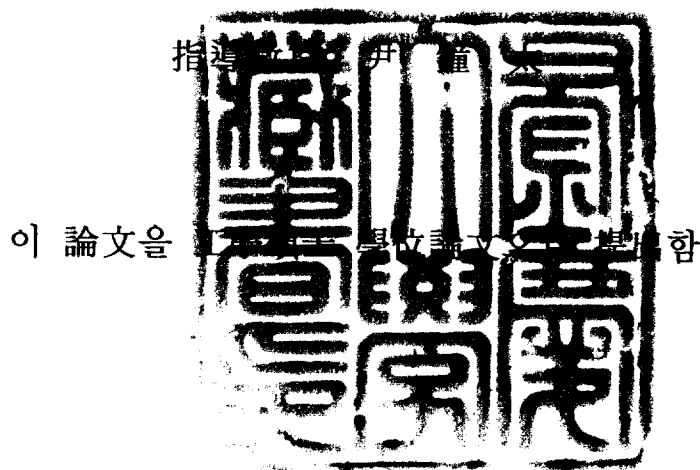


74
350
20
12

工學碩士 學位論文

그라비어 인쇄에서 속도와 압력변화에 따른 시뮬레이션에 관한 연구



2006 年 2月

釜慶大學校 産業大學院

印刷工學科

朴 聲 濬

朴聲濬의 工學碩士 學位論文을 認准함

2005 年 12 月 9 日

主 審 工學博士 具 哲 會



委 員 工學博士 南 壽 龍



委 員 工學博士 尹 鐘 太



목 차

목 차	i
List of figures	iii
List of tables	iv
Abstract	v
1. 서 론	1
2. 이 론	3
2-1. 그라비아 인쇄	3
2-1-1. 그라비아 인쇄	3
2-1-2. 잉크 전이에 영향을 주는 요소	4
2-1-3. 그라비아 제판법의 종류	6
2-1-4. 실험적 방법	8
2-2. 시뮬레이션	10
2-2-1. 시뮬레이션의 구성	10
2-2-2. 전산유체역학	12
3. 시뮬레이션	15
4. 결과 및 고찰	20
4-1. 시뮬레이션 결과	20

4-2. 셀에서 빠져나오는 잉크의 양을 고려한 결과	32
4-3. 셀에서 빠져나오는 잉크 전이의 효율을 고려한 결과	33
4-4. Kunz의 실험결과와 비교	34
5. 결론	39
참고문헌	41

List of figures

Fig. 1. Description of the gravure process.	4
Fig. 2. Comparison of different cells(cross section).	8
Fig. 3. Rest of ink after printing at the same printing density.	9
Fig. 4. The procedure of simulation by polyflow.	11
Fig. 5. Description of cohesion ink and substrate.	16
Fig. 6. Boundary condition of gravure cell-model A.	16
Fig. 7. Boundary condition of gravure cell-model B.	17
Fig. 8. Result of simulation of model A.R.	21
Fig. 9. Result of simulation of model A.S.	22
Fig. 10. Result of simulation of model A.P.	23
Fig. 11. Result of simulation of model A.Q.	24
Fig. 12. Result of simulation of model B.R.	26
Fig. 13. Result of simulation of model B.S.	27
Fig. 14. Result of simulation of model B.P.	28
Fig. 15. Result of simulation of model B.Q.	29
Fig. 16. Drainage of ink filament(y-symmetric view).	30
Fig. 17. Velocity profile on the ink flow.	31
Fig. 18. Ink transfer curve on the plate(reference 20).	33
Fig. 19. Rest percentage of liquid after transfer	35
Fig. 20. Result of simulation by difference ratio of length on opening and depth(opening : depth=4 : 1).	37

List of tables

Table 1. Classification of gravure plate making.	7
Table 2. Condition of simulation.	18
Table 3. Model name result of simulation.	20
Table 4. Amount of transferring ink according to cell types.	32
Table 5. Rest percentage of ink after transfer.	34
Table 6. Rest percentage of liquid after transfer(Kunz, W).	35

A study on the computer simulation in the changing velocity and pressure in gravure printing.

Sung-Jun Park

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

Abstract

Gravure printing is the most useful printing process than any other engraving printing method. According to the cell which is variable size and depth, ink is transferred substrates. So, the amount of ink from cells has a great effect on the qualities of final printed products.

The variables effect on the printability of final products are proportion of the width and length, the rheological properties, roll speed etc.

However the mechanism of gravure is difficult to study scientifically because of high speed and excessively small size of the cell.

To approach the mechanism we experimented the real test by using gravure printability. The condition of variables of IGT is pressure and velocity. By using Polyflow 3.10.0 simulation software, we built up the theoretical model under the constant variables. Then, we compared the real test with the simulation results.

Therefore, it is studied the mechanism of gravure scientifically and it can be analysed the effect of the variable conditions.

1. 서 론

그라비아 인쇄는 오목판 인쇄 중 가장 이용도가 높은 인쇄 방식이다. 그라비아 인쇄의 종류에는 잡지, 주간지 등의 출판 인쇄 분야와 연속무늬가 사용되는 건재용, 장식용 종이(deculation paper), 나염지, 패키지 등의 인쇄 분야에서 그라비아가 각광을 받고 있다. 현재 우표나 담배갑 인쇄 등에도 오프셋인쇄의 비중이 줄어들고 그라비아 인쇄의 비중이 크게 늘어나고 있는 추세이다.

타 잉크와는 달리 그라비아 잉크는 저점도의 용제형이기 때문에 피인쇄체의 종류에 따라 다양한 비이클 및 용제의 선정이 자유롭다. 따라서 인쇄 후 접착제를 사용하여 여러 가지 물성의 필름을 합지 시킬 수 있어 식품 포장 및 공업용 재료 등에 광범위하게 적용되고 있다.¹⁾

그라비아 인쇄의 방식은 망점의 크기와 깊이가 각각 다른 특정 셀(cell)안에 잉크를 넣어 피인쇄체로 전이하는 방식으로 잉크의 두께에 따라 농담이 표현된다. 따라서 다른 인쇄 방식보다 연색 범위가 넓어서 보다 중후하고 미려한 인쇄가 가능하여 예술적 품격을 가진 고급 인쇄물에 적합하다.

그라비아 인쇄는 그라비아 실린더의 제판 과정이 복잡하고 제판 비용이 고가이며 화선부의 수정이 거의 불가능하다. 실제로 현재 인쇄에서는 판의 성질상 교정판을 만들어 시험 인쇄하지 못하고, 부족하지만 필름을 교정하는 것으로 시험 인쇄를 대체하고 있는 실정이다. 특히 하이라이트(highlight)부분에서 잉크 빠짐이 가장 큰 문제점²⁾ 등이 여전히 존재하므로 잉크 전이 메커니즘을 고려한 제판 기술의 개발이 시급한 실정이다.

그라비아 인쇄의 메커니즘에서 가장 기본은 셀 안의 잉크 유동이다.³⁾ 이것을 과학적으로 규명하기 위해서는 각 셀의 깊이나 높이에 따른 유동의 차이점과 셀에 들어가는 양과 빠져나오는 양 사이의 관계를 규명해야 한다.

하지만 그라비아 셀이 매우 작고, 저점도이기 때문에 인쇄 속도가 가해지면 빠른 시간 내에 전이가 될 뿐 아니라 셀의 깊이와 가로 세로의 비, 모양과 도cter 블레이드(doctor blade), 잉크의 레오로지 물성 등 많은 변수들이 복합적으로 작용하므로 그 실험적인 연구 방법이 어려운 실정이다.

W. Kunz의 경우 직접 그라비아 실린더를 제판하여 동일한 망점에서 셀의 모양에 따라 가장 효율적인 셀을 찾는 연구를 하였다.⁴⁾ 또한 J. M. BRethor와 H.

Benkreir는 컴퓨터 시뮬레이션 시스템을 이용하여 그라비어 셀 안의 잉크의 채워짐과(filling)를 빠짐(emptying)을 동역학적인 유체의 유동으로 해석⁵⁾⁶⁾하였다.

따라서 본 연구에서는 W. Kunz의 실험적인 방법과 J. M. BReThor와 H. Benkreir의 이론적인 연구 방법을 함께 수행하여 세운 가설이 일치하는 것을 알아보는 것에 그 목표로 두었다.

인쇄용지로 전이되는 잉크의 전이율과 상관관계가 있는 조건은 인쇄속도, 인쇄압력, 점도, 인쇄층, 잉크량 등이 있는데⁷⁾ 본 연구에서는 인쇄속도와 인쇄압력의 변화에 따른 잉크 전이량을 중점으로 연구하였다.

IGT 인쇄적성시험기 중 평면 피인쇄체의 그라비어 인쇄가 가능한 G1-5을 선택하여 각각 sample들의 농도 값을 측정하였다. 이 때 기본적인 변수값들은 속도와 압력, 셀의 깊이를 기준으로 두었고, 이 sample들과 동일한 조건으로 컴퓨터 시뮬레이션 시스템을 사용하여 이론적으로 해석하였다.

인쇄적성 시뮬레이션은 점탄성 모델의 계산이 가능한 Polyflow(3. 10. 0)을 선택하여 속도, 압력, 셀의 깊이에 따른 해석과 IGT 인쇄적성시험기의 실험 방법을 비교하고자 하였다.

2. 이 론

2-1. 그라비아 인쇄

2-1-1. 그라비아 제판법

그라비아 제판의 분류는 제판방법과 그에 따른 망점 형태에 따라 다음과 같이 분류된다.⁸⁾

① 컨벤셔널(conventional) 법

연속계조의 포지티브 필름에 백선 스크린과 카본티슈를 사용하여 다중노광 및 다중부식으로 필름의 농도에 따라 망점의 크기는 일정하지만 깊이가 다른 망점을 형성시키는 방법이다. 계조재현성은 뛰어나지만 공정이 복잡하고 티슈의 신축 등으로 인한 제판 안정성이 떨어지는 단점이 있다.

② 다이렉트(direct) 그라비아

망점 그라비아라고도 하는 데 카본티슈를 사용하지 않고 실린더에 직접 감광액을 도포한 후 망 포지티브 필름을 밀착시켜 노광시켜서 한 번의 부식으로 망점의 크기는 다르나 깊이가 동일한 망점을 형성시키는 방법이다. 제판작업의 효율성은 좋으나 하이라이트 전이가 좋지 않아 거친 종이 등의 표면인쇄에 불리하다.

③ 전자조각(electronic)법

연속계조 혹은 오프셋 망 포지티브를 스캐닝하여 필름의 농도를 전기적 신호로 바꾸고 이신호의 강약에 따라 다이아몬드 침으로 실린더를 물리적으로 조각하는 방법이다. 계조 재현성과 내쇄력이 뛰어나나 생산효율이 낮다.

④ 레이저(lazer) 조각법⁹⁾

전자조각법의 일종으로 다이아몬드 침이 아닌 레이저를 이용하여 실린더 표면을 용착 조각하는 방법이다. 계조재현성은 물론 생산성이 뛰어나고 풍부한 셀

의 볼륨을 유지할 수 있으며 스크린 선수의 변경도 자유롭다.

2.1.2. 그라비어 잉크

그라비어 인쇄는 오목한 화선부로 형성되어 있는 그라비어 판통을 잉크 팬에 적셔서 판면에 묻어 있는 여분의 잉크를 독터 블레이드로 긁어내고, 그 결과 오목한 화선부에만 남아 있는 잉크를 강한 인압으로 플라스틱 등에 전이시키는 인쇄방식이다.

그라비어 잉크는 인쇄된 후 건조와 동시에 충분히 접착되어야 한다. 그러기 위해서 건조속도가 빠르고 점도가 낮아야 하며, 피인쇄체인 무극성 폴리올레핀 필름 등에는 잉크의 접착성을 향상시키기 위해 인쇄면에 코로나 방전처리 등을 해 두어야 한다.¹⁰⁾¹¹⁾

일반적으로 그라비어 잉크는 천연 또는 합성수지를 용제에 용해한 비이클에 안료 또는 염료를 분산 또는 용해한 것으로 용제는 Table 1과 같은 것들이 사용되고 잉크피막의 물성을 조정하기 위해 가소제, 왁스 등의 조제를 첨가하기도 한다.

Table 1. Solvent of Gravure Ink

Quality Solvent	M.W.	B.P. (℃)	F.P. (℃)	Surface tension (25℃) (dyne/cm)	Solubility parameter
Toluene	92.1	110.6	4.4	27.9	8.91
Ethylacetate	88.1	76.7	-7.2	23.8	9.10
MEK	72.1	79.6	4.0	24.0	9.27
IPA	60.1	82.3	11.7	21.7	11.50
Propanol	60.1	97.1	15.0	23.8	11.97
Ethanol	46.7	78.3	16.0	22.1	12.92
Water	18.0	100.0	-	71.8	23.50

2-2. 시뮬레이션

시뮬레이션은 복잡한 문제를 해석하기 위해 모델에 의한 실험을 통해 그 특성을 파악하는 것을 말한다. 많은 시뮬레이션 소프트웨어가 있지만 그 중 polyflow는 점성 및 점탄성이 주요한 영향을 미치는 복잡한 재료 가공의 시뮬레이션에 선두적인 소프트웨어라고 할 수 있다. 다음 Fig. 1에 polyflow의 작업 순서를 나타내었다.

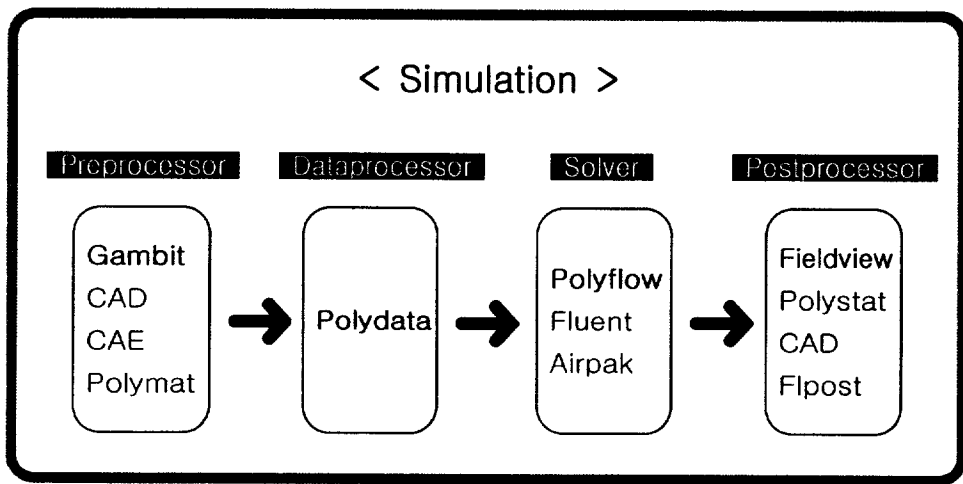


Fig. 1. Description of polyflow software.

2-2-1. Gambit

Gambit은 전산유체역학(computational fluid dynamics, CFD)방법의 프리프로세서(preprocessor) 중 하나로 CAD의 기능과 Mesh의 기능이 합쳐 기본적인 도형이나 입체 등의 기하학적인 형상을 그릴 수 있다. 따라서 해석하고자 하는 도평 및 입체 등을 자르는 과정(mesh)을 주며 선과 선이 만나는 노드(node)에서 해석이 가능하게 한다.

2-2-2. Polydata

Polydata는 경계 조건(boundary condition, BC) 및 물성, 수치해석 조건 등을 부여하는 데이터프로세서(dataprocessor)이다.

2-2-3. Polyflow

Polyflow는 비선형 점성 현상 및 점탄성 효과가 지배적인 유동을 해석하도록 설계된 범용 유한 요소 프로그램(finite element program, FEM))이다.¹²⁾ 이는 고분자 및 고무 가공, 음식물 유변학, 유리 등 non-Newtonian 유체와 관련된 응용분야에 널리 사용된다.

Polyflow의 이론적인 기반은 continuum mechanics 및 유체의 유변학적 거동을 묘사할 수 있는 phenomenological 또는 kinetic한 이론적 모델에 의해서 만들어진다. 이는 Newtonian 유체뿐만 아니라 탄성이 없는 non-Newtonian 유체 및 탄성이 있는 non-Newtonian 유체 모두에 있어서의 여러 가지 constitutive model을 제공한다.

2-2-4. Field view

Field view는 전산유체역학 전용의 유동가시화(flow visualization) 툴로 복잡한 3차원 유동 데이터를 가지고 쉽고 빠르게 결과들을 끌어낼 수 있도록 해주며 전체적인 유동의 구조를 이해할 수 있도록 하기 위한 동영상 처리가 매우 뛰어나다.

2-3. 인쇄적성

2-3-1. 인쇄적성

인쇄적성(printability)이란 인쇄물의 품질을 높이기 위해 인쇄재료(종이, 잉크 등)와 인쇄기계 또는 인쇄 공정과 작업 관리 및 환경이 인쇄물에 미치는 영향

이나 좋은 인쇄물이란 무엇이고 또 좋은 인쇄물을 생산하기 위해서는 어떻게 해야 하는지를 연구하는 학문이다.¹³⁾

각 인쇄 재료의 측면에서 볼 때는 종이의 인쇄 적성, 잉크의 인쇄 적성, 습수의 인쇄 적성 또는 인쇄판 및 플라스틱 필름의 인쇄 적성 등 인쇄 재료 별로 구분하기도 하고, 인쇄 기계를 운전하는 인쇄 공장에서는 인쇄기상 적성, 작업 적성, 인쇄물의 여러 가지 문제점과 품질 등을 포괄하여 언급하는 경우도 있다.

인쇄적성은 Fig. 2와 같이 인쇄적성, 작업적성, 기상적성, 운전적성 등으로 이루어지고, 인쇄적성이라는 말은 관점에 따라 내려지는 정의도 많고 아주 포괄적이기 때문에 어떻게 보면 매우 어렵고 복잡한 분야이다. 하지만 인쇄 적성을 통해서 더욱 경제적이고 고품질의 결과물을 얻을 수 있으므로 인쇄 적성분야는 더 많은 관심과 연구가 필요한 학문이다.

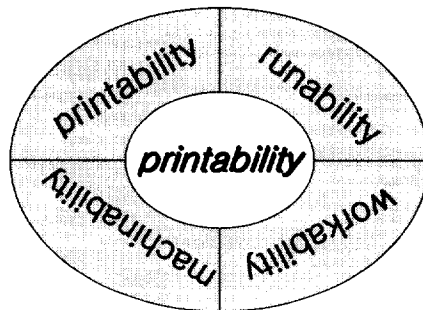


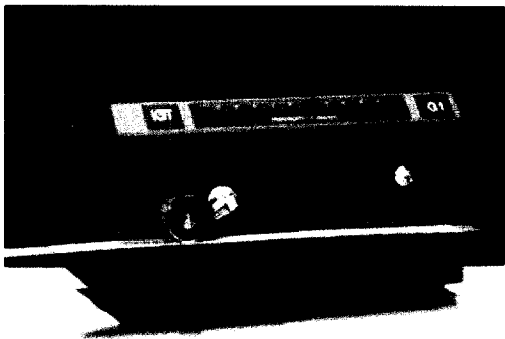
Fig. 2. The requisites for printability.

2-3-2. 인쇄적성시험기

네덜란드의 IGT(Stiching Instiut Voor Grafixdhe Techniek)에서 고안한 장치로 현대적 설계가 되어 있고 사용하기 쉬우며 이동이 편한 것이 특징이다. 청소가 빠르고 용이하게 되어 있으며 다양한 시편과 그라비아 잉크에 사용할 수 있는 장점이 있다. Fig. 3에 그라비아 인쇄적성시험기를 나타내었다.

그라비아 인쇄적성시험기는 인쇄 압력을 19단계(100~1000 N)로 조절이 가능하고 인쇄 속도는 5단계(0.2~1.0 m/s)로 조절할 수 있다. 또한 35mm 폭과 50mm

폭을 인쇄할 수 있는 것이 있다. 이 시험기는 60° 독터 블레이드를 이용하여 잉크를 도포하는 조각된 인쇄판과 압통으로 이루어져 있으며 인쇄판의 교체가 가능하다.



(a) IGT Printability tester



(b) Scale

Fig. 3. IGT Printability tester

3. 실험

그라비아 인쇄의 메커니즘 해석에서 실험적인 방법과 이론적인 해석을 일치 시키는데 그 목적을 두었다. 실험적인 방법을 위해 사용한 것은 인쇄적성 모사 시스템 중 인쇄적성시험기(IGT)이고, 이론적인 해석을 위해 사용한 프로그램은 시뮬레이션(Polyflow)이다.

그라비아 인쇄적성시험기로 얻은 sample의 농도를 측정하고, 같은 조건의 셀을 시뮬레이션하여 얻은 데이터를 비교 분석하였다.

3-1. 인쇄적성시험기

실험에 사용한 그라비아 인쇄적성시험기는 IGT 인쇄적성시험기 (model G1-5, 네덜란드)이다. 이것은 상부 롤러만 존재하며 피인쇄체가 평면적으로 인쇄되는 원압식 인쇄 방식의 형태로 제판방식은 컨벤셔널 제판법으로 셀의 가로와 세로의 길이는 같고 셀의 깊이에 따라 농담을 표현한다.

IGT 인쇄적성시험기 G1-5의 독터 블레이드는 60°로 고정되어 있고 인쇄 속도와 압력은 Table 2와 같이 0.1 m/s부터 1.0 m/s까지 5단계로 실험하였으며 인쇄 압력은 100 N부터 900 N까지 5단계를 변화시켰다.

인쇄 속도 S1 조건에서 인쇄압력 5단계(P1~P5) 조건으로 각각 실험하고, 인쇄 속도 S2~S5 조건에서도 동일한 방법으로 실험하여 총 25개의 조건변화를 주었고, 각 조건별의 오차를 줄이기 위해 세 번씩 인쇄한 sample 1, sample 2, sample 3의 평균값을 사용하였다.

인쇄용지는 100 g/m² 아트지를 사용하였고, 그라비아 잉크는 점도가 2 poise인 magenta 잉크를 사용하였다. 인쇄실은 온도 27.5℃, 습도 45%로 환경을 유지하였다.

제작된 각각의 sample을 반사농도계(X-Rite 418, 미국)를 이용하여 인쇄물 농도를 측정하였다.

Table 2. Condition of IGT Printability Tester

Speed (m/s)		Pressure (N)	
S 1	0.2	P 1	100
S 2	0.4	P 2	300
S 3	0.6	P 3	500
S 4	0.8	P 4	700
S 5	1.0	P 5	900

3-2. 시뮬레이션

Fig. 4는 실제로 실린더에 조각된 셀 형태의 개략도로서 그라비어 셀의 가로 세로의 길이가 동일한 육면체의 형태로 조각되어 있다. 따라서 셀의 깊이나 크기 변수에 따라 농담의 표현 방법이 달라지는데, 앞서 사용한 그라비어 인쇄적 성시험기가 셀의 깊이에 따라 농담을 나타내는 컨벤셔널 제판시스템이므로 시뮬레이션의 조건 또한 셀의 깊이로 두었다.

따라서 실제 조각된 모양의 가로와 세로의 비가 동일하므로 단면을 도메인으로 설정하여 2-D(dimension)를 선택하였다.¹⁴⁾ 2-D는 CPU 시간을 줄이고 간략화 하여 계산을 할 수 있다. 또한 셀의 크기가 실린더의 크기에 비해 아주 작기 때문에 곡면 반경을 무시하였고 잉크가 종이에 완전히 부착되었다고 가정하고 수직으로 상승하는 모델을 채택하였다.

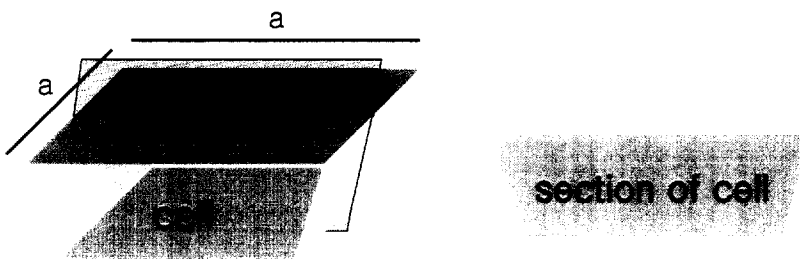


Fig. 4. Description of real gravure cell.

잉크는 viscoelastic 유체라고 볼 수 있으며 주어진 stress에서 주어진 시간 간격으로 응답을 받도록 하였고, stress와 변형은 시간의 함수로 기록되고 단위 strain rate는 1초 동안 적용된다.

Fig. 5는 하나의 도메인으로 만들어진 셀의 모양을 나타낸 것이다.

기본적인 경계선(boundary condition : BC)조건은 BC 1은 셀의 벽면이고, BC 2는 종이, 그리고 BC 3과 BC 4는 자유계면(free surface)이다.

Free surface는 잉크의 표면장력과 점탄성에 의해 자유롭게 만들어지는 표면으로 이것은 위에서 잡아당기는 힘에 의해 휘어지며 늘어나게 될 것이고 이 때 가장 가는 부분에서 잉크가 끊어져 분리된다. 분리된 잉크가 종이로 전달되어 인쇄가 이루어진다고 본다.

전체 모델은 IGT G1-5의 실린더의 conventional 제판법에 따라 기본 셀의 크기를 가로 $120\ \mu\text{m}$ (미크론), 세로 $120\ \mu\text{m}$, 깊이 약 $10\sim 30\ \mu\text{m}$ 으로 설정하였다.

격자(mesh)는 tri 형태로서 총 계산된 element 수는 3,846개이다.

속도변화에 따른 시뮬레이션 조건은 Table 3와 같이 BC 2에 속도 값을 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 %로 주었고, 압력변화에 따른 시뮬레이션 조건은 Table 4와 같이 BC 3, 4의 크기를 1a, 2a, 3a, 4a, 5a로 주었다. 그리고 셀의 깊이 변화에 따른 시뮬레이션 조건은 Table 5와 같이 도메인의 BC 1에 해당하는 셀의 크기 중 깊이를 $11\ \mu\text{m}$, $17\ \mu\text{m}$, $24\ \mu\text{m}$, $29\ \mu\text{m}$, $33\ \mu\text{m}$ 으로 주어 각각 시뮬레이션 하였다.

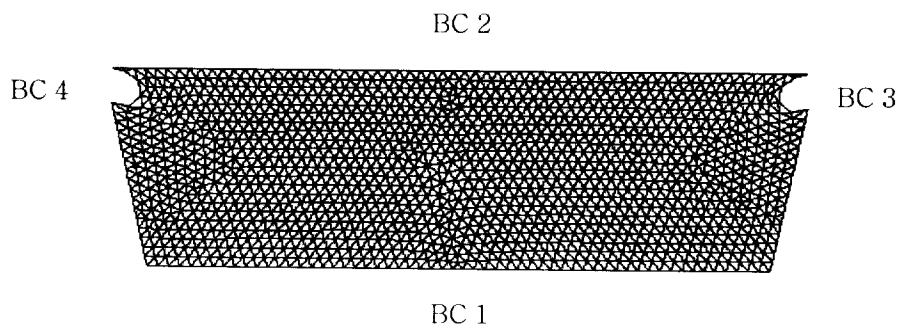


Fig. 5. Description and boundary sets of domain.

Table 3. Simulation Condition According to the Velocity

Simulation According to the Velocity		
Constant condition	New-task	Transient flow
	Sub-task	Generalized Newtonian, Isothermal flow
	Initial viscosity	2 poise (g/cm·s)
	Re-meshing	Global re-meshing, Lagrangian method
	Cell depth (μm)	30
Variable condition	Velocity (m/s)	BC 2 (substrate) : 5step

Table 4. Simulation Condition According to the Pressure

Simulation According to the Pressure		
Constant condition	New-task	Transient flow
	Sub-task	Generalized Newtonian, Isothermal flow
	Initial viscosity	2 poise (g/cm·s)
	Re-meshing	Global re-meshing, Lagrangian method
	Cell depth (μm)	30
Variable condition	Pressure	BC 3, BC 4 (free surface) - 5step

Table 5. Simulation Condition According to the Cell Depth

Simulation According to the Cell Depth		
Constant condition	New-task	Transient flow
	Sub-task	Generalized Newtonian, Isothermal flow
	Initial viscosity	2 poise (g/cm·s)
	Re-meshing	Global re-meshing, Lagrangian method
	Velocity (m/s)	20
Variable condition	Cell depth (μm)	BC 1(cell wall) - 5 step

4. 결과 및 고찰

4-1. 인쇄 속도 변화에 따른 인쇄 농도

그라비아 인쇄적성시험기를 이용하여 5단계의 인쇄 속도별 sample을 인쇄하였고 인쇄물의 농도를 측정하여 평균값을 계산하였다.

인쇄 압력별 인쇄 속도에 따른 농도 값은 Fig. 6에 나타내었다. 그 결과 인쇄 속도가 빠를수록 잉크 농도가 낮음을 알 수 있었다.

또 인쇄 압력이 낮을수록 인쇄농도가 낮음을 확인하였는데 그 중 빠른 속도에서는 압력에 따른 농도 차이가 느린 속도에서 보다 적게 나타남을 확인하였다. 이것은 그라비아 잉크가 매우 저점도이며 빠른 속도로 인쇄가 되기 때문에 잉크 실린더와 피인쇄체가 접촉하는 시간이 느린 속도에 비해 짧기 때문으로 사료된다.

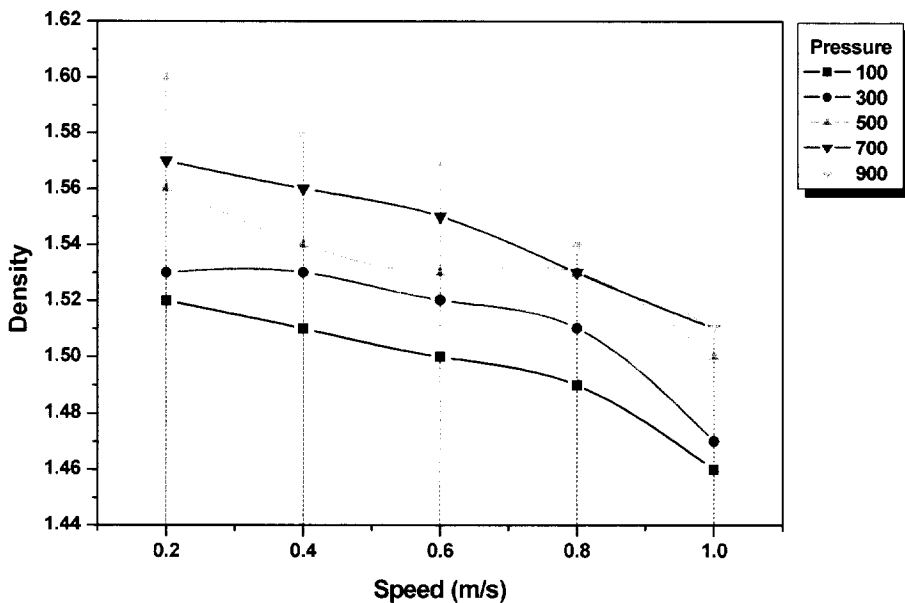


Fig. 6. Density change according to printing speed change at variable pressure.

Fig. 7은 셀의 깊이 변화에 따른 농도와 속도 변화에 따른 농도를 함께 나타낸 그래프이다. 셀의 깊이가 깊은 부분은 인쇄물의 섀도우(shadow)부이고 셀의 깊이가 얇은 부분은 인쇄물의 하이라이트부이다. 섀도우부는 잉크의 전이량이 많기 때문에 농도가 높게 나타나고 하이라이트부는 잉크의 전이량이 적기 때문에 농도가 낮게 나타난다는 것은 일반적으로 잘 알고 있는 사실이다. 그리고 실험의 결과를 통해서도 확인이 가능했다.

그리고 Fig. 7의 그래프를 통해서 인쇄 속도의 변화에 따른 농도의 변화가 셀의 깊이의 차이에는 크게 영향을 받지 않음을 확인할 수 있었다. 특히 깊이가 깊은 셀의 농도 차이가 속도 변화에 따라 약 0.1 정도의 차이밖에 나지 않음을 확인할 수 있었다.

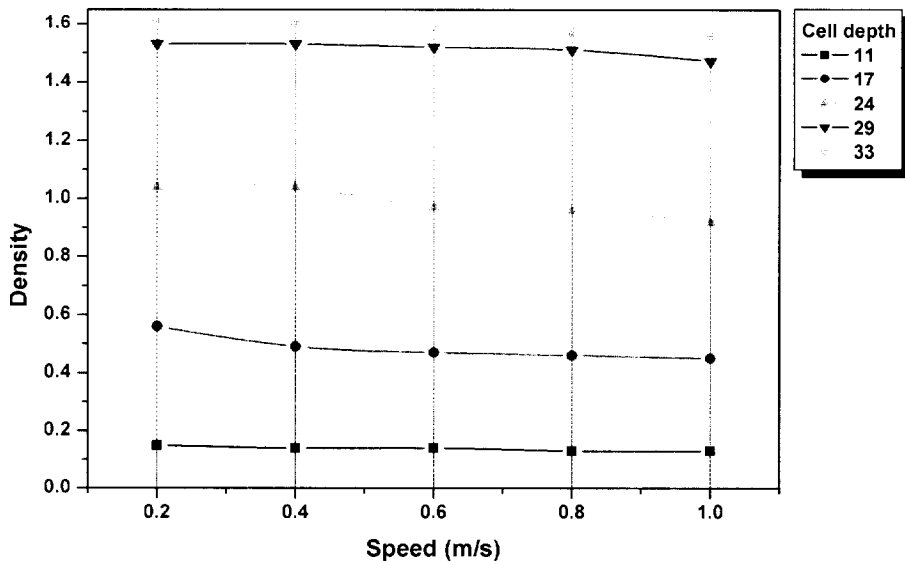


Fig. 7. Density change according to printing speed change at variable cell depth.

Fig. 8~12는 인쇄적성시험기에서와 동일한 속도 변화를 시뮬레이션의 velocity 값을 변화시킨 결과를 나타낸 것이다. 셀은 수직형 분리 방법으로 종이가 그라비아 실린더와 같은 곡면 반경을 유지하지 않고 고속에서 잉크의 접착력 때문에 그라비아 실린더의 점선에 대한 수직으로 힘이 작용하는 모델이다.

붉은색으로 표시된 부분이 속도가 빠른 부분이고 파란색이 가장 속도가 느린 부분이며 같은 속도 값들을 같은 색깔로 나타낸다.

시뮬레이션을 하였을 때 속도변화가 거의 없었던 부분을 잉크 분열의 예상구분선(estimate separation boundary)으로 하여 인쇄 시 잉크의 유동이 없는 것으로 추정하였다. 그리고 그 결과를 통해 전이된 잉크의 양을 계산하였고 인쇄 속도가 빠를수록 잉크의 전이량이 적어짐을 확인할 수 있었다.

시뮬레이션의 도메인 조건과 같은 압력 300 N, 셀 깊이 29 μm 에 해당하는 그라비아 인쇄적성시험기의 sample의 농도 값과 시뮬레이션 결과의 예상 잉크 전이량을 Fig. 13과 같이 그래프로 나타내었다. 그 결과 실제 인쇄에서 얻은 농도 값 그래프와 시뮬레이션 결과에서 얻은 잉크 전이량 그래프가 거의 흡사한 반비례그래프로 나타남을 확인할 수 있었다.

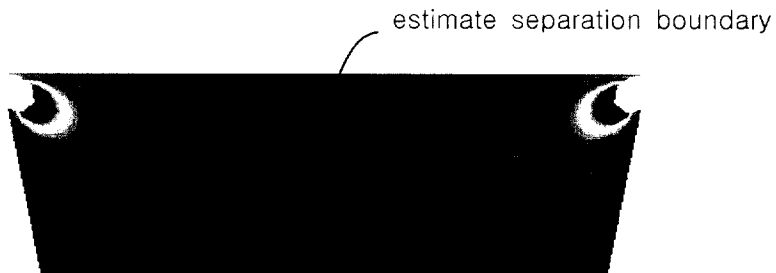


Fig. 8. The result of simulation at velocity 0.2 m/s .

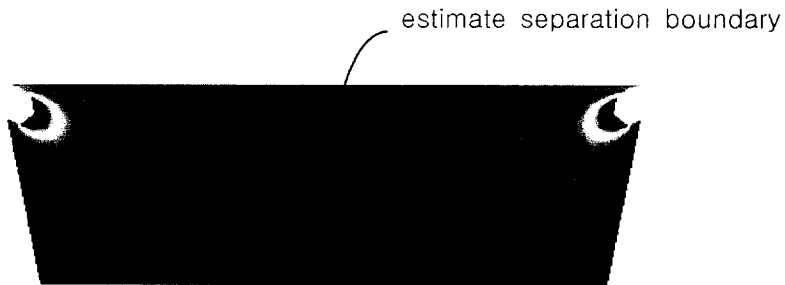


Fig. 9. The result of simulation at velocity 0.4 m/s .

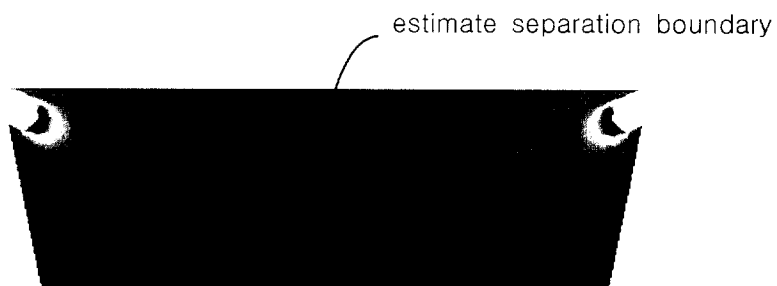


Fig. 10. The result of simulation at velocity 0.6 m/s .

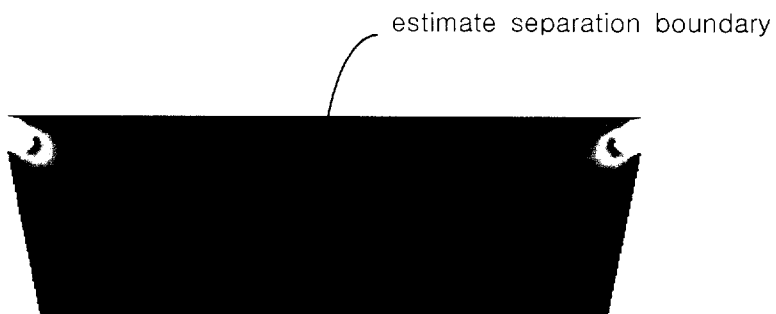


Fig. 11. The result of simulation at velocity 0.8 m/s .

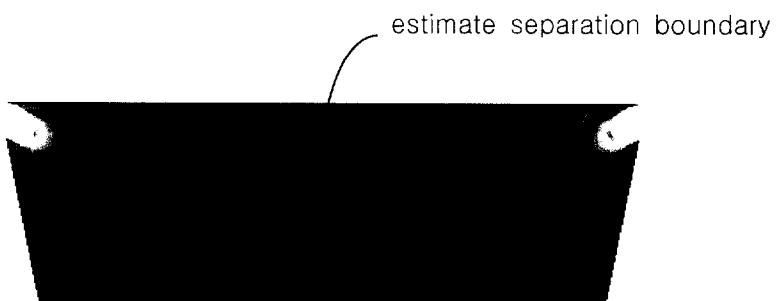


Fig. 12. The result of simulation at velocity 1.0 m/s .

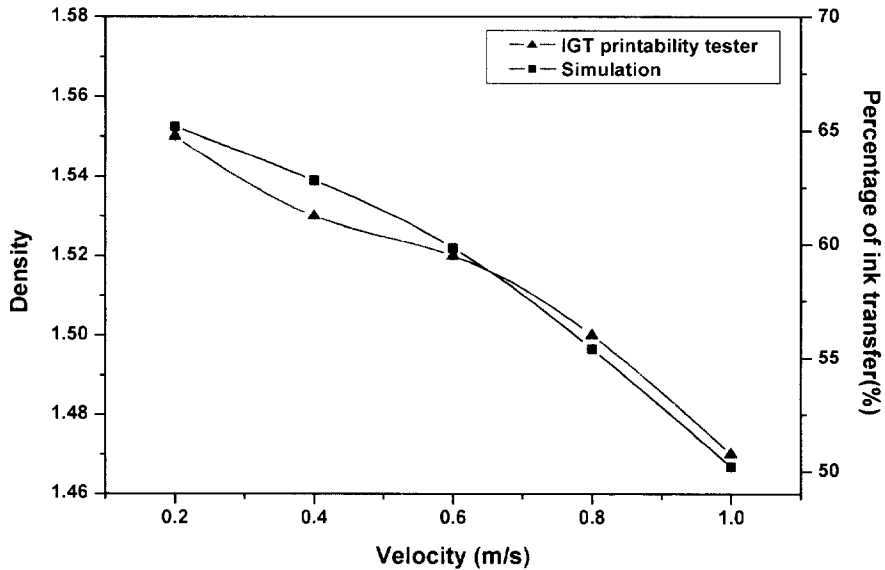


Fig. 13. Density change according to printing velocity change.

4. 2. 인쇄압력변화에 따른 인쇄농도

그라비아 인쇄적성시험기를 이용하여 5단계의 압력별 sample의 농도를 측정하고 평균값을 Fig. 14에 그래프로 나타내었다.

Fig. 14는 인쇄 속도별 압력에 따른 농도 값을 나타낸 것이고 압력이 높을수록 잉크 농도가 높음을 알 수 있었다. 또 인쇄 속도가 높을수록 인쇄농도가 낮음을 확인하였는데 그 중 낮은 압력에서는 1.0 %를 제외하고는 농도 차이가 0.03 밖에 나지 않음을 확인하였다. 그리고 인쇄 속도가 가장 빠른 1.0 %에서 전체적으로 압력별 잉크 농도가 현저히 떨어짐도 확인하였다. 이것은 속도와 압력에 의해 잉크 실린더와 피인쇄체의 접촉 시간이 달라지고, 특히 압력이 클 경우에는 피인쇄체와 잉크의 부착이 더 강하게 되므로 전이되는 잉크의 양에 큰 영향을 미친다고 사료된다.

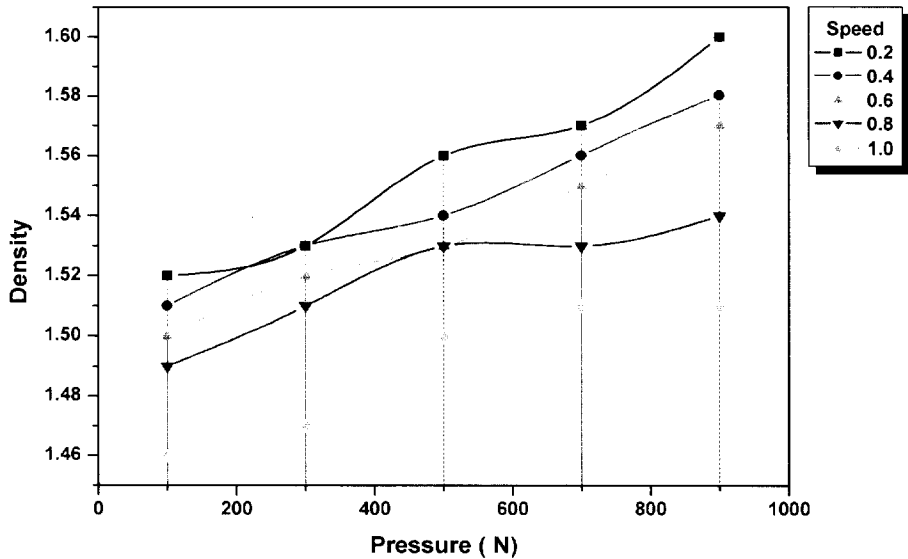


Fig. 14. Density change according to printing pressure at variable speed.

Fig. 15는 셀의 깊이별로 나타낸 그래프로 압력의 변화에 따른 농도 변화가 셀의 깊이에는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있었고, Fig. 7에서와 동일하게 깊은 셀의 농도 차이가 약 0.1밖에 나지 않음을 확인하였다.

인쇄적성시험기에서와 동일한 압력 변화를 시뮬레이션의 pressure 값을 변화시킨 결과를 Fig. 16~20에 나타내었다. 여기서 속도분포 등고선과 속도 벡터의 장이 nip의 중심점을 기준으로 대칭을 이루고 있었고, 셀의 중심에서의 이동현상이 양쪽의 이동현상보다 현저히 빠름을 알 수 있었다.

또한 잉크의 분리가 셀의 직경으로 균일하게 부착되는 것이 아니고 과동이 생기면서 부착됨을 알 수 있었다.

도메인의 고정 조건은 셀의 깊이는 보통 사용되는 솔리드 셀의 깊이에 가까운 $29\mu\text{m}$ 로 하고 속도는 잉크전이가 가장 잘 되는 0.2%로 하였다.

압력이 크면 셀과 free surface와의 간격이 작고 압력이 작으면 간격이 큰 것으로 판단하여 free surface의 크기를 1a부터 5a까지 다섯 개의 도메인을 그렸다.

압력이 클수록 피인쇄체와 실린더 사이의 공극이 작고 압력이 작을수록 피인쇄체와 실린더 사이의 공극이 크기 때문에 이것을 free surface의 크기 차이로 충분히 나타낼 수 있다.

시뮬레이션 한 결과 압력이 큰 Fig. 16이 압력이 작은 Fig. 20에서보다 잉크의 유동이 크게 나타났다. 속도변화 실험에서와 마찬가지로 속도변화가 거의 없었던 부분을 예상구분선으로 하여 잉크가 빠져나간 것으로 추정되는 부분의 면적을 구하였다.

Fig. 21은 동일한 조건에서의 두 실험으로 얻은 잉크 농도 값과 잉크 전이량을 그래프화 한 것이다. 압력이 높을수록 잉크의 전이량은 많아지고 인쇄 농도 값도 커짐을 알 수 있었고 두 그래프의 굴곡 또한 유사하게 나타남을 확인할 수 있었다.

그리고 압력 300N과 500N의 기울기가 가장 크게 나타남을 두 실험에서 동일하게 확인할 수 있었고, 압력 500N과 700N의 기울기가 가장 작아 농도 값이 가장 적게 차이가 남을 확인할 수 있었다.

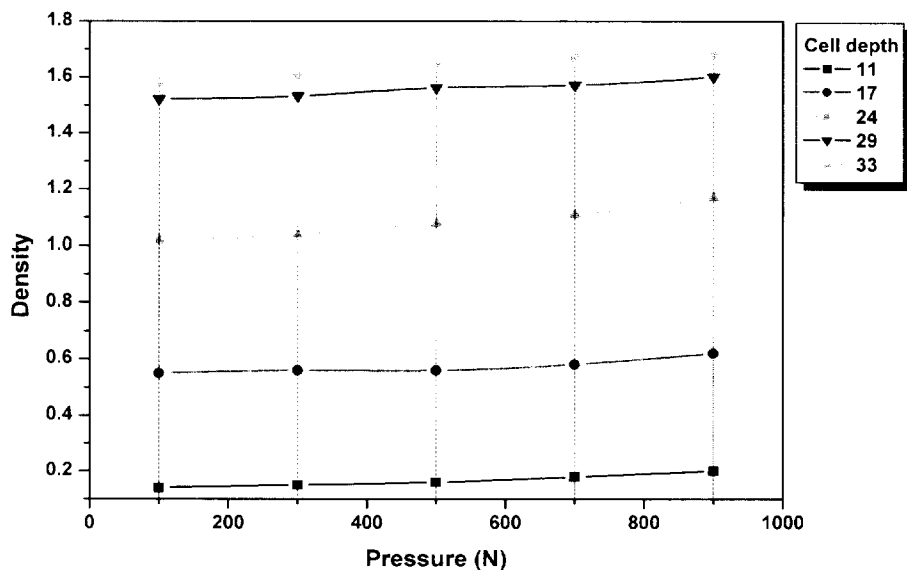


Fig. 15. Density change according to printing pressure at variable cell depth.

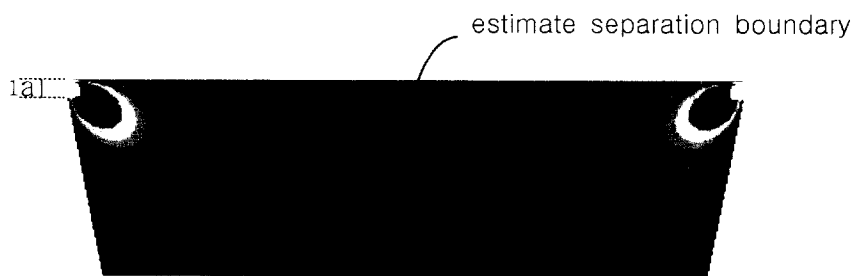


Fig. 16. The result of simulation at pressure 1a.

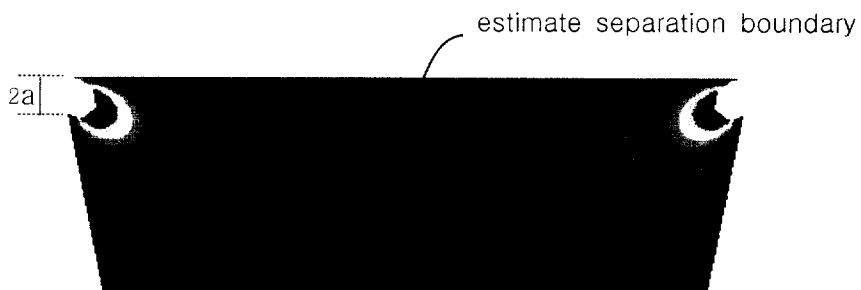


Fig. 17. The result of simulation at pressure 2a.

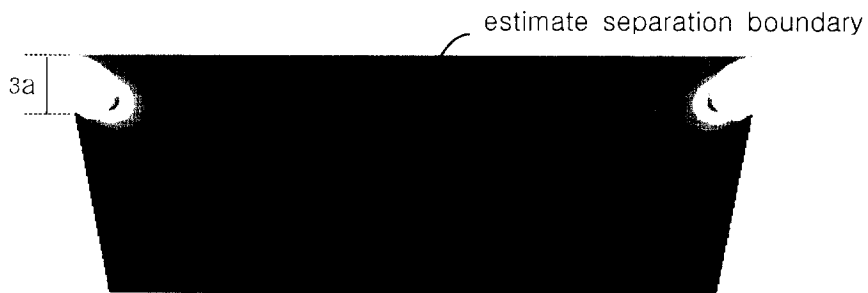


Fig. 18. The result of simulation at pressure 3a.

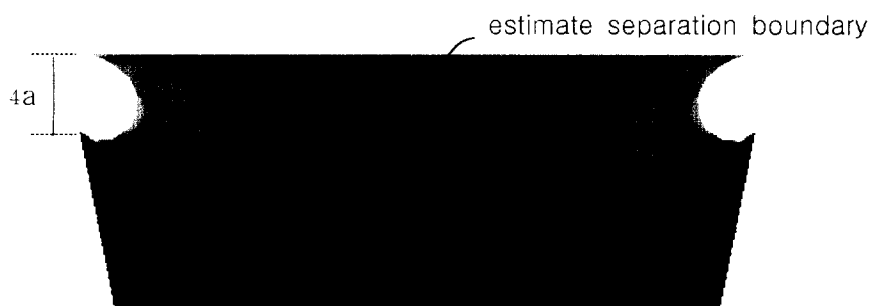


Fig. 19. The result of simulation at pressure $4a$.

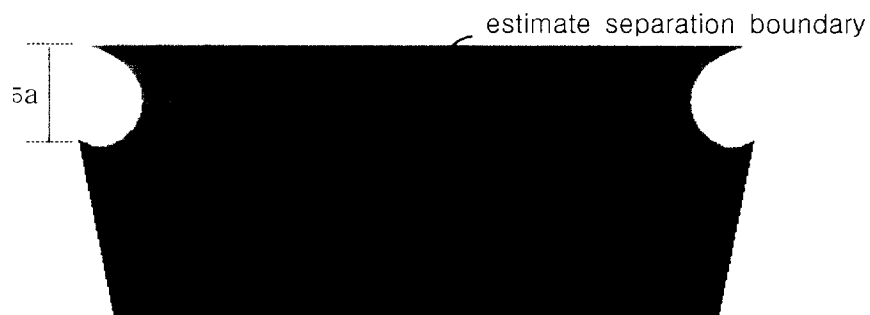


Fig. 20. The result of simulation at pressure $5a$.

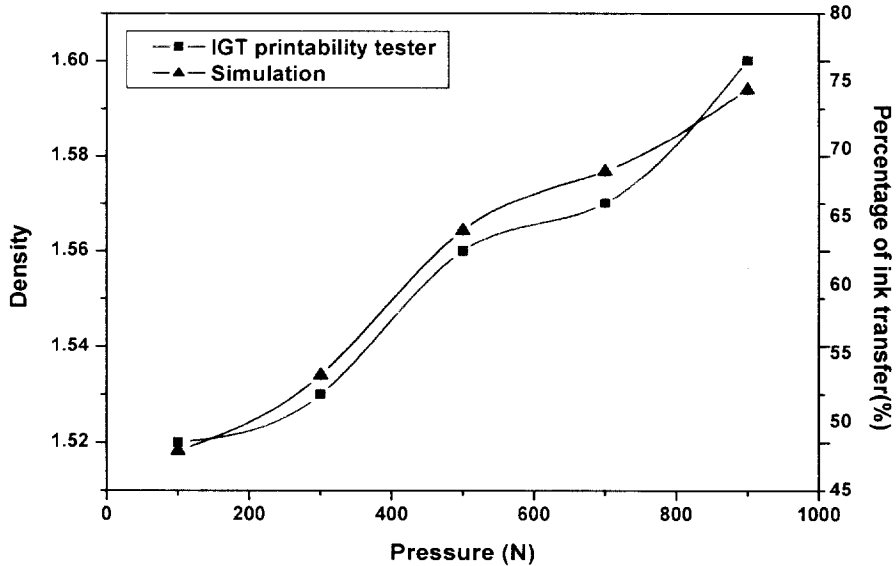


Fig. 21. Density change according to printing pressure change.

4-3. 셀 깊이 변화에 따른 농도 변화

그라비아 인쇄적성시험기를 이용하여 얻은 sample의 scale 중에서 $11\mu\text{m}$, $17\mu\text{m}$, $24\mu\text{m}$, $29\mu\text{m}$, $33\mu\text{m}$ 의 농도를 각각 측정하고 평균값을 계산하여 Fig. 22와 같이 그래프로 나타내었다. 그 결과 셀의 깊이가 깊을수록 농도 값이 높게 나타남을 알 수 있었고, 약 $30\mu\text{m}$ 까지는 거의 정비례에 가까운 증가를 보임을 확인할 수 있었다.

압력별 셀 깊이에 따른 농도를 비교해 본 결과, 셀의 깊이가 가장 작은 하이 라이트부에서는 압력별 농도가 약 0.05 차이를 보였고, 미들(middle)부에서는 압력별 농도 차이가 약 0.2로 나타났으며, 새도우부에서는 약 0.1 정도의 차이를 확인하였고 미들부에서 농도 값이 압력에 보다 많은 영향을 받음을 알 수 있었다.

그리고 약 $30\mu\text{m}$ 이상에서는 농도 값의 차이가 0.1 정도 밖에 나지 않음을 모든 압력 조건에서 동일하게 확인할 수 있었다.

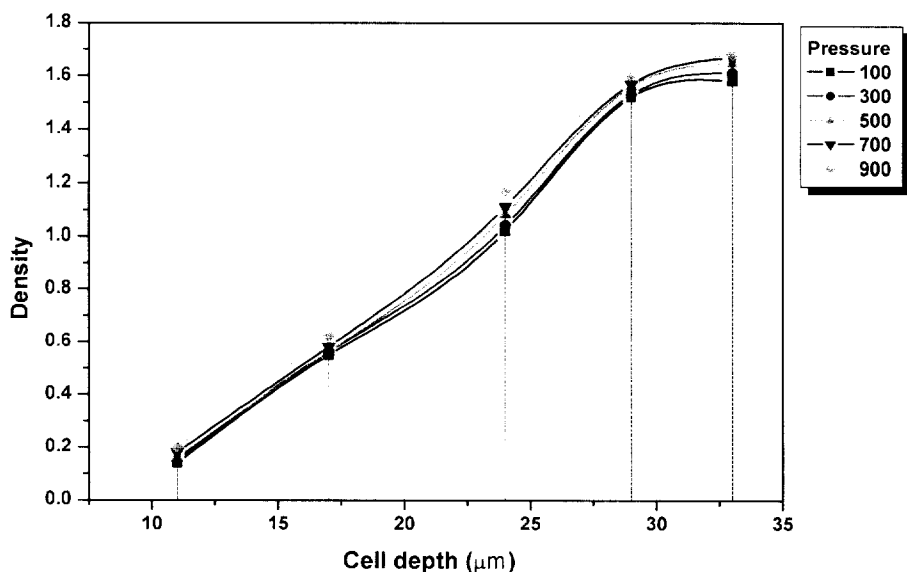


Fig. 22. Density change according to cell depth at variable pressure.

Fig. 22와 같은 방법으로 농도를 측정하고 평균값을 계산하여 Fig. 23과 같이 나타내었다. 위 결과와 마찬가지로 약 $30\mu\text{m}$ 까지는 셀의 깊이가 깊을수록 농도 값이 정비례에 가깝게 증가하고, 그 이상의 셀의 깊이에서는 농도 값의 변화가 약 0.07로 적게 나타남을 알 수 있었다. 즉, 셀의 깊이가 약 $30\mu\text{m}$ 이상에서는 전이되는 잉크량이 거의 비슷함을 알 수 있고, 더 깊어질수록 잉크 잔여량이 많아 잉크 전이효율이 나빠질 것이라고 추정할 수 있었다.

이것에 대해 많은 연구가 있었고 기존 연구자들의 연구결과 공통적으로 잉크의 공급량이 많아지면 전이되는 잉크의 양이 많아지다 어느 순간부터 거의 일정한 모습을 보인다는 결론이다. 따라서 잉크의 공급량을 무조건적으로 늘린다고 하여서 그만큼 잉크의 전이량이 많아지는 것은 아니다. 또한 이것을 본 시뮬레이션과 실험 결과를 통하여 확인할 수 있었다.

인쇄 속도별 셀 깊이에 따른 농도를 비교해 본 결과, 하이라이트부에서는 인쇄 속도별 농도 값 차이가 0.02로 거의 변화가 없었고, 미들부에서는 농도 값 차이가 0.12로 하이라이트부나 새도우부에 비해 속도에 많은 영향을 받음을 확인할 수 있었다.

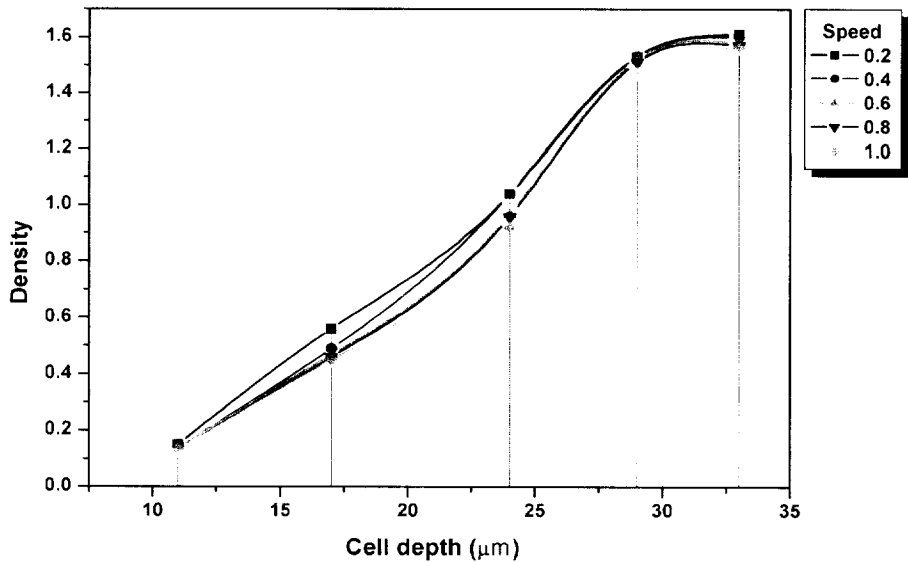


Fig. 23. Density change according to cell depth at variable speed.

Fig. 24~28은 셀 깊이에 따른 잉크 전이를 알아보기 위해 시뮬레이션 한 결과이다. 시뮬레이션 작업의 조건은 그라비아 인쇄적성시험기로 얻은 sample의 농도를 측정한 값과 시뮬레이션 결과를 비교하기 위하여 도메인의 깊이를 인쇄적성시험기 scale의 셀 깊이 단계와 동일하게 하였다. 또 free surface의 크기는 똑같이 a로 하고, 속도는 0.2 ㎥로 고정하였다. 그리고 셀의 깊이에 따른 변화를 관찰하여 속도변화가 거의 없는 부분을 예상구분선으로 하여 잉크가 빠져나간 것으로 추정되는 부분의 면적을 구하였다.

셀의 깊이가 클수록 잉크의 전이량은 많고, 따라서 잉크 농도 값도 커짐을 추정할 수 있었고, 셀의 깊이가 30 μm 이상일 경우에 잉크 전이량과 인쇄 농도 값의 변화가 작아짐을 확인할 수 있었다. 그리고 33 μm에서 잉크 잔여율이 약 30%로 잉크의 전이 효율이 급격히 떨어짐을 볼 수 있었다.

따라서 그라비아 제판 시 새도우부 셀의 깊이를 약 30 μm 정도로 하는 것이 적당하다고 사료되고 그 이상으로 셀의 깊이를 깊게 한다면 전이되지 않는 잉크 소비의 양이 많아지기 때문에 비효율적임이 사료된다.

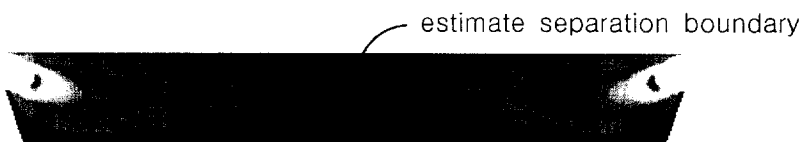


Fig. 24. The result of simulation at cell depth $11\mu\text{m}$.

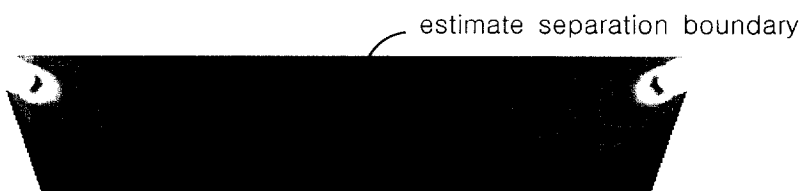


Fig. 25. The result of simulation at cell depth $17\mu\text{m}$.

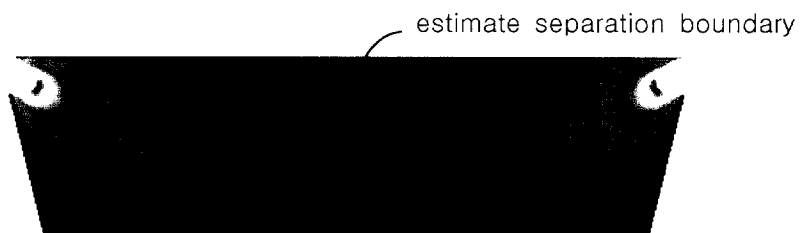


Fig. 26. The result of simulation at cell depth $24\mu\text{m}$.

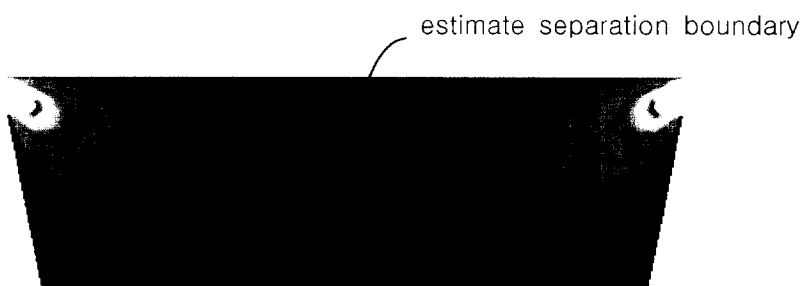


Fig. 27. The result of simulation at cell depth $29\mu\text{m}$.

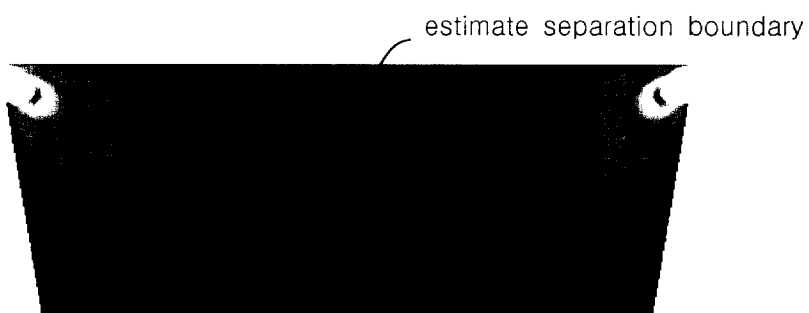


Fig. 28. The result of simulation at cell depth $33\mu\text{m}$.

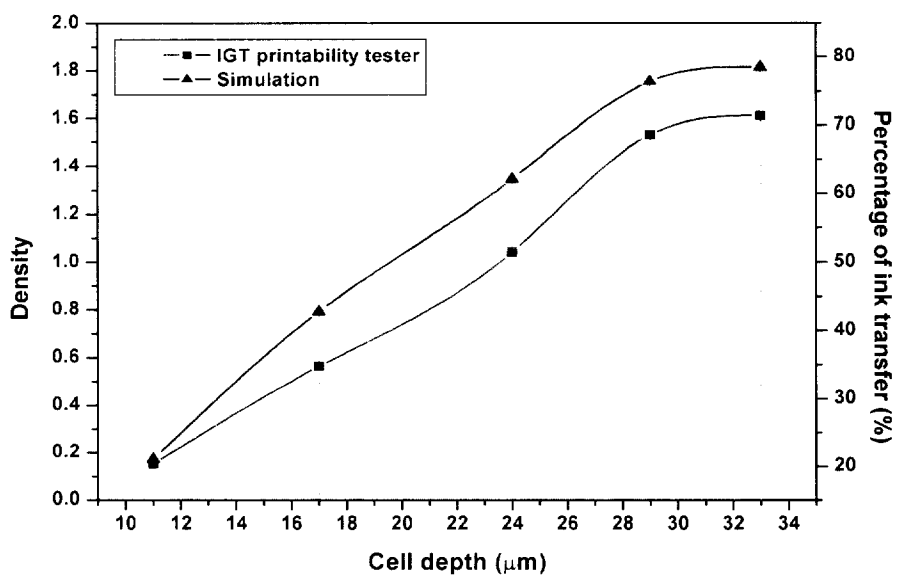


Fig. 29. Density change according to gravure cell depth change.

5. 결 론

인쇄적성 모사시스템 중 그라비어 인쇄적성시험기와 시뮬레이션을 사용하여 압력과 속도 변화에 따른 잉크 전이를 알아보았다 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인쇄 속도가 낮을수록 전이되는 잉크의 양이 많아 농도가 높게 나타나는 것을 그라비어 인쇄적성시험기와 시뮬레이션 결과에서 공통적으로 확인하였다.
2. 압력이 클수록 전이되는 잉크의 양이 많아 농도가 높게 나타나는 것을 그라비어 인쇄적성시험기와 시뮬레이션 결과에서 공통적으로 확인하였다.
3. 그라비어 셀의 새도우부와 하이라이트부의 농도 값의 변화를 그라비어 인쇄적성시험기와 시뮬레이션 결과에서 공통적으로 확인하였고, 셀의 깊이가 $30\mu\text{m}$ 이상이면 잉크 전이량의 변화, 즉 농도 값의 변화가 적음을 확인하였다.

그라비어 인쇄적성시험기와 시뮬레이션을 이용한 인쇄적성 모사시스템으로 인쇄의 조건 변화에 따른 인쇄현상을 과학적인 수치로 나타낼 수 있었으며, 실험적인 방법의 결과와 시뮬레이션의 결과가 동일함을 확인하였다. 따라서 그라비어 셀의 잉크 유동을 시뮬레이션 하여 그라비어 시험인쇄 등에 이용 가능할 것이고 이는 시간적, 경제적으로 효율적일 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) J. T. Youn, K. H. Kim and B. T. Kim, Computer Simulation for Ink Transfer from Cell onto Paper in the Gravure, *Journal of the Korean Printing Society*, **Vol. 21**, No. 2, pp. 1~2 (2003)
- 2) E. J. Pritchard and W. Finkle, Ink Transfer in Gravure Printing and Its Effect on Halftone, *Halftone printing*, **Vol. 3**, pp. 263~290 (1964)
- 3) H. F. George and W. N. Welch, Quantitative Measurement of Gravure Ink Transfer, *Taga proceedings*, pp. 144~150 (1978)
- 4) W. Kunz, Ink Transfer in Gravure Process, *Taga Proceedings*, pp. 151~176 (1975)
- 5) L. W. Schwartz, P. Moussalli, P. Campbell and R. R. Eley, Numerical Modeling of Liquid Withdrawal from Gravure Cavities in Coating Operations, *Trans IChemE*, **Vol 76(A)**, pp. 22~28 (1998)
- 6) L. W. Schwartz, Numerical Modeling of Liquid Withdrawal from Gravure Cavities in Coating Operations; the Effect of Cell Pattern, *Journal of Engineering Mathematics*, **Vol 42**, pp. 243~253 (2002)
- 7) E. Joyce and G. L. Fuchs, Study of Gravure Ink Transfer, *Taga proceedings*, pp. 292~311 (1966)
- 8) D. Y. Park, J. W. Kim and S. W. Oh, Speciality printing, Chapter 4, pp. 167~186, Sungandang, South Korea (2001)
- 9) D. J. Barton, Gravure Cylinder Making by Laser, *Taga proceedings*, pp. 375~380 (1980)
- 10) T. C. Patton, Paint Flow and Pigment Dispersion: A Rheological Approach to Coating and Ink Technology, Chapter 3, pp. 80~89, Wiley-Interscience Publication, USA (1978)
- 11) F. G. Shubert, E. T. Funk, R. W. Bassemir and A. C. Hamilton, Low Shear Viscosity of Publication Gravure Inks and Its Implications, *Taga proceedings*, pp. 219~223 (1984)
- 12) N. S. Koo, Y. D. Kwon and W. D. Kim, Finite Element Analysis, Chapter 1, pp. 3~8, Prentice hall, South Korea. (2003)

- 13) P. H. Sorensen, Print Science and Technology, A Wiley-Interscience Publication, p. 16 (1982)
- 14) J. T. Youn, K. H. Kim and B. T. Kim, Computer Simulation for Ink Transfer from Cell onto Paper in the Gravure, *Journal of the Korean Printing Society*, **Vol. 21**. No. 2, pp. 23~24 (2003)

감사의 글

지난 몇 년을 되돌아보면 많은 분들의 도움이 없었다면 이 감사의 글을 적는 날이 오지 않았을 것이란 생각이 듭니다.

먼저 바쁘신 와중에도 많은 격려와 지도를 해주신 윤종태 지도교수님께 머리 숙여 감사드리고, 본 논문을 심사하시고 보다 나은 논문을 쓸 수 있게 도와주신 구철희 교수님과 남수용 교수님께 감사 인사드립니다. 또한 많은 가르침과 채찍질로 보다 나은 사람이 될 수 있게 해주신 김성빈 교수님, 이상남 교수님, 안석출 교수님, 강상훈 교수님, 손세모 교수님께도 감사드립니다.

든든한 배경이 되어 주신 하영백 선생님, 송경철 선생님, 조가람 선생님께 감사드리고, 조교 업무까지 겹쳐져 힘에 부쳐할 때 격려의 말과 업무에 많은 도움을 준 김진우, 손영옥, 최경규 조교에게 고마움을 표합니다. 그리고 두 팔 걷고 도와준 이미정, 이순심 후배와 어떤 질문에도 최선을 다해 답해준 태환, 24시간 카운슬러 현경언니, 윤지, 지영, 그리고 실험을 도와준 수만, 찬영이를 비롯한 실험실 후배들에게도 고맙다는 말을 전합니다.

그 외 저의 정신적 지주가 되어주신 모든 분들께 감사드립니다.

마지막으로 항상 저를 믿어주시는 사랑하는 어머니, 큰 힘을 주시는 존경하는 아버지, 그리고 오빠같은 사랑스런 동생에게 고맙다는 말을 전합니다.
감사합니다.

2006년 1월

박 성 준