



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 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](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

오프셋 인쇄에서 실리콘 잉크의
평판인쇄 적성에 관한 연구



2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

인 쇄 공 학 과

신 민 호

공 학 석 사 학 위 논 문

오프셋 인쇄에서 실리콘 잉크의 평판인쇄 적성에 관한 연구

지도교수 윤 종 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

인쇄 공 학 과

신 민 호

신민호의 공학석사 학위 논문을 인준함.

2016년 2월 26일



주 심 공학박사 구 철 회 (인)

위 원 공학박사 최 송 아 (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. 평판 오프셋 인쇄	3
2-2. 잉크의 항복가	6
3. 실 험	9
3-1. 실험 재료	9
3-1-1. 실리콘 잉크	9
3-1-2. PDMS	10
3-1-3. 피인쇄체	10
3-2. 실험 방법	11
3-3. 인쇄 적성	12
3-4. 점도	13

4. 결과 및 고찰	14
4-1. PDMS 유동특성	14
4-2. 농도 및 전이성	16
4-2-1. 농도	16
4-2-2. 전이량	18
4-2-3. 잉크량별 농도	19
4-3. 광택도	20
4-4. 항복가	21
5. 결 론	23
참고문헌	24

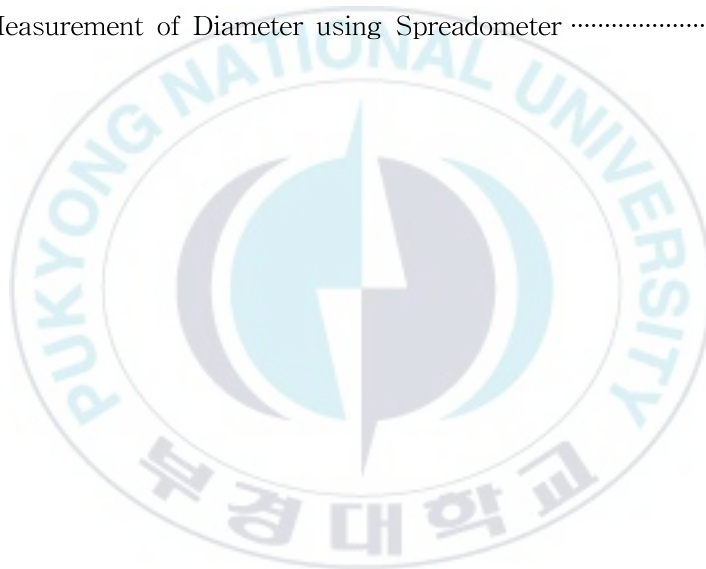


List of figures

Fig. 1. Principle of offset printing	3
Fig. 2. Semantic diagram of ink transfer	4
Fig. 3. Semantic diagram of spreadometer	6
Fig. 4. IGT C1 printability tester	11
Fig. 5. Viscosity-Shear rate curve of PDMS	14
Fig. 6. Rheopexy curve of PDMS	15
Fig. 7. Viscosity-Shear rate curve of offset ink	15
Fig. 8. Optical density of PDMS offset prints in art papers	16
Fig. 9. Optical density of PDMS offset prints in groundwood papers	17
Fig. 10. Amount of transferred PDMS offset ink in art papers	18
Fig. 11. Amount of transferred PDMS offset ink in groundwood papers	18
Fig. 12. Optical density of PDMS offset ink in groundwood papers	19
Fig. 13. Glossiness of PDMS offset ink in groundwood papers	20
Fig. 14. Yield value of PDMS ink in weight percent using Spreadometer	21

List of tables

Table 1. Component of Ink Sample	9
Table 2. Physical Properties of PDMS Samples	10
Table 3. Condition of Printing Experiment using IGT	11
Table 4. Condition of experimental Measure using Spreadometer	13
Table 5. Optical Density of experimental Measure using Densitometer	16
Table 6. Measurement of Diameter using Spreadometer	21



A Study on the Lithographic Printability of Silicon ink
in the Offset Printing

Min-Ho Shin

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

Abstract

In this study, lithographic printability of silicon ink in offset printing was studied. As printed electronics uses silicon ink in contact formation, this technique requires to reproduce the high quality of patterning with high demand. Lithographic offset printing could print faster than screen printing but the amount of ink transfer rate is lower because the offset lithography is used the Roll to Roll (R2R) system. Six types of silicon inks with different viscosity (10, 50, 100, 200, 300, 500Poise) and optical density were used in this study and we found that optical density, ink transferred rate and glossiness of samples were measured by IGT printability tester. As the result, the Rheological properties were well fit on these conditions and were able to print by lithography.

1. 서 론

최근 들어 인쇄 방식에 의한 전자부품의 제조 공법이 중요한 과제로 대두되고 있다. 인쇄 방식도 종래에는 스크린 인쇄 방법을 많이 사용하였으나 점차 직접 또는 간접 그라비아 인쇄가 사용되고 있으며, 롤과 롤이 맞물려 도는 Roll to Roll 인쇄 방식은 인쇄 속도와 경제성 때문에 많은 각광을 받고 있다. 그러나 오프셋 인쇄 방법에 관한 연구들은 비이클의 조성과 잉크의 물성이 복잡하고 잉크 전이 특성과 레오로지 등 인쇄적성을 맞추기가 어렵기 때문에 이용한 사례가 보고되지 않고 있다.

한편 전자인쇄용 잉크의 종류도 다양해져서 전도성이 있는 은, 구리 그리고 니켈 등 금속 분말 상태의 안료들을 비이클에 연육 시켜서 만든 페이스트 상태의 잉크들이 많이 사용되고 있다. 그러나 비이클 선택의 제한성 때문에 페이스트의 레오로지 특성을 균일하게 조정하기 어려운 것이 현실이다. PDMS(polydimethyl siloxane) (상품명 : 실리콘)를 오프셋 잉크에 연육시켜 그 인쇄적성을 알아보려고 하였고 PDMS를 선택한 이유는 PDMS가 내열성, 내약품성, 전기 절연성, 이형성 등 물리, 화학적 안정성을 가졌으며 침투성, 발수성, 소포성이 우수하고 낮은 표면 장력을 가지고 있어 현재 여러 산업 분야에서 널리 쓰이는 물질이기 때문이다.¹⁾ 또한 이러한 물리, 화학적 안정성 때문에 PDMS는 물질의 레오로지 특성을 파악하기 위한 분산매로도 흔히 쓰인다.^{2~4)} PDMS에 대한 유동과 상태변화에 대해 수학적 해석에 관한 연구는 다른 연구자들에 의해서 많이 연구되었으며, 유동 특성을 수식적으로 증명한 연구도 보고되었다.⁵⁾ 현재에도 PDMS를 이용해 잉크를 만드는 실리콘 잉크가 상용화 되었으나 스크린 인쇄방법으로만 주로 인쇄하고 있다. 2001년에는 PDMS에 카본블랙(carbon black) 무기 안료를 첨가할 때 그 레오로지 특성의 변화를 파악하는 연구가 보고되었는데, 이 연구는 안료의 농도에 따라 이 실리콘 잉크와의 현탁액이 어떻게 유동하는지를 실험적으로 규명한 것으로

서, 본 연구를 수행하는데 많은 도움이 되었다.⁶⁾ 또한 실리콘 오일은 안정된 분산매가 되기 때문에 이러한 특성을 이용하여 전도성 입자를 분산시켜 전자 산업에 주로 쓰인다. 이는 전도성 전극 형성에 많은 도움이 된다.⁷⁾ 그리고 높은 방수 특성을 이용하여 다른 물질에 첨가 또는 코팅하는 작업을 거쳐 방수성을 증대하기 위한 매개체로도 사용한 보고가 있다.⁸⁾ 오프셋 인쇄는 판과 피인쇄체 사이에 표면이 부드러운 고무 블랭킷을 이용하여 화상을 전이시키는 방법으로 평판 인쇄이며 간접적으로 인쇄한다.⁹⁾ 이 인쇄 방법은 고속이기 때문에 인쇄에서 오프셋 잉크의 전이 특성은 매우 중요하다 할 수 있다.^{10~11)} 오프셋 잉크의 특성과 전이 현상에 관한 연구는 꾸준히 진행되어 왔으며 고속으로 인쇄되는 오프셋 인쇄에서 잉크 전이 거동에 관한 연구는 실리콘 잉크의 인쇄적성 연구의 중요한 키가 될 것이다.^{12~14)}

그러므로 본 연구는 인쇄 전자 제품의 제조공정에서 사용될 수 있는 페이스트 잉크재료로서 PDMS를 연육한 잉크를 제조하여 이의 인쇄적성을 연구함으로써 오프셋 인쇄 가능성과 함께 최적 인쇄조건을 연구하고자 하였다.

2. 이 론

2-1. 평판 오프셋 인쇄

직접인쇄는 판에 묻은 잉크를 직접 피인쇄체에 전이하는 인쇄방법을 말한다. 그러나 간접인쇄라 칭해지는 오프셋(offset) 인쇄에서는 Fig. 1과 같이 판에 묻은 잉크를 일단 고무블랭킷(rubber blanket)에 전이시켜서 이것을 제2의 판으로 하여 다시 피인쇄체로 전이시키게 된다. 이 고무블랭킷을 장착하는 원통을 블랭킷통(blanket cylinder)이라 한다. 직접인쇄에서는 판의 화상을 인쇄물의 실제 화상에 대하여 역상으로 반전시켜야 하지만 오프셋 인쇄의 경우 판의 화상이 블랭킷에서 반전된 다음 피인쇄체에서 다시 반전이 이루어지기 때문에 판의 화상을 인쇄물의 화상과 동일한 정상으로 할 수 있다.

오프셋 인쇄 방식이 필요한 가장 중요한 이유는 평판 인쇄에서 사용되는 평판은 기계적 강도가 약하고 직접 인쇄를 하면 마모가 빨리 진행되기 때문이다. 또한 고무 블랭킷을 사용하기 때문에 피인쇄체와의 인압을 줄일 수 있어 깨지거나 마모가 일어나기 쉬운 피인쇄체에 쓰일 수 있다는 장점이 있다.¹⁵⁾

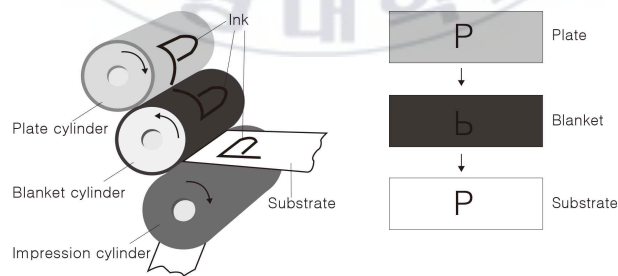


Fig. 1. Principle of offset printing.

잉크와 종이의 전이적성은 1950년대부터 연구했으나 가장 먼저 전이방정식을 제안한 사람은 Walker-Fetsko이었다. 전이방정식에 대한 문제들

을 수학적으로 해석하기 위한 첫 단계는 인쇄판의 잉크 전이량에 따른 인쇄물의 잉크량을 정량적으로 측정하는 것이다. Walker-Fetsko 전이 방정식¹⁶⁾은 용지의 피복면적비(k 값), 고정잉크 개념(b 값), 그리고 자유잉크의 분열(f 값)과 같은 세 가지의 개념으로 인쇄 적성계수들을 정의하였다.

이 세 가지의 인쇄 적성계수를 Walker-Fetsko의 전이상수라 칭하며 k , b , f 를 이 중, 가장 중요하게 생각되는 것은 f 값이다. 피인쇄체의 물성에 따라 결정되기 쉬운 k , b 값과는 달리 f 값은 롤러 틈새 사이에서의 자유잉크의 피막이 분열하여 종이에 전이되는 비율을 나타내므로, 롤러와 롤러 사이나 롤러와 피인쇄체 사이에서 전이하는 잉크들 중에서 어떻게 분열이 되는지를 실질적으로 나타낸다.

여기에서 도식적 그림을 보면 Fig. 2는 민짜인쇄에서 잉크의 전이메커니즘을 고려한 것으로써, 피인쇄체와 관련되는 k , b 의 전이정수의 연관성을 배제하고 자유 잉크량 만을 고려하였다. 이와 같이 전이정수는 인쇄재료와 인쇄공정상 조건들에 따른 인쇄잉크의 전이를 나타내는 변수이므로, 인쇄공정의 상태를 표현하는 중요한 변수로 사용된다.

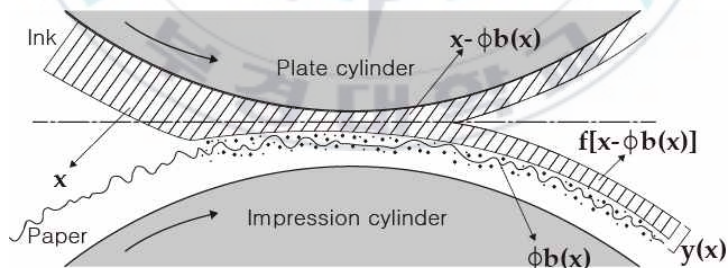


Fig. 2. Semantic diagram of ink transfer.

잉크량을 증가시키면서 종이에 전이된 잉크량에 따른 곡선을 얻을 수 있다. 여기서 잉크량이 많을 때인 포화점 이후부터는 1차함수로 표현할 수 있고 이는 식 (1)과 같다.

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

식 (1)에서 y는 종이에 전이된 잉크량, b는 고정화 잉크량, f는 자유잉크의 분열비, x는 인쇄판상의 잉크량(공급량)을 나타낸다. 식 (1)을 정리하면 식 (2)이 된다.

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

식 (1)을 전이율로 표현하면 식 (3)이 된다.

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

하지만 잉크량이 적을 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 표현할 수 있다.

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

여기서 실제 접촉된 영역에서 전이된 잉크의 양을 고려하면 식 (5)가 된다.

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

이 개념으로 식 (2)를 다시 정리하면 식 (6)이 된다.

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

여기에서 식 (6)이 Walker와 Fetsko의 전이 방정식이다. 따라서 식 (1)과 식 (3)에서 전이계수 b , f , k 를 얻을 수 있다.

이 식은 종이와 잉크의 관계를 나타낸 것으로 종이와 잉크의 고유한 관계를 얻을 수 있다. k 값은 적은 양의 잉크범위에서 얻은 값이므로 포화점 이상의 잉크 필름 범위에서는 사용할 수 없다.¹⁷⁾

2-2. 잉크의 항복가

현재 항복가와 소성점도를 측정하는데 많이 이용하는 기기는 평행판 점도계라 불리는 spreadometer이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 수평으로 놓인 두 개의 평행판 사이에 잉크를 놓고 하중판을 순간적으로 잉크 위에 떨어뜨려서 그 중력에 의하여 stress를 잉크에 받게 한다. 그러면 잉크는 동심원 상으로 퍼져 나가는 모양의 흐름을 한다.

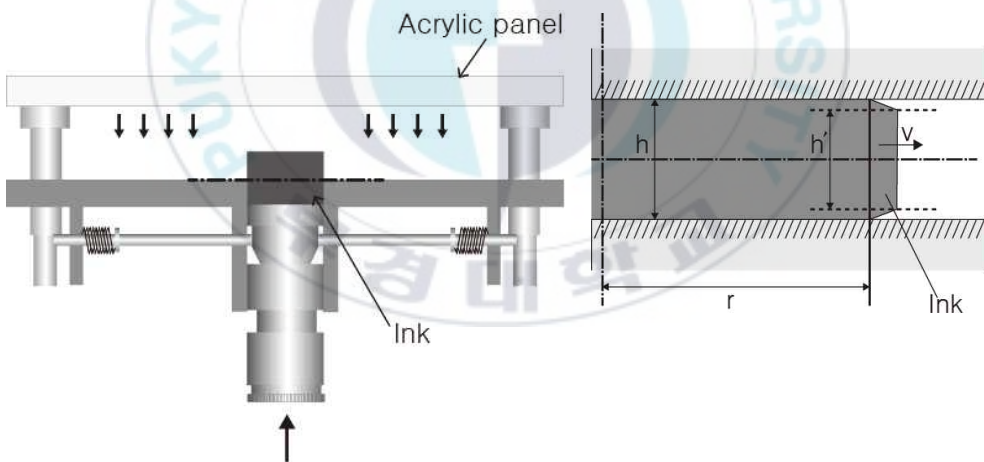


Fig. 3. Semantic diagram of the spreadometer.

이 상태를 관찰하면 stress에 대한 strain을 알 수 있으므로 액체의 저항성 즉, 점도를 알 수 있다. 이러한 방식으로 잉크가 퍼지는 기기를 spreadometer라고 한다. 자세히 살펴보면 Fig. 3과 같이 r 만큼 늘어난 뒤에 간격 $(y)=\pm 1/2h'$ 인 지점에서 stress가 S_0 (항복가)인 잉크가 있다면

이 때 stress이는 S_0 이고, strain은 시간에 대한 압력구배이므로 레오로
지에 관한 기본 식을 대입하여 식 (7)과 식 (8)와 같이 쓸 수 있다.

$$\epsilon_2 = \text{항성} \times \left(\frac{1}{2} h'\right) \times \gamma' \dots\dots\dots (7)$$

$$y = \pm \frac{1}{2} h' \text{에서 } \epsilon_0 = \left(\frac{1}{2} h'\right) \times q \dots\dots\dots (8)$$

여기에서 q 는 압력 구배이며 시간이 많이 지나서 압력구배가 완전히 없
어지면 흐름이 없다고 볼 수 있으므로 $h=h'$ 가 되는 것은 당연한 일이
다. 한편 앞서 언급한 바와 같이 h' 는 축으로부터 거리 r 에 관계되는
함수이므로 식 (9)과 같이 쓸 수 있다.

$$h' = h'(r) \dots\dots\dots (9)$$

늘어난 반경 $r=R$ 일 때 $S=0$ 이라고 하면, r 일 때의 stress는 단위 면적
에 가한 stress이므로 식 (10)와 같다.

$$S = q(R-r) = \frac{2S_0}{h} (R-r) \dots\dots\dots (10)$$

이 때 stress는 중량판의 하중에 의해 걸렸으므로, 중량판의 하중을 P 라
고 하면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$P = \int_0 2\pi r S dr \dots\dots\dots (11)$$

식 (11)에 식 (10)를 대입하면 식 (12)이 된다.

$$\frac{4\pi r S_0}{h} (R-r)dr = \frac{2}{3} \pi \frac{S_0 R^3}{h} \dots\dots\dots (12)$$

여기서 이 spreadometer에 가한 잉크의 양을 용적으로 계산하면 잉크 용적 $V = \pi R^2 h$ 이므로 식 (13)이 된다.

$$P = \frac{2}{3} \pi^2 \frac{S_0 R^5}{V} \dots\dots\dots (13)$$

또, R은 stress가 0이 되는 S_0 인 지점 까지의 반경이었고 spreadometer의 최대로 늘어난 직경은 D_∞ 이므로 $R = D_\infty / 2$ 를 대입하면,

$$P = \frac{2}{3} \pi^2 S_0 \cdot \frac{D_\infty^5}{32 V} \dots\dots\dots (14)$$

식 (14)을 S_0 에 대해서 정리하면 식 (15)가 나온다.

$$S_0 = \frac{48 P V (g)}{\pi^2 D_\infty^5} \dots\dots\dots (15)$$

식 (15)를 통해서 항복가를 구할 수 있으며, 식 (15)에서 P는 중량판의 하중, V는 부피 용적, D_∞ 는 잉크가 더 이상 늘어나지 않을 때의 직경이다. 그리고 (g)은 중력 가속도이다.

3. 실험

3-1. 실험 재료

3-1-1. 실리콘 잉크

인쇄 잉크는 기본적으로 안료, 비이클, 보조제와 같은 3가지 성분으로 구성된다. 여기서 안료는 현행 오프셋 잉크에 사용되는 안료들을 기반으로 만들었으며, 비이클은 바니시 외에 PDMS를 연육하여 사용하였고, 건조제 등 보조제를 적당량 첨가하였다. 기타 내용들은 일반적인 오프셋 잉크의 성분함량을 준용하였다.¹⁸⁾ 사용된 인쇄 잉크의 조성과 함량은 Table 1과 같다.

Table 1. Component of Ink Sample

Component	Chemical name	The component ratio(%)
Pigment	Carbon black	15-25
Resin	Rosin modified phenolic resin	25-35
Oil #1	Linseed oil	5-15
Oil #2	Soybean oil	20-30
Solvent	Petroleum	20-30

이와 같은 잉크에 각각 다른 점도의 PDMS를 연육하여 PDMS 오프셋 잉크를 제조하였으며, 오프셋 잉크와 PDMS의 비율은 각각 중량비 (weight percent)로 0.99%, 1.4%, 1.96%, 2.44%, 3.23%(100:1, 70:1, 50:1, 40:1, 30:1)로 첨가하였고 이를 삼분롤밀(three roll mill)로 혼합하여 4종류의 PDMS잉크를 제작하였다.

3-1-2. PDMS

본 실험에 사용한 PDMS는 일본 Shinetsu사의 모델 KF-96이며 이는 무색투명한 물질이며 그 물리적인 특성은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical Properties of PDMS Samples

Factor	Properties
appearance	transparent
viscosity(poise)	10 , 500, 2,000
specific gravity	0.97 (at 20 °C)
refractive index	1.403 (at 20 °C)
pour point (°C)	-50
flash point (°C)	315

3-1-3. 피인쇄체

실험에 사용된 피인쇄체는 아트지(art paper)와 신문용지(groundwood paper)이며 상대적으로 아트지는 슈퍼 캘린더에 의해 코팅이 된 종이이기 때문에 종이의 기공의 수가 적어서 잉크의 침투성이 낮은 종이이다. 실험 재료로는 홍원 제지사의 125 g/m² 아트지를 사용하였으며 이와 대조적으로 신문용지는 전주 페이퍼사의 평량 54 g/m²를 사용하였으며 이는 그라운드 펄프를 주로 하고, 여기에 30~40% 미만의 화학펄프를 섞어서 제조한 인쇄용지이다. 즉 무광택 도공지이며 국내에서 신문 윤전 인쇄 방식에 주로 쓰인다고 하여 신문용지라고 한다. 극단적으로 침투성이 큰 용지와 작은 용지 2종으로 실험을 하였고 PDMS를 연육시킨 오프셋 잉크의 그 전이성에 대해서 실험하였다.

3-2. 실험 방법

PDMS 오프셋잉크 샘플들의 인쇄적성을 알아보기 위해 Fig. 4와 같은 오프셋 인쇄적성시험기(IGT-C1, IGT 사 제조, Holland)를 이용하여 PDMS의 점도와 연육량에 따른 오프셋 잉크의 인쇄물의 농도와 인쇄적성을 실험 하였다. 또한 잉크 샘플의 일정량을 IGT의 연육기에 공급하기 위하여 IGT에서 공급하는 특수 잉크 피펫(IGT-408.200.031.D.001)을 사용 하였다.

Table 3. Condition of Printing Experiment using IGT

Factor	Properties
total time(sec)	45
pressure(N/cm ²)	100, 300, 500, 700
printing area (cm ²)	77 (3.5W×22L)
roll speed(cm/s)	30
roll size(mm)	60
temperature(°C)	20



Fig. 4. IGT C1 printability tester.

우선, IGT 연육 장치에 잉크 시료 1cc를 잉크피펫으로 넣고 IGT 연육시간을 30초로 하였다. 블랭킷은 고무(rubber) 디스크를 사용하였으며, 전이시간은 15초 동안 진행하였다. 이때 인쇄 압력은 각각 100~700 N으

로 4단계로 변화를 주어 실험하였으며, 인쇄 속도는 30 cm/sec로 일정하게 유지하였다. 실험실 환경은 $22^{\circ}\text{C} \pm 2$, 45~55 RH%를 유지하였다. IGT 실험 표준 값은 Table 3과 같다.

3-3. 인쇄 적성

인쇄된 인쇄물을 가지고 잉크 전이량, 농도, 광택도 측정을 진행하였고 사용한 잉크의 항복가를 측정해 보았다. 잉크 전이량은 전자저울을 이용하여 인쇄 전 블랭킷의 무게와 인쇄 후 블랭킷의 무게를 측정하여 그 차를 통해 피인쇄체에 전이된 잉크량을 측정하였다. 광학 농도 측정은 반사 농도계 (DensiEye 700 Densitometer, X-Rite, USA)를 이용하였다. 그리고 인쇄된 피인쇄체의 농도를 각각 10회씩 측정한 후 평균값을 구하였다. 반사 농도계는 불투명한 피인쇄체의 반사 농도를 측정에 적합하며 피인쇄체 표면에 입사광을 주어 반사된 반사광의 강도를 측정하여 농도를 얻는 원리이다. 인쇄물의 인쇄 적성 중에 PDMS 오프셋 잉크의 광택성을 인쇄된 피인쇄체에서 측정하였다. 광택도 측정기는 micro-gloss 75°(glossmeter, BYK Gardner, Germany)를 사용하였다. 광택도는 정반사의 원리에 의해서 측정이 되며 75°에서 입사광을 주어 기준면과 비교하여 반사광의 광선의 세기를 %로 나타낸다.^{19~20)}

Table 4. Condition of experimental Measure using Spreadometer

Factor	Properties
weight of load plate(g)	200±1
fall height(mm)	25
measurable diameter(mm)	10-80
amount of ink(cc)	0.5

일반 오프셋 잉크와 PDMS 잉크의 항복가와 소성 점도를 측정하였다. 이때 실험실 환경은 $22^{\circ}\text{C} \pm 2$, 습도는 45~55 RH%이었고, 측정 장치는 평행 평판 점도계(spread meter, Toyoseiki, Japan)를 사용하였다. 항복가 측정에서 하중판의 무게와 낙하 높이 그리고 기타 측정 환경은 Table 4와 같다. 평행 평판 점도계는 낙하하는 하중판 밑에 잉크를 채우고 낙하와 동시에 잉크를 위로 올려 하중판에 눌러진 잉크 직경의 크기를 측정함으로써 저항을 측정한다. 평행 평판 점도계에서 직경이 멈춘 지점으로 부터 항복가를 알 수 있으며, 시간에 따른 직경의 변화에 의해 잉크의 물성, 특히 늘어나는 길이 등을 측정할 수 있다.

3-4. 점도

잉크의 점도는 Bohlin rheometer(C-VOR rheometer, Bohlin Instruments, USA)와 Brookfield Dial Viscometer(viscometer, Brookfield, USA)를 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. PDMS 유동 특성

오프셋 잉크는 Non-Newtonian 유체로 Shear thinning 유동을 한다. Shear thinning이란 전단속도가 커질수록 점성저항이 낮아지는 유동 특성을 의미한다. Bohlin Rheometer로 오프셋 잉크의 유동특성을 측정해보았다. 오프셋 잉크의 레오로지 특성을 파악하려는 많은 연구가 있었으나 잉크의 조성이 너무 복잡하고 종류가 많아서 아직까지 각각의 분자들에 의한 모폴로지적인 거동의 정확한 특성을 파악하기란 쉽지가 않다.²¹⁾ 본 실험결과에서 대략적인 거동을 확인할 수 있었다.

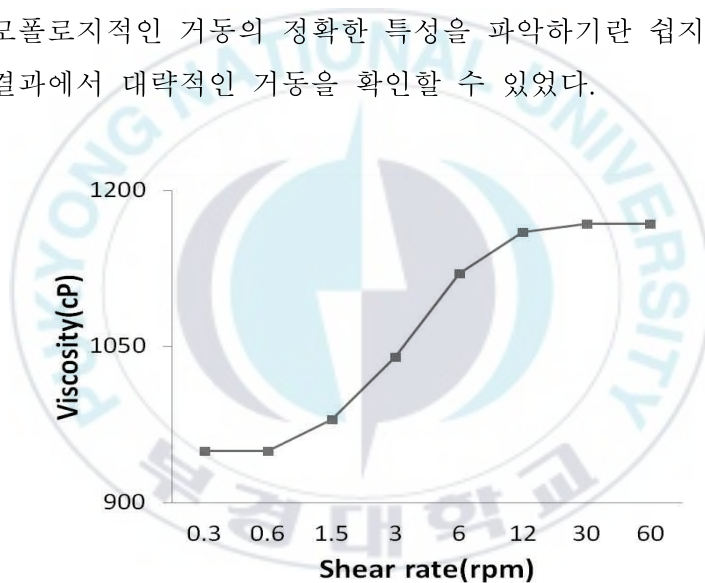


Fig. 5. Viscosity-Shear rate curve of PDMS.

PDMS 샘플은 각각 점도 단위로 10부터 2,000 poise 까지 4종류를 사용하였다. 점도만 다를 뿐 유동특성 그래프의 결과가 유사한 경향을 보이므로 PDMS의 유동특성을 보기 위해 10 poise의 PDMS를 Brookfield의 63번 spindle을 이용해 측정한 유동 특성그래프가 Fig. 5이다. Fig. 5에서 PDMS는 Shear rate에 따라 점점 점도가 올라가는 Shear thickening 유

동을 한다는 것을 알 수 있었다.²²⁾

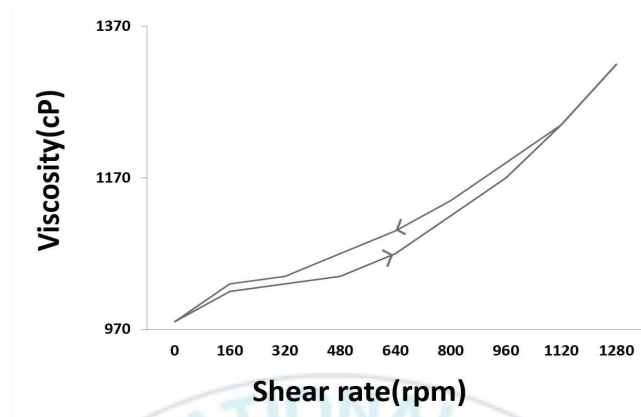


Fig. 6. Rheopexy curve of PDMS.

또한 PDMS의 자세한 유동 특성을 알기 위해 PDMS의 전단속도를 rpm으로 하여 0~1,280 rpm 까지 9단계로 rpm을 올렸다가 내리면서 측정한 그래프가 Fig. 6이다. Fig. 6에서 PDMS는 레오펙시 (rheopexy) 성질을 가짐을 알 수 있었다. 오프셋 잉크의 유동특성을 측정한 결과가 Fig. 7이다. 이는 오프셋 잉크가 shear thinning 유동을 함을 알 수 있었다.

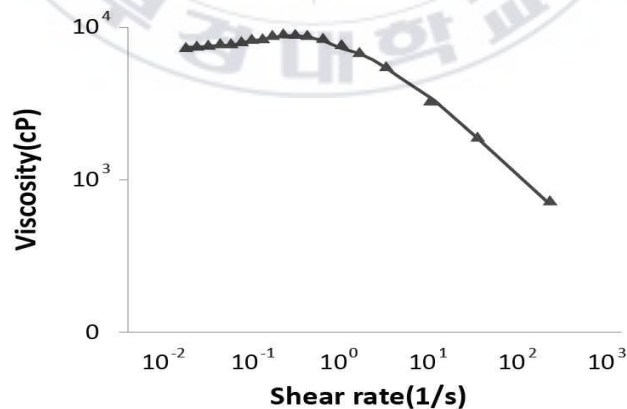


Fig. 7. Viscosity-Shear rate curve of offset ink.

4-2. 농도 및 전이성

4-2-1. 농도

PDMS의 점도를 각각 10 poise, 500 poise, 2,000 poise로 농도를 측정하였다. 오프셋 잉크와 PDMS의 비율은 각각 중량비로 0.99%, 1.4%, 1.96%, 2.44%, 3.23%(100:1, 70:1, 50:1, 40:1, 30:1)로 섞어 10poise의 PDMS 잉크로 인쇄를 진행해 상용화된 오프셋 잉크와 비교한 결과가 Table 5이다.

Table 5. Optical Dnsity of experimental Measure using Densitometer

Weight percent(%)	Optical density
0	2.500
0.99	2.535
1.40	2.630
2.44	2.825
3.23	2.700

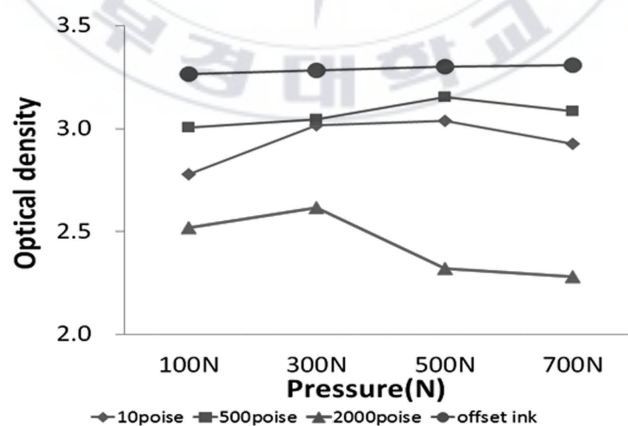


Fig. 8. Optical density of PDMS offset prints in art paper.

여기서 다음 실험은 인쇄 농도가 가장 최대인 2.44%(40:1)로 혼합하여서 실험을 진행하였다.

보다 명확한 PDMS 점도에 대한 PDMS 잉크의 영향을 보기 위하여 압력은 100~700 N으로 4단계로 유지하였으며 속도 등 기타 변수를 모든 시료에 일정하게 하였다. 아트지에 인쇄된 인쇄물의 농도 그래프가 Fig. 8 이다. Fig. 8에서 x축은 IGT-C1 인쇄적성시험기를 이용해 조절한 압력이며 y축은 인쇄된 인쇄물의 광학 농도이다.

아트지에서는 일반 오프셋 잉크보다 PDMS 잉크 시료의 광학 농도가 더 낮았다. 이는 상대적으로 기공이 없는 아트지에서는 PDMS 잉크 시료가 코팅된 아트지면을 침투하지 못해서 광학 농도가 낮게 나온 것이라 생각된다. 신문용지에도 같은 방법으로 실험을 진행하였으며 이에 따른 농도 측정값은 Fig. 9이다.

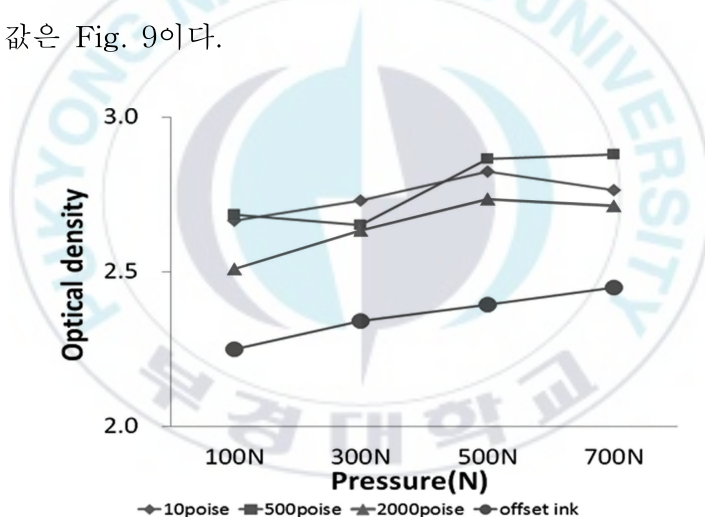


Fig. 9. Optical density of PDMS offset prints in groundwood paper.

신문용지에서는 오프셋 잉크로 인쇄한 것 보다 PDMS 잉크 시료의 농도가 더 높았다. PDMS의 점도와 관련하여 500 poise를 첨가한 PDMS 잉크의 농도가 가장 높았다. PDMS 잉크 시료는 기공이 많은 종이에서 농도가 증가하는 것을 알 수 있으며 500 poise의 PDMS 잉크는 0.5cc의 잉

크량에서만 농도가 가장 높음을 후에 잉크량 별 농도 실험에서 알 수 있었다.

4-2-2. 전이량

잉크 전이량은 전자저울을 이용하여 인쇄 전 블랭킷의 무게와 인쇄 후 블랭킷의 무게를 측정하여 그 차를 통해 피인쇄체에 전이된 잉크량을 측정한 결과가 Fig. 10이다.

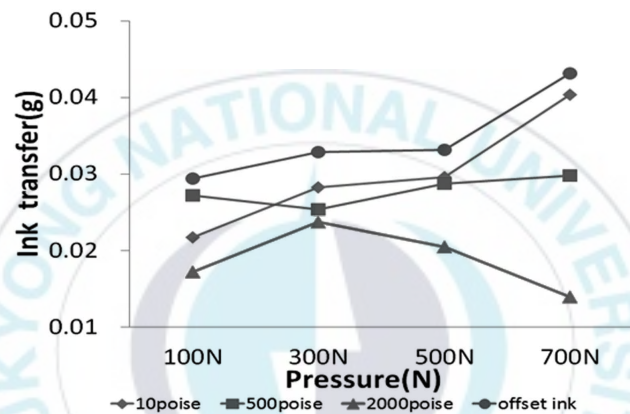


Fig. 10. Amount of transferred PDMS offset ink in art paper.

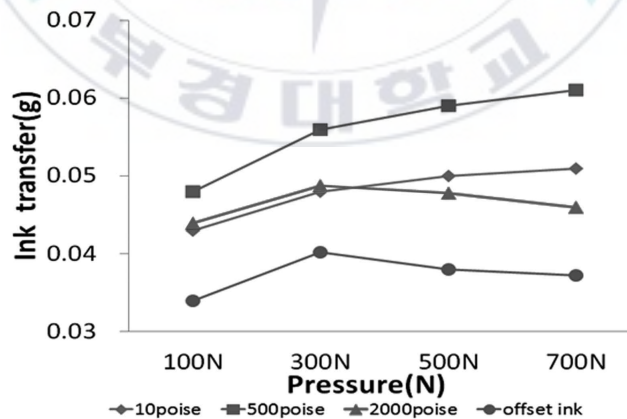


Fig. 11. Amount of transferred PDMS offset ink in groundwood paper.

전이를 역시 PDMS 잉크 시료의 결과 값이 일반 오프셋 잉크보다 낮았다. 동일한 방법으로 신문용지에도 실험을 실시하였으며 그 측정값은 Fig. 11이다. 이는 Tollennar와 Ernst의 인쇄의 농도와 잉크의 량에 관한 상관관계에 관한 식에 부합했다.²³⁾ 전이량 또한 PDMS 잉크 시료가 더 높게 나왔다. 이는 기공이 없는 아트지에서는 PDMS의 침투성이 영향을 주지 못해서 일반 오프셋 잉크의 전이량이 높은 것이라 생각되고 기공이 많은 신문용지에서는 침투성의 영향에 의해 PDMS 잉크 시료의 전이량이 더 높은 것이라 생각된다.

4-2-3. 잉크량 별 농도

PDMS 잉크 시료 중에서 PDMS의 점도별로 최대 전이점을 찾기 위하여 잉크량을 각각 IGT 특수 피펫으로 0.5~2cc로 총 4단계로 측정하여 신문용지에 실험을 진행하였다.

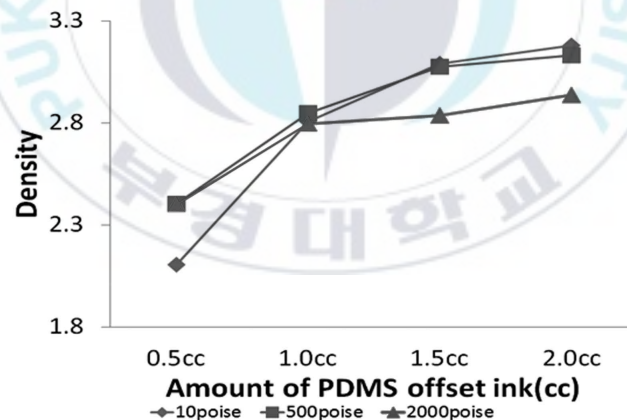


Fig. 12. Optical density of PDMS offset ink in groundwood paper.

결과 그래프는 x축을 잉크량(cc)으로 놓고 y축을 농도 값으로 넣었으며 앞선 농도 측정 실험과 마찬가지로 반사 농도계를 사용하였다. 그 결과

Fig. 12와 같은 결과가 나왔다. 이를 통해 잉크량에 따라서 인쇄물의 농도 특성이 달라지는 것을 알 수 있고 각 잉크별 최대 전이점을 찾을 수 있었다. 그 결과 잉크 전이력과 농도가 가장 높은 500 poise의 PDMS를 연육한 혼합 잉크가 15cc 이후부터는 10 poise의 PDMS 잉크가 농도 결과 값이 높았다. Fig. 12의 결과와 같이 잉크량과 농도는 비례관계에 있음을 알 수 있는데 이는 잉크가 전이하는 유동을 수식으로 나타내는 방정식인 Walker-Fetsko 전이방정식에서 전체 공급 잉크량이 많아지면 잉크 전이량이 증가한다는 것에 부합했다.²⁴⁾

4-3. 광택도

PDMS를 오프셋 잉크의 광택성 측정결과는 Fig. 13과 같다. 이 결과는 각 PDMS의 점도별로 다르게 나누어진 인쇄물에 대한 표면을 광택계를 이용하여 측정해 본 결과이다.

그 결과 인쇄물의 광택성이 오프셋 잉크를 사용했을 때 보다 높았고 PDMS의 점도가 높아질수록 광택도가 높았다. 이를 통해 광택제로 사용되는 PDMS가 점도가 높아질수록 광택성이 증가한다는 사실을 알 수 있었다.

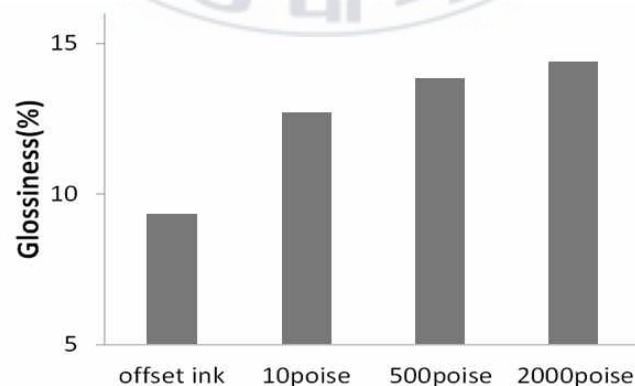


Fig. 13. Glossiness of PDMS offset ink in groundwood paper.

4-4. 항복가

PDMS 오프셋 잉크의 소성 점도 특성을 알기 위해 평행 평판 점도계를 이용하여 항복가 측정을 진행하였다. 하중판의 하중은 200 g으로 측정하였고 측정 시간은 30초 간격으로 20분 뒤까지 측정하여 최대 직경을 구하였다.

PDMS의 연윅 점도는 10 poise로 하였으며 연윅량은 중량비 2.44%, 4.76%, 9.09%로 PDMS의 연윅량이 높아질수록 항복가의 경향을 볼 수 있게 하였다.

Table 6. Measurement of Diameter using Spreadometer

Amount of PDMS	Measured diameter(mm)
offset ink(0%)	45
2.44%	46
4.76%	47
9.09%	48

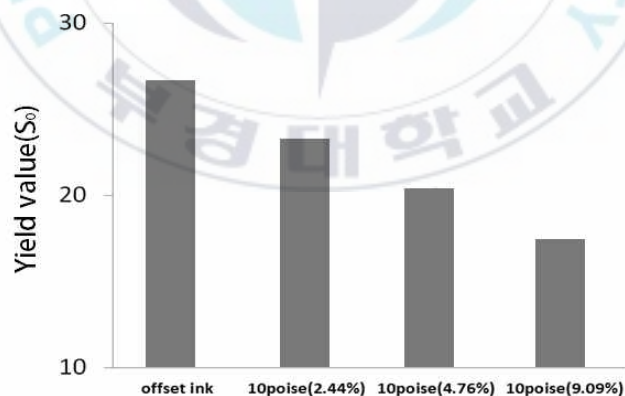


Fig. 14. Yield value of PDMS ink in weight percent using Spreadometer.

잉크량은 0.5cc를 가지고 실험을 진행하였다.²⁵⁾ 그 결과 값은 Table 6에서 나타내었다. 항복가는 Spreading실험에서 중량판의 하중과 부피용적, 잉크가 늘어나지 않는 직경과 중력가속도를 사용하여 항복가 S_0 를 구하는 식을 사용하였고 그 결과가 Fig. 14이다.

Table 6의 결과에서 오프셋 잉크의 저항 값이 더 큰 것을 알 수 있었다. 이를 통해 오프셋 잉크에 PDMS를 연육 시킴으로써 오프셋 잉크의 저항 값이 줄어들었고 항복가가 낮아진 것을 확인 할 수 있었다. 이는 저항에 대한 잉크의 유동 특성을 보여준다. Fig. 14에서 중량비가 커질수록 항복가는 점점 떨어졌다. 이는 PDMS의 연육량이 많아질수록 항복가가 떨어지는 것을 알 수 있으며 지나치게 PDMS의 연육량이 많아지면 항복가가 사라져 인쇄가 안됨을 알 수 있었다.



5. 결 론

인쇄 전자 제품의 제조공정에서 사용될 수 있는 PDMS 잉크를 제조하여 이의 인쇄적성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) PDMS 오프셋 잉크는 기존의 상용 오프셋 잉크보다 신문용지에서 인쇄 결과물의 농도가 높아지는 결과를 얻었다.

(2) PDMS의 함량 1.0cc의 경우 점도별 농도 특성에서 10~2000 poise까지 3단계로 인쇄해 본 결과 인쇄물의 농도 및 품질 특성은 500 poise에서 가장 양호함을 알 수 있었다.

(3) 잉크량 별 PDMS 잉크의 인쇄 농도 측정 결과 잉크 최대 전이 값은 10 poise의 PDMS를 연육 시킨 시료가 가장 좋은 것을 알 수 있었다.

(4) PDMS 잉크의 전이량은 아트지에서는 기존의 상용화된 오프셋 잉크보다 PDMS 잉크 시료가 전이량이 높진 않지만 신문용지와 같은 비도피지에서 높아지기 때문에 피인쇄체 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

(5) 기존의 상용화된 오프셋 잉크보다 PDMS를 연육한 잉크의 점도가 더 높았고 점도가 높아질수록 광택도가 우수함을 알 수 있었다.

(6) 잉크에 PDMS의 함량이 많아질수록 항복가가 낮아지는 것을 확인할 수 있고 PDMS 연육량 3.23 wt.%이내에서 인쇄의 결과물이 양호하였다.

이상과 같은 결과에 의해 일정조건하에서 PDMS 잉크의 오프셋 인쇄적성이 가능하여 향후 전자 인쇄 또는 방수인쇄 등의 목적으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) M. H. Choi, H. S. Kang and Y. H. Chang, Viscoelasticity of the emulsion system for a cyclomethicone/silicone surfactant/water system, Theories and Applications of Chem, Vol. 8, No. 2, pp. 2513-2516 (2002).
- 2) D. Khastgir, K. Adachi, Rheological and dielectric studies of aggregation of barium titanate particles suspended in polydimethyl siloxane, Polymer, Vol. 41, pp. 6403-6413 (2000).
- 3) T. Kitano, T. Kataoka, The rheology of suspensions of vinylon fibers in polymer liquids. I. Suspensions in silicone oil, Rheologica Acta, Vol. 20, No. 4, pp. 390-402 (1981).
- 4) N. Sugita, S. Nomura, and M. Kawaguchi, Rheological and interfacial properties of silicone oil emulsions stabilized by silica particles, Journal of Dispersion Science and Technology, Vol. 29, pp. 931-936 (2008).
- 5) M. B. Peirrotti, J. A. Deiber, J. A. Ressa, M. A. Villar and E. M. Valle's, Relaxation modes of molten polydimethylsiloxane, Rheologica Acta, Vol. 37, pp. 449-462 (1998).
- 6) M. Kawaguchi, M. Okuno and T. Kato, Rheological properties of carbon black suspensions in a silicone oil, Langmuir, Vol. 17, No. 20, pp. 6041-6044, (2001).
- 7) B. H. Sung, U. S. Choi and M. J. Im, Novel synthesis and ER properties of sub-micron sized hollow polyanilinemalonate salts suspensions, Korea Institute of science and Technology, Vol. 41, pp. 249-253 (2005).

- 8) J. K. Yoo, W. K. Jho and M. K. Lee, Environmentally friendly moisture-proof paper with superior moisture proof property, Journal of Korea TAPPI , Vol. 33, No. 4, pp. 16-20 (2001).
- 9) W. T. Chodorowski, E. Hudyma and G. kusiolek, Investigation of blanket feed characteristics on a web offset press, TAGA Proceedings, pp. 322-340 (1983).
- 10) A. DePaoli, The effect of printing conditions on dotgain an offset newspaper study, TAGA Proceedings, pp. 17-42 (1981).
- 11) J. Leon Boyd, Current and future electronic/computer controls in offset lithographic newspaper production, TAGA Proceedings, pp. 1-34 (1983).
- 12) U. Bertholdt, Rheology of heat-set web offset ink emulsions, European coatings journal, pp. 184-187 (2007).
- 13) H. R. Lee, Characteristic of offset ink and phenomenon of Ink transference, Journal of Korea TAPPI, Vol. 26, No. 4, pp. 58-71 (1994).
- 14) Y. Takahashi, H. Fujita and T. Sakata, Ink transfer mechanism in offset printing process, TAGA Proceedings, pp. 547-562 (1983).
- 15) Korean printers association, The technology of the Offset Printer for quality increase, Journal of Printing Korea, Vol. 11, pp. 126-131 (2012).
- 16) W. C. Walker and J. M. Fetsko, A concept of ink transfer during printing, AM. Ink Maker, Vol. 33, No. 12, p. 38 (1955).
- 17) M. I. Kolte and P. Szabo, Capillary thinning of polymeric filaments, The Society of Rheology Inc, pp. 609-625 (1999).

- 18) Y. Ozaki, Douglas W. Bousfield and Stephen M. Shaler, Observation of the ink vehicle penetration into coated paper by confocal laser scanning microscope, TAGA Proceedings, pp. 474-484 (2005).
- 19) A. Kakaboura, M. Fragouli C. Rahiotis and N. Silikas, Evaluation of surface characteristics of dental composites using profilometry, scanning electron, atomic force microscopy and gloss-meter, Journal of Materials, Vol. 18, pp. 155-163 (2007).
- 20) Ye, Ling, Banach, Steve and Arney, Interpretation of gloss meter measurements, Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 50, pp. 567-571, (2006).
- 21) Z. Wang, X. Wang and T. Fang, The rheology of the offset inks, Surface Coatings International, Vol. 5, pp. 219-222 (1998).
- 22) R Ramachandra Rao, H.N Roopa and T.S anan, Effect of pH on the dispersability of silicon carbide powders in aqueous media, Ceramics International, Vol. 25, pp. 223 - 230 (1999).
- 23) D. Tollenaar and P. A. H. Ernst, Optical density and ink layer thickness, Proceedings of IARIGAI, pp. 214-234 (1962).
- 24) W. C. Walker and J. M. Fesko, A concept of ink transfer during printing, AM. Ink Maker, Vol. 33, No. 12, pp. 38-40 (1955).
- 25) Y. B. Ha, S. S. Oh, W. Jae. Lee, The study of the printability on the phenol free heat-set web inks(I), Journal of Korea TAPPI, Vol. 44, No. 2, p. 44 (2012).