

그라비아에서 잉크 침투의 컴퓨터 시뮬레이션

윤종태

부경대학교 공과대학 인쇄정보공학과

(2010년 10월 22일 접수, 2010년 11월 12일 최종 수정본 접수)

The Computer Simulation of Ink Penetration in the Gravure

Jong-Tae Youn

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

(Received 22 October 2010, in final from 12 November 2010)

Abstract

The computer simulation is presented of gravure ink transferring behavior and penetration to the paper when an gravure roller is used to transfer a printing ink onto a substrate. The three dimensional unsteady ink motion is simulated by Polyflow package software and experimented by IGT gravure printing test machine. The simulation is performed where the flow domain is bounded above by a stress free surface and bounded below by a moving substrate. Specific predictions are made for particular pattern of cells and substrates. Cell size and ink rheological properties are found to be the principal determination of transferring behavior. Simulation is currently restricted to the flow domain beneath the receding meniscus. Both Newtonian and shear thinning inks are considered.

Keywords : computer simulation, gravure ink, ink penetration, substrate, flow domain, cell size, ink rheological properties

1. 서론

그라비아는 현재 고급 전자 정보 통신용 전자 부품을 제조하는 방식으로 점차 입지를 굳혀가고 있다. 그라비아인쇄로 전자 부품을 인쇄할 경우 생산성의 급격한 향상은 물론, 원가절감 및 친 환경 산업으로 전환 되는 등의 큰 장점이 있다. 그라비아의 특징은 잉크 셀(cell)에 잉크를 담아 전이하는 오탁판 인쇄방식이므로 잉크의 전이가 많아서 다양한 두께의 코팅이 가능하며, 계조가 풍부하여 다른 코팅 방식에서 얻을 수 없는 연속성을 나타낼 수 있다. 그라비아 잉크의 건조방식은 레진과 용제를 사용하는 속건 잉크를 사용하므로, 플라스틱, 금속, 종이 등 다양한 재료를 선택할 수 있다.

반면에, 그라비아의 단점은 그라비아 실린더의 제판이 어렵고, 제판비가 고가이며, 화선부의 수정이 거의 불가능하기 때문에, 보다 과학적이고 효율적인 그라비아 제판 기술의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 즉, 그라비아는 판의 성질상 교정판을 만들 수 없으며, 교정 인쇄를 하기 위해서는 본인쇄 공정과 맞먹는 비용이 들기 때문에, 다소 교정이 부족하지만 필름 교정으로 대체하는 실정에 있다. 따라서 잉크의 전이 메커니즘을 고려한 제판 기술의 개발이 시급한 실정에 있으나 그라비아의 구조상 메커니즘을 해석하는 것은 대단히 어렵다. 그러므로 그라비아인쇄의 컴퓨터에 의한 시뮬레이션과 그의 실험이 중요한 과제로 대두되었다.^{1~3)}

그라비아 셀의 가장 깊은 부분은 깊이가 약 30 μm 정도로서 매우 작고, 일반적으로 낮은 점도의 잉크를 사용하며 고속으로 운전되고 있다. 이런 상황에서 그라비아의 메커니즘을 이해하기 위해서는 그라비아 잉크가 얼마나 또 어떤 방법으로 전이 되는지 또 잉크의 침투깊이가 얼마나 되는지에 관한 잉크의 유동현상에 관해 알아야 한다. 또 인쇄할 때 얼마나 나올 것인지, 또는 종이로 얼마나 전이될 것인지를 과학적으로 규명하는 것이 현재 세계적으로 가장 관심을 가지고 있는 사항이다.⁴⁾

최근에 이 분야에 대한 중요성을 인식하고 몇몇의 연구자들이 이에 관한 연구를 하였으나, 아직 간단한 모델화에 의한 해석과 이론적인 모사를 한 실정이며, 실제 그라비아인쇄와는 그 양상이 다르다.⁵⁾ 또한 많은 연구자들의 결과는 주로 뉴우톤성 잉크를 가지고 연구한 것이 대부분이었다.^{6~8)} 그러나 현재 그라비아 잉크는 간단한 유색 및 무색 안료뿐만 아니라 금속 분말이 분산된 도전성 잉크나 고분자 재료 등 특수 안료들이 등장하여 다양한 형태의 비뉴우톤성 거동을 하고 있다. 따라서 종래의 그라비아 잉크 및 코팅 재료와 현재의 재료는 그 성질이 유동물성적으로 현저히 다르다. 또한 그라비아 잉크가 얼마나 셀에서 피인쇄체로 이동할 것인지, 또 이동된 잉크가 어떤 망점 모양을 만들 것인지에 대한 잉크 전이의 문제는 그라비아에서 가

장 중요한 부분이므로 이 부분을 연구하여 전자인쇄를 할 때 최적 값을 찾는 데이터를 얻고자 한다.

본 연구의 실험에 사용되는 시험기는 IGT 그라비아 인쇄적성 시험기로서, 실험에 의한 결과와 이론에 의한 결과를 비교함으로써 유체 역학은 거동을 알 수 있다.⁹⁾ 즉, 그라비아 셀 속을 들어갔다가 피인쇄체로 침투하여 스며드는 잉크의 거동을 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 메커니즘을 규명하고, 실험을 통하여 증명하고자 한 것이다. 잉크가 셀에서 종으로 이동할 수 있는 전이성을 연구하기 위하여 방정식에 의한 완전한 3차원의 모델을 사용하여 모사하는 방법을 제시하고자 하였고, 그 결과들을 그라비아인쇄 및 실험결과와 비교하고자 하였다.

지금까지 다른 연구자들에 의해 뉴우톤성 유체에 관한 잉크의 전이에 관한 시뮬레이션을 한 적이 있으나, 일반적으로 피인쇄체에 침투하는 그라비아 잉크의 시뮬레이션에 관한 연구 보고는 발견할 수 없었다.^{10~11)} 따라서 피인쇄체에 전이되는 잉크의 뉴우톤성 잉크뿐만 아니라 슈도 플라스틱 흐름을 하는 특성을 고려한 모델을 시뮬레이션 하여, 보다 사실에 근접하는 그라비아 전이 모델을 시뮬레이션 하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 실험

2-1. 잉크 전이 시뮬레이션

그라비아 cell에 잉크의 채워지는 현상과 잉크가 종으로 전이되는 현상 및 침투하는 현상의 시뮬레이션은 삼차원 모델과 이차원 모델로 할 수 있는데 본 연구는 CPU 시간을 절약하기 위하여 우선 이차원 모델로 시뮬레이션을 한 후에, 다시 변화 요인이 될 수 있는 결과들을 가지고 삼차원 모델로 시뮬레이션 하였다. 이 모델은 밴드 모양의 그라비아 셀에서 잉크의 공급과 전이를 설명할 수 있으나, 궁극적으로는 정사각형의 입구와 cavity 모양의 셀에서 잉크의 거동을 시뮬레이션 하고자 하였다. 또한 이 방법은 인쇄기계가 작동된다고 가정하고 움직이는 용지와 인쇄기계에서 전이와 침투 모양을 모델화하였고, 잉크 필름을 잡아 늘리는 인장형 Oldroyd 모델로서 일정한 거리에서 잉크가 분리되고, 분리된 잉크가 종으로 침투 되는 것을 시뮬레이션 하였다.

그라비아 인쇄의 시뮬레이션에서 잉크와 종이의 접촉각에 대한 영향에 관해서는 이미 다른 연구자들에 의해 보고된 바가 있으며 앞선 연구에서 측정된 바가 있기 때문에 그 데이터들을 이용하였다. 본 시뮬레이션에서는 잉크가 종이에 완전히 부착되어 침투된다고 보고, 오른쪽이 열리는 모델과, 수직으로 상승하는 모델을 채택하였다. 전자는 그라비아 실린더의 곡면 반경을 고려한 것이고, 후자는 그라비아 셀의 크기가 그라비아 실린더

에 비해 대단히 작기 때문에 곡면 반경을 무시한 결과가 된다.

잉크는 점탄성 유체의 모델을 선택하였으며, 주어진 스트레스에서 주어진 시간 간격으로 응답을 받도록 하였다. 스트레스와 변형은 시간의 함수로 기록되고 단위 변형 속도는 1초 동안 적용하였다. 흐름 특성을 일정한 변형 속도 하에서 시뮬레이션하기 위하여 거리의 증가는 시간에 대해 이차 함수로 주었다.

잉크는 근본적으로 종이의 표면 성분과 잉크의 수소 결합에 의해 부착되며 그 이외의 잉크들이 유동물성적인 점탄성 특성과 특히 끈적이는 텍에 의해 부착된다. 그러므로 잉크의 점도와 속도 특히 점도와 속도의 곱에 가장 큰 영향을 받을 수 있기 때문에 다음과 같은 경계 조건을 주었다. 즉, 초기에 잉크의 유동물성은 총 점도를 1 poise로 하였으며, 연화 시간은 0.1 sec, 그리고 뉴우톤성 점도는 0.1로 주었다. 특별히 다른 연구자들과 달리 관성을 고려하였으며 잉크의 밀도는 1g/cm^2 로 주었고 부피에 따른 영향은 작다고 생각되어 무시하였다. 시뮬레이션은 비정상 상태를 기준으로 수행하였기 때문에 정지한 상태에서 시작하여 동적인 상태에서 시간의 함수로서 스트레스 변화를 얻을 수 있었다.

그라비아 셀과 잉크의 모양은 Figure 1과 같이 한 개의 도메인(domain)으로 하고, 경계 조건 (boundary condition, BS)을 주었다. BS1 은 그라비아 셀의 벽면이며, BS2 는 그라비아 실린더의 닙(nip) 에서 열리는 오른쪽 부분, BS3 는 종이, 그리고 BS 4는 닙의 뒷부분으로 하였다.

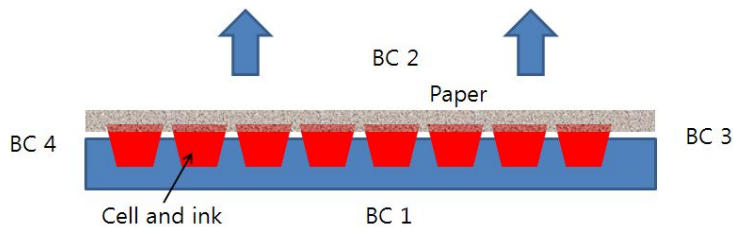


Figure 1. Description and boundary sets of domain. Emptying of ink from gravure cell to the paper and penetration onto paper.

시뮬레이션은 축대칭으로 만들어서 CPU 시간을 줄일 수도 있으나, 그라비아인쇄 메커니즘은 열리는 부분이 있기 때문에 대칭으로 만들 수 없어서 비록 CPU 시간이 많이 걸리더라도 전체 면의 변형을 계산하였다. 그라비아 셀의 부피는 $1 \times 10^{-4} \text{cm}^3$ 이며 실제 잉크가 담긴 셀의 부피는 $1.25 \times 10^{-5} \text{cm}^3$ 로 설정하였다. 셀의 자세한 모양은 Figure 1에 도시되어 있다.

본 시뮬레이션에서 특히 주목할 만한 것은 잉크가 과도 점탄성 흐름(transient viscoelastic flow)을 한다는 점이다. 따라서 이 모델은 단일 모드의 연화 시간을 주어 계

산하였다. 공기와 잉크의 표면장력은 23 dyne/cm 로 하고, 그라비아 실린더의 회전속도는 23 rad/sec 로 주었다. BS2와 BS4는 free surface로서 잉크의 표면장력과 점탄성에 의해 자유롭게 만들어지는 표면이며, 이 표면은 위에서 잡아당기는 힘에 의해 곡선으로 휘어지는 넥킹(necking) 현상을 보인다. 즉, 넥킹 현상에서 보여주는 가장 직경이 작은 부분의 잉크가 끊어진다고 보고 이 결과에 의해 잉크의 전이량과 전이 상태를 알 수 있다. 소프트웨어는 Fluent 사의 패키지 소프트웨어인 Polyflow(version 3.9)를 사용하였다.

주 작업은 과도 흐름(transient flow)로 지정하여 주었고, 부작업은 미분 점탄성 단열 흐름(differential viscoelastic isothermal flow)으로 하였다. 첫 번째의 점탄성 모드는 Oldroyd 모델로 가정하였는데, 이 모델에서 점도는 0.1부터 시작하였고, 연화 시간은 0.05 부터, 비율 0.01부터 주었다. 그라비아 인쇄기의 속도가 대단히 빠른 관계로 관성은 존재한다고 보고, 시뮬레이션 단계는 Evol=2nd order로 주었다. 단계별 시뮬레이션이 끝난 후의 remeshing은 global remeshing 방법과 Lagrangian 방법에 의해 수행하였다. 수치 연산 파라메타(numerical parameter)는 상한선을 0.1로 주고, 한계 편차(tolerance)를 0.1로 각각 실험하였다.

2-2. 그라비아 인쇄 실험

그라비아 인쇄 실험은 IGT(그라비아 인쇄적성시험기(모델 G1-5, 네덜란드제)이고, 인쇄적성시험기로 얻은 시편의 농도를 측정하여 Kubelka-Munk의 식을 통해 잉크침투깊이를 구하고, 실험과 동일한 조건을 시뮬레이션 결과와 비교 하였다. 인쇄 적성 시험기는 상부 롤러만 존재하며 피인쇄체가 평면적으로 인쇄되는 원압식 인쇄 방식의 형태로 셀의 형태는 컨벤셔널 제판이 되어있다. 셀의 가로와 세로의 길이는 같고 셀의 깊이에 따라 농담을 표현한다. IGT 그라비아 인쇄적성시험기의 독터 블레이드는 60°로 고정하였고, 인쇄 압력은 100에서 1,000N까지 19단계로 되어있기 때문에 인쇄 압력에 따른 결과들을 얻을 수 있었다. 인쇄 속도는 0.2에서 1.0 m/sec까지 5단계로 실험하였다. 인쇄용지는 중량 100g/m², 두께 0.1mm의 백상지를 사용하였고, 잉크는 점도가 1poise와 2poise 인 그라비아 잉크로 각각 실험하였으며 인쇄실의 환경은 20℃, 습도는 60%이었다. 제작된 시편은 반사 농도계(X-rite 418, 미국제)를 사용하였다.

Table 1. Condition of IGT Printability Tester

| Speed (m/s) | | Pressure (N) | |
|-------------|-----|--------------|-----|
| S1 | 0.2 | P1 | 100 |
| S2 | 0.4 | P2 | 300 |
| S3 | 0.6 | P3 | 500 |
| S4 | 0.8 | P4 | 700 |
| S5 | 1.0 | P5 | 900 |

3. 결과 및 고찰

시뮬레이션 시작 후부터 2×10^{-6} sec 후에 결과를 위에서 아래로 내려다 본 결과가 다음 Fig. 2이다. 이때의 속도는 0.5m/sec이었다. Figure 2의 (a)와 같이 초기에 망점의 압력분포 등고선은 셀의 가장자리에 먼저 압력이 걸리는 것을 알 수 있다. 그리고 망점의 중앙의 가장 적은 압력이 걸리며, 따라서 중앙의 잉크들이 빠져나오기 어렵다는 것을 알 수 있다.

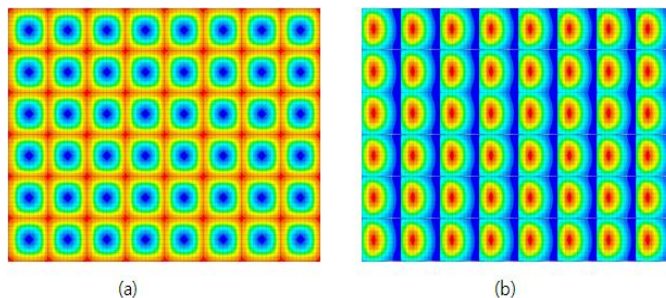


Figure 2. Simulated results of emptying of ink from gravure cell to paper surface.

그러나 그라비어 인쇄기계의 속도가 빨라지고 우측으로부터 용지가 빠른 속도로 분리되면서 (b)와 같이 잉크들이 한쪽으로 몰리는 그라비어 잉크 침체 현상(stagnation)을 시뮬레이션 할 수 있었다. 이러한 현상들은 실제 그라비어 인쇄 실험에서 발견할 수 없는 현상이며, 그 원인을 규명하는데 시뮬레이션 방법이 중요하게 사용될 수 있을 것이라고 사료된다.

그라비어 실린더로부터 잉크가 분리되는 것은 곡선모양으로 그 속도가 증가한다. 그러나 실제 인쇄 실험에서는 고체 실린더의 상에서 유연하고 압축성이 있는 용지가 중간에 끼어 있어서 정확히 속도증가의 모양을 예측할 수 는 없다. 그러나 이에 관한 이론 중에서 가장 보편적인 것은 2차 함수적인 증가 방법이다. 중앙에 본 연구에서 잉크의 일부분이 용지로 전달될 때 변위와 속도는 Figure 3과 같은 결과를 얻었다. 이 변위는 본 연구에서 사용한 Lagrangian 방법에 의한 것인데 결과는 아주 적은 편차만이 있음을 확인할 수 있었다. 이 작은 편차는 속도에 대한 수학적인 적분을 수행할 때 발생한 것으로서 본 연구의 결과에 미치는 영향은 대단히 작다.

Figure 3의 (a)는 2×10^{-6} sec일 때 잉크가 셀로부터 분리되어 종이로 전이되고 침투되는 시뮬레이션 결과로서 압력 분포의 등고선으로 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 그라비어 셀의 왼쪽 부분에 있는 잉크들이 빠져나오기 어렵다는 것을 알 수 있고 그 결과

침체 현상이 발생한다는 것을 알 수 있다. 또한, (b)는 속도 벡터로 나타낸 그림이며, (b)에서 보는 바와 같이 분열되는 지점에서는 안쪽으로 급격히 스트레스가 걸리는 것을 알 수 있고 그에 대한 변형이 급격히 일어나고 있는 것을 볼 수 있다. 또한 왼쪽 부분에서도 약간의 변형을 발견할 수 있는데, 그라비아인쇄 기계의 진행 방향에서부터 밀리는 현상에 의해 압력이 높아지는 것도 발견할 수 있다.

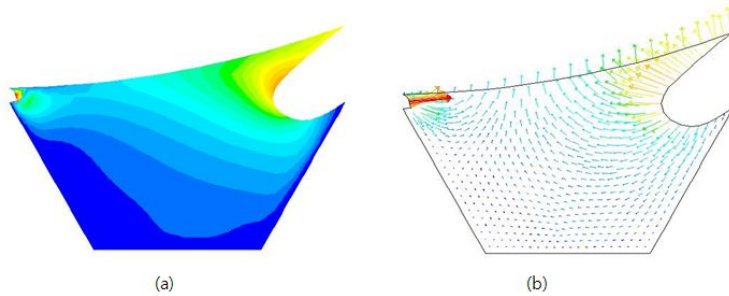


Figure 3. Simulated results of emptying of ink from gravure cell.

한편, IGT그라비아 인쇄적성 시험기에 의한 인쇄 실험 결과는 다음 Figure 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 망점의 모양은 실제 그라비아 인쇄기처럼 선명하지 못한데, 그 원인은 그라비아 잉크는 오목판(intaglio) 인쇄 잉크와 달리, 인쇄 잉크의 점도가 대단히 낮고 종이로 잉크가 침투되어 들어가기 때문이다. 용지로 침투되어 들어가는 잉크들은 결국 망점의 모양을 무너뜨리면서 일정한 계조를 형성하게 된다. 대부분 피인쇄체로서 용지에 인쇄할 경우, 그라비아 잉크는 모세관 현상과 인쇄 압력에 의하여 침투가 빠르고 셀의 잉크들의 50%이상을 전이시킬 수 있었다. 그러나 남아있는 잉크가 건조되어 점도가 높아질 경우 전이율과 전이량은 본 실험 결과보다 낮아질 것이다. 또한 실험용 인쇄기와 실제 인쇄기는 독터의 초기 조건을 맞추는 것과 연속성이 다르기 때문에 차이가 난다는 것을 예측할 수 있다.

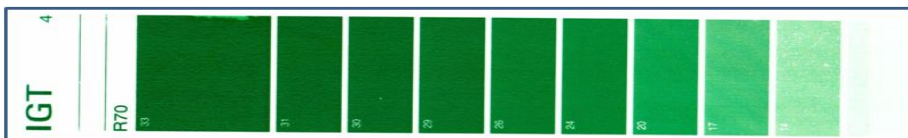


Figure 4. Printed result by IGT gravure printability tester.

실제 그라비아 셀의 인쇄 상태를 보기 위하여 화상 분석기에 의한 인쇄 상태를 관찰한 그림이 Figure 5로서 인쇄한 망점의 실제 모양을 40배로 확대하여 본 사진으로서 망

점의 무너진 모양을 볼 수 있다. 아래의 숫자는 그라비아 망목을 나타낸다. 그러나 실제 시뮬레이션 결과는 인쇄 적성 실험기의 결과보다 단순하여 용지로 침투되어 들어가거나 번지는 현상을 시뮬레이션하지 못한다.

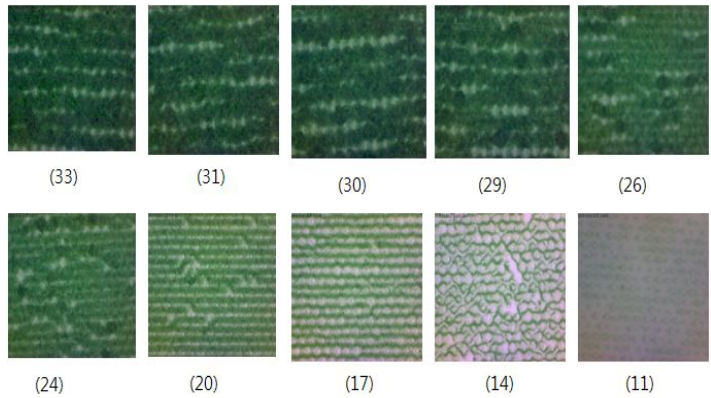


Figure 5. Magnified printing results by IGT gravure printability tester.

그라비아 인쇄에서 인쇄되는 순간과 그라비아 셀과 초기에 잉크가 분리되기 시작하는 지점에서 피인쇄체가 셀 속에 있던 잉크의 표면과 접촉하여 나올 때는 다음과 같이 두 가지로 생각할 수 있다. 즉, 첫 번째는 그라비아 셀과 피인쇄체의 접한 면에서 한 쪽이 열리면서 분리되는 모델을 생각할 수 있는데, 이것은 윤전식 인쇄기에서 실린더의 출구로 갈수록 부압력 (negative pressure)이 걸리기 때문에 출구의 어느 지점으로부터 분리가 일어나는 모델이다. 두 번째는 수직으로 잉크를 잡아당겨서 잉크를 뽑아내는 경우인데 이것은 종이가 그라비아 실린더와 같은 곡면 반경을 유지하지 않고 고속에서 잉크의 접착력 때문에 그라비아 실린더의 접선에 대한 수직으로 힘이 작용하는 경우가 된다.

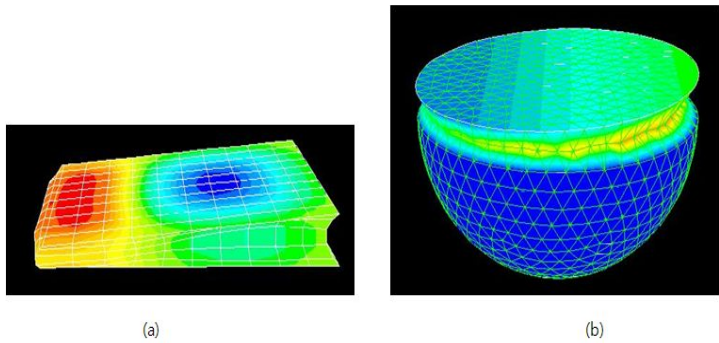


Figure 6. Three dimensional simulated results of gravure printing.

Figure 6의 그림 (a)와 그림 (b)는 첫 번째 모델과 같이 한 쪽이 열리는 모델을 시뮬레이션한 결과이다. 그림(A)는 속도 분포의 등고선으로서 오른쪽의 속도가 왼쪽 보다 약 6배 정도 빠르게 흐르는 것을 볼 수 있었다. (a)의 셀의 바닥과 높이의 비는 9:1 로서 0.1 μ 이 이동할 때까지 오른쪽은 70% 정도의 이동을 보이고 있으나, 왼쪽은 15% 정도 까지 잉크가 유동하는 것을 알 수 있었다. 그림(b)는 원추형의 셀에서 잉크가 빠져나오는 것을 시뮬레이션한 결과이다. 시간은 1×10^{-7} sec로서 분리 초기 단계에서 곡면으로 되어있는 용지가 잉크를 잡고 올라오는 결과를 볼 수 있다. 용지가 잉크를 잡는 것은 잉크 중의 일부분이 용지로 침투되어 들어갔기 때문이다. 잉크는 용지를 완전히 적신다고 가정했으므로 실제 인쇄보다 전이되는 상태가 완전한 것을 볼 수 있는데, 만일 실제 인쇄에서 용지의 기공이나 용지의 표면 특성이 잉크를 잘 받아들이지 못한다면, 이 시뮬레이션 결과들은 보정해야할 필요가 있다. 예측했던 대로 넘에서 열리는 부분으로 빠른 속도 벡터의 장이 형성되며, 이것이 결국 그라비아 잉크가 분열하고 분기점(splitting point)이 결정되는 원인이 된다고 볼 수 있다.

Figure 7은 수직형 분리 방법에 의한 시뮬레이션 결과이다. 초기에 부압력의 중심점이 기계 진행 방향으로 초기에 존재하다가 점차 뒤 쪽으로 이동하여 속도 분포 등고선과 속도 벡터의 장이 닙의 중심점을 기준으로 대칭을 이루게 된다는 것을 알 수 있다. 이런 현상들은 셀의 중심부에는 약 15% 정도가 이동하는 경향을 보이며, 양쪽의 분리도는 중앙에서부터 50% 정도의 이동현상을 볼 수 있다. 여기서, 두 번째의 모델에서 셀의 중앙부, 즉 피인쇄체 쪽으로 진공이 생기는 점 또는 정지점(stagnation point)이 생긴다는 것을 발견하였다. 이것은 후에 빠른 속도에서 캐비테이션(cavitation)의 핵이 될 수 있으며 잉크의 전이 불량에의 원인이 될 수도 있고, 잉크가 피인쇄체에서 산처럼 건조되는 현상을 가져올 수도 있다.

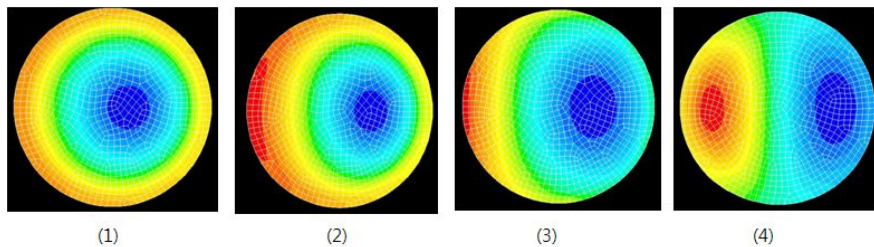


Figure 7. Simulated results of the stagnation point of gravure cell during printing.

잉크의 이동은 피인쇄체의 접선과 셀의 벽 사이에서 45°방향으로 가장 큰 변화를 보여준다. 결국 이 지점이 초기에 잉크를 분열시키는 시발점이 된다고 볼 수 있다. FEM 방식에 의한 시뮬레이션을 할 때, 메시 작업에서 각 원소(element)의 크기는 컴퓨터의

CPU 시간과 정밀도 등에 관련된다. 시뮬레이션결과 알 수 있었던 것은 1×10^{-6} sec일 때 상부 종이에 흡착된 잉크는 상부 종이의 80% 이상의 면적을 차지하게 된다. 이 현상은 유체의 면적이 1/10로 줄어들어, 셀이 잡아당기는 힘에 대한 저항이 약해지기 때문으로 생각된다. 만약 잔류 잉크가 없다면, 즉 잉크가 셀에서 다 빠져나간다면 이상적인 잉크 전이이겠지만 실제로 그라비아 셀에서 잉크는 다 빠져나가지는 않는다.

지금까지 대부분의 연구자들은 그라비아 셀의 시뮬레이션을 Navier-Stokes의 식을 이용하여 2차원으로 계산하였다. 본 연구는 완전한 3차원적인 계산을 할 수 있었는데, 만일 2차원적으로 계산한 결과가 있다면 그런 모델은 밴드 모양의 셀에서 잉크의 공급과 전이를 설명하기 쉬우나 본 연구와 같은 완벽한 3차원적인 시뮬레이션은 궁극적으로 여러 모양의 셀에서 잉크의 거동을 시뮬레이션 하는 것이다. 또한 이 방법은 잉크 필라멘트를 잡아 늘리는 모델로서 일정한 거리에서 잉크가 분리되고, 분리된 잉크가 종이로 전달될 때 현상을 잘 설명할 수 있다.

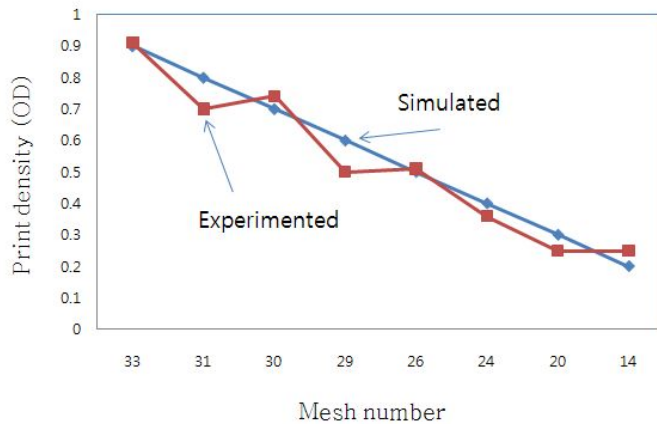


Figure 8. Simulated results and experimented results of ink transferability according to the contact angle between paper and gravure ink.

Figure 8은 각각의 접촉각을 달리한 용지의 표면에 실험한 결과와 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 일반적으로 종이의 접촉각은 종이의 표면 사이징(sizing)이나 종이 표면에 있는 재료들의 물리 화학적인 성질에 따라 변하게 된다. 이러한 특성을 고려하여 시뮬레이션 한 결과 실제 실험과 시뮬레이션 값이 근접하는 결과를 얻었다. 본 연구는 그라비아인쇄에서 종이로 침투되는 잉크의 거동을 예측하는 3차원 시뮬레이션이므로 잉크 전이의 효율성을 검토한 연구이며, 그 결과들이 매우 만족스럽게 여러 가지 측면을 관찰할 수 있게 되었다. 인쇄적성을 높이기 위해서는 그라비아 셀

의 면적으로 고려하였고 차후 속도와 셀 모양 그리고 유체의 물리적 특성 등 다각도의 실험과 시뮬레이션을 하여 비교한다면 그라비아인쇄의 인쇄적성을 연구하는데 매우 중요한 방법이 될 것이라고 생각된다.

4. 결론

그라비아 인쇄에서 잉크가 용지로 전이되어 침투되는 현상을 컴퓨터로 시뮬레이션하였고, IGT 인쇄 적성 시험기에 의한 실험 결과를 비교하였다. 그 결과, 그라비아의 망점이 작고 또 인쇄의 속도가 고속이기 때문에 실험적으로 전이 상태나 메커니즘을 규명할 수 없었던 것을 시뮬레이션에 의해 규명할 수 있었다. 특히 잉크의 정체 현상과 분기점, 밀잉크 밀립 현상 등을 알 수 있었다. 관성과 비 뉴우톤성 모델의 일반식을 적용하여 전이율을 예측할 수 있었으며, 셀 내에서 잉크의 유동 경로 및 잔여 잉크량, 기포 발생 여부, 망점 확대 등을 예측할 수 있었다. 또한 본 연구로 종이와 잉크의 접촉각에 의해 망점의 변화되는 거동을 시뮬레이션 할 수 있었으며, 실험 결과와 시뮬레이션 결과가 5% 이내로서, 미소한 차이 안에서 근접함을 볼 수 있었다. 본 연구 결과는 완벽한 3차원적으로 계산 결과를 확인해 볼 수 있기 때문에 그라비아 해상력 실험 결과와 비교해 볼 수 있으며, 그라비아 셀의 형태, 인쇄 잉크의 점도, 잉크의 조성 그리고 인쇄 기계 상태 조건 등에 따른 전이율의 변화 예측에 이용이 가능할 것으로 사료된다. 현재 전자부품의 인쇄가 점점 스크린에서 그라비아 방식으로 변경되어 짐에 따라, 그라비아 시뮬레이션의 연구가 화상 공학 분야와 화상 응용 분야의 산업 발전에 많은 기여를 할 것으로 기대한다.

사사

“ 이 논문은 2009년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임.(PK-2009-49) ”

참고문헌

- (1) L. W. Schwartz, et. al., Numerical modeling of liquid withdrawal from gravure cavities in coating operation., Trans IChemE, 76(A), pp. 22~28(1998).
- (2) J. M. Brethour and H. Benkreira, Filling and emptying of gravure cells, 11th International Coating Science and Technology symposium, Minesota, USA, pp. 83

~86(2002).

- (3) 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), pp. 21~22(2003).
- (4) L. W. Schwartz, Numerical modeling of liquid withdrawal from gravure cavities in coating operations, 42, pp. 243~253(2002).
- (5) C. L. Boonisz and C. W. Hirt, Unsaturated flow in porous media, Flow Science Inc, TN25R, pp. 7~12(2005).
- (6) J. T. Youn, K. H. Kim and B. T. Kim, Computer simulation for ink transfer from cell onto paper in the gravure, J. Korea Printing Society, Vol. **21**(2), pp. 21~29 (2003).
- (7) S. S. Lee and J. T. Youn, Computer simulation of ink flow in the various type of gravure cell, J. Korea Printing Society, Vol. **23**(2), pp. 59~75(2005).
- (8) M. J. Lee and J. T. Youn, Simulation of ink transfer in the printing nip, J. Korea Printing Society, Vol. **23**(2), pp. 103~115(2005).
- (9) IGT Testing Systems, IGT G1-5 printability tester for gravure inks manual, The Netherlands, pp. 1~3.
- (10) M. R. and H. W, Thermal effect on the penetration of an ink droplet onto a porous medium, European Thermal Sciences Conference, 5th, The Netherlands (2008).
- (11) F. G. Shubert, E. T. Funk, and R. W. Bassemir, A. C. Hamilton, Low shear viscosity of publication gravure inks and its implications, TAGA proceedings, pp. 219~223(1984).