

그라비아 印刷에서 잉크 轉移에 관한 시뮬레이션

윤종태, *김광희, 김병탁

부경대학교 공과대학 화상정보공학부, *부경대학교 기계공학부

Computer Simulation for Ink Transfer from Cell onto Paper in the Gravure

Jong-Tae Youn, Kwang-Heui Kim, Byung-Tak Kim*

Division of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University

* School of Mechanical Engineering, Pukyong National University

Abstract

In gravure printing, all of the ink in the gravure cells does not leave the cell onto the substrate. The ink transfer from plate to paper in the gravure printing was simulated by computer. A few studies have dealt with cell withdrawal with simplified Newtonian flow models however, this work was performed with the non-Newtonian inks with different simulation software.

1. 서 론

그라비아 인쇄의 시초는 1897년에 Klietsch가 발명한 산분식 헬리오 그라비아로서 그 역사가 오래되었으며, 이미 자취를 감추고 있는 활판이나 볼록판 인쇄와는 달리, 현재에도 많은 각광을 받고 있다. 그 이유는 현재 그라비아 인쇄술이 출판 인쇄뿐만 아니라 연포장 및 건축자재, 장판 등의 공산품에 다양하게 이용되기 때문이다. 그라비아 인쇄가 많은 분야에 이용됨에 따라서 현재 인쇄산업에서는 다양한 인쇄기법이 요구되고, 자동화된 포장 방식 및 화려한 사진 인쇄를 요구하게 되었다. 그라비아 인쇄는 연포장 인쇄 특히 라면이나 식품 과자 등의 포장 재료뿐만 아니라 신문, 잡지 인쇄 등에 현재 가장

적당한 인쇄방법으로 알려져 있기 때문에 근년에 이르러 국내에서도 많은 발전을 가져왔다¹⁾.

그라비아 인쇄의 특징은 잉크 cell(또는 pocket)에 잉크를 담아 전이하는 오목판 인쇄 방식이므로 잉크의 전이량이 많고, 착륙량이 많아서 현대감각에 맞는 사진 인쇄가 가능하며, 계조가 풍부하여 다른 인쇄에서는 얻을 수 없는 연속성을 나타낼 수 있다. 또한 자동포장을 하기 위해서는 연속도안을 두루말이로 감으면서 인쇄할 필요가 있으므로, 원통 판으로 된 그라비아 인쇄가 가장 적당한 방법이 된 것이다. 잉크의 건조방식은 레진-솔벤트 잉크를 사용하므로, 플라스틱, 금속, 종이 등 다양한 피인쇄체를 선택할 수 있다. 반면에, 그라비아 인쇄의 단점은 그라비아 실린더의 제판이 어렵고, 제판비가 고가이며, 화선부의 수정이 거의 불가능하기 때문에, 보다 과학적이고 효율적인 그라비아 제판 기술의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 즉, 그라비아 인쇄는 판의 성질상 교정판을 만들 수 없으며, 교정인쇄를 하기 위해서는 본 인쇄와 맞먹는 공정과 비용이 들기 때문에, 다소 교정이 부족하지만 필름 교정으로 대체하는 실정에 있다. 따라서 잉크의 전이 메커니즘을 고려한 제판 기술의 개발이 시급한 실정에 있으나 인쇄의 구조상 메커니즘을 해석하는 것은 현재 대단히 어렵다.

그라비아 인쇄는 가장 깊은 shadow 부분의 cell의 심도가 약 30 μ 정도로서 매우 작고, 일반적으로 낮은 점도의 잉크를 사용하며 고속으로 운전되고 있다. 이런 상황에서 그라비아 인쇄의 메커니즘을 이해하기 위해서는 cell에서 잉크의 유동현상에 관해 알아야 한다. 즉, 잉크가 그라비아 cell 속으로 어떻게 들어가며, 얼마나 들어가고, 또 인쇄할 때 얼마나 나올 것인지, 또는 종이로 얼마나 전이될 것인지를 과학적으로 규명하는 것은 현재 세계적으로 가장 관심을 가지고 있는 사항이다. 그러나 본 연구와 같은 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 방법 외에는 실험적으로 증명하기는 어려운 실정이다. 최근에 이 분야에 대한 중요성을 인식하고 몇몇의 연구자들이 이에 관한 연구를 하였다. 그러나, 우리가 원하는 출판 그라비아와 그 양상이 약간 다르고, 그 결과들은 주로 Newtonian 유체를 가지고 그라비아 코팅에 이용하기 위해 연구한 것이 대부분이다²⁻⁴⁾.

그러나 인쇄잉크는 Non-Newtonian으로 취급되어야 하며, 출판 및 연포장 인쇄용 그라비아의 잉크는 코팅 재료와 그 성질이 다르기 때문에 출판 및 연포장 인쇄용 그라비아에 관한 시뮬레이션을 하고자 하였다. 그라비아인쇄 잉크의 전이율과 전이량의 문제는 그라비아 인쇄에서 가장 중요한 부분이므로 필히 이해되어야 할 문제이다. 따라서 본 연구는 컴퓨터를 이용한 그라비아 잉크의 전이 문제를 컴퓨터에 의해 시뮬레이션 하여 그 메커니즘을 해석하려고 하는데 그 목적이 있다.

2. 시뮬레이션

그라비아 cell의 시뮬레이션은 3-D 와 2-D로 할 수 있는데 본 연구는 CPU 시간을 절약하기 위하여 2-D를 선택하였다. 이 모델은 밴드 모양의 cell에서 잉크의 공급과 전이를 설명할 수 있으나, 궁극적으로는 cavity 모양의 cell에서 잉크의 거동을 시뮬레이션하는 것이다. 또한 이 방법은 잉크 필라멘트를 잡아 늘리는 모델로서 일정한 거리에서 잉크가 분리되고, 분리된 잉크가 종으로 전달 되도록 하였다.

그라비아 코팅의 시뮬레이션에서 잉크와 종이의 접촉각에 대한 영향에 관한 연구 보고가 있으나²⁾ 본 시뮬레이션에서는 잉크가 종이에 완전히 부착되었다고 보고, 오른쪽이 열리는 모델과, 수직으로 상승하는 모델을 채택하였다. 전자는 그라비아 실린더의 곡면 반경을 고려한 것이고, 후자는 그라비아 cell의 크기가 그라비아 실린더에 비해 대단히 작기 때문에 곡면 반경을 무시한 결과가 된다.

잉크는 viscoelastic 유체라고 볼 수 있으며, 주어진 stress에서 주어진 시간 간격으로 응답을 받도록 하였다. stress와 변형은 시간의 함수로 기록되고 단위 strain rate는 1초 동안 적용된다. 흐름 특성을 일정한 strain rate 하에서 하기 위하여 거리의 증가는 시간에 대해 2차 함수로 주었다.

잉크는 근본적으로 종이의 표면 성분과 잉크의 수소 결합에 의해 부착되며 그 이외의 잉크들이 유동물성적인 점탄성 특성과 특히 끈적이는 tack에 의해 부착된다⁵⁾. 그러므로 잉크의 점도와 속도 특히 VVP (점도와 속도의 곱, velocity viscosity product)에 가장 큰 영향을 받을 수 있기 때문에 다음과 같은 조건을 주었다. 초기에 잉크의 유동물성은 총 점도 1 poise로 하였으며, relaxation time 은 0.1 sec, 그리고 Newtonian 점도는 0.1 Pa.s로 주었다. 특별히 다른 연구자들과 달리 관성을 고려하였으며 잉크의 밀도는 1g/cm^2 으로 주었다. 이 시뮬레이션으로 정지한 상태에서 시작하면 시간의 함수로서 stress 변화를 얻을 수 있다.

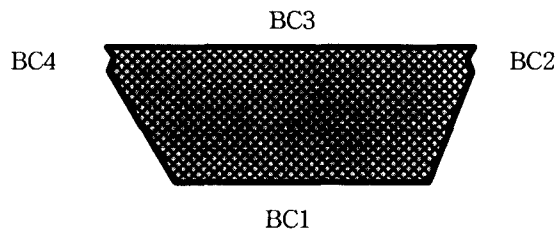


Fig. 1. Boundary condition of gravure cell.

그라비아 cell과 잉크의 모양은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 한 개의 domain으로 하고, boundary condition(BC)을 주었다. BC 1 은 cell의 벽면이며, BC 2 는 nip에서 열리는

오른쪽 부분, BC3 는 종이, 그리고 BC 4는 nip 의 뒷부분으로 하였다. Fig 1은 축대칭으로 만들어서 CPU 시간을 줄일 수도 있으나, 본 인쇄 메커니즘은 대칭으로 만들 수 없는 열리는 부분이 있기 때문에 전체 면의 변형을 계산하였다.

이 모델에서 주목할 만한 것은 잉크가 transient viscoelastic flow를 한다는 점이다. 따라서 이 모델은 single mode relaxation time을 주어 계산하였다. 공기와 잉크의 표면장력은 23 dyne/cm 로 하고, 그라비아 실린더의 회전속도는 23 rad/sec로 주었다. BC2 와 BC4는 free surface로서 잉크의 표면장력과 점탄성에 의해 자유롭게 만들어지는 표면이며, 이 표면은 위에서 잡아당기는 힘에 의해 곡선으로 휘어지는 necking 현상을 보인다. 즉, necking 현상에서 보여주는 가장 가는 부분의 잉크가 끊어진다고 보고, 이 결과에 의해 잉크의 전이량과 전이 상태를 알 수 있다. 소프트웨어는 Fluent 사의 polyflow (version 3.9)를 사용하였으며, 초기 조건은 다음과 같다.

- (1) 작업 : Transient flow
- (2) 부작업 : Differential viscoelastic isothermal flow
- (3) 첫 번째 점탄성 모드 : Oldroyd model : 점도 0.1부터, relaxation time 0.05부터 그리고 비율 0.01부터 주었다.
- (4) 관성 : 고려했다.
- (5) 속도 증가 = 2차 식으로 주었다.
- (6) Re-meshing : Global re-meshing, Lagrangian method
- (7) Numerical parameter 는 상한선을 0.1로 주고, tolerance를 0.1로 각각 주었다.

3. 결과 및 고찰

그라비아 실린더로부터 종이가 분리되는 것은 곡선모양으로 그 속도가 증가하는데, 인쇄에서는 고체 실린더의 상에서 유연하고 압축성이 있는 용지가 끼어 있어서 정확히 속도증가의 모양을 예측할 수 는 없다. 그러나 이에 관한 이론 중에서 가장 보편적인 것은 2차 함수적인 증가 방법이다. 본 연구에서 잉크의 일부분이 용지로 전달될 때 변위와 속도는 Fig. 2와 같이 되었다. 이 변위는 본 연구에서 사용한 Lagrangian 방법에 의한 것인데 결과는 아주 적은 편차만이 있음을 확인할 수 있었다. 이 작은 편차는 속도에 대한 수학적 적분을 수행할 때 발생한 것으로서 본 연구의 결과에 미치는 영향은 미미할 것이다.

Fig. 3의 그림(A)와 그림(C)는 mesh file으로서 잉크가 분리되기 시작하는 모양이며, 그림(B) 와 그림(D) 는 그들의 속도 벡터이다. 그라비아 인쇄에서 인쇄되는 순간과 그라비아 cell과 초기에 잉크가 분리되기 시작하는 지점에서 피인쇄체가 cell 속에 있던 잉크

의 표면과 접촉하여 나올 때는 다음과 같이 두 가지로 생각할 수 있다.

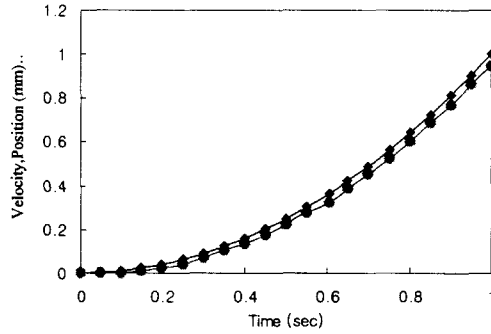


Fig. 2. Displacement and velocity of the moving paper in gravure.

(◆ : position, ● : velocity)

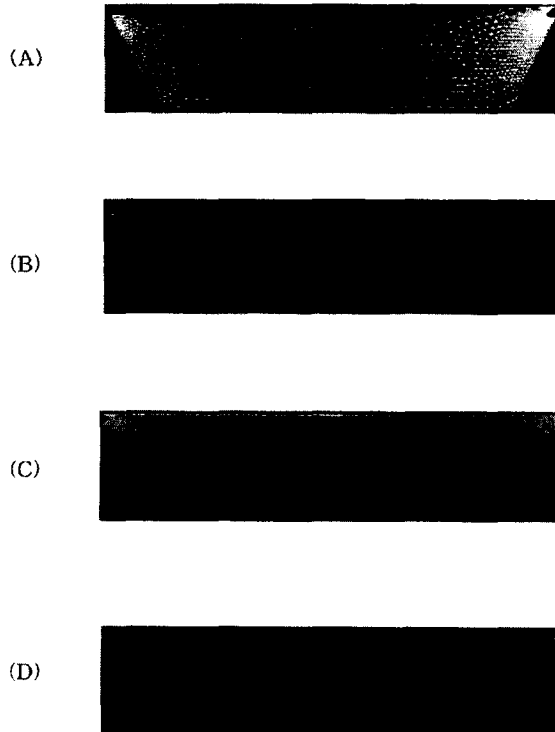


Fig. 3. Two dimensional mesh and the simulated results of initial state of a transferring gravure ink. The transfer roll surface is moving away from the plate cylinder at 0.5 m/sec (A and B) and 1 m/sec (B and C). A and C are the results of velocity profile, and B and D are the results of velocity vector.

첫 번째는 cell과 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.

Fig. 3의 그림 (A)와 그림 (B)는 첫 번째 모델과 같이 한 쪽이 열리는 모델을 시뮬레이션한 결과이다. 그림(A)는 속도분포의 등고선으로서 오른쪽의 속도가 왼쪽 보다 약 6 배 정도 빠르게 흐르는 것을 볼 수 있었다. cell의 바닥과 높이의 비는 5:1 로서 0.1 μ 이 이동할 때까지 오른쪽은 70% 정도의 이동을 보이고 있으나, 왼쪽은 15% 정도까지 잉크가 유동하는 것을 알 수 있었다. 그림(B)는 속도 벡터로서 잉크의 이동 방향과 크기를 알 수 있다. 예측했던 대로 nip에서 열리는 부분으로 빠른 속도벡터의 장이 형성되며, 이것이 결국 그라비아 잉크가 분열하고 분기점(splitting point)이 결정되는 원인이 된다고 볼 수 있다.

한편 그림(C) 와 그림(D)는 수직형 분리방법으로서 속도분포 등고선과 속도 벡터의 장이 nip의 중심점을 기준으로 대칭을 이루고 있다. Cell 의 중심부에는 약 15 % 정도가 이동하는 경향을 보이며, 양쪽의 분리도는 중앙에서부터 50 % 정도의 이동현상을 볼 수 있다. 여기서, 두 번째의 모델에서 cell의 중앙부, 즉 피인쇄체 쪽으로 진공이 생기는 점 또는 정지점(stagnation point)이 생긴다는 것을 발견하였다. 이것은 후에 빠른 속도에서 cavitation의 핵이 될 수 있으며 잉크의 전이 불량인 원인이 될 수도 있고, 잉크가 피인쇄체에서 산처럼 건조되는 현상을 가져올 수도 있다.

잉크의 이동은 피인쇄체의 접선과 cell의 벽사이에서 45° 방향으로 가장 큰 변화를 보여준다. 결국 이 지점이 초기에 잉크를 분열시키는 시발점이 된다고 볼 수 있다.

FEM 방식에 의한 시뮬레이션을 할 때, mesh 작업에서 각 element의 크기는 컴퓨터의 CPU 시간과 정밀도 등에 관련된다. 본 연구에서 사용한 Solaris SPARC 컴퓨터를 가지고 1200 elements의 한 단계 처리 시간은 약90분이었다.

Fig.4 은 최초 분리하기 시작하여 cell 의 직경만큼 떨어졌을 때의 결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서 우리는 피인쇄체에 전이된 잉크가 균일하게 부착되는 것이 아니고, 한번 또는 두 번의 파동을 보인다는 것을 알 수 있었다.

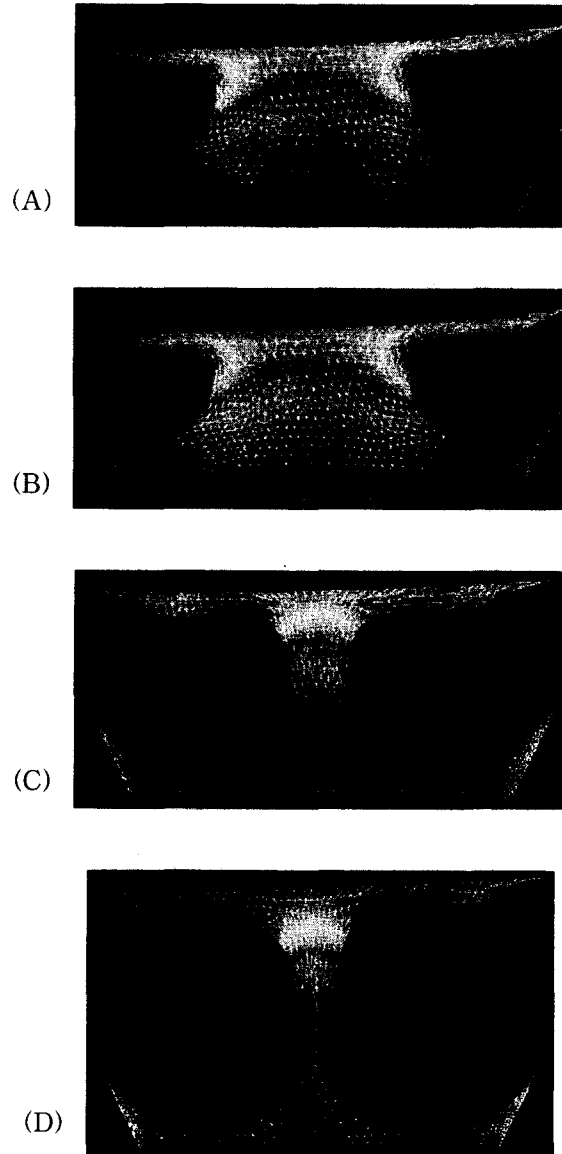


Fig. 4. Two dimensional view of a transferring gravure ink. The transfer roll surface is moving away from the plate cylinder at 0.5 m/sec. Nip was opening and ink viscosity was 0.1 Pa.s.

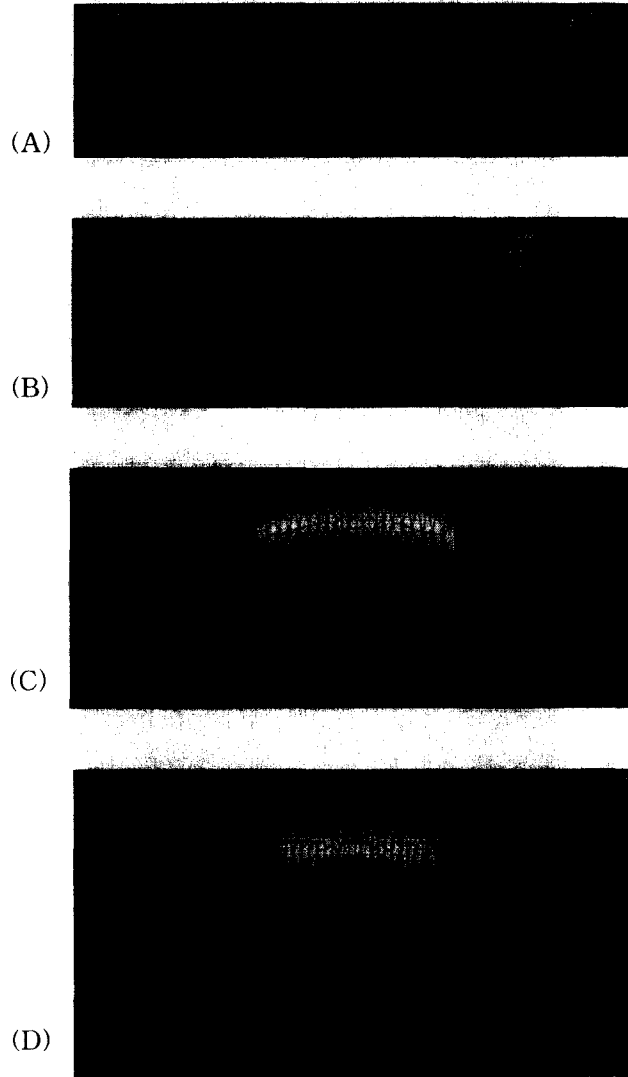


Fig. 5. Two dimensional view of a transferring gravure ink. The transfer roll surface is moving away from the plate cylinder at 1 m/sec. Nip was opening and ink viscosity was 5 Pa.s.

이것이 결국 인쇄물에 어떤 영향을 줄 것인지는 차후의 연구과제가 될 것이다. 한편 Fig 5는 점도가 상대적으로 높은 5 Pa.s의 잉크를 시뮬레이션한 결과이다. 이 때 잉크의 전이는 계속적인 늘어남(elongation) 으로 filament 가 생기게 되고 전이량은 줄어드는 결과를 보여준다. 물론 실제 인쇄에서는 이와 같이 극단적인 고점도의 잉크를 사용하지

는 않겠지만 고점도 잉크를 사용할 경우에 대한 결과를 예측해 볼 수 있는 자료로 사료 된다.

4. 결 론

그라비아 인쇄에서 그라비아 잉크는 완전히 cell을 빠져나오지 않는다. 이것은 그라비아 인쇄의 전이량에 관련되며, 그라비아의 망점이 수 μ 이고 또 인쇄의 속도가 고속이기 때문에 실험적으로 전이상태나 메커니즘을 규명할 수 없다. 따라서 우리는 컴퓨터에 의한 그라비아 잉크의 전이를 시뮬레이션 하였으며, 이 때 관성과 Non-Newtonian의 일반식을 적용하였다. 그 결과 전이율을 예측할 수 있었으며, stagnation point, cell 내에서 잉크의 유동 경로 및 잔여 잉크량 등을 예측할 수 있었다. 본 연구결과는 차 후 그라비아 해상력 실험 결과와 비교 해 볼 수 있으며, 그라비아 cell의 형태, 인쇄잉크의 점도, 잉크의 조성 그리고 인쇄 기상 조건 등에 따른 전이율의 변화 예측에 이용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 신재성, 그라비아 인쇄와 연포장기술, 인쇄계사 출판국, pp. 1~50 (1998).
- 2) J. M. Brethour, and H. Benkreira, Filling and emptying of gravure cells, 11th International Coating Science and Technology symposium, pp. 83~86, Minesota, USA (2002).
- 3) L. W. Schwartz et. al., Numerical modeling of liquid withdrawal from gravure cavities in coating operation., Trans IChemE, **76(A)**, pp. 22~28 (1998).
- 4) V. E. Dussan and S. H. Davis, On the motion of the fluid-liquid contact line, J. colloid Interface Sci. **35**, 85 (1971).
- 5) 윤종태, “인쇄공학” 4판, 부산공업대학교 출판부, pp. 121~125 (1994).
- 6) J. T. Youn and D. W. Bousfield, Filament dynamics in steady stretching and cyclic test, Minesota, USA, pp. 186~189 (2002).