

## 인쇄 로올러 틸새의 출구에서 압력분포와 잉크 분열의 관계에 관한 연구

윤 종 태  
(부산공업대학 인쇄공학과)

## Study on the Pressure distribution and Ink Splitting at the Exit of Printing Nip

Jong-Tae Youn  
*Department of Graphic Art Engineering*  
*Pusan National University of Technology*

### abstract

The negative pressure distribution curves of the exit of printing nip were obtained by transducer type tackometer. As the results, found that the elasticity of rubber rollers and pastic viscosity affect to the maximum negative and positve pressure but, the gap of the printing nip didn't affects to the tack values of inks and ink film thickness. Ink spritting is accured by negative pressure and inks viscoelasticity. And the tack value is affect by properties of the vehicle component in the inks.

## I. 서 론

두개 이상의 로울러들이 서로 측면을 접촉하여 돌아갈때, 유체가 그 로울러들을 타고 도는 roller system은 printing process와 roll coating 그리고 polymer melt process등의 넓은 분야에서 사용되고 있다.

특히 printing process에서는 이 틈새에서 잉크의 흐름이 잉크의 전이, 용지의 picking, 그리고 인쇄의 품질을 좌우하므로 가장 중요한 관심의 대상이 되어왔다.[1,2] 또한 roller system에 의한 roll coating 이나 polymer melt processing에서는 이 틈새에서 액체의 흐름이 coating두께를 좌우하며[3], coating 재료의 유동특성은 coating의 품질에 직접 관계[4]되기 때문에 이 분야에 대한 많은 연구가 진행되어 오고있다.

Figure1은 printing process의 roller system에서 흐름의 형태와 압력분포를 나타낸 것으로서, 잉크가 로울러의 사이로 들어오면 압축에 의한 정압력(positive pressure)이 걸리고, 출구에서는 잉크들의 신장 내력 또는 응집력에 의한 부압력(negative pressure)이 걸린다. 이때 출구에서는 두 로울러에 의해 잉크는 두 부분으로 분열되며, 잉크의 분열에 의해 잉크가 전이되어 인쇄가 이루어진다.

이와 같은 roller system은 bank, share, cabbitation, filamention등의 4단계로 구분하여 해석하는데, 많은 연구자들은 주로 유체가 틈새의 출구에서 분열하기 전까지의 단계에 관해 관심을 보였으며, 그에 관한 연구는 많은 발전을 보았다. 그러나 printing process에서는 출구 부분에서 발생하는 잉크들이 분열에 필요한 에너지와 분열지점(spritting point)등을 구하는 것이 중요한 과제로 되어있다. 이 분열에 필요한 에너지를 인쇄에서는 tack라고 부르며, 1940년대 부터 지금까지 인쇄적성을 판단하는 기준으로 이용되고 있다[5]. 또한 많은 연구자들은 이 로울러의 틈새에서 잉크를 포함한 유체의 흐름을 rheology에 의해 해석하고 simulation하는 연구를 하였으며, 특히 틈새 부분을 확대 사진 촬영에 의해 해석하려는 시도가 많았다[6-7].

실제로 많은 실험들은 Newtonian유체, 한 종류의 고분자물질 또는 간단히 모델화하기 위한 현탁액 등을 취급하였고, printing process에서와 같이 안료, vehicle, 고분자 첨가제 등의 복잡한 혼합물로서 점탄성, thixotropy 현상 등이 나

타나는 non-Newtonian 유체를 취급한 경우는 많지 않다. 인쇄는 기계적인 요인도 복잡한데, 인쇄기의 로울러는 고무 로울러를 사용하는 곳이 많고, 또한 잉크 중의 일부 성분이 용지 속으로 침투되는 경우도 있으므로, printing process를 이론적으로 해석하는 것은 현재 대단히 어려운 실정이다[8].

앞에서 언급한 tack는 tackmeter로 측정하는데, 이러한 tackmeter들[9-12] 중에서 가장 많이 사용되는 기기가 inkometer이다[5]. 그러나 inkometer는 실린더의 고무가 점탄성이 있기 때문에 고무의 점탄성에 영향을 많이 받음을 지적한 연구들이 나와 있다[13,14]. 그리고 고속 인쇄 로울러의 틱새에서 shear rate

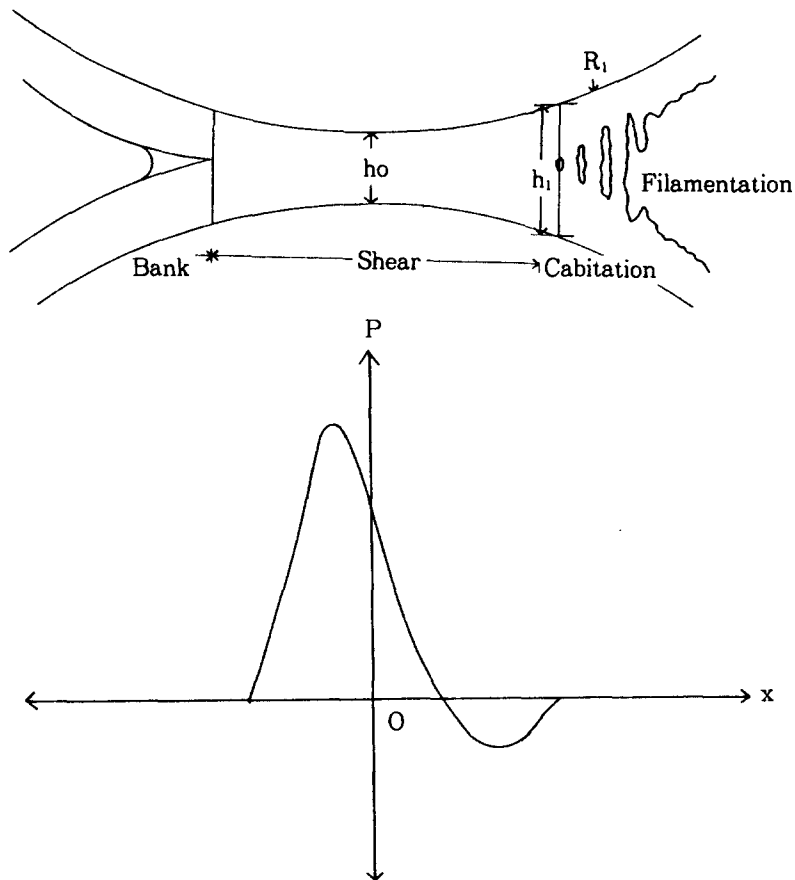


Figure 1. Model of the flow in the printing and pressure profile.

는  $10^3 \text{ s}^{-1}$  이상 이고, 그때 틴새의 출구에서 tensile stress가 발생하므로 strain rate는 더 높아질 수도 있다[5]. 그리고 이러한 변형은 모두 수 ms만에 이루어 지므로, 현재 이를 simulation할 수 있는 적당한 rheometer는 없다고 본다. 따라서 printing nip에서 일어나는 잉크의 거동과 rheological 특성의 관계를 유추하는 것은 불가능하다는 것을 지적한 연구자도 많다[8,16-17].

이와 같은 복잡성 때문에 실험용 인쇄기의 로울러 표면에 적당한 압력범위의 감도를 갖는 transducer를 부착하여 로울러의 틴새에서 일어나는 압력분포와 tensile stress값을 직접 측정하려는 시도가 있었다[8,18]. 즉, inkometer가 로울러의 축에 압력감지기를 설치한데 반하여, 이 방법 들은 두개의 실린더 방식의 실험기[18]에서는 로울러의 표면에, 실린더 한개와 판 방식의 원압식 실험기[8]에서는 판에 압력 transducer와 위치 감지기를 설치함으로써 직접 tack를 측정 하는 방식이다.

압력 transducer에 의한 직접 측정 방식은 이미 저어널 베어링에서 positive 압력의 측정을 위해 사용하거나 [19-20], calendering[21]등에서 사용한 예가 있다. 이 방법은 촬영이나 rheometer에 의한 simulation 시도 등 지금까지 나온 방법들 보다 합리적인 방법으로 지적되고 있으나, 적당한 범위를 감지할 수 있는 압력transducer의 선택과 실험기에 설치방법, 실험시 발생하는 진동과 잉크의 두께 등에 의한 영향, 그리고 압력소자의 평활도 등에 의해 실험기의 인쇄압력 측정오차가 우려될 수 있다.

즉, printing process의 틴새에서 걸리는 최대 압력은 수MPa 정도가 보통이지만 tensile stress에 의한 부압력은 잉크의 종류에 따라서 수 KPa이하가 나오는 경우가 많다. 더구나 이러한 정압력과 부압력이 거의 수 ms만에 일어나고 그 감도가 정밀해야 한다면, 위에서 언급한 측정오차 때문에 실험값의 재현성이 거의 없게 될 것이다[8].

따라서 본 실험은 틴새 간격을 조정하여 정압력을 줄이고 tack값이 큰 잉크를 사용하여 negative 압력분포를 확대하여 볼 수 있도록 하는 동시에, 그에 따른 측정오차를 감소시키기 위하여 간단한 조성의 잉크를 사용하되 vehicle의 중합도를 변화시키고, 잉크의 두께를 고정하며, 진동을 감소시키도록 하는 방법을 사용하였다. 로울러의 압축에 의한 특성을 보기 위하여 여러 종류의 로울러를 교체 사용

하였다. 특히, 현재의 rheometer들은 대체로 측정부의 geometry를 plate and plate 또는 cone and plate를 사용하였으므로, 그 결과와 tackometer의 결과는 차이가 날 수 있다. 따라서 roller system을 직접 연결하는 방법을 사용함으로써 tackometer가 측정하는 torque방향의 힘과 함께 normal방향의 힘을 측정하였고, 이 값들을 압력분포와 비교하여 그 관계를 유추함으로써 로울러 틸새의 출구에서 압력분포를 측정하고자 하였다.

## II. 실험

### 2-1 실험장치 및 방법

실험장치는 Figure 2에서 보는 바와 같이 직경140mm의 stainless steel로울러1개를 판통으로 사용하고, 고무 로울러1개를 압통으로 사용하였는데, 고무로울러는 경도 65,78,86,98° ±3 Shore와 stainless steel금속 로울러의 5종류를 준비하여 교체해 가면서 실험하였다. 압력 조절장치의 기본 구조는 Zang[18]등이 사용했던 Scandinavian rotary proof press와 같이 제작하였으며, 판통 로울러 A의 몸체 속에 압력 센서와 위치 감지센서를 장치하였다. 압력 센서의 감지 범위는 약±6 Mpa이고, 감도는 약0.7 mV/KPa이며, 응답시간은 2 $\mu$ m로서 로울러 틸새에서 1-2 ms머무르는 동안 압력변화를 감지할 수 있도록 하였다.

압력변화에 대한 데이터는 digital storage oscilloscope와 x-y recoder, IEE488 interface로 연결한 컴퓨터에 의해 처리할 수 있도록 장치 하였다.

이미 앞서 실험한 연구자들과 달리 진동의 방지를 위하여 air table위에 설치하였고 온도는 조절장치에 의해 25°C, 습도는 air bath에 의해 60%로 하였다. 인쇄속도는 1,2,3,4 m/sec의 4단계로 하였는데, 이 조건은 일반 볼록판 민자 인쇄의 대체적인 운전 조건이다. 그리고 인쇄압력은 압축성 고무 로울러를 사용할 경우 선압 대신에 면압이 걸린다고 보므로, 정압력 및 부압력이 압력 센서의 측정 범위를 넘지 않도록 조절하였다. 따라서 transducer에 의해 나오는 데이터들이 정량적인 관계를 갖기 위해서는 항상 실험 당시의 압력에 의한 역산으로 계산해야 하며, 이 값은 컴퓨터에 의해 자동 계산하도록 하였다.

잉크의 양은 잉크 주사기로 정확하게 공급하여 충분히 두 로울러의 사이에서 분배된 후에 측정하였는데, 잉크의 두께 계산은 중량법을 따랐다[2].

Tack를 측정하는 다른 방법은 일반 tack meter가 rider로올러에 회전 반대방향의 힘을 측정하는데, 본 실험은 반경방향의 힘을 측정하기 위하여 normal방향에 stress를 동시에 측정할 수 있는 rheometer의 transducer를 연결하여 사용하였다. 이러한 방법으로 측정된 보고는 발견할 수 없었다.

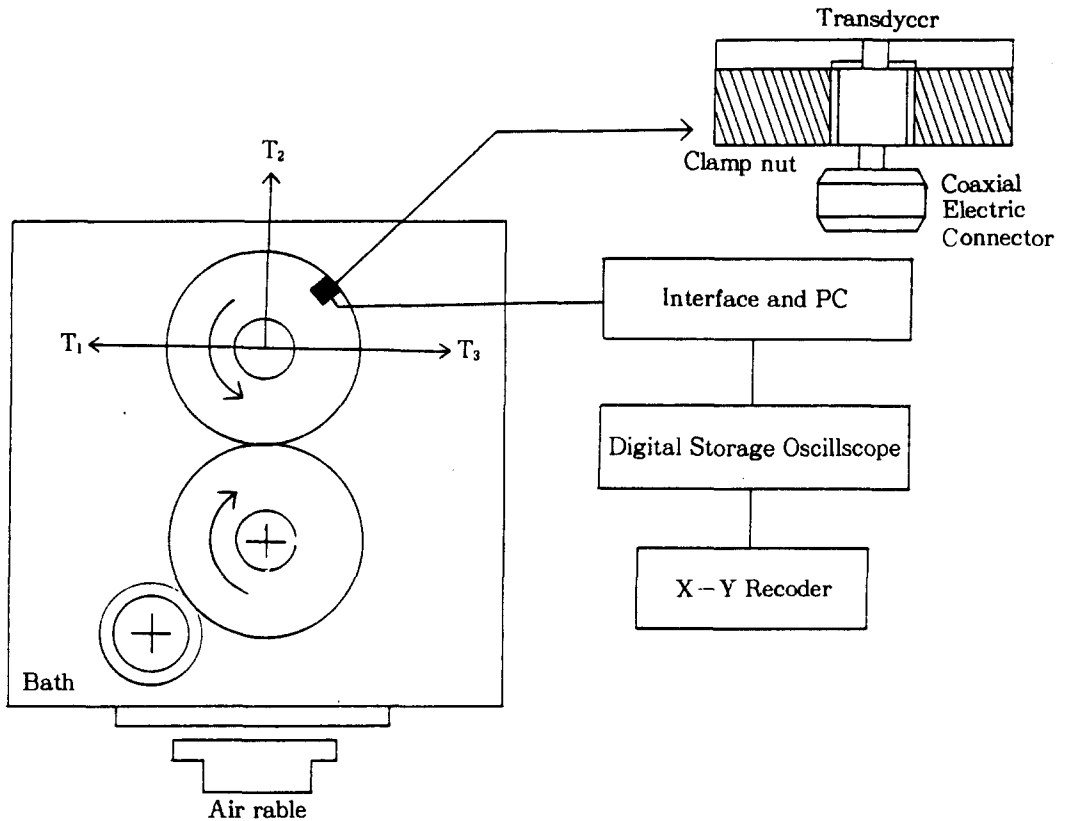


Figure 2. Schematic diagram of apparatus to measure the pressure profile.

### 2-2잉크 시료

잉크중의 vehicle로서 linseed oil을 열처리한 cooking oil과 알키티트 바니쉬를 사용하였고, 안료로서는 채질안료로서 침강성  $BaSO_4$ 와 침강성  $CaCO_3$ , 그리고 다른 연구자들과 결과를 비교하기 위하여 다른 연구자들이 사용했던 무정형  $SiO_2$  그리고 carbon black잉크를 사용하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 3-1 로울러의 경도에 따른 틈새의 압력분포

로울러의 사이에 장치한 transducer를 예비실험한 결과 전형적인 압력 분포 곡선을 나타내었다. 이 곡선의 형태는 다른 연구자들[22,23]이 언급한대로 틈새의 bank영역에서 정압력의 최대peak를 보인 후, 점점 감소하여 shear영역을 지나서 틈새의 출구에서 부압력의 곡선을 보이며, 이 때 최대 부압력 또는 tensile stress를 tack값이라고 본다[8].

Figure 3은 압통으로 사용된 로울러를 경도별로 바꾸어 실험한 결과로서 고무 로울러의 경도 또는 탄성은 최대 정압력과 최대 부압력 모두에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 로울러의 경도가 높으면 경도가 낮은 로울러보다 틈새의 폭(width of nip)이 짧아지고, 로울러 사이의 간격을 미세하게 조정해도 정압력의 증가와 부압력을 감소시키는데, 그 정도가 경도가 높을 수록 크다는 것은 주지의 사실이다[2]. 그에 대해 고무 로울러의 탄성에 의한 영향으로 금속 로울러 보다 최대압력 차이를 10배 정도로 예측한 보고들이 있다[6]. 본 실험에서 실제로 각각 경도가 다른 로울러의 종류를 바꾸어 실험한 결과는 Figure3에서 보는 바와 같이 정압력은 그들의 예측과 거의 일치하지만, 최대 부압력은 그 차이가 적었고, 다만 최대 peak를 나타내는 위치는 접촉 중심으로부터 멀어지는 결과를 보였다. 이러한 경향은 bank영역이 길어질 수록 peak점이 이동한다고 주장한 연구자들 [13,23]의 결과와 일치한다. 그 이유는 잉크의 두께가 두꺼워지면서 다른 조건이 일정하면 bank영역의 길이가 길어지기 때문이다.

정확한 tack값이란 로울러 사이의 간격이 가장 좁을 때, 또한 잉크의 두께가 최소일때 분리되는 힘을 측정하는 것이지만, 이것은 이상적인 것이고 실제로는 로울러의 틈새에 들어간 잉크의 두께가 로울러의 간격이되므로, 앞서 실험한 연구자들이 실험용 인쇄기의 압력을 14.1 kN/m로 미리 주면[18] 로울러에 의한 탄성과 Burge현상을 초래하여 압력이 감소한다. 따라서 잉크가 없을 때 로울러 사이의 접촉압은 제로를 유지해야 하고, 로울러의 초기 압력과 접촉폭의 형성은 오직 잉크의 두께에 의해 이루어져야 한다고 생각된다[2]. Figure4는 최대 정압력을 줄이기 위하여 로울러의 틈새간격을 1-4mil까지 간격을 띄워서 실험하였으며, 그 결과 다른 연구자들의 실험과 같이 [30]틈새 간격은 틈새를 잉크가 빠져

나가는 량 즉, 유속에 비례하고 bank영역에서 잉크량이 줄어들고 출구에서 잉크의 량이 증가하지만 틈새간격이 tack값에 영향을 주지는 않는다는 것을 알 수 있었다. 단, 잉크의 접촉부분의 감소로 인하여 3mil이상은 본 실험범위에서 벗어난다.

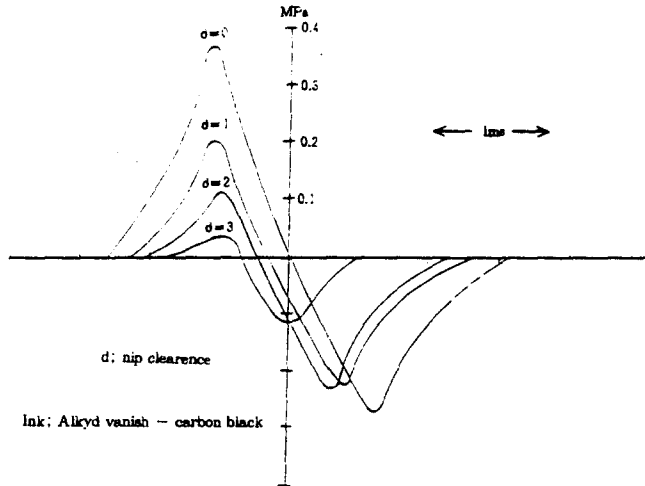


Figure 3. Maximum positive and negative pressure as a function of the roller hardness.

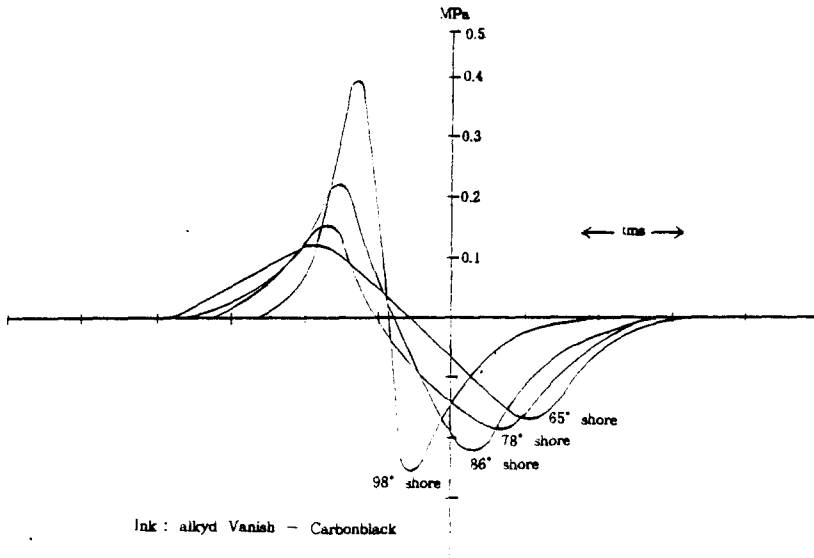


Figure 4. Maximum positive and negative pressure as a function of the gap between two rollers.



### 3-2 잉크의 점도와 압력분포

로울러 틈새의 액체 거동을 lubrication이론에 의해 해석한 연구자들은 shear와 cavitation전의 압력 분포와 점도의 관계에 관한 실험에서 잉크의 점도가 최대 정압력에 영향이 있다고 발표하였고 [22], 또 압통을 고무동으로 할 경우에는 영향이 없고 단지 최대 정압력은 로울러의 고무탄성에만 관계가 있다고 발표하였다[8,22].

Figure 5는 로울러 위의 점도가 최대 부압력에 영향을 보기 위한 실험 결과로서 로울러의 종류를 바꾸고 점도가 다른 잉크를 사용했을 경우에 최대 압력과 부압력은 점도에 따라 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 잉크의 장력이 어느 정도 고무 로울러의 탄성에 의해 상쇄될 수 있으나, 점탄성이 큰 잉크일수록 고무의 탄성에 영향이 적어지며, 그들이 사용한 잉크의 점도는 너무 낮았기 때문에 그 차이가 나타나지 않았다고 보여진다. 결과적으로 잉크 자체의 점성이 tack에 영향을 주며, 이것은 고점도 잉크를 사용함으로써 확인할 수 있었다.

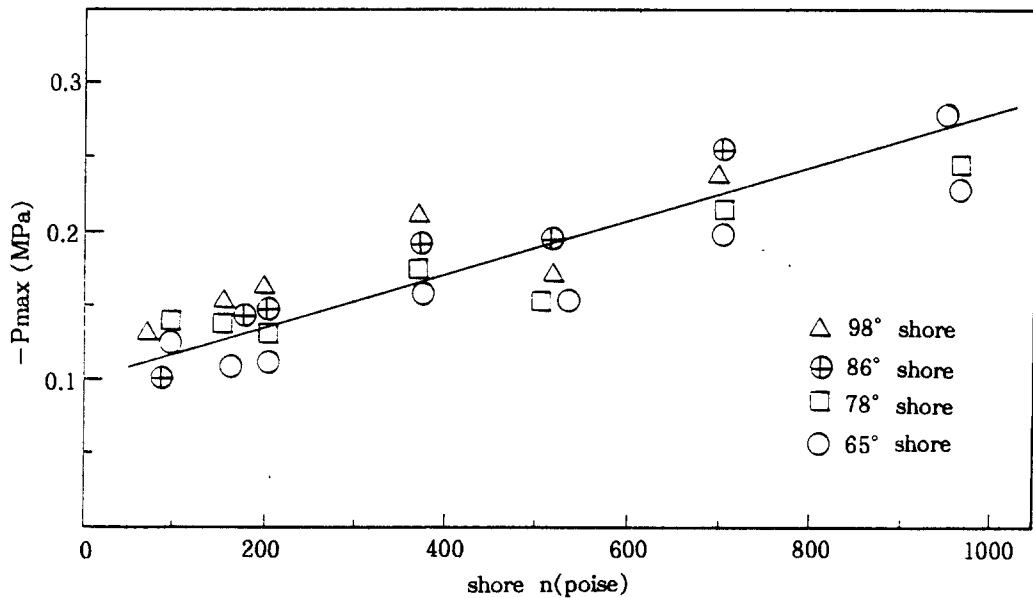


Figure 5. Maximum positive and negative pressure as a fraction of plastic viscosity of inks.

### 3-3 잉크의 두께에 대한 압력분포

Figure 6은 잉크의 두께를 변화시켜가면서 측정된 최대압력이다. 평행판 tackmeter를 가지고 연구한 결과 [24] 및 rolling cylinder를 가지고 실험한 다른 연구자들[12,25]의 결과는 tack값의 범위가 0.2에서 0.4MPa정도이고 대략 0.1MPa이상에서 cavitation이 일어난다는 주장과, 완전히 액체에 잠긴 로울러들을 가지고 파라핀과 피마자유를 실험할 결과 [23] cavitation은 0.2MPa이상에서 일어난다는 보고가 있었다. 본 실험 결과 저분자량 용액의 결과는 그들과 일치하지만, 고분자량을 가진 고점도 용액은 그들 보다 높게 나타났다. 즉, 잉크의 성질이 고분자로 될수록 잉크의 두께에 따라 최대 부압력이 증가한다.

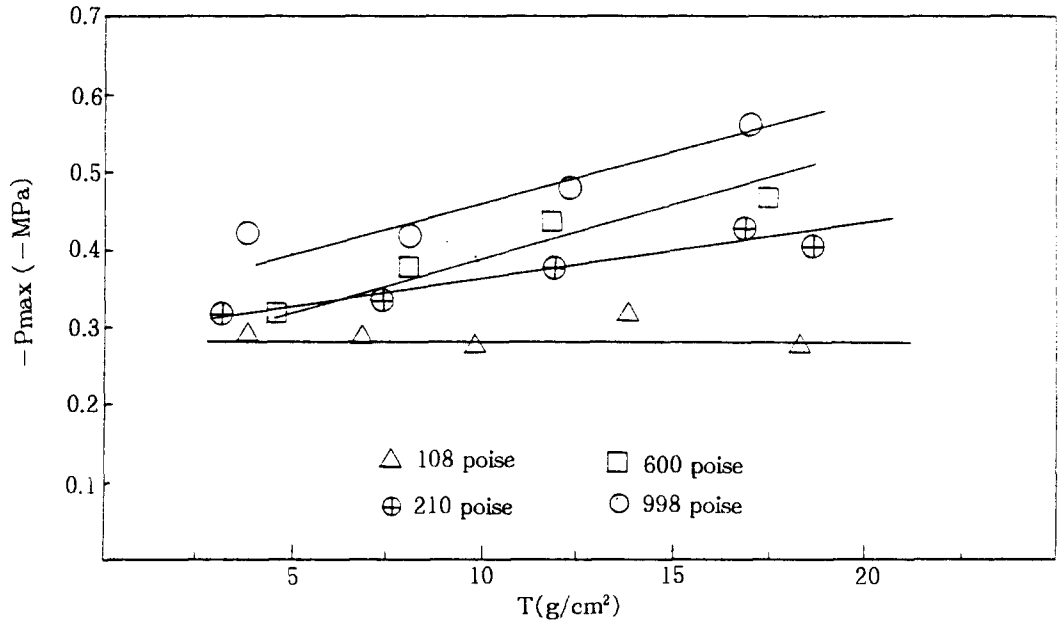


Figure 6. Maximum negative pressure as a function of inks film thickness.

### 3-4 로울러의 회전속도에 대한 압력분포

로울러의 회전속도가 최대 tensile stress에 주는 영향은 Newtonian유체가 shear영역에서 행동하는 것과 같이 해석한 Stefan의 식과 맞지 않는다. 그는 잉크의 두께가 증가할수록 tack는 감소하고 인쇄속도가 증가할수록 tack가 증가한

다고 주장하였다. 그 이유는 tack에 영향을 주는 요소가 오직 점도라고 생각하고 또 그가 실험한 회전속도는 대단히 느렸기 때문이다. 즉, 저속(1.1 m/s)에서는 최대점에 도달한 후에 다시 잉크 두께가 증가할수록 감소하는 경향을 보이며, 고속(3.5 m/s)에서는 잉크두께가 증가할수록 증가하는 경향을 보인다. 즉, 저속에서는 잉크의 분열이 Stefan의 식처럼 점도에 의존하지만 고속에서는 잉크의 filamentation과 잉크의 조성에 영향을 받는다.

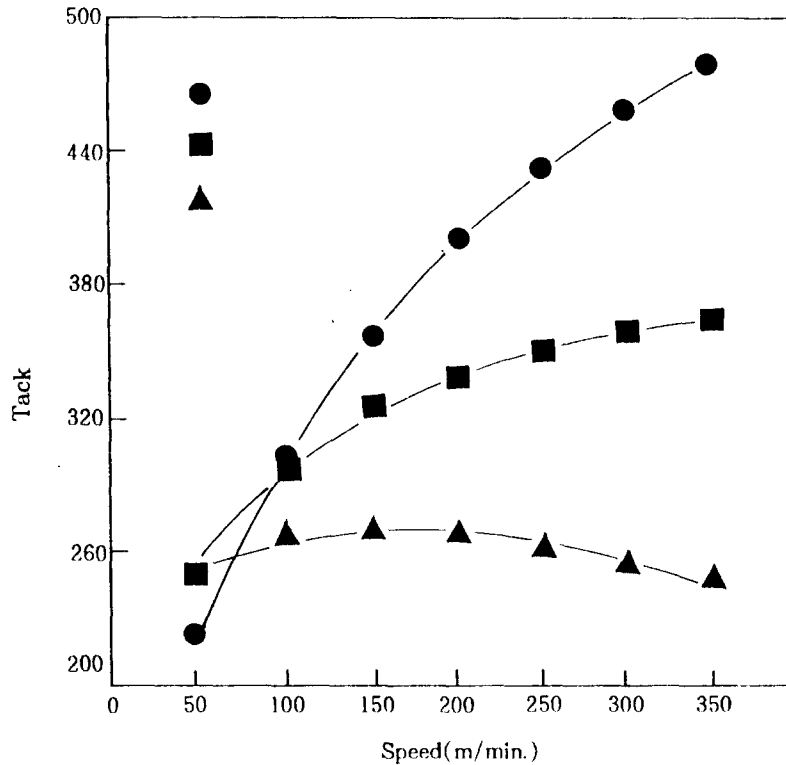


Figure 7. Maximum negative pressure as a function of roller linear velocity.

잉크의 분열 지점을 찾는 사람들은 Rubrication이론에 의하여 압력의 구배에서 제로가 되는 지점이 될 것이라고 생각하고 이 부분의 사진촬영 결과 filamentation을 발견하였다고 주장하였으며[26], 이러한 잉크가 깨지는 상태를 Reynolds조건이라고 하는데, 여기서부터 잉크의 분열이 시작된다 보며 부압력이 없다고 주장한 사람들이 많다[27]. 또한 최대 부압력보다 tensile stress loop로 생각해야 한다는 주장도 있는데, 이것은 본 실험 결과 잉크와 같은 non Newto-

nian유체일 경우는 우선 점도에 영향을 받으며, 잉크의 비히컬이 고분자 물질일 수록 그 영향은 높아진다는 사실을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

Roller system의 틈새의 출구에서 부압력분포를 측정하여 잉크의 tack를 측정 하는 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 압통으로 사용한 고무 로울러의 경도 또는 탄성은 최대 정압력과 최대 부압력 모두에 영향을 주며, 틈새간격이 tack값에 영향을 주지는 않는다.
- (2) 로울러 위의 점도가 최대 정압력 또는 부압력에 영향은 잉크의 소성점도에 따라 영향을 받는다. 그 영향은 분자량이 큰 vehicle을 사용한 잉크일수록 크다.
- (3) 잉크 성분중 vehicle의 성질이 고분자로 될 수록 잉크의 두께에 따라 최대 부압력이 증가한다. 따라서 Inkometer의 rider로울러에 의한 값은 잉크의 두께가 두꺼운 경우 잉크의 점탄성에 많은 영향을 받는다.
- (4) 인쇄속도에 따른 압력분포의 측정결과 부압력이 존재하며, 이 부압력에 의해 잉크가 분열된다고 본다.
- (5) 택크값과 안료의 분산과는 직접적인 관계가 없으며, Tack값은 vehicle의 물성에 관계됨을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- 1. P.Oittinen, Ph.D thesis, Helsinki University of Technology, 1976; Acta Polytechnica Scandinavica Series 131.
- 2. J.T.Youn, "Printing Engineering" 2nd ed. 55-69 Busan National Univ. of Tech. Press(1990)
- 3. M.D.Savage, J. Fluid Mech., 117(1982)443.
- 4. T.Bauman, T.Sullivan and S.Middliman, Chem. Eng. Commun., 14(1982)35.
- 5. R.F.Reed, Am. Ink maker, 17(1939)27.
- 6. Y.H.Jeong, J.T.Youn and S.B.Kim, Journal of Korean Printing Society, 8 (1) (1990)

7. D.I.Coyle, C.W.Mackosko, and L.E.Scriven, *J.Fluid Mech*, 171, 183-207 (1986)
8. N.Patel, and J.M.Dealy, *J.Non-Newt. Fluid Mech.* 22, 245-252(1987).
9. H.Green, *Ind.Eng.Chem., Anal.Ed.*, 13(1941)632.
10. V.Kehla, M.Manninen and P.Oittinen, *TAPPI*, 57(1974)86.
11. V.Hessen, *Am.Ink maker*, 41(1963)22.
12. A Voet and C.F.Geffken, *Ind.Eng.Chem.*, 43(1951)1614.
13. F.Dobbels and J.Mewis, *Chem.Eng.Sci.*, 33(1978)493.
14. J.Mewis and F.Dobbles, *Ind.Eng.Chem.Prod.Res.Dev.*, 20(1981)515.
15. J.Mewis, in: K.Walters(ed), *Rheometry; Industrial Applications*, Res. Studies Press, John Wiley and Sons Ltd., Chap.6.1980.
16. G.Pangalos, J.M.Dealy and M.B.Lyne, *J.Rheol.*, 29(1985)471.
17. I.N.Watson and F.R.Young, *Rheol.Acta*, 14(1975)1001.
18. Y.H.Zang, J.S.Aspler, M.Y.Boluk and J.H.De Grace, *J.Rheol* 35(3) (1991)
19. D.Dyer and B.R.Reason, *ASME Trans., J.Mech.Eng.Sci.*, 18(1976)46.
20. J.B.Robert and R.E.Hinton, *J.Lubric, Technol.* 104(1982)187.
21. J.T.Bergen and G.W.Scott, *Journal of Applied Mechanics*, 101(1951)
22. Y.Greener, and S.Middleman, *Polym. Eng. Sci.* 15, 1-10(1975).
23. W.H.Banks, and C.C.Mill, *Proc. R. Soc. London Ser. A* 223, 414-419 (1954).
24. H.Strasburger, *J.Colloid. Sci.* 13 218-231(1958).
25. G.Pangalos, M. Eng. thesis, McGill University, Montreal, 1983.
26. J.H.De Grace, J.E.Dalphon, and P.J.Mangin, *Adv.Printing Sci. Technol.* (in press).
27. D.I.Coyle, *Chem. Eng. Sci.* 43, 2673-2684(1988).
28. J.J.Hamel, J.M.Fetsko, W.D.Schaeffer, and A.C.Zettlemoyer, *Proceedings of the Technical Association of the Graphic Arts, Rochester*, 63-79 (1960).
29. W.H.Banks, and C.C.Mill, *J.Colloid Sci.* 8, 137-147(1953).
30. J.C.Hintermaier and R.E. White, *Tappi*, 48(11), (1965)
31. Pangalos and J.M.Dealy, *JOCCA*, 3, 59(1985)