

유화된 잉크의 레올로지 특성과 인쇄적성에 관한 연구

김진우, *김성빈, 김태환, 이규일

부경대학교 대학원 인쇄공학과, *부경대학교 공과대학 화상정보공학부

The Study of Rheological Properties of Emulsified Ink and Printability

*Jin-Woo Kim, *Sung-Bin Kim, Tae-Hwan Kim, Kyu-Il Lee*

Department of Graphic Arts Engineering, Graduate School, Pukyong National University,

*Division of Image and Information, College of Engineering, Pukyong National University

Abstract

In lithography based on repulsion of ink and water, emulsification is inevitably generated. Thus it is necessary to analyze relationship between printability and physical and chemical properties of emulsified ink.

Transfer rate of ink is one of the important factor deciding print quality. And it is closely concerned with rheological properties of emulsified ink.

Rheological properties such as flow, yield, plastic viscosity, creep, oscillation and tack tests were measured. In order to examine printability of emulsified ink, ink transfer equations, density, ink film thickness and gloss were measured.

1. 서 론

물과 잉크의 물리화학적 반발작용을 기초로 하는 평판인쇄는 잉크집에서부터 최종적으로 피인쇄체에 전이되기까지 친유성의 잉크와 친수성의 축임물 사이에서 여러 가지 현상들이 발생한다. 그 중 롤러와 롤러사이의 님 부분에서 작용하는 높은 전단력에 의

해, 잉크와 축입물과의 유화현상이 필연적으로 발생하게 된다. 그래서 유화된 잉크의 특성을 살펴보는 것이 중요하다고 할 수 있다.

이런 유화현상은 계면화학적 방법이나 유변학적 방법을 이용하여 여러 학자들에 의해 연구되었다. 또한 그러한 유화 현상과 인쇄적성과의 관계 역시 연구되었지만, 유화된 잉크의 인쇄적성과의 관계를 잉크의 유변특성을 토대로 연구한 것은 그리 많지 않다.

그래서 본 연구에서는 윤전용 신문잉크에 대한 유화량 변화에 따른 인쇄적성과의 상관관계를 살펴보기 위해, 레오메터를 통해 flow, creep, oscillation 특성들을 측정하였다. 그리고 IGT인쇄 적성 시험기를 통해 잉크 전이율 방정식의 계수 값을 찾고, 인쇄물의 농도와 잉크 필름 두께 그리고 광택(75°)을 측정하여, 이러한 인쇄적성 요소들과 유변학적 특성과의 상관관계를 찾고자 한다.

2. 이 론

2-1. Walker-Festko 전이방정식

잉크의 전이현상의 종지와 잉크의 상호관계로부터 해석하는 walker-festko 전이방정식은 다음 세 가지의 개념으로 구성된다.

① 용지의 피복면적비(k)

종지에 전이되는 잉크의 전이량 y는 잉크에 의한 용지면적의 피복면적비F(x)와 피복부분의 잉크전이량Y(x)의 곱으로 주어진다.

② 고정화 잉크량(b)

인쇄 순간에 인쇄판상에 잉크의 양(x) 중 용지표면에 요철이나 공극에 고정화되는 잉크량을 말한다.

③ 자유잉크 분율(f)

자유잉크의 피막이 분열하여 종지에 전이되는 비율을 말한다.

①, ②, ③을 종합하여 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$y = F(x)[b \phi(x) + f(x - b \phi(x))] \tag{1}$$

3. 실 험

3-1. 시료

3-1-1. 잉크의 조성 및 제조조건

본 연구에서 사용한 잉크의 조성은 안료(phthalocyanine blue) 15%, 체질안료(CaCO₃)

20%, varnish 50%, 지방족 탄화수소형 용제 15%로 구성되어져 있다. 그리고 온도 80℃ 하에서 4bar 압력의 조건하에서 beadmil을 사용하여 잉크를 제조하였다.

3-1-2. Varnish의 조성

본 연구에서는 table 1과 같은 조성으로 varnish를 제조하였다.

Table 1. The formulation of varnish (unit : %)

Component	Rosin modified phenolic resin	Mineral oil	Bean oil	Gel agent (AL-Chelate)	Naphthenic Solvent	BHT	Total
Sample	40%	35%	10%	0.8%	10%	3.0%	98.8%

* Naphthenic solvent : 증류범위 270 ~ 300℃

* Rosin modified phenolic resin : 분자량 800,000 ~ 1,000,000

* Varnish cookin 조건 : 290℃ / h

3-1-3. 종이의 특성

본 연구에서 사용한 신문용지의 신장률과 백색도, 뒤비침, 평량, 수분, 평활도는 각각 1.28%/2.23%(CD/MD), 57%, 5.7%, 46g/m², 8.5%, 45에 해당된다.

3-2. 잉크의 유화

잉크의 유화율을 측정하기 위하여 잉크 25g과 물 30cc를 100cc 비이커에 넣고 교반기 (max 1,000rpm, AC220V, 30W)를 사용하여 300rpm속도로 교반하여 시간에 따른 유화율을 측정하였다.

3-3. 잉크의 유동성

3-3-1. Flow 측정

인쇄기의 롤러 낱을 통과하면서 유화된 잉크의 shear rate에 따른 점도 변화를 알아내기 위하여 다음의 조건으로 flow 측정을 실시하였다. 우선 유화된 잉크를 균일한 상태로 만들기 위하여 5pa의 pre-shear를 60s 동안 주었다. 그 후에 0Pa에서 2000Pa로 shear stress를 240s 동안 증가시켰을 때 나타나는 shear stress에 따른 점도 변화를 측정하였다.

3-3-2. Creep 측정

잉크가 피인쇄체에 전이된 후 인쇄물의 광택 및 농도의 변화를 예측하기 위하여 본 연구에서는 잉크의 탄성회복을 알 수 있는 creep 측정을 다음과 같이 실시하였다. 유화

된 잉크에 $30s^{-1}$ 의 pre-shear를 60s 동안 준 후에 0Pa의 shear-stress를 600s 동안 일정하게 가하여 시간에 대한 변형을 측정하였다.

3-3-3. Oscillation 측정

유화율에 따른 탄성변형률과 점성변형률을 측정하여 인쇄 후 잉크의 회복성과 인쇄적성의 상호관계를 평가하기 위하여 다음의 조건으로 탄성변형률(G')과 점성변형률(G'')을 측정하였다. 유화된 잉크에 1pa의 pre-shear를 30s 동안 준 후, 10Hz의 frequency를 800s 동안 주어 시간에 따른 탄성변형률과 점성변형률의 변화를 측정하였다.

3-4. 인쇄적성

3-4-1. 전이율과 전이계수

IGT 인쇄적성기를 이용하여 판상 잉크전이량(x), 종이 잉크전이량(y), 전이율(y/x)을 측정하고, Origin 7.0(graphing and data analysis software)을 이용하여 x와 y의 그래프에 non-linear regression을 이용하여 x가 ∞ 로 갈 때 walker-festko 전이방정식을 fitting 시켜 표준오차 0.001이하일 때 전이계수 b와 f값을 계산하였다.

3-4-2. 농도 및 광택 측정

X-Rite 408 반사농도계를 이용하여 인쇄물의 농도를 측정하였다. 이 때 농도는 20회 측정하여 그것의 평균농도를 사용하였다. 그리고 BYK Gardner사의 micro-gloss 75°를 이용하여 인쇄물의 광택도를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 잉크의 레올로지 특성

4-1-1. Flow 측정

Fig. 1은 shear rate 증가에 따른 유화된 잉크의 flow 곡선을 비교한 결과이다. 낮은 shear rate영역에서는 유화율이 증가할수록 점도가 낮아지는 경향을 알 수 있다.

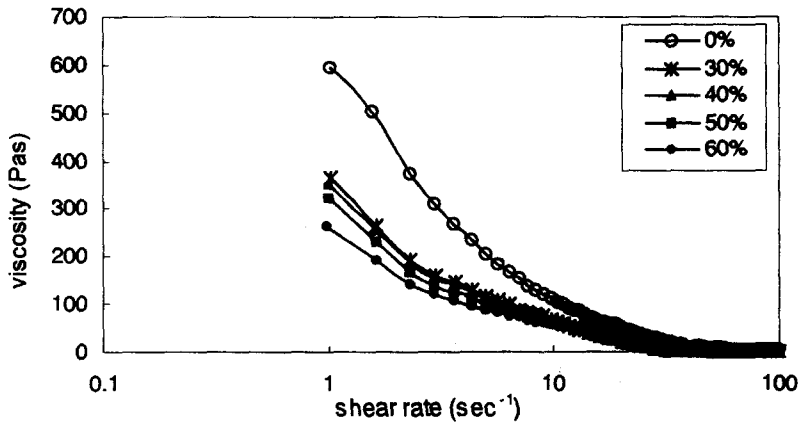


Fig. 1. Comparison of flow curves of emulsified inks as a function of shear rate at 20°C.

4-1-2. Creep 측정

Fig. 2는 유화율 변화에 따른 잉크의 탄성회복을 나타낸 그래프이다. strain 값이 감소하는 영역은 stress를 제거시킨 후 잉크가 탄성회복을 하는 것을 나타내고, 일정한 시간 이후 탄성변형을 하지 않는 영역까지 걸리는 creep time으로부터 잉크가 피인쇄체에 전이된 후의 탄성회복 거동을 예측할 수 있다. 본 실험에서는 유화율이 높은 잉크일수록 구조회복을 하는데 더 오랜 시간이 걸리는 것으로 나타났다.

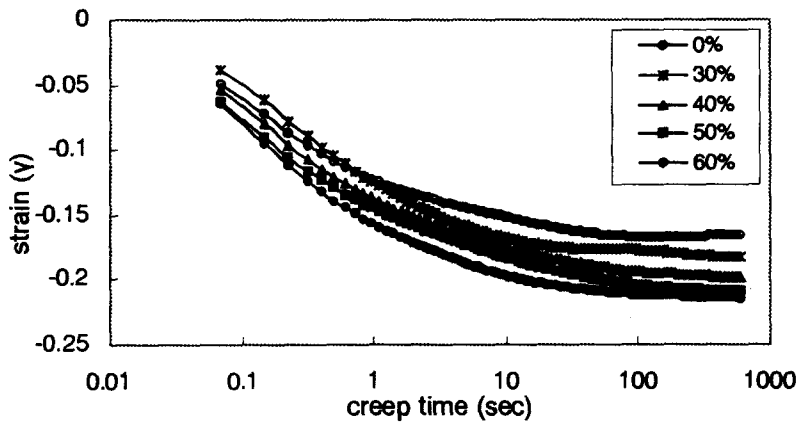


Fig. 2. Comparison of creep curves of emulsified ink as function of creep time at 20°C.

4-1-3. Oscillation 측정

Fig. 3과 fig. 4는 유화율 변화에 따른 잉크의 점탄성 거동을 비교한 그래프이다. 두 그래프 모두 유화율이 증가할수록 잉크의 점탄성 거동을 나타내는 저장계수(G')와 손실계수(G'')가 작아지는 것을 알 수 있다. 또한 저장계수의 차가 손실계수의 차보다 커 점성변형이 더 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 유화율이 높을수록 잉크속의 물분자의 상대적인 함량비가 증가함에 따라 나타나는 현상으로 사료된다.

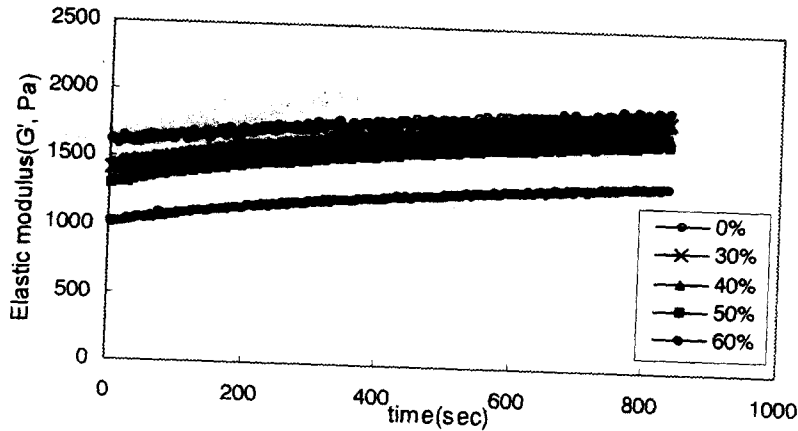


Fig. 3. Comparison of elastic modulus(G') of emulsified inks as a function of time at 20°C.

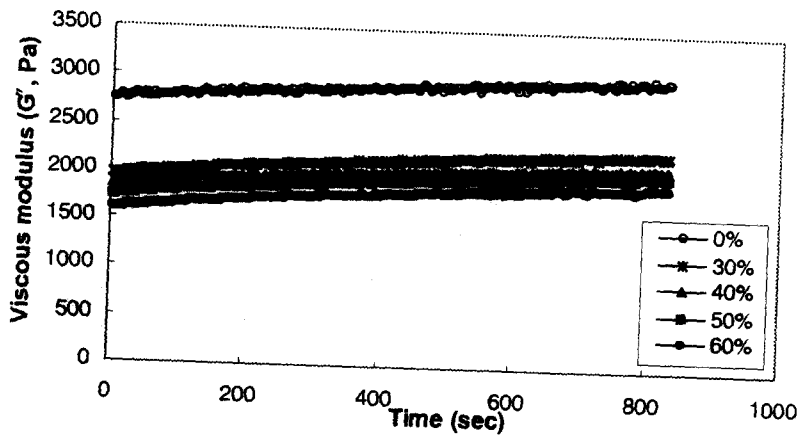


Fig. 4. Comparison of elastic modulus(G') of emulsified inks as a function of time at 20°C.

4-2. 인쇄적성

4-2-1. 잉크의 전이율

Fig. 5는 판상의 잉크 전이량(x)에 대한 전이율(y/x)을 나타낸 그래프이다. Fig. 6은 잉크의 유화율에 따른 최대 잉크전이율을 나타낸 그래프이다. flow 측정 결과 높은, shear rate 하에서는 샘플 모두가 Newtonian flow의 거동을 하며 비슷한 점도를 갖는 것을 알 수 있다.

하지만 유화율에 따라 전이량이 달라지는 것은 롤러 낚과 신문용지 사이에서 분열이 발생할 때 용지의 압축성과 흡수성에 의하여 종이위의 잉크 중 비히클 성분이나 물의 흡수량이 많아져 점도가 상대적으로 높아지고, 기공이 발생하여 이것이 끊어지면서 전이량의 감소가 나타나는 것으로 생각된다.

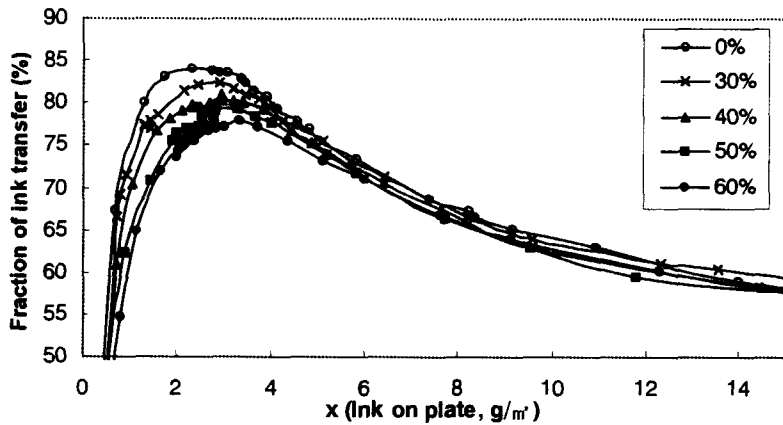


Fig. 5. The variation of transfer rate for emulsified ink at 0.3m/s and 200N/m in IGT printability tester.

Table 2. The comparison of transfer parameters and residuals

sample	maximum of transfer rate	f	error	b	error	R ²
A(0%)	84.2	-0.3864	0.4687	4.5766	0.5854	0.9948
B(30%)	82.4	-0.4704	0.0092	3.3723	0.2185	0.9988
C(40%)	81.0	-0.4746	0.0075	3.0005	0.1776	0.9988
D(50%)	79.4	-0.5032	0.0102	2.3188	0.2178	0.9972
E(60%)	77.9	-0.5350	0.1212	1.9000	0.2699	0.9983

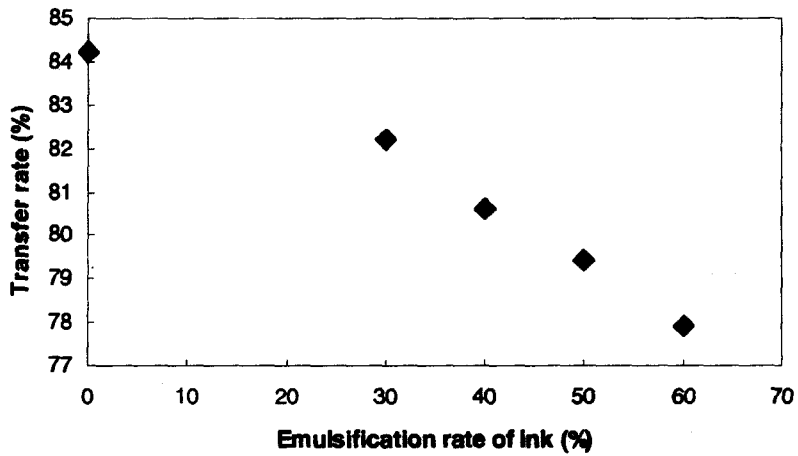


Fig. 6. The variation of transfer rate for emulsified ink at 0.3m/s and 200N/m in IGT printability tester.

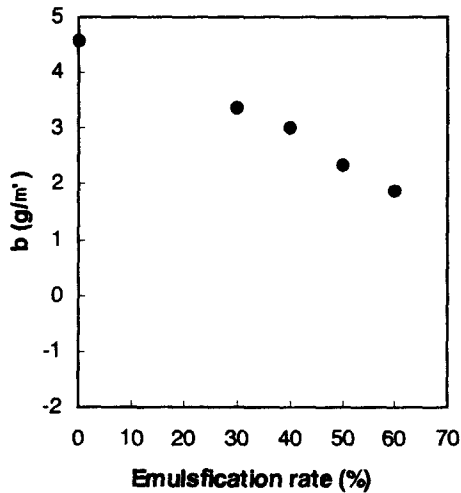


Fig. 7. Comparison of immobilization parameter(b) as emulsification rate.

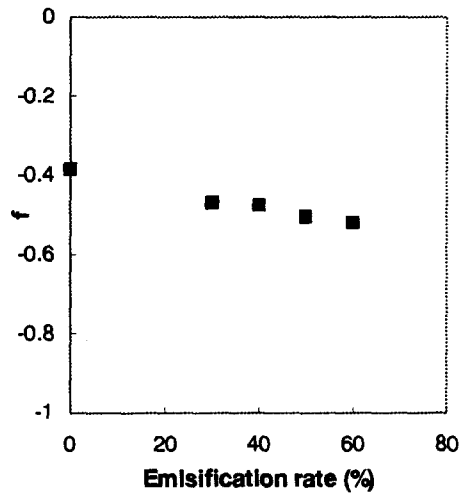


Fig. 8. Comparison of splitting parameter(f) as emulsification rate.

Fig. 7과 fig. 8은 유화율 변화에 따른 고정화잉크량(b)와 자유잉크분율(f)을 나타낸 것이다. 선행연구에 의하면 b 값과 f 값은 밀접한 상관관계를 갖는 것으로 연구되었다.

본 연구에서 나타난 fig. 8의 f 값을 고려해보면, 유화가 증가할수록 f 값의 크기가 음의 값으로 커지는 것을 알 수 있다. 이것은 실제 측정된 fig. 6의 전이율 곡선에서 유화

율이 증가할수록 전이율이 낮아지는 결과와 일치되지 않는다. 선행연구 및 이론을 바탕으로 고찰해 보면, fig. 9와 같은 데이터를 얻었다. 이것은 낮은 판상 잉크전이량(x)에서는 전이 방정식에 의한 이상적인 전이율에 비해 매우 높은 값을 갖는 것을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서 이루어진 실험실 온·습도 조건이나 극소량의 x에 대하여 잉크를 디스크에 전이시킨 후 피인쇄체에 전이시키기까지 디스크상의 잉크 필름의 건조현상이 전이율에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

그러나 x, y에 대한 non-linear regression법을 이용하여 계산한 f, b값은 이론 및 선행연구를 바탕으로 예상되는 실제 데이터에 적합한 결과를 얻었고, 이를 분석해 보면, f 값이 음의 값으로 커지는 것은 낮은 x에 대한 전이율이 높게 나타난다는 것을 의미하므로 유화된 잉크의 전이율이 유화되지 않은 잉크의 전이율보다 높게 된다는 것을 알 수 있다. 본 실험의 레올로지 특성 결과와의 관계를 보면 유화된 잉크는 유화되지 않은 잉크의 점도에 비해 낮은 것을 알 수 있고, 이는 f 값의 크기가 커지는 근거가 되는 것을 사료된다.

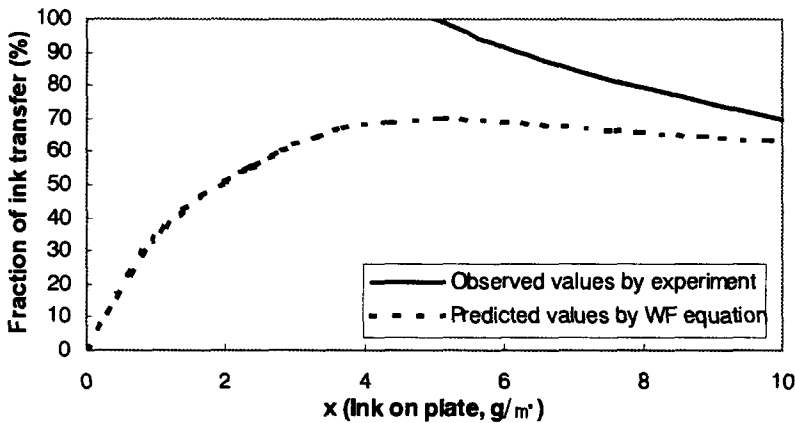


Fig. 9. Comparison of actual fractional transfer curves and curves predicted by WF equation.

4-2-2. Density와 잉크의 레올로지 특성

Fig. 10은 유화율 증가에 따른 잉크의 최종 농도를 나타낸 것이다. 유화율이 증가함에 따라 최대전이율 영역에서의 농도 변화특성은 거의 비슷한 두께의 잉크가 종이에 전이되어 있다. 그런데 최대전이율 이전까지의 영역에서는 농도가 더 낮게 나타남을 볼 수 있는데, 이는 잉크중 물의 함량비가 유화율 증가함에 따라 커지기 때문이다. 그러나 종이 위에 전이되는 잉크량 y가 훨씬 크게 되면, 농도가 오히려 증가됨을 볼 수 있는데 이는 잉크의 레올로지 특성 중 점탄성과 연관지어 생각해 볼 수 있다. 유화율이 증가하게

되면 점성이 증가하기 때문에 잉크의 분열이 후 종이위에 전이되는 잉크량이 커지게 되고, 이에 따라 농도 또한 증가하게 되는 것이다.

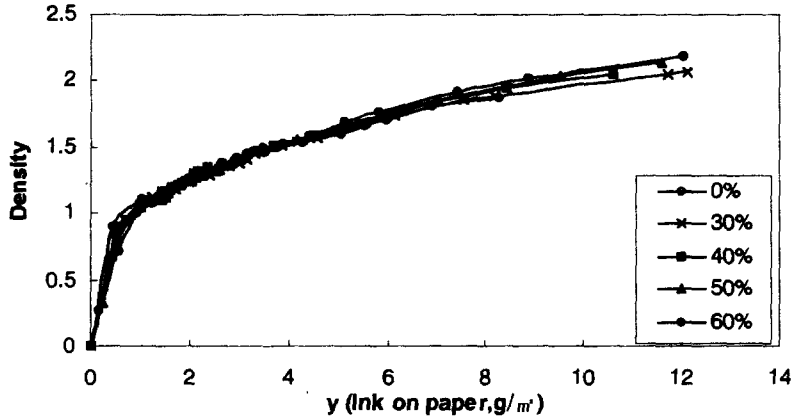


Fig. 10. Comparison of density curves of emulsified inks.

4-2-3. 광택과 잉크의 레올로지 특성

Fig. 11은 유화율에 따른 인쇄물의 광택을 나타낸 것이다. 잉크의 유화율이 증가함에 따라 광택 또한 증가함을 확인할 수 있다. 이것은 4-1-2의 결과에서 나타난 유화율이 증가함에 따라 잉크의 탄성회복 시간이 길어지는 것을 알 수 있었고, 그 결과로써 잉크가 피인쇄체에 전이된 후 잉크 표면의 평활성이 상대적으로 높아져 광택이 높아지는 것으로 사료된다.

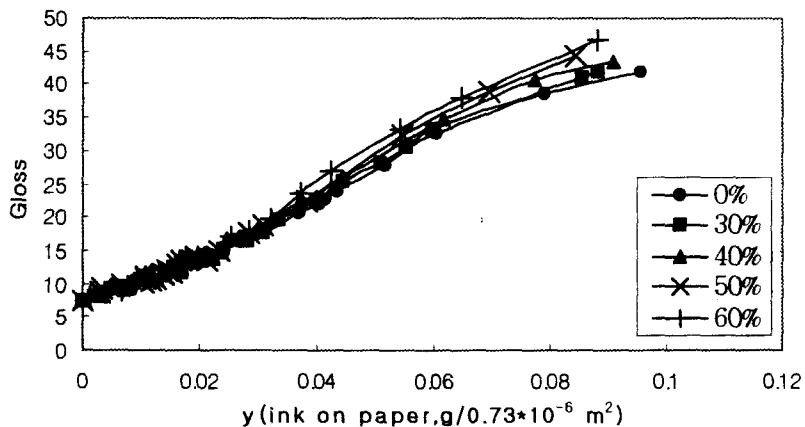


Fig. 11. Comparison of gloss of emulsified inks.

4. 결 론

- 1) 유화된 잉크의 레올로지 특성은 유화율이 증가할수록 flow 곡선의 낮은 shear rate 영역에서 잉크의 점도는 유화율이 증가함에 따라 낮아진다.
- 2) 유화된 잉크가 롤러 낚에서 분열을 할 때는 탄성거동보다 점성거동을 더 많이 하지만, 피인쇄체에 건이된 후 탄성회복 거동이 증가하며 회복하는데 걸리는 시간은 더 길어진다.
- 3) 전이계수인 자유잉크분율(f)은 유화율이 증가할수록 커지고, 고정화잉크량(b)은 유화율이 증가할수록 작아지므로 전이율이 증가하는 것을 예측할 수 있다. 이에 대해서는 추후 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.
- 4) 최종 인쇄물의 품질을 평가하는 요소들인 광택과 농도는 유화율이 증가할수록 증가하는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) S. M. Chou, T. A. Fadner and L. J. Bain, "Analyzing Surland's Emulsification Test In Terms of HLB Theory", TAGA proceeding, p. 371~395 (1987).
- 2) R. T. Peters, "Effect of Ink Water Pick-up on Printability In a High Speed Lithographic Press", TAGA proceeding, p. 226~250 (1990).
- 3) J. Koniecki, R. Adkins, B. Blom and P. Concannon, "Ink/Paper/Fountain Solution Interactions", TAGA proceeding, p. 259~275 (1983).
- 4) S. M. Chou and L. J. Bain, "Rheological Characteristics Keyless Versus Conventional Litho Newsinks", TAGA proceeding, p. 354~386 (1988).
- 5) S. B. Kim, "The Effect of Changing Molecular Weight of Rosin Modified Phenol Resin on Physical Properties of Litho Printing Inks", J. Korean Printing Soc., vol. 12., No.1, p. 145~157(1994).
- 6) 市川家康, "あかりやすい 紙・インキ・印刷の科学", 印刷局朝陽匯會, 東京 p. 145~167 (1968).
- 7) D. M. Desjumaux, D. W. Bousfield and P. Aurenty, "Dynamics of Ink Gloss: Influence of Ink Rheology on Leveling", TAGA proceeding, p. 618~637 (1998).
- 8) S. M. Chou, T. A. Fadner and L. J. Bain, "Structural Recovery of Printing Inks Studied By Steady Shear Rheometry", TAGA proceeding, p. 280~312 (1990).

- 9) Y. Bery, "Advances In Printing Science and Technology", vol. 16, Pentech Press, London, p. 206~234 (1981).
- 10) Y. Bery, "An Ink Transfer Equation", TAGA proceeding, pp.172-191(1978).
- 11) Walker, W. C. and Fetsko, J. M., "A Concept of Ink Transfer During Printing", Am. Ink Maker, 33, No. 12, p. 38 (1955).
- 12) E. N. Zavodny, "Roller Nip Behavior with Fountain Solution" TAGA proceeding, p. 211~223 (1973).
- 13) P. J. Mangin, M. B. Lyne, D. H. Page and J. H. DeGrace, "Advances In Printing Science and Technology", vol. 16, Pentech Press, London, p. 180~205 (1981).