

인쇄용 로울러에서 수용성 잉크의 산소흡수속도에 관한 연구

尹 鍾 太

Absorption Rate of Oxygen in water soluble inks on the Printing Rollers.

Jong Tae Youn

A B S T R A C T

Absorption rates of oxygen in water soluble inks on the printing rollers were measured. As a results of experiments, could be obtained the data of rates of absorption of oxygen in 4 kinds of water soluble inks, and found the difference of absorption rate of oxygen on the parallel plates and rotating rolles.

1. 서 론

평판, 오프셋, 그라비아, 요판등 윤전식 인쇄기들의 유체 이동기구는 공학적으로도 약간 생소한 회전 로울러 시스템을 주로 사용하고 있다. 이 회전 로울러에 의한 전이 시스템은 인쇄잉크와 같은 유체를 인쇄적성에 맞도록 분산, 이동, 연육, 도포등 여러가지 단위조작을 동시에 수행하고 있으므로, 인쇄기에서는 가장 중요한 부분이라고 볼 수 있다.

*부산공업대학

인쇄잉크는 회전로울러 시스템에서 액상 필름 상태를 유지하고, 이 필름은 인쇄가 진행되는 과정에서 일정한 두께를 유지하는 것이 대부분이다. 특히 인쇄기상의 잉크장치에서는 거의 일정한 두께를 유지하는 액상 잉크층이 있으며, 잉크층은 직접 기상 공기와 접촉하고 있는데, 그 접촉면적이 넓고 혼합작용이 병행되므로 기-액간의 물질전달 조작성이 대단히 활발히 일어날 수 있다.

일반적인 인쇄잉크들은 여러가지 건조방식중 하나 또는 두가지 이상을 채택하고 있으며, 그 중 산화중합 건조방식이나 증발 건조방식의 인쇄잉크들은 실제로 인쇄 후에 인쇄물의 건조 뿐만 아니라, 인쇄기 상에서 화학반응을 동반하는 기-액물질전달에 의한 건조현상도 중요한 고려사항이 된다.

한편, 최근의 인쇄잉크들은 합성수지류의 첨가량이 대단히 증가하였으며, 그 종류도 다양해졌다. 또한, 휘발성 용제와 유성 바니쉬를 사용하던 그라비아 및 평판잉크등이 점차 공기오염과 폐수처리의 곤란으로 수성잉크를 사용하는 추세에 있다. 따라서, 본 논문에서는 수용성 잉크에 공기 중에 있는 산소의 흡수속도를 예측하므로써, 인쇄공정의 개발과 인쇄잉크의 로라상 건조모델 및 건조기구의 해석에 기여하고자 하였다.

로울러 시스템에서 표면에 형성되는 액막의 거동¹⁾, 유량에 관한 정량식^{2, 3)}, 액막두께^{4, 5)}, 틱새에서 유체의 거동⁶⁾ 등에 관한 연구보고서는 많이 있으므로 참고할 수 있었다. 그러나, 수용성 인쇄잉크의 물질전달상수, 확산계수, 표면장력등 물리화학적 특성들은 거의 보고된 바가 없으므로, 시료를 단일성분으로 간단히 하고 적당한 기-액 흡수장치^{7, 8)}를 사용하여 미리 측정할 필요가 있었다.

2. 이 론

회전 로울러 시스템은 잉크의 이동경로가 모두 같은 방향으로 볼 수 없기 때문에, 미분적인 해석이 어려워서 평균접촉시간⁸⁾의 개념을 도입하기는 어렵다. 따라서 연결된 전체 로울러들을 한개의 커다란 로울러로 생각하였다. 즉, 흡수기내의 총기체 흡수량은 시간에 따라 일정하므로 흡수기에서 시간에 따라 흡수되는 기체의 총량 Q는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{dQ}{dt} = V \frac{dC}{dt} = K_L A (C^* - C) \quad \dots\dots\dots(1)$$

여기서, K_L 는 물질전달상수, A 는 기상 접촉면적, C^* 는 잉크의 계면에서 용존산소농도이며, C 는 잉크 중 산소의 평균농도이다. (1)식을 적분하면,

$$\begin{aligned} & \ln \frac{C^* - C_0}{C^* - C_t} \\ &= \frac{K_1 A t}{V} \\ &= K_{At} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

이며, C_0 와 C_t 는 $t = 0$ 와 $t = t$ 에서 용존산소의 농도를 나타낸다. 즉, 공기중의 산소가 잉크중에 흡수되기 전과 후의 용존산소 농도이다. 여기서

$$K_1 = K_1 A / V \dots\dots\dots (3)$$

이므로 $\ln(C^* - C_0 / C^* - C_t)$ 를 시간에 따라 측정하면 K_1 값을 구할 수 있다. 또 단위부피당 유효접촉면적⁽⁸⁾을 a 라고 하면 a 는 다음과 같다.

$$a = A / V \dots\dots\dots (4)$$

한편, 로울러 시스템이 n 개의 로울러로 연결되어 있고, 그 로울러들의 크기가 모두 같다면 물리적으로 측정된 총 접촉면적은 다음과 같다.

첫번째, 로울러는 기상에 노출된 면적을 측정하고, 두번째 또는 그 이상의 로울러들은 그 표면적들을 측정하여 구하였으나 단, 로울러들의 측면이 접하는 부분(nip width)은 제외하였다. 첫번째 로울러의 접촉면적은

$$A_1 = (2\pi - \theta) r l \dots\dots\dots (5)$$

인데, 여기서 θ 는 액상에 잠긴 로울러의 perimeter 각도이다. 두번째 또는 그 이상의 로울러에서는

$$A(n < 1) = 2\pi r l \dots\dots\dots (6)$$

이 되며, n 개의 로울러를 연결하면

$$A_n = 2\pi r l (n + 1) - r l \theta \dots\dots\dots (7)$$

이다. 로울러들이 접촉하는 nip width는 기상에 노출되지 않기 때문에 이 면적을 β 라고 하면, 총 접촉면적은 다음과 같다.

$$A_1 = [2\pi r l(n+1) - r l \theta] - \beta \dots \dots \dots (8)$$

즉, (8)식에서 A_1 는 물리적으로 측정된 기상과 잉크층의 접촉면적이다.

3. 실험

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig.1에서보는 바와 같이 모터에 의해서 강제 회전되는 stainless steel로울러와, 측면을 맞대고 도는 동일 크기의 로울러들, 그리고 부수장치로 되어있다. 로울러들의 표면에는 잉크층을 만들어 그 잉크층을 기체와 접촉시킬 수 있도록 제작하였다. 로울러들의 직경은 5cm이며, 직경 1cm의 축과 베어링을 사용하여 수직의 요부 가이드에 고정하고, 각 로울러들의 속도는 달리 조절할 수 있도록 하였다.

잉크층의 두께는 doctor에 의해 조절할 수 있도록 만들었으며, 산소는 산소통에서 나와 열교환기 및 산소농도 분석기를 거치고 유량계를 지나 흡수기로 들어가게 되었다. 잉크는 semi batch식으로 유입되며 장치의 칫수는 Table1과 같다.

흡수속도의 측정방법은 doctor의 간격을 최대로 띄운 후, 첫번째 로울러를 회전시켜

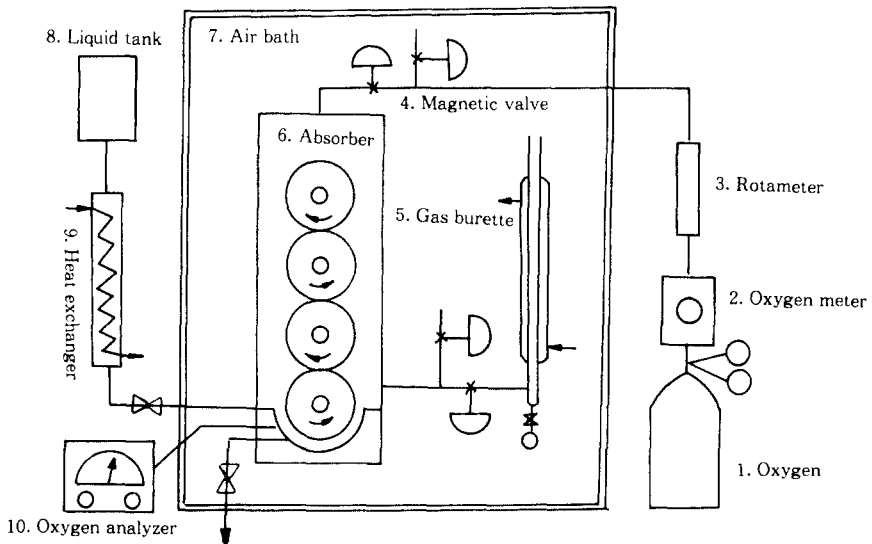


Fig.1 Schematic diagram of the RMR absorber.

서 원심력과 표면장력에 의해 형성되는 잉크층을 관찰하고, 2, 3번째 로라들을 서서히 접촉시켰다. 잉크층에 잔주름이나 ripple이 없도록 하고, 상부 로울러의 속도를 약간 빠르게 조정하여 모든 로울러에 거의 일정한 층이 형성되도록 하였다.

Table1. Dimenions of Appartus

| Elements | Material | Dimenion |
|----------|-----------------|---|
| Roller | Stainless steel | O.D. 5cm Length 10cm Area of one roller 157cm ² |
| Shaft | Stainless steel | O.D. 1cm |
| Chamber | Acrylic resin | Length 5cm Width 0.5 - 1.5cm |
| Housing | Acrylic resin | Length(inside)20cm Width (")15cm Height(")35cm Thickness 0.5cm |

위와 같은 방법을 반복하면, 로울러들의 틈새를 통과하는 잉크량에 관한 정량식⁽²⁾에 의해 속도가 빠른 로울러에 잉크층이 두껍고, 최종 로울러는 일정한 체류량(hold up)이 외의 잉크를 아래로 보내기 때문에, 일정한 시간이 지나면 정상상태(steady state)에 도달하게 된다. 이때 가스뷰렛⁽⁹⁾에 의해 단위시간당 기체의 흡수속도를 측정하며, 잉크는 시간별로 일정량을 채취하여 용존산소의 농도를 분석하였다.

물질전달상수와 확산계수를 구하기 위해서는 한개의 로울러만을 사용하며, 잉크가 로울러를 타고 오르는 시간부터 다시 chamber로 돌아갈 때 까지를 평균 노출시간 t_R 로 보고, 로라의 회전속도를 변화시키면서 흡수속도를 측정하였다. 또한 잉크층의 두께는 전기적 탐침⁽⁵⁾에 의해 측정하였으므로 이미 알고 있는 접촉면적과 노출시간에 의해 확산계수를 구할 수 있다.

한개의 로라로 실험하는 단일로라 장치는 docter에 의해 간단히 잉크두께가 조절되고, 측정방법도 용이하지만 로울러 시스템은 잉크의 물리적인 특성에 따라서 두께가 변하게 된다. 물리적인 특성과 로울러의 운동상태에 따른 잉크두께변화의 관계는 이미 차원해석적으로 구한 바가 있기 때문에⁽¹⁰⁾이 식을 이용하였다.

$$\delta = 0.083(\rho g / \mu \Omega r)^{0.5} (N_{Re})^{1.5} (N_{Ca})^{-2.5} (\eta)^3 \dots \dots \dots (9)$$

(9)식에서 δ 는 잉크층의 두께이며, 무차원 표면장력 η 와 Capillary number N_{Ca} 에 포함되어 있는 임계표면장력 σ_c 의 측정은 접촉각 측정법⁽¹¹⁾을 사용하였다.

사용한 시약들은 미국 Dow Chemical에서 공급되는 제품이며, 시료 잉크의 조제는 삼구 플라스크에서 질소에 의한 탈기를 하면서 용해시킨 후 저장조로 옮기는데 이때 저장조는 모두 질소를 충전시켰다.

시료 잉크에 대한 산소의 용해도(C^*)는 기-액 평형시 용존산소의 농도를 측정하여 알 수 있으며, 점도는 Cone-and-plate(Ferranti-shirley) viscometer를 사용하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1 액상 물질전달상수

시료 잉크의 물질전달상수를 구하기 위해서는 우선 확산계수(D)를 알아야 하므로, 확산계수 및 물리적인 특성을 측정한 결과 Table 2 와 같은 결과를 얻었다. 이 결과들은 이미 다른 연구자들^(12, 13)에 의해 측정된 산소-물 흡수계와 별로 차이가 없었다.

Table 3 은 Danckwerts⁽¹⁴⁾등이 사용했던 RDA(Rotating Drum Absorber)와 마찬가지로 한개의 로울러를 사용한 결과이다. 단일로라에서는 침투설⁽¹⁵⁾에 의해 $\delta/\pi r$ 이 1.7보다 클때 3% 이내의 오차범위에서 물질전달상수 $K_L = 2 D/\pi r$ 로 볼 수 있으므로, 회전속도가 약 3rad/sec 이상이면 침투설에 근접한다. 따라서 잉크층 중에서도 표면에 있

Table2. Physical data obtained in this work at 25°C

| sample | main component | Diffusivity (cm/sec) $\times 10^5$ | Solubility(O_2) C^* (gmole/cm) $\times 10^6$ |
|--------|-------------------|---------------------------------------|--|
| A | Poly acrylamide | 2.26 | 1.28 |
| B | | 2.03 | 1.26 |
| C | Carboxy methyl | 1.95 | 1.30 |
| D | cellulose | 1.62 | 1.27 |
| E | Polyvinyl alcohol | 1.70 | 0.91 |
| F | | 1.55 | 0.81 |
| G | Poly ethylene | 2.29 | 1.88 |
| H | oxide | 2.28 | 1.80 |

는 용존산소의 농도와 잉크층 내부의 농도는 현저한 차이가 난다고 생각할 수 있다.

Table 3 은 (2)식과 (3)식에 의해 구해진 액상 물질전달상수(K_L)값과 이론값을 비교한 것이다. 한편 RDA는 5.96-16 rad/sec범위에서 수행되었고 액상에서 표면의 stretching이 없는 잇점과, 접촉시간 0.25초 정도에서 무한히 깊은 액막으로 볼 수 있다는 점은 본 실험결과와 일치하나, 액체층을 0.01cm로 고정하여 실험하였기 때문에 다소 차이가 난다.

Table3. Comparison of experimental and theoretical K_L of sample A

| Ω (rad/sec) | t (sec) | $\frac{\delta}{\sqrt{Dt_R}}$ | K_L (Theo.) $\times 10^3$ (cm/sec) | K_L (Exp.) $\times 10^3$, cm/sec) | $\frac{K_L(\text{Theo.})}{K_L(\text{Exp.})}$ |
|-----------------------|------------|------------------------------|---|---|--|
| 1 | 4.16 | 0.522 | 2.313 | 2.063 | 1.121 |
| 2 | 2.08 | 0.739 | 2.784 | 2.918 | 1.048 |
| 3 | 1.39 | 0.904 | 3.703 | 3.574 | 1.036 |
| 4 | 1.04 | 1.044 | 4.224 | 4.125 | 1.024 |
| 5 | 1.01 | 1.168 | 4.622 | 4.613 | 1.002 |
| 6 | 0.69 | 1.280 | 4.995 | 5.055 | 0.998 |
| 7 | 0.59 | 1.382 | 5.445 | 5.461 | 0.997 |
| 8 | 0.52 | 1.477 | 5.821 | 5.833 | 0.998 |
| 9 | 0.46 | 1.566 | 6.192 | 6.186 | 1.001 |
| 10 | 0.42 | 1.654 | 6.506 | 6.532 | 0.996 |
| 11 | 0.38 | 1.734 | 6.588 | 6.851 | 1.001 |
| 12 | 0.35 | 1.810 | 7.145 | 7.138 | 1.001 |

4-2 흡수속도의 측정

가스뷰렛으로 측정한 기체의 감소량은 잉크가 산소를 흡수하여 전체적인 부피가 감소되는 것이므로, 부피의 감소속도가 잉크에 흡수되는 산소의 속도와 같다. 따라서 용액중의 용존산소의 농도를 시간별로 측정하고 그 농도와 기체의 감소량을 비교해 보면 장치내에서 산소가 잉크와 반응을 하는지 또는 물리적으로 흡수만 되는지를 알 수 있다. 몇가지 잉크들에 산소를 흡수시킨 결과는 Fig. 4-7과 같다. Fig.4 는 A잉크를 사용하여 회전속도를 변화시켜 가면서 측정한 흡수속도값이다. 이 결과는 wetted wall column 및 wetted sphere등으로 측정한 연구자들의 결과와 일치하지 않는다. 즉, 그들은 점탄성(viscoelasticity)에 의한 영향으로 0.05%의 용액이 1.5cm/sec(약 3rad/sec에 해당함)이상에서 파형의 발생으로 측정이 불가능함을 밝혔으나, 로울러 시스템은 8rad/sec까지 액체층이 안정성을 유지하고 있으며, 물에 대한 산소의 흡수량은 매우 적기 때문에 접촉면적과 기상에 노출된 시간을 늘리기 위해서는 칼럼의 길이를 늘리는 방법을 사용하였다.그런데 그들의 결과는 흡수속도가 칼럼의 길이에 대해 직선적인 증가를 보이지 않았다.⁽¹⁷⁾ 그 이유는 micromixing에 의한 영향이 지배적이었다는 것을 감안하면 로울러 시스템에서 산소의 흡수속도는 대단히 일정함을 예견할 수 있으며 그 흡수량은 회전속도에 따라서, 또 로울러의 갯수가 증가함에 따라서 많아지는 것을 볼 수 있었다.

일반적으로 수용성 잉크중에 고분자 물질이 많아지면 점도가 증가하고, 산소의 흡수 속도는 약간 감소하는 경향을 보이는데 G, H등은 그러한 차이가 없다.

이것은 때때로 화학반응을 동반하기 때문이며⁽¹⁶⁾, 이러한 잉크는 순수한 물리적 흡수인지 또는 화학반응을 동반하는지를 Hatta number에 의해 확인할 필요가 있다. 또한 조성이 복잡한 잉크의 점도는 Newtonian 유체의 점도와 같이 단순히 취급되기 어렵기 때문에 점도에 대한 흡수속도의 관계식을 얻기는 거의 불가능한 실정이다.⁽¹²⁾

로울러의 갯수를 늘리면, 비흡수속도는 약간 증가하고, 증가도는 고속에서 더 잘 나타났다. 그러나, 저점도인 수용액에서는 이러한 영향이 거의 없는 것이 발견된다. 이것은 로라들의 틈새에서 교반효과에 의한 영향으로 판단된다.

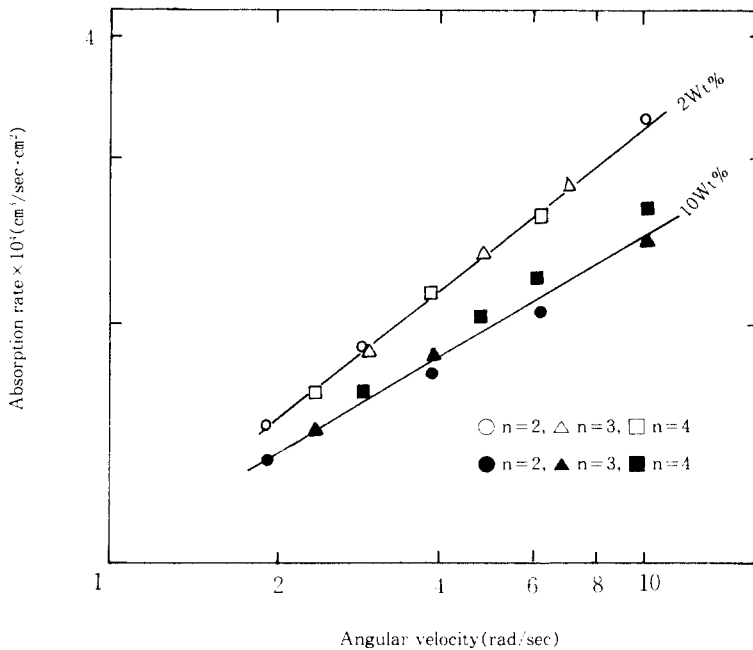


Fig. 4. Absorption rate of sample A and B different angular velocity and number of rollers.

Fig. 5의 C, D잉크는 A, B잉크 보다 흡수속도가 다소 낮지만, 역시 같은 경향을 보이며, Fig. 6의 E, F잉크는 흡수속도가 약간 빠르다. 그 이유는 함습율에 의한 영향으로 예측된다. F잉크에 대한 결과는 물-산소 흡수계와 거의 같고, Mashelkar등의 결과와도 근접하지만 PVA의 점도가 높아지면 비흡수속도는 매우 감소하는 경향을 보였다.

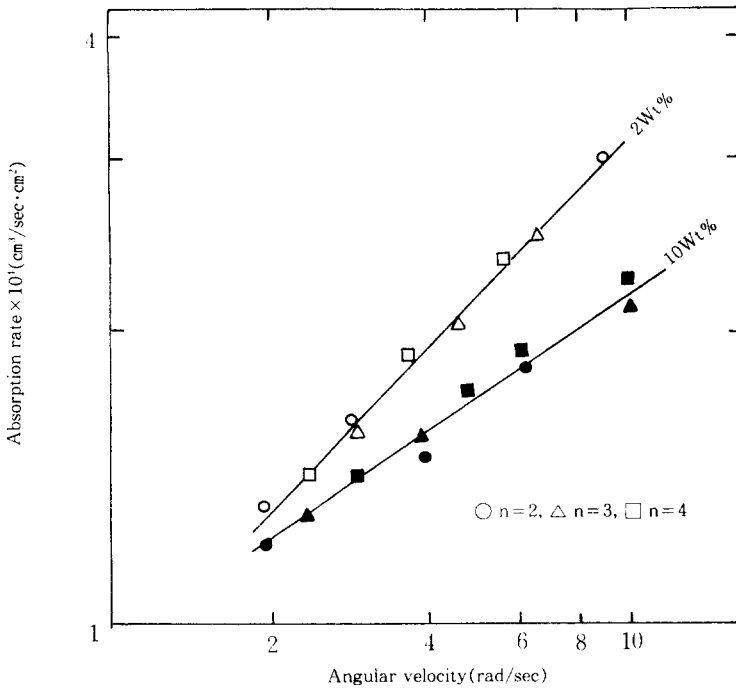


Fig. 5. Absorption rate of sample C and D different angular velocity and number of rollers.

많은 연구자들은 수용성 고분자 물질들의 농도를 낮게하여 Newtonian 유체로 취급하였으며^(19, 20), stretching 또는 shear에 의해 액막을 형성 시켰다. 이러한 액막은 주로 난류흐름을 하고 있으나, 고점도 용액은 중력에 의한 낙하만으로 난류흐름을 하지 않기 때문에 미시적 교반효과를 기대할 수 없고, 주기적인 교반이 있는 로울러 시스템과 다르다. 로울러 시스템에서 로울러들의 거동은 고점도 잉크의 교반에 적합하도록 틈새에서 조정되므로, 잉크에 흡수되는 기체량의 측정은 직접 로울러상에서 수행해야할 필요가 있다고 본다.

4-3 유효접촉면적

로울러의 갯수를 늘리면 (8)식의 A_T 와 a 는 증가하지만, 로울러시스템에서 실험적으로 측정된 유효접촉면적 a 는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 약간의 편차가 발생된다.

이러한 편차는 두가지로 추측되는데, 첫째는 상부로울러와 하부로울러에서 잉크와 산소의 평균접촉시간이 다를 수 있으며, 둘째는 최종로라에 잉크가 도달하기 전에 산소의 포화상태가 될 수 있기 때문이다. 또한 잉크내의 대류현상이 좋지 않은 고점도 잉크에 충분한 접촉시간을 부여하면, 잉크층의 표면에 계면저항이 존재하고, 농도구배가 무시되므로 유효접촉면적은 확산계수와 잉크층의 두께에만 영향을 받게된다. 따라서 침투설보다 격막설에 의존하는 경향을 보이게 된다. Fig. 8에서 나타난 편차는 잉크

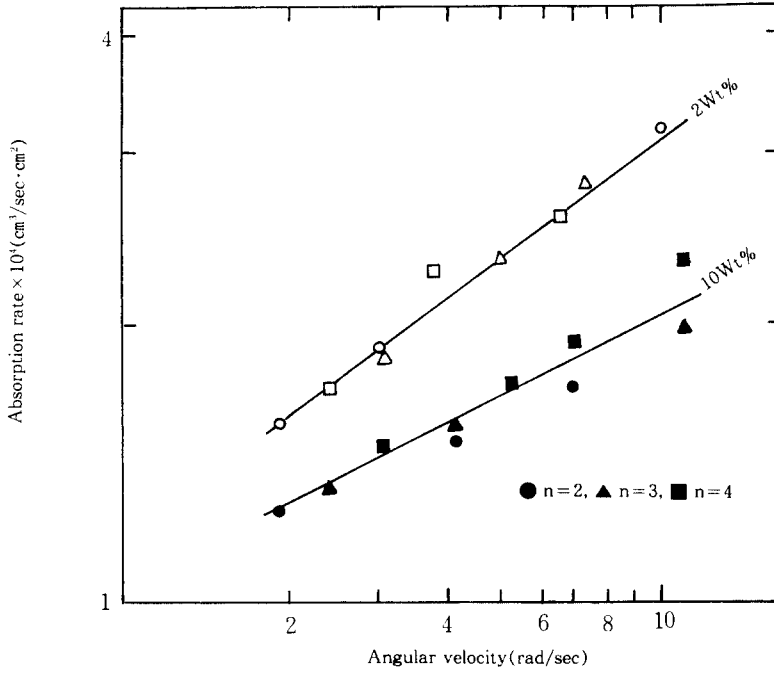


Fig. 6. Absorption rate of sample E and F different angular velocity and number of rollers.

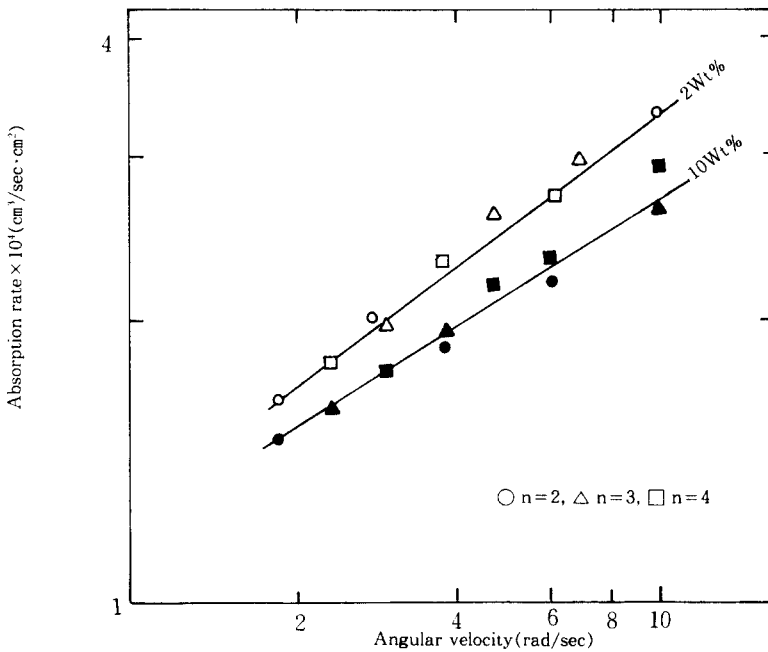


Fig. 7. Absorption rate of sample G and H different angular velocity and number of rollers.

층에 이미 흡수된 용존산소를 제거 하도록 Na_2SO_3 (단, 물리적인 흡수가 되도록 Hatta number(3을 확인)를 소량 첨가하면, 거의 무시될 수 있었다. 한편 잉크등을 각 로울러

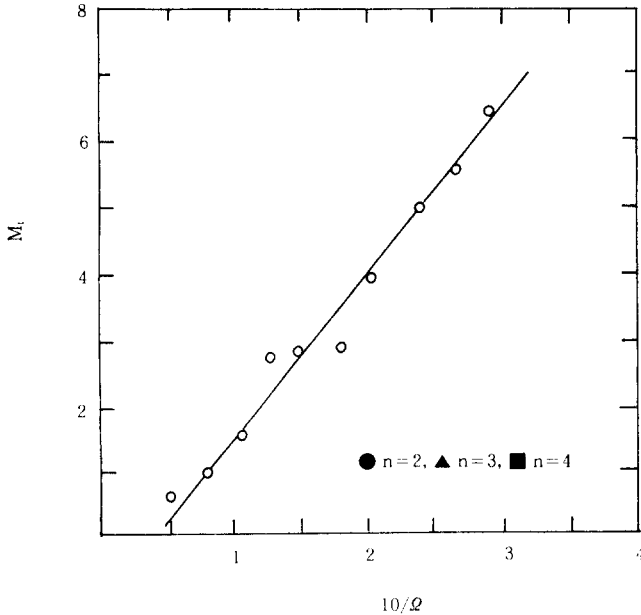


Fig.8 Dependence of mixing time on angular velocity of roller

에 공급하는 첫번째 로울러가 용액에 잠기는 부분이 적을때는 잉크층의 형성이 불량하며 너무 많을 때는 로울러의 양면까지 잠기게 되므로 장치상 문제를 고려하여, 최적잠김상태를 구하는 것이 필요하다.

이것은 약 42% 정도 잠기는 것이 적당하였고, 이때 perimeter 각도는 150°이었으며 용적물질전달 상수가 최대로 되도록 $d(K_1A)/d\theta=0$ 일때 구한 값과 일치하였다.⁽²¹⁾

4-4. 물리적인 특성의 상관관계

로울러 시스템에서 얻어진 잉크들에 대한 데이터들은 sherwood 수(Nsh)와 film Reynolds 수(N_{Ref}) 및 Schmidt 수(Nsc)의 관계로 나타 낼 수 있다. Fig. 9의 결과들은 약 15% 이내의 범위에서 다음과 같다.

$$Nsh = 1.05[N_{Ref} \times Nsc] \dots\dots\dots (10)$$

(10)식에서 d 는 로라들 전체를 한개의 커다란 로라로 생각하여, 접촉면적에서 부터 계산한 값을 사용하고, N_{Reff} 는 $4\Gamma/\mu$ 로써 Γ 는 로라의 단위길이당 유속을 나타낸다.

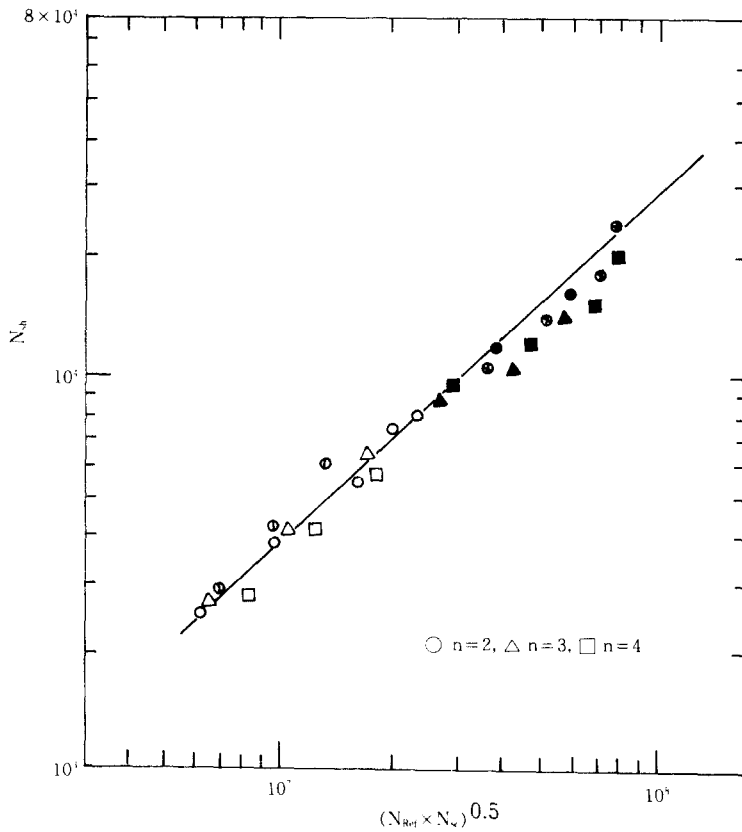


Fig.9 Correlation for mass transfer characteristics in RMR absorber.

5. 결 론

합성수지를 첨가한 수용성 잉크가 인쇄기상의 로울러에서 얇은 층을 만들어 회전할 때 공기중의 산소 흡수속도를 측정한 결과, 연결한 로울러의 숫자가 많을수록, 그리고 로울러의 회전속도가 빠를수록 흡수속도는 증가하며, 유효 접촉 면적도 증가함을 발견하였다.

또한 로울러 시스템에서 일어나는 기체흡수 현상은 회전속도, 액막의 종류, 필름두께, Nip에서의 영향 때문에 평면상의 필름에서 측정하는 것과 현저한 차이가 발견되었다.

이러한 결과들은 인쇄잉크의 건조모델 및 로라상 건조기구의 해석에 도움이 되리라고 사료된다.

NOMENCLATURE

| | |
|------------|--|
| A | : gas-liquid contact area, cm^2 |
| a | : effective gas-liquid contact area, cm^2 |
| C^*, C_0 | : saturated, initial concentration of solute in liquid, gmole/cm^3 |
| D | : diffusivity of solute in liquid, cm^2/sec |
| K_L | : liquid phase mass transfer coefficient, cm/sec |
| $K_{L,a}$ | : Volumetric mass transfer coefficient, cm^3/sec |
| l | : length of roller, cm |
| n | : number of roller |
| Q | : absorption rate, $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ |
| r | : radius of roller, cm |
| t | : gas-liquid contact time, sec |
| t_R | : average exposure time, sec |
| U | : surface velocity, cm/sec |
| V | : liquid volume, cm^3 |

Greek Letters

| | |
|----------|---|
| β | : nip area of rollers, cm^2 |
| Γ | : liquid flow loading/unit width perimeter, $\text{g}/\text{cm} \cdot \text{sec}$ |
| δ | : thickness of film, cm |
| θ | : angle characteristic for a distinct depth of immersion rad |
| μ | : viscosity, poise |
| ν | : kinematic viscosity, cm^2/sec |
| Ω | : angular velocity, rad/sec |

Dimensionless groups

| | |
|------------------|--|
| N_{Ref} | : film Reynolds number, $4\Gamma/\mu$ [-] |
| N_{ca} | : capillary number, $\mu\Omega r/\sigma_c$ [-] |
| η | : dimensionless surface tension, $\sigma_c/\rho(\text{g } \nu^4)^{-0.333}$ [-] |
| N_{sh} | : Sherwood number, $K_L d/D$ [-] |
| N_{sc} | : Schmidt number, ν/D [-] |

REFERENCES

1. Pitts, E. and Greiller, J.: *J. of fluid mechanics*, 12, 178(1962).
2. Hintermayer, J.C. and White, R.: *Tappi*, 48(11), 617(1965).
3. Merkine, L.O. and Solan, A.: *J. of fluid Mech.*, 92(2), 381(1979).
4. Luninski, Y., Baranea, D. and Taitel, Y.: *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 61, 621(1983).
5. Vijayraghvan, K. and Gupta, P.: *Ind. Eng. Fundm.*, 21, 333(1982).
6. Batchelor, G.K.: *Quart. J. and Applied Mech.*, 4, 29(1951).
7. Lee, Y.Y. and Mun, S.H.: *Chemical Industry and Technology*, 3(3), 257 (1958).
8. Charpentier, J.C.: *Advanced in Chem. Eng.*, 11, 1(1981).
9. Reith, T.: *British Chem. Eng.*, 15, 1559(1970).
10. Youn, J.T.: Ph. D Dissertation, Chungnam National Univ.,(1986).
11. Rhee, B.S.: *Report of Ind. Educ. Research Center*, 3, 10(1980).
12. Mashelkar, R.a. and soylu, M.A.: *Chem. Eng. Sci.*, 29, 1089(1974).
13. Lamourelle, A.P. and sandall, O.C.: *Chem. Eng. Sci.*, 27, 1035(1972).
14. Danckwerts, P.V. and Kennedy, A. M.: *Chem. Eng. Sci.*, 8, 201(1958).
15. Higbie, R.: *Trans. AIChE.(Chem. Eng. Prog)*, 31, 365(1935).
16. Kamal, M.R. and Canjar, L.N.: *Chem. Eng. Prog.*, 62, 82(1966).
17. Laurent, A. and Charpentier, J.C.: *Int. Chem. Eng.*, 23, 265(1983).
18. Wasan, D.T., Lynch, M.A., Chad, K. J. and Srinivasan, N.: *AIChE. J.*, 18, 928(1972).
19. Kawase, Y. and Ulbrecht, J.J.: *J. Appl. Electrochem.*, 13, 289(1983).
20. Sedahmed, G.H., Abdel-Shalik, A., Abdallah, A.M. and Farahat M.M.: *J. Appl. Electrochem.*, 1, 567(1979).
21. Ravetkar, D.D. and Kale, D.D.: *Chem. Eng. Sci.*, 36, 399(1981).