

그라비아 셀의 형태에 따른 잉크 유동 시뮬레이션에 관한 연구

이순심[†], 윤종태

[†]부경대학교 대학원 인쇄공학과, 부경대학교 공과대학 화상정보공학부
(2005년 10월 12일 접수, 2005년 11월 11일 최종 수정본 접수)

Computer Simulation of Ink Flow in the Various Types of Gravure Cell

Soon-Sim Lee[†], Jong-Tae Youn

[†]Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School, Pukyong National University,
Division of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University
(Received 12 October 2005, in final from 11 November 2005)

Abstract

In gravure printing, the amount of ink from cells has a great effect on the qualities of final printed products. And printability of final products is determined by every kinds variables. Ink transfer process is not verified scientifically because gravure cell is of small size and print speed is rapid. Therefore in order to study of ink transfer mechanism, this study is using the Computational Fluid Dynamics Evaluation. Polyflow 3-10 simulation software is used for considering of non-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 and transfer. The results of simulation, it defined the distribution of pressure, speed, stream function, viscosity, shear rate during the gravure printing. It is fined out the difficulties and characteristics according to the shape of cell types. Through this study, the condition of gravure printing is depending on the print condition and characteristic of cells.

1. 서 론

상품이 다양해짐에 따라서 그 포장방법도 복잡해지고, 더 좋은 것을 요구하게 된다. 따라서 자동화된 포장방식을 생각하게 되고, 화려한 인쇄를 요구하게 된다. 그라비아인쇄는 이런 문제들을 해결하기 위한 가장 적당한 인쇄방법이므로 근년에 이르러 국내에서도 많은 발전을 가져왔다. 그라비아인쇄는 이미 자취를 감춘 활판 인쇄나 블록판 인쇄와는 다르게 다양한 분야에 걸쳐 현재에도 이용되고 있다. 현대 인쇄산업에서 그라비아인쇄는 출판인쇄 뿐만 아니라 연포장 인쇄, 벽지, 건축자재, 장판 등의 공산품에서 각광을 받고 있다. 특히 라면, 과자, 식품, 생활용품 등의 포장 재료에 가장 알맞은 인쇄법으로 알려져 있고 많이 사용되고 있다.¹⁾

그라비아 인쇄기는 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 많고 두꺼운 잉크 피막을 형성한다. 따라서 강하고 박력 있는 인쇄물을 얻을 수가 있다. 또 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 건조성이기 때문에 고속인쇄가 가능하다.²⁾ 블록판 인쇄와 오프셋 인쇄용 잉크에는 끈기(tack)³⁾가 필요해서 인쇄시 용지의 뜯김의 원인이 되므로 뜯김이 많은 종이에선 인쇄가 불가능하다. 하지만 그라비아인쇄에서 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.⁴⁾ 따라서 잉크의 유동은 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulation)에 의한 방법으로 연구⁵⁾하는 것이 가장 효율적인 방법이라고 생각된다.

인쇄과정 중 인쇄판에서 피인쇄체로의 잉크 전이는 그라비아인쇄 프로세스 중 가장 중요한 부분이다. 그라비아인쇄에서 잉크 전이에 영향을 미치는 요소는 여러 가지가 있다. 그 중 그라비아 실린더의 제판의 중요성이 큼에도 불구하고 제판이 힘들고 어렵기

때문에 그라비아의 제판에 초점을 두고, 특히 그라비아 셀의 특징에 따른 영향을 알아보 고자 하였다. 즉, 셀의 크기나 셀의 깊이, 그리고 셀의 형태 등이 피인쇄체로 전이되는 잉크의 양을 결정하는 중요한 요인이라고 생각하여 잉크의 전이를 연구하였다.

이에 관한 연구는 1975년 Kunz에 의해 이루어진바 있지만 Kunz는 직접 셀을 가공하 여 실험적 방법에 의해 결과 값을 확인하였고 셀 속에서의 잉크 유동의 모습은 볼 수 가 없었다. 따라서 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 그라비아 셀의 형태에 따른 그라비아 셀 속에서의 잉크 유동을 연구하였다.

2. 이 론

2-1. 실험적 방법

1975년 Kunz는 그라비아인쇄에서 잉크 전이에 영향을 미치는 여러 요소들에 대해 연 구하였다. 그는 그라비아 셀을 직접 가공하여 셀의 가공 방법에 따라 잉크 전이 후의 잔 류 잉크량을 비교하였다. Kunz는 종이에 동일한 양의 잉크가 전이되도록 하는 조건에서 실험을 하였고, 셀의 가공 방법에 따라 셀의 형태가 다르게 제작하였다. Fig. 1은 Kunz 의 실험에 사용된 셀의 단면이다.⁶⁾

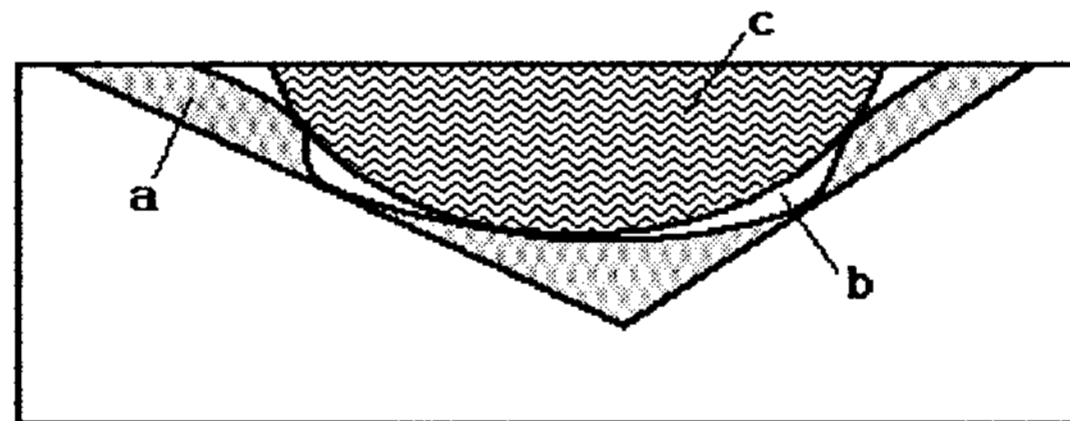


Fig. 1. Comparison of different cells(cross section).

((a) mechanical gravure, (b) round dot etching, (c) electron beam gravure)

그의 실험방법은 서로 다른 형태로 가공된 셀을 이용해 인쇄를 한 후 셀 안에 남아 있는 잉크의 양을 측정하는 것이다. Fig. 1에서 a는 기계적 제판법으로 셀을 제작한 것 으로 pyramidal type의 셀 형태를 나타내고 b는 에칭법으로 제판하여 셀을 제작한 것 으로 quadrangular type의 셀 형태를 나타낸다. 그리고 c는 레이저 조각법으로 제판하여 셀을 제작한 것으로 spherical type의 셀 형태를 나타낸다.

Fig. 2는 제작된 4가지 형태의 셀을 이용해 동일한 농도를 인쇄한 후의 잔류 잉크량을 보여주는 결과이다.⁷⁾ 결과 데이터인 잔류잉크의 양은 %로 나타내어 졌다. 여러 가지 가 공방법 중 잔류 잉크량이 가장 작은 것은 전자빔조각 그라비아로 잉크의 12 %가 남았다.

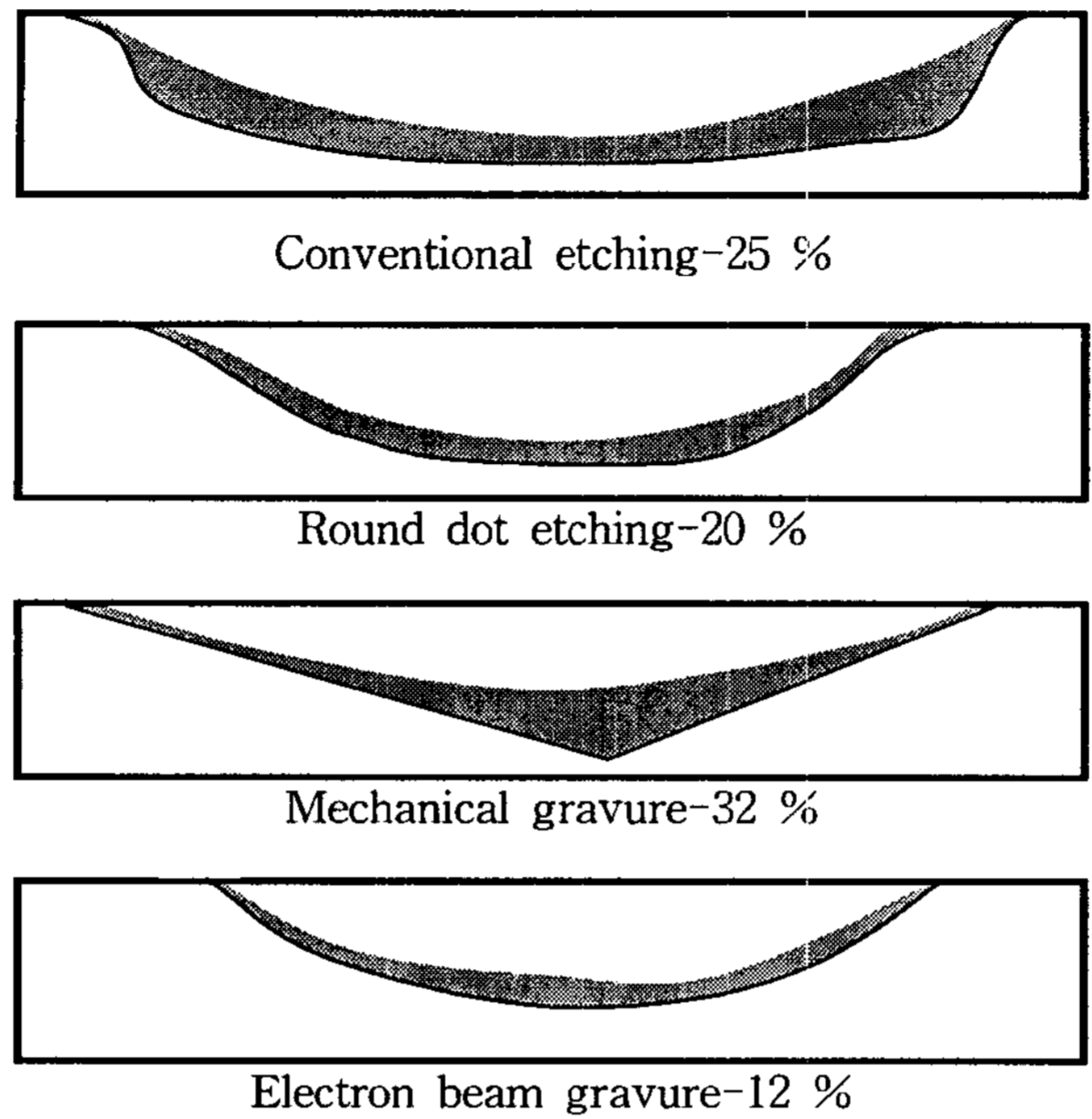


Fig. 2. Rest of ink after printing at the same printing density.

Kunz의 실험에 의하면 전자빔조각 그라비어가 컨벤셔널 그라비어나 기계적 그라비어보다 더 정확하고 우수하며 잉크 전이가 잘된다고 하였다. 전자빔 그라비어에서 잔류 잉크량이 가장 적은 이유는 셀의 구형적인 특성 때문일 수도 있고, 셀의 밑바닥이 가장 부드러운 곡선을 나타내기 때문이라고 Kunz는 설명하였다.⁷⁾

2-2. 시뮬레이션

시뮬레이션은 복잡한 문제를 해석하기 위하여 모델에 의한 실험, 또는 사회현상 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 polyflow는 점성(viscosity) 및 점탄성(viscoelastic)이 주요한 영향을 미치는 복잡한 재료 가공의 시뮬레이션 소프트웨어이다. 시뮬레이션 소프트웨어의 기본 구성은 전처리 장치(preprocessor)로 gambit, cad, cae, polymat 등이 있고, 데이터처리장치(dataprocessor)로 polydata, 해석장치(solver)로 fluent, polyflow, airpak, 후처리장치(postprocessor)로 fieldview, polystat, cad 등이 있다.

3. 시뮬레이션

그라비아 셀은 총 4가지의 형태로 시뮬레이션 하였고 각 셀의 형태에 따른 잉크의 유동을 알아보았다. 시뮬레이션 소프트웨어는 Fluent 社에서 제공하는 FEM방식의 Polyflow(version 3-10)를 사용하였다. 본 연구에서는 기본 도메인(domain) 작업을 gambit(version 2-1)으로 하였다. Gambit에서 mesh 파일을 만들어 polydata로 읽어들인 후 모델에 알맞은 조건과 물질의 특성을 부여하였다. 그리고 polyflow로 계산한 후 시뮬레이션 결과를 fieldview로 가시화 할 수 있다.

그라비아 셀은 2-D(two dimensions)와 3-D(three dimensions)로 시뮬레이션 할 수 있는데 본 실험에서 CPU(central processing unit)의 시간을 줄이기 위해 2-D방식을 채택하였다. 이 모델은 밴드 모양의 셀에서 잉크의 공급과 전이를 설명할 수 있으나 궁극적으로는 cavity 모양의 셀에서 잉크의 거동을 시뮬레이션 하는 것이다. 그라비아 셀과 잉크의 형태는 한 개의 도메인으로 하였고 경계조건(boundary condition, BC)을 주었다.

4가지의 셀은 모두 개구부와 셀의 깊이가 같은 조건이며 개구부와 깊이의 길이 비는 2 : 1이다. Fig. 3과 Fig. 4에 시뮬레이션에 사용된 셀의 경계조건과 기본 도메인을 나타내었다.

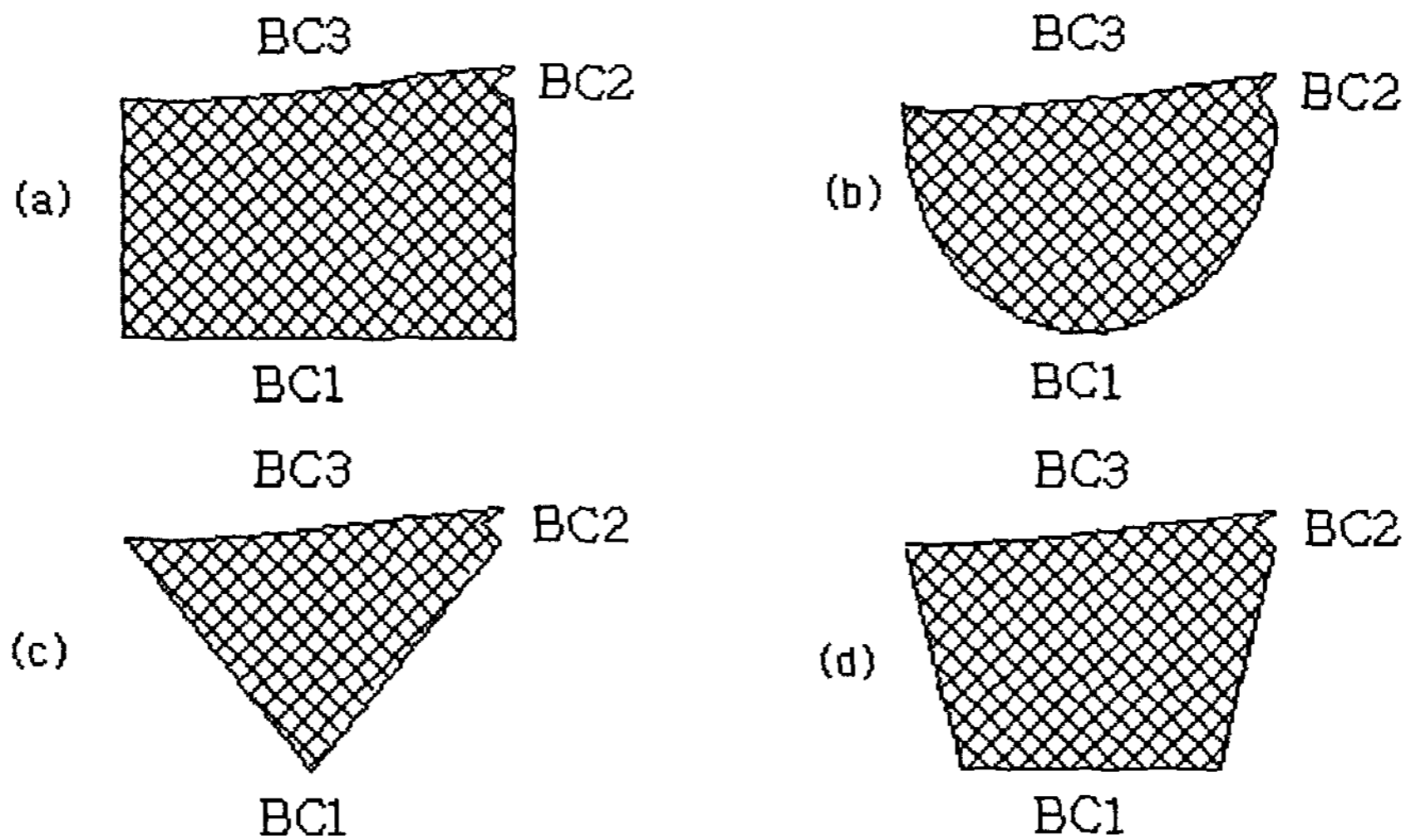


Fig. 3. Boundary condition of gravure cell-model A.

((a) rectangular type, (b) spherical type, (c) pyramidal type, (d) quadrangular type)

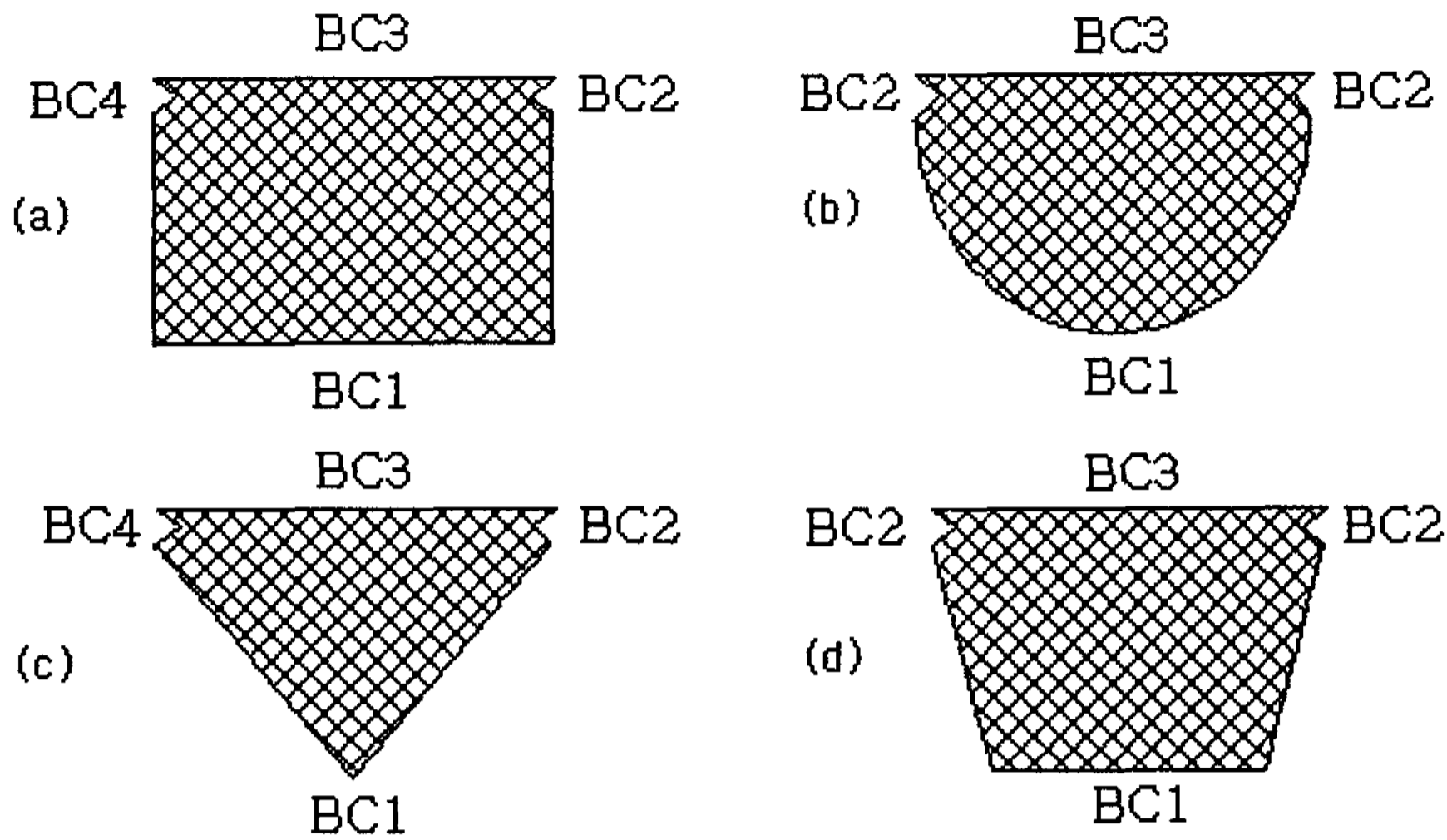


Fig. 4. Boundary condition of gravure cell-model B.

((a) rectangular type, (b) spherical type, (c) pyramidal type, (d) quadrangular type)

Fig. 3은 인쇄 실린더의 직경이 작을 경우에 곡면 반경을 고려한 것이다. 본 논문에서는 이것을 model A라고 칭한다. 이 모델은 실린더가 회전을 하면서 오른쪽이 먼저 열리게 된다. 이때 BC 1은 셀의 벽면, BC 2는 닙(nip)에서 열리는 오른쪽 부분, BC 3는 피인쇄체에 부착되는 잉크의 면을 의미한다.

Fig. 4는 인쇄 실린더의 직경이 큰 경우이다. 이 경우 그라비아 셀의 크기가 실린더에 비해 상대적으로 매우 작고 고속으로 인쇄되기 때문에 곡면 반경을 무시하고 작업을 한 것이다. 이 논문에서는 이것을 model B라고 칭한다. 이 경우 피인쇄체가 그라비아 실린더와 같은 곡면 반경을 유지하지 않고 고속에서 잉크의 점착력 때문에 그라비아 실린더의 접선에 대한 수직으로 힘이 작용하는 것이 된다. 이때 그라비아 실린더의 접선에 대해 수직으로 힘이 작용되며 잉크는 수직으로 잡아 당겨져서 뽑아지게 된다. 여기서 BC 1은 셀의 벽면, BC 2는 닙에서 열리는 오른쪽 부분, BC 3는 피인쇄체에 부착되는 잉크의 면, BC 4는 닙의 뒷부분을 의미한다.

Fig. 3과 4에서 BC 2와 BC 4는 자유경계면(free surface)으로서 잉크의 표면장력과 점탄성에 의해 자유롭게 만들어지는 표면이다. 이것은 위에서 잡아당기는 힘에 의해 휘어지게 되며 이때 가장 가는 부분의 잉크가 끊어져 네킹(necking)현상이 생긴 뒤에 잉크가 분리되고, 분리된 잉크가 종으로 전달된다. 이 자유표면 변화의 결과를 통해 잉크의 전이 메커니즘을 유추해 볼 수 있다.⁸⁾⁹⁾

시뮬레이션 전체적인 작업은 시간 변수에 따라 달라지는 비정상상태로 계산하고자

time dependent problem을 선택하였고, 이것은 잉크 거동을 순간적으로 알아보기 위함이다. 온도의 변화는 없다고 가정하였고, 전단속도에 따른 변화 양상을 알아보기 위해 점탄성 모델 중 Generalized Newtonian isothermal flow를 부작업으로 하였다. Table 1에 시뮬레이션 작업 조건을 나타내었다.

Table 1. Condition of Simulation

Condition of Simulation	
New-Task	Transient Flow
Sub-Task	Generalized Newtonian Isothermal Flow
Initial Viscosity	2 poise(g/cm · sec)
Re-Meshing	Global Remeshing, Lagrangian Method
Density	1 g/m ³
Inertia	Consider

인쇄 잉크는 피인쇄체에 완전히 부착된다고 가정하였고, 관성을 고려해 주었으며 초기 시간 0에서 최종시간 1에 이르기까지 잉크 거동의 모습을 시뮬레이션 하였다. 정지 상태에서 시작하면 시뮬레이션의 결과로 시간의 함수로서 stress 변화를 얻을 수가 있다.

결과 데이터를 간단히 나타내기 위해 잉크 전이 모델과 셀의 형태에 따라 8가지로 분류하여 각각의 모델 이름을 가정하였고 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Model Name of Result of Simulation

Classification Model	Cell Type	Model Name
Model A	Rectangular Type	AR
	Spherical Type	AS
	Pyramidal Type	AP
	Quadrangular Type	AQ
Model B	Rectangular Type	BR
	Spherical Type	BS
	Pyramidal Type	BP
	Quadrangular Type	BQ

4. 결과 및 고찰

4-1. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과, 셀 속의 잉크가 늘어나면서 긴 필라멘트를 생성하는 것을 확인할 수 있었다. 그 결과를 통해 여러 가지 사실을 유추 할 수 있었다.

Fig. 5~Fig. 8은 곡면반경을 고려한 경우의 rectangular type, spherical type, pyramidal type, quadrangular type을 시뮬레이션한 결과로 시간에 따른 잉크의 유동 모습이다. 네 가지의 결과에서 공통적으로 셀의 열리는 부분인 오른쪽의 속도 분포가 왼쪽의 속도 분포에 비해 약 4~5배 정도 빠르게 흐르는 것을 볼 수 있었고 잉크의 이동 방향과 크기를 알 수 있었다. 넓에서 열리는 부분으로 빠른 속도 벡터의 장이 형성되며 이것이 결국 그라비아 잉크가 분열하고 분기점이 결정되는 원인이 된다고 볼 수 있다. 셀 형태 별로 셀의 벽면을 따라 잉크가 빠져나가는 모양과 양이 조금씩 차이가 있긴 하지만 전체적인 잉크 빠짐의 모습이나 흐름이 비슷하다는 것을 확인할 수 있었다.

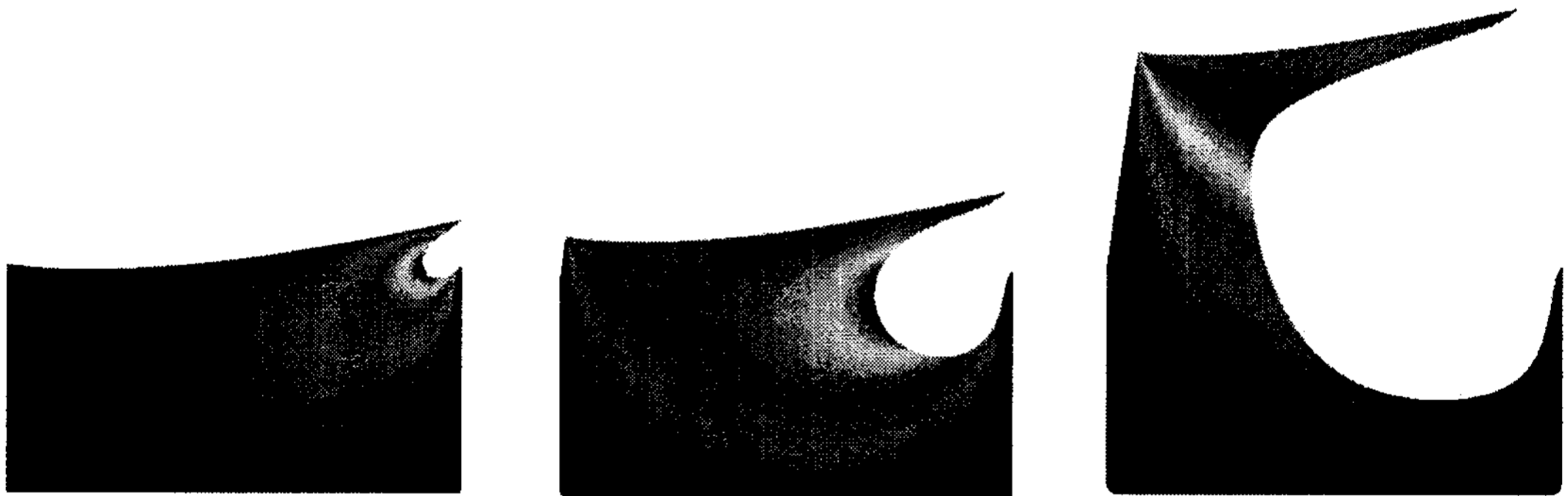


Fig. 5. Result of simulation of model AR.

(Velocity file, Blue is zero velocity and red is high velocity.)

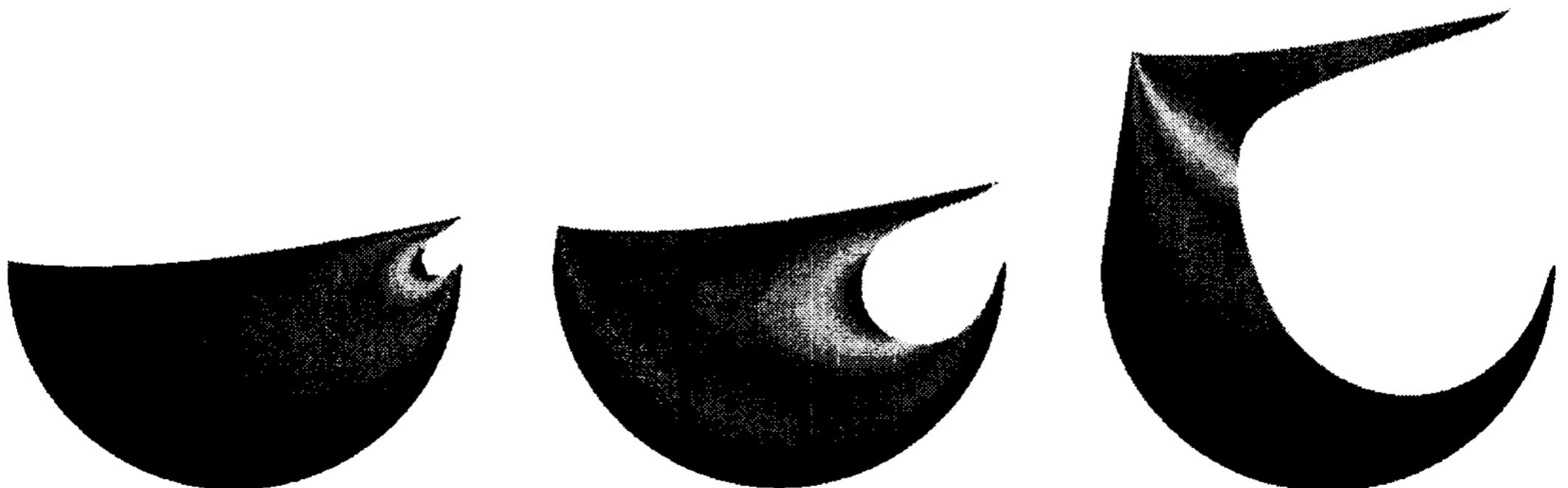


Fig. 6. Result of simulation of model AS.

(Velocity file, Blue is zero velocity and red is high velocity.)

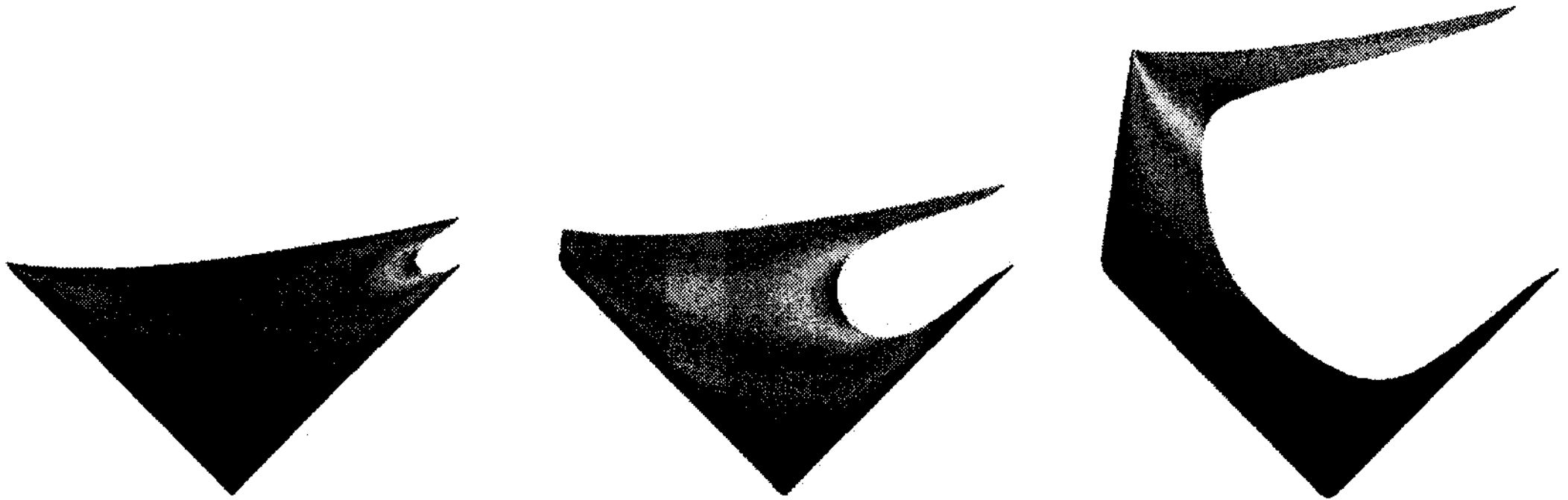


Fig. 7. Result of simulation of model AP.
(Velocity file, Blue is zero velocity and red is high velocity.)

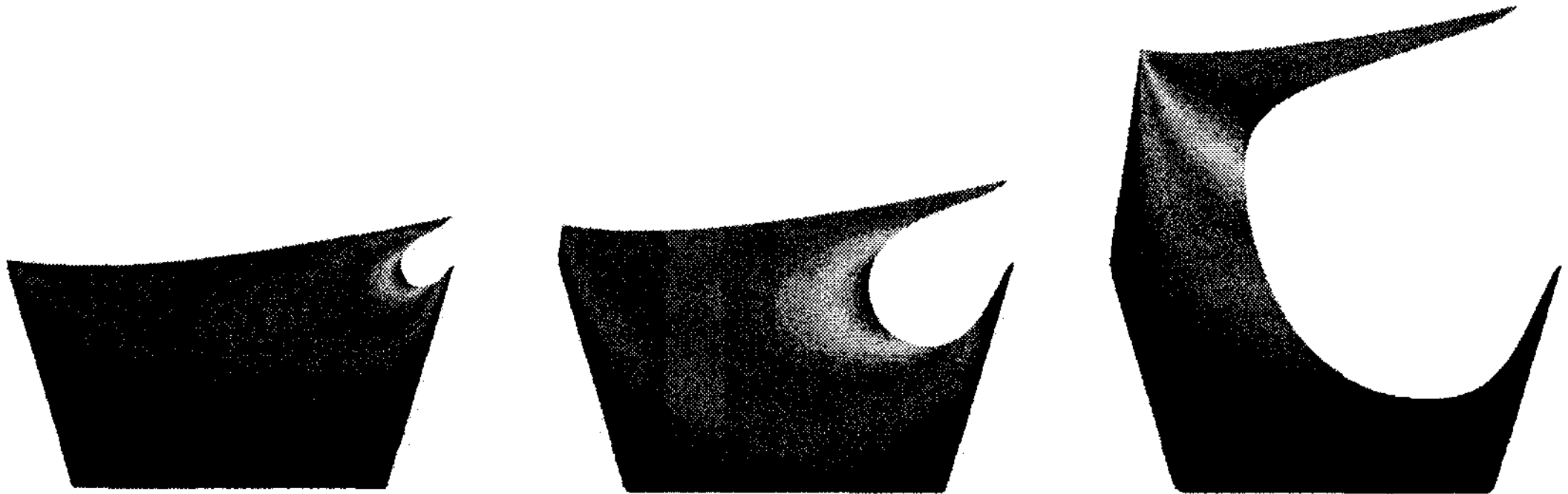


Fig. 8. Result of simulation of model AQ.
(Velocity file, Blue is zero velocity and red is high velocity.)

Fig. 9~12는 곡면반경을 고려하지 않은 경우의 rectangular type, spherical type, pyramidal type, quadrangular type을 시뮬레이션한 결과로 시간에 따른 잉크의 유동 모습이다. 잉크의 속도 분포를 살펴보면 녀의 중심점을 기준으로 대칭을 이루고 있는 것을 볼 수 있었다. 셀의 중심부보다는 중심부에서 55%정도 떨어진 부분의 잉크가 가장 많이 빠져나가는 것을 확인할 수 있었고 이것은 4가지 형태의 셀에서 공통적으로 확인할 수가 있었다.

그리고 잉크의 분리가 셀의 직경에 따라 균일하게 되는 것이 아니라 파동을 형성하면서 이루어진다는 것도 확인할 수가 있었다. 필라멘트가 늘어나다가 가장 가는 부분에서 끊어져 전이가 될 것이고 끊어진 부분의 잉크는 다시 셀 속으로 돌아오기 때문에 잉크의 중심부에 잉크가 다시 차게 될 것으로 생각된다. 잉크의 전이는 여기서도 마찬가지로 빠른 속도 벡터의 분포에 따라 피인쇄체의 접선과 셀의 벽 사이에서 분열되어 분기점을 결정하게 될 것이다.

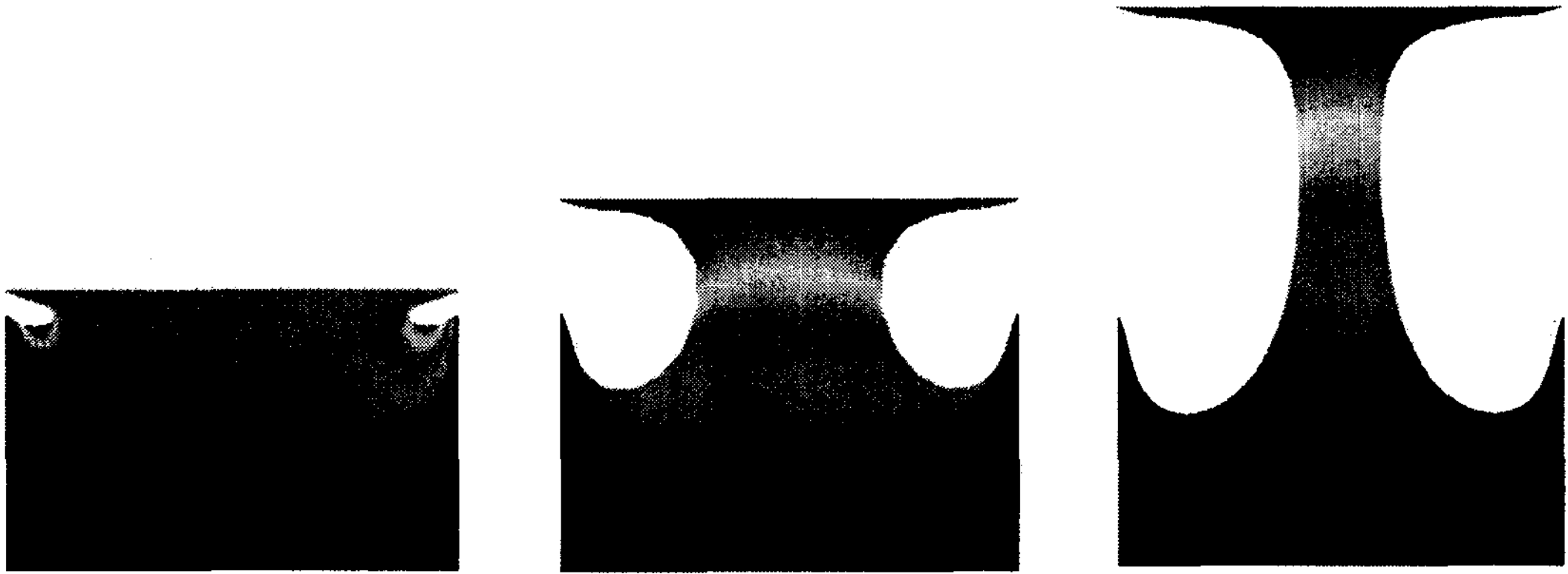


Fig. 9. Result of simulation of model BR.
(Velocity file, Blue is zero velocity and red is high velocity.)

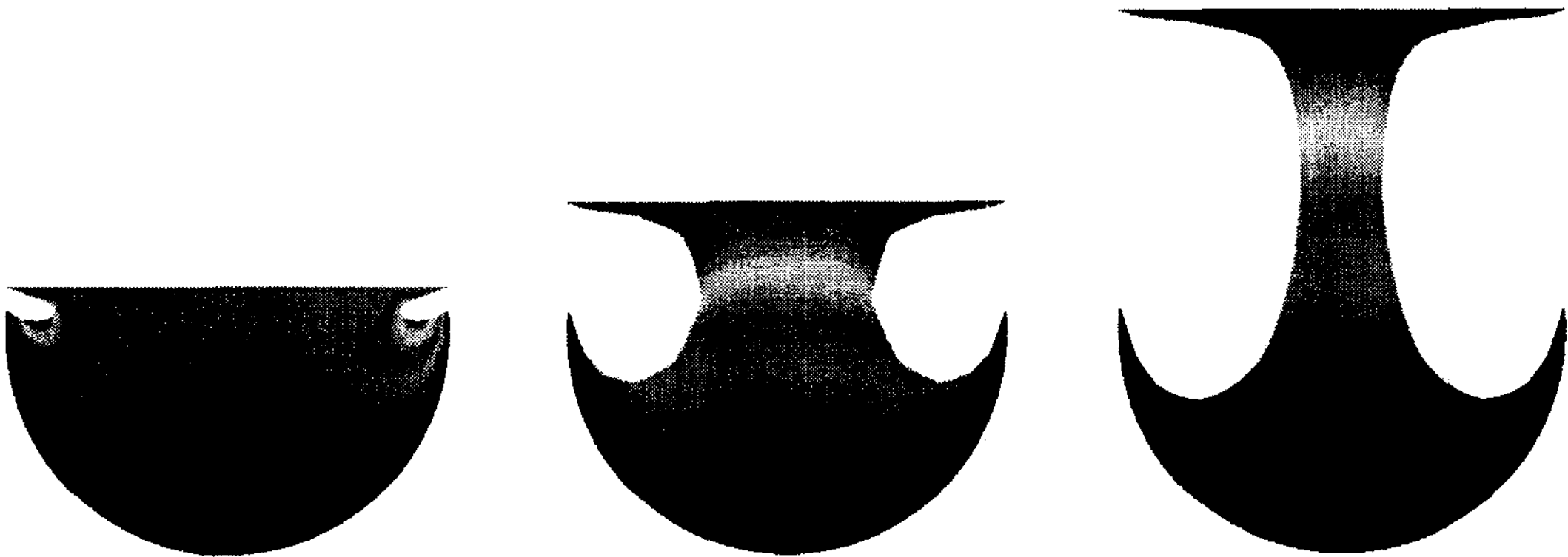


Fig. 10. Result of simulation of model BS.
(Velocity file, Blue is zero velocity and red is high velocity.)

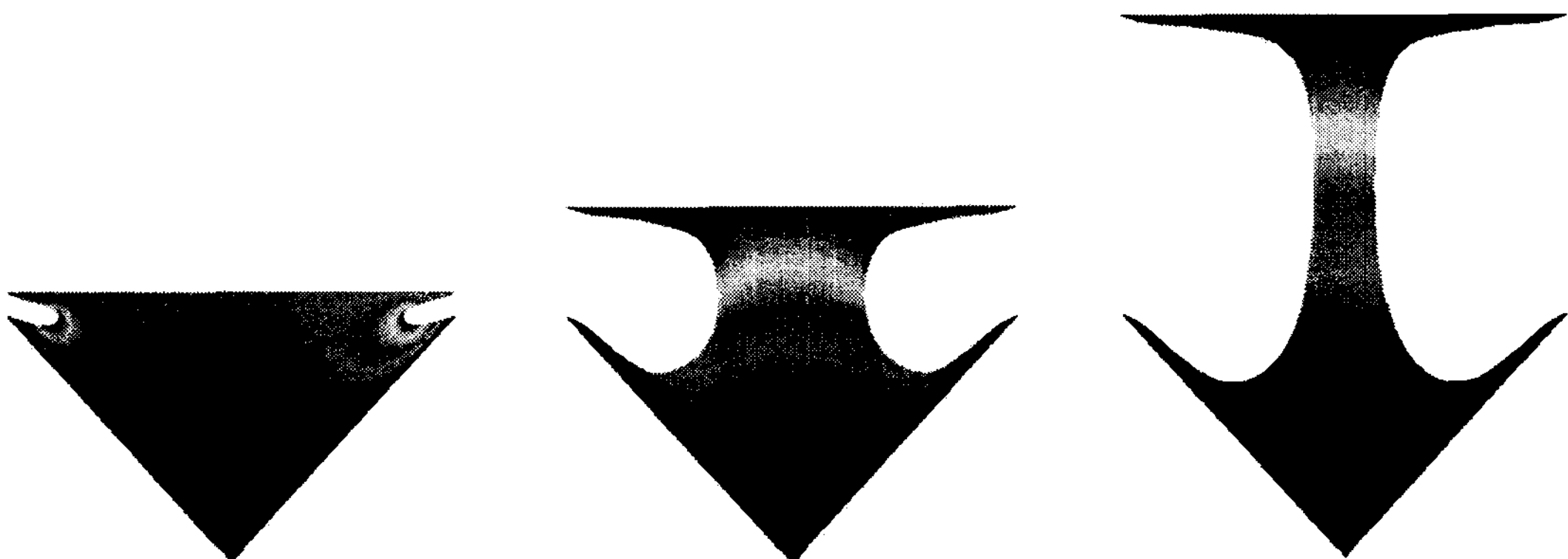


Fig. 11. Result of simulation of model BP.
(Velocity file, Blue is zero velocity and red is high velocity.)

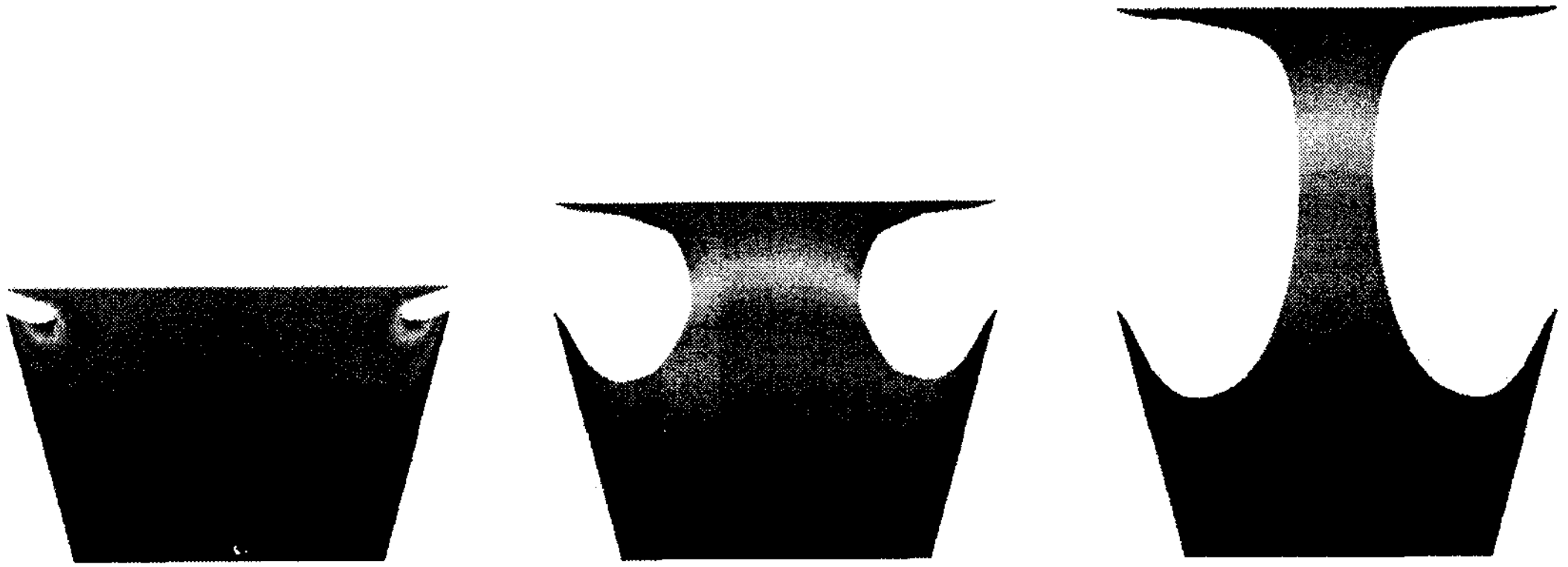


Fig. 12. Result of simulation of model BQ.
(Velocity file, Blue is zero velocity and red is high velocity.)

오목판 인쇄의 경우 점도가 높은 잉크를 사용하고 높은 압력으로 인쇄를 하게 되면 셀 속의 잉크가 모두 빠져나와 전이되는 것이 충분히 가능하지만 그라비아인쇄에 사용되는 잉크는 점도가 매우 낮기 때문에 흘러내림 현상(drainage)이 발생하여 빠져나갔던 잉크가 다시 셀 속으로 흘러 들어오게 된다. 그렇기 때문에 잉크는 셀에서 완전히 빠져나오지 않고 잔류하게 되며 이 모습을 시뮬레이션을 통해서도 확인할 수 있었다. 흘러내림 현상을 Fig. 13에 나타내었다.

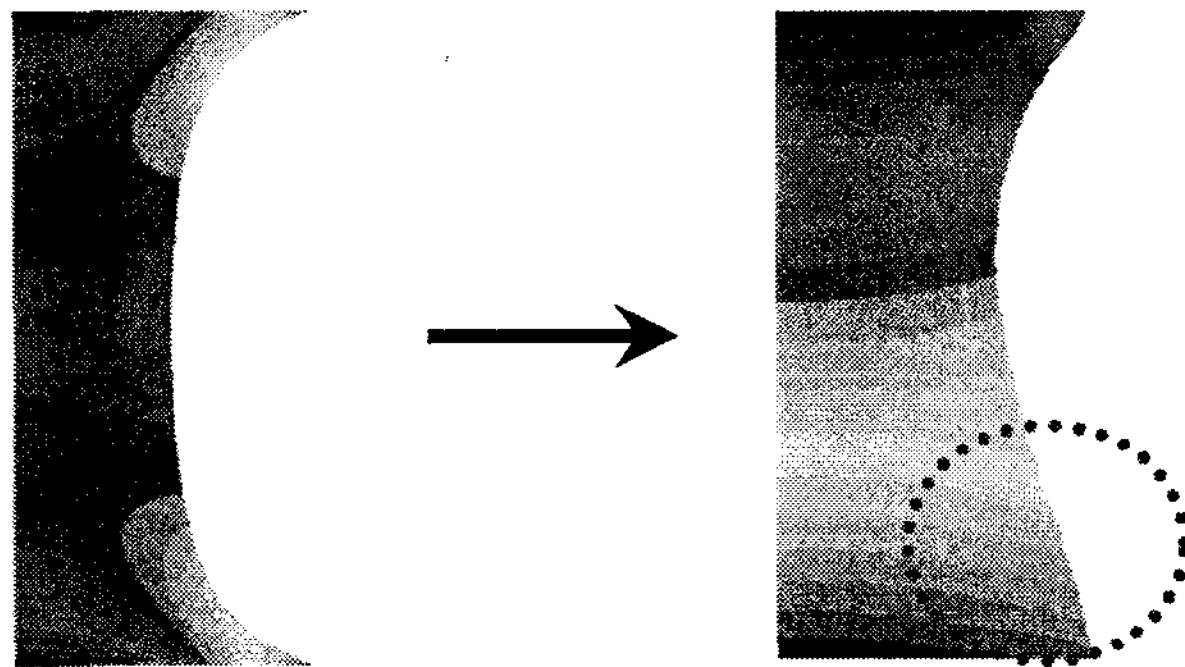


Fig. 13. Drainage of ink filament(y-symmetric view).

Fig. 14는 셀에서 잉크 유동에 대한 속도 결과이다. $Y=-2$ 는 셀의 바닥을 의미하고 $Y=12$ 는 피인쇄체와 부착되는 부분을 의미한다. 셀의 바닥에 가까운 부분의 잉크는 속도가 거의 없는 것을 볼 수 있고 피인쇄체에 가까운 상부쪽의 잉크는 유동하는 속도가 큰 것을 볼 수 있다. 따라서 셀의 바닥에 있는 잉크는 많이 빠져나가지 못하고 잔류하게 될 것을 알 수 있다. 이와 같은 시뮬레이션 결과들을 통해서 그라비아 셀 속의 잉크가 피인

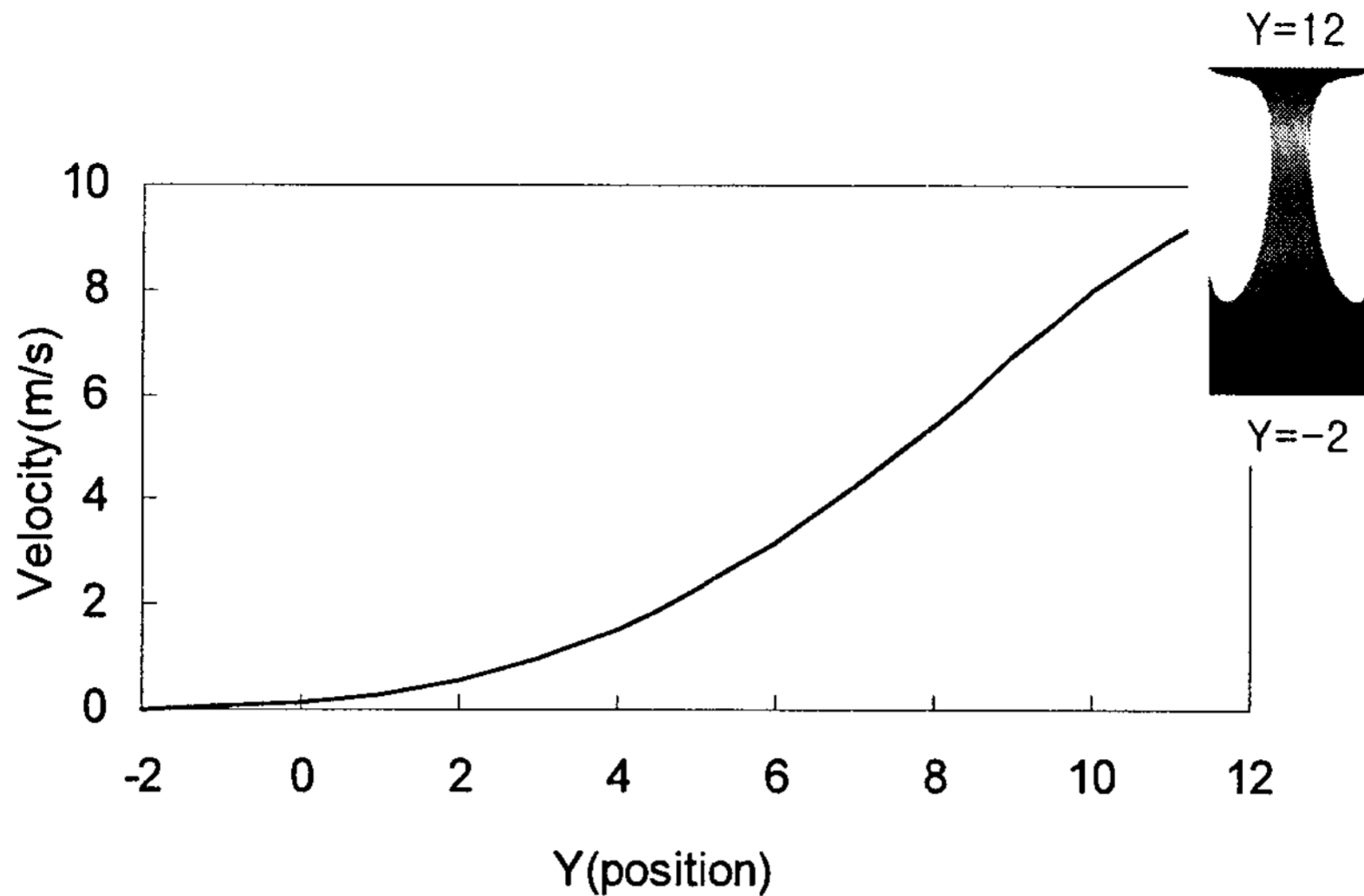


Fig. 15. Velocity profile on the ink flow.

쇄체로 전이되어 빠져나오는 순간의 모습과 양상을 확인할 수 있고 실험적인 방법으로 확인할 수 없었던 잉크의 흘러내림 현상과 잉크가 늘어나 필라멘트를 형성하는 모습을 가시화하여 볼 수 있었다.

4-2. 셀에서 빠져나오는 잉크의 양을 고려한 결과

그라비아 셀에서 빠져나와 전이되는 잉크의 '양'만을 고려한다면 셀에 들어간 잉크의 양이나 남은 양에 상관없이 빠져나오는 잉크의 양이 많을수록 전이 효과가 더 좋다고 볼 수 있을 것이다. 시뮬레이션 결과 셀에서 빠져나간 잉크의 양을 Table 3에 나타내었다. 시뮬레이션 결과 셀에서 빠져나오는 잉크의 양은 rectangular type > spherical type > quadrangular type > pyramidal type의 순서로 rectangular type의 셀이 가장 많이 나타났고 pyramidal type의 셀이 가장 적게 나타났다.

Table 3. Amount of Transferring Ink according to Cell Types

Cell Type Model	Rectangular Type	Pyramidal Type	Quadrangular Type	Spherical Type
Model A	53	38	50	52
Model B	73	48	66	70

Rectangular type의 셀 면적이 가장 크고 pyramidal type의 셀 면적이 가장 작기 때문

에, 셀에 들어간 잉크의 양 또한 rectangular type의 셀이 가장 많고 pyramidal type의 셀이 가장 적다. 따라서 이를 통해 셀에 들어간 잉크의 양이 많으면 빠져나오는 잉크의 양도 많다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 기존의 여러 연구자들에 의해 판상의 잉크 양이 증가할수록 종이로 전이되는 잉크의 양은 증가하는 모습을 보인다는 결과도 많이 알려져 있다.¹⁰⁾ 따라서 잉크의 '양'만을 고려한다면 rectangular type의 셀이 가장 전이가 좋다고 할 수 있다.

4-3. 셀에서 빠져나오는 잉크 전이의 효율을 고려한 결과

그라비아 셀의 형태의 변화에 따라 셀 벽면의 면적과 부피가 다르게 된다. 따라서 셀의 개구부와 깊이가 동일하더라도 셀 속에 들어가는 잉크의 양은 셀의 형태에 따라 다르게 된다. 따라서 셀에서 빠져나오는 잉크의 양이 비슷하다 하더라도 셀에 들어간 잉크의 양에 대한 빠져나간 잉크의 양의 비는 다르게 나타날 것이다. 그러므로 잉크 전이의 효율성에 대해 알아보기 위해서는 공급된 잉크의 양에 대한 셀에 남아 있는 잉크 양의 비율을 고려해야 하는 것이 올바르다고 생각된다.

셀 속에 남아 있는 잉크 양의 비율이 높을수록 잉크 전이의 효율은 떨어지는 것이고, 잔류 잉크의 비율이 낮을수록 잉크가 잘 빠져나가 잉크 전이의 효율이 좋다고 할 수 있다. 잔류 잉크가 0 %라면, 즉 잉크가 셀에서 다 빠져나간다면 이상적인 잉크 빠짐이겠지만 실제로 그라비아의 셀에서 잉크는 다 빠져나가지는 않는다. 그리고 그것을 시뮬레이션에서도 확인할 수 있었고 셀에 남겨진 잉크의 비율을 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Rest Percentage of Ink after Transfer according to Cell Types

Model \ Cell Type	Rectangular type	Pyramidal type	Quadrangular type	Spherical type
Model A	58.5(%)	46.0(%)	55.5(%)	51.0(%)
Model B	63.5(%)	55.4(%)	62.0(%)	58.3(%)

시뮬레이션 결과 pyramidal type > spherical type > quadrangular type > rectangular type의 순서로 잔류잉크의 비율이 낮은 것을 볼 수 있었고 이를 통해 잉크 전이의 효율적인 측면을 알아 볼 수 있다. 잉크 전이의 효율이 좋다는 것은 셀에 들어간 잉크가 인쇄 후에 셀에 적게 남아 있다는 것이고, 그만큼 낭비되어 버려지는 잉크가 적어진다는 것이므로 잉크 전이의 효율적인 측면을 고려하는 것은 대단히 중요하며 그중 특히 상업 인쇄에 있어서는 더 중요성이 크다. 이 결과 셀에서 잉크가 잘 빠져나오기 위해서는 잉크간의 응집력이 크게 형성될 수 있고 셀의 바닥이 개구부에 비해 좁아지는 형태여야

한다고 사료된다.

4-4. Kunz의 실험 결과와 비교

Fig. 16에 기존 연구자 중 직접 셀을 가공하여 실험적 방법에 의해 셀 형태별 잔류 잉크량을 나타낸 Kunz의 실험 결과와 본 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

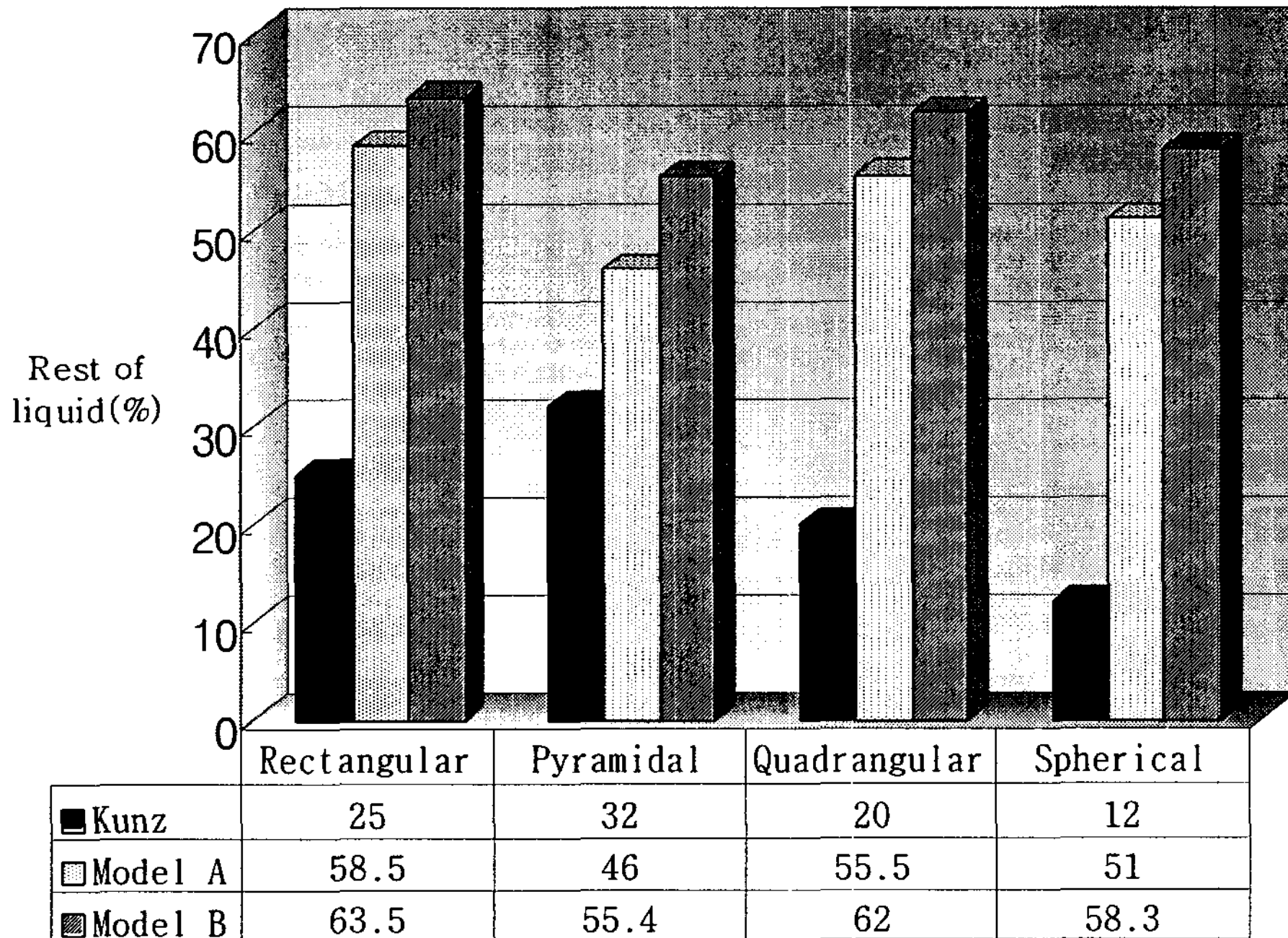


Fig. 16. Rest percentage of liquid after transfer.

Kunz의 실험 결과와 비교해 보았을 때 전체적으로 본 시뮬레이션 데이터 결과의 잔류 잉크의 양이 2~3배 정도 더 많게 나타났다. 그 이유는 본 실험에 사용한 시뮬레이션 프로그램이 FEM 방식이기 때문에 필라멘트가 끊어지지 않는 특성 상 실험의 제한이 있기 때문으로 생각된다. 그리고 Kunz의 실험에 나타나 있는 셀들의 조건을 살펴보면 셀의 개구부나 깊이에 대한 언급이 전혀 없으며, 동일한 농도의 인쇄물을 인쇄한 후의 잔류 잉크량을 알아보았다는 조건뿐이라는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 본 시뮬레이션에 사용된 셀들의 형태와 실험에 사용된 셀 형태에 있어서 다소 차이점이 있다는 것을 확인할 수 있었다.

Kunz의 실험에 사용된 셀의 개구부와 깊이의 길이 비는 5:1 정도로, 시뮬레이션에 사용된 셀의 개구부와 깊이의 길이 비 2:1 보다 훨씬 더 개구부의 직경이 큰 셀이기 때문에 잉크 빠짐이 더 잘된다고 사료된다. 개구부의 크기가 클수록 전이되는 잉크의 양

이 더 많다는 것은 많은 실험에 의한 데이터로 잘 알려져 있다.

잔류 잉크량에 대한 시뮬레이션 결과와 실험에 의한 결과 데이터가 차이를 보이기는 하지만 시뮬레이션은 전체적인 잉크 전이의 경향을 알아보고자 하는 것이기 때문에 이와 같은 차이는 잉크 전이의 효율을 비교해 보는 데에는 큰 영향을 미치지 않는다.

Fig. 16에서 Kunz의 실험 결과와 시뮬레이션의 결과를 비교하는 과정에서 셀의 개구부의 크기에 따른 잉크 전이의 차이를 확인하게 되었다. 따라서 앞서 시뮬레이션 한 도메인의 개구부보다 2배 큰 개구부를 가진, 개구부와 깊이의 길이 비가 4:1인 셀을 다시 시뮬레이션하여 그라비아 셀 개구부의 영향에 대해서도 알아보았다. 8가지의 모델을 모두 시뮬레이션 하는 데에는 시뮬레이션 작업 시간이 많이 소요되기 때문에 대표적으로 rectangular type의 셀만을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 조건은 셀 개구부와 깊이의 길이 비가 4:1인 것을 제외하면 모델 BR과 모두 동일하다. Fig. 17에 그 결과를 나타내었다.

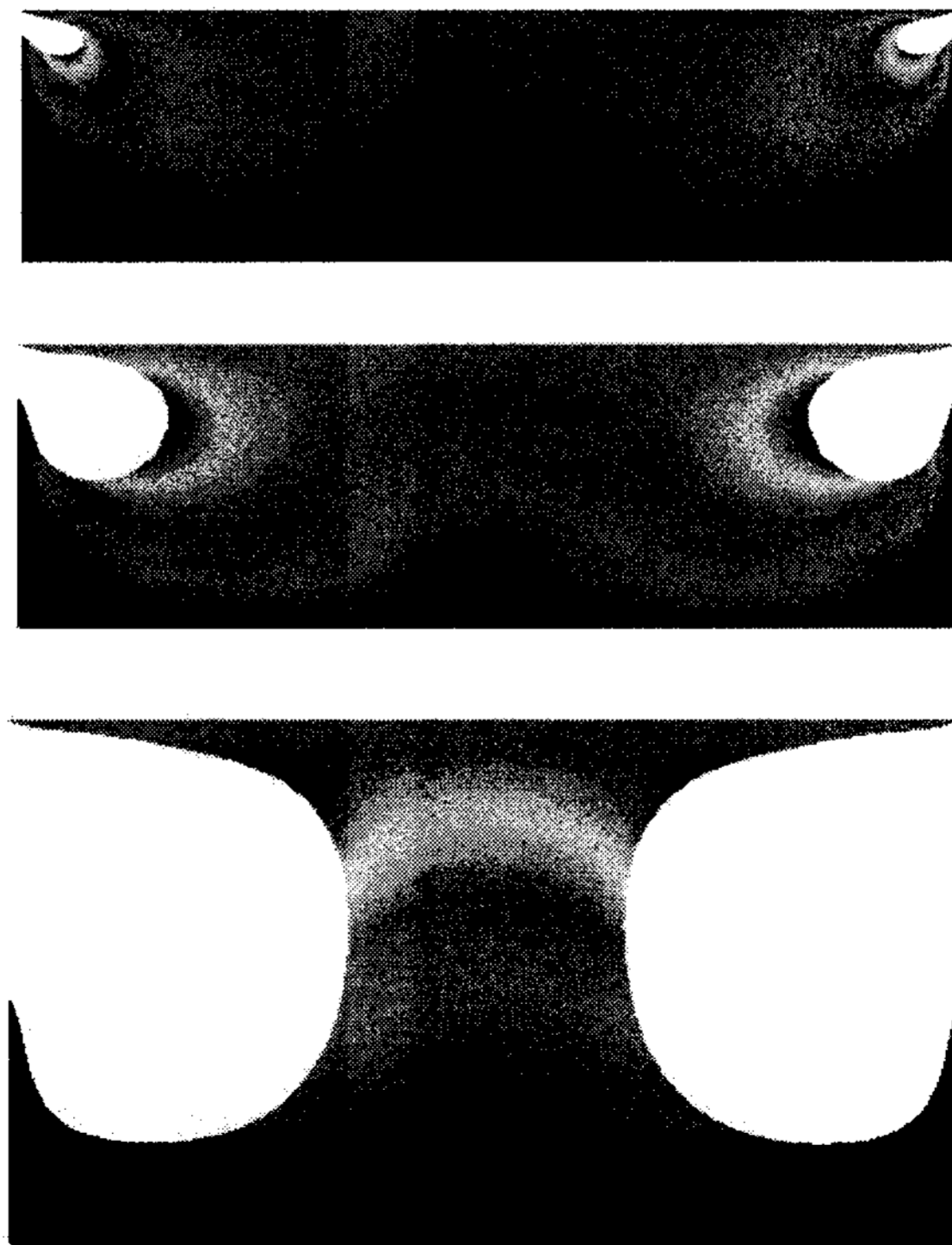


Fig. 17. Result of simulation by difference ratio of length on opening and depth.
(opening : depth=4 : 1, Blue is zero velocity and red is high velocity.)

개구부와 깊이의 길이 비를 더 크게 하여 시뮬레이션 한 결과 예상했던바와 같이 개구부

와 깊이의 길이 비가 4:1인 셀의 잔류 잉크량은 43 %로, 개구부와 깊이의 비가 2:1인 셀의 잔류 잉크량 63.5 %보다 20.5 %가 더 많이 빠져나가는 모습을 보였다. 이 결과를 통해서 개구부의 크기가 클수록 셀에서 빠져나오는 잉크의 양이 많아짐을 확인할 수 있었다.

잉크의 전이는 잉크의 물성, 셀 벽면의 곡면성의 정도, 셀의 깊이에 따른 잉크의 응집력 등에 영향을 받고, 이런 요소들은 잉크의 전이량에 큰 영향을 주기 때문에 본 시뮬레이션 결과와 Kunz의 실험의 결과에 있어서 차이가 나타났다고 생각된다. 그렇기 때문에 본 시뮬레이션 결과와 정확한 비교를 하여 어떤 셀 type이 가장 좋은 전이율을 나타내고 잔류 잉크량이 적은지를 결정짓는 것은 다소 어려움이 있었다.

하지만 pyramidal type의 셀에 대한 결과를 제외하고 나머지 셀들의 잔류 잉크량을 비교한다면 rectangular type > quadrangular type > spherical type 의 순서로 많이 나타나고, Kunz의 실험에 의한 결과와 시뮬레이션의 결과가 일치함을 확인할 수 있었다.

Kunz의 실험과 시뮬레이션에서 pyramidal type 셀의 잔류 잉크량의 결과 차이가 유독 크게 나타나는 것은 pyramidal type의 셀이 깊이에 따라 셀 형태의 변화가 가장 크고 셀 벽면의 구조가 크게 변화하기 때문이라고 생각된다. 따라서 그라비아 셀에서의 잉크전이는 셀의 바닥이 spherical type의 셀과 pyramidal type의 셀과 같이 셀의 바닥이나 벽면이 개구부에 비해 좁아지는 형태의 셀에서 좀 더 잉크가 잘 빠져나오고, spherical type의 셀처럼 벽면이 곡면으로 이루어져 있고 셀의 개구부와 셀의 바닥 부분이 부드럽게 형성되어 있는 것에서 더 좋은 잉크 전이 효율을 나타낸다고 볼 수 있었다.

5. 결 론

그라비아인쇄에서 그라비아 셀을 육안으로 구분하기에는 너무 작고, 인쇄가 고속으로 이루어지기 때문에 실험적인 방법으로 그라비아 잉크의 전이를 알기가 힘들다. 따라서 그라비아 셀의 형태에 따른 잉크 유동 현상을 컴퓨터 시뮬레이션 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 그라비아 셀의 형태에 따라 빠져나오는 잉크의 양은 다르게 나타났으며, 잉크가 전이 되는 모델에 따라서도 셀에서 잉크가 빠져나오는 양상이 다르게 나타났다.
- 2) 여러 시뮬레이션 결과를 통해 셀에서 빠져나오는 잉크의 양만을 고려한다면 rectangular type의 셀이 잉크의 전이가 가장 좋으며, 전체에 대한 빠져나온 잉크의 양, 즉 잉크의 전이효율을 고려한다면 pyramidal type의 셀이 잉크의 전이가 좋다는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 그라비아 셀 개구부 크기의 차이가 잉크 전이량에 미치는 영향을 확인할 수 있었다.

- 4) 시각적으로 확인할 수 없었던 그라비아인쇄 잉크의 유동 모습과 흘러내림 현상을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.
- 5) 조건의 차이와 변수를 고려한다면 잔류 잉크량에 관한 실험적인 방법의 결과와 시뮬레이션의 결과가 거의 일치하는 것을 확인할 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 발전이 충분히 가능할 것이라고 생각된다.

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(2), pp. 21~22 (2003).
- 2) 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).
- 3) Y. Xian, D. W. Bousfied, Influence of Coating Structure on Ink Tack Dynamics, *J. Pulp and Paper Science*, Vol. 26, pp. 221~227 (2000).
- 4) H. F. George, W. N. Welch, Quantitative Measurement of Gravure Ink Transfer, *Taga proceedings*, pp. 144~150 (1978).
- 5) 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).
- 6) W. Kunz, Ink Transfer in Gravure Process, *Taga Proceedings*, pp. 158 (1975).
- 7) W. Kunz, Ink Transfer in Gravure Process, *Taga Proceedings*, pp. 159 (1975).
- 8) J. T. Youn, Introduction of Printing Science, Chapter 4, pp.73~76, Puky-ong National University, South Korea (1997).
- 9) M. I. Kolt, P. Szabo, Capillary Thinning of Polymeric Filaments, *The Society of Rheology Inc.* pp. 609~625 (1999).
- 10) E. J. Pritchard, W. Finkle, Ink Transfer in Gravure Printing and Its Effect on Halftone, *Halftone printing*, Vol. 3, pp. 263~290 (1964).