인장법에 의한 고점도 잉크의 표면장력 측정법 (II)

하영백, 윤종태, 구철회
부경대학교 공과대학 화상정보공학부

The Elongation Method for the Measuring Surface Tension of High Viscosity Printing Ink (II)

Young-Baeck Ha, Jong-Tae Youn, Chul-Whoi Koo
Division of Image and Information, College of Engineering, Pukyong National University

Abstract

The surface tension method has been possible only for the low viscosity materials. However, the inks for the off-set lithography and intaglio should have high viscosity and high tack.

In this paper, we propose the elongation method to estimate the surface tension of high viscosity printing inks.

The elongation method could be more useful to estimate the surface tension and shown in this research, it is possible to calculate the surface tension of high viscosity ink without diluting the sample.

1.서 론

현재 국내 인쇄산업에 있어 가장 주류를 이루고 있는 평판 인쇄에 있어서 잉크가 인쇄판, 고무 블랑켓 또는 피인쇄체에 젖거나 부착되는 것은 고체-액체 상호간의 계면화학적 성질에 의하여 결정되어진다. 이와 같이 인쇄산업에 있어 고체와 액체간의 계면화학은 화선을 형성하는 중요한 요소 중 하나로 취급되고 있다. 또한, 이러한 계면화학적 성질에 의하여 발생할 수 있는 사고를 방지해야 좋은 품질의 결과물을 얻을 수 있을 것이

다. 이러한 계면 화학적인 요소에 대한 이론적인 체계를 세워보려는 노력이 많은 연구자들에 의해 진행되어오고 있으나, 그 결과들은 주로 그라비어와 같은 저점도 잉크에 적용이 되며, 평판 잉크와 같은 고점도 잉크에 대한 현상과는 상당히 거리감을 느낄 수 있다.[1)]

실제 고점도 잉크의 표면장력을 측정하기 위하여 시행하고 있는 방법은 톨루엔에 측정하고자 하는 시료를 희석시켜 Du Noüy 표면 장력계에 의한 ring method의 방법을 사용하고 있으나, 이것은 제품으로서의 잉크에 대한 표면장력이라 할 수 없기에 새로운 방법을 모색하여야만 한다.[2)]

고점도의 잉크를 희석하지 않고 잉크 자체에 인장이라는 응력을 부여하면 잉크는 변형을 일으키게 된다. 그 변형되는 과정을 시간의 함수와 점도 및 표면 장력의 상호 관계로 표현한 것이 인장력에 의한 filment rheometer이다. 그러므로 filment rheometer에서 사용한 변수를 고점도 인쇄 잉크에 적용시키면 잉크를 희석하지 않고 표면장력을 측정할 수 있다.

따라서, 본 연구은 지금까지 발표된 표면장력 및 계면장력의 측정법들과는 다른 고점도 물질의 표면장력을 인장력에 의하여 간단히 측정할 수 있는 방법을 기술하고, 국내에서 시판 중인 고점도 신문 윤전용 잉크의 표면장력을 측정하였다.[3)~6)]

2. 실 험

2-1. 실험 재료

본 실험에서는 현재 국내에서 시판되고 있는 광명 잉크와 대한 잉크의 신문 윤전용 C, M, Y, Bk Ink를 사용하였다.

2-2. 실험 방법

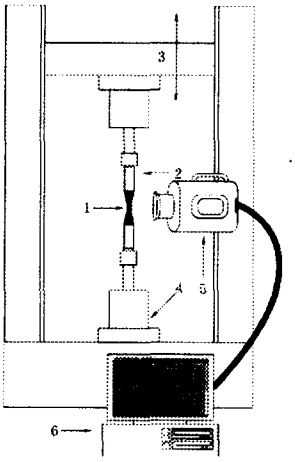
실험은 각각의 Ink를 평평한 면을 가진 직경이 6 mm인 두개의 원형 막대 사이에 2.2cc 올려놓고 아래쪽 실린더는 고정 시키고, 위쪽의 원형 막대를 구동하여 실린더 모양을 만들어 준다. 실린더 모양이 형성되면 일정 높이(1cm)까지 Instruction(Universal Testing Instruction Model B550)에 의하여 인장력을 부여하여 시간이 지남에 따라 점점 줄어드는 시료의 직경을 고속 카메라를 이용하여 촬영하였다. 촬영된 image의 분석 및 측정은 Image Mixer Program과 Adobe Photoshop 7.0을 사용하였고, 측정된 데이터를 수식(1)에 적용시켜 고점도 잉크의 표면 장력을 측정하였다.

수식(1)은 인장법에 의한 방법을 사용하여 시간의 변화에 따라 접촉되어 있는 물질의 변화 상태를 고찰하고, 변화에 영향을 줄 수 있는 표면 장력과 점도 및 줄어든 직경의 함수관계를 나타낸 것이다.

$$\sigma = \frac{\eta R_{mid}}{0.0709\,(t_c - t)} \tag{1}$$

여기서, σ는 표면장력이며, η는 점도를, R_{mid}는 시간이 지남에 따라 줄어드는 직경을 표시한다. 또한 t_c-t는 인장에 의해서 측정 시료가 완전히 끊어질 때까지 걸리는 시간을 표시한다.

Fig. 1에서 인장력에 의한 시료의 형상과 시간에 따라 줄어드는 직경에 영향을 주는 표면에서의 분자간 인력을 간략히 나타낸 것이다.



1. sample
2. cylinder : diameter 7mm
3. cross head
4. lode cell
5. camera
6. image analysis

Fig. 1. Basic experimental setup.

3. 결과 및 고찰

3-1. 인장력에 의한 잉크 직경의 변화

Extensional rheometer를 이용하여 고점도 잉크의 표면 장력을 측정하는 장치의 적합성 및 계수의 비교를 위하여 실제 표면 장력이 23 dyne/cm, 그리고 125 Pa · s의 점도를 가진 PBI (Polyisobutlylene : pick test oil)를 이용하여 본 장치에서 실험한 결과를 식 (2)에 적용시켜 표면 장력을 구해 본 결과 정확하게 23 dyne/cm의 결과를 얻을 수 있었다.

PBI 직경의 줄어든 값을 fig. 2에 표시하였다.

각 회사별 고점도 신문 윤전용 잉크의 점점 줄어든 직경 값과 점도의 관계를 시간의 함수에 비교해서 나타내면 fig. 3~fig. 18과 같이 나타난다. 인쇄 잉크의 점점 줄어든 직경 값과 시료가 가지는 zero viscosity의 관계를 시간의 함수에 비교해서 그래프를 그리고, McKinley의 실험에 의한 방정식(식 2)과 Papageorgiou의 상수 0.0709를 적용 시키면 우리가 원하는 고점도 잉크의 표면 장력 값을 알아 낼 수가 있다. 이러한 방법을 통하여 고점도 인쇄 잉크의 표면 장력 값을 쉽게 구하는 것이 가능하다.

전체 적인 잉크의 표면 장력 값은 24.63 dyne/cm에서 26.07 dyne/cm로 대략 25 dyne/cm 정도로 비슷한 수준을 나타내고 있다.

Table 1은 실험에 의해 구해진 각 sample들에 대한 결과를 표시한다.

Table 1. Summary of the each samples obtained for the extensional rheometer

Sample \ Results		t_c-t (sec)	R_{mid} (mm)	Zero Viscosity (Pa.s)	Surface tension (dyne/cm)
Inks	Color				
Sample 1	Y	330	0.80	732.19	25.0
	M	316	0.87	663.48	25.8
	C	110	0.46	440.26	26.1
	Bk	51	0.41	228.50	26.0
Sample 2	Y	295	0.55	957.70	25.1
	M	294	0.87	614.18	25.7
	C	245	0.58	742.26	24.7
	Bk	282	0.55	910.46	24.9

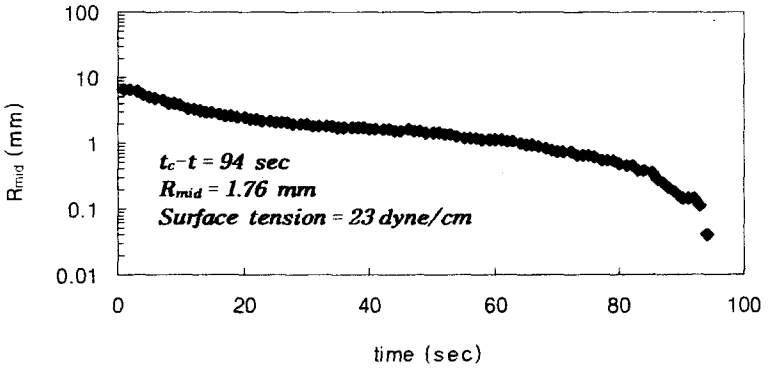


Fig. 2. The filament thinning of the PBI.

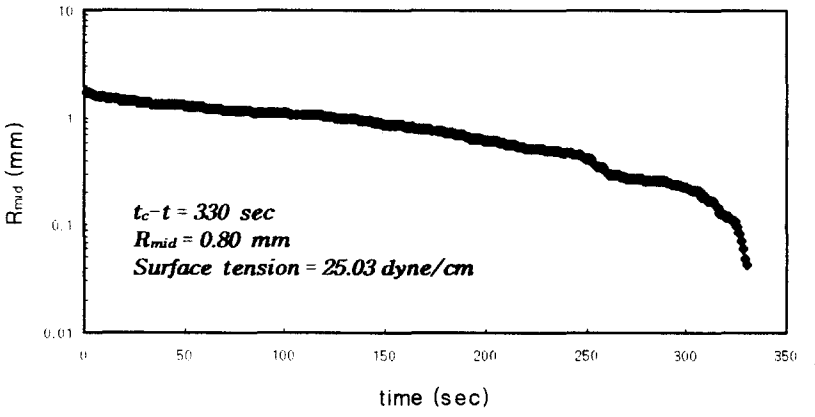


Fig. 3. The filament thinning of the sample 1 Y, which has 732.19 Pa · s of Zero viscosity. The aspect ration was Ao = Lo/Ro =0.57, A = L/R = 11.25 and initial speed was 0.2 sec^{-1}.

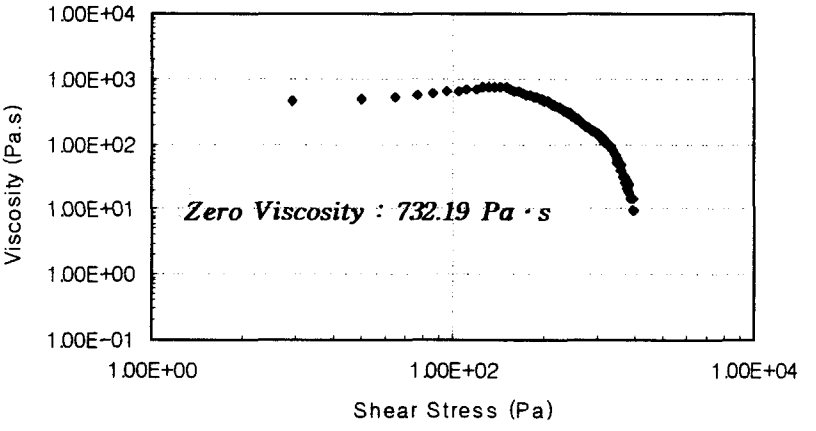


Fig. 4. Yield value measurement of sample 1 Y at 25℃.

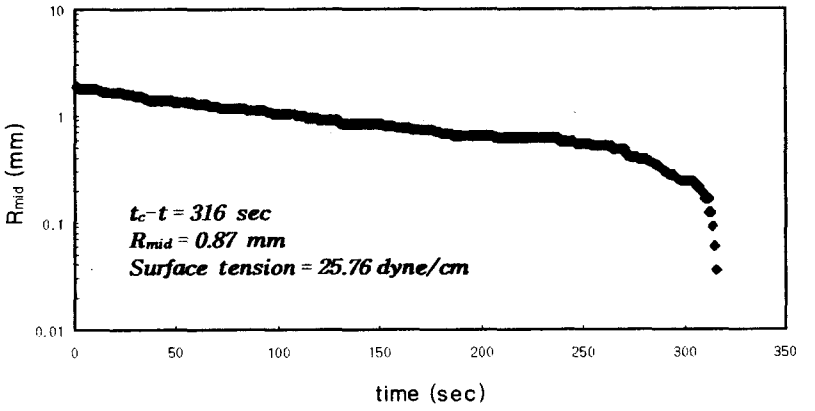


Fig. 5. The filament thinning of the sample 1 M, which has 663.48 Pa · s of Zero viscosity. The aspect ration was Ao = Lo/Ro =0.57, A = L/R = 10.3 and initial speed was 0.2 sec^{-1}.

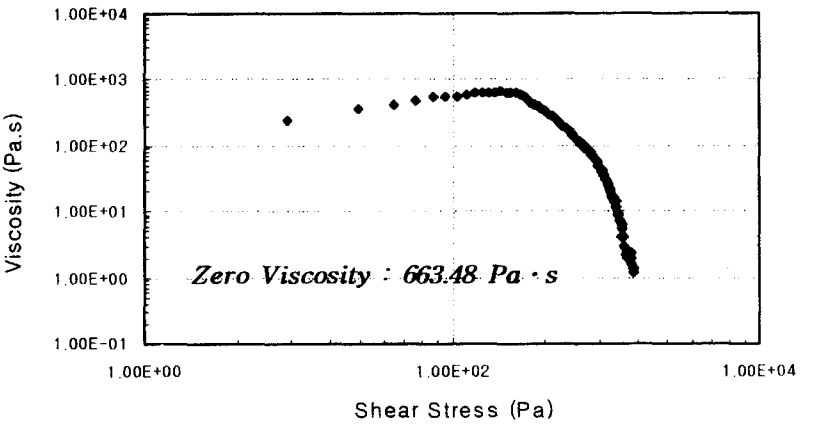


Fig. 6. Yield value measurement of sample 1 M at 25℃.

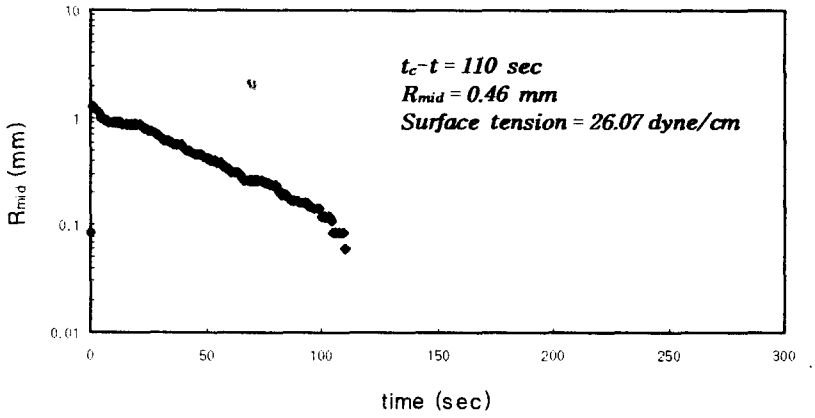


Fig. 7. The filament thinning of the sample 1 C, which has 440.26 Pa · s of Zero viscosity. The aspect ration was Ao = Lo/Ro =0.57, A = L/R = 19.52 and initial speed was 0.2 sec^{-1}.

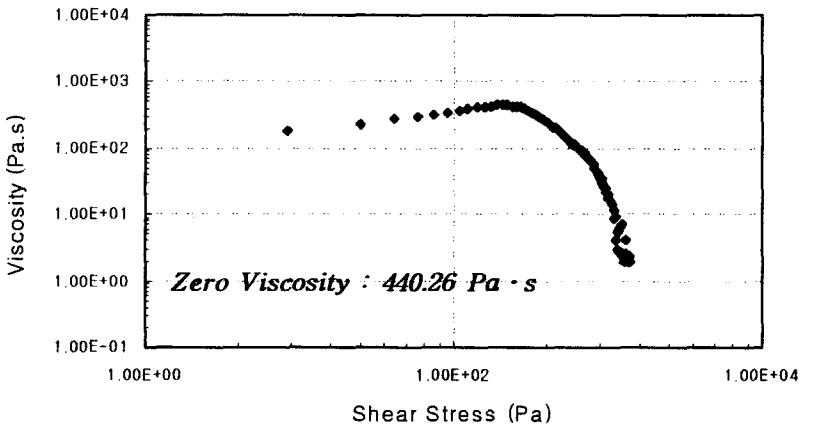


Fig. 8. Yield value measurement of sample 1 C at 25℃.

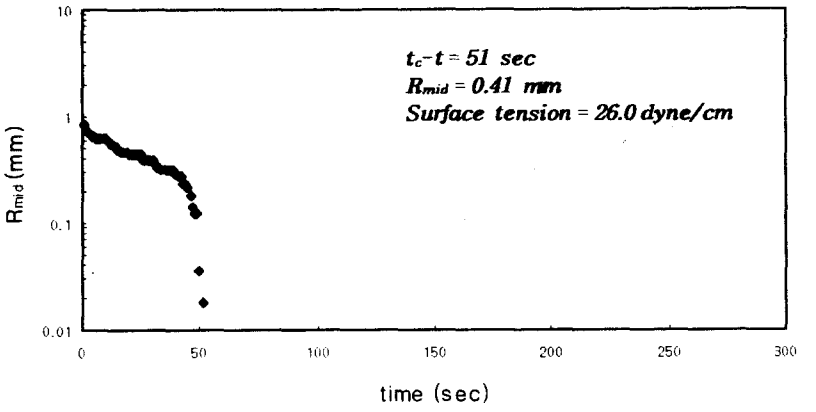


Fig. 9. The filament thinning of the sample 1 Bk, which has 228.5 Pa · s of Zero viscosity. The aspect ration was Ao = Lo/Ro =0.57, A = L/R = 21.84 and initial speed was 0.2 sec^{-1}.

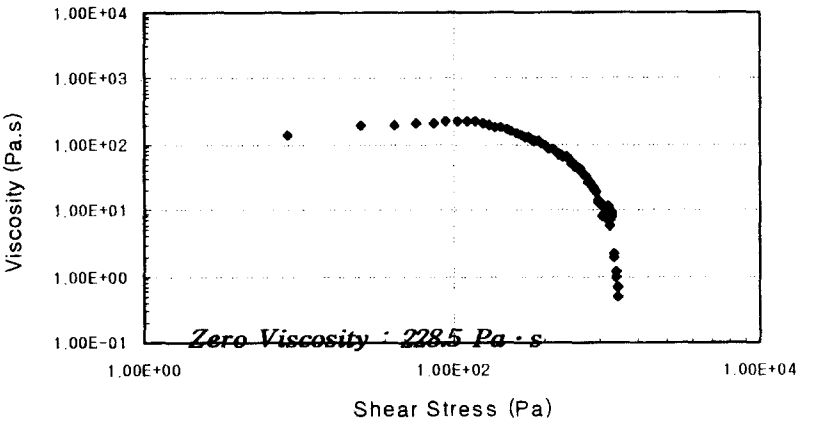


Fig. 10. Yield value measurement of sample 1 Bk at 25℃.

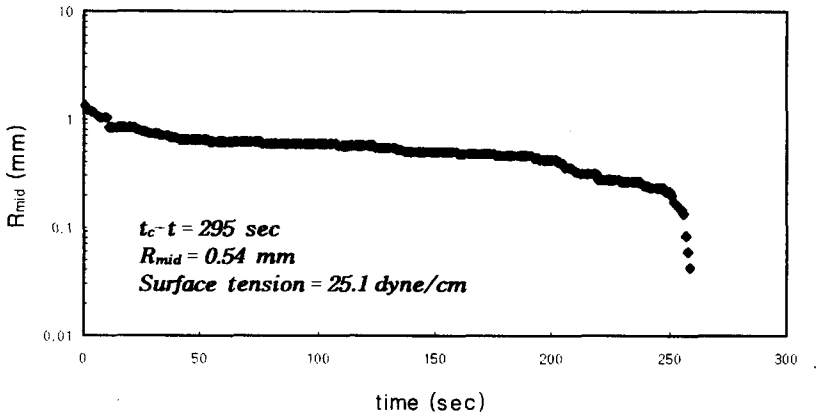


Fig. 11. The filament thinning of the sample 2 Y, which has 957.7 Pa · s of Zero viscosity. The aspect ration was Ao = Lo/Ro =0.57, A = L/R = 16.42 and initial speed was 0.2 sec-1.

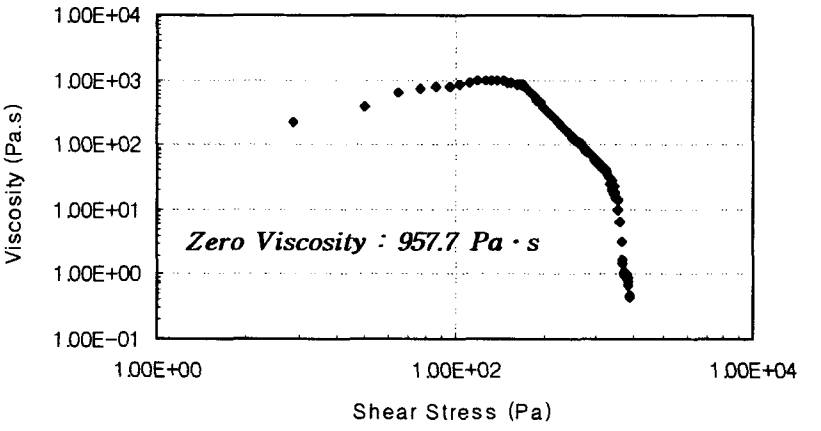


Fig. 12. Yield value measurement of sample 2 Y at 25℃.

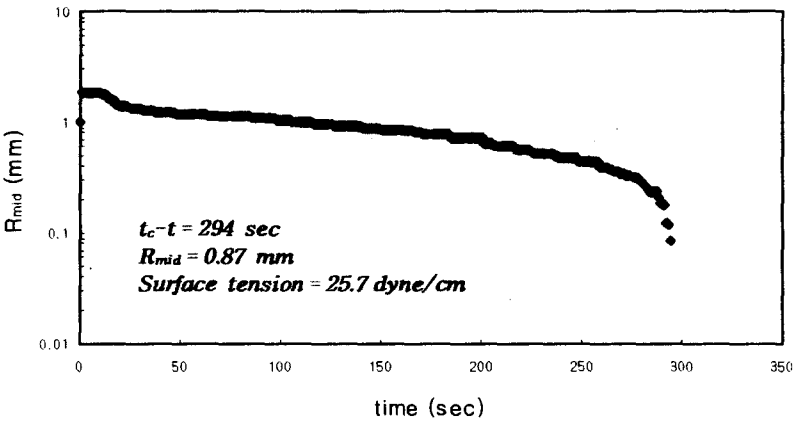


Fig. 13. The filament thinning of the sample 2 M, which has 614.18 Pa · s of Zero viscosity. The aspect ration was Ao = Lo/Ro =0.57, A = L/R = 10.34 and initial speed was 0.2 sec^{-1}.

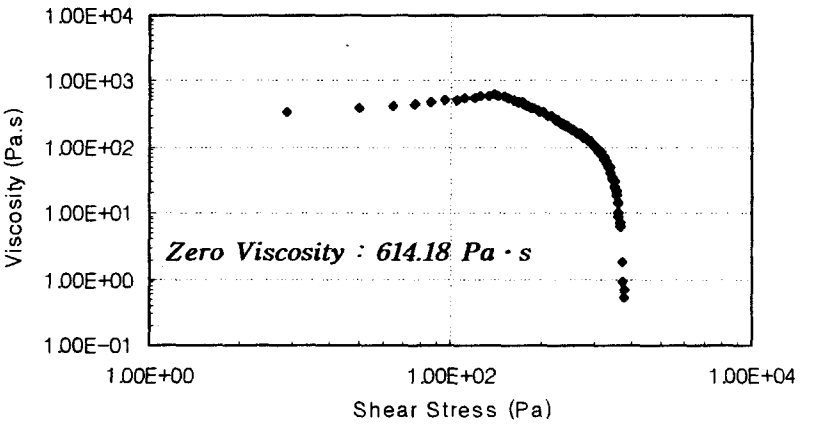


Fig. 14. Yield value measurement of sample 2 M at 25℃.

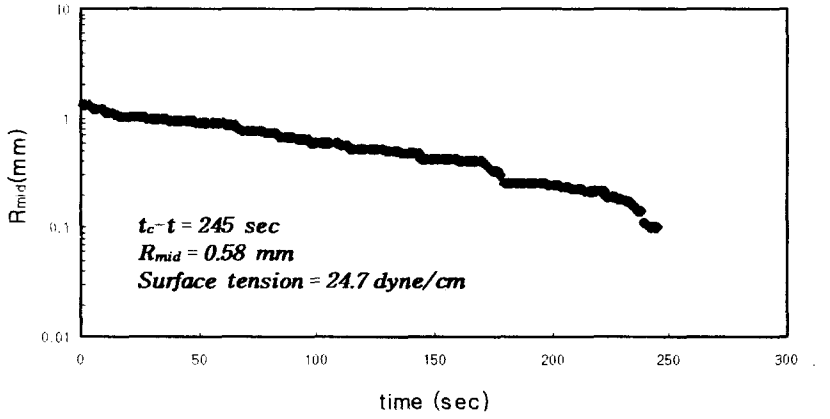


Fig. 15. The filament thinning of the sample 2 C, which has 742.26 Pa · s of Zero viscosity. The aspect ration was Ao = Lo/Ro =0.57, A = L/R = 15.62 and initial speed was 0.2 sec^{-1}.

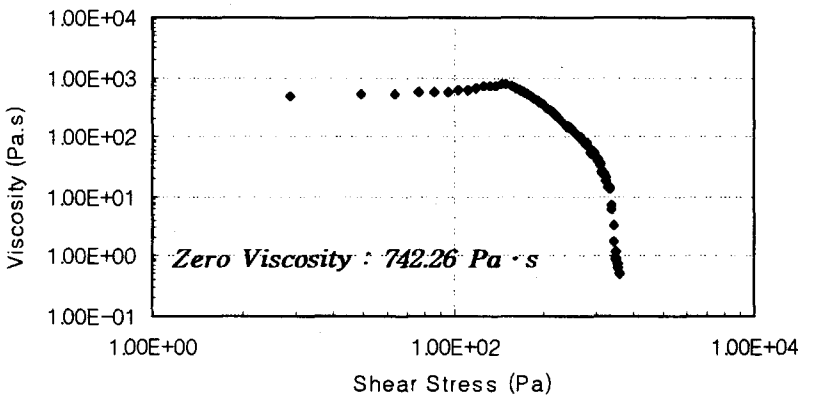


Fig. 16. Yield value measurement of sample 2 C at 25℃.

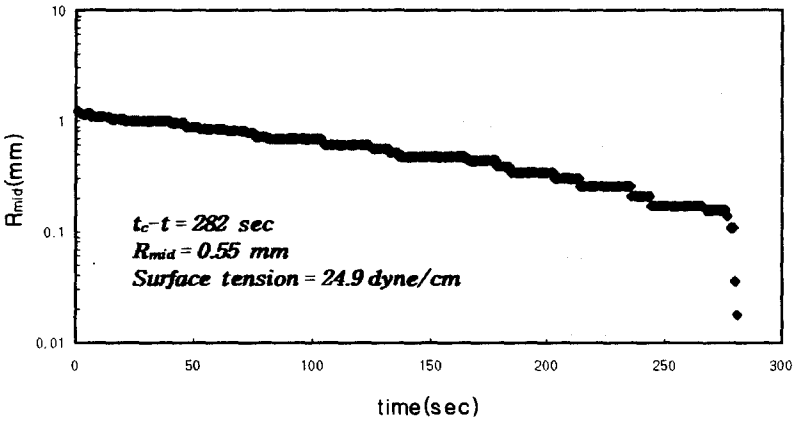


Fig. 17. The filament thinning of the sample 2 Bk, which has 910.46 Pa · s of Zero viscosity. The aspect ration was Ao = Lo/Ro =0.57, A = L/R = 16.42 and initial speed was 0.2 sec^{-1}.

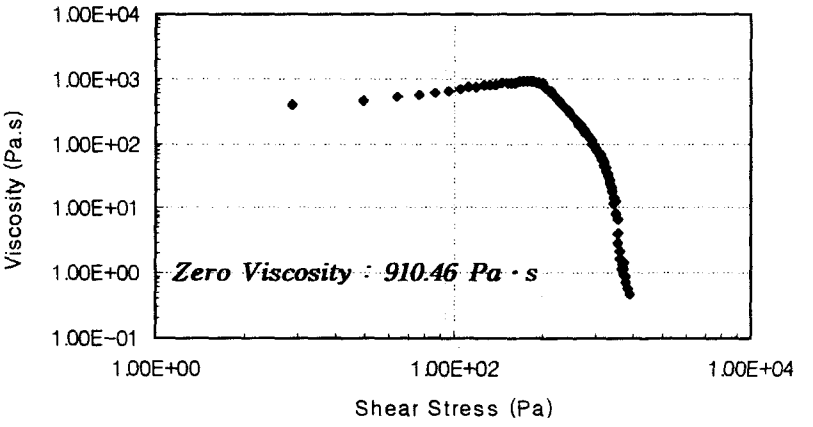


Fig. 18. Yield value measurement of sample 2 Bk at 25℃.

Fig. 7의 sample 1의 cyan 잉크와 fig. 9의 sample 1의 black 잉크는 두 평행한 판 사이에서 일정 거리만큼의 인장 후 잉크의 연결 부분이 끊어지는 시간이 빠르게 나타났는데, 이것은 잉크의 레오로지적인 특성을 묘사한 fig. 8과 fig. 10에서 나타난 것과 같이 본 실험에 사용한 신문윤전용 color 잉크들에 비하여 stress를 가하면 탄성적인 거동을 한다. 점성적인 거동을 시작하는 항복가 점에 도달하는 440.26Pa · s와 228.50Pa · s로 낮은 것을 알 수 있다. 즉, 본 연구에서 실험하는 것과 같이 zero viscosity에 도달하는데 필요한 stress가 낮으므로 쉽게 끊어진다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 고점도의 잉크 표면 장력을 측정함에 있어 Extensional Rheology를 이용하여 쉽게 접근 할 수 있는 방법을 제시하였고. 인장력에 의해 늘어난 시료의 직경이 줄어드는 과정을 이용하여 고점도의 인쇄 잉크 표면 장력을 측정하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

따라서, 지금까지 적용하지 못했던 고점도 잉크의 표면 장력 값을 간단한 실험과 화상분석법을 통하여 해결함으로서 인쇄 방식에 따라 다소 차이는 있지만 잉크가 피인쇄체면으로 전이되는 현상에 대한 연구에 상당히 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1) A. W. Adamson, Physical Chemistry of Surfaces, A Willy-Interscience publication, p. 4~46 (1982).

2) P. L. du Noüy, J. Gen. Physiol, Vol. 1. p. 521 (1919).

3) G. H. Mckinly, A. Tripathi, How to extract the Newtonian viscosity from capillary breakup measurements in a filament rheometer, J. Rheol, 44(3), p. 653~669 (2000).

4) R. W. G. Shipman, M. M. Denn and Roland Keunings. Mechanics of the "falling plate" extensional rheometer, J. Non-Newtonian Fluid Mech. 40, p. 281~288 (1991).

5) S. Berg, R. Kroger, H. J. Rath, Measurement of extensional Viscosity by stretching large liquid bridges in microgravity, J. Non-Newtonian Fluid Mech. 55, p. 307~319 (1994).

6) D. T. Papageorgiou, On the breakup of viscous liquid threads, J. Physics. Fluids7, p. 1529~1544 (1995).