



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

인쇄 롤러 사이의 Nip 출구에서
잉크 유동에 관한 연구



2012년 2월

부경대학교대학원

인쇄공학과

정지은

공학석사학위논문

인쇄 롤러 사이의 Nip 출구에서
잉크 유동에 관한 연구

지도교수 윤 종 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



2012년 2월

부경대학교대학원

인쇄공학과

정지은

정지은의 공학석사 학위 논문을 인준함.

2012년 2월 24일



주 심 공학박사 구 철 회 (인)

위 원 공학박사 하 영 백 (인)

위 원 공학박사 윤 중 태 (인)

목 차

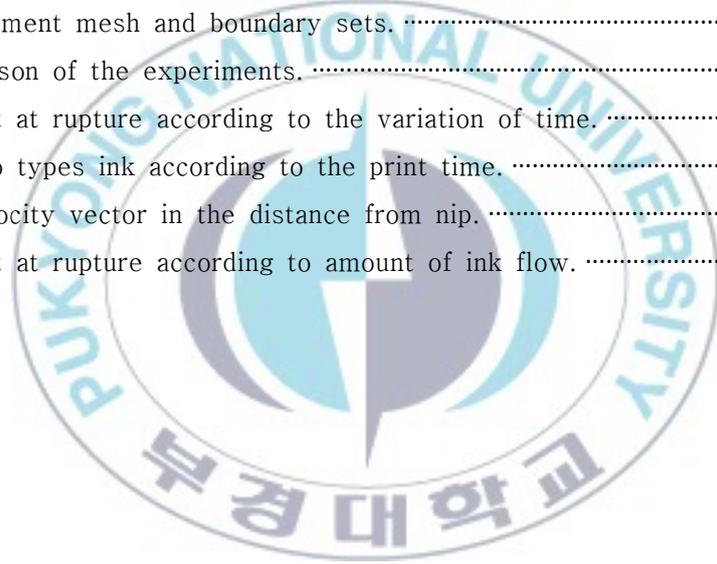
목차	i
List of figures	iii
List of tables	iv
Abstract	v
1. 서 론	1
2. 이 론	3
2-1. 잉크의 전이 이론	3
2-1-1. 공동설	3
2-1-2. 점탄성설	4
2-2. 전이방정식	4
2-2-1. 전이정수	5
2-2-2. 잉크 전이현상에서 영향을 주는 요인	9
2-3. 인쇄공정의 롤러시스템에서의 흐름의 형태와 압력 분포	11
3. 실험	13
3-1. 인쇄적성실험	13
3-2. 시뮬레이션	15

4. 결과 및 고찰	18
4-1. 잉크량 변화에 따른 잉크의 유동	18
4-2. 시간에 따른 잉크의 유동	20
4-3. 속도 분포	25
4-4. 잉크 전이점과 작업 변수	26
5. 결 론	27
참고문헌	28



List of figures

Fig. 1. Distribution of pressure and velocity on the roller nip.	4
Fig. 2. Conceptual curve of ink transfer.	7
Fig. 3. Conceptual diagram of ink transfer.	8
Fig. 4. Curves of typical ink transfer and fractional ink transfer.	9
Fig. 5. Flow models in printing and pressure profiles.	12
Fig. 6. IGT-C1 printability tester and microscope.	13
Fig. 7. Microcapture with measurement.	14
Fig. 8. Description of the symmetric ink transfer.	15
Fig. 9. Finite element mesh and boundary sets.	17
Fig. 10. Comparison of the experiments.	19
Fig. 11. Filament at rupture according to the variation of time.	24
Fig. 12. The two types ink according to the print time.	25
Fig. 13. The velocity vector in the distance from nip.	25
Fig. 14. Filament at rupture according to amount of ink flow.	26



List of tables

Table 1. Test Condition of Off-set Printing	14
Table 2. Physical Properties of The Ink Transfer Model	16
Table 3. Ink Flow According to The Variation of Flow Rate	19
Table 4. Ink Flow According to The Variation of Time(10g/cm ³)	21
Table 5. Ink Flow According to The Variation of Time(30g/cm ³)	22
Table 6. Ink Flow According to The Variation of Time(50g/cm ³)	23



A study on the ink flow at the exit of printing nip

Ji-Eun Jeong

Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate school,
Pukyong National University

Abstract

Ink is controlled the positive pressure through its compression at going into a nip and the negative pressure through its tensile stress and cohesiveness at a way out. At the way out, ink is splitted by a couple of rollers which is transferred and printed.

In the high-speed printing, some trouble as an orange peel, misting, and so on can occur on the current printing system. The picking and linting of papers are related to the splitting point of ink filament on the exit in between and ink film thickness that seriously influence the final printed-paper density and smoothness. In the printing process, the flow of ink in a nip particularly determines the ink transfer, picking of paper, and printing quality.

Therefore, this study was aimed at that the free surface of the ink on the exit of the nip determines due to change the ink conditions as properties, amount, and so on. It was tested by the computer simulation which described the flow of ink in the nip, and testified through the experiment.

1. 서론

평판 오프셋 인쇄(Offset Lithography)는 표면이 평평한 판상의 화상을 블랭킷(Blanket)이라고 하는 중간 전달 표면을 통하여 롤러의 회전력에 의해 유체를 피인쇄체로 전이시키는 것이 기본적인 메커니즘(Mechanism)이다¹⁾. 이러한 두 개 이상의 롤러들이 서로 측면을 접촉하여 돌아갈 때, 유체가 그 롤러들을 타고 도는 롤러 시스템은 인쇄공정과 롤 코팅(Roll Coating) 그리고 폴리머 용해공정(Polymer Melt Process) 등의 넓은 분야에서 사용되고 있다.

잉크가 롤러의 틈새 즉, Nip으로 들어오면 압축에 의한 정압력(Positive Pressure)이 걸리고, 출구에서는 잉크들의 신장 내력 또는 응집력에 의한 부압력(Negative Pressure)이 걸린다. 이때 출구에서는 두 롤러에 의해 잉크는 두 부분으로 분열되며, 잉크의 분열에 의해 잉크가 전이되어 인쇄가 이루어진다.²⁾ 특히 인쇄공정에서는 Nip에서 잉크의 흐름이 잉크의 전이, 용지의 뜯김(Picking), 그리고 인쇄의 품질을 좌우하므로 중요한 관심의 대상이 되어왔기 때문에 롤러와 피인쇄체 사이에서 유체의 전이에 관한 연구는 지금까지 많은 연구자들에 의해 진행되어 왔다.^{3~4)} 그들은 Nip사이에 존재하는 압력분포도와 틈새 출구에서 일어나는 잉크 분열에 관해 공동(Cavitation) 현상과 잉크 형성, 그리고 롤러 사이의 힘에 의해 발생하는 뱅크(Bank) 부분에 관한 이론을 제시하였고^{5~7)} 오늘날에는 기존의 개념들에 점탄성(Viscoelastic)적인 효과, 속도와 온도 등의 환경 변수 및 Nip에서의 잉크 자유 계면(Free Surface) 형성 모습에 관한 연구로 발전해 왔다.

현재 인쇄공정에서 고속 인쇄의 경우에는 오렌지 필(Orange Peel)이나 날림(Misting) 등의 문제들이 발생할 수 있다. 틈새 출구에서 생성되는 잉크 필라멘트(Filament)의 분기점(Splitting Point)의 위치와 잉크 필름 두께는 종이의 뜯김이나 린팅(Linting)의 문제와 연관성이 있으며,

최종 인쇄물의 농도와 평활성에 큰 영향을 주게 된다. 인쇄 기계 상에서 잉크, 롤러, 피인쇄체 등은 Nip에서 잉크 전이에 영향을 주는 변수들이다. Lawrence and Gary⁸⁾는 점도, 택(Tack)^{9~10)}, 잉크의 비중 등 잉크의 물성에 따른 유체의 전이 현상을 연구했으며, Deborah¹¹⁾는 롤러의 크기나 재질, 배치 방법 등의 기구학적인 면에 대한 연구를 하였다. 실제로 많은 실험들은 Newtonian 유체, 한 종류의 고분자물질 또는 간단히 모델화하기 위한 현탁액 들을 취급하였고, 인쇄공정에서와 같이 안료, 비이클, 고분자 첨가제 등의 복잡한 혼합물로서 점탄성, 요변성(Thixotropy) 현상 등이 나타나는 Non-Newtonian 유체를 취급하는 경우는 많지 않다. 인쇄기의 롤러는 고무 롤러를 사용하는 곳이 많고, 잉크 중의 일부 성분이 용지 속으로 침투되는 경우 등 다양한 환경변수의 영향을 받으며, 또한 Nip에서 잉크의 분열은 매우 순간적이고, 단시간에 일어나는 현상으로 현실적으로는 모든 조건들을 고려하여 인쇄공정을 이론적으로 해석하는 것이 매우 어려운 실정이다¹²⁾.

따라서 본 연구는 기본적인 잉크의 메커니즘^{13~15)}을 과학적으로 규명하고자 많은 변수 조건들 중에서 잉크의 물성 및 양 등의 조건들과 각 잉크의 레오로지적 특성에 맞는 모델에 따라 Nip의 출구 부분에 생성되는 잉크의 자유 계면을 해석하는데 그 목표를 두고 컴퓨터 시뮬레이션 방법에 의해 인쇄 Nip에서 잉크의 유동을 모사하였고 실험을 통하여 증명하고자 한다.

인쇄적성 시뮬레이션 소프트웨어는 비선형 점성 현상 및 점탄성 효과가 지배적인 유동을 해석하도록 설계된 범용 유한요소법(Finite Element Method) 방식의 Polyflow(Workbench Release 13.0)를 사용하였고 시간에 따른 잉크 전이 모양의 전체 변화 모습을 알아보기 위해 Nip의 입구에서 출구까지의 전체모양을 해석하여 실험 결과와 비교하고자 하였다.

2. 이론

2-1. 잉크의 전이 이론

잉크가 분열될 때 생기는 현상인 택에 관한 이론들 중에서 가장 널리 알려진 이론에는 공동설(空洞說)과 점탄성설(粘彈性說)을 들 수 있다.¹⁶⁾

2-1-1. 공동설(空洞說)

롤러 사이 또는 두 개의 평행한 판 사이에 있는 잉크가 각각 반대 방향으로 끌어당기는 힘에 의해 스트레스(Stress)를 받는데, 이 스트레스가 커지면 잉크의 피막 내에 공동이 생기고 이 공동이 성장하여 분열된다는 이론이 공동설이다.

Fig. 1은 동일한 속도로 회전하는 롤러의 틈새 안에서 잉크의 압력과 속도의 분포도이다. 롤러가 회전하기 시작하면서 틈새 입구에서 급격히 압력이 증가하다가 최대점 A를 지나고 나면 틈새의 중심에서 급격히 감소한다. 압력이 대기압과 같게 되는 B점에 이르면 잉크는 층류로 유동하며, 정압력이 걸리다가, 이 점을 지나면 부압력이 작용한다. 그리고 틈새의 출구를 통과한 잉크를 두 롤러가 상하로 끌어당기게 된다.

따라서, 압력이 최소로 걸리는 곳에서 잉크의 피막이 스트레스를 받으면, 저속에서는 접촉 중심을 향하여 아치상의 자유 계면이 생긴다. 그러나 고속에서는 스트레스를 완화하기 위하여 자유 계면이 이동할 충분한 시간이 없으므로, 피막의 내부에 작은 공동이 발생하고 이것이 급격히 성장하여 필라멘트상으로 늘어난 다음에 끊어지는 현상이 나타난다. 이러한 공동의 생성, 성장, 분열의 단계로 택을 설명하는 이론을 공동설이라고 한다.¹⁷⁾

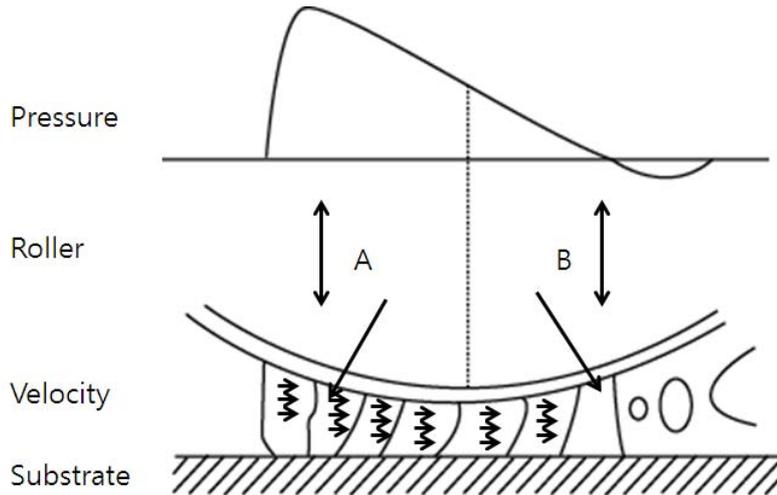


Fig. 1. Distribution of pressure and velocity on the roller nip.

2-1-2. 점탄성설(粘彈性說)

잉크는 단 시간 내에 일어나는 변형에 의해 점탄성적인 성질을 나타내는데 매순간마다 스트레스를 받는 시간에 따라서 점성액체, 또는 탄성적 고체로 거동하고, 대부분 점탄성인 물질처럼 변형한다는 이론이다. 이 이론은 빠른 속도에서는 스프링이 작용하고, 느린 속도에서는 대쉬포트(Dashpot)가 작용하는 원리와 같은 것이다. 이와 같이 잉크를 점탄성적인 액체로 취급하여 다루는 것이 점탄성설이다.

2-2. 전이 방정식

인쇄적성을 과학적이고 공학적으로 연구하기 시작한 것은 1950년대부터이며 가장 먼저 해석하려고 했던 것은 잉크와 종이의 전이적성이다.

이 문제를 수학적으로 해석하기 위한 첫 단계는 인쇄판상의 잉크의 양에 따른 인쇄물의 잉크량을 정량적으로 측정하는 것이다. 이와 같이 인

쇄판상의 잉크량과 종이 위에 전이되는 잉크량을 그래프로 나타내면 S 곡선이 나타나게 되는데 이를 전이곡선이라 하고 전이율로 나타낸 결과를 전이율 곡선이라고 한다.

잉크의 전이율은 종이의 표면 구조 및 판 위의 잉크량과 점도에 따라 달라지며, 일반적으로 표면적이 큰 표면이 거친 종이일수록 전이율이 높아진다. 비도포지는 잉크가 종이 속에 침투하는 양이 많으므로 전이율이 더욱 높아지며, 신문인쇄와 같이 점도가 낮은 잉크를 사용할 때는 최대 85% 까지 이르게 된다.

잉크의 전이 거동은 기본적으로 잉크의 레오로지 특성과 전이 방식에 의존하지만, 인쇄기계 상에서 수반되는 잉크의 고속 신장이나 전단 거동으로 인하여 잉크의 전이율에 대한 점도나 동적 점탄성 등의 미시적인 관계를 이론적으로 규명하는 것은 대단히 어려운 일이다. 따라서 대부분의 잉크 전이 모델에서는 인쇄판과 피인쇄체 사이에서 발생하는 거시적인 전이 기구에 입각하여 실험 결과에서 나타나는 곡선을 정확하게 방정식으로 표현하는데 초점을 맞추어 왔다.

보통 백분율로 표시되는 잉크 전이율은 어떤 Nip안에 존재하는 잉크가 잉크를 전달하고자 하는 잉크 수용롤러로 전이되는 비율로 정의된다. 인쇄기의 궁극적인 기능은 잉크를 종이로 전이시키는 것이므로 잉크를 운반하는 롤러나 실린더에서의 잉크 전이율은 대단히 중요한 문제이다. 잉크막의 분리에 관한 이러한 특성은 인쇄기계 상에서 측정하기가 매우 곤란하다. 그러므로 이러한 연구는 거의 전적으로 인쇄적성 시험기나 교정 인쇄기에서 이루어져 왔으며, 연구의 대부분은 종이에 대한 잉크 전이에 집중되었다.

2-2-1. 전이 정수

Walker와 Fetsko¹⁸⁾는 인쇄판의 중량을 측정하여 처음으로 전이관계를 수식으로 만들었으며 다음과 같은 세 가지 개념을 가정하였다.

[가정1] 종이와 잉크가 접촉하였을 때 잉크량이 적으면 불완전한 접촉을 하여 잉크 공급의 증가에 따라 빠르게 접촉면이 늘어난다.

[가정2] 종이의 표면에는 공극이 발달하여 있으므로 잉크와 접촉 시 압력이 가해지면 적당량의 잉크를 고정화 한다.

[가정3] 고정화하고 남은 자유잉크는 일정한 비율로 나누어 분열한다.

이 가정 하에 얻은 식을 Walker-Fetsko식이라고 하고 각각 아래와 같은 세가지 계수를 얻게 된다.

k (용지의 피복 면적비) : 종이의 요철부에 채워지는 잉크가 얼마나 빠르게 완전피복에 도달하는가를 의미

b (고정화 잉크량) : 완전 피복점에서 용지가 고정화시킨 잉크의 양

f (자유잉크 분열비) : 완전 피복된 후 잉크의 분열비

잉크량을 증가시키면서 종이에 전이된 잉크량을 플롯하면 Fig. 2 와 같은 곡선을 얻을 수 있다. 여기서 잉크량이 많을 때는(포화점 이후) 1 차 함수로 표현할 수 있는데 식 (1)과 같다.

$$y = b + f(x - b) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 y는 종이에 전이된 잉크량, b는 고정화 잉크량, f는 자유잉크의 분열비, x는 인쇄관상의 잉크량(공급량) 이다.

식 (1)을 다시 쓰면 식 (2)와 같으며,

$$y = fx + b(1 - f) \dots\dots\dots (2)$$

식 (1)을 전이율로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$y/x = b/x + f(x - b)/x \dots\dots\dots (3)$$

그러나 잉크량이 작을 때는 잉크의 용지가 불완전한 접촉으로 용지의

요철을 효과적으로 채울 수 없게 된다. 따라서 접촉면적비와 실제 접촉된 영역에서 전이된 잉크량의 개념을 도입하면 잉크에 의해 접촉된 종이의 면적은 식 (4)와 같이 표현한 수 있다.

$$F = 1 - e^{-kx} \dots\dots\dots (4)$$

또한 실제 접촉된 영역에서 전이된 잉크의 양을 고려하면 식 (5)와 같다.

$$\phi b = b(1 - e^{-x/b}) \dots\dots\dots (5)$$

이 개념으로 식 (2)를 다시 정리하면 식 (6)과 같이 된다.

$$y = (1 - e^{-kx})[b(1 - e^{-x/b}) + f[x - b(1 - e^{-x/b})]] \dots\dots\dots (6)$$

식 (6)이 Walker 와 Fetsko의 전이 방정식이다. 따라서 식 (1)과 식 (3)에서 전이계수 b, f, k를 얻을 수 있다.

이 식은 종지와 잉크의 관계를 나타낸 것으로 종지와 잉크의 고유한 관계를 얻을 수 있다. k값은 적은 양의 잉크범위에서 얻은 값이므로 포화점 이상의 잉크필름 영역에서는 사용할 수 없다.^{19~20)}

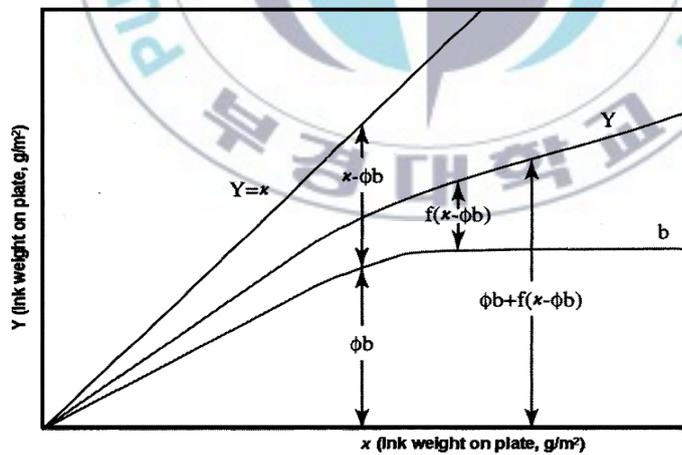


Fig. 2. Conceptual curve of ink transfer.

Fig. 3은 민짜 인쇄(Solid Printing)에서 잉크의 전이 메커니즘을 고려한 것으로서, 피인쇄체와 관련되는 k , b 의 전이 정수의 연관성을 배제하고 자유 잉크량만을 고려하였다. 이와 같이 전이 정수는 인쇄 재료와 인쇄 공정상 조건들에 따른 인쇄 잉크의 전이를 나타내는 변수이므로, 인쇄 공정의 상태를 표현하는 중요한 변수로 사용된다.

잉크량이 증가하면서 종기와 얼마나 빨리 완전한 접촉에 도달되는가를 평활도 상수로서 인쇄평활도의 측정으로 가능하며 좋은 평활도일수록 높은 k 값을 보인다. 인쇄 압력이 증가하면 인쇄평활도도 증가하고 종기에 영향을 많이 받는다. 인쇄 속도가 올라가면 k 값은 다소 떨어진다.²¹⁾

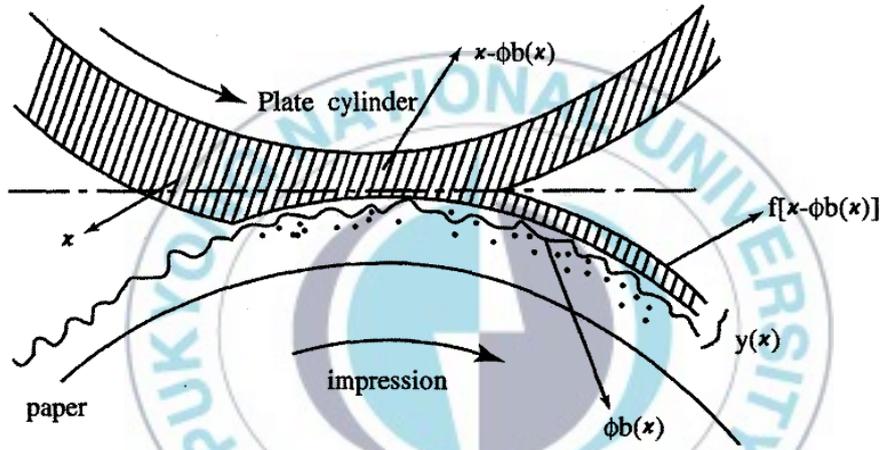


Fig. 3. Conceptual diagram of ink transfer.

b 는 전이율 곡선의 최대 전이율 부분에서의 값이 되며, 종이가 인압을 받고 있는 동안 잉크를 고정화 혹은 수용할 수 있는 최대량이다. 이 값은 종이의 투기도와 평활도에 깊은 관계가 있으며 인압이 증가하면 증가하며, 속도를 감소시키면 증가한다. 또한 잉크의 점도에 큰 영향을 받는다.

f 는 포화점 이후 잉크 필름 영역에서의 값을 의미한다. f값은 고정화 되고 남은 잉크의 분열비를 나타내는 것으로 지배인자가 아직 명확히 알려지지 않는 않지만 종이의 흡수 특성과 관련이 있다고 보고되어 있다.²²⁾

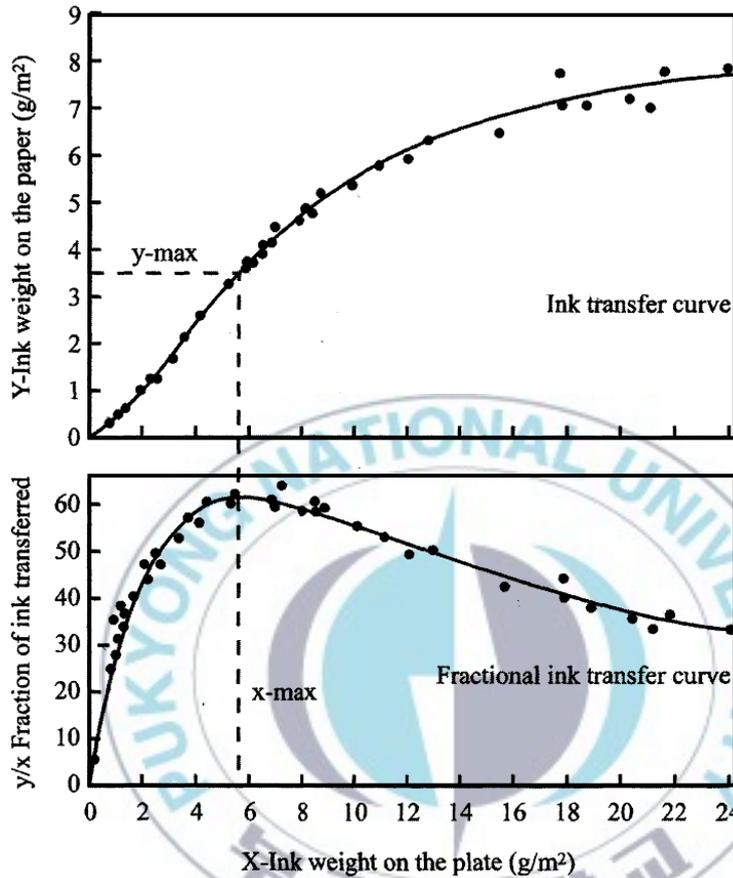


Fig. 4. Curves of typical ink transfer and fractional ink transfer.

2-2-2. 잉크의 전이 현상에 영향을 주는 요인

롤러 상에서 전이량에 영향을 주는 요소들은 매우 다양하고 복합적으로 작용한다. 따라서 기본적인 모델을 모사하여 조건을 설정하기 위해서

다양한 변수들과 잉크 전이의 상관관계 대해 연구하였다. 잉크 전이는 롤러의 압력과 속도, 잉크량과는 비례하고 점도에는 반비례하는 특성을 가지고 있다.

(가) 인쇄 속도의 영향

잉크의 전이율은 인쇄 속도에 따라 다르다. 즉, 일반적으로 종이 인쇄에서 인쇄 속도가 빠르면 인쇄판과 종이의 접촉 시간이 단축되기 때문에 잉크 비이클이 종이에 침투가 잘 안되어 전이율이 낮다.

(나) 인쇄 압력의 영향

잉크의 전이율은 인쇄 압력이 높을수록 증가된다. 그 증가율은 압력의 증가에 따라서 정비례하지 않고 압력이 높아질수록 증가되는 폭이 줄어든다. 그 이유는 잉크의 유동성으로 설명되고 있다. 그러나 인쇄 압력이 어느 정도 높아지면 더 이상 전이율이 증가하지 않고 평형을 이룬다.

(다) 소성 점도의 영향

소성 점도가 높은 잉크는 일반적으로 전이율이 감소한다. 인쇄기 내에서 잉크가 받는 힘은 중력 밖에 없으므로, 특별한 잉크 장치가 없는 한 소성 점도가 대단히 작아야 잉크 유출 롤러로 전이되기가 쉽다.

(라) 길이(Length)의 영향

인쇄 잉크는 금속 롤러와 고무 롤러들의 표면에 잘 부착되어야 하므로 적당한 길이를 가져야 한다. 길이가 클수록 전이는 잘 된다. 그러나 전이와는 별개로 길이가 크면 미스팅이나 모틀링 등의 원인이 되므로 주의할 요한다.

(마) 요변성의 영향

인쇄 잉크를 기계적으로 잘 교반하였을 때와 교반하지 않았을 때는 전이율에 현저한 차이가 있다. 즉, 잘 이겨진 잉크는 전이율이 높다. 그 이유는 인쇄 잉크가 요변성을 가지고 있기 때문이다.

(바) 택의 영향

택은 롤러들의 Nip에서 잉크가 분열할 때의 저항이므로 잉크의 전이에 절대적인 영향을 미친다. 전이 상태는 주로 택코미터 값에 의해 측정되어 왔다. 그러나 실제로 택은 점탄성을 비롯한 잉크의 유동성과 직접적인 관계가 있다. 따라서 근본적으로 잉크의 전이는 유동성에 많은 영향을 받는다고 볼 수 있다.

(사) 기계적인 영향

잉크가 두 개의 롤러 사이 Nip으로 들어갈 때 전이량은 두 롤러의 지름 또는 곡면 상태에 의해 달라진다. 즉, 지름이 작은 롤러에서 지름이 큰 롤러로 전이될 때 전이율이 높다. 평면은 지름이 무한대로 크다고 볼 수 있으므로 지름이 작은 롤러에서 평면으로 전이될 때가 가장 전이율이 높다.

(아) 전이면의 영향

두 개의 롤러가 크기, 표면 상태, 재질 등 모든 점에서 동일 할 때, 두 롤러 사이의 Nip으로 들어간 잉크는 잉크의 양이 충분히 많다면 똑같은 양으로 분열되어 나온다. 그러나 한 쪽 롤러의 표면이 다른 쪽보다 거칠다면 거친 롤러는 오목부까지 잉크가 채워지므로 전이량이 많아진다. 따라서 전이면이 거칠거나 흡수성이 있는 종이는 전이율이 높다. 인쇄판상의 잉크의 양이 적으면 거친 종이의 오목부까지 충분히 잉크가 채워지지 않으므로 전이율은 다소 낮아진다.

2-3. 인쇄공정의 롤러 시스템에서의 흐름의 형태와 압력 분포

Fig. 5는 인쇄 과정에서 흐름의 형태와 압력분포를 나타낸 것이다. 잉크가 롤러의 사이로 들어오면 압축에 의한 정압력이 걸리고, 출구에서는 잉크들의 신장 내력 또는 응집력에 의한 부압력이 걸린다. 이 때 출구에

서는 두 롤러에 의해 잉크는 두 부분으로 분열되며, 잉크의 분열에 의해 잉크가 전이되어 인쇄가 이루어진다. 이와 같은 롤러 시스템은 Bank, Shear, Cavitation, Filament 영역으로 나누어지게 된다.

Bank영역은 넓은 범위의 전단 속도가 작용하며, 난류 흐름을 하고, 일정한 양의 잉크 이외의 잔여잉크를 거부하는 영역이다. 두 번째로 최고의 압력을 받는 층류 영역은 층류 흐름을 하고 있으며, 미소한 기공에 의하여 기공이 늘어남으로써 분열되는 영역으로 공동화 현상이 생기고 잉크 층이 두 방향으로 나누어진다. 마지막의 필라멘트 영역에서는 장력이 없어지고, 공기 중에 필라멘트 또는 미소한 잉크방울을 만드는 영역이다. 이 영역에서는 롤러들에 대하여 수직 방향의 힘이 작용한다.²³⁾

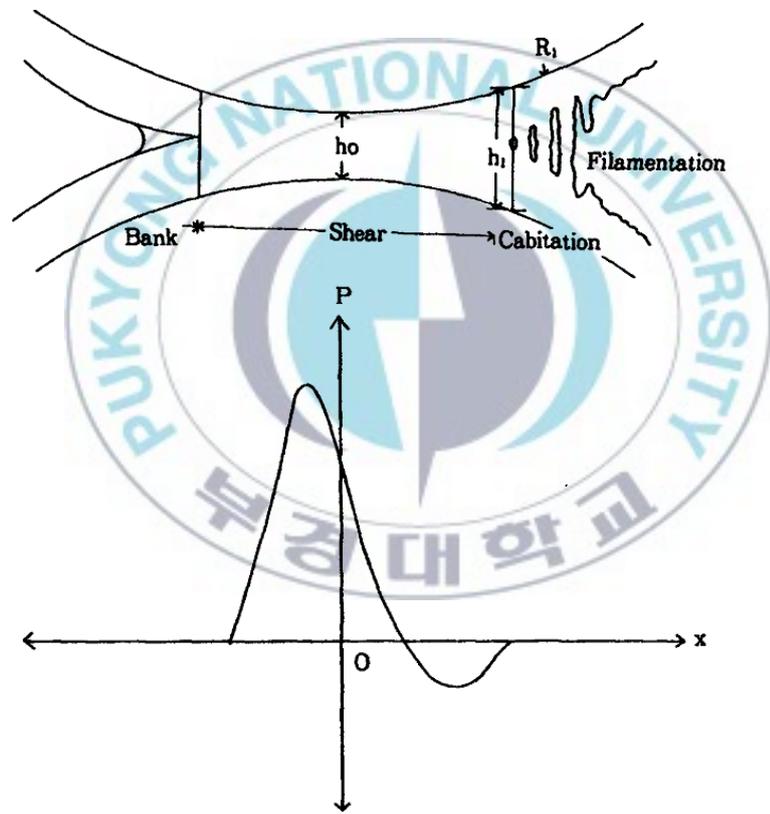


Fig. 5. Flow models in printing and pressure profiles.

3. 실험

본 논문에서는 오프셋 인쇄의 메커니즘 해석에서 실험적인 방법과 이론적인 해석을 일치시키는데 그 목적을 두었다. 실험적인 방법을 위해 사용한 것은 인쇄적성 모사시스템 중 오프셋 인쇄적성시험기(IGT, Model C1)와 인쇄 Nip출구에서의 잉크의 유동을 촬영하기 위하여 Microscope(Veho VMS004DELUXE)를 사용하였다. 이론적인 해석을 위해 사용한 시뮬레이션 프로그램은 ANSYS社에서 제공하는 Polyflow (Workbench Release 13.0)이다.

오프셋 인쇄적성시험기와 Microscope로 실험데이터를 구하고, 실험과 동일한 조건을 시뮬레이션 하여 얻은 데이터를 비교 분석하였다.

3-1. 인쇄적성실험

인쇄적성실험은 Fig. 6과 같은 IGT 오프셋 인쇄적성시험기와 Bank부의 정확한 촬영을 위한 Microscope를 연결을 고안하여 사용하였다.



Fig. 6. IGT C1 printability tester and microscope.

IGT의 Disc는 고무를 사용하였고, 작업조건은 Table 1과 같이 잉크의 공급량에 변화를 주었으며 인쇄 속도 30cm/sec와 잉크 연육시간은 120sec, 인쇄실의 환경은 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, 습도 $17\pm 5\%$ 로 조건을 동일하게 주었고 Fig. 7과 같이 Microscope와 프로그램을 사용하여 초당 5장의 사진을 촬영하였다.

Table 1. Test Condition of Off-set Printing

Factor	Unit	Test conditions
Flow rate	g/cm^3	10, 30, 50
Roll speed	cm/sec	30
Grind time	sec	120
Temperature	$^{\circ}\text{C}$	20 ± 1
Humidity	%	17 ± 5



Fig. 7. Microcapture with measurement.

3-2. 시뮬레이션

시뮬레이션은 복잡한 문제를 해석하기 위해 모델에 의한 실험을 통해 그 특성을 파악하는 것을 말한다.

인쇄 Nip에서 잉크의 유동은 대칭형이므로 2차원적인(Plane Method) 방법에서도 충분히 잉크 전이점 및 유동을 볼 수 있으므로, CPU 시간을 절약하고 간단화하기 위하여 2-D(Two Dimension) 방법을 선택하였다.

Fig. 8은 직경이 40cm인 상부 롤러와 하부 롤러 틈새에서 잉크가 $Q(g/cm^3)$ 로 왼쪽에서 공급되어 롤러의 선속도값(V_n)에 의해 오른쪽으로 전이되는 기본적인 개략도이다. 밀도(Density)나 관성(Inertia)의 영향은 받지 않는다고 가정하여 대칭적인 형태에서 중간부분을 잘라 윗부분을 도메인(Domain)화하여 시뮬레이션 하였다.

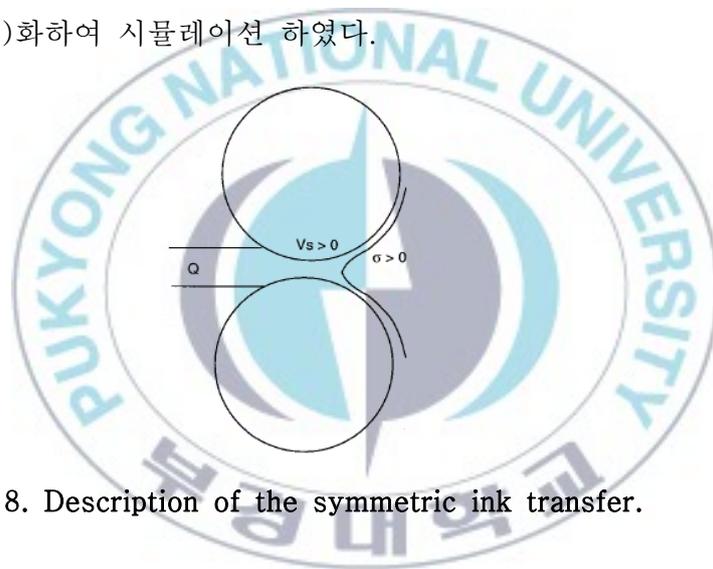


Fig. 8. Description of the symmetric ink transfer.

Table 2는 모사할 잉크 전이 모델의 기본 설정 값들을 나타내며, 속도(Roll Speed)나 잉크량(Flow Rate) 등은 인쇄적성시험기 IGT-C1 매뉴얼의 값을 참고하여 결정하였다. 잉크가 점탄성유동을 할 것이라 가정하고 Non-Newtonian 유동을 선택하였다. 또한 기본적인 물성이 고점도이며, 롤러의 접촉부 사이에 작용하는 전단 속도가 큰 값을 고려해

Power Law 모델을 적용시켜 계산하였다.

Table 2. Physical Properties of The Ink Transfer Model

Factor	Unit	Test conditions
Viscosity- μ	poise	100
Surface tension- σ	dyne/cm	100
Gap width- h_g	cm	0.2
Flow rate- Q	g/cm ³	10, 30, 50
Roll speed- V_n	cm/sec	30
Natural time- λ	sec	0.824

윤전 잉크의 점도는 10~100 poise 이고 활판 잉크의 점도는 100~500 poise 이라는 기본 점도 기준 값을 바탕으로 100 poise를 선택하였다. 틸새 출구에서 변화하는 자유계면은 롤러를 타고 도는 잉크와 피인쇄체면을 따라 변화하는 잉크로 연구하기 위해 기본적으로 변화하는 모습에 안정성을 부여하였다. 따라서 표면장력 값과 X, Y 축 방향에 따라 최대한 변화 할 수 있는 범위를 설정하였다. 그리고 롤러와 피인쇄체와 만나는 교차점에는 변형에 따른 한계 접촉각을 두어 아치상의 자유 계면이 변화할 수 있는 범위를 제한하였다.

Fig. 9는 상위 부분만을 고려한 도메인의 초기 모델이며, Geometry를 이용하여 기본 도메인을 작도 하였다. 각 순간의 잉크의 거동을 알아보기 위해 전체적인 작업은 시간 변수에 따라 달라지는 Time-Dependent Problem을 선택하였다. 이 때 온도 변화는 일정하다고 가정하여 단열(Isothermal)조건과 전단 속도에 따른 점도의 변화 양상을 알아보기 위해 점탄성 모델 중 Generalized Newtonian Isothermal Flow를 부작업으로 설정하였다. 기본적인 잉크의 물성 값은 점도 100 poise,

Relaxation Time 0.824s, 지수 n은 0.95 값을 주어 초기시간 0에서 최종시간 1에 이르기까지의 잉크 거동의 모습을 모사하였다.

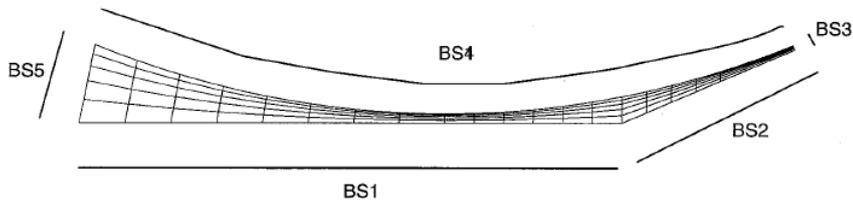


Fig. 9. Finite element mesh and boundary sets.

각각의 Boundary Condition(BC)에는 아래와 같은 조건을 주었다.

BS 1 : Plane of symmetry

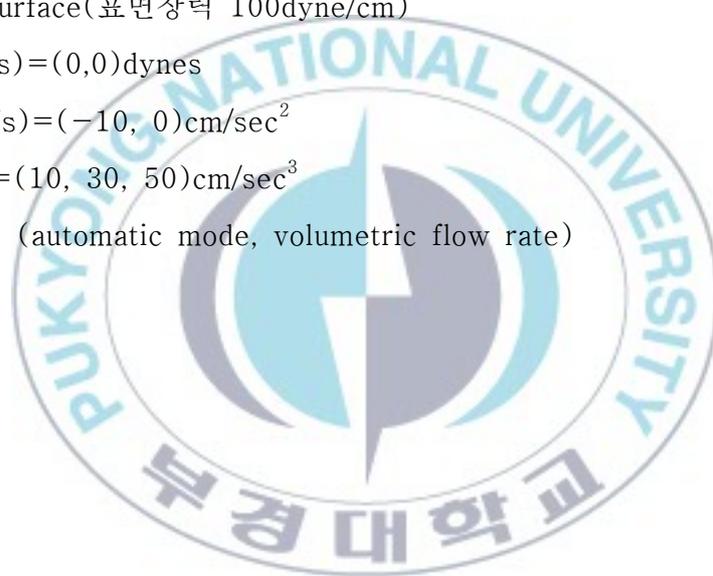
BS 2 : Free surface(표면장력 100dyne/cm)

BS 3 : $(F_n, F_s) = (0, 0)$ dynes

BS 4 : $(V_n, V_s) = (-10, 0)$ cm/sec²

BS 5 : inflow = (10, 30, 50) cm/sec³

(automatic mode, volumetric flow rate)



4. 결과 및 고찰

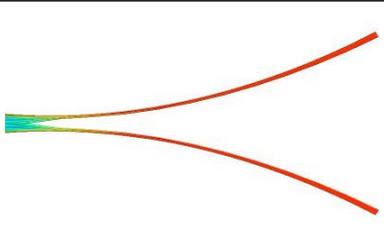
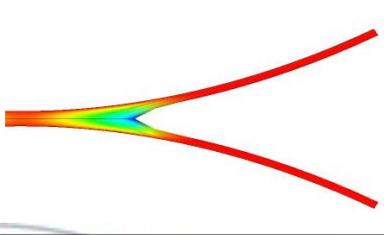
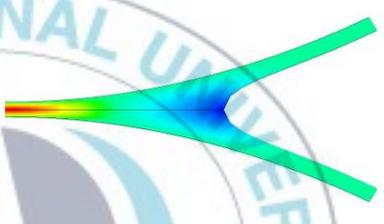
4-1. 잉크량 변화에 따른 잉크의 유동

인쇄 롤러가 회전할 때, 잉크량 변화에 따른 잉크의 유동에 대한 실험 결과와 시뮬레이션 결과 값을 Table 3에 비교하였다. Walker-Fetsko는 잉크의 전이 정수 k , b , f 값과 전이 이론 모델을 제안하였다. 본 연구에서는 그들이 전이 모델 이론을 과학적으로 규명하고 세 가지의 잉크 전이 정수의 영향을 알아보기 위해 실험과 시뮬레이션을 하였다.

Table 3에서는 잉크의 공급량을 증가시킬수록 잉크의 형성 즉, 잉크 필라멘트가 늘어나는 모습을 볼 수 있다. 또한 잉크의 공급량이 증가하여 잉크의 형성이 많아짐에서 Walker-Fetsko가 제안한 잉크의 전이이론에서처럼 잉크가 실험과 시뮬레이션 모두 이상적인 분열 즉, 거의 1:1의 양으로 전이가 되는 모습을 보여준다. 이것은 이상적인 분열 모습이기 때문에 롤러를 타고 도는 자유 잉크인 f 값과 피인쇄체와 관련된 k , b 값은 동일한 비가 됨을 알 수 있다. 즉, 피인쇄체의 잉크 전이율과 롤러의 잉크 전이율이 1:1의 상관관계를 가지며, 인쇄 도중에는 잉크와 관련된 문제점이 없다는 것을 의미한다.

Fig.10은 인쇄 Nip사이에서 잉크의 형성 길이를 측정된 것이다. 실험과 시뮬레이션결과 잉크의 공급량을 10g/cm^3 으로 주었을 때 평균적으로 약 1.2mm 의 잉크를 형성하였고 잉크의 공급량을 30g/cm^3 으로 주었을 때 평균적으로 약 3.1mm 의 잉크를 형성하였으며 잉크의 공급량을 50g/cm^3 으로 주었을 때 평균적으로 약 4.8mm 의 잉크를 형성하였다. 또한 Fig.10을 보면 알 수 있듯이 실험결과와 시뮬레이션 결과를 그래프로 그렸을 때 그래프의 모양이 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 즉, 잉크의 유동이 실험결과와 시뮬레이션 결과가 거의 일치한다는 것을 알 수 있었다.

Table 3. Ink Flow According to The Variation of Flow Rate

Division Flow rate	Experiment	Simulation
10 g/cm ³		
30 g/cm ³		
50 g/cm ³		

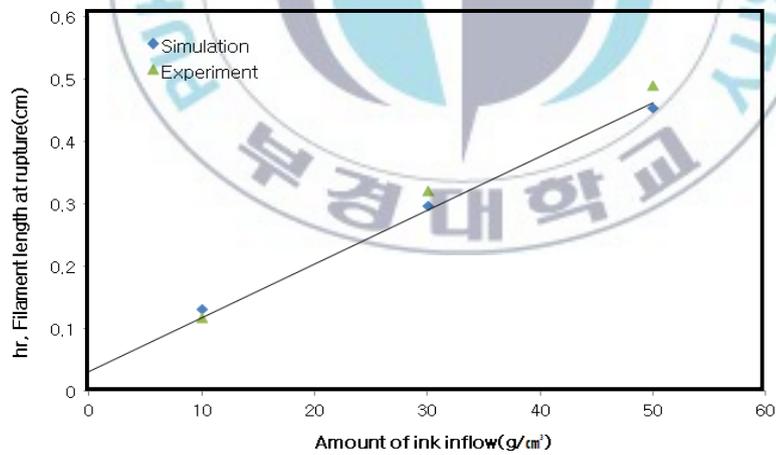


Fig. 10. Comparison of the experiments and the simulator.

4-2. 시간에 따른 잉크의 유동

Table 4는 잉크의 공급량이 $10\text{g}/\text{cm}^3$ 일 때, Table 5와 Table 6은 각각 잉크의 공급량이 $30\text{g}/\text{cm}^3$ 과 $50\text{g}/\text{cm}^3$ 일 때 처음 시간 0.00 sec에서 최종 시간 1.00 sec까지 인쇄 Nip의 출구에서 잉크의 유동 모습을 일정한 시간 간격을 두고 촬영한 결과이다. 다음 결과를 통하여 틱새의 출구에서 잉크의 분열 양상과 잉크 전이율에 관한 실험적인 결과의 비교가 가능하였다.

Table 4는 잉크의 공급량이 $10\text{g}/\text{cm}^3$ 일 때 처음 시간 0.00 sec에서 최종 시간 1.00 sec까지 인쇄가 진행되는 과정이다. 인쇄 Nip의 출구에서 약 1.2mm의 잉크 형성이 발생하였고, 1.00 sec의 시간이 경과된 후 Nip 사이의 잔류잉크가 실험결과와 시뮬레이션 결과 거의 없는 것을 확인할 수 있었다. 이는 공급된 잉크의 양이 롤러를 타고 도는 자유잉크와 고정화잉크로 모두 나누어 졌기 때문에 Nip사이에서 잔류잉크를 확인 할 수 없었을 것이라 사료된다.

Table 5는 잉크의 공급에서 잉크의 공급량이 $30\text{g}/\text{cm}^3$ 일 때 처음 시간 0.00 sec에서 최종 시간 1.00 sec까지 Nip에서 잉크의 유동이다. 인쇄 Nip의 출구에서 잉크의 공급량이 $10\text{g}/\text{cm}^3$ 일 때 보다 증가한 약 3.1mm의 잉크 형성이 발생하였고, 최종시간 1.00sec의 시간이 경과된 후 Nip 사이에 조금의 잔류잉크와 함께 인쇄 롤러에도 잉크 필라멘트가 끊어져 표면에 약간의 오렌지 필이 발생한 것을 확인 할 수 있었다. 이는 공급된 잉크의 양이 롤러를 타고 도는 자유잉크와 고정화잉크의 양보다 초과하여 Nip사이에 잔류잉크가 생성 되었을 것이며, 잉크의 양이 많아 잉크의 형성이 많아지면서 인쇄표면에도 오렌지 필 등의 인쇄문제가 발생되는 것이라 생각된다.

Table 6은 잉크의 공급에서 잉크의 공급량이 $50\text{g}/\text{cm}^3$ 일 때 처음 시간 0.00 sec에서 최종 시간 1.00 sec까지 Nip에서 잉크의 유동이다. 인쇄 Nip의 출구에서 평균 약 4.8mm의 잉크 형성이 발생하였고, 1.00 sec의

시간이 경과된 후 Nip 사이에 잔류잉크가 많이 남아 있는 것을 확인할 수 있었으며 잉크의 날림, 모틀 등의 인쇄문제가 생기는 것을 확인할 수 있었다. 이는 공급된 잉크의 양이 너무 많아 잉크의 형성 또한 많아지면서 잉크의 분열 형태가 많이 불균일해졌기 때문이라 판단된다.

Table 4. Ink Flow According to The Variation of Time (10g/cm³)

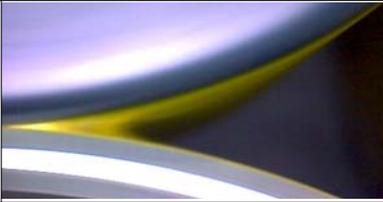
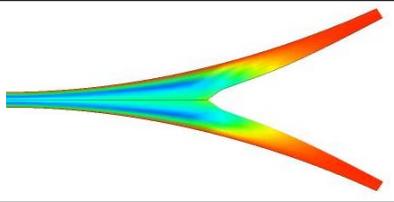
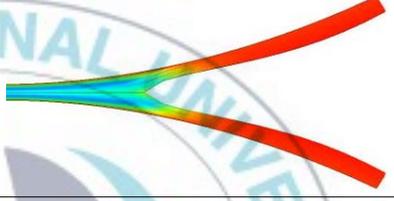
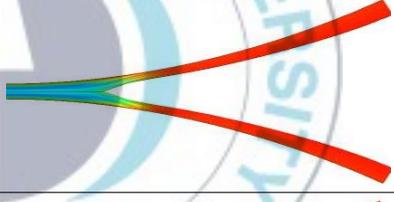
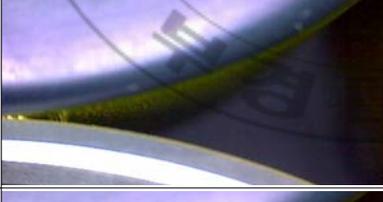
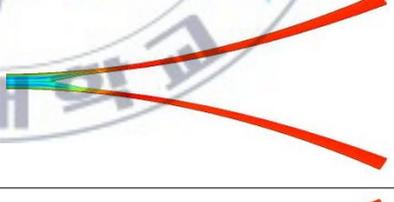
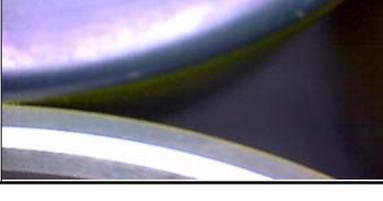
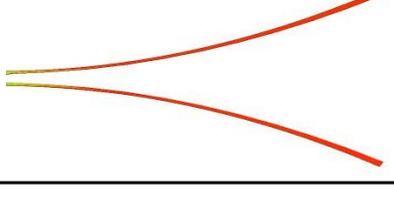
Division Time	Experiment	Simulation
0.00 sec		
0.25sec		
0.50sec		
0.75sec		
1.00 sec		

Table 5. Ink Flow According to The Variation of Time (30g/cm³)

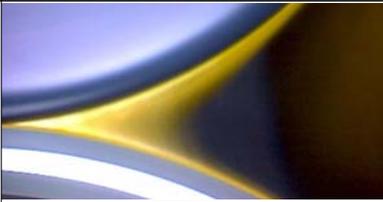
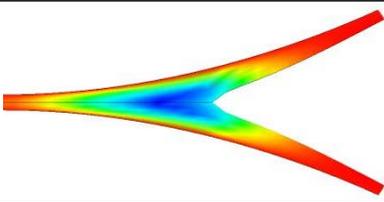
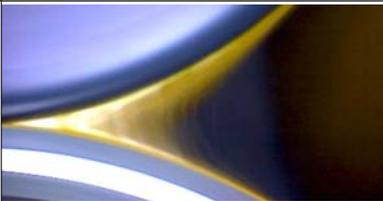
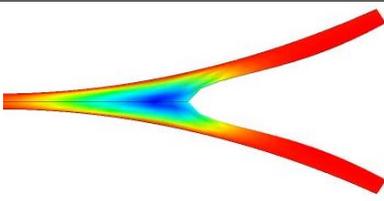
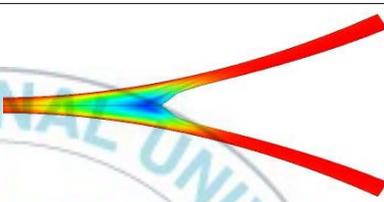
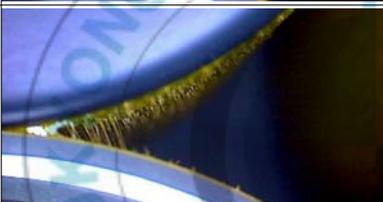
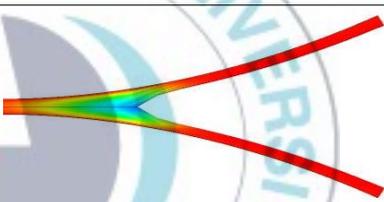
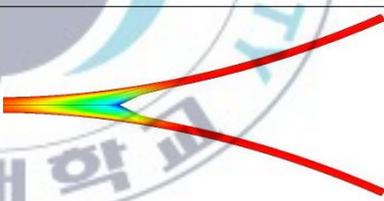
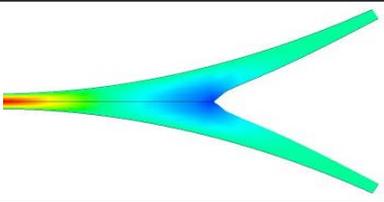
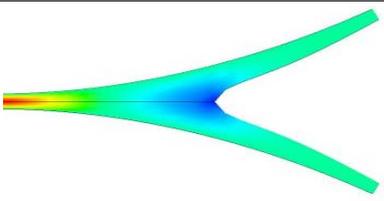
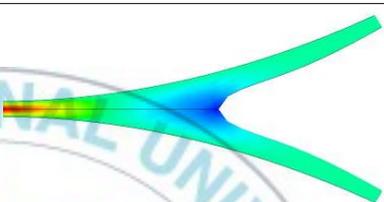
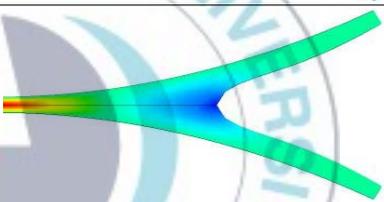
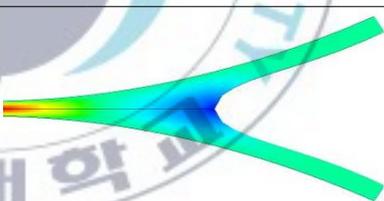
Division Time	Experiment	Simulation
0.00 sec		
0.25sec		
0.50sec		
0.75sec		
1.00 sec		

Table. 6. Ink Flow According to The Variation of Time (50g/cm³)

Division Time	Experiment	Simulation
0.00 sec		
0.25sec		
0.50sec		
0.75sec		
1.00 sec		

즉, 잉크의 공급량이 증가할수록 Nip의 출구에서 잉크의 형성은 크게 증가하며 잉크의 공급량과 Nip의 출구에서 잉크의 형성은 비례관계에 있고, 잉크의 공급량이 증가할수록 잉크형성이 많아져 미스팅, 오렌지 필 등의 인쇄문제 발생 원인이 될 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 11은 시간에 따른 필라멘트의 길이변화를 나타낸 그래프이다. 이 그래프를 보아 필라멘트는 잉크의 양이 많을수록 길게 발생하고 급격히 필라멘트의 길이가 줄어드는 것을 알 수 있었다. 또한 단시간 내에 필라멘트의 길이가 짧아지는 현상을 발견하였으며 시간이 경과될수록 필라멘트의 길이 변화는 점차 줄어드는 것을 알 수 있었다. 즉, 잉크의 필라멘트 길이와 시간은 반비례 관계임을 알 수 있었다. 이는 잉크의 점탄성적인 성질에 의한 것으로 사료된다.

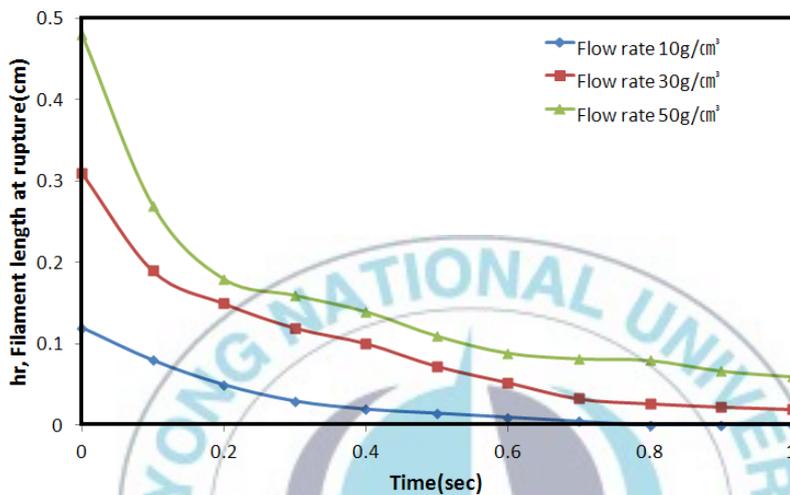


Fig. 11. Filament at rupture according to the variation of time.

Coco와 Cockerline는 Prufbau Test기를 이용하여 Fig. 12과 같은 고정화 잉크량의 시간에 따른 전이율을 연구하였다. 그들의 연구 결과를 통해 고정화 잉크량의 경우 단시간 내에 전이가 되는 양이 많으며, 전이 시간 또한 상당한 짧은 것을 알 수 있다. 이 연구 결과를 바탕으로 시뮬레이션을 통해 고정화 잉크뿐 아니라 롤러를 타고 도는 잉크 즉, 자유 잉크량의 거동에 대한 연구가 가능하였다. 자유 잉크는 고정화 잉크처럼 단시간 내에 전이량이 가장 크지만, 시간에 따른 반비례적인 곡선으로 롤러를 통해 전이되는 것으로 보아 시간의 함수인 롤러의 속도 값의 영

량이 클 것이라 사료된다.²⁴⁾

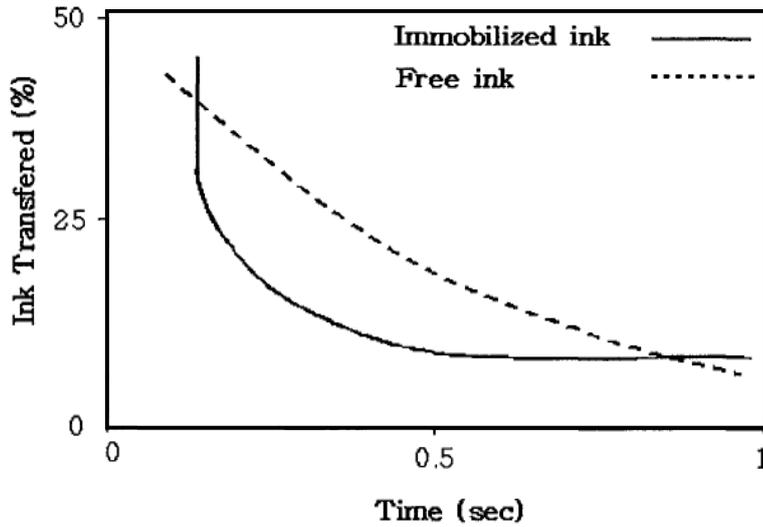


Fig. 12. The two types ink according to the print time.

4-3. 속도 분포

Fig. 13는 각 위치 당 속도를 벡터로 나타내어 크기와 방향성을 나타내었다. 롤러 틈새의 중앙에서 가장 높은 속도 값이 분포하며, 이것은 가장 좁은 틈새 사이에 다량의 잉크가 흘러들어가면서 가장 많은 전단 변형율을 받기 때문이라 유추할 수 있다. 그리고 틈새의 출구에서 속도 값이 더 이상 분포하지 않는 지점인 잉크의 분열점의 위치를 알 수 있었다.

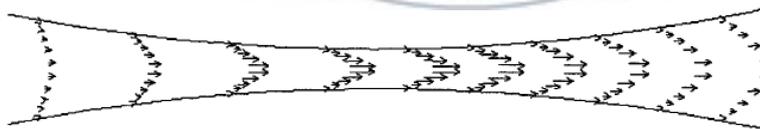


Fig. 13. The velocity vector in the distance from nip.

4-4. 잉크 전이점과 작업 변수

최종 인쇄물의 농도를 결정하는 중요한 요인으로 작용하는 잉크의 전이점의 위치가 각종 변수들에 의해 어떻게 달라지는지를 알아보았다. 특히 작업 변수 조건은 기본적인 잉크의 레오로지 물성에 따라 일반적인 영향이 달라지므로, 잉크의 레오로지 물성은 Newtonian 형에 가까운 Power Law 모델을 적용시켰다. 롤러의 속도, 잉크의 량, 그리고 기본적인 잉크의 물성 등의 변수 조건들과 잉크 전이점과의 상관관계에 대해 고찰하였다. Fig. 14은 잉크량에 따른 분기점 분포를 속도에 따라 그래프화 하였다. 잉크량과 전이율은 비례하고, 속도에는 반비례한다는 실험적인 연구 결과와 일치함을 확인하였다.

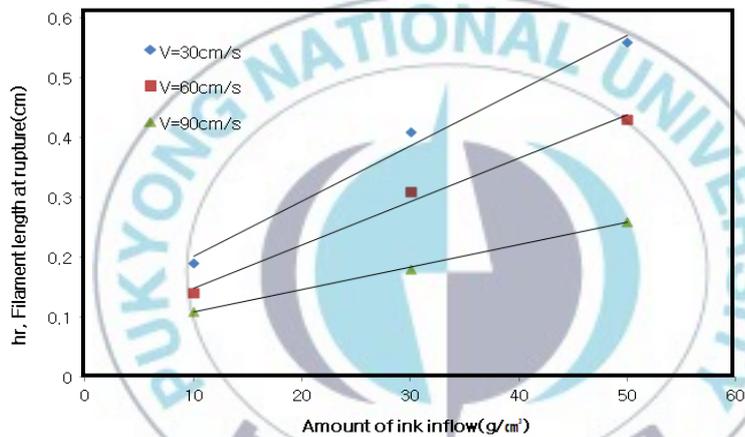


Fig. 14. Filament at rupture according to amount of ink flow.

5. 결 론

인쇄 롤러 사이의 Nip 출구에서 잉크의 유동을 실험 및 컴퓨터 시뮬레이션 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 시각적으로 확인 할 수 없었던 인쇄 롤러 사이의 Nip 출구에서 잉크의 유동 모습을 실험적 방법과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인 및 비교 할 수 있었으며 실험적인 방법의 결과와 시뮬레이션의 결과가 일치하는 것을 확인 할 수 있었다. 이에 따라 잉크 유동에 관한 시뮬레이션은 오프셋 시험인쇄 등에 이용 가능할 것으로 판단된다.

(2) 분열되는 잉크의 전이점의 위치는 잉크의 공급량이 많을수록 증가하는 것을 알 수 있었다.

(3) 잉크의 양이 증가 할수록 잉크 롤러 Nip안의 잔류잉크의 양이 증가하며 잉크 날림, 오렌지 필 등의 인쇄문제의 원인이 될 수 있는 것을 확인 할 수 있었다.

(4) 인쇄 롤러에서 잉크 전이가 이루어질 때 속도 분포를 확인할 수 있었으며 전이율과 속도는 반비례 관계임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 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).
- 2) J. T. Youn, Study on the Pressure distribution and Ink Splitting at the Exit of Printing nip, Journal of Korean Printing Society, Vol. 10, p. 56 (1992).
- 3) P.oittine, Ph.D thesis, Helsink University of Techniligy, Acta Polytechnica Scandinavica Series, p. 131 (1976).
- 4) S. N. Ercan and D. W. Bousfield, Influence of Fluid Rheology on Filament Size, 2000 Tappi International Printing and Graphic Arts, pp. 121~132 (2000).
- 5) E. W. Grald, J. A. Kulkarni and A. Dutta, Application of Multiphysics Simulations to Solve Practical Coating Flow Problems, 11th International Coating Science and Technology Symposium, pp. 181~184 (2002).
- 6) M. A. Johnson and D. W. Bousfield, Viscoelastic Roll Coating Flows, 11th International Coating Science and Technology Symposium, pp. 1~4 (2002).
- 7) G. Zevallos, M. S. Carvalho and M. Pasquali, Theoretical Analysis of Viscoelastic Film Splitting Flows, 11th international Coating Science and Technology Symposium, pp. 5~8 (2002).
- 8) L. J. Davis and G. W. Poehlein, Theoretical Analysis of Film Splitting, Taga Proceedings, pp. 279~291 (1970).
- 9) J. S. Aspler, Y.H. Zang, L.Larrondo, and L. Perron, Printing Tack Development and Coated Paper Structure, Pulp and Paper Research Institute of Canada, pp.162~177 (1997).
- 10) Y. Xiang and D.W. Bousfied, Influencel of Coating Structure on Ink Tack Dynamics, J.Pulp and Paper Science, Vol. 26, pp. 221~227 (2000).
- 11) D. J. Guerrette, A Steady State Inking System Model for Prediction Ink Film Thickness Distribution, Taga Proceedings, pp. 227~235 (1970).

- 12) J. T. Youn, Study on the Pressure distribution and Ink Splitting at the Exit of Printing nip, Journal of Korean Printing Society, Vol. 10, pp. 56~57 (1992).
- 13) J Macphee, A Unified view of the Film Splitting Process Part II, American Ink Maker, pp. 51~56 (1979).
- 14) A. Voet and Boger, The Printing Process, American Ink Maker, pp. 31~57 (1960).
- 15) L. H. Sjudahl, Ink Flow on Rotating Rollers, American Ink Maker, pp. 21~57 (1951).
- 16) J. T. Youn, Introduction to Printing Science, Pukyong National University, Chapter 2, pp. 14~28 (2010).
- 17) I. Ichikawa, Science in Paper, Ink and Printing, Insatsukyoku Choyokai, p. 132 (1970).
- 18) P. J. Mangin, M. B. Lyne, D. H. Pageand, J. H. DeGrace, Advances in Printing Sience and Technology, Vol. 16, pp. 180~205 (2001).
- 19) M. I. Kolte and P. Szabo, Capillary Thinning of Polymeric Filaments, The Society of Rheology Inc. pp. 609~625 (1999).
- 20) I. Ichikawa, Science in Paper, Ink and Printing, Insatsukyoku Choyokai, p.150 (1970).
- 21) M. S. Owens, C. W. Macosko and L. E. Scriven, Misting in Forward Roll Coating, 11th International Coating Science and Technology Symposium, pp. 52~55 (2002).
- 22) R. B. Rief, L. E. Walkup and C. W. Warner, Electrostatic Control of Misting on High-speed Printing Process, Tapa Proceedings, pp. 279~291 (1970).
- 23) J. T. Youn, Study on the Pressure distribution and Ink Splitting at the Exit of Printing nip, Journal of Korean Printing Society, Vol. 10, No. 1, pp. 55~67 (1992).
- 24) C. E. Coco and K. B. Cockerline, Using the Prufbau Test to Predict Web Offset Ink Piling, J. Tappi, pp. 71~78 (1998).

감사의 글

졸업을 눈앞에 두고 지난 석사과정 2년을 되돌아보니 제게 있어 학위과정의 길은 어쩌면 인격수양의 과정에 더 가깝지 않았나 싶습니다. 이제 비로소 모든 과정을 마치고 논문의 마지막 마무리를 글로 남기려 하니 옛일이 스쳐 지나가면서 베풀지는 못하고 받기만 한 삶을 반성하게 됩니다. 저를 도와주신 분이 이렇게 많았음에도 불구하고 일일이 찾아뵙고 감사드리지 못하는 점 이해해 주시길 바랍니다.

참으로 부족한 저를 학문의 길로 불러 들여 새로운 정보와 지식으로 더욱 넓은 생각을 할 수 있도록 지도해주시며 함께 고생해주신 윤종태 지도교수님께 고개 숙여 감사드립니다. 또한 바쁘신 가운데 열과 성으로 심사를 해주신 구철희 교수님, 하영백 박사님의 세심한 배려 덕분에 논문으로서의 틀을 갖추게 되어 대단히 감사하게 생각합니다. 논문이 완성되어 가는 과정에서 항상 관심을 가지고 조언을 아끼지 않으신 이만교 박사님, 백용국 박사님께도 감사드립니다.

바쁜 시기에 제 빈자리를 기꺼이 맡아 주었던 우리 송아와 예쁜 후배 정주, 논문을 너무 열심히 도와준 우리 실험실 식구들 언석이, 윤택이, 민수, 현정이의 응원도 잊지 않겠습니다. 그리고 2년간 함께 있다는 것만으로도 힘이 되었던 내동기 은진이 에게도 감사의 마음을 전합니다. 니가 있어서 논문 완성 할 수 있었어! 사랑하는 친구들 아인가베 멤버 고기송이, 뒷북유평, 삐꾸혜진, 쌍신문희와 한별이, 송민이, 내사랑 쪼꼬 너희들이 있어 힘들었던 시간도 즐겁게 보낼 수 있었어. 다들 너무 감사드립니다.

끝으로 어린 시절부터 늘 사랑과 관심으로 내 인생의 든든한 후원자가 되어 주신 부모님 이숙희 여사님과 정준수 옹, 항상 듬직한 사랑하는 내동생 상민이의 희생과 사랑이 아니었으면 제가 오늘 이 자리에 없었을지도 모릅니다. 언제나 나의 영원한 정신적 지주, 존경하는 부모님과 식구들에게 이 작은 기쁨을 바칩니다.

2012년 1월

정 지 은