mu\text{m}$  정도 높게 형성됨을 알 수 있었다. 하지만 G 페이스트와 같이 3종류 금속 분말의 점도를  $520\text{Pa}\cdot\text{s}$ 까지 상향 조정하여 적용한 결과 Fig. 12와 같이 인쇄 후 인쇄 형상의 불안정 현상이 나타났으며, 마스크 홀 막힘 또한 발생하여 인쇄 진행이 불가능 하였다.

본 실험을 통해서 기존의 페이스트에 적용되는 원형, 플레이크 분말 형태의 2종류 금속 분말보다 새롭게 디자인하여 원형, 무정형, 플레이크 분말 형태의 3종류 금속 분말을 사용한 페이스트가 인쇄성이 우수한 것을 알 수 있었다. 최종적으로 가장 적합한 페이스트는 새롭게 디자인 된 은 페이스트로 점도  $367\text{Pa}\cdot\text{s}$ 의 물성을 가졌다.

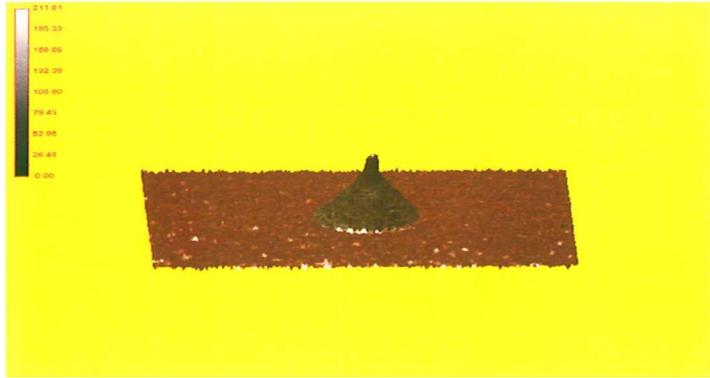


Fig. 12. Tailing problem of a paste after printing.

#### 4-2-2. 인쇄 속도 변화에 따른 범프 인쇄결과

새롭게 설계된 은 잉크를 가지고 범프 인쇄기를 이용하여 인쇄 속도 변화에 따른 인쇄된 범프의 높이, 산포를 분석하여 속도 인자의 최적 조건을 도출하였다.

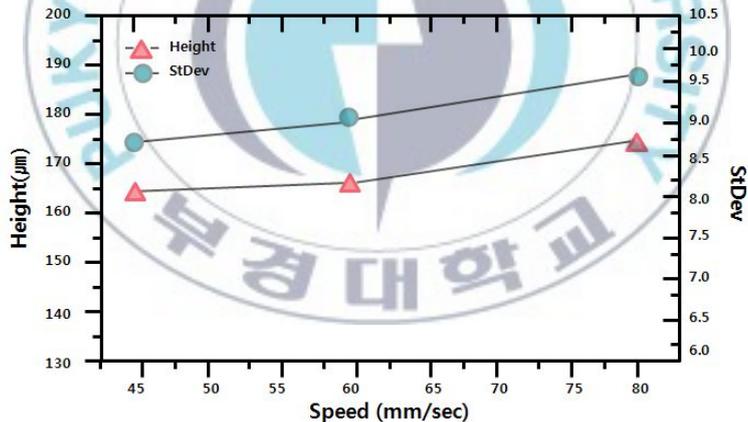


Fig. 13. Variation of bump height and distribution under various speed.

이때, 기준홀은 반복인쇄를 위하여 18μm 구리박을 사용하여 직경 0.2mm의 기준 홀을 가공하였다. 인쇄 속도에 대한 범프 높이와 산포는 Fig. 13과 같이 인쇄 속도가 빠를수록 인쇄 높이가 증가함을 알 수 있었다. 인쇄 속도가 빠를수록 잉크가 마스크 위에서 롤링성이 좋아져 내림량

이 증가한다. 하지만 인쇄 속도를 빨리 할수록 범프 높이의 산포는 커졌다. 따라서 높이 평균 170 $\mu$ m 이상에 만족하기 위하여 80mm/sec 조건을 선정하였다.

#### 4-3. 최적 인쇄 조건 선정

은잉크를 이용했을 때, 스크린 인쇄에 있어서 가장 최적의 인쇄품질을 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 인쇄 조건은 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 속도 조절을 통해 결과를 얻고 싶었지만 그에 따르는 시간과 인력, 금전 등 복합적인 문제로 인해 진행할 수 없었던 부분까지 해 볼 수 있었다. 이에, 기존에 실험속도였던

60mm/s단위부터 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 Fig. 14와 같이 250mm/s에 대해서도 프로그램을 실행시켜 보았고 최소속도 250mm/s에서부터 기포가 발생하는 시작 지점이라는 것을 확인하였다. 또한 이때, 기포가 생김으로 인해서 망목 사이로 흘러내린 잉크 전이량이 줄어들었다.

Fig. 14에서 기포가 생기는 과정과 잉크 유동 모습을 볼 수 있다면 Fig. 15에서는 메시(mesh)를 이용하여 총 잉크 전이량을 계산해 볼 수있다. 기존홀의 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  $4.88 \times 10^{-4} \text{mm}^3$ 로 줄어들었다. 또한 속도를 500mm/s까지 증가시켰을 때, Fig. 16과 같이  $6.48 \times 10^{-6} \text{mm}^3$ 로 상당량의 잉크가 전이되지 못했다는 것을 알 수 있었다.

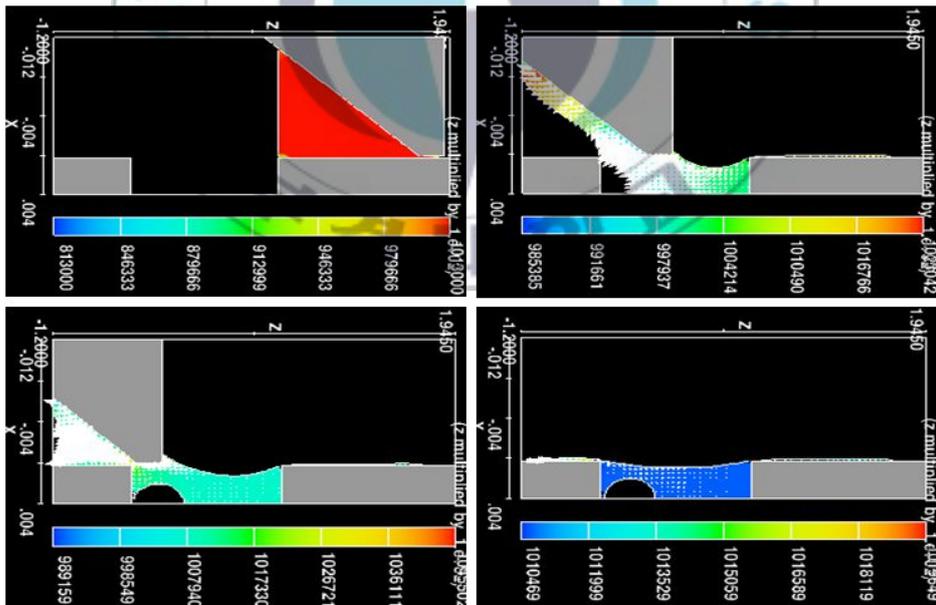


Fig. 14. Computer simulation of ink flow in the screen printing. (Printing Speed 250mm/s)

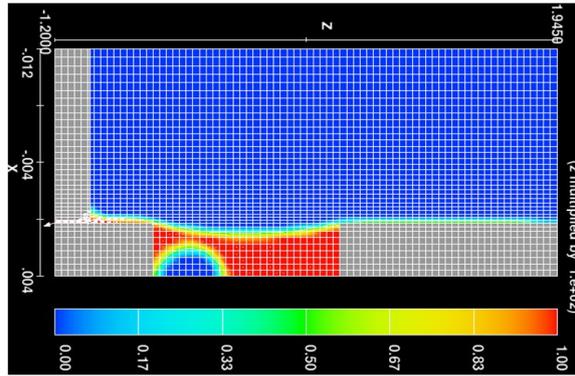


Fig. 15. Computer simulation of ink amount in the screen printing. (Printing Speed 250mm/s)

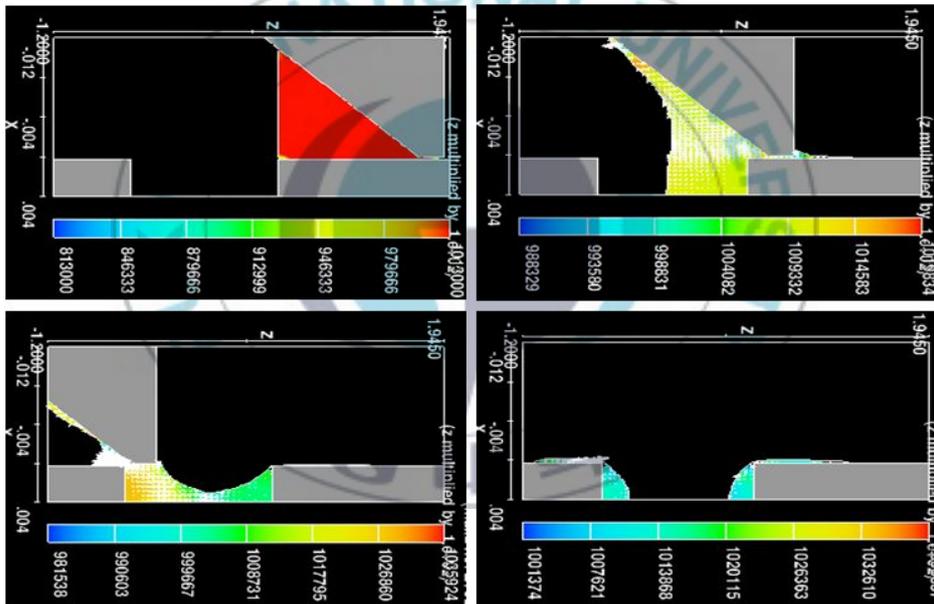


Fig. 16. Computer simulation of ink flow in the screen printing. (Printing Speed 500mm/s)

실험에서 얻어낸 최적의 조건으로 시뮬레이션을 실행해 보았더니, 앞서 확인한 바와 같이  $5.6 \times 10^{-4} \text{mm}^3$  로 Fig. 17과 같은 모습을 도출해 냈다. 실험에서와 마찬가지로 시뮬레이션에서도 잉크량이 가장 적당량 전이되어 이상적인 모습이 나오는 것을 확인할 수 있었다.

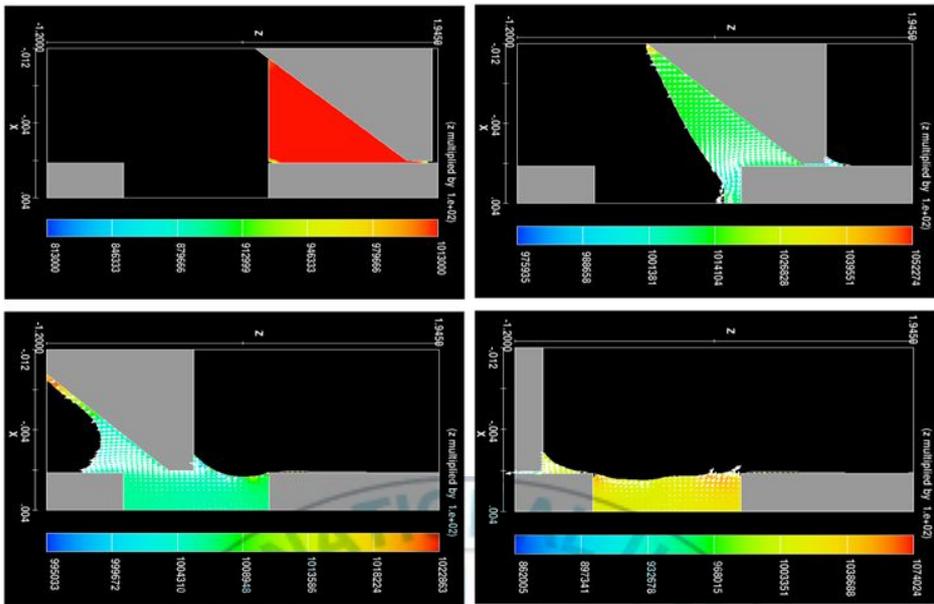


Fig. 17. Computer simulation of ink flow in the screen printing.  
(Printing Speed 80mm/s)

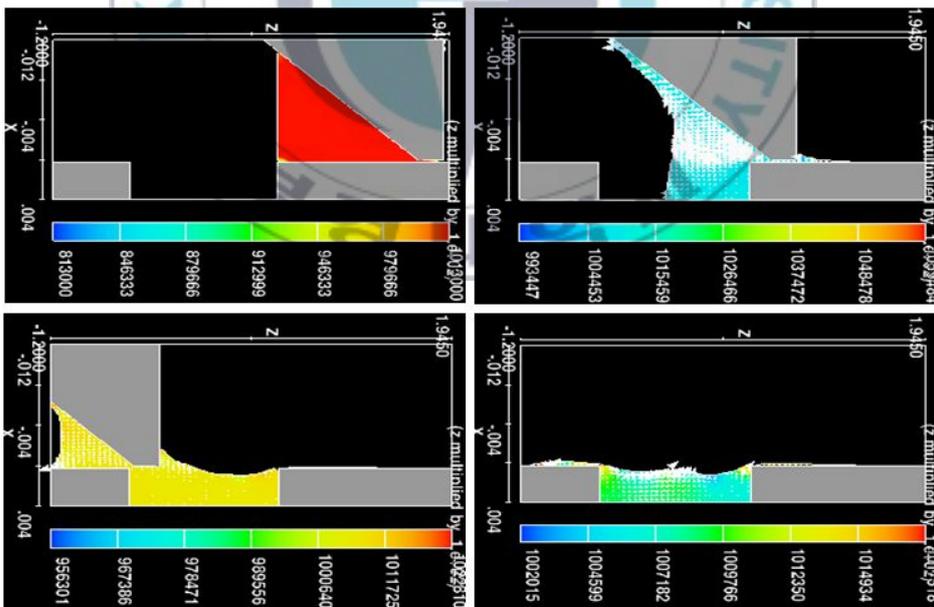


Fig. 18. Computer simulation of ink flow in the screen printing.  
(Printing Speed 100mm/s)

마지막으로 추가로 진행한 시뮬레이션 구동에서는 인쇄속도를 100mm/s로 높였을 때 결과물이다. Fig. 18과 같은 경우에는 육안으로 비교해 보았을 때, 인쇄속도 80mm/s(Fig. 17)와 비슷한 결과로 보일지 모르겠지만, 잉크전이량을 계산해 보았을 때 다소 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이로써, 실험에서 얻었던 결과값 수치와 가장 근접한 결과값을 얻어낸 시뮬레이션은 '인쇄속도를 80mm/s로 두었을 때' 라는 것을 다시금 확인할 수 있었던 결과이다.

#### 4-5. 판분리 시뮬레이션 결과

이론상으로 알고 있듯이 점성을 조절했을 때, 점도가 낮아질수록 잉크 퍼짐현상이 심해졌고, 점도가 높아질수록 잉크 전이량이 줄어들고 망목으로 붙는 잉크들이 많아짐을 확인할 수 있었다. 그래프는 위의 잉크채움 시뮬레이션과 마찬가지로 위쪽 왼쪽방향부터 시작하여 1번, 2번, 아래쪽도 마찬가지로 왼쪽부터 시작하여 3번, 4번 순서이다. 망목이 올라가는 위치를 보면 쉽게 파악할 수 있다.

먼저, Fig. 19는 36.7Pa.s 의 점성을 가지고 있는 잉크를 시뮬레이션화한 경우로 망목사이로 모든 잉크가 전이되지만 전반적으로 피인쇄체로 퍼짐 현상이 너무 심하여 잉크가 그 형상을 띄지 못하는 것을 육안으로 확인할 수 있었다. 다음으로 잉크의 점도를 260Pa.s 로 향상시킨 Fig. 20의 경우에도 마찬가지로 Fig. 19의 시뮬레이션 결과보다는 잉크의 형상을 보이고 있으나 퍼짐현상이 심할 뿐 아니라 망목사이로 남게 되는 여분의 잉크가 많아 이상적인 모습이 아니라는 것을 알 수 있었다. 여기서 점도를 260Pa.s에 맞추어 구동시킨 이유는 앞에 언급하였던 실험 결과값과 비교하기 위함이다. 이때 범프 높이는 95 $\mu$ m로 실험 결과값과 거의 유사하게 나온 것을 확인할 수 있었다.

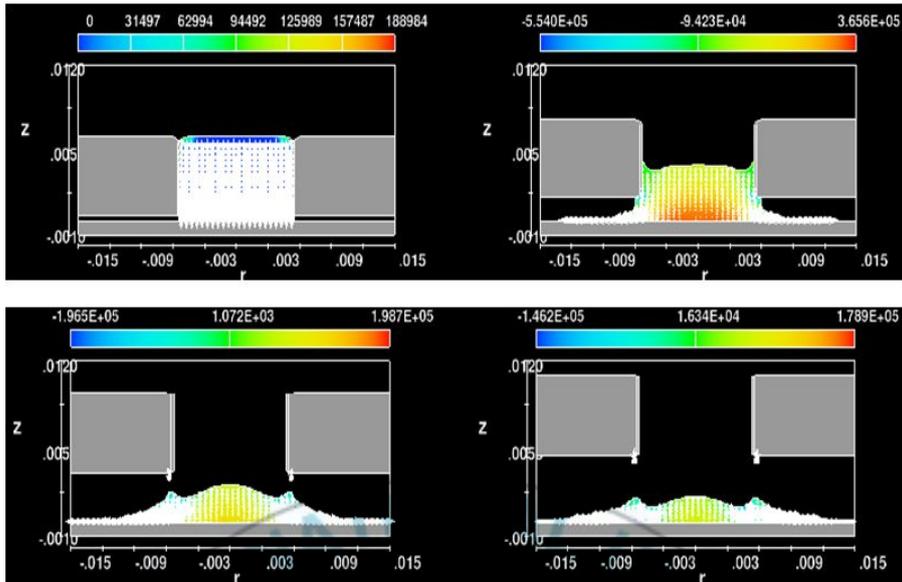


Fig. 19. Computer simulation of ink transfer in the screen printing. (Viscosity 36.7 Pa.s)

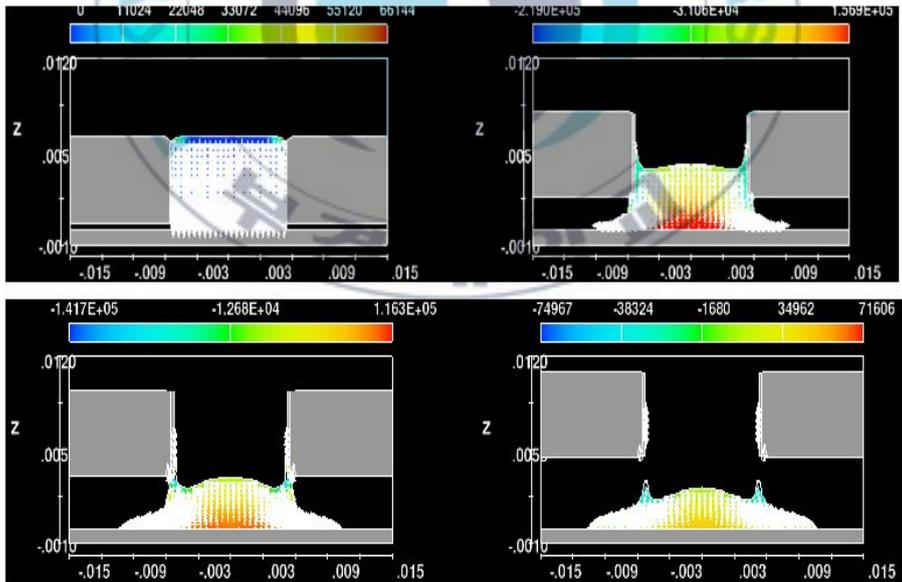


Fig. 20. Computer simulation of ink transfer in the screen printing. (Viscosity 260 Pa.s)

반대로, Fig 21에서는 520Pa.s 라는 높은 점도를 주었을 때의 시뮬레이션 결과로 이 또한 잉크가 제대로 전이되지 못하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이론으로 알고있는 바와 마찬가지로 이 시뮬레이션의 조건에서는 잉크 서로간의 점성이 강하여 상당량의 잉크가 망목에 붙어 있어 종이로 전이되지 못했다.

520Pa.s 에서의 실험결과 또한 인쇄형상의 불안정과 마스크 홀막힘 발생 등의 현상이 일어났다는 것으로 보아, 본 시뮬레이션 결과값 역시 실제 실험모습과 일치하고 있음이 확인 가능하였다.

가장 이상적인 잉크전이의 모습을 보여준 Fig. 22는 앞서 실험에 의해서도 확인할 수 있었듯이 367Pa.s의 점성을 가진 잉크가 흘러내린 모습이다. 범프 높이 또한 166 $\mu$ m 정도로 앞서 실험결과와 거의 비슷한 수치를 내고 있다. 목표 170 $\mu$ m와 약간의 수치 이상을 보이는 건 주어진 환경적 요건이 다름이 이유일 것으로 사료된다.

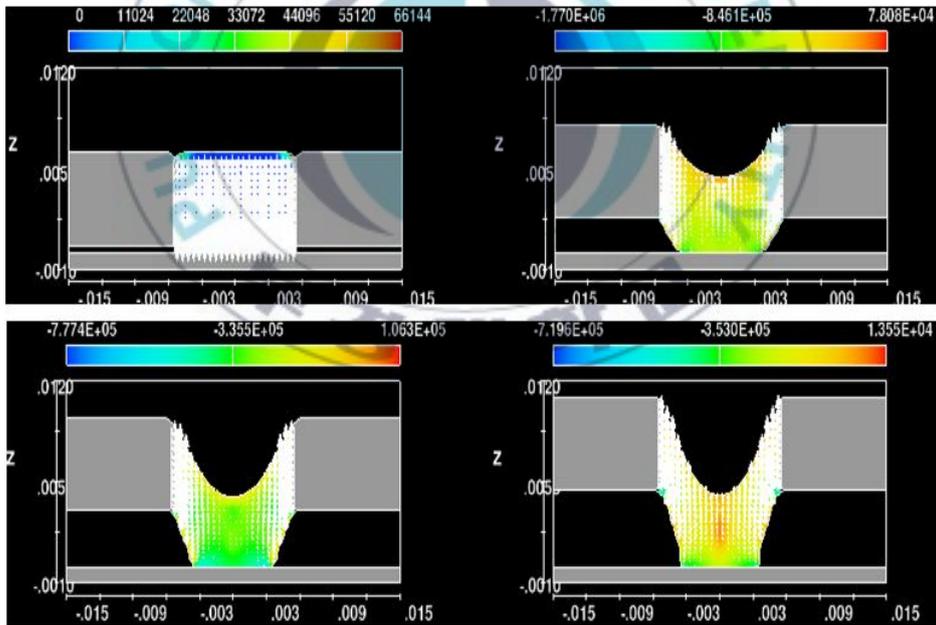


Fig. 21. Computer simulation of ink transfer in the screen printing. (Viscosity 520 Pa.s)

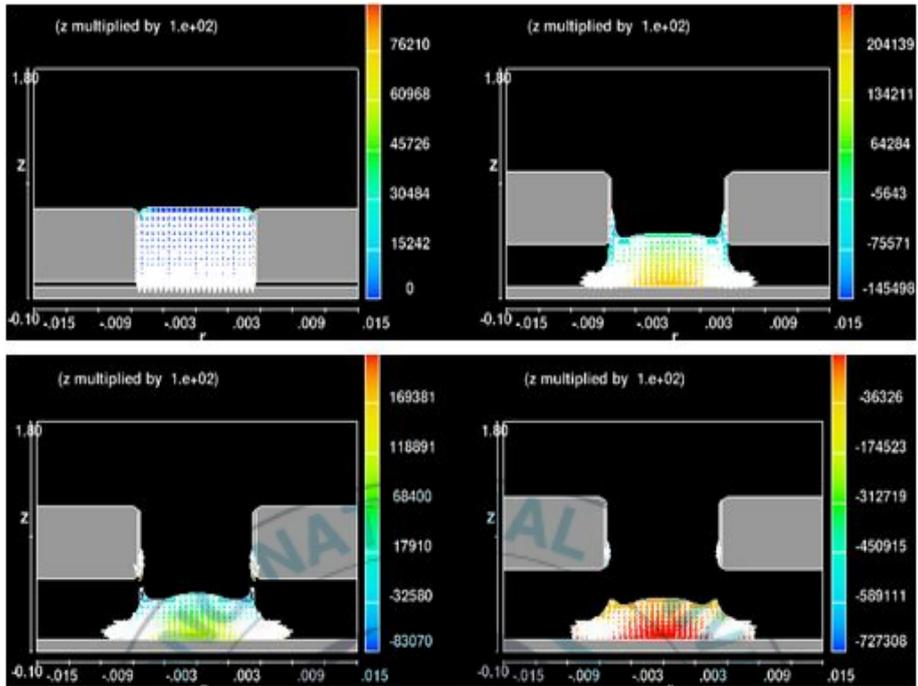


Fig. 22. Computer simulation of ink transfer in the screen printing. (Viscosity 367 Pa.s)

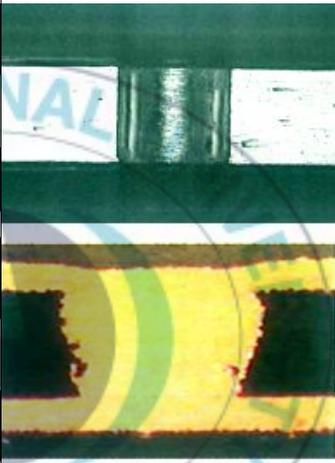
#### 4-6. 실험-시뮬레이션 결과 비교

##### 4-6-1. 잉크 채움 실험-시뮬레이션

실험과 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. Table 8과 같이 동일한 조건으로 인쇄압력 5mm, 이격거리 5mm, 표면장력 40dyne /cm로 두었을 때 잉크 전이량이 각각  $5.65 \times 10^{-4} \text{mm}^3$ ,  $5.61 \times 10^{-4} \text{mm}^3 \sim 5.68 \times 10^{-4} \text{mm}^3$ 로 얻었으며 이 때의 공통 최적조건은 인쇄속도가 80 mm/s로 동일하였다.

또한 실험과 시뮬레이션 각각 결과모습을 얻을 수 있는데, 이때 거의 유사한 결과물을 도출해 내었다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 8. Comparison of Results (1)

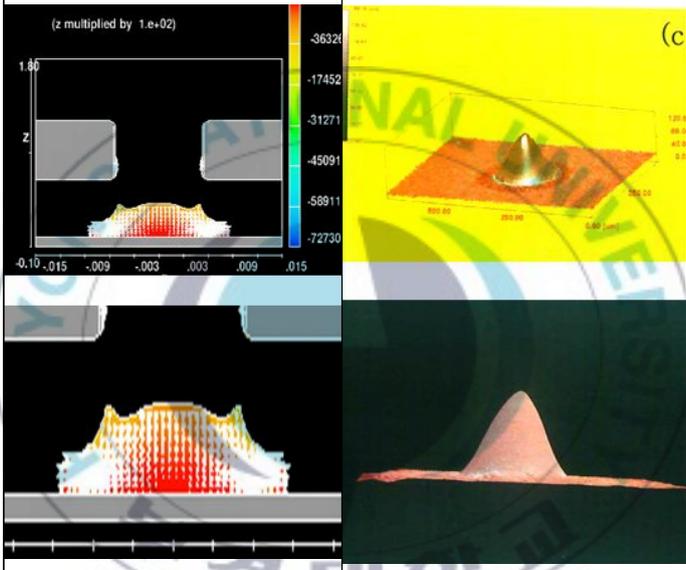
	Simulation	Experiment	Optimized conditions
Conditions	Printing Pressure : 5mm, Off-contact : 5mm, Surface tension : 40dyne/cm		Printing Speed 80mm/s
Amount of ink transfer	$5.65 \times 10^{-4} \text{mm}^3$	$5.61 \times 10^{-4}$ $\sim 5.68 \times 10^{-4} \text{mm}^3$	
Result			Printing Speed 80mm/s

#### 4-6-2. 판분리 실험-시뮬레이션

실험과 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. 동일한 조건으로 잉크 분말형태 (원형, 무정형, 플레이크 혼합), 인쇄압력 5mm, 이격거리 5mm, 표면장력 40dyne/cm로 두었을 때 범프 높이가 각각 166 $\mu\text{m}$ , 168.2 $\mu\text{m}$ ~ 172.7 $\mu\text{m}$  로 얻었으며 이때의 공통 최적조건은 잉크점도가 367Pa.s 로 동일하였다.

또한 잉크 채움 실험-시뮬레이션과 마찬가지로 본 실험과 시뮬레이션 각각 결과모습을 얻을 수 있는데, 이때 거의 유사한 결과물을 도출해 내었다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 9. Comparison of Results (2)

	Simulation	Experiment	Optimized conditions
Conditions	Ink powder(Crystal+Sphere+Flake), Printing Pressure : 5mm, Off-contact : 5mm, Surface tension : 40dyne/cm		
Bump height	166 $\mu$ m	168.2 ~ 172.7 $\mu$ m	
Result			Viscosity 367Pa.s

## 5. 결 론

본 연구는 스크린 인쇄에서 인쇄속도와 잉크점도를 달리하였을 때, 잉크 전이와 관련하여 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 실험결과와 비교분석한 것으로 다음과 같은 결론이 도출되었다.

(1) 동일한 조건을 주었을 때, 실험적인 방법의 결과와 시뮬레이션의 결과가 환경적 조건 외 약간의 변수를 고려하였을 때 실제 스크린 인쇄에서의 잉크 잔류량과 시뮬레이션 상의 결과값이 거의 일치하고 있음을 확인 할 수 있었다.

(2) 시뮬레이션을 구동시켜 봄으로써 기존에 시각적으로 확인이 어려운 스크린 인쇄 잉크의 유동모습과 흘러내림 현상을 확인할 수 있었다. 또한 시뮬레이션 상에서 인쇄속도와 점도를 변화시켜봄으로써 기포가 생기는 최적 인쇄속도 지점이 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 방법으로 시뮬레이션 프로그램을 이용하게 된다면 스크린 인쇄의 장점을 살린 스크린 인쇄법 적용범위의 확대를 기대해 볼 수 있을 것이라 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 1) H. W. Lin, C. P Chang, W. H. Hwu, M. D. Ger, The rheological behaviors of screen-printing pastes, journal of materials processing technology, pp.284-291 (2008).
- 2) J. S. 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) J. k. Park, C. Y. Kim, The Effect of the Wettability of Solid Surface on Printing Pattern in Screen Printing, Korean Chem. Eng. Res, vol.48, No.3, June, 2010, pp 397~400 (2010).
- 5) S. C. Youn, J. S. Lim and C. J. Lee, Printed electronic devices: status and prospects of high-resolution printing process technology, Polymer Science and Technology Vol. 18, No. 3, June 2007, pp 238~245 (2007)
- 6) I. J. Fox, T. C. Claypole and D. T. Gethin, An experimental investigation into ink transfer using a roller squeegee in high-speed screen printing, Proc. Instn Mech. Engrs vol. 217 Part E:J.process Mechanical Engineering, pp.307~321 (2003)
- 7) J. S. Park, A Study on the thick stencil making in the screen printing, pp.1~8 (1999)
- 8) R. B. Rief, L. E. Walkup and C. W. Warner, Electrostatic Control of Misting on High-speed Printing Process, Taga Proceedings, pp. 270~291 (1970).
- 9) M. S. Owens, C. W. Macosko and L. E. Scriven, Misting in Forward Roll Coating, 11th International Coating Science and Technology Symposium, pp. 52~53 (2002).

- 10) J. T. Youn, Introduction to Printing Science, Pukyong National University, Chapter 2, pp. 14~28 (2010).
- 11) Y. R. Kang, G. Y. Jung, The Screen Printing using Double Layer Screen Plate, pp. 58~60 (2010).
- 12) P. J. Mangin, M. B. Lyne, D. H. Pageand, J. H. DeGrace, Advances in Printing Science and Technology, Vol. 16, pp. 180~205 (2001).
- 13) M. I. Kolte and P. Szabo, Capillary Thinning of Polymeric Filaments, The Society of Rheology Inc. pp. 609~625 (1999).
- 14) I. Ichikawa, Science in Paper, Ink and Printing, Insatsukyoku Choyokai, p.150 (1970).
- 15) M. S. Owens, C. W. Macosko and L. E. Scriven, Misting in Forward Roll Coating, 11th International Coating Science and Technology Symposium, pp. 52~55 (2002).
- 16) R. B. Rief, L. E. Walkup and C. W. Warner, Electrostatic Control of Misting on High-speed Printing Process, Taga Proceedings, pp. 279~291 (1970).
- 17) J. S. Mok, A Study on Via Interconnection with Conductive Paste using Screen Printing for PCB Manufacture, pp.31~40 (2010).

## 감사의 글

끝나지 않을 것 같던 석사 학위 논문의 마지막 장을 적고 있는 지금, 남들보다 유독 길었던 학위과정 기간 중 어려운 날도 있었지만 즐거운 기억이 그보다 훨씬 많은 것 같습니다. 논문을 작성하는 동안에 많은 도움을 주신 분들께 일일이 찾아뵙고 인사를 전하지 못한 점 죄송스럽게 생각하며 글로써 감사의 마음을 표합니다.

먼저, 연구하는데 있어 새로운 정보와 지식으로 더욱 넓은 사고를 가질 수 있도록 지도해주시며 함께 고생해주신 윤종태 교수님께 깊이 감사드립니다. 그리고 바쁘신 가운데 논문 심사를 위해 시간을 내어주시고 세심한 지도 및 심사를 해주신 구철희 교수님과 백용국 박사님께도 감사드립니다. 또한 여러 기회를 통해서 많은 가르침과 조언을 해주신 이만교 박사님과 권영준 이사님께도 깊이 감사드립니다.

지금은 조교 선생님이지만 저와 학교 생활을 가장 오래도록 하고 언제나 많은 도움을 주는 우리 엔돌핀 지은이, 사업단 식구 이뿐이들 -은지, 경보, 세인, 문령이-에게도 감사의 말 전하고 싶습니다. 항상 함께할 순 없었지만 인쇄적성실에서 도움을 준 동기 언석이, 후배 윤택이, 민수, 민호에게도 감사의 인사를 하고 싶습니다. 제 학위논문 일정을 함께 걱정해주시고 늘 배려해주셨던 김기원 교수님, 김경미 선생님, 김시내 선생님, 항상 관심 가져 주시고 신경 써주셔서 감사합니다. 그리고 언제나 내편인 소중한 최진사댁 자매 나라와 꼬숙이, 귀염이 코코, 여행동지 랑이, 또리, 남주, 많이 부족한 저와 함께 근 1년간 프로젝트를 진행했던 현정, 윤경, 고등학생 지현, 은지, 선아, 수현이에게도 고맙다는 말을 전합니다.

마지막으로 언제나 저에게 가장 든든한 버팀목이자 친구같은, 세상에서 제일제일 존경하고 사랑하는 우리 부모님, 군생활 하느라 수고가 많은데도 철없는 누나를 항상 먼저 생각해주는 우리 웅이, 앞으로 이 모든 사랑 잊지 않고 한걸음 더 나아가기 위해 열심히 살아가겠습니다. 감사합니다.

2012년 1월

최 송 아