

71  
12571  
2  
10

工學碩士學位論文

축임물의 경도에 따른 평판인쇄  
잉크의 유동성 변화



指導教授 金昇彬  
이 논문은 釜慶大學에서 趙振佑가 2003년 2월 27일 釜慶大學에서 提出함

釜慶大學校大學院

印刷工學科

趙振佑

# 趙振佑의 工學碩士 學位論文을認准함

2002年 12月 26日

主 審 工學博士 具 哲 會



委 員 工學博士 尹 鐘 太



委 員 工學博士 金 星 彬



## 목 차

목 차 .....	i
List of figures .....	iv
List of tables .....	vi
Abstract .....	vii
1. 서 론 .....	1
2. 이 론 .....	3
2-1. 잉크의 유화 현상 .....	3
2-2. 평판 인쇄에서의 축입물 .....	5
2-3. 물의 경도 .....	6
2-3-1. 축입물의 경도가 인쇄에 미치는 영향 .....	7
2-4. 유화속도상수 .....	8
2-5. 활성화에너지(Activation Energy) .....	9
2-6. 잉크의 유동성 .....	11
3. 실 험 .....	13
3-1. 축입물의 경도 측정 .....	13
3-1-1. 시 약 .....	13
3-1-2. 경도 측정 방법 .....	14

3-2. 축임물의 제조 .....	16
3-2-1. 시 약 .....	16
3-2-2. 축임물의 제조 방법 .....	17
3-3. 유화율의 측정 .....	18
3-4. 유화속도상수의 결정 .....	20
3-5. 잉크의 유동성 측정 .....	22
3-5-1. 유화율의 측정 .....	23
3-5-2. Flow Measurements .....	23
3-5-3. Oscillation Measurements .....	23
3-5-4. Creep Measurements .....	24
3-5-5. Yield Stress Measurements .....	24
3-5-6. Thixotropy Measurements .....	26
4. 결과 및 고찰 .....	28
4-1. 축임물의 경도 변화에 따른 표면장력과 진도도의 변화 .....	28
4-2. 축임물의 조성과 경도 변화에 따른 잉크의 유화율 변화 .....	31
4-3. 유화 속도 상수 .....	33
4-4. 활성화 에너지 .....	36
4-5. 유화된 잉크의 유동성 측정 결과 .....	38
4-5-1. Flow Measurements .....	39
4-5-2. Oscillation Measurements .....	41
4-5-3. Creep Measurements .....	44
4-5-4. Yield Stress Measurements .....	47

4-5-5. Thixotropy Measurements .....	49
5. 결 론 .....	51
참고문헌 .....	52

## List of figures

Fig. 1. W/O type emulsion( $\times 500$ ). .....	3
Fig. 2. O/W type emulsion( $\times 200$ ). .....	3
Fig. 3. Viscosity profile curve showing rheological requirements of printing inks at various stages of the process. ....	11
Fig. 4. The water pick-up rate according to the emulsification time (10min). .....	19
Fig. 5. Plot of water pick-up rate with C.M.C dampening solution (0ppm) at 20°C. ....	20
Fig. 6. Photo of Bohlin rheometer model C-VOR. ....	22
Fig. 7. Yield stress measurements of neat ink at 20°C. ....	25
Fig. 8. Thixotropy measurements of neat ink at 20°C. ....	26
Fig. 9. The effect of hardness on surface tension curve for distilled water at 20°C. ....	28
Fig. 10. The effect of hardness on conductivity for distilled water at 20°C. .....	29
Fig. 11. The effect of hardness on water pick-up for gum arabic dampening solution at 20°C. ....	31
Fig. 12. The effect of hardness on water pick-up for C.M.C dampening solution at 20°C. ....	32
Fig. 13. Emulsion velocity according to hardness of gum arabic dampening solution. ....	33
Fig. 14. Emulsion velocity according to hardness of C.M.C dampening solution. .....	34
Fig. 15. Arrhenius plot for gum arabic dampening solution. ....	36
Fig. 16. Arrhenius plot for C.M.C dampening solution. ....	37

Fig. 17. The viscosity variation dependent on shear stress in neat ink and emulsified ink at 20°C. ....	39
Fig. 18. The G' of neat ink and emulsified ink according to the time at 20°C. ....	41
Fig. 19. The G'' of neat ink and emulsified ink according to the time at 20°C. ....	42
Fig. 20. The elastic return rate of neat and emulsified ink after pre-shear and applied 0 Pa at 20°C. ....	44
Fig. 21. The elastic return rate of neat and emulsified ink after pre-shear and applied 2 Pa at 20°C. ....	45
Fig. 22. The elastic return rate of neat and emulsified ink after pre-shear and applied 20 Pa at 20°C. ....	46
Fig. 23. The yield stress of emulsified ink according to the hardness of dampening solution at 20°C. ....	47
Fig. 24. The thixotropy of emulsified ink according to the hardness of dampening solution at 20°C. ....	49

## List of tables

Table 1. The classification of hardness .....	6
Table 2. Dampening solution (gum arabic) .....	17
Table 3. Dampening solution (C.M.C) .....	17
Table 4. The water pick-up rate with C.M.C dampening solution (0ppm) at 20°C .....	20
Table 5. Emulsification velocity constant(k) value according to the hardness of gum arabic and C.M.C dampening solution .....	33
Table 6. Arrhenius plot for C.M.C dampening solution .....	37

# Rheological Properties According to the Hardness of Dampening Solution for Lithographic Ink

*Jin-Woo Cho*

*Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School,  
Pukyong National University*

## Abstract

The emulsification of lithographic printing inks are very important to determine printing quality. we measured the variation of water pick-up according to the hardness of water in dampening solution.

Therefore the purpose of this study was to determine if water hardness actually affects the emulsification rate of dampening solution and ink. And this study for the factors determining the emulsion velocity, we have measured water pick-up and calculated emulsion velocity constant 'k' and activation energy

Also, in order to observe the rheological properties of the emulsified inks, we measured the viscosity, the elastic return, the thixotropy area and yield stress value of the emulsified inks.

In this paper, we found that the water pick-up of the ink increase the hardness of water with the amount of dampening solution. Also, The viscosity, the yield stress value and the thixotropy area were increase by the water pick-up of the ink.

## 1. 서 론

평판 인쇄는 다른 인쇄방식과 달리 판상에서 축임물과 잉크의 균형에 의하여 인쇄되는 방식으로 인쇄상에서 잉크와 축임물이 섞이는 유화현상이 필연적으로 일어나게 된다. 그러므로 이러한 유화현상을 적절하게 조절하지 못하게 되면 여러 가지 인쇄불량의 원인이 되고 고품질의 인쇄를 실현하기가 어려워진다. 과거에 수많은 문헌들은 잉크의 유화율을 측정하여 고품질의 인쇄물을 얻기 위해 많은 노력을 해왔다.

평판인쇄의 유화현상에 대해서는 Surland<sup>1)</sup>를 비롯하여 Pineaux<sup>2)3)</sup> 등에 의하여 연구되었으며 유화 측정 방법에 관한 연구는 MacPhee<sup>4)</sup> 등에 의해 보고되었다.

이러한 측정 방법을 바탕으로 축임물의 pH값이나 축임물의 조성에 따른 유화율 측정이 이루어 졌으며, 유화속도 상수를 도식화하기도 했다<sup>5)</sup>.

Pineaux 등은 본 연구에 앞서 축임물의 경도에 따른 잉크의 점도 변화를 발표한 바 있다. 그러나 실제 인쇄상에서 잉크가 roller nip을 통과한 후에 발생하는 filamentation<sup>6)</sup> 현상이나, 피인쇄체에 전이된 후의 잉크의 creep 현상에 대해서 논한 것은 많지 않다.

인쇄 잉크의 특성을 파악하기 위해서는 단순히 잉크의 유화율만을 측정하는 것으로는 부족하다. 잉크가 인쇄상에서 가지게 되는 물리적 성질을 파악하기 위해서는 잉크의 레올로지 성질의 측정이 필수적인 요소라 할 수 있을 것이다. 한편 Chou<sup>7)8)</sup>는 인쇄잉크의 물리적인 특성을 파악하기

위하여 여러 가지 레올로지 실험을 통하여 잉크의 shear thinning 구조와 thixotropy 구조를 설명한 바 있다.

본 연구에서는 우선 축임물을 제조할 때 사용되는 물의 경도를 조절하여 축임물을 만들었으며, 또한 축임물에 아라비아 고무액과 C.M.C용액을 각각 첨가하여 축임물의 경도와 첨가제가 잉크의 유화율에 미치는 영향을 나타내었다.

평판 인쇄에서 잉크는 판상에서 축임물과 접촉하여 유화현상이 일어난다. 그리고 유화된 잉크가 판에 피인쇄체로 전이된다. 그러므로 실제 잉크는 roller nip에서 높은 응력을 받은 후에 피인쇄체에 전이되고, 피인쇄체 상에서는 응력이 제거된 상태에서 변형을 하게된다.

본 연구에서는 이와 같은 현상을 나타내기 위하여 높은 shear stress에서 낮은 shear stress로 감소시켰을 때 나타나는 점도변화를 측정된 flow measurement와 pre-shear 직후 10Hz의 frequency를 주었을 때의  $G'$ 과  $G''$ 을 측정된 oscillation measurement, 그리고 pre-shear 직후에 일정한 shear stress를 가했을 때 나타나는 탄성회복을 측정된 creep measurement 등을 측정하여 평판 인쇄 잉크의 유화율에 따른 피인쇄체 상에서의 회복성이나 유동성을 관찰하였고, 축임물의 경도에 따라 잉크의 탄성과 점성 그리고 점도 등에 어떠한 영향을 미치는지를 실험하였다. 그리고 각 잉크에 대한 yield stress의 변화와 thixotropy를 측정하였다. 이와 같은 실험을 통하여 잉크의 인쇄상에서 처하게 되는 상황에 따른 잉크의 물리적 성질을 나타낼 것이다.<sup>9)10)</sup>

## 2. 이 론

### 2-1. 잉크의 유화 현상

유화(emulsification)는 서로 섞이지 않는 두 액체가 서로 섞이는 현상을 말하며, 이렇게 서로 섞여서 분산되어 있는 상태를 에멀션(emulsion)이라고 한다. 에멀션에는 물 액적이 기름에 분산되어 있는 W/O (water in oil)형의 에멀션과 기름 액적이 물에 분산되어 있는 O/W (oil in water)형의 에멀션이 있다.

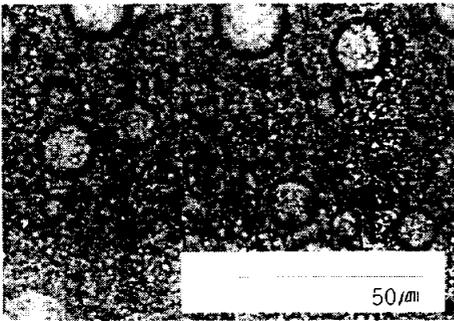


Fig. 1. W/O type emulsion( $\times 500$ )

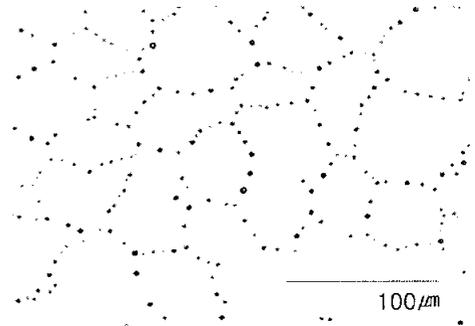


Fig. 2. O/W type emulsion( $\times 200$ )

인쇄 방식 중에서 평판인쇄의 경우 평면의 판상에 물과 잉크의 반발력을 이용하여 화선부와 비화선부를 구분하여 피인쇄체에 화상을 형성하게 된다. 이 때 축임물과 잉크는 판상에서 서로 반발하는 성질을 가지고 있지만 인쇄시에 주어지는 인압에 의하여 서로 섞이는 현상이 일어난다.

이러한 현상을 평판인쇄에서 잉크와 축임물의 유화현상이라 한다. 이것은

평판인쇄에서 필연적으로 일어나는 것이며 고품질의 인쇄물을 얻기 위해서는 잉크의 유화량을 조절하는 것이 필수적이라 할 수 있다. 만일 잉크의 유화율이 과도하게 높게 되면 잉크의 점도가 너무 낮아져서 잉크 전이불량의 원인이 되기도 하며, 비화선부에 더러움이 생기는 뜬더러움(tinting)과 같은 인쇄불량을 일으키게 된다. 반대로 잉크의 유화가 전혀 발생하지 않거나 유화율이 너무 낮으면 다색 중첩인쇄에서 트래핑(trapping)불량이 발생하게 된다. 그러므로 잉크의 유화율은 적절히 조절되어야 하며, 그에 따라 적절히 대처하여야 한다.

## 2-2. 평판 인쇄에서의 축임물

평판인쇄에서 축임물은 롤러의 냉각효과 및 화선부 안정화와 비화선부에서 판면의 불감지제의 고착을 도와 판면에서의 선택 젖음(selective wetting)을 가능하게 한다. 이 외에도 판면의 냉각 및 화선부를 보호하는 역할도 한다.<sup>11)</sup>

축임물의 일반적인 제조법은 크게 아라비아고무(gum arabic)를 주성분으로 조제하는 것과 C.M.C(Carboxy Methyl Cellulose sodium salt)를 위주로 하는 것의 두 가지가 있고 보조제의 종류로는 중크롬산암모늄(ammonium dichromate), 인산(phosphoric acid), 질산아연(zinc nitrate), 질산마그네슘(magnesium nitrate)등이 있다. 이들은 판면의 부식을 방지하고 오염발생을 억제하는 역할을 수행한다.

인쇄기계 상에서 과도한 축임물의 공급으로 잉크 입자가 축임물에 떠돌아다니며 비화선부에 얼룩이 발생하기도하며 halftone부에서는 유화된 습수액이 잉크의 균일한 전이를 방해하여 거친 화선을 나타내기도 한다.<sup>12)</sup>

### 2-3. 물의 경도

일반적으로 자연수에는 칼슘(Ca)이나 마그네슘(Mg)과 같은 다가성(multi-valent) 양이온이 다량 함유되어 있는데, 이러한 양이온들을 경도 유발물질이라 한다. 경도는 물 속에 용해되어 있는 칼슘이나 마그네슘과 같은 이온의 당량을 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )의 양으로 표시한 것이다.

양이온들은 계면활성제의 비누기와 우선적으로 결합하여 세척력을 감소시키므로 경도가 높은 물로 세탁시 실제 필요한 세제의 양보다 더 많이 소모시키는 원인이 된다.

경도에는 일시경도(temporary hardness)와 영구경도(permanent hardness)가 있으며, 양자를 합한 것을 총경도(total hardness)라 한다. 일시경도는 끓일 경우 제거되는 경도 성분이며, 칼슘·마그네슘의 탄산염, 중탄산염이므로 탄산경도(carbonate hardness)라 한다. 영구 경도는 끓여도 제거되지 않는 경도 성분으로 칼슘·마그네슘의 염화물, 질산염·황산염으로 되어 있어 비탄산경도(non-carbonate hardness)라고도 한다. 아래의 Table 1에 물의 경도에 따른 분류를 나타내었다.<sup>13)14)</sup>

Table 1. The classification of hardness

Hardness		Classification
$\text{CaCO}_3$ (ppm)	pH	
< 5	< 0.8	very soft water
15~20	0.8~2.8	soft water
50~100	2.8~5.6	moderately hard water
100~200	5.6~11.2	hard water
> 200	> 11.2	very hard water

### 2 3-1. 축임물의 경도가 인쇄에 미치는 영향

축임물의 경도는 유화된 잉크의 점도뿐만 아니라 인쇄물의 품질에도 영향을 주게 된다.

평판 인쇄에 사용되는 축임물은 80~98%의 물로 구성되어 있다. 이러한 물은 필터에 의해 처리된 후에 사용되거나 처리되지 않은 수도물로 사용되기도 한다. 만일 처리하지 않은 높은 경도의 물을 사용하게 되면 물에 있는  $\text{Ca}^{+}$ 이나  $\text{Mg}^{+}$ 과 잉크 중에  $\text{Ca}$  이온을 포함하고 있는 안료와 종이의 코팅제 등과 접촉하게 된다. 이러한 현상으로 인하여 잉크의 유화율과 축임물의 pH에 영향을 주게되며<sup>15)</sup> fatty acid가 존재하는 잉크에 대해서는  $\text{Ca}^{+}$  또는  $\text{Mg}^{+}$ 사이의 작용으로 인하여 비누화 반응이 일어난다.<sup>16)</sup> 또한 축임물 중에 완전히 용해되지 않은 금속염으로 인하여 “roller glazing”이나 “plate blinding” 등의 문제가 발생하게 된다. 그러므로 경도에 따른 잉크의 유화율이나 유동성을 검토하는 것이 중요하다.

## 2-4. 유화 속도 상수

두 상의 계면 또는 계면가까이에서 반응이 일어나며 두 가지 이상의 상을 수반하는 불균일 반응(heterogeneous reaction)<sup>17)</sup>의 일종인 유화의 반응 속도론적인 실험으로 화학반응에 참여하는 물질들의 시간에 따른 농도 변화를 측정하여 유화의 반응속도를 구한다.

잉크와 축임물의 유화는 유사일차반응의 일종으로 정의하며 본 실험에서는 잉크와 분리되어 있는 축임물이 잉크 속으로 분산되어 들어가는 과정을 다음의 Guggenheim식<sup>18)</sup>을 이용하여 유화속도상수<sup>19)</sup>를 구한다.

$$k \times t + \log(\lambda' - \lambda) = \text{constant} \quad (1)$$

$\lambda$  :  $t$  시간에서의 유화율

$\lambda'$  :  $t + \Delta$  시간에서의 유화율

$t$  : 시간

$\Delta$  : 반감기에 2~3배를 곱한 상수

$k$  : 유화 속도 상수

식(1)은 반응시간  $t$ 와  $\log(\lambda' - \lambda)$ 에 대한 일차함수로서 직선의 기울기  $k$ 가 바로 유화 속도 상수(emulsification velocity constant)이고 시간 단위는 초단위로 측정값을 찾았다.

$\Delta$  값은 반응곡선의 기울기가 0에 가까운 점  $t$ 에서 반감기( $t_{1/2}$ )에 2~3배를 곱한 값이다. 일반적으로 반감기는 반응물의 농도가 초기값의 반으로

줄어들 때까지의 시간으로 정의되며 어떤 반응의 반감기를 초기농도의 함수로 구하여 반응차수와 반응속도 상수를 구할 수 있다.

본 실험에서 반응물의 농도는 water pickup량 즉, 유화율로 정의되므로 최종 농도는 유화 평형<sup>20)</sup>이 이루어지는 지점이라 할 수 있다.

## 2-5. 활성화 에너지(Activation Energy)

활성화에너지<sup>21)</sup>는 반응이 일어나려고 하기 직전에 반응분자들이 가져야 하는 최소에너지로서 반응물의 온도의존성을 알 수 있는 다음 형태의 식으로 정의된다. Arrhenius는 속도 상수( $k$ )가 절대온도( $T$ )의 역수와 다음과 같은 관계를 갖는다고 주장하였으며 이 식은 상당히 넓은 온도범위에서 대부분의 반응속도상수들의 온도거동을 실험정확도 이내에서 보여준다는 것이 확인되었다.

$$k(T) = Ae^{-E/RT} \quad (2)$$

A : Arrhenius 인자

E : 활성화 에너지 J/mol or cal/mol

R : 기체 상수 = 8.314 J/mol · K = 1.987 cal/mol

T : 절대 온도, K

여기서 상수  $E$ 는 mol당 에너지의 단위를 갖고, Arrhenius 인자  $A$ 는

실험적으로 결정되는 값이며  $k$ 와 동일단위를 갖는다. 식 (2)에서 관계식 양변에 자연 대수를 취하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (3)$$

따라서  $\ln k$ 와  $1/T$ 의 그래프는 기울기가  $-E_a/R$ 인 직선이 되며  $R$ 은 기체상수이다. 이로부터  $\ln k$ 를  $1/T$ 에 대하여 도식화하여 직선의 그래프를 나타내는데 그 기울기가 바로 활성화 에너지이다.

식(3)을 이용하여 Arrhenius plot하여 유화에 대한 활성화 에너지를 결정할 수 있으며 활성화 에너지로서 유화에 대한 온도 의존성을 규명할 수 있게 된다.

## 2-6. 잉크의 유동성

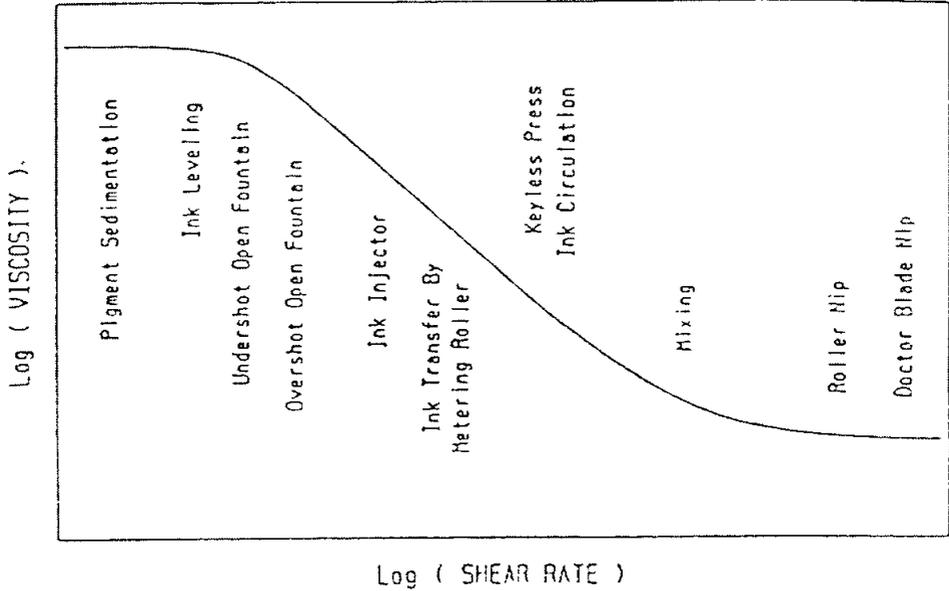


Fig. 3. Viscosity profile curve showing rheological requirements of printing inks at various stages of the process.

인쇄잉크는 인쇄기상에서 다양한 환경에 처하게되며, 그러한 환경에 따라서 잉크에 요구되는 물성이나 유동성이 변하게된다.<sup>22)</sup>

우선 잉크가 잉크집에 존재할 경우 잉크에는 매우 낮은 shear rate가 주어지게 된다. 이때의 잉크는 높은 점도를 가지게 된다. 이 때의 잉크 점도에 따라서 몇 가지 현상을 고려할 수 있는데 잉크집에서의 잉크점도가 너무 낮으면 잉크 상에서 안료 침전현상이 발생하여 잉크의 농도가 불균일해질 수 있으며, 반대로 잉크 점도가 너무 높으면 안료 침전 현상은 막을 수 있으나 잉크의 전이에서 문제가 발생할 수 있다.

다음으로 잉크가 잉크집에서 잉크 공급롤러로 이동하는 open fountain과정에서는 잉크집에 있을 때 보다 더 높은 shear rate가 잉크에 가해지게 되며 잉크의 점도는 상대적으로 감소하게 된다.

그 후에 metering roller에 의해 잉크가 전이될 때에는 open fountain과정보다 더 높은 shear rate가 주어지고 점도는 더 감소한다. 그리고 잉크는 전이과정에서 roller nip과 doctor blade nip을 통과하게 되는데, 이 때는 매우 높은 shear rate가 주어지고, 점도는 매우 낮은 값을 가지며, 일시적으로 Newtonian 유체와 같은 거동을 하게 된다.

이러한 과정에서 잉크의 점도는 잉크 전이량에 영향을 미치게 된다. 그리고 잉크는 최종적으로 피인쇄체에 전이되며 피인쇄체상에서 잉크는 매우 낮은 shear rate가 가해지게 되고, 이 때 잉크의 점도는 leveling 현상에 영향을 주게 되어 인쇄물의 품질을 결정하게 된다.

### 3. 실험

본 연구에서는 축임물의 경도에 따른 잉크의 유화율의 변화를 측정하기 위하여 일반 process cyan 잉크에 경도를 변화시킨 물로 제조한 축임물과 유화 시킨 후에 잉크의 유화율을 측정하였으며, Bohlin Instruments C-VOR Rheometer를 이용하여 유화된 잉크의 유동성, 점탄성, yield stress 와 thixotropy 등을 측정하여 평판 인쇄 상에서 발생하는 현상을 살펴보고자 하였다.

#### 3-1. 축임물의 경도측정

물의 경도<sup>23)24)</sup>는 물 중의  $Ca^{2+}$  및  $Mg^{2+}$ 의 양을 말하며 ppm(mg/l)으로 환산해서 나타낸 것이다.

경도 측정<sup>25)26)</sup>을 하기 위해서는 0.01M의 Ca 표준용액과 0.01M의 EDTA (Ethylenediaminetetraacetic Acid) 표준용액, EBT(Eriochrome black T) 지시약, Ammonium hydroxylamine용액, KCN용액, 그리고 pH 10의 완충용액 등을 준비하여야 한다.

#### 3 1 1. 시 약

1) EDTA (Ethylenediaminetetraacetic Acid)

Katayama Chemical Co. 용량 분석용 (F=1.00)

2) Ammonia solution ( $\text{NH}_3$ )

Junsei Chemical Co. 시약 특급 (28 wt.%)

3) EBT (Eriochrome black T)

Junsei Chemical Co. 시약 1급

4) Calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ )

Junsei Chemical Co. 시약 1급

5) Potassium cyanide (KCN)

Katayama Chemical Co. 시약 1급

6) Ammonium hydroxylamine ( $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ )

Junsei Chemical Co. 시약 1급 (97 wt.%)

### 3-1-2. 경도 측정 방법

본 실험에서는 Ca와 Mg의 총량인 전경도를 측정하였으며, 실험방법으로는 먼저 시료 100ml를 적정 flask에 넣고, 염산 hydroxylamine용액 1ml와 KCN용액 수 방울을 시료에 가한다. 그리고 pH 10의 완충용액 2ml와 EBT지시약을 1~2방울정도 시료에 떨어뜨린다. 이때 시료 중에  $\text{Ca}^+$ 이나  $\text{Mg}^+$ 와 같은 금속염이 존재하면 용액은 붉은색이 나타난다. 붉은색으로 변한 시료에 EDTA 표준용액을 이용하여 시료를 적정하게 되는데, 시료의 붉은색이 사라지고 청색으로 변할 때까지 EDTA 표준용액을 가하여 그 양을 기록하고 전경도의 계산은 다음 (4)식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\text{hardness}(\text{ppm}) = b \times \frac{1000}{a} \times 1.001 \times f \quad (4)$$

a : 적정에 사용된 물의 양(ml)

b : 적정에 사용된 EDTA 용액의 양(ml)

f : EDTA 용액의 factor (f = 1.000)

여기서 시료에 사용한 물은 3차 증류수로서 위와 같은 방법으로 경도를 측정하면, 0ppm의 경도 값을 가진다. 여기에 Ca 표준용액을 단계별로 가하여 물의 경도를 0~200 ppm으로 조절하여 측정물을 제조하였다.

### 3-2. 축임물의 제조

적정법을 이용하여 축임물에 사용되는 물의 경도를 조절하여 각각 0~200ppm으로 제조한 후 축임물 제조시 흔히 쓰이고 있는 인산85%, 중크롬산암모늄, 아라비아고무, 질산아연 등을 축임물 제조법<sup>27)</sup>에 의하여 적절히 첨가하였다.

#### 3-2-1. 시 약

1) Magnesium nitrate ( $MgNO_3$ )

Junsei Chemical Co. 시약 1급 (98 wt.%)

2) Zinc nitrate ( $ZnNO_3$ )

Katayama Chemical Co. 시약 1급 (95 wt.%)

3) Phosphoric acid ( $H_3PO_4$ )

Katayama Chemical Co. 시약 특급 (98 wt.%)

4) C.M.C

Junsei Chemical Co. 시약 1급

5) Arabic gum powder

Junsei Chemical Co. 시약 1급

6) Ammonium dichromate ( $(NH_4)_2Cr_2O_7$ )

덕산 약품공업주식회사. 시약1급

### 3.2.2. 축임물 제조 방법

본 연구에서는 Table 2에서와 같이 제조된 축임물을 아라비아고무 축임물이라고 하였다.

Table 2. Dampening solution (gum arabic)

	Additive agents	Volume
A solution	magnesium nitrate	60 g
	ammonium dichromate	11 g
	phosphoric acid 85%	6 cc
	distilled water	1,000 cc
Dampening solution	A solution	17 cc
	gum arabic solution(14 °Be)	8 cc
	distilled water	1,000 cc

그리고 위와 같은 방법으로 물의 경도를 조절하고, 축임물에 사용되는 조성을 다음과 같이 하여 또 다른 축임물을 제조하였다.

본 연구에서는 Table 3에서와 같이 제조된 축임물을 C.M.C 축임물이라고 하였다.

Table 3. Dampening solution (C.M.C)

	Additive agents	Volume
A solution	zinc nitrate	90 g
	phosphoric acid 85%	12 cc
	distilled water	1,000 cc
B solution	C.M.C	30 g
	distilled water	1,000 cc
Dampening solution	A solution	12 cc
	B solution	12 cc
	distilled water	1,000 cc

### 3-3. 유화율의 측정

본 실험에 사용된 잉크는 5Kg 단위로 포장되어 있는 일반 프로세스 cyan 잉크를 사용하였으며, 잉크의 유화율 측정법으로는 고점도용 교반기 (max 1,000rpm, AC 220V, 30W)를 400rpm의 속도로 잉크 25g과 축임물 약 30ml를 100ml 비이커에서 10분 동안 교반하여 유화시켰다. 이때 매 1분마다 적당량(약 0.2g)의 시료를 채취하여 질량을 측정하고, 이를 105℃ 건조기에서 2시간 이상 충분히 건조시킨 후 다시 건조된 잉크 질량을 측정하여 식 (1)에 대입하여 유화율을 구하였다<sup>28)</sup>.

유화된 잉크에서 물의 질량비(water pickup ratio, W.P)로 유화율을 정의하면 다음의 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W.P = \frac{B}{A} \times 100(\%) \quad (5)$$

여기서, A는 유화된 잉크의 양을 나타내며, B는 유화된 물의 양을 나타낸다. 이러한 방법을 이용하여 유화율을 측정하였으며, 유화시간에 따른 유화율을 각 축임물에 대하여 아래의 Fig. 4와 같이 나타내었다.

Fig. 4는 50ppm의 아라비아고무 축임물을 사용하였을 때 나타나는 유화시간 변화에 따른 유화율의 변화를 한 예로써 나타내었다.

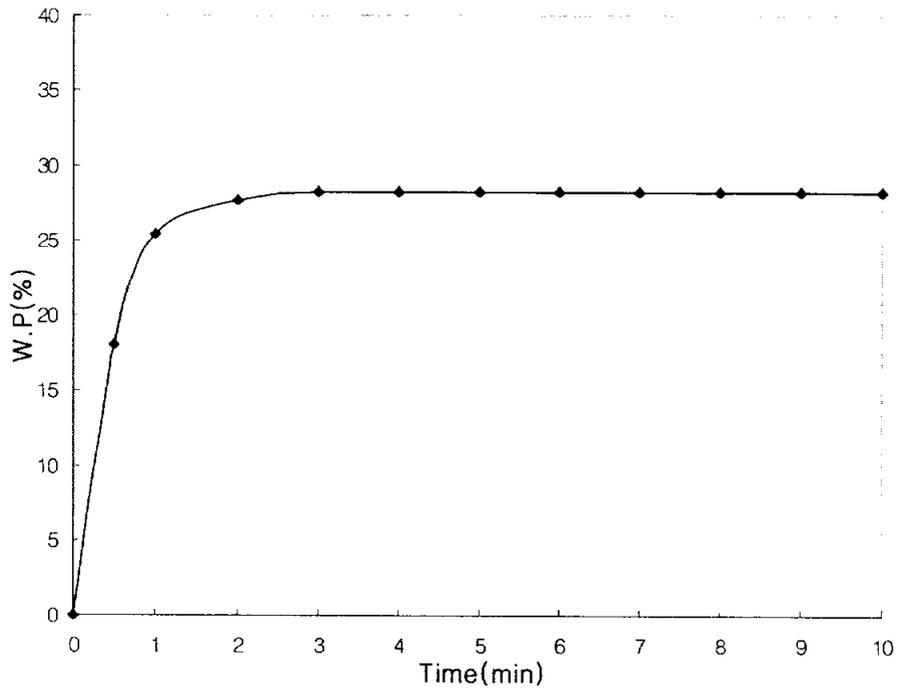


Fig. 4. The water pick-up rate according to the emulsification time(10min).

본 연구에서는 C.M.C 축임물에 대해서도 위와 같은 방법으로 유화율을 측정하여 아라비아고무 축임물과 C.M.C 축임물의 정도에 따른 유화율의 변화를 측정하였으며, 측정 온도는 15℃~30℃까지 온도를 변화 시켜서 각각 나타내었다. 그리고 측정 온도와 축임물의 정도에 따른 속도상수와 활성화 에너지를 구하였다.

### 3-4. 유화 속도 상수의 결정

Table 4. The water pick-up rate with C.M.C dampening solution(0ppm) at 20°C

$t$ (sec)	$\lambda$ (%)	$t + \Delta$ (sec)	$\lambda'$ (%)	$\log(\lambda' - \lambda)$
3.00	2.9292	57.00	32.2969	3.4678
6.00	5.8585	60.00	32.9434	3.4327
9.00	8.7878	63.00	33.5899	3.3944
12.00	11.7171	66.00	34.2363	3.3525
15.00	14.6464	69.00	34.8828	3.3061
18.00	17.5757	72.00	35.4151	3.2513

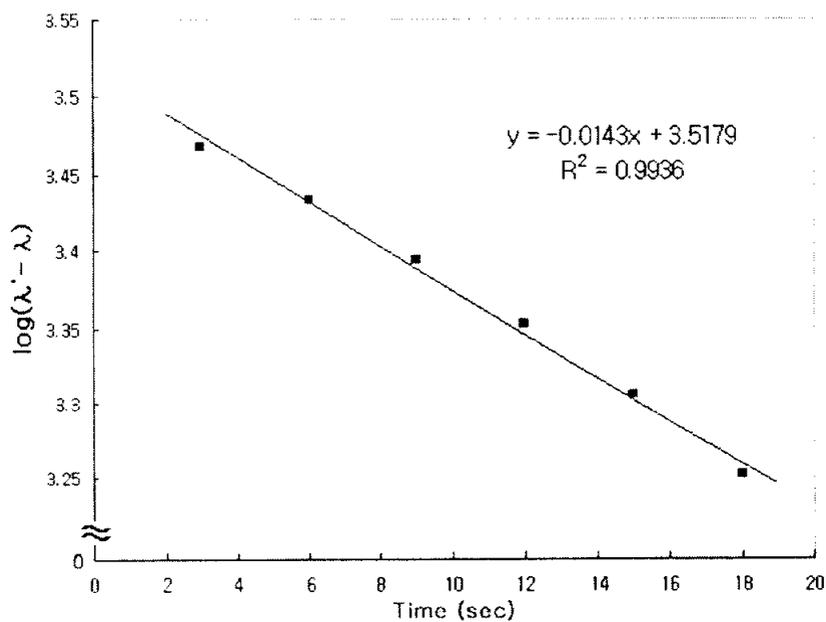


Fig. 5. Plot of water pick-up rate with C.M.C dampening solution (0ppm) at 20°C.

유화속도상수  $k$ 를 구하기 위해 식(1)의 Guggenheim식으로서 유화 속도 상수를 구하였고 실험의 예로 Table 4와 Fig. 5에는 20℃에서 0 ppm의 C.M.C 축임물에 대한 유화 반응 속도를 구한 것이다. Fig. 3에는 시간  $t$ 에 대한  $\log(\lambda' - \lambda)$  그래프를 나타내었고, 이 직선의 기울기로부터 유화 속도 상수  $k$ 값을 구하였다.

이 때,  $\Delta = 54(\text{sec})$ 이고  $k = 1.43 \times 10^{-2} \text{sec}^{-1}$ 이었다.

### 3-5. 잉크의 유동성 측정

유화된 잉크의 유동성을<sup>29)</sup> 평가하기 위하여 flow, oscillation 및 creep 항목 등에 대하여 각각 실험하였다. 본 실험에서는 4° /40 cone plate가 장착된 Bohlin C-VOR rheometer를 이용하여 20°C에서 실험을 하였다.



Fig. 6. Photo of Bohlin rheometer model C-VOR.

### 3-5-1. 유화율의 측정

잉크의 유동성 측정에 앞서 적절한 시료를 얻기 위하여 잉크를 5분 동안 유화 시킨 후에 유화된 잉크를 채취하여 유화된 잉크의 유동성을 측정하였다. 유화 시간을 5분으로 한 이유는 앞서 실험한 유화 실험의 결과에서 잉크의 유화율이 3분 이후부터는 유화 평형상태에 도달하기 때문에 앞서 실험한 것과 다르게 유화시간을 5분으로 단축시켜 잉크를 유화 시켰으며, 유화 평형상태에 도달한 잉크에 대하여 유동성 측정을 실시하였다.

### 3-5-2. Flow Measurements

유화된 잉크의 shear stress의 감소에 따른 점도 변화를 알아내기 위하여 다음의 조건으로 flow measurement를 측정하였다.

우선 유화된 잉크를 균일한 상태로 만들기 위하여  $20 \text{ s}^{-1}$ 의 pre-shear를 120s 동안 주었다. 그 후에 2500Pa에서 1Pa로 shear stress를 180s 동안 감소시켰을 때 나타나는 shear stress에 따른 점도 변화를 측정하였다.

위의 방법으로 물의 경도를 조절한 축임물과 유화된 잉크의 유동성 변화를 측정하여 축임물의 경도와 유화율에 따른 점도의 차이를 확인할 수 있었다.

### 3-5-3. Oscillation Measurements

유화된 잉크에서 나타나는 현상을 더 자세히 파악하기 위해서는 잉크에 대한 동역학적 측정이 행해져야 한다. 따라서 다음의 조건으로 oscillation

measurement를 측정하였다.

이러한 측정의 방법으로는 유화된 잉크에  $20 \text{ s}^{-1}$ 의 pre-shear를 120s 동안 준 후에 10Hz의 frequency를 500s 동안 주어서 시간에 따른 elastic modulus( $G'$ )와 viscous modulus ( $G''$ )의 변화를 측정하였다.

#### 3-5-4. Creep Measurements

잉크가 피인쇄체에 전이된 후에 일어나는 잉크의 탄성 회복과 leveling을 측정하기 위하여 본 연구에서는 creep measurement를 다음과 같이 측정하였다.

유화된 잉크에  $20 \text{ s}^{-1}$ 의 pre-shear를 120s 동안 준 후에 0, 2, 20Pa의 shear-stress를 500s 동안 일정하게 가하여 시간에 대한 변형을 측정하였다.

#### 3-5-5. Yield Stress Measurements

유화된 잉크의 yield stress를 측정하기 위하여 다음 조건으로 실험하였다. 실험 조건으로는  $20^\circ\text{C}$ 에서 pre-shear를 가하지 않고, start stress를 0Pa에서 end stress를 200Pa 까지 설정하여 600초 동안 상승 시켜 shear stress에 따른 shear rate와 점도변화를 각각 측정하였다.

Fig. 7에 나타난 두 곡선 중에서 아래의 곡선은 shear rate를 나타낸 곡선으로 shear stress의 증가에 따라 계속 증가하는 추세를 나타내고 있다. 그리고 그래프 상에서 위에 나타난 곡선은 viscosity를 나타낸 것으로 100Pa의 부근에서 감소하는 경향이 나타난다.

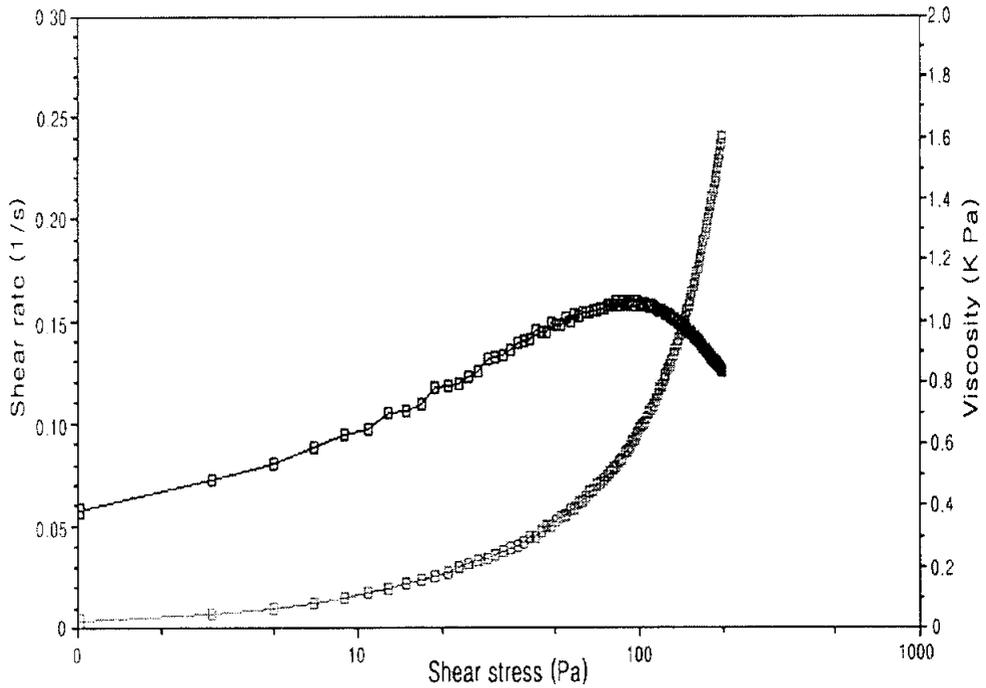


Fig. 7. Yield stress measurements of neat ink at 20°C.

일반적으로 점도는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$Viscosity(\eta) = \frac{shear-stress(\sigma)}{shear-rate(\gamma)} \quad (6)$$

Fig. 7에서 나타나는 점도의 상승은 shear stress는 증가하는데 shear rate는 증가하지 않기 때문이다. 즉, yield stress 이전까지는 shear stress가 증가하여도 shear rate가 증가하지 않기 때문에 점도가 증가하게 된다. 그러나 잉크에 가해지는 shear stress의 값이 yield stress 이상의 값이 주어지게 되면 잉크는 변형을 하기 시작하여 shear rate는 급격히 증가하기 시작한다. 이와 같이 점도가 최대값에서 떨어지기 시작한 그 지점의 shear

stress의 값이 바로 본 실험에서의 yield stress가 되는 것이다.

Fig. 7에서는 유화되지 않은 잉크를 한 예로 들어서 실험하였으며, 점도의 변곡점에 해당하는 shear stress의 값은 103.01 Pa에 해당된다.

위와 같은 방법으로 유화된 잉크의 항복가를 측정하여 그 변화를 나타내었다.

### 3-5-6. Thixotropy Measurements

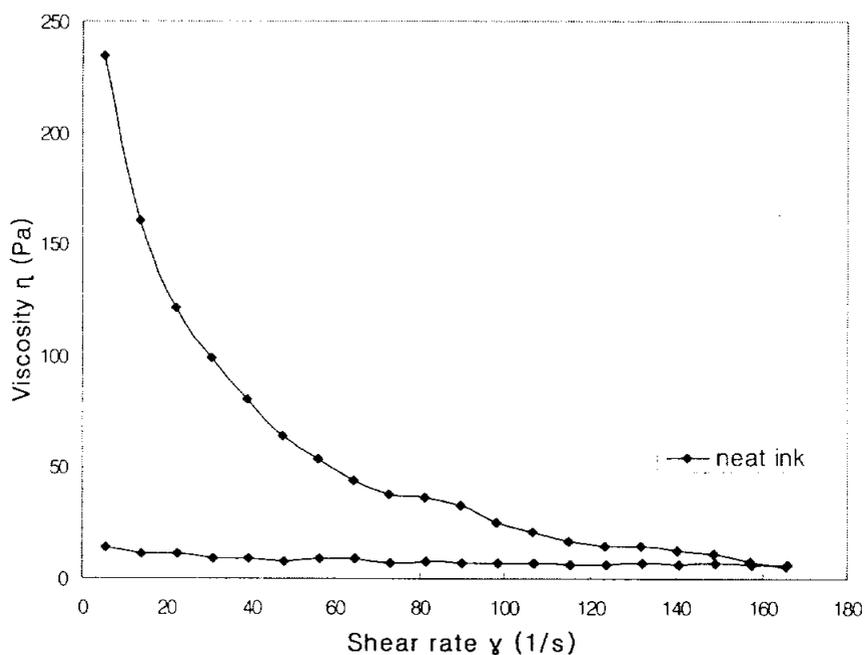


Fig. 8. Thixotropy measurements of neat ink at 20°C.

잉크의 유화에 사용된 축임물의 정도에 따라 유화된 잉크의 구조파괴의 정도와 잉크의 회복력을 알아보기 위하여 잉크의 thixotropy를 각각 측정하였다.

Pre-shear를 가하지 않은 상태에서 shear rate를  $1\text{s}^{-1}$ 에서  $170\text{s}^{-1}$  까지 상승시킨 후 다시  $170\text{s}^{-1}$ 에서  $1\text{s}^{-1}$ 까지 shear rate를 감소시켜 shear rate의 변화에 따른 점도 변화를 측정하여 이때 형성되는 thixotropy loop의 면적을 측정하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4-1. 축입물의 경도변화에 따른 표면장력과 전도도의 변화

축입물의 표면장력과 전도도가 유화율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 축입물의 경도를 적정법에 의하여 조절하고, 20℃에서 각 축입물의 표면장력과 전도도를 측정하였다.

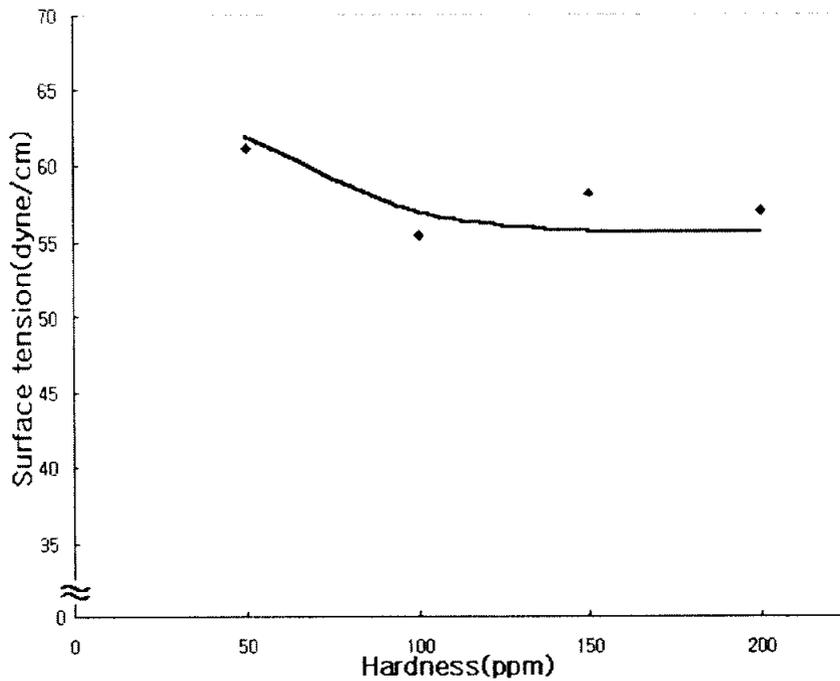


Fig. 9. The effect of hardness on surface tension for distilled water at 20℃.

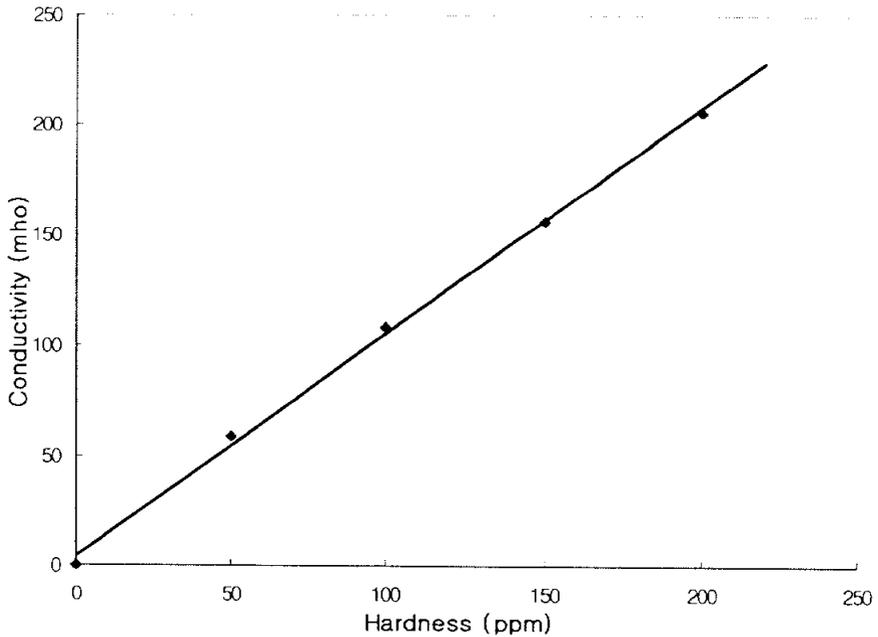


Fig. 10. The effect of hardness on conductivity for distilled water at 20°C.

Fig. 9에서는 축임물의 정도에 따른 표면 장력의 변화를 나타내었다. 표면장력은 유화현상에 직접적으로 영향을 준다고 할 수 있다. 즉, 표면 장력은 계면 장력에 영향을 주게된다. 그리고 잉크와 축임물의 유화 현상은 두 계면 사이의 경계가 섞이면서 일어나는 현상이므로 축임물의 표면 장력이 높게되면 물의 표면적을 적게 하려는 힘이 커지고 그에 따라 계면적 역시 줄어들게 되므로 유화율이 감소하게 된다. Fig. 9와 같이 축임물의 정도가 높아질수록 축임물의 표면장력이 낮아지는 경향이 나타난다. 이러한 결과가 결국 유화율의 변화에 직접적인 영향을 미치게 된다. 그러나 축

임물의 경도가 100ppm이상에서는 표면장력의 변화가 거의 나타나지 않음을 보이고 있다. 이것은 축임물의 경도가 100ppm이 넘어서게 되면 축임물의 표면장력의 영향보다는 축임물에 함유되어 있는 금속염의 함량에 따라 그 결과가 달라지는 것으로 생각된다.

Fig. 10에서는 축임물의 경도 증가에 따른 전도도의 변화를 나타내었다. 그래프에서 볼 수 있듯이 축임물의 경도 증가에 따라 금속염들이 증가하기 때문에 경도와 전도도는 비례적으로 증가하는 결과를 볼 수 있었다.

전도도가 높게되면 축임물에 금속염의 함량이 증가하게 된다. 축임물에 존재하는 금속염은 유화과정에서 잉크와 충돌하여 일종의 계면활성제의 역할을 하게되어 잉크와 축임물이 더 잘 섞일 수 있도록 하는 역할을 하게되어 전도도 증가에 따라 유화율이 증가하는 것으로 생각된다.

#### 4-2. 축임물의 조성과 경도 변화에 따른 잉크의 유화율 변화

Fig. 11은 20°C에서 아라비아고무 축임물의 경도 변화에 따른 잉크의 유화율 변화를 나타내었다.

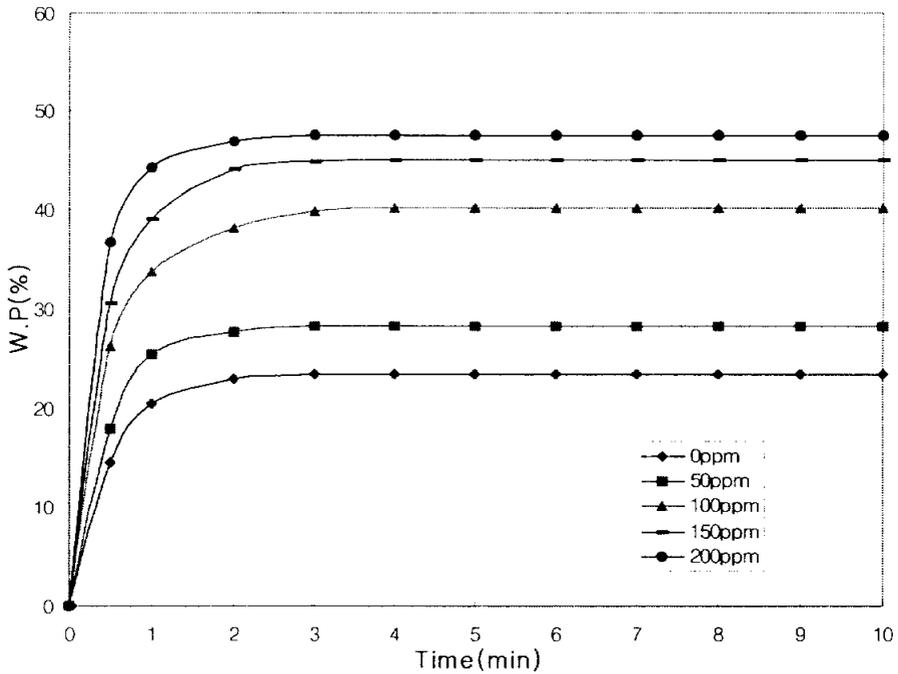


Fig. 11. The effect of hardness on water pick-up for gum arabic dampening solution at 20°C.

그래프에서 볼 수 있듯이 유화 시간의 증가에 따라 유화율이 증가하였고, 일정 시간이 경과한 후에는 유화율이 일정하게 유지되었다. 축임물의 경도가 증가할수록 유화율은 증가하는 경향이 나타났다.

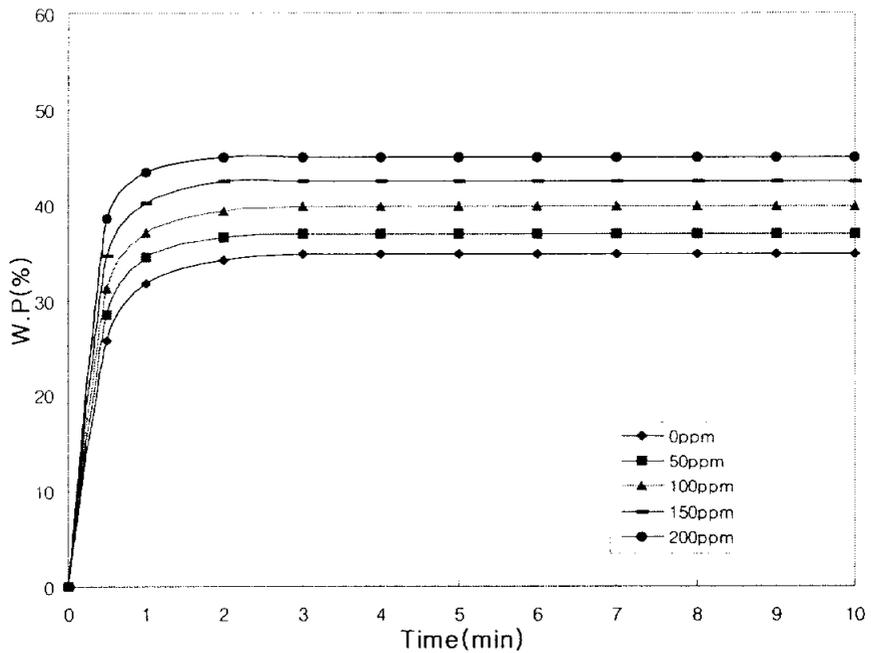


Fig. 12. The effect of hardness on water pick-up for C.M.C dampening solution at 20°C.

Fig. 12는 20°C에서 C.M.C 축임물의 경도에 따른 잉크의 유화율 변화를 나타내었다. C.M.C 축임물의 경우에도 경도가 증가함에 따라 유화율이 상승하는 것을 볼 수 있었다.

아라비아고무 축임물과 C.M.C 축임물을 비교하여 보면 축임물의 조성에 따라 유화율이 다소 차이가 있었으나, 축임물의 경도에 따라 유화율이 상승하는 것을 보여주고 있다. 이것은 앞에서도 설명한 바와 마찬가지로 축임물의 표면 장력이나 전도도의 차이가 물과 잉크사이의 계면상태에 영향을 미치게 되므로 생기는 현상이라 생각된다.

### 4-3. 유화 속도 상수

Table 5. Emulsification velocity constant(k) value according to hardness of gum arabic and C.M.C damping solution

temperature (°C)	gum arabic					C.M.C				
	0ppm	50ppm	100ppm	150ppm	200ppm	0ppm	50ppm	100ppm	150ppm	200ppm
15	0.0105	0.0114	0.0124	0.0129	0.0137	0.0138	0.0147	0.0152	0.0156	0.0169
20	0.0113	0.0123	0.0135	0.0136	0.0147	0.0143	0.0156	0.0159	0.0168	0.0175
25	0.0128	0.0131	0.0142	0.0160	0.0176	0.0152	0.0161	0.0163	0.0181	0.0193
30	0.0137	0.0154	0.0168	0.0179	0.0190	0.0166	0.0175	0.0184	0.0197	0.0201

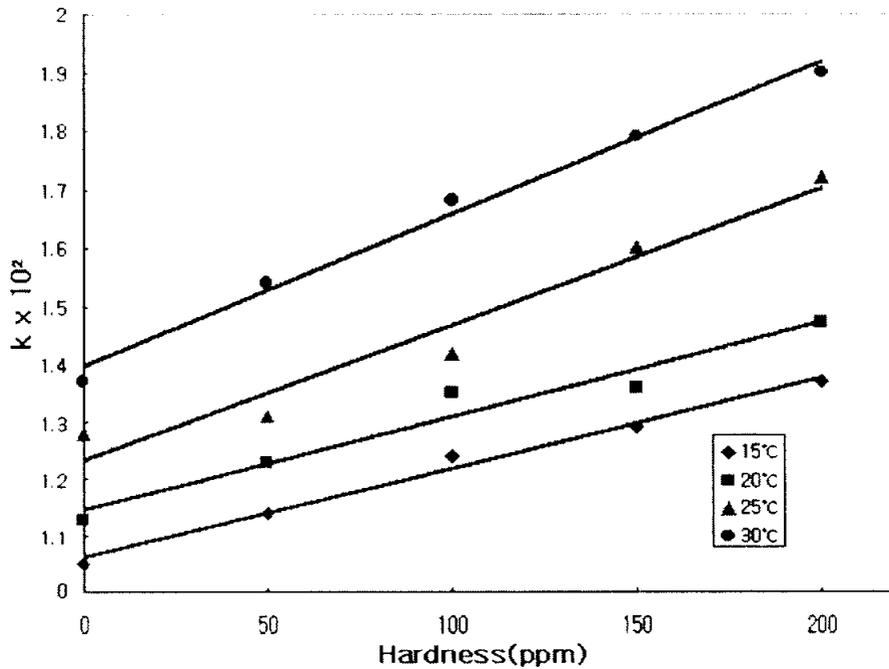


Fig. 13. Emulsion velocity according to hardness of gum arabic damping solution.

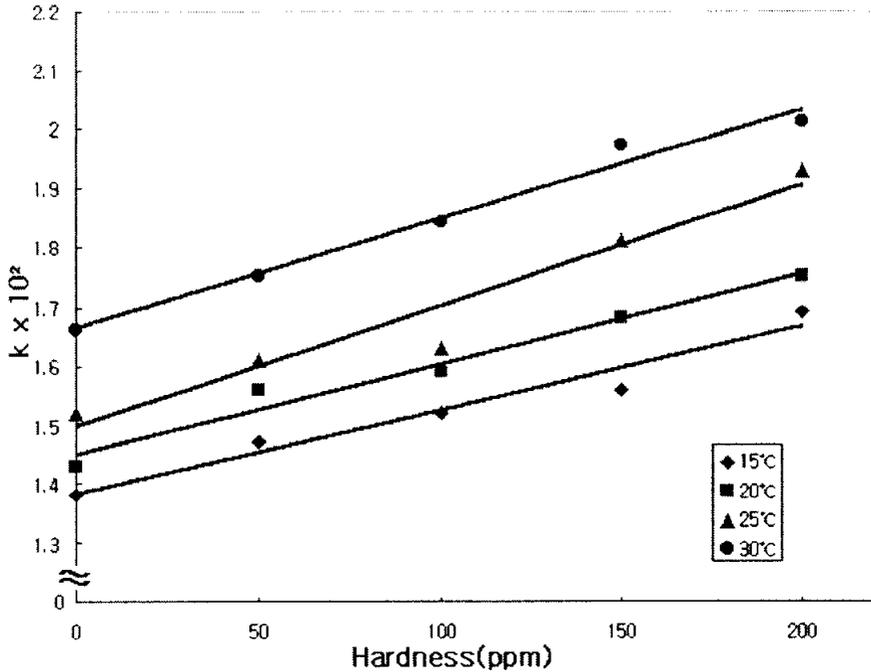


Fig. 14. Emulsion velocity according to hardness of C.M.C dampening solution.

축입물의 경도와 온도에 따른 유화속도상수를 Table 5에 나타내었다. Table 5에 나타낸 유화속도상수 값은 Guggenheim식을 이용하여 구하였다. 이렇게 구하여진 유화속도상수를 Fig.13과 Fig.14에 각각 축입물의 경도에 대한 유화속도상수의 변화로 나타내었다.

Fig. 13에는 아라비아고무 축입물의 경도에 따른 유화속도상수를 나타내었다. 그래프에서 보아지듯이 축입물의 경도가 증가함에 따라 유화속도상수가 점차적으로 증가하는 것을 볼 수 있었다. 그리고 온도가 상승함에 따라서도 유화속도상수가 증가하는 결과가 나타났다.

Fig. 14에서는 C.M.C 축입물의 경도에 따른 유화속도상수를 나타내었다.

C.M.C 축입물의 경우에도 온도가 상승함에 따라 유화속도상수가 증가하는 경향이 나타났으며, 축입물의 경도가 높아질수록 유화속도상수는 증가하였다.

Fig. 13과 Fig. 14에서 15℃와 20℃에서의 유화속도상수를 비교하면 C.M.C 축입물이 조금 높았으며, 25℃와 30℃에서의 아라비아고무 축입물과 C.M.C 축입물의 유화속도상수는 차이가 나지 않았다. 즉, 이것은 20℃이하의 온도에서는 축입물의 조성이 유화속도상수에 영향을 미치지만 25℃이상의 온도에서는 축입물의 조성이 유화속도상수에 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4-4. 활성화 에너지

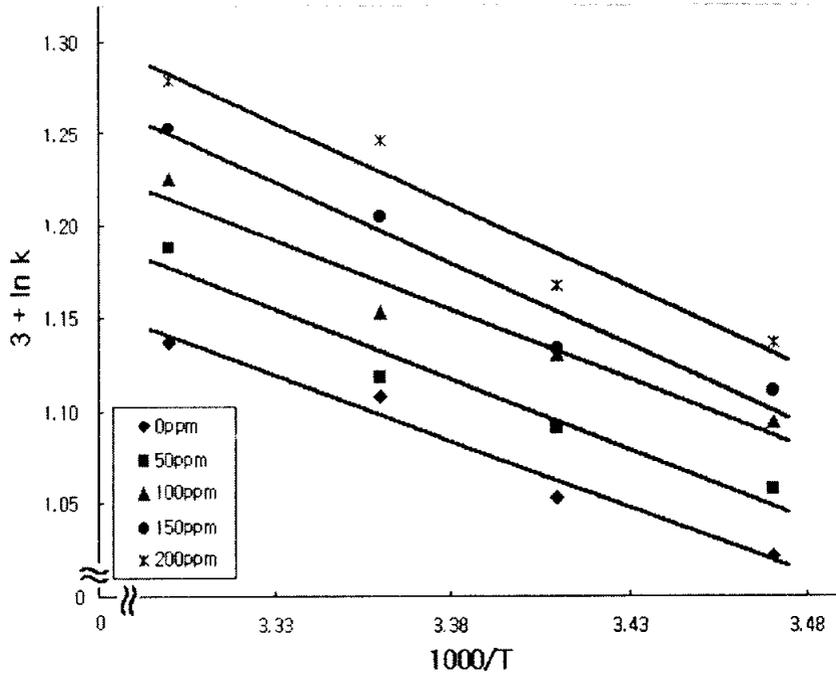


Fig. 15. Arrhenius plot for gum arabic dampening solution.

Fig. 15와 Fig. 16은 아라비아고무 축임물과 C.M.C 축임물의 정도와 유화 속도상수의 관계를 Arrhenius 식을 이용하여 도시한 것이다. 이 그림으로부터 그래프의 기울기를 구하여 활성화에너지를 구할 수 있다.

아라비아고무 축임물과 C.M.C 축임물의 정도에 따른 활성화 에너지를 Table 6에 정리하였다.

축임물의 정도에 따른 활성화 에너지를 비교하여 보면 정도가 증가함에 따라 활성화에너지가 높아지는 것으로 나타났다.

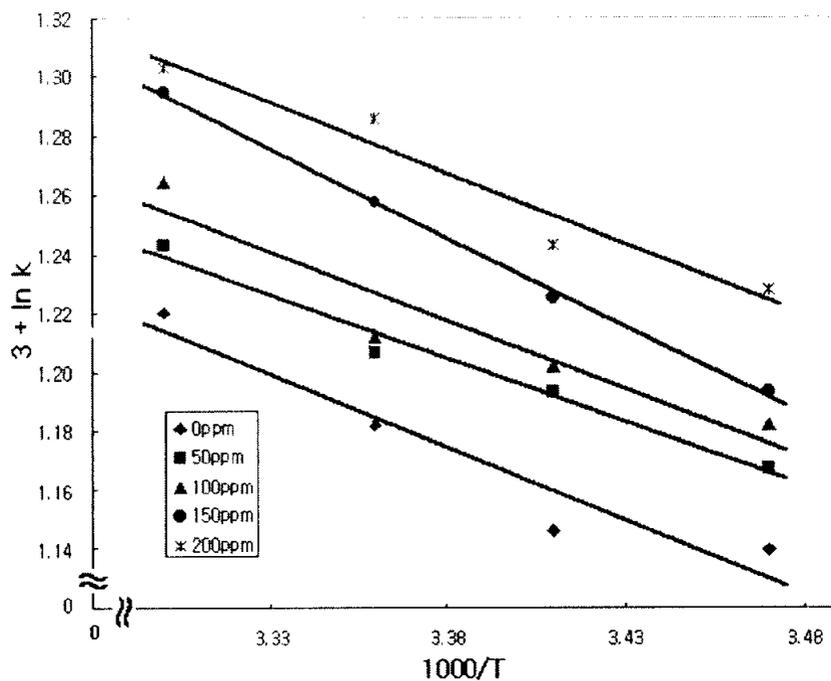


Fig. 16. Arrhenius plot for C.M.C dampening solution.

Table 6. Activation energy for hardness of gum arabic & C.M.C dampening solution

Gum arabic					
hardness (ppm)	0	50	100	150	200
activation energy (kcal/mol)	3.25	3.43	3.42	4.03	4.08
C.M.C					
hardness (ppm)	0	50	100	150	200
activation energy (kcal/mol)	2.24	1.971	2.13	2.85	2.17

#### 4-5. 유화된 잉크의 유동성 측정 결과

앞서 설명한 축입물의 정도에 따른 잉크의 유화율 변화를 바탕으로 하여 본 연구에서는 아라비아고무 축입물의 정도를 변화시켜 잉크를 5분 동안 유화 시킨 후, 유화된 잉크의 유동성을 측정하였다.

유동성 측정에서 아라비아고무 축입물만 사용한 것은 Fig.11과 Fig.12에서와 같이 아라비아고무 축입물과 C.MC 축입물의 유화율 변화가 비슷한 경향을 나타내고 있기 때문에 아라비아고무 축입물을 사용하였다.

잉크의 유동성 측정은 유화된 잉크의 물리적인 상태를 정확히 파악하게 해줄 수 있을 뿐만 아니라 평판 인쇄용 잉크가 인쇄기상에서 처하게 되는 상황을 미리 예측하여 인쇄잉크의 실제 유동상태를 짐작하게 해준다.

이러한 현상은 앞서도 설명하였듯이 잉크의 유화율 측정만으로는 불가능한 일이다. 따라서 인쇄 잉크의 물리적 성질이나 상태를 나타내기 위해서는 잉크의 유동성 측정이 필수적이라 할 수 있다.

#### 4-5-1. Flow Measurements

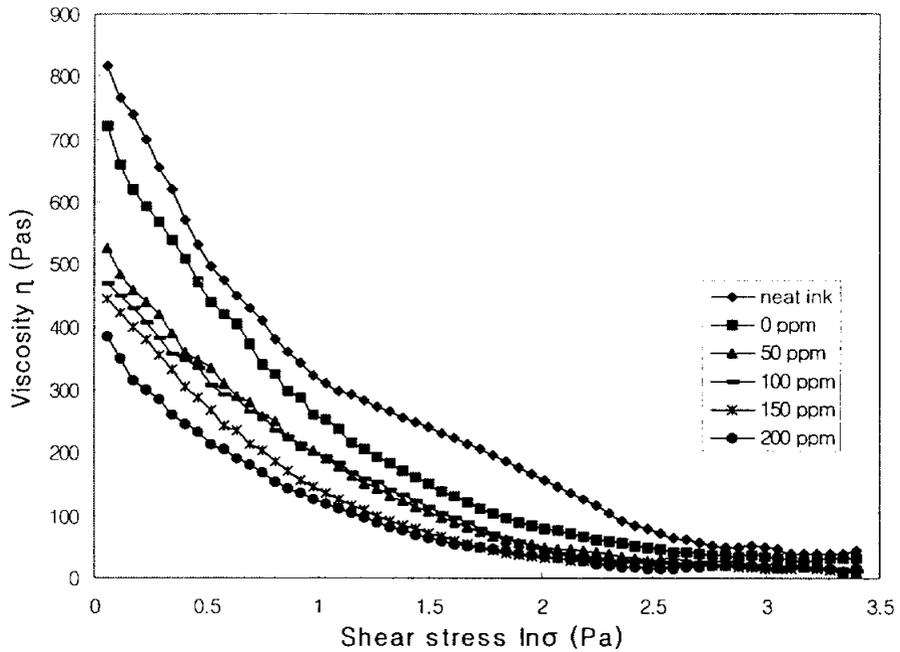


Fig. 17. The viscosity variation dependent on shear stress in neat ink and emulsified ink at 20°C.

Fig. 17에서는 shear stress를 감소시켰을 때 유화되지 않은 잉크(neat ink)와 유화된 잉크의 점도 변화를 나타내었다.

측정 결과 neat ink에 비하여 유화된 잉크의 점도가 낮게 측정되었으며 축임물의 경도가 증가함에 따라 점도가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이것은 축임물의 경도가 증가할수록 잉크와의 유화율이 증가하고 그로 인하여 잉크 내에 축임물의 함량이 증가하기 때문이라 생각된다.

그래프에서 볼 수 있듯이 높은 shear stress 영역에서는 축임물의 경도와

유화율에 따른 점도차이가 거의 나타나지 않았다. 그러나 낮은 shear stress의 영역에서는 축임물의 경도에 따른 유화된 잉크의 점도 차이가 명확하게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

평판잉크의 경우 잉크집에서 잉크롤러를 통하여 판에 전이되며 판상에서 인압에 의하여 축임물과 접촉하게 된다. 이때부터 잉크와 축임물은 유화되기 시작하는데, 이 때 잉크에는 높은 shear stress가 적용된다. 그러나 잉크에 가해진 높은 shear stress에 의하여 잉크는 구조 파괴현상이 생기고 유화율의 영향보다는 잉크에 가해진 shear stress의 영향으로 인하여 낮은 점도값을 가지게 된다.

Roller nip을 통과한 잉크에는 nip상에서 가해졌던 높은 shear stress가 점점 제거되는데 이 때부터는 유화율에 따른 점도의 차이가 점차 뚜렷하게 나타난다. 그리고 잉크가 피인쇄체에 전이되면 매우 낮은 shear stress가 가해지는데 Fig. 17과 같이 낮은 shear stress 영역에서는 유화율의 차이에 따라 점도가 명확히 차이가 생기며, 피인쇄체 상에서도 이러한 점도의 차이로 인하여 인쇄물의 광택도나 망점형성에 많은 영향을 미치게 될 것으로 생각된다.

## 4-5-2. Oscillation Measurements

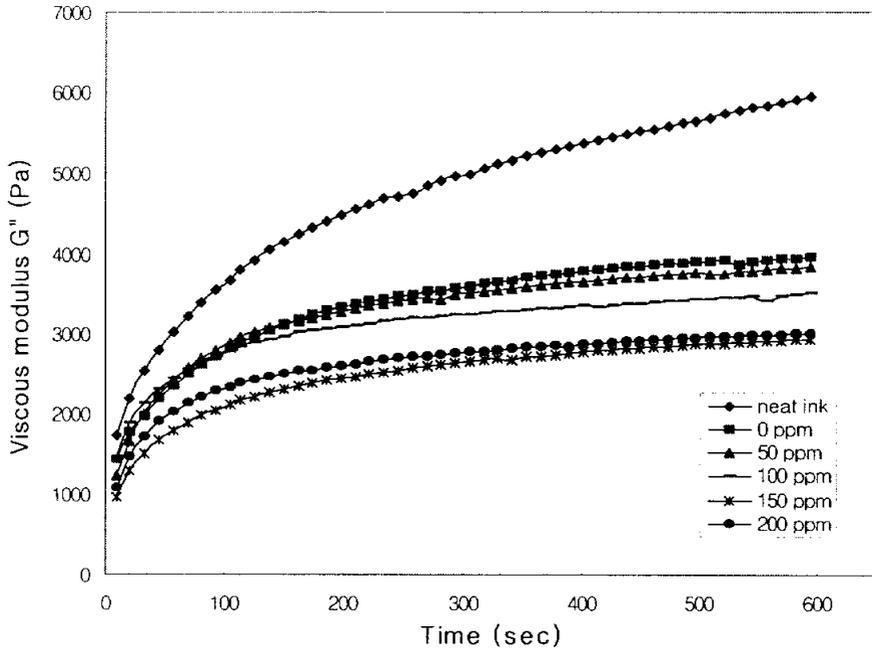


Fig. 18. The  $G'$  of neat ink and emulsified ink according to the time at 20°C.

Fig. 18과 Fig. 19에서는 유화된 잉크와 neat ink의 시간에 따른  $G'$ 과  $G''$ 을 각각 나타내었다. 시간이 경과함에 따라 modulus가 각각 상승하였고, neat ink에 비하여 유화된 잉크의 modulus의 값은 낮게 나타났다. 이러한 시간에 따른 modulus의 상승은 pre-shear이후에 10Hz의 일정한 frequency하에서 유체의 탄성변형과 점성변형<sup>30)</sup>이 점차 감소하기 때문에  $G'$ 과  $G''$ 이 증가하는 것이다.

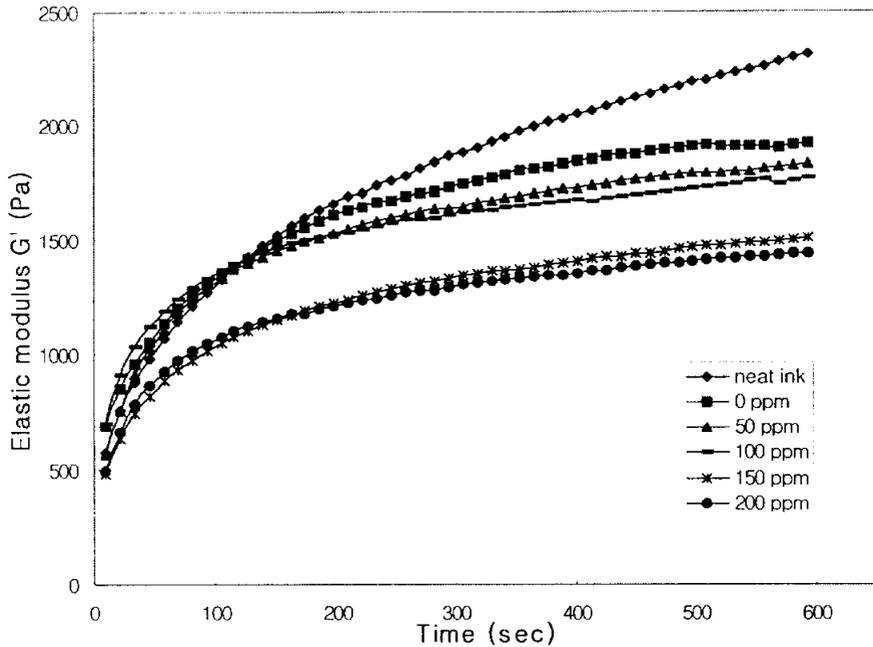


Fig. 19. The  $G''$  of neat ink and emulsified ink according to the time at  $20^{\circ}\text{C}$ .

그리고 Fig. 18과 Fig. 19에서는  $G'$ 과  $G''$ 의 시간에 따른 증가폭이 축임물의 경도가 낮을수록 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 이것은 유화율이 낮은 잉크일수록 점성변형과 탄성변형의 감소가 더 빠르다는 것을 의미한다. 다시 말해서 유화율이 낮은 잉크일수록 변형율의 감소가 신속히 이루어지며 그만큼 구조 회복도 유화율이 높은 잉크에 비하여 빠르다는 것을 확인할 수 있었다.

앞서 측정한 flow measurement와 여기에 나타낸 oscillation measurement의 결과로 미루어볼 때 탄성회복시간이 큰 잉크의 경우에는 피인쇄

체에 전이된 후에 흐름성이 증가하여 광택이 증가 하지만, 이러한 잉크의 흐름성이 과도하게 클 경우에는 망점확대와 같은 인쇄불량의 원인이 될 수 있다. 즉, 축입물의 경도에 따라 잉크는 유화되고 난 후의 유동성이 차이가 나며, 그에 따라서 인쇄물의 품질에 많은 영향을 미칠 수 있다.

### 4-5-3. Creep Measurements

Fig. 20, 21, 22에서는 pre-shear 직후에 각각 0, 2, 20 Pa의 shear stress를 가했을 때 잉크의 탄성 회복력을 나타낸 것이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 neat ink가 유화된 잉크에 비하여 탄성 회복폭이 더 작아서 탄성 회복시간이 빠른 것을 확인 할 수 있었으며, 축임물의 경도가 증가함에 따라 탄성회복시간이 길어지는 것을 알 수 있다. 이것은 유화율이 높은 잉크의 경우, 잉크와 섞여 있는 축임물의 양이 상대적으로 많기 때문에 잉크의 구조파괴가 더 많이 일어남으로써 생기는 현상이라 할 수 있다.

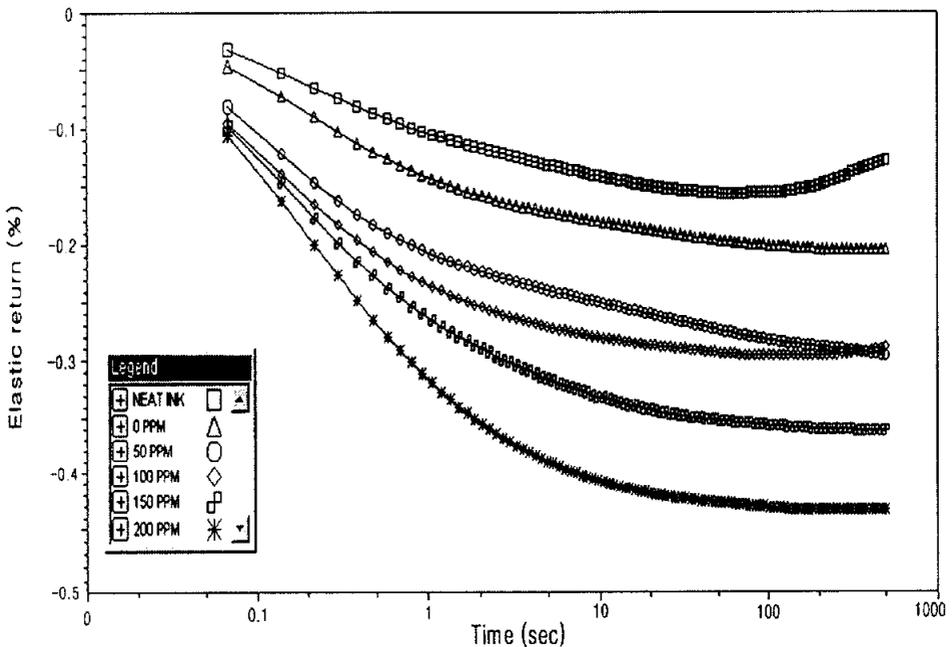


Fig. 20. The elastic return rate of neat and emulsified ink after pre-shear and applied 0 Pa at 20°C.

Fig. 23은 20/s의 pre-shear를 가한 직후 0 Pa의 shear stress를 가해 주었을 때 나타나는 시간에 따른 변형율을 나타낸 것이다. 본 실험에서 유체는 20/s의 pre-shear를 받는 동안 변형을 하게 된다. 그리고 pre-shear를 정지하게 되면 원상태로 복원하려는 회복력으로 인하여 탄성회복을 시작하게 된다. 여기서는 0 Pa의 shear stress 즉, 아무런 응력을 가하지 않았을 때 나타나는 변형율을 나타낸 것이다.

결과에서 보아지듯이 변형율은 시간이 지나도 계속 0이하의 값을 가지고 있으므로 탄성 회복의 거동만 나타난다.

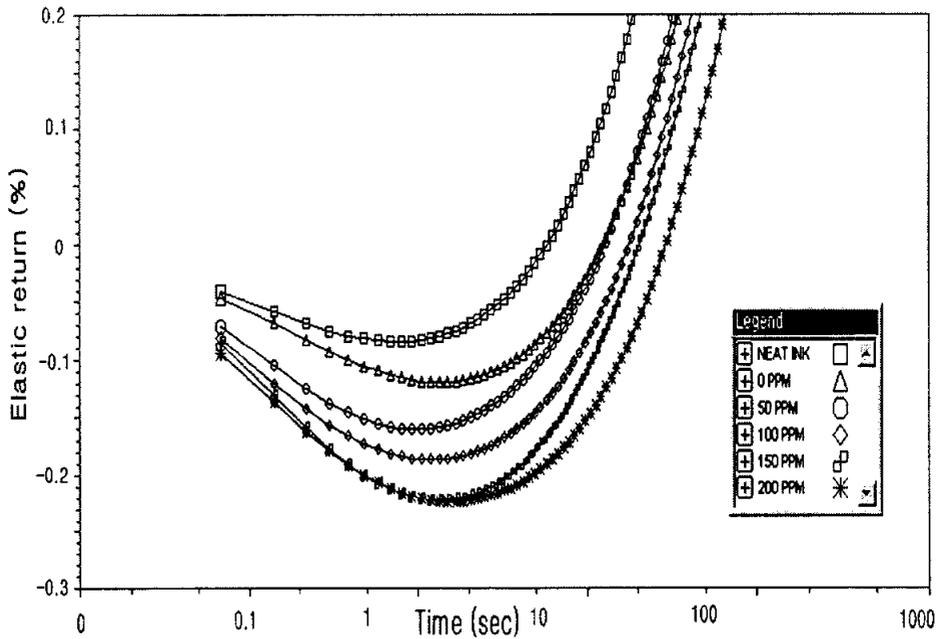


Fig. 21. The elastic return rate of neat and emulsified ink after pre-shear and applied 2 Pa at 20°C.

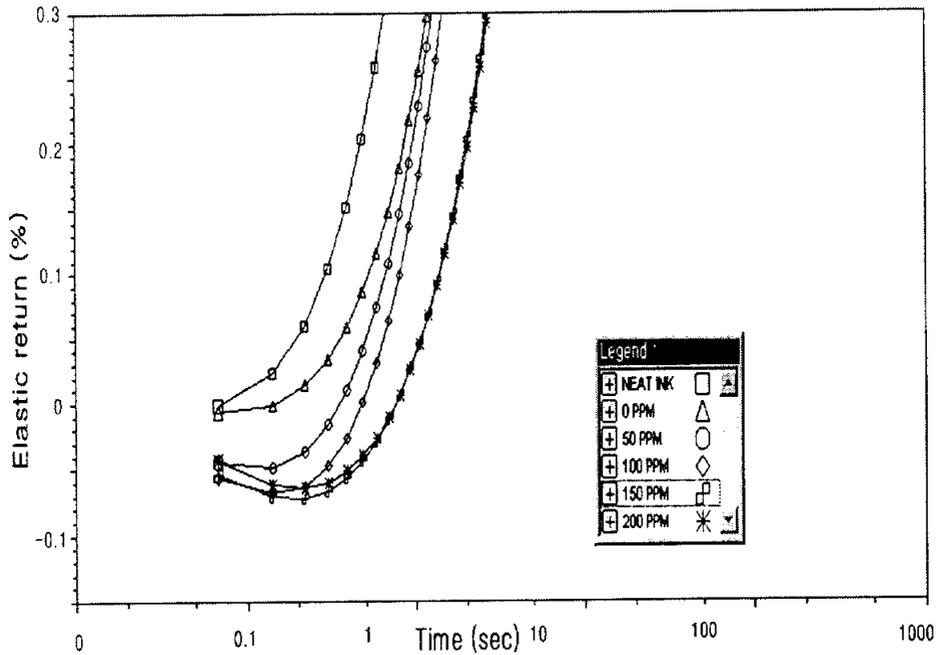


Fig. 22. The elastic return rate of neat and emulsified ink after pre-shear and applied 20 Pa at 20°C.

Fig. 21과 Fig. 22는 역시 20/s의 pre-shear를 주고 난 직후에 각각 2 Pa 과 20 Pa의 shear stress를 주었을 때 나타나는 시간에 따른 변형율의 변화를 측정한 것이다.

여기서는 Fig. 20과는 다르게 측정 시간 중에서 극 초반에만 변형율이 0 이하의 값을 나타내지만 시간이 더 경과하게 되면 변형율이 0이상의 값을 가지게 된다. 이것은 앞서 0 Pa의 shear stress를 가했을 때와는 다르게 2, 20 Pa의 shear stress의 값이 주어지기 때문에 우화된 잉크는 최초에 탄성 회복의 변형율을 나타내다가 결국 잉크에 가해진 shear stress에 의하여 다시 변형을 하기 때문에 위와 같은 결과가 나타나는 것이다.

#### 4-5-4. Yield Stress Measurements

Fig. 23에서는 경도가 낮은 축임물을 사용했을 때 유화된 잉크의 yield stress는 비교적 높은 값을 나타내며 축임물의 경도가 증가할수록 유화된 잉크의 yield stress는 감소하는 경향이 나타났다. 이것은 앞서 실험한 flow measurement의 결과에서도 볼 수 있듯이 축임물의 경도가 높을 경우에는 유화율이 상승하게 되며, 높은 유화율에서는 잉크의 점도가 낮아지고 잉크의 내부구조가 상대적으로 더 많이 파괴된 상태가 되므로 잉크의 yield stress가 감소하는 결과가 나타났다고 생각된다.

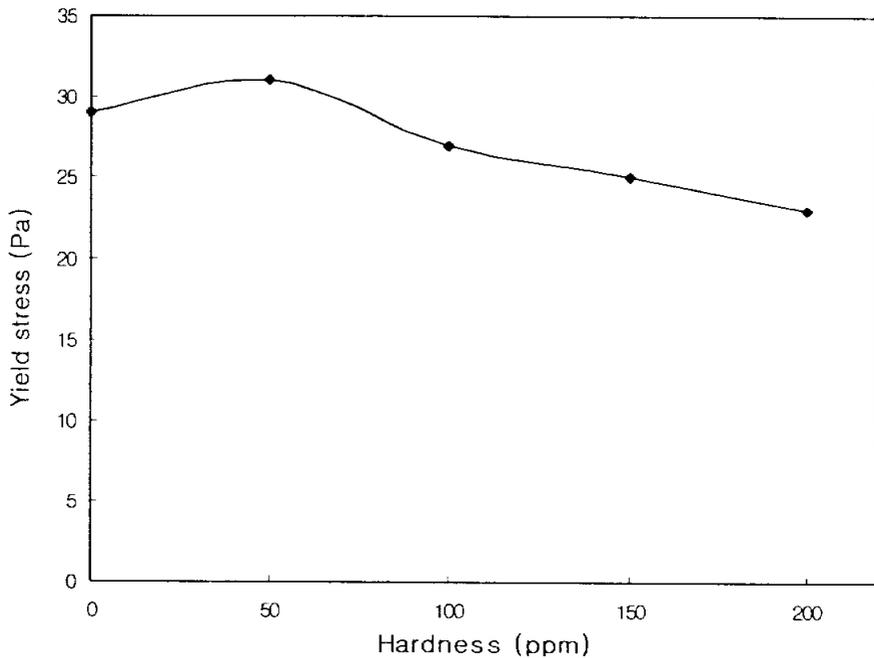


Fig. 23. The yield stress of emulsified ink according to the hardness of dampening solution at 20°C.

일반적으로 yield stress에 따른 영향으로는 낮은 yield stress에서는 잉크가 피인쇄체에 전이된 후 leveling 성질에 의하여 광택도가 증가하지만, yield stress가 너무 낮은 상태가 되면 망점 확대와 같은 인쇄불량이 일어나기 쉬워진다. 이와는 반대로 높은 yield stress를 가진 잉크는 잉크가 저장되어 있는 잉크집 상에서 발생할 수 있는 안료 침강 현상을 막을 수 있지만, yield stress가 너무 높은 값을 가지게 되면 잉크의 전이가 잘 일어나지 않을 수 있다.

#### 4-5-5. Thixotropy Measurements

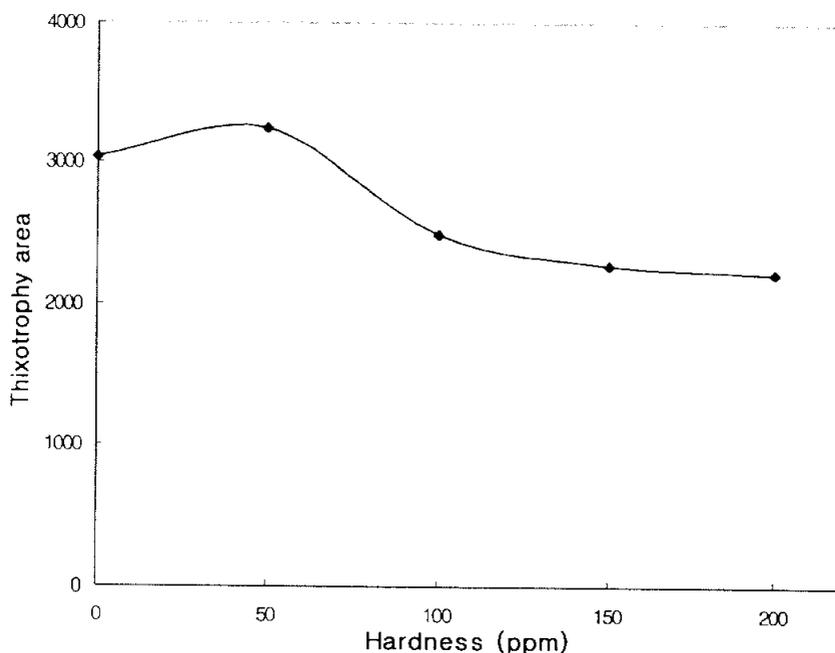


Fig. 24. The thixotropy of emulsified ink according to the hardness of dampening solution at 20°C.

Fig. 24에서는 경도가 서로 다른 축임물과 cyan 잉크를 유화 시켰을 때 잉크가 가지는 thixotropy를 측정하여, 축임물의 경도를 증가시켰을 때 유화된 잉크의 thixotropy는 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

이러한 결과는 Fig. 17의 flow measurement와 연관 시켜볼 때 높은 경도의 축임물과 유화된 잉크의 점도가 상대적으로 낮으므로 thixotropy의 면적도 더 작게 측정되었다. 그리고 잉크의 구조 파괴의 측면으로 보게되면 thixotropy를 측정하기 위하여 shear rate를 증가 시켰다가 감소시키는 과

정에서 유화율이 낮은 잉크의 경우 상대적으로 구조파괴 현상이 약하게 일어났기 때문에 shear rate의 증가와 감소에 따른 점도의 차이가 크게 나타나서 thixotropy 면적이 크게 나타났으며 유화율이 높은 잉크의 경우에는 잉크가 함유하고 있는 축임물에 의하여 구조파괴가 심하게 일어난 상태이다. 그러므로 shear rate의 증가와 감소에 따른 점도 차이가 거의 없으므로 thixotropy역시 낮은 값이 나타나게 된다.

유화율이 낮은 잉크의 경우 여기서 thixotropy의 면적이 작은 것은 실제 잉크가 인쇄기를 통하여 피인쇄체에 전이되었을 때 빠른 탄성회복을 하지 못하고, 또한 낮은 점도로 인하여 망점확대 현상이 일어날 우려가 있다.

축임물의 증가에 따른 잉크의 yield stress와 thixotropy의 감소는 잉크의 유동성이 증가하는 증거이며, 잉크의 물리적인 상태를 나타내는 중요한 요소가 된다.

## 5. 결 론

본 연구는 축임물의 경도 변화에 따른 잉크의 유화율 변화와 유화된 잉크의 레올로지적 성질을 측정하여 실제 인쇄상에서의 잉크의 거동을 예측하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 축임물의 경도가 증가할수록 잉크와의 유화율은 증가하였다.
2. 잉크의 유화속도상수와 활성화에너지는 측정온도와 축임물의 경도가 높을수록 높은 값을 가졌다.
3. 높은 경도의 축임물과 유화된 잉크일수록 잉크의 점도는 감소하였으며, 탄성회복시간이 점차적으로 더 길어졌다.
4. 유화된 잉크의  $G'$ 과  $G''$ 은 사용된 축임물의 경도가 증가할수록 점차 낮아지는 경향이 나타났다.
5. 잉크의 항복가와 thixotropy 측정에서는 축임물의 경도가 높을수록 유화된 잉크의 항복가와 thixotropy는 감소하였다.

## 참고문헌

- 1) Aage Surland, "A Laboratory Test Method for Prediction of Lithography Ink Performance" , TAGA Proceeding, pp. 222~247, (1980)
- 2) Bernard Pineaux, "The Effect of Water Hardness of Dampening Solution on Printing Quality in Offset Lithography", TAGA proceeding, pp. 844~860, (1997)
- 3) Bernard Pineaux, Alessandro Gandini, and Michael Has , "Further Investigation into the Effect of Dampening Solution Hardness on Offset Lithography", TAGA Proceeding, pp 451~466, (1998)
- 4) John MacPhee, "Some Insight into the Relevance of Off-press Measurements of Foundation Solution Takeup by Ink", TAGA Proceeding, pp. 577~589, (1997)
- 5) 권대환, "축임물 성분이 잉크의 유화에 끼치는 영향에 관한 연구", 한국인쇄학회지 , 제19권 제3호, pp. 10~22, (2001)
- 6) P. Aurenty, "Viscoelastic of Water/Ink Emulsions at Low and High Frequency", TAGA proceeding, pp. 638~659, (1998)
- 7) shem M. Chou and Lawrence J. Bain, "Rheological Characteristics Keyless Versus Conventional Litho Newsinks", TAGA Proceeding, pp. 354~386. (1988)
- 8) Shem M. Chou and Mark cher, "Rheological Studies of Emulsion Ink Stability", TAGA Proceeding, pp. 257~280, (1989)
- 9) D. Satas, "Coatings Technology Handbook" , Marcel Dekker, Inc. , Second Edition, pp. 3~39, (2001)
- 10) R.H. Leach, R.J. Pierce , "The Printing Ink Manual" , Kluwer Academic Publishers , Fifth Edition, (2001)
- 11) Frank S.benevento, Web Offset Press Operating, GATF, pp.53~67, (1996)

- 12) Thomas M. Destree, Solving Sheetfed Offset Press Problems, GATF, pp. 65~68, (1994)
- 13) 이종형 · 신원욱 공저, “상·하수도공학” 제2판, 구미서관, pp. 37~38, (2001)
- 14) 조순행, “물환경개론”, 東和技術, pp. 48~50, (2001)
- 15) John MacPhee, “The importance of raw water quality in the control of fountain solution chemistry”, TAGA Proceeding, pp. 315~338, (1988)
- 16) Bassemir & Beam, “The Investigation of Prinng Plate Problem with Scanning Electron Microscopy and X-Ray Analysis”, TAGA Proceeding, pp. 122~161, (1979)
- 17) H. Scoot Fogler, Elements of Chemical Reaction Engineering , 喜重堂, pp. 62~110, (1996)
- 18) E. A. Guggenheim. Phil, Mag., vol.2 p.538, (1926).
- 19) 이덕수, 화학반응속도론, 圖書出版 東和技術, (1999)
- 20) T.A.Fadner, “Prediction of Steady-State Operation in Keyless Lithography” , TAGA Proceedings, pp. 363~392, (1990).
- 21) Rita G. Lerner, George L. Triigg, Encyclopedia Physics, VCH, Second Edition, pp. 605~606
- 22) Shem M. Chou, Thomas A. Fadner, and Lawrence J. Bain, “Structural Recovery of Printing Inks Studied by Steady Shear Rheometry”, TAGA Proceeding, pp. 280~321, (1990)
- 23) 박승조, “환경인을 위한 분석화학실험”, 東和技術, pp. 196~202, (2000)
- 24) 李辰雨, “쉽게 배우는 大學分析化學”, 螢雪出版社, pp. 340~355, (2000)
- 25) 강동효, “수질화학 분석법”, 신광문화사, pp. 97~104, (2000)

- 26) 옥치상. “수질측정 및 수처리 실험” 지구문화사, pp. 75~80, (1993)
- 27) 김성빈 . “평판 재판” , 부산공업대학교 출판부, pp. 105~124 (1995)
- 28) 김인걸. “오프셋 인쇄 잉크의 유화 속도에 영향을 미치는 인자에 관한 연구“ , 한국 인쇄학회 , 제19권 제1호 , pp. 28~41 (2001)
- 29) Daphne M. Desjumaux, “Dynamic of Ink Gloss: Influence of Ink Rheology on Leveling”, TAGA proceeding, pp. 618~637 (1998)
- 30) John J. Aklonis, William J. Macknight , “Introduction to Polymer Visco-elasticity” , Second Edition , A Willey-Interscience Publication , pp. 7~35. (1983)

## 감사의 글

저를 여기에 있게 해주신 부모님께 정말 감사드립니다

그리고 이 논문을 쓰기 까지 지도를 아끼지 않으셨던 김 성빈 교수님과 항상 저에게 많은 도움을 주셨던 교수님들께도 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

논문 실험이 진행되는 동안 같이 고생해주었던 신 춘범 선배님, 김 상국 조교, 김 진우 후배, 채 규성 후배, 그리고 저의 대학원 동기인 이 현철 그 외에 저를 지켜 봐주시고 충고를 아끼지 않으셨던 모든 선배님들에게 감사드립니다.