

# 컨벤셔널 그라비아의 셀 내부에서 잉크유동 시뮬레이션

임수만<sup>†</sup>, 윤종태, \*김광희

<sup>†</sup>부경대학교 공과대학 화상정보공학부, \*부경대학교 공과대학 기계공학부  
(2007년 4월 27일 접수, 2007년 5월 23일 최종 수정본 접수)

## Computer Simulation of Ink Flow in the Conventional Gravure Cell

*Soo-Man Lim<sup>†</sup>, Jong-Tae Youn, Kwang-Heui Kim\**

<sup>†</sup>Division of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University,

\* Mechanical Engineering, College of Engineering, Pukyong National University

(Received 27 April 2007, in final from 23 May 2007)

### Abstract

In gravure printing, the amount of ink fill into the cells has a great effect on the qualities of final printed products. And printability of final products is determined by every kinds of variables. Ink transfer process is not verified scientifically because gravure cell is small and printing speed is rapid. In order to understand the ink transfer mechanism of conventional gravure, this study is performed using the Computational Fluid Dynamics Evaluation. Flow-3D simulation software is used for considering of Newtonian flow. Among the various factors, this study have dealt with gravure cell types used computer simulation in order to define distinctive features in ink flow in the cell. The results of simulation, it defined the distribution of pressure, speed, stream function, viscosity, shear rate, surface tension during the gravure printing. It is founded out the difficulties and characteristics according to the printing speed and viscosity of Gravure ink.

## 1. 서 론

지금까지 그라비아인쇄는 포장이나 장판, 벽지 등의 인쇄에 이용되었으나 최근에 와서 그라비아인쇄는 전자 부품의 제조 인쇄에 응용됨에 따라서 고도의 정밀한 기술로 자리매김을 하는 단계에 있다. 그러나 아직 그라비아인쇄에 관한 메커니즘의 해석이나 유동 특성 등에 관한 유체역학적 해석은 미진한 실정이다.

그라비아인쇄는 화상(畫像)이 판통위에 음각(陰刻)되어 있고 음각된 셀(cell) 안에 잉크를 채워 넣은 후 피인쇄체에 전이한다. 음각된 셀에 잉크를 담아서 전이하기 때문에 잉크의 전이량이 많다. 따라서 화상 농담의 재현성이 뛰어나고 계조(階調)가 풍부하며 다른 인쇄에서는 얻기 어려운 연속성을 나타낼 수 있기 때문에 현대 감각에 맞는 사진조(寫眞調) 인쇄에 매우 적합하다. 그라비아인쇄에 사용되는 잉크는 저점도 잉크로 유동성이 풍부하고 속건성이기 때문에 고속인쇄가 가능하다.<sup>1)</sup>

블록판 인쇄와 오프셋 인쇄용 잉크에는 택(tack)<sup>2)</sup>이 필요해서 인쇄용지의 뜯김의 원인이 되므로 뜯김이 많은 종이에 인쇄는 불가능하다. 하지만 그라비아인쇄에서는 용제형 잉크를 사용하기 때문에 끈기가 불필요하고 뜯김은 일어나지 않는다. 이런 잉크의 특성상 플라스틱, 금속, 종이, 수지, 유리, 각종 옷감 등 대부분의 피인쇄체에 인쇄가 가능하기 때문에 인쇄의 응용 범위가 넓다.

반면 그라비아인쇄는 실린더에 화상을 직접 새겨 넣는 것이기 때문에 실린더의 제판에 어려움이 있고 제판비가 고가인 단점이 있다. 또, 한번 제판을 하면 수정이나 교정인쇄가 거의 불가능하고, 수정이 가능하다 하더라도 매우 고가이기 때문에 현실적으로 교정이 불가능하다고 볼 수 있다. 따라서 보다 과학적이고 효율적인 그라비아 제판기술의 개발과 그라비아인쇄에서의 잉크 전이 메커니즘(mechanism)에 대한 연구가 필요한 실정이다. 하지만 그라비아 셀의 크기가 너무 작고 잉크 전이 또한 순간적으로 일어나는 현상이기 때문에 육안으로 그라비아 셀 안에서 잉크의 유동을 알아보는 것은 거의 불가능하다.<sup>3)</sup> 따라서 잉크의 유동은 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulation)에 의한 방법으로 연구하는 것이 가장 효율적인 방법이다.<sup>4),5),6),7)</sup>

인쇄과정 중 그라비아의 셀에 잉크를 채우는 과정과 인쇄판에서 피인쇄체로의 잉크 전이는 그라비아인쇄 프로세스 중 가장 중요한 두 가지 부분이다. 이와 같은 두 가지 전이 현상에 영향을 미치는 요소는 여러 가지가 있다. 본 연구는 그라비아 잉크가 셀에 채워질 때 셀 안에서의 잉크 거동에 관한 연구를 한 것이다. 그 중 그라비아 실린더의 제판이 힘들고 어렵기 때문에 그라비아의 제판에 초점을 두고, 특히 그라비아 셀의 특징에 따라 셀 내부의 잉크유동을 해석하고자 하였다.

이에 관한 연구는 1975년 Kunz에 의해 이루어진바 있지만 Kunz는 직접 셀을 가공하

여 실험적 방법에 의해 결과를 확인하였고 셀 속에서의 잉크 유동의 모습은 볼 수가 없었다. 따라서 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 그라비아 셀의 형태에 따른 그라비아 셀 속에서의 잉크 유동을 연구하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 소프트웨어

시뮬레이션은 복잡한 문제를 해석하기 위하여 모델에 의한 실험 등을 해결하는데서 실제와 비슷한 상태를 수식 등으로 만들어 모의적(模擬的)으로 연산(演算)을 되풀이하여 그 특성을 파악하는 일을 말한다.

시뮬레이션은 많은 분야에서 널리 사용되고 있으며 그 종류도 여러 가지가 있다. 그 중 Flow-3D는 세계 최초로 VOF (volume of fluid) 법을 실용화하여 유체역학에서 비산 및 wave breaking같은 복잡한 자유표면운동을 기술하는 방법으로 알려져 있다. 이런 방법을 소위 favor method라고 하는데 이와 같은 방법을 이용하면 자유표면 포착, 열전달 계산, 응고현상 수치모사의 정확성을 기할 수 있다.

유체역학 시뮬레이션 소프트웨어인 Polyflow 를 이용하여 이와 유사한 연구를 수행한 적이 있으나, Polyflow 는 FEM(Finite Element Method) 방법으로서 Flow-3D와는 전혀 다른 목적으로 이용될 수 있다.

### 2-2. 시뮬레이션

그라비아 셀은 총 4가지의 형태로 시뮬레이션 하였고 각 셀의 형태에 따른 잉크의 유동을 해석하였다. 시뮬레이션 소프트웨어는 Flow Science사에서 제공하는 FVM 방식의 Flow-3D (version 9.1)를 사용하였다.

셀 내부의 잉크유동의 시뮬레이션을 하기 위해 실제 인쇄 현상에 맞는 물리적인 특성을 설정하였고 이 후 6면체의 메쉬(mesh)를 설정하여 각 면에서의 경계조건(boundary condition)을 주었다. 완성된 input data를 시뮬레이션 하기 위한 작업을 실행하였고 계산이 끝난 값은 display mode를 통해 셀 내부의 유동을 확인하였다.

Fig. 1은 본 실험의 모식도 이다. 그라비아용 저점도 잉크가 독터의 진행 방향으로 그라비아 판을 긁게 되고 셀 부분에서 잉크가 채워지는 것을 나타낸다. Fig. 1에서 독터 날이 BC 1을 지날 때 각 셀 모양에 따른 잉크 내부의 채움 현상을 볼 수 있다. 또한, BC 2와 BC 3는 자유경계면(free surface)으로서 잉크의 표면장력과 점탄성에 의해 자유롭게 만들어지는 표면이다. 셀 안에 채워진 잉크는 실제 위에서 잡아당기는 힘에 의해 휘어지게 되며 이때 가장 가는 부분의 잉크가 끊어져 네킹(necking)현상이 생긴 뒤에 잉

크가 분리되고, 분리된 잉크가 종이로 전달된다. 이 자유표면 변화의 결과를 통해 잉크의 전이 메커니즘을 해석할 수 있다.<sup>8),9)</sup>

시뮬레이션 전체적인 작업은 실제 그라비아인쇄 시간을 고려하여  $2.67 \times 10^{-4}$  sec로 하였고 물성으로 bubble and phase mode 와 표면 장력 23 dyne/cm 그리고 viscosity and turbulence mode를 적용하였다. 잉크의 점도는 0.01 poise를 기준으로 변화시켰으며, 독터의 각도는 45°이고 그라비아인쇄의 속도는 120 cm/sec를 기준으로 하였다.

유체의 온도변화 및 이동변화를 고려하였다. Fig. 2는 실제 시뮬레이션을 하였을 때 나타내어지는 삼차원 그림이다.

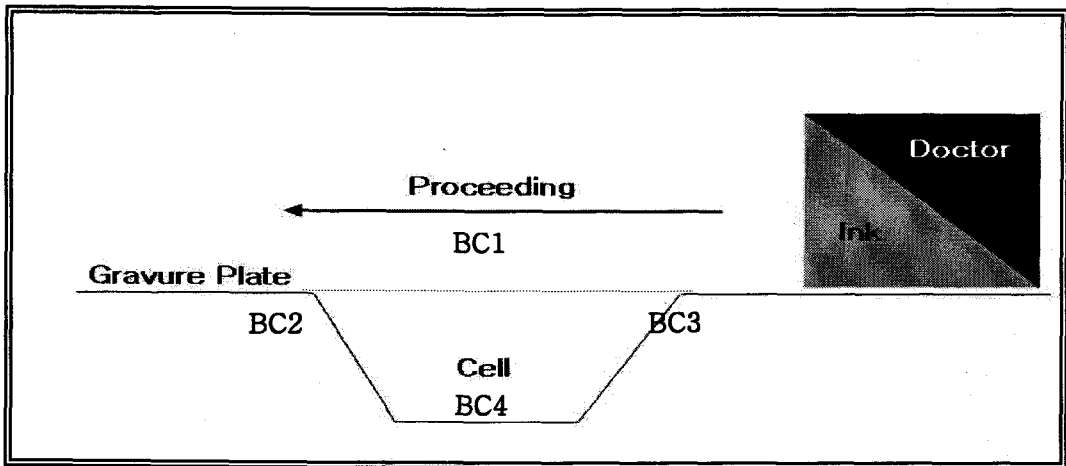


Fig. 1. Schematic diagram of gravure mechanism.

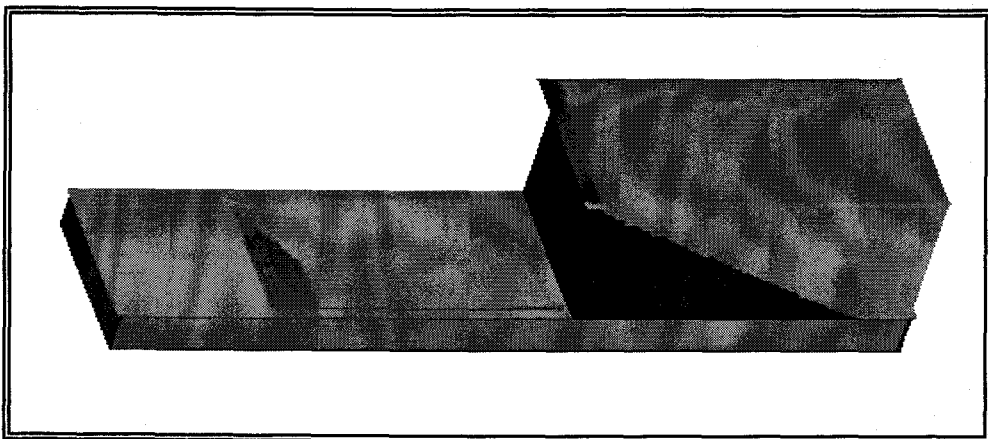
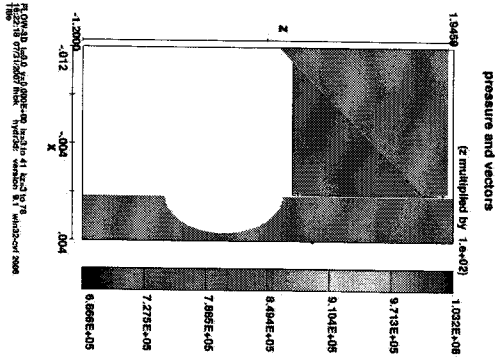


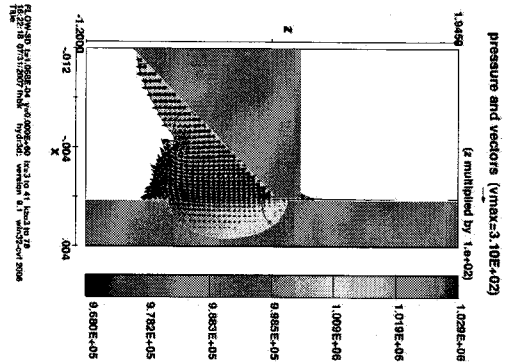
Fig. 2. Three dimensional view of gravure processing.

### 3. 결과 및 고찰

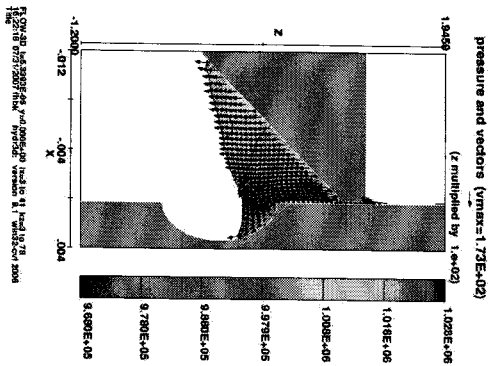
Fig. 3 ~ Fig. 6은 spherical type, rectangular type, pyramidal type, conical type을 시뮬레이션한 결과로 시간에 따른 잉크의 유동 모습이다. 각각의 color scale은 압력분포를 의미하며 적색일수록 압력이 높다(흑백 인쇄에서는 톤의 정도에 따라 달라진다). 네 가지의 결과에서 공통적으로 잉크의 압력, 이동 방향과 크기를 알 수 있었다. 초기 잉크가 BC 3을 지날 때 4 type 모두 빠른 벡터의 장이 형성되고 독터가 BC 1을 지나면서 셀의 따른 각기 다른 잉크 채움 현상이 일어나 각 벡터의 장은 달라지며, 독터가 경계면을 벗어나면 급속히 느려지게 된다. 또한, 초기 잉크의 침투는 BC 3의 각에 따라 달라짐을 알 수 있다.



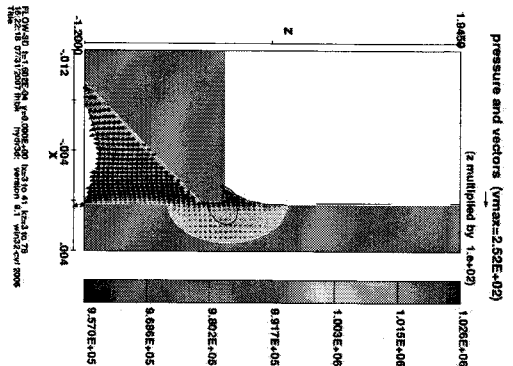
(a)  $t = 0$



(b)  $t = 5.34 \times 10^{-5}$



(c)  $t = 1.06 \times 10^{-4}$



(d)  $t = 1.60 \times 10^{-4}$

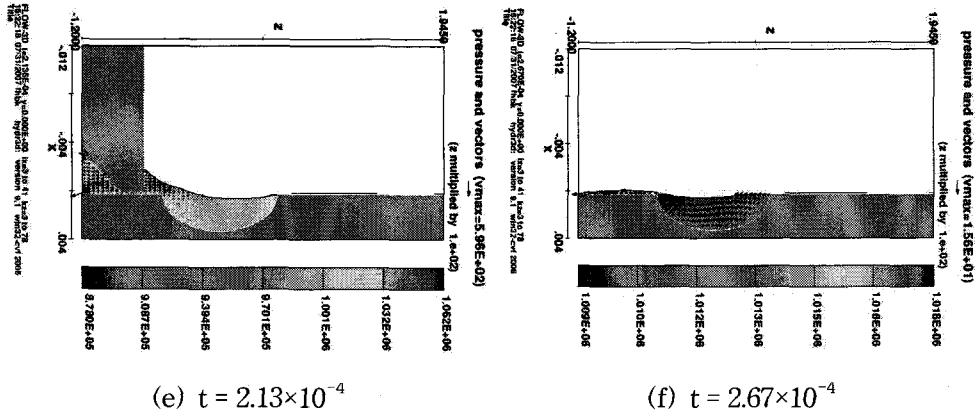


Fig. 3. Spherical type of gravure cell (Blue is zero pressure and red is high pressure).

Fig. 3은 spherical type의 gravure cell의 형상에서 잉크 채움을 시뮬레이션 한 결과이다.  $t = 1.062 \times 10^{-4}$ 에서 독터가 완전히 셀을 지나갔을 때, 채워진 잉크는 중앙부가 다소 오목한 형태가 되어 93%의 셀 체적에 따른 잉크체적비로 나타난다. Rectangular type, pyramidal type과 비교하면 상대적으로 평면인 모습을 볼 수 있다. 이러한 현상은 잉크의 점도가 낮고 속도가 빠를수록 심화될 것이라고 사료되고 셀의 체적과도 연관이 있다. 실제 그라비아인쇄는 잉크 채움이 일어나는 동시에 인쇄가 이루어지므로 이러한 현상이 심화 될수록 하이라이트나 미세 농담표현에 있어서 문제가 된다.

Fig. 4는 rectangular type을 시뮬레이션한 결과로 시간에 따른 잉크의 유동 모습이다. 잉크의 속도 분포를 살펴보면 다른 세 type과는 달리 BC 4의 경계면에서의 잉크 침투 모양이 타원형을 이루고 있다. 경계면의 각이 직각을 이루어 잉크가 벽을 타고 유동하기에 어렵기 때문이라고 사료된다. 한편,  $t = 2.67 \times 10^{-4}$ 에서 잉크 채움은 85% 정도로 불안정하다. 원인은 앞서 언급했듯이 빠른 독터 속도와 낮은 점도로 잉크의 유동 안정화가 쉽게 이루어지지 않는 것이며 또한 셀의 체적비도 커서 잉크 채움에 방해 요소로 작용하는 공기가 크게 작용하기 때문이라 생각된다. 해결 방법으로는 속도를 줄이거나 점도 값을 크게 하거나 혹은 같은 조건에서 셀의 체적을 줄이거나 BC 2, 3과 BC 4가 이루는 아랫 각을 줄여 잉크 침투에 용이하게 하는 방법을 생각할 수 있다.

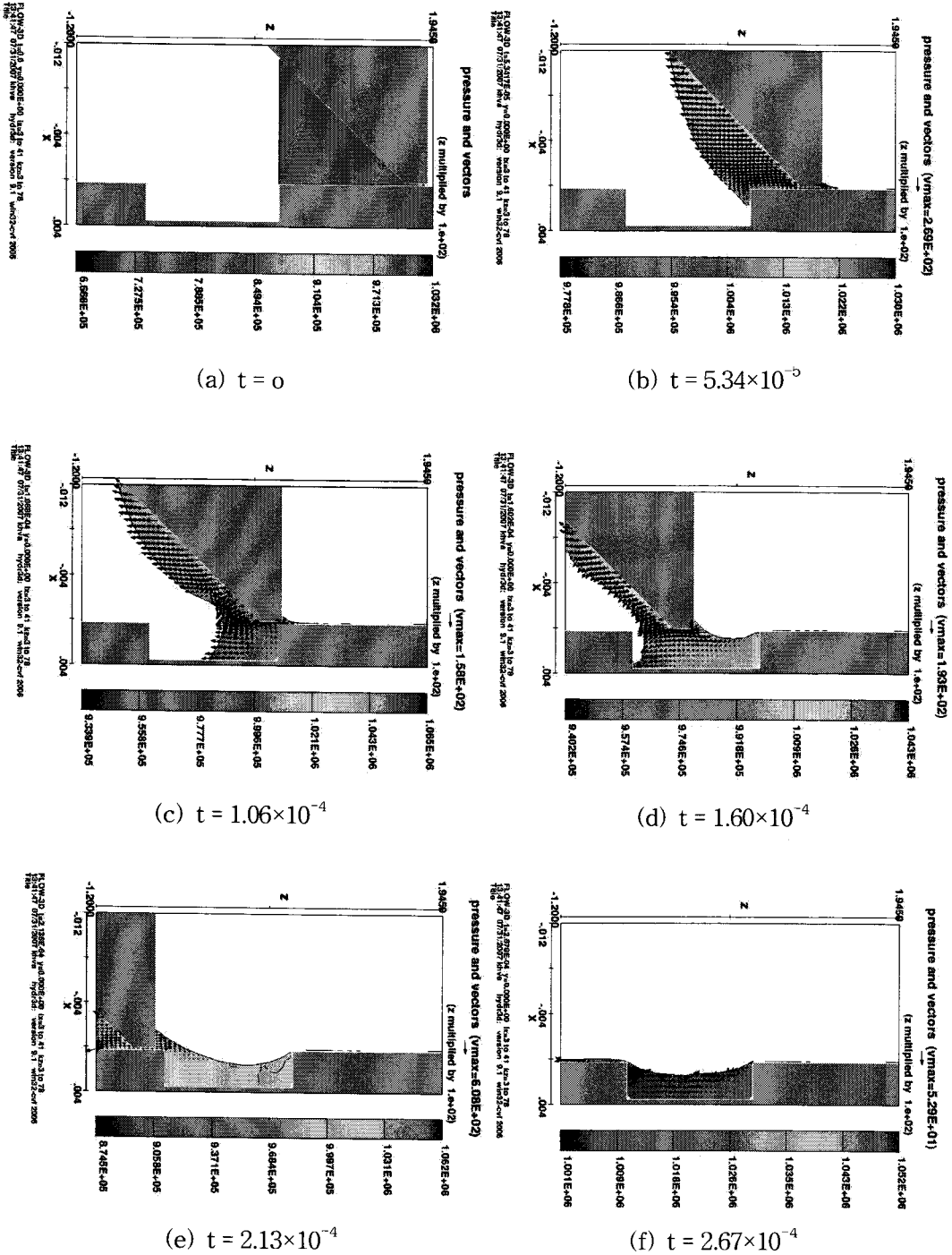
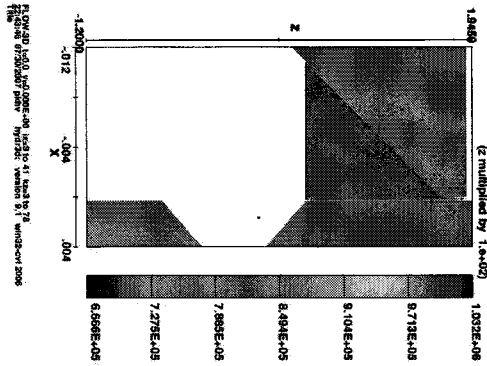
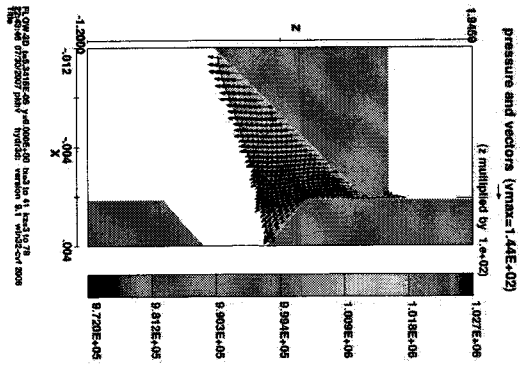


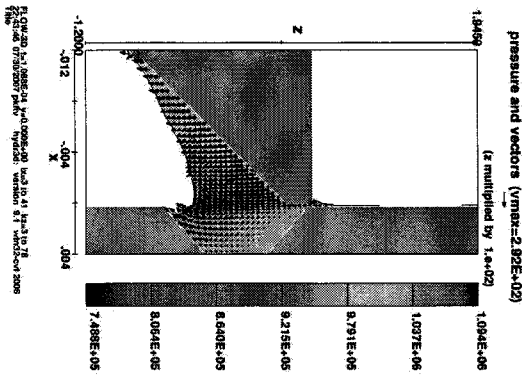
Fig. 4. Rectangular type of gravure cell (Blue is zero pressure and red is high pressure).



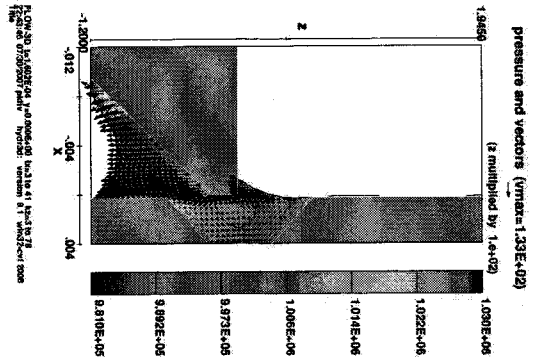
(a)  $t = 0$



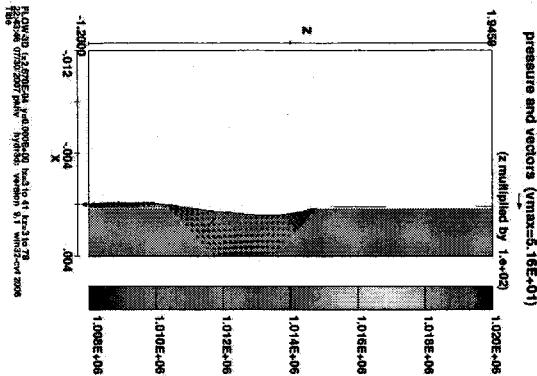
(b)  $t = 5.34 \times 10^{-5}$



(c)  $t = 1.06 \times 10^{-4}$



(d)  $t = 1.60 \times 10^{-4}$



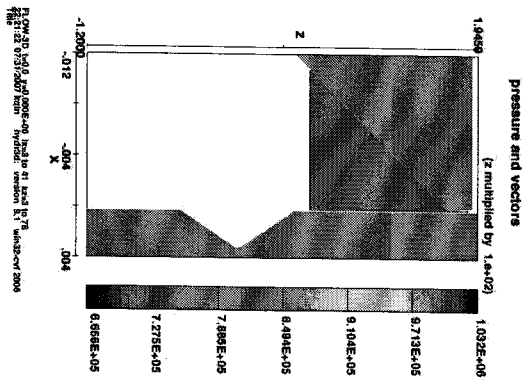
(e)  $t = 2.13 \times 10^{-4}$

Fig. 5. Pyramidal type of gravure cell (Blue is zero pressure and red is high pressure).

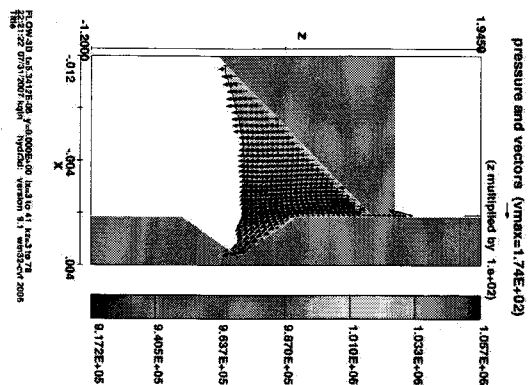


Fig. 5는 pyramidal type을 시뮬레이션한 결과로 시간에 따른 잉크의 유동 모습이다. rectangular type과의 차이점은 BC 2, 3과 BC 4가 이루는 경계각이  $45^\circ$ 이다. 같은 속도와 점도 및 인쇄환경을 가정하면 잉크 채움을 보았을 때, 92%로 양호하다. 한 편,  $t=2.670 \text{ E}-4$ 에서 셀 안의 잉크유동은 rectangular type의 벡터와 비교하면 매우 안정되어 있다. 즉, 잉크 표면의 유동보다는 내부의 유동으로 힘이 작용하고 이것은 인쇄시 잉크의 표면이 종이에 접촉되기 때문에 상대적으로 안정된 인쇄가 이루어 질 것이라 사료된다.

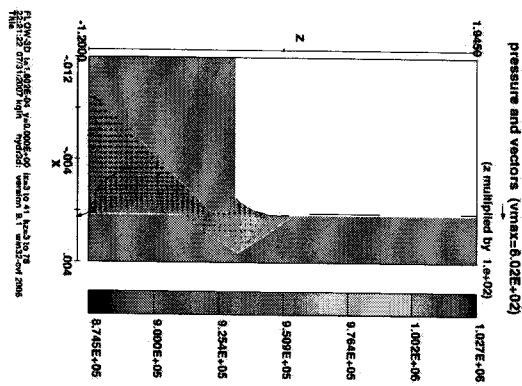
Fig 6은 conical type을 시뮬레이션한 결과로 시간에 따른 잉크의 유동 모습이다. 결과 에도 알 수 있듯이  $t=2.67 \times 10^{-4}$ 에서 전체 4 type중 잉크 유동이 가장 안정화 되어 있음을 알 수 있다. 잉크 채움 또한 98%로 피인쇄체로의 잉크 전이에 긍정적인 영향을 미치리라 생각된다. 원인을 생각해보면 4 type과 비교하여 상대적으로 공기의 반작용이 작기 때문이다. 단지, 잉크 채움만 현상만을 고려한다면 conical type이 가장 효율적이라고 할 수 있다.



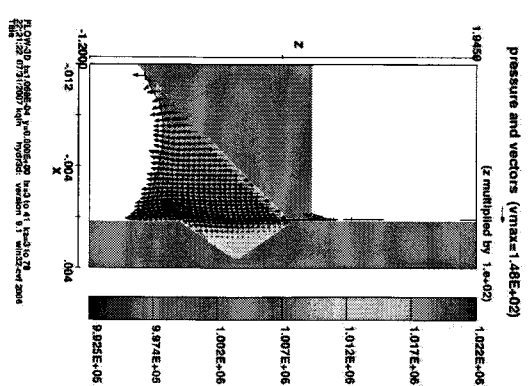
(a)  $t = 0$



(b)  $t = 5.34 \times 10^{-5}$



(d)  $t = 1.60 \times 10^{-4}$



(c)  $t = 1.06 \times 10^{-4}$

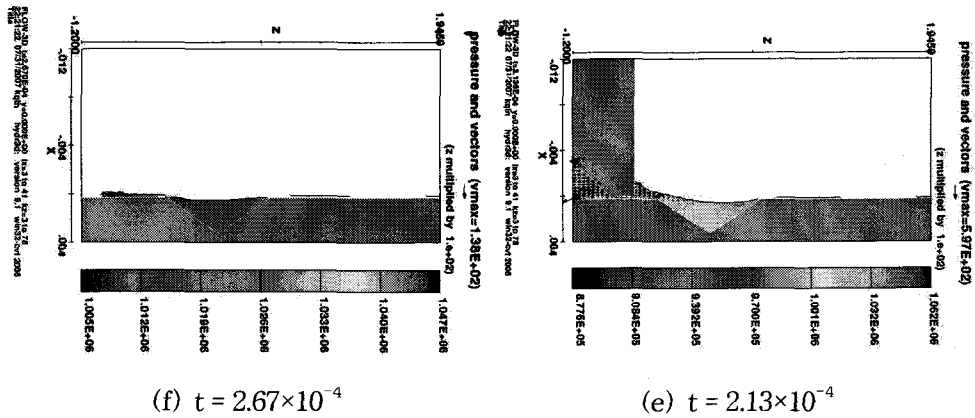


Fig. 6. Conical type of gravure cell (Blue is zero pressure and red is high pressure).

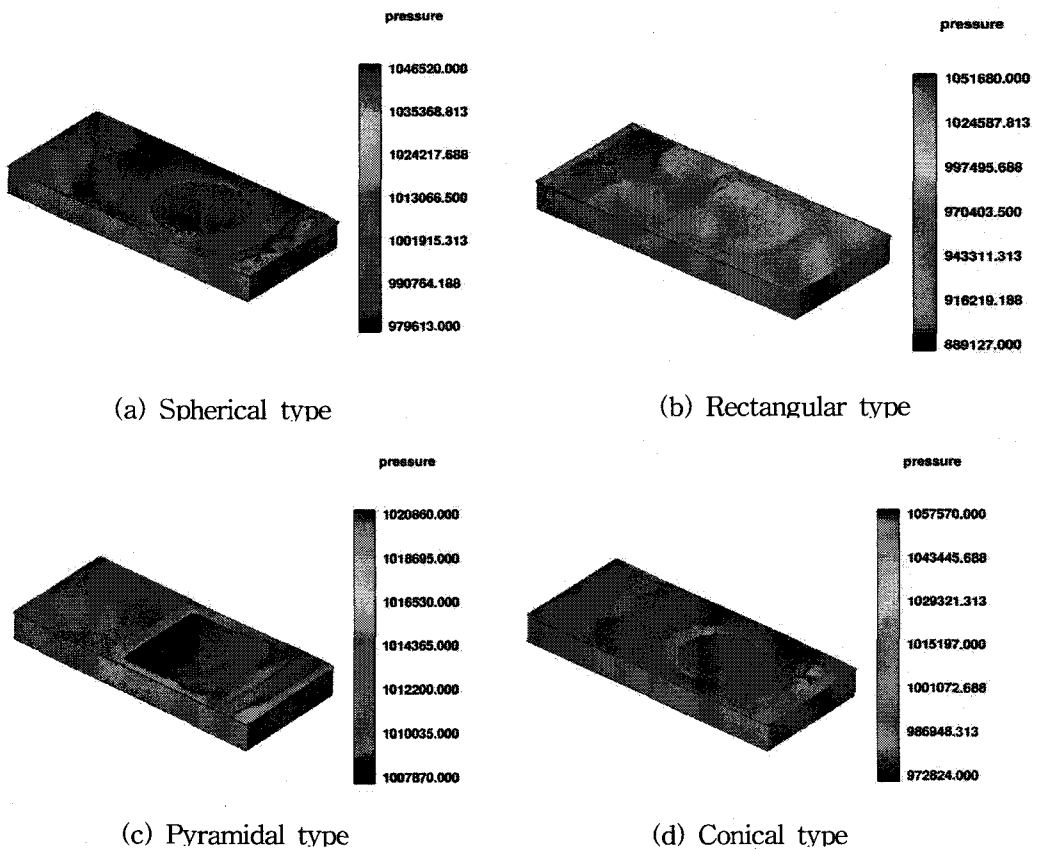


Fig. 7. Three dimensional view of gravure cell at  $t = 2.67 \times 10^{-4}$  (Blue is zero pressure and red is high pressure).

Fig. 7은  $t = 2.67 \times 10^{-4}$ 에서 셀 안의 잉크 채움을 3D로 나타낸 것이다. Rectangular type을 제외한 3 type은 잉크 유동이 안정화 되어 있다. 4 type의 공통된 특징은 잉크 채움 후 잔류 잉크의 존재인데 독터의 각과 속도에 영향이 있을 것으로 사료되고 각을 작게 하여 인쇄압을 크게 할수록 잔류 잉크의 양은 줄어들 것으로 생각된다.

## 4. 결 론

그라비아인쇄는 셀의 크기가 너무 작고 인쇄가 고속으로 이루어지기 때문에 육안으로 셀 안의 유동 특성을 파악하는 것은 불가능하다. 따라서 그라비아 셀의 형태에 따른 잉크 유동 현상을 컴퓨터 시뮬레이션 하여 가시화 시킨 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 시각적으로 확인할 수 없었던 그라비아 셀의 형태에 따른 잉크의 침투 모양을 알 수 있었고, 잉크가 채워지는 양상 또한 다르게 나타남을 볼 수 있었다.
2. 그라비아 셀의 잉크 채움만을 고려한다면 conical type의 셀이 가장 좋으나 실제 인쇄는 용도가 다양하기 때문에 절대적일 수는 없다.
3. 그라비아 셀의 경계각에 따라 잉크 침투 모양에 미치는 영향을 확인할 수 있었다.
4. 셀의 채적이 작을수록 잉크 채움이 고르게 일어남을 알 수 있었다.

따라서 인쇄의 조건과 특성에 알맞은 셀 형태를 찾아 인쇄를 하는 것이 제안되고 시뮬레이션을 이용하여 더 과학적이고 효율적인 연구가 그라비아인쇄에서 잉크 전이에 대한 해석이 용이함을 알 수 있었다. 앞으로 이와 같은 시뮬레이션 프로그램을 사용한 연구를 통해 그라비아인쇄의 발전할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- (1) 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*, 219 ~ 223 (1984).
- (2) Y. Xiang and D. W. Bousfied, Influence of Coating Structure on Ink Tack Dynamics, *J. Pulp and Paper Science*, **26**, 221 ~ 227 (2000).
- (3) H. F. George and W. N. Welch, Quantitative Measurement of Gravure Ink Transfer, *Taga proceedings*, 144 ~ 150 (1978).
- (4) 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).

- (5) 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*, **21(2)**, 21 ~ 29 (2003).
- (6) S. S. Lee and J. T. Youn, Computer Simulation of Ink Flow in the Various types of Gravure Cell, *J. Korea Printing Society*, **23(2)**, 59 ~ 75 (2005).
- (7) M. J. Lee and J. T. Youn, Simulation of Ink Transfer in the Printing Nip, *J. Korea Printing Society*, **23(2)**, 103 ~ 115 (2005).
- (8) J. T. Youn, Introduction of Printing Science, Chapter 4, pp.73~76, Pukyong National University, South Korea, (1997).
- (9) M. I. Kolte and P. Szabo, Capillary Thinning of Polymeric Filaments, *The Society of Rheology Inc.* 609 ~ 625 (1999).