

그라비아 인쇄에서 속도와 압력변화에 따른 시뮬레이션에 관한 연구

박성준[†], 임수만, 윤종태*

[†]부경대학교 대학원 인쇄공학과, *부경대학교 공과대학 화상정보공학부
(2007년 4월 6일 접수, 2007년 5월 4일 최종 수정본 접수)

A Study on the Computer Simulation in the Changing Velocity and Pressure in Gravure Printing.

*Sung-Jun Park[†], Soo-Man Lim, Jong-Tae Youn**

[†]Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School, Pukyong National University,
Division of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University

(Received 6 April 2007, in final from 4 May 2007)

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(decolation 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 합치시킬 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 빠짐과 같은 큰 문제점 등이 여전히 존재하므로 잉크 전이 메커니즘을 고려한 제판 기술의 개발이 시급한 실정이다.²⁾

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 독터 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 그라비아 셀 안의 잉크의 채워짐과(filling)를 빠짐(emptying)을 동역학적인 유체의 유동으로 해석하였다.^{5),6)}

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 그라비아 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. 실험

그라비아 인쇄의 메커니즘 해석에서 실험적인 방법과 이론적인 해석을 일치시키는데 그 목적을 두었다. 실험적인 방법을 위해 사용한 것은 인쇄적성 모사시스템 중 인쇄적성 시험기(IGT)이고, 이론적인 해석을 위해 사용한 프로그램은 시뮬레이션(Polyflow)이다.

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

2-1. 인쇄적성 시험기

IGT 인쇄적성시험기 G1-5의 독터 블레이드는 60°로 고정되어 있고 인쇄 속도와 압력은 Table 1과 같이 0.1 %부터 1.0 %까지 5단계로 실험하였으며 인쇄압력은 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 조건 별의 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.

2-2. 시뮬레이션

Fig. 1은 실제로 실린더에 조각된 셀 형태의 개략도로서 그라비아 셀의 가로 세로의 길이가 동일한 육면체의 형태로 조각되어 있다. 따라서 셀의 깊이나 크기 변수에 따라 농담의 표현 방법이 달라지는데, 앞서 사용한 그라비아 인쇄적성시험기가 셀의 깊이에 따라 농담을 나타내는 컨벤셔널 제판시스템이므로 시뮬레이션의 조건 또한 셀의 깊이와 동일한

조건으로 하였다.

Table 1. Condition of IGT Printability Tester

Speed (%)		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

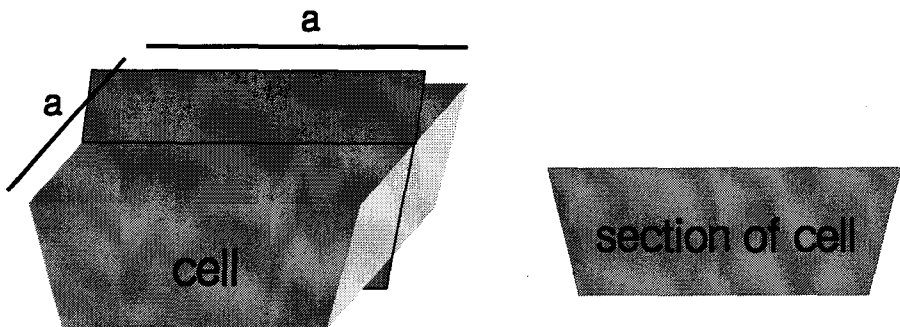


Fig. 1. Description of real gravure cell.

따라서 실제 조각된 모양의 가로와 세로의 비가 동일하므로 단면을 도메인으로 설정하여 2-D(dimension)를 선택하였다.⁸⁾ 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.

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. 2는 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 μm (미크론), 세로 120 μm , 길이 약 10~30 μm 으로 설정하였다. 이 때 격자(mesh)는 tri 형태로서 총 계산된 element 수는 3,846개이다. 또한 속도변화에 따른 시뮬레이션 조건은 BC 2에 속도 값을 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 %로 주었고, 압력변화에 따른 시뮬레이션 조건은 BC 3, 4의 크기를 1a, 2a, 3a, 4a, 5a로 주었다. 그리고 셀의 깊이 변화에 따른 시뮬레이션 조건은 도메인의 BC 1에 해당하는 셀의 크기 중 깊이를 11 μm , 17 μm , 24 μm , 29 μm , 33 μm 으로 주어 각각 시뮬레이션 하였다.

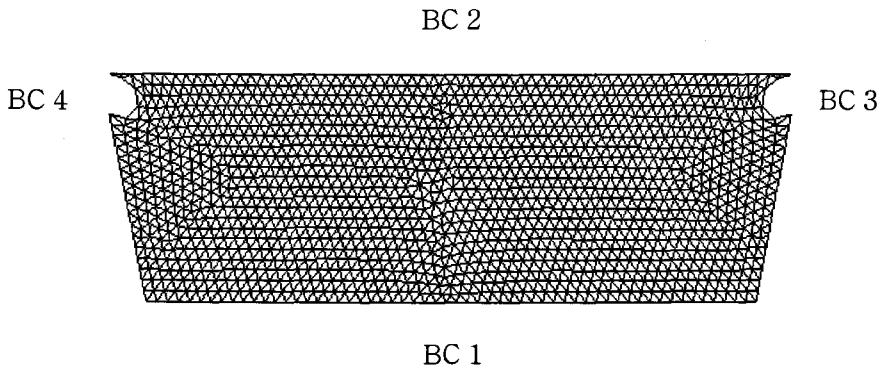


Fig. 2. Description and boundary sets of domain.

3. 결과 및 고찰

3-1. 인쇄 속도 변화에 따른 인쇄 농도

인쇄 압력별 인쇄 속도에 따른 농도 값은 Fig. 3에 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. 4 ~ 5는 인쇄적성시험기에서와 동일한 속도 변화를 시뮬레이션의 velocity 값을 변화시킨 결과 중 최소, 최대를 나타낸 것이다. 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 전이

량이 적어짐을 확인할 수 있었다.

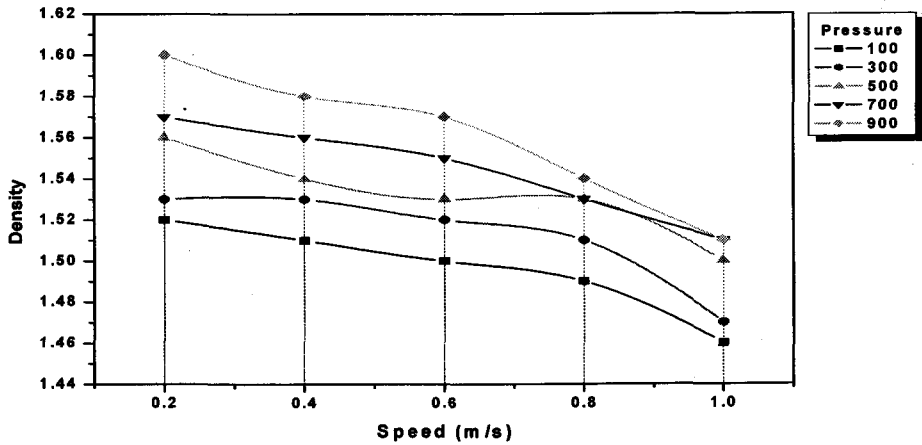


Fig. 3. Density change according to printing speed change at variable pressure.

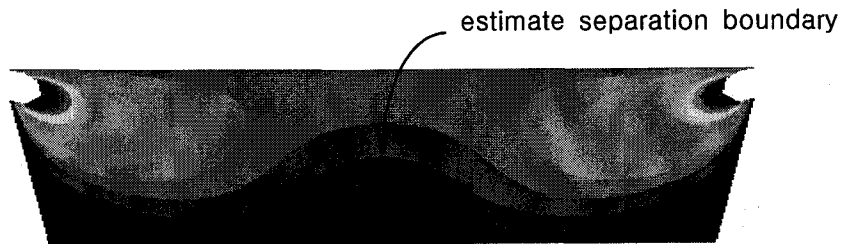


Fig. 4. The result of simulation at velocity 0.2 m/s.

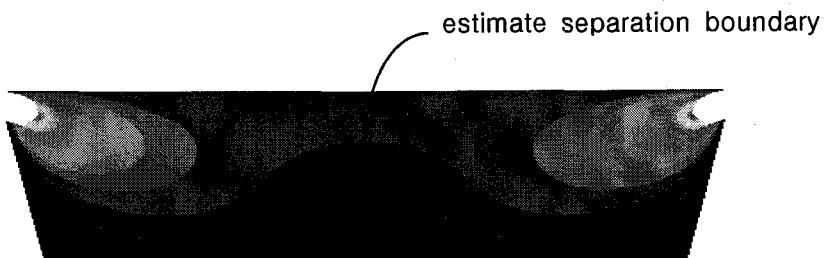


Fig. 5. The result of simulation at velocity 1.0 m/s.

시뮬레이션의 도메인 조건과 같은 압력 300 N, 셀 깊이 29 μm 에 해당하는 그라비아 인쇄 적성시험기의 sample의 농도 값과 시뮬레이션 결과의 예상 잉크 전이량을 Fig. 6과 같이 그래프로 나타내었다. 그 결과 거의 흡사한 반비례 그래프로 나타났다.

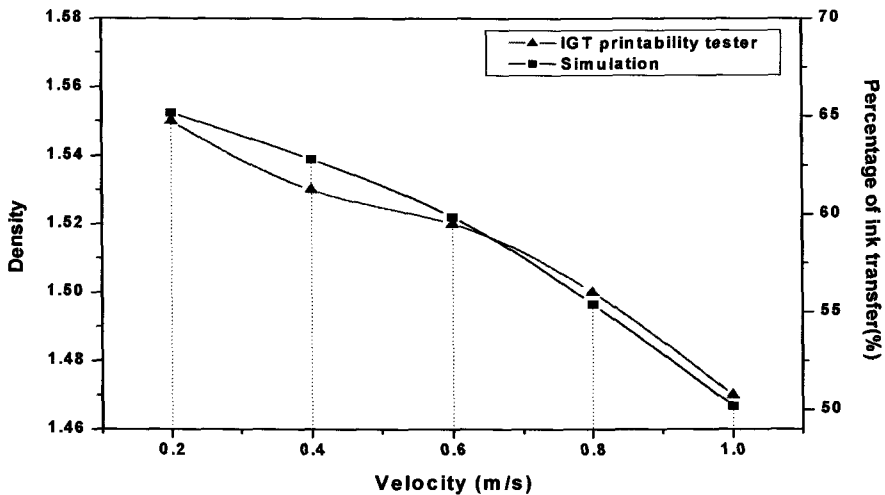


Fig. 6. Density change according to printing velocity change.

3-2. 인쇄압력 변화에 따른 인쇄농도

Fig. 7은 인쇄 속도별 압력에 따른 농도 값을 나타낸 것이고 압력이 높을수록 잉크 농도가 높음을 알 수 있었다. 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.

인쇄적성시험기에서와 동일한 압력 변화를 시뮬레이션의 pressure 값을 변화시킨 결과 중 압력 최소, 최대값 Fig. 8~10에 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 파동이 생기면서 부착됨을 알 수 있었다. 도메인의 고정 조건으로 셀의 깊이는 보통 사용되는 솔리드 셀의 깊이에 가까운 29 μm 로 하고 속도는 잉크전이가 가장 잘 되는 0.2 m/s 로 하였다. 압력이 크면 셀과 free surface와의 간격이 작고 압력이 작으면 간격이 큰 것으로 판단하여 free surface의 크기를 1a부터 5a까지 다섯 개의 도메인을 그렸다. 시뮬레이션 한 결과 압력이 큰 Fig. 8이 압력이 작은 Fig. 9에서보다 잉크의 유

동이 크게 나타났다.

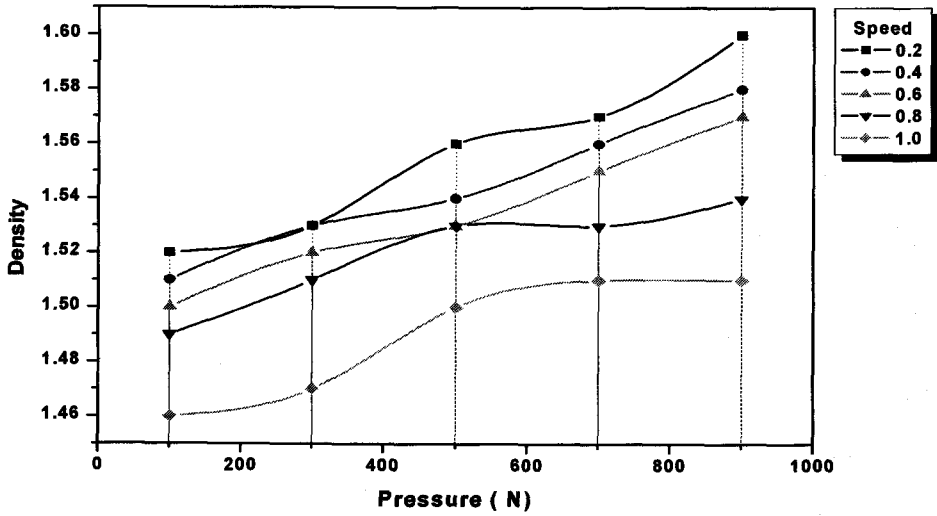


Fig. 7. Density change according to printing pressure at variable speed.

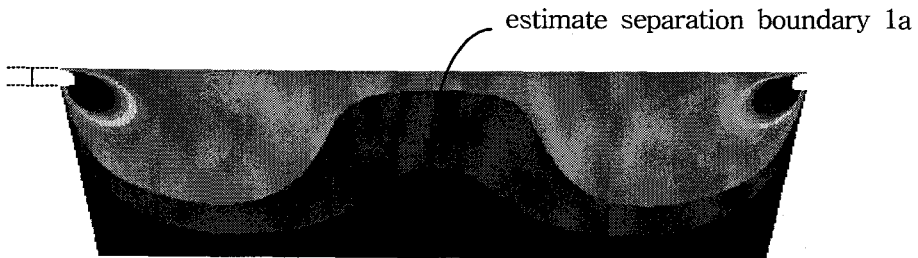


Fig. 8. The result of simulation at pressure 1a.

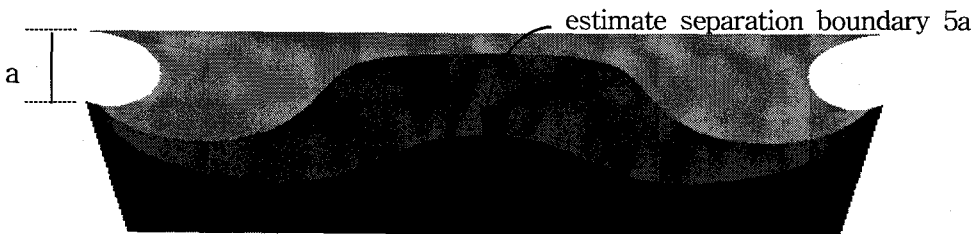


Fig. 9. The result of simulation at pressure 5a.

Fig. 10은 동일한 조건에서의 두 실험으로 얻은 잉크 농도 값과 잉크 전이량을 그래프화한 것으로 두 그래프의 굴곡 또한 유사하게 나타남을 확인할 수 있었다.

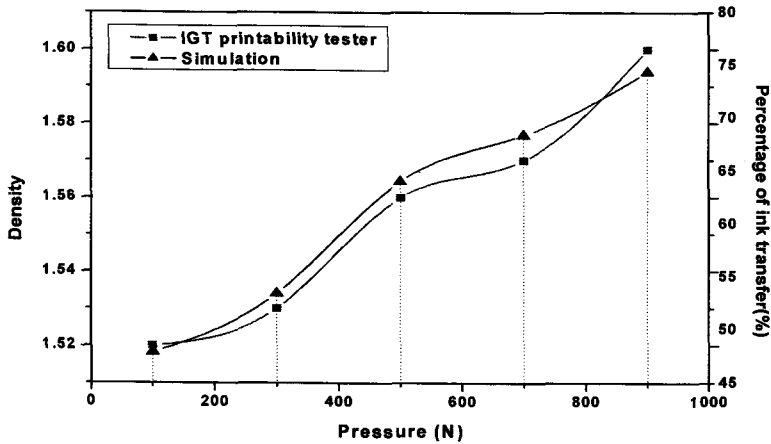


Fig. 10. Density change according to printing pressure change.

3-3. 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. 11과 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.

Fig. 12 ~ 13는 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 $30\ \mu\text{m}$ 이상일 경우에 잉크 전이량과 인쇄 농도 값의 변화가 작아짐을 확인할 수 있었다. 그리고 $33\ \mu\text{m}$ 에서 잉크 잔여율이 약 30%로 잉크의 전이 효율이 급격히 떨어짐을 볼 수 있었다. 따라서 그라비아 제판 시 새도우부 셀의 깊이를 약 $30\ \mu\text{m}$ 정도로 하는 것이 적당하다고 사료되고 그 이상으로 셀의 깊이를 깊게 한다면 전이되지 않는 잉

크 소비의 양이 많아지기 때문에 비효율적임이 사료된다.

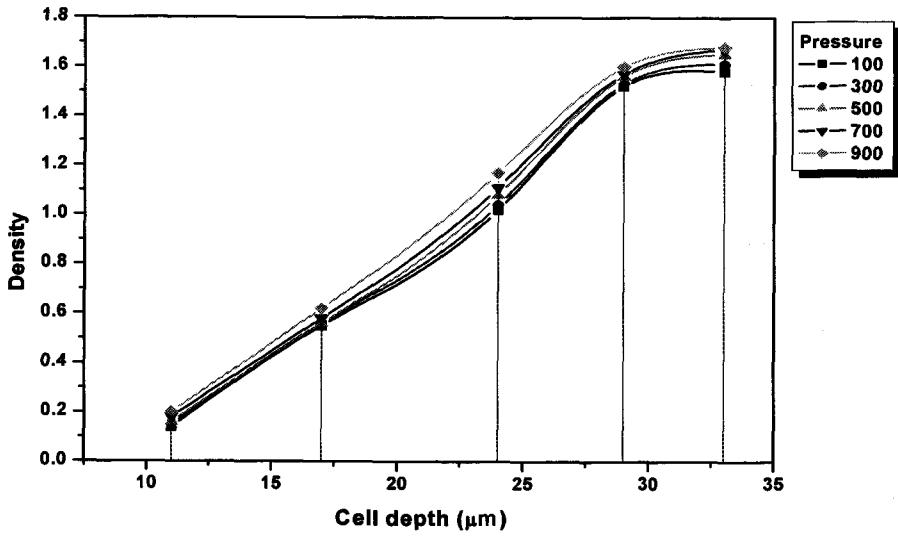


Fig. 11. Density change according to cell depth at variable pressure.

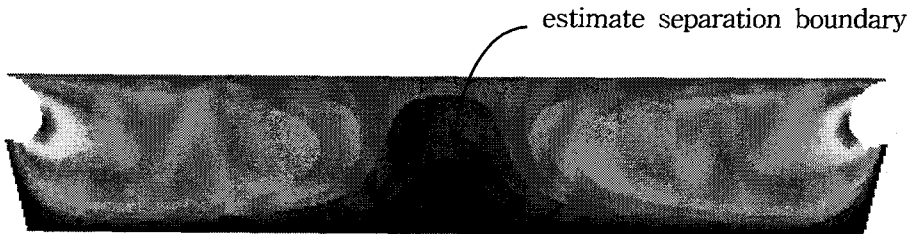


Fig. 12. The result of simulation at cell depth $11\mu\text{m}$.

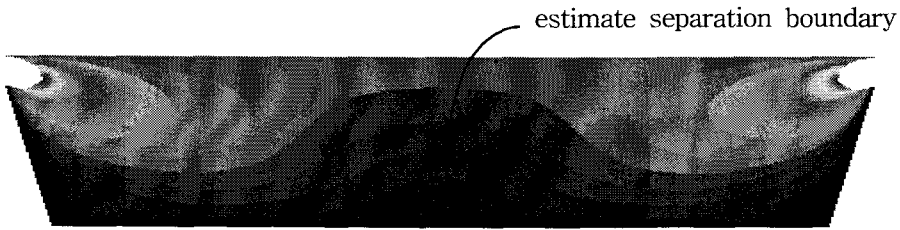


Fig. 13. The result of simulation at cell depth $29\mu\text{m}$.

Fig. 14는 동일한 조건에서의 두 실험으로 얻은 잉크 농도 값과 잉크 전이량을 그래프화한 것으로 두 그래프의 굴곡 또한 유사하게 나타남을 확인할 수 있었다.

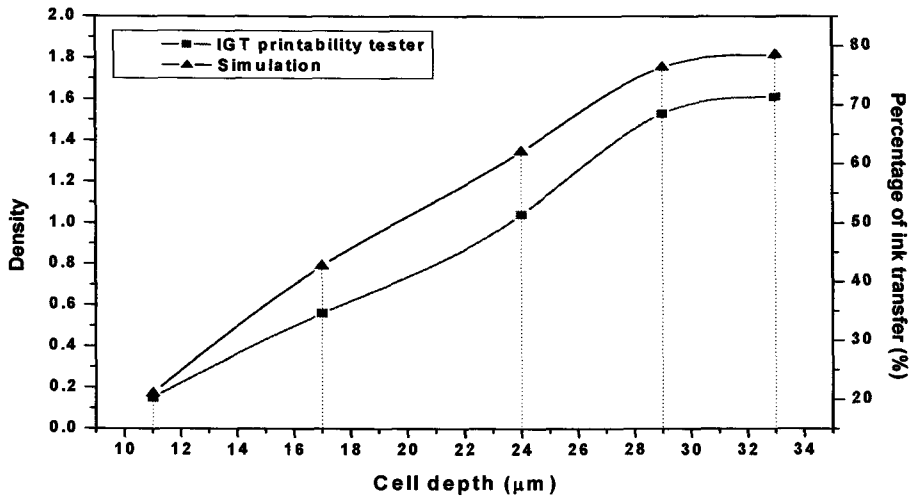


Fig. 14. Density change according to gravure cell depth change.

4. 결 론

인쇄적성 모사시스템 중 그라비아 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 그라비아 인쇄적성시험기와 시뮬레이션 결과에서 공통적으로 확인하였다.

2. 압력이 클수록 전이되는 잉크의 양이 많아 농도가 높게 나타나는 것을 그라비아 인쇄 적성시험기와 시뮬레이션 결과에서 공통적으로 확인하였다.
3. 그라비아 셀의 새도우부와 하이라이트부의 농도 값의 변화를 그라비아 인쇄 적성시험기와 시뮬레이션 결과에서 공통적으로 확인하였고, 셀의 깊이가 30 μm 이상이면 잉크 전이량의 변화, 즉 농도 값의 변화가 적음을 확인하였다.

그라비아 인쇄 적성시험기와 시뮬레이션을 이용한 인쇄 적성 모사시스템으로 인쇄의 조건 변화에 따른 인쇄 현상을 과학적인 수치로 나타낼 수 있었으며, 실험적인 방법의 결과와 시뮬레이션의 결과가 동일함을 확인하였다. 따라서 그라비아 셀의 잉크 유동을 시뮬레이션하여 그라비아 시험 인쇄 등에 이용 가능할 것이며, 또한 효율적 측면에서 시간적, 경제적 일 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (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*, **21(2)**, 1~2 (2003).
- (2) E. J. Pritchard and W. Finkle, Ink Transfer in Gravure Printing and Its Effect on Halftone, *Halftone printing*, **3**, 263~290 (1964).
- (3) H. F. George and W. N. Welch, Quantitative Measurement of Gravure Ink Transfer, *Taga proceedings*, 144~150 (1978).
- (4) W. Kunz, Ink Transfer in Gravure Process, *Taga Proceedings*, 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*, **76(A)**, 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*, **42**, 243~253 (2002).
- (7) E. Joyce and G. L. Fuchs, Study of Gravure Ink Transfer, *Taga proceedings*, pp. 292~311 (1966).
- (8) 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*, **21(2)**. 23~24 (2003).