



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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

국산 신문용지의 인쇄압력에 따른
잉크침투깊이에 관한 연구



부 경 대 학 교 대 학 원

인 쇄 공 학 과

유 재 현

공 학 석 사 학 위 논 문

국산 신문용지의 인쇄압력에 따른
잉크침투깊이에 관한 연구

지도교수 윤 중 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



2009년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

인 쇄 공 학 과

유 재 현

유재현의 공학석사 학위논문을 인준함.

2009년 2월 25일

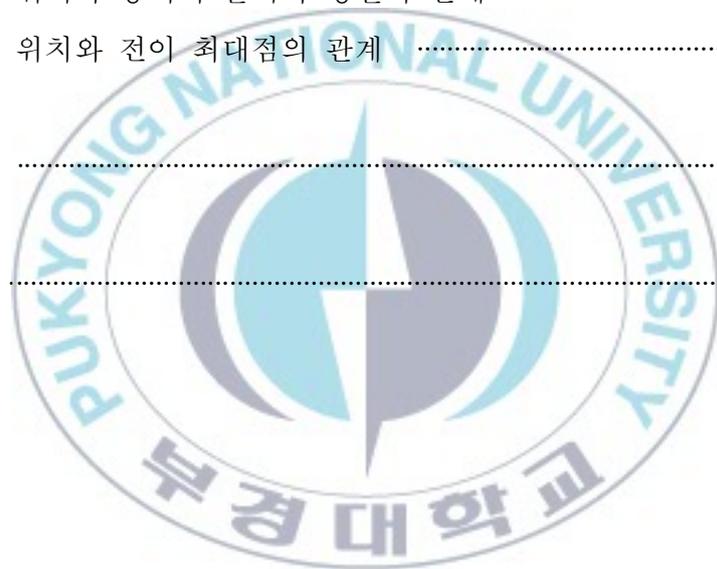


주	심	공학박사	구	철	회	
위	원	이학박사	이	상	남	
위	원	공학박사	윤	중	태	

목 차

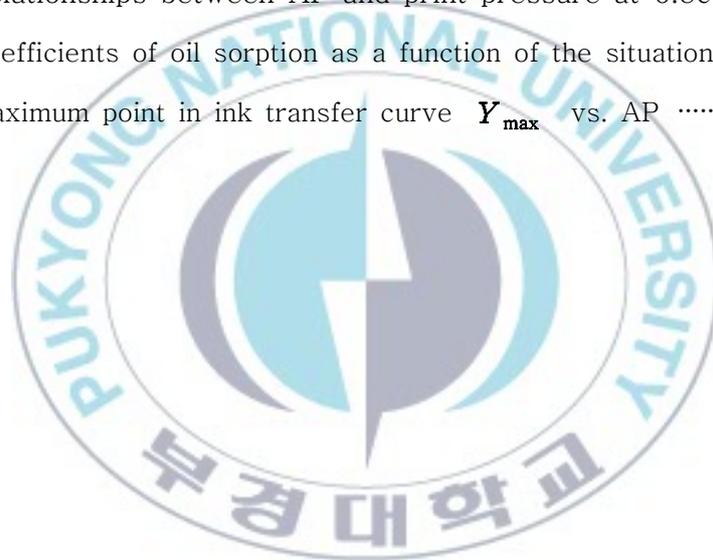
목 차	i
List of Figures	iii
List of Tables	iv
Abstract	v
I. 서 론	1
II. 이 론	4
1. 국산 신문 용지의 지료조성	4
2. 종이의 물성	5
가. 물리적 성질	5
나. 광학적 성질	6
3. 침투이론식	7
가. Lucas-Washburn의 식	7
나. Olsson and Phil의 침투방정식	10
4. 침투깊이 이론식	11
III. 실 험	14
1. 실험재료	14
가. 시료	14
나. 잉크	16

2. 실험방법	16
가. 인쇄 적성 실험	16
나. 인쇄농도 및 잉크침투깊이 측정	18
IV. 결과 및 고찰	19
1. 인쇄농도와 인쇄압력의 관계	19
2. 인쇄압력과 인쇄침투깊이와의 관계	23
3. 잉크의 전이율	25
4. AP의 위치와 종이의 물리적 성질의 관계	27
5. AP의 위치와 전이 최대점의 관계	28
V. 결론	29
참고문헌	30



List of Figures

Fig. 1. IGT printability tester.	17
Fig. 2. Relationships between density and print pressure at 0.8cc	20
Fig. 3. Relationships between density and print pressure at 0.2cc	21
Fig. 4. Relationships between density and print pressure at 0.8cc	22
Fig. 5. Relationships between density and print pressure at 0.8cc	23
Fig. 6. Relationships between AP and print pressure at 0.8cc	24
Fig. 7. Coefficients of oil sorption as a function of the situation of AP ...	27
Fig. 8. Maximum point in ink transfer curve Y_{\max} vs. AP	28



List of Tables

Table 1. Physical Properties of the Paper Sample	15
Table 2. Ink Y_{\max} on the paper at the maximum in ink transfer curve ...	26



**A Study on the Depth of Ink Penetration according to the Printing
Pressure in Domestic Newsprint Paper**

Jae Hyun Yoo

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

Abstract

Measuring ink penetration is one of the best ways to know paper printability. Ink penetration was effected by physical properties of newsprint paper. This study was carried out for the purpose of improvement printability with ink penetration of domestic newsprint paper.

The samples were prepared by means of 20 Newsprint paper manufacture company in Korea, and were tested by IGT printability tester. The results of this experiments showed that the depth of ink penetration according to the printing pressure. The maximum points in ink transfer curve and the coefficients of oil absorption of the papers also depend mainly upon the situation of anchor points.

I. 서 론

인쇄용지로 가장 많이 사용하는 종이는 다공성 재료이기 때문에 플라스틱 필름이나 금속박 등과 달리, 액체 흡수 특성이 토양이나 퇴적암석등과 공통된 성질을 가지고 있다. 즉, 종이는 섬유소로 되어 있으며 잉크는 액체와 안료의 분산체로 되어 있고, 인쇄 압력이 가해지는 동안 잉크는 모세관 현상과 부분적인 기계적 힘에 의해 용지 속으로 침투되기 때문이다. 특히, 단색 신문 인쇄물이나 은행권 인쇄물 등은 침투건조형 잉크와 일부 산화 중합 건조 방식을 채택하는 대표적인 예이며, 주로 비이클의 증발이 없고, 단지 종이 중 섬유소들의 network에 의해서 생긴 공간에 잉크의 기름 성분이 침투, 고착되어 건조되는 대표적인 예이다.

종이의 다공성 구조는 일반 종이의 특성인 흡수성, 투과성, 반사율, 불투명도, 압축성 및 조밀도 등과 직접 관련이 있다. 물론 종이의 인쇄적성은 이들의 성질뿐만 아니고 광택, 표면 강도, 치수안정성 등과 같은 광학적, 기계적 성질도 포함하고 있으나 본 논문에서는 주로 잉크가 침투된 깊이에 대한 품질효과에 관해서만 연구하였다.

다공성 재료에 침투되는 잉크 중의 비이클은 종이의 두께 및 횡방향으로 일정한 부분까지 침투되어 정지하는데, 정지한 위치에 따라서 인쇄물의 품질이 달라질 수 있다. 그 이유는 인쇄물의 투묘효과와 뒤비침(Print Through, 이하 PT), 묻어남(Rub Off, 이하 RO) 그리고 뒷문음(Set Off, 이하 SO) 등의 인쇄 품질 특성은 서로 상반되는 결과를 가져오기 때문이다. 또한 PT, RO 그리고 SO 등은 비도피지에 인쇄된 상업 인쇄에서 인쇄 품질에 영향을 주는 주요한 요인들이다.

이미 오래전부터 인쇄 분야의 선진국인 유럽과 미주에서는 그 나라에서 생산되는 인쇄재료들의 인쇄 적성의 검토를 위하여, 흑색 오프셋잉크를 시작으로 잉크 물성과 실험실적 민짜 인쇄의 인쇄 품질을 측정하였다. 그리고 그 결과에 따라서 잉크와 용지의 인쇄 적성을 맞추기 위한 참고자료로 활용하고 있다. 이와 같은 인쇄물은 주로 비도피지에 침투 및 산화 중합 건조 기구를 이용하여 인쇄를 하기 때문에, 인쇄물의 품질은 앵커포인트 (Anchor point, 이하 AP)¹⁾ 위치가 큰 영향을 미친다. 이 위치는 용지내의 잉크가 침투된 깊이를 과학적으로 표현하는 기준이 되기 때문에, 현재까지 이 분야에 관한 연구가 많은 다른 연구자들에 의해 수행되어 왔다.²⁾

1930년대부터 용지와 잉크 중 기름의 상호 작용을 알아보기 위해 투과 광과 용지의 이면의 반사율을 사용하였고, 1950년대에는 floatation 방법과 osilloscope를 이용하여 침투 현상을 체계적으로 연구하였다. 그 이후 용지의 광학적 특성에 대한 잉크 존재의 효과와 기름 분포에 관한 가정을 극복하기 위해 가로 방향의 분포를 보기 위한 연구가 sectioning 방법이라 하여 용지를 직각 또는 사각으로 자르는 방법이 많은 논문에 보고되어 있다. 최근에는 액체 질소 또는 드라이아이스 등으로 인쇄물을 냉각시켜서 자른 후, 그 단면에 침투된 잉크의 위치를 관찰하는 방법, microtome 방법 등이 많이 이용되고 있는 실정이다.^{3~9)}

그러나 이러한 잉크와 용지 사이의 침투 관계에 관한 연구들은 이론적이고 수학적인 배경에 응용되는 비교적 간단한 실험 결과를 얻기는 하였으나 실험상의 용지와 잉크간의 광학적 특성에만 치우친 단점을 발견할 수 있다. 또한, sectioning 방법을 이용한 연구 결과들은 용지가 섬유소로 이루어졌기 때문에 단면을 보기 위한 시료 제작에 많은 어려움이 있었다.

따라서 본 연구에서는 시간과 노력이 많이 들기는 하지만, 보다 정밀한 방법으로 시료를 제작하고, 앞서 다른 연구자들에 의해 연구된 광학적 방

법10~16)과 비교하며, 몇 가지 인쇄 적성을 검토하고자 하였다.

따라서 본 연구의 가장 궁극적인 목적은 국산 잉크와 종이에 대한 인쇄 적성의 이론적 근거를 제시하고, 인쇄적성상 이들 잉크와 용지가 가져야 할 기본 물성 범위를 밝히는데 있다. 연구 방법은 다른 연구자들이 수행했던 ASTM 및 TAPPI시험법17)과 유사하지만, 인쇄 조건을 변화시키면서 시험 인쇄하여 AP의 위치를 예측하고, 인쇄물의 품질을 주관 및 객관적 방법으로 검토하였다.



Ⅱ. 이 론

1. 국산 신문 용지의 지료 조성

신문 용지에서 요구되는 품질 특성은 크게 두 가지로 대별될 수 있는데, 첫째는 인쇄 공장에서의 생산성 향상과 안정한 작업성이다. 둘째는 독자의 서비스 향상에 관한 인쇄 적성이다. 이와 관련하여 보면, 1975년대 이전은 오목판 인쇄기의 시대로서, 신문용지에 있어서는 작업성보다 잉크의 착색성과 같은 인쇄 적성이 중요시 되었다. 따라서 용지의 강도는 떨어지지만 평활성이 높고, 탄력성이 있는 GP(groundwood pulp), RGP(refiner groundwood pulp)의 기계 펄프가 사용되었다. 그러나 1975년대 이후에는 인쇄면의 품질이 좋으면서 고속 인쇄가 가능한 오프셋 운전기가 도입되어, 용지에 있어서는 인쇄 적성보다 단재, 주름, 지분과 같은 작업성이 중시되었다. 따라서 강도가 좋은 KP(kraft pulp), TMP(thermo mechanical pulp)로 전환이 되었으며, 고지의 활용 면에서 DIP(deinking pulp)가 혼용 사용되기 시작하였다. 현재 국내에서 생산되고 있는 신문 용지의 지료 조성은 거의 DIP가 80~90%를 차지하고, 나머지가 TMP, KP 순으로 구성되어 있다. 하지만, 일본은 현재 43g/m² 경량지가 생산되고 있으므로 용지의 물리적인 강도 문제로 DIP의 사용을 최대 60%까지로 제한하고 있다.

2. 종이의 물성

종이에 있어서 물성이란, 각종 물리적 성질과 광학적 성질 그리고 기계 및 전기적 성질로 대별되어진다. 하지만, 기계 및 전기적인 성질은 본 실험에서 요구하는 인쇄 적성 연구의 주요 변수로서의 작용이 크지 않기 때문에 생략한다.

가. 물리적 성질

물리적 성질 중에서 종이의 평량(basis weight)은 각종 물리적 성질, 광학적 성질 및 전기적 성질에 영향을 미친다. 그리고 각각의 특성에 맞는 용지의 평량이 요구된다. 신문 용지의 경우는 저평량으로 롤 단위로 거래된다. 또한, 공기 중의 습기와 접촉하는 용지는 그만큼의 평량에 변화를 보여준다. 따라서 미국에서는 23℃에서 습도 50%를 기준으로 하고 있다.

종이 두께(thickness)는 두께 자체보다는 두께의 균일함이 더욱 중요시되고 있다. 밀도(bulk density)는 종이의 투기성, 물리적 강도 및 광학적 성질 등을 좌우하며, 그 크기는 섬유의 펄프화 정도와 방법, 리파이닝(refining) 정도와 유연성에 크게 의존한다. 밀도의 증가는 투기성과 불투명도를 떨어뜨리며 강도를 증가시키는 경향이 있다. 하지만, 강도 중에서 인열강도는 떨어지는 경향이 있다.

종이의 기공도(porosity)는 잉크의 수용성에 크게 영향을 주는 인자로서, 침투건조를 기본으로 하는 신문 용지에서는 기공도가 아주 중요한 변수로 작용한다. 또한 종이의 평활성(smoothness)과 거칠기(roughness)는 상호 반비례적인 관계를 나타낸다. 평활도는 종이의 외관을 수려하게

만들기 때문에 인쇄 적성에 아주 중요한 특성중의 하나이며 종이의 광택에 많은 영향을 준다. 종이의 평활도 증가를 위하여 코팅 처리 및 칼렌더링 처리를 한다.

나. 광학적 성질

광학적 성질은 종이의 외관을 크게 좌우하기 때문에 용지에서 중요한 성질로 간주된다. 외관뿐만 아니라 용도에 부합되는 성질을 부여하는 주요 광학적 성질로는 색, 백색도, 불투명도 및 광택 등이 있다.

광택(gloss)은 빛을 정반사하는 물질 표면의 성질로, 종이 표면은 평활도와 인쇄품질과 밀접한 관계를 가지고 있다. 광택은 입사된 빛의 반사량을 측정하여 기준면에 대한 비의 백분율로 표시한다.

종이의 백색도(brightness)는 밝기 또는 종이의 전반적인 반사 특성을 의미한다. 실제의 백색도는 펄프의 표백 정도를 평가하기 위하여 고안된 것이다. 백색도와 화이트니스(whiteness)는 그 의미의 사용이 일반적으로 같지만 엄밀히 구분해서 백색도는 밝음이라는 의미에서 명도의 의미가 크게 작용하고, 화이트니스는 의미 그대로 어떤 물질의 하얀 정도를 표시한다. 백색도에 영향을 많이 주는 것으로는 펄프의 표백만이 아니라 염료, 착색 안료, 충전용 안료 및 불순물이 주요한 인자로 고려된다.

종이의 불투명도(opacity)는 종이에 의하여 투과된 빛의 양에 의해서 결정된다. 종이의 경우 대부분 빛이 산란과 확산 투과되는 특성을 지니고 있기 때문에 투명체라기보다는 오히려 반투명체에 속한다. 불투명도의 측정은 반사율을 측정하는 장치면 모두 사용이 가능하나, 측정값이 광원의 특성, 빛의 조사 및 측정 구조, 백킹(backing)재료의 반사 특성 등에 의하여 달라지기 때문에 표준화된 불투명도를 얻기 위해서는 측정장치의 표준화가

필요하다. 따라서 불투명도 측정을 위하여 TAPPI, SCAN, ISO, CPPA, APPITA, JIS, KS 등 각 표준 측정 방법에서 측정 장치 및 방법에 대해서 규정하고 있다.

3. 침투이론식

잉크의 침투에 관하여 1921년에 Lucas & Washburn 은 모세관 현상을 기초로 하여 침투 깊이는 시간의 평방근에 비례하고, 점도의 평방근에 반비례한다는 침투 이론식을 발표하였다. 또, 1954년에 Olsson & Phill은 잉크의 침투가 인쇄압과 같은 외부압력에 의해서 일어난다는 것에 착안하여, 모세관의 평균반경이 일정할 때, 압력의 평방근, 인쇄압력, 시간의 평방근에 정비례하고, 점도의 평방근에 반비례한다는 실험결과를 증명 발표하였다.

가. Lucas-Washburn의 식

종이 중에 잉크가 침투해 들어가는 현상은 pipe를 통과하는 유체의 흐름에서 점도를 구하는 Hagen-Poiseuille의 식을 이용할 수 있다. 즉, 작은 원관을 일정 시간 t 내에 통과하는 액체의 량 v 는, 관의 반경 r 의 4승과 관의 양 끝에 걸리는 압력차 Δp 에 정비례하고, 관의 길이 L 과 액체의 점도(viscosity) η 에 반비례한다.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta L} \quad (1)$$

이와 함께 종이는 다공질이므로 많은 모세관을 가지고 있어서 액체의 접촉각과 모세관 현상에 대한 일반식을 사용할 수 있다. 모세관 현상에 관한 식은 식(2)과 같다.

$$h = \frac{2\gamma\cos\theta}{r\rho g} \quad (2)$$

지금 물이 가지는 접촉각 θ 가 90보다 작은 경우를 생각하면, 외측의 액면보다 높고 액체의 관변에서 접촉하는 점 A는 액체의 표면 장력 γ 가 벽면 θ 의 각을 이루는 방향으로 당기고 있다. 따라서 여기에 액체가 올라오게 되는 것이다.

즉, 전술한 Hagen-Poiseuille의 식은 압력차에 의해서 움직이는 액체의 유량에 관계되고, 모세관 현상의 식은 그 최대 압력차를 나타내며, 동시에 그 압력차에 의해 올라간 높이를 나타낸다. 따라서 관의 양쪽 압력차는 표면장력에 의하여 위로 당겨지는 힘(관의 위쪽에서 압력)과 중력(관의 아래쪽에 압력)의 차이가 된다. 이것이 관의 단면적에 반비례하므로 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta P = \frac{2\pi r\gamma\cos\theta - \pi r^2\rho gh}{\pi r^2} \quad (3)$$

또, 유량은 모세관현상에 관한 식에서는 단면적과 높이의 곱으로 표현될 수 있으므로,

$$dv = \pi r^2 dh \quad (4)$$

가 된다. 따라서 식(3)과 식(4)을 식(2)에 대입하여 다시 쓰면 식(5)과 같다.

$$\frac{dh}{dt} = \frac{2r\gamma\cos\theta - r^2\rho gh}{8\eta h} \quad (5)$$

즉, 식(5)은 모세관 위로 올라가는 액체의 상승속도를 표시하게 된다. 그러나 침투되는 높이의 극한 h 는 $dh/dt=0$ 이므로,

$$h_{\infty} = \frac{2\gamma\cos\theta}{r\rho g} \quad (6)$$

식(6)은 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$\frac{dh}{dt} = \frac{r^2\rho g(h_{\infty} - h)}{8\eta h} \quad (7)$$

이것을 적분하여 정리하면 다음과 같다.

$$\int_0^t dt = \frac{8\eta}{r^2\rho g} \int_0^h \frac{h}{h_{\infty} - h} dh \quad (8)$$

$$\therefore t = \frac{8\eta}{r^2\rho g} \left[-h - h_{\infty} \ln\left(1 - \frac{h}{h_{\infty}}\right) \right] \quad (9)$$

이 식은 모세관의 최대 높이까지 올라가는데 걸리는 시간이다. 여기서 $h/h_{\infty} < 1$ 이기 때문에 대수의 부분을 전개하면,

$$t = \frac{8\eta}{r^2 \rho g} \left(-h + h + \frac{h^2}{2h_\infty} + \frac{h^3}{3h_\infty} \dots \right) \quad (10)$$

또, h_∞ 를 원래대로 써보면,

$$t = \frac{2\eta h^2}{r\gamma \cos \theta} + \frac{2\eta \rho g h^3}{3\gamma^2 \cos \theta} \quad (11)$$

$h \ll h_\infty$ 라고 생각하면, 위 식에서 제 2항 이하를 무시할 수 있다. 그러므로

$$h = \sqrt{\frac{r\gamma \cos \theta t}{2\eta}} \quad (12)$$

이 얻어진다. 이 관계식을 Lucas-Washburn의 식이라고 한다.

이 식을 종이에 침투하는 것으로 설명하면, 잉크와 종이 중 섬유의 접촉 각은 $\theta=0$ (즉, $\cos \theta=1$)이고, 또 r 은 모세관의 평균 반경(average radius) \bar{r} 표시한다면, 식(12)과 같이 쓸 수 있다.

$$h = \sqrt{\frac{\bar{r}\gamma t}{2\eta}} \quad (13)$$

나. Olsson and Phil의 침투방정식

식(13)은 순수한 모세관 현상에 의한 것인데, 여기에 인쇄 압력과 같은 외부 압력이 첨가된다고 생각하면 우선 식(13)을 약간 변형시키는데, 근호 내의 분자 분모에 2π 를 곱해서 분자가 $2\pi r\gamma \cos \theta$ 가 되도록 하면 모세

관 현상에 의한 힘이 된다.

여기에 외부에서 가한 압력 p 를 더하는데, 압력은 단위면적당 가해지는 힘이므로, 힘만 더하려면 $F = \pi r^2 p$ 가 된다.

$$h = \sqrt{\frac{(2\pi\gamma\cos\theta - \pi r^2 p) * t}{4\pi\eta}} \quad (14)$$

$$h = \sqrt{\frac{(2r\gamma\cos\theta - r^2 p) * t}{4\eta}} \quad (15)$$

이 식을 실제 인쇄에 적용하는 경우에, 인쇄압력 p 는 모세관 압력인 $(2r\gamma\cos\theta)$ 보다 매우 크기 때문에, 인쇄하는 순간에 잉크가 종이에 침투하는 침투 깊이 h 는 다음과 같다.

$$h = \sqrt{\frac{r^2 p}{4\eta}} \times t \quad (16)$$

식(16)은 잉크가 압력에 의해 침투되어 들어갈 때 모세관의 평균 반경 \bar{r} 가 일정하다면 잉크가 용지 속으로 들어가는 깊이는 인쇄 압력의 평방근, 인쇄시간의 평방근 등에 정비례하고, 점도의 평방근에는 반비례한다. 라고 표현할 수 있다. 이것을 Olsson and Phil의 식이라고 한다.

4. 침투깊이 이론식

인쇄 뒤비침 현상에서 종이 내부로의 잉크 침투 깊이는 중요 요소로 작용하며, 특히 침투 건조형 잉크에서 잉크 침투 깊이는 여러 인쇄 품질을 좌우하는 특성 중 하나로 알려져 있다. 잉크 침투 깊이는 여러 인쇄 품질

을 좌우하는 특성중 하나로 알려져 있다. 잉크 침투 깊이는 Kubelka-Munk의 이론식¹⁸⁾에 의해 측정 가능하며, 이 이론의 가장 큰 특징은 두 가지의 광학적인 상수를 사용했다는 점과 농도법을 이용했다는 점이다. 두 가지 상수는 비분산계수(specific scattering coefficient)S와 비흡수계수(specific absorption coefficient)K이다. 비분산계수의 단위는 두께(아주 작은 두께)당 빛에너지가 흡수되는 한계 값이고, 비흡수계수는 단위두께에 역방향으로 분산되는 빛에너지의 한계 값이다. Kubelka-Munk의 이론식은 종이나 잉크의 성분이 일정하다고 가정하기 때문에 종이 중에 필러의 성분이 증가하면 오차가 많이 발생된다. 어쨌든, 이 비분산계수에 종이의 두께 X를 곱하면 종이의 분산력이 되고, 반면에 비흡수계수를 곱하면 종이의 흡수력이 된다.

종이 속으로 들어가는 잉크 중 기름의 침투 속도를 측정하는 방법은 x를 잉크 피막 내부의 두께라고 하고, 미소두께 변화를 dx라고 하며, 이 점 위에서 위와 아래의 광산란 속도를 i와 j라고 하면 여기서 dx의 두께는 얇지만 잉크 중의 안료 입자의 직경보다는 충분히 크다고 가정한다. K가 기름의 흡수계수를 나타내고, S가 산란계수를 나타낼 때, 이 층을 통과하는 광중에서 하향하는 광속 i가 흡수되는 것은 $Kidx$ 이고, 또 역방향으로 산란되는 것은 $Sidx$ 로 가정한다. 여기서 위 방향의 광속 j도 똑같이 흡수, 산란하는데 이것은 $Kjdx$ 또는 $Sjdx$ 이다. 이것들은 식(17),(18)로 표현된다.

$$-di = -(S+K)idx + Sjdx \quad (17)$$

$$dj = -(S+K)jdx + Sidx \quad (18)$$

이 연립방정식을 풀어서 얻은 식을 Kubelka-Munk의 이론식이라 하며, R을 인쇄물의 반사율, R_{∞} 을 잉크의 피막의 반사율, R_g 를 피인쇄체의 반

사율이라고 한다면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{\frac{1}{R_\infty}(R_g - R_\infty) - (R_g - \frac{1}{R_\infty})\exp S_x (\frac{1}{R_\infty} - R_\infty)}{(R_g - R_\infty) - (R_g - \frac{1}{R_\infty})\exp S_x (\frac{1}{R_\infty} - R_\infty)} \quad (19)$$

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_\infty)^2}{2R_\infty} \quad (20)$$



Ⅲ. 실험

1. 실험재료

가. 시료

종이는 현재 국내에서 시판되는 국산 신문용지와 이와 유사한 비도피지 20 종을 수집하여 각각의 물리적 특성을 측정 후 사용하였다. 그 종이들의 물성 측정 결과는 Table 1 과 같다.

종이의 수집은 특별한 주문을 하지 않았으며, 여러 가지 다른 조건에서 인쇄가 되도록 용지의 물성이 차이가 있는 재료들을 선택하였다.

용지의 두께는 Lorentzen & Wetter Thickness tester로 KS M ISO 534(구 KS M 7021) 시험법¹⁹⁾에 준하여 측정하였고, 밀도는 두께와 평량에 의한 식(8)에 의하여 구하였다.

$$\text{밀도}(g/m^3) = \frac{\text{평량 } W(g/m^2)}{\text{두께 } T(mm) \times 1000} \quad (21)$$

거칠기와 기공도는 parker print surface 78(model 2041, 일본)로 측정, 용지의 K&N흡유도는 TAPPI useful method 553 시험법에 준하여 측정하였다.

Table 1. Physical Properties of the Paper Sample

No. of Sample	Density (g/cm ³)	Basis weight (g/m ²)	Roughness (μ m)	Porosity (ml/min)	Thickness (μ m)	K&N absorption (%)
1	0.67	46.3	4.82	223	68.8	32.39
2	0.71	47.2	4.17	248	66.3	30.82
3	0.78	46.0	4.11	452	59.1	26.89
4	0.75	45.7	3.65	320	61.2	30.35
5	0.70	46.7	3.48	334	66.3	30.04
6	0.69	46.6	3.78	598	67.1	28.58
7	0.68	46.6	4.27	281	68.6	27.56
8	0.68	45.7	4.26	218	67.0	30.85
9	0.69	46.2	4.61	263	67.3	30.82
10	0.68	45.7	4.30	310	67.4	25.87
11	0.72	48.3	4.36	265	67.2	24.81
12	0.70	47.1	4.20	250	67.5	26.57
13	0.65	44.6	4.51	340	68.4	27.38
14	0.77	47.7	4.86	550	62.1	22.81
15	0.69	46.6	3.55	334	67.3	26.31
16	0.68	46.5	4.12	462	68.4	27.22
17	0.69	44.4	4.00	358	64.4	22.25
18	0.65	44.5	4.10	452	68.4	29.91
19	0.68	44.4	3.78	320	65.2	25.43
20	0.68	44.8	3.65	334	66.3	25.49

나. 잉크

잉크는 국내에서 시판되는 상용 흑색 오프셋잉크를 포함 20종 수집하여 물성 측정을 하였으며, 그 물성들의 평균값이 국산 오프셋 신문잉크의 일반적인 특성으로 간주하여 평균물성의 잉크를 조제 하였다. 이 잉크들의 물성은 Ferranti-Shirley의 cone and plate 점도계로 측정²⁰⁾하였는데, 조건은 온도 23℃, 전단속도 1000 sec⁻¹ 에서 최저 2.0, 최고 10.7, 평균 약 6.4 (변동 계수 37%) 이었고, tackoscope 측정값은 같은 온도에서 잉크두께 3 μm, 회전속도 2 m/sec, 측정시간 30 sec 일 때 최저 38, 최고 170 으로서 평균값은 106 (변동계수 24%) 이었다. 잉크의 연육도는 grindometer 로 측정하여 3개의 최대입자가 보이는 지점은 최저 10, 최고 50 정도로 평균 25 μm(변동계수 35%), 입자의 군은 평균 약 15 μm (변동계수 35%) 이었다. 또한 잉크의 구성 성분은 안료 10~20%, 로진변성페놀 및 석유계수지가 20~25%, 석유계의 고비점용제 50~60%, 식물유 10%, 첨가제 5~10%이었다.

2. 실험방법

가. 인쇄 적성 실험

잉크 중에 있는 안료와 비이클의 분리현상에 의해 인쇄 후 품질에 많은 영향을 받게 된다는 점을 고려해야 했다. 따라서 다음과 같은 세 가지의 방법으로 실험하였다. 즉, 첫 번째 실험법은 일반 오프셋잉크로 인쇄 후

25시간 뒤에 Larsson²¹⁾등과 같이 기름을 제거하는 방법으로 실험하였고, 두 번째의 실험은 미리 잉크의 제조 시 단순한 흑색 염료를 첨가하여 비이클이 착색되어 분리되지 않도록 하는 염료형 잉크를 사용하는 실험을 하였다. 세 번째는 가장 많이 사용하는 Tappi 용지 침투시험법에 따른 K&N 표준 시험잉크 (미국 K&N Lab. IL 제공)를 사용하였다.

인쇄적성을 보기 위한 시험기는 IGT를 사용하였으며, 모두 종이의 전면 에 인쇄하였다. IGT의 disc는 고무를 사용하였고, IGT는 고정된 인쇄 속도 0.3m/s에서 인쇄 압력을 100N에서부터 600N까지 100N 단위로 압력을 증가하여 인쇄하였다. 잉크의 전이된 잉크의 양은 rubber disc에 묻은 잉크의 양을 인쇄 전후 각각 전자저울로 측정하여 계산하였으며 이 차이를 잉크의 전이량으로 나타내었다. 인쇄실의 환경은 20 ± 1 °C, 습도 17 ± 5 %였다.



Fig. 1. IGT printability tester.

나. 인쇄농도 및 잉크침투 깊이 측정

시료측정방법은 X-Rite 428 반사농도계를 사용하여 농도를 10회에 걸쳐 측정하였으며, 그 잉크 침투깊이는 광학현미경을 통한 실측정 방법으로 측정하였다.



IV. 결과 및 고찰

1. 인쇄농도와 인쇄압력의 관계

인쇄농도와 인쇄압력의 관계를 앞서 다른 많은 이론과 선행연구에서도 알려져 있듯이 인쇄농도와 인쇄압력은 아주 밀접한 관계를 가진다. 실험한 인쇄 농도와 잉크 압력과의 관계에 관한 데이터를 Table 2에 나타내었다. 여기서 인쇄 시 압력의 변화를 주어 인쇄농도의 변화를 알아보고자 하였으므로 인쇄 잉크의 전이량 0.2cc에서부터 0.8cc까지 0.2단위로 인쇄를 하였으며 Fig. 2의 그래프를 보면 0.8cc에서의 인쇄압력에 따른 농도변화를 볼 수 있었다.

Fig. 2에서는 20개의 시료 중 특성이 비슷한 것을 제외하여 비교하여 분석이 용이할 수 있도록 하였다. 인쇄압력이 높아질수록 인쇄 농도는 높아짐을 볼 수 있는데 그 차이가 다소 다름을 알 수 있었다. sample 1은 기울기가 제일 높은 것으로 미루어 보아 K&N 흡유도가 제일 높은 값을 지니고 있음을 알 수 있다. 이는 신문용지는 잉크를 흡수하는 성질이 큰 비도포지로서 잉크를 순간 흡수하는 능력이 다른 시료들에 비해 크다고 할 수 있다. 또한 다른 sample 2와 sample 9등을 보아서도 K&N 흡유도가 인쇄 시 잉크의 순간 흡수 능력과 관계가 있다고 할 수 있다. 0.2cc에서 0.6cc까지의 잉크 변화에 따른 인쇄압력과 농도의 관계를 Fig. 3에서 Fig.5까지 나타내었다.

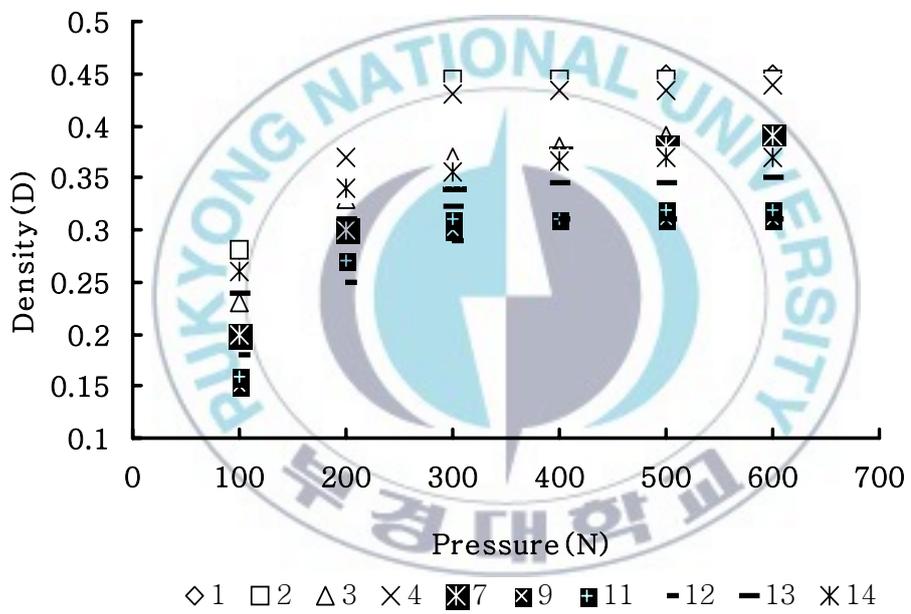


Fig. 2. Relationships between density and print pressure at 0.8cc.

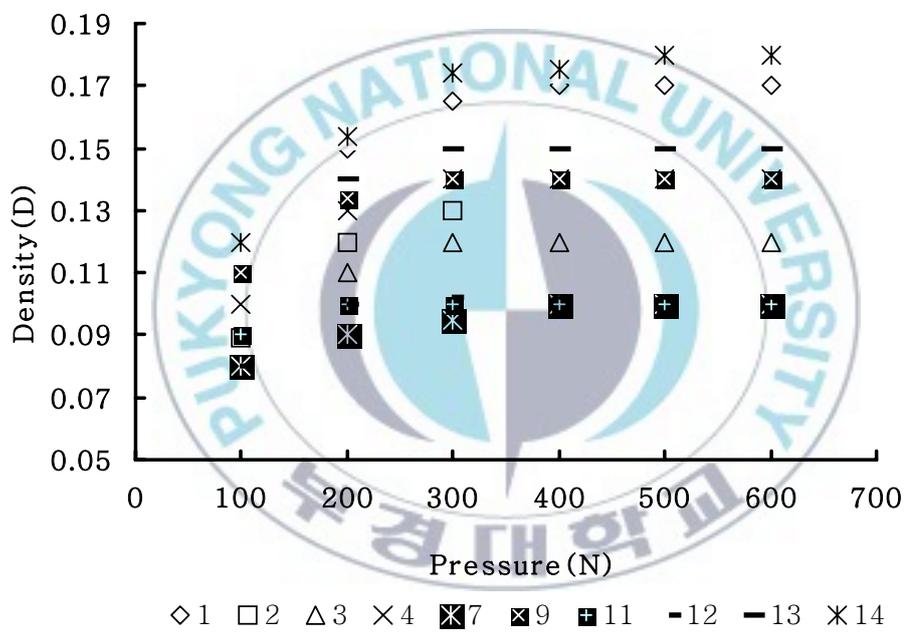


Fig. 3. Relationships between density and print pressure at 0.2cc.

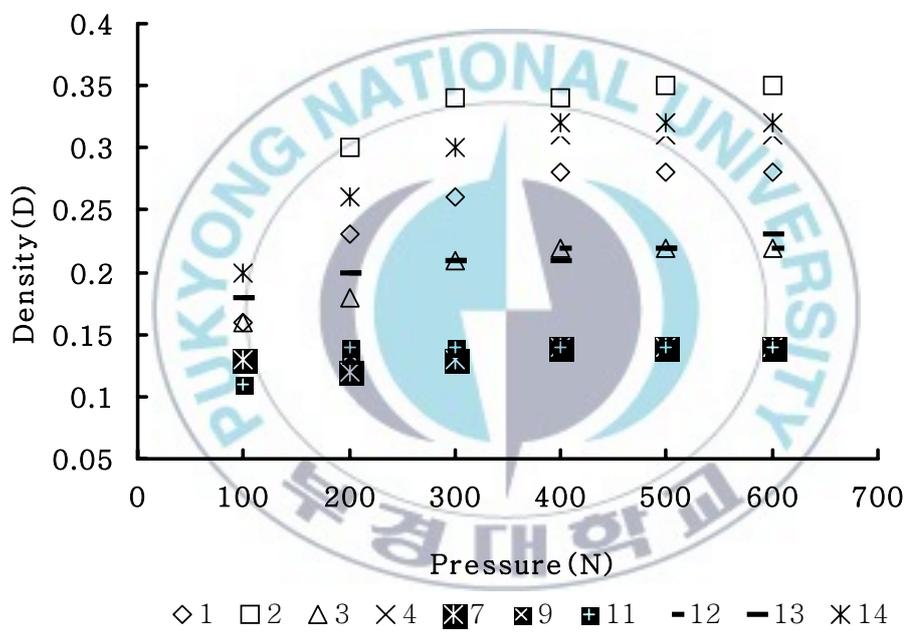


Fig. 4. Relationships between density and print pressure at 0.4cc.

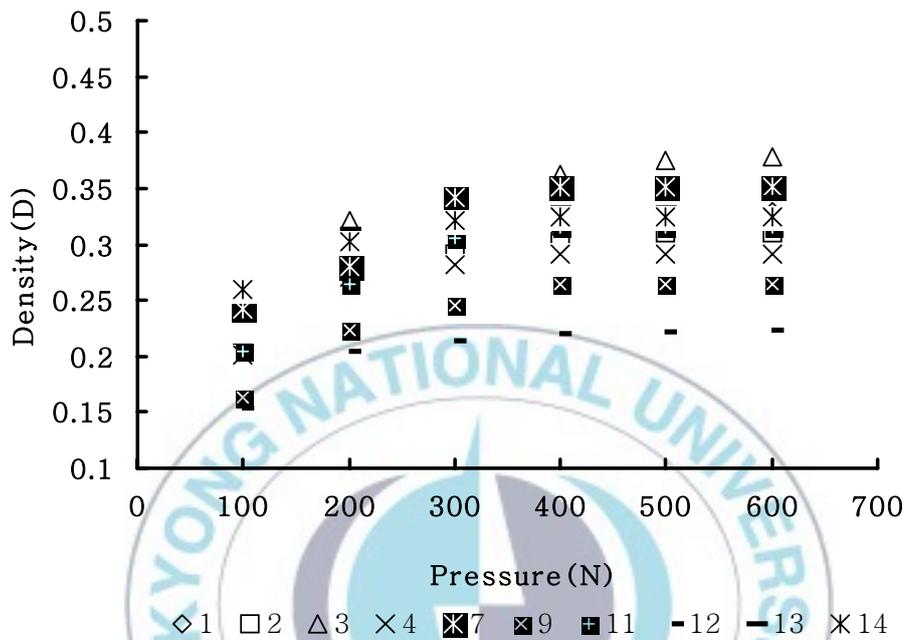


Fig. 5. Relationships between density and print pressure at 0.6cc.

2. 인쇄압력과 인쇄침투깊이와의 관계

인쇄압력은 앞서 말한바와 같이 100N에서 600N까지의 범위로 100N 단위씩 증가하여 인쇄를 측정하였다. 신문용지의 잉크침투 깊이는 광학적 방법을 통한 방법과 수치적 해석을 통한 방법으로 측정이 가능하나 여기서는 현미경을 통한 실 측정²²⁾을 한 값을 나타내었다. 각 시료마다 두께가 다르기 때문에 비교를 위해서 AP의 위치에 따른 값으로 나타내었다.

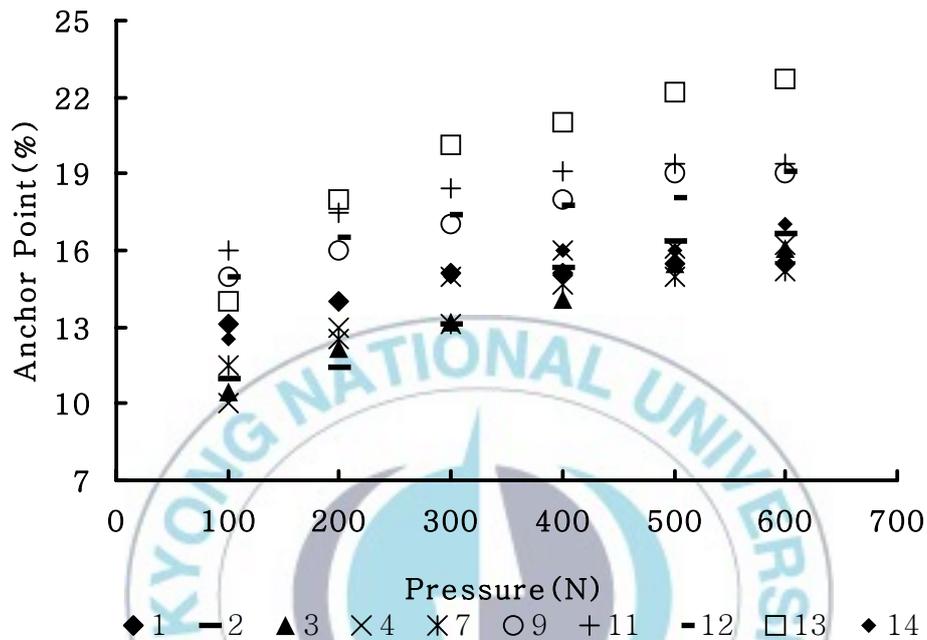


Fig. 6. Relationships between AP and print pressure at 0.8cc.

전체적인 AP값의 범위는 10에서 25안으로 위치하고 있다. AP의 위치에 따른 각 sample은 다양한 모습을 보이고 있는데 특히 sample 13을 살펴보면 인쇄의 밀도가 다른 시료에 비해 상대적으로 낮은 반면에 거칠기는 높은 편에 속하여 인쇄 압력에 따라서 AP의 위치가 영향을 받는 것이 눈에 띈다. 다른 sample들도 압력에 따라서 AP가 변화함을 볼 수 있었다. 기울기는 다양하지만 초기에 인쇄압력에서 기울기 변화가 크게 나타남을 알 수 있었다. 이는 인쇄용지의 특성상 거칠음도와 기공도 그리고 K&N 흡유도와 상관관계를 가진다고 할 수 있겠다.

3. 잉크의 전이율

수집된 평균 잉크의 전이율 곡선을 검토한 결과, 전이 최대점에서 용지에 전이된 잉크의 양은 Table 2와 같다. 이 값들은 잉크에 의해서 용지를 완전히 피복시키는 양에 해당한다. 즉, 실험실적인 IGT를 이용하였을 경우 용지에 전이되는 전이율은 별로 큰 차이 없이 양호하다는 것을 알 수 있었다. 이 결과들을 가지고 잘 알려진 Walker-Fetsko의 잉크 전이방정식²³⁾에 의하여 각각의 전이정수를 검토해 본 결과, Carlsson²⁴⁾의 결과와 큰 차이가 없었다.

잉크가 종이의 표면을 완전히 피복시키는 방법은 두 가지로 생각할 수 있는데, 첫째는 인쇄 후 잉크가 종이의 섬유소들을 적심으로서 완전한 피복 면적비를 점점 크게 만드는 것이다. 그러나 본 실험 잉크는 초기에 잉크의 set가 급격하지 않을 뿐만 아니라, 잉크와 종이의 접촉각이 0이 아닌 단지 잉크 점도가 낮아서 Carlsson과 Lindberg²⁵⁾가 지적한 것처럼 얇은 잉크 피막이 수축하여 모세관의 속으로 들어가지 못한 상태임을 추측할 수 있다.

종이의 표면에 전이되는 잉크의 양이 많을수록 민짜 인쇄의 종이표면 피복 면적이 늘어난다. 그러나 그 양은 전이 최대점 Y_{max} 에 도달할 때까지만 해당된다. 이것을 현미경으로 관찰하면 종이 표면에 노출된 섬유소를 완전히 덮는데 필요한 잉크의 양이라는 것을 알 수 있다.

인쇄농도가 1.0이라는 것은 모든 인쇄하는 사람들의 목표에 가깝다. 인쇄농도를 더욱 높게 하기 위해서는 완전히 피복된 잉크 층의 두께에 관계가 있고, 대체로 IR이 1.0이상 되기 위해서는 Y_{max} 이상의 잉크가 필요하다. 잉크 층의 두께는 용지의 표면에 적층될 수도 있지만, 섬유소 속으로

침투된 얇은 잉크 층이 AP 까지 섬유소를 적시고 있어도 같은 효과를 갖게 될 것이다.

Table 2. Ink Y_{max} on the Paper at the Maximum in Ink Transfer Curve

No. of Sample	1	2	3	4	5
Y_{max}	2.46	2.74	2.3	2.4	3.47
No. of Sample	6	7	8	9	10
Y_{max}	2.15	2.04	2.2	2.51	2.61
No. of Sample	11	12	13	14	15
Y_{max}	2.18	2.39	2.35	2.41	2.34
No. of Sample	16	17	18	19	20
Y_{max}	2.94	2.35	2.38	3.1	2.28

* Units are gram of ink per square meter of paper.

실제 인쇄기에서 인쇄농도를 1.0으로 올리는 데는 약 $2\sim 3\text{ g/m}^2$ 정도의 잉크가 소요되는데, 이때는 오프셋인쇄기의 인쇄 속도를 매우 느리게 운전해야 한다는 것을 알 수 있다. 가끔 인용되는 값인 인쇄 농도 1.4는 종이의 표면에 상식적인 잉크 필름 두께를 가지고는 잘 얻어지지 않았다.

4. AP의 위치와 종이의 물리적 성질의 관계

AP가 형성된 위치와 대부분 종이의 물리적 성질은 서로 상관관계를 발견할 수 없었다. 이것은 간단한 기계와 실험에 의해서 인쇄품질을 예측할 수 없다는 것이 일반상식으로 되어 있기 때문에 특이한 점은 아니다. 하지만 앞서 많은 선행 연구들의 논문을 살펴보면 AP의 위치는 피인쇄체의 기공도 및 흡유도 등과 관련이 있다고 한다. 본 실험결과에서는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 시간의 제곱근과 유흡수량의 비례상수인 값과 AP의 위치 사이에 직선적인 반비례 관계가 있음을 발견할 수 있었다. 그 이유는 유흡수능력과 잉크의 setting 시간에는 서로 밀접한 관계가 있고, 또 종이의 기름 흡수량이 빠른 용지일수록 잉크의 침투깊이가 깊어지기 때문인 것으로 생각된다.

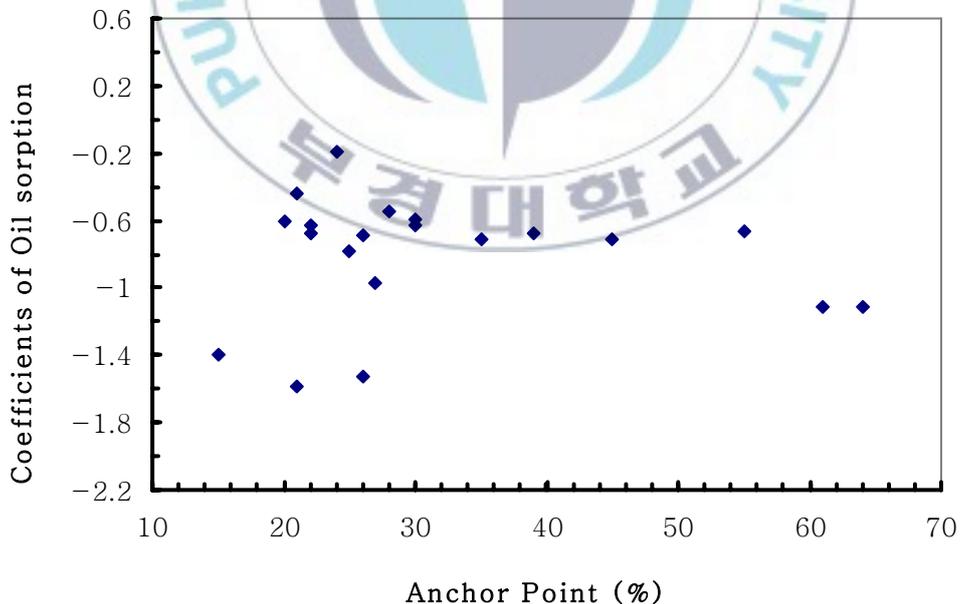


Fig. 7. Coefficients of Oil sorption as a function of the situation of AP.

5. AP의 위치와 전이 최대점의 관계

Fig.5는 전이 최대점과 AP의 위치의 관계이다. 그들 사이에는 상관계수가 작기는 하지만 정비례 관계가 있다. 그 이유는 표면을 피복하는 잉크의 양의 대소에 관계되기 때문으로 생각된다. 예를 들어 표면이 작은 양의 잉크로도 종이 표면을 완전히 피복된다고 가정하면 AP가 얇은 곳에 형성된다는 의미가 된다.

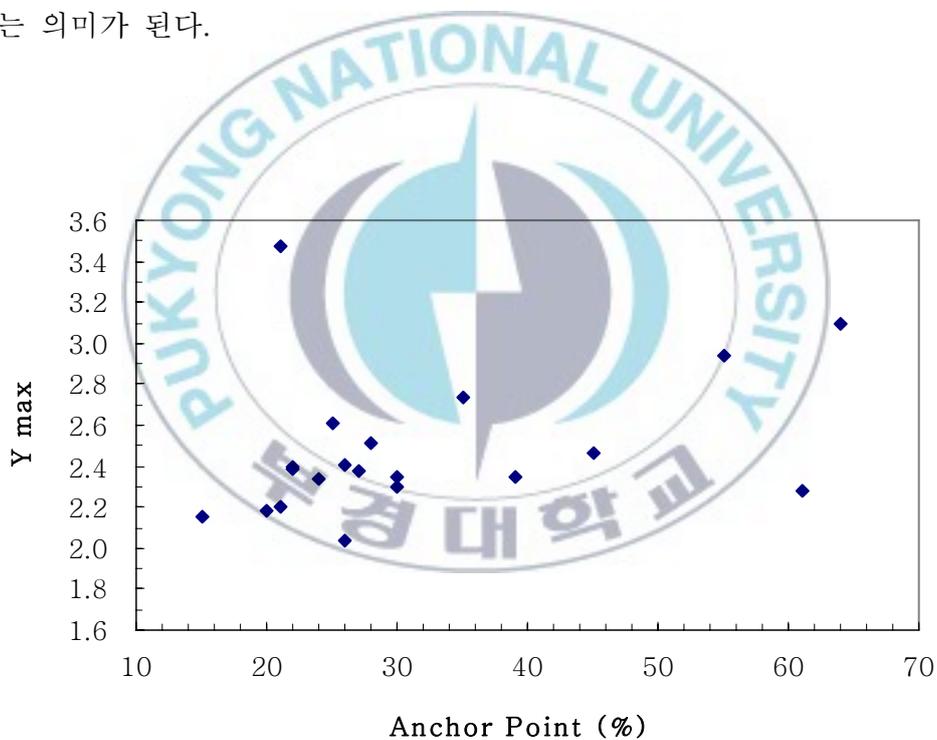


Fig. 8. Maximum point in ink transfer curve Y_{\max} vs. AP.

V.결 론

20여종의 국산신문용지를 수집하여, 인쇄압력에 따른 인쇄농도를 측정하기 위해 IGT 인쇄적성실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인쇄압력이 증가할수록 인쇄농도도 증가하며 그 관계는 처음에는 급하게 나중에는 천천히 곡선적으로 증가하는 것을 알았다.

2. 인쇄압력이 증가할수록 AP도 높아지는 것을 알 수 있었다. 하지만 어느 정도의 압력에서는 더 이상 높아지지 않는다는 것을 알 수 있었다.

3. 1번과 2번을 통해 인쇄압력에 대해 인쇄농도와 침투깊이가 비례적으로 증가함을 알 수 있으나 농도와 AP와의 관계는 비례상수가 존재한다고 보기는 어렵다.

침투깊이는 뒤비침과 관련된 인쇄현상을 규명짓는 중요한 요소이므로 이를 잘 활용하여 인쇄를 하여야 하며 이를 위해 인쇄압력을 설정하는 일이 중요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 印刷適性, 印刷學會出版部, pp.110~115, (1963).
- 2) 市川家兼, 紙, イソキ, 印刷の科學, 印刷局朝陽會, pp.211~212, (1978).
- 3) G. L. Larocque, Pulp and Paper Mag. Can39, p.106, (1964).
- 4) Carlsson and Phil, International Bulltin, Vol.61, pp.16~22, (1962).
- 5) R. R. Coupe and A. M. Smith, JOCCA, Vo1.39, pp.579~608, (1960).
- 6) A. Lehtinin, Paper Och Tra, 46, pp.197~202, (1964).
- 7) S. Carangelo, TAGA Proceeding, pp.29~43, (1962).
- 8) L. O. Larsson and Der-Olov Trollasa, Advances in Printing Science and Technology, vol.5, London, (1969).
- 9) 印刷適性, 印刷學會出版部, p.226, (1963).
- 10) ibid., p.113.
- 11) L. O. Larsson, Advances in Printing Science and Technology, vol.5, London, p.116, (1969).
- 12) ibid., p.116.
- 13) 印刷適性, 印刷學會出版部, pp.139~142, (1963).
- 14) H. Diehl, M. Brune and J. Albrecht, FOGRA Instituts Mitteilung, Deutsche Gesellscharft fur Forschung im Graphischeb Gewerbe, Munchen, pp.21~23, (1959).
- 15) R. H. Leach, C. Armstring, J. F. Brown, M. J. Mackenzie, L. Rondall and H. G. Smith, The Printing Ink Manual, SBPIM, p.249, (1988).
- 16) 尹鐘太, 印刷工學, 釜山工業大學校 出版部, pp.55~57, (1990).

- 17) J. T. Youn, Printing Engineering 2nd ed, Pukyuong National Univ. of Tech. Press, (1990).
- 18) J. T. Youn, Introduction to Printability, Pukyuong National Univ., pp.69~88, (2004).
- 19) 한국표준협회, Paper and board-Determination of thickness, density and specific volume, <http://www.ks.or.kr/>, (2006).
- 20) 한국표준협회, Viscosity of liquid-method of measurement, <http://www.ks.or.kr/>, (2006).
- 21) L. O. Larsson, Advances in Printing Science and Technology, vol.4, pp.57~75, Pergamon Press, (1967).
- 22) J. T. Youn, Introduction to Printability, Pukyuong National Univ., (2004).
- 23) J. M. Fetsco and W. C. Walker, Amer. Ink Maker 33(12), p.38, (1955).
- 24) G. E. Carlsson, Advances in Printing Science and Technology 4, pp.105~132, Pergamon Press, Oxford, (1967).
- 25) G. E. Carlsson and B. Lindberg, Advances in Printing Science and Technology 6, pp.283~310, Pergamon Press, Oxford (1971).

감사의 글

본 논문이 완성될 수 있도록 세심한 지도와 아낌없는 격려 그리고 많은 가르침을 주신 윤종태 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 가운데 보다 좋은 논문이 될 수 있도록 세심한 지도와 심사를 해주신 구철회 교수님, 이상남 교수님께 감사의 말씀을 전합니다. 학위과정과 논문이 끝나기 까지 세심한 배려를 해주신 모든 교수님들께도 감사의 말씀을 전합니다.

대학원 생활을 하면서 모두에게 감사하지 않은 분들이 없지만 논문을 쓰는 동안 많은 도움을 준 대학원생 이지은, 밤 낮 가리지 않고 같이 실험을 해준 든든한 후배 이재훈, 그리고 지금은 한국에 없지만 많은 이야기를 들어주고 격려해준 이수만 선배님에게 고마움을 전합니다. 논문을 쓰는 동안 많은 뒷바라지를 해준 예쁜 내 동생 재선이, 마음이 힘들 때 든든한 버팀목이 되어준 김정연에게 다시 고마움을 전합니다.

마지막으로 내가 살아가는 이유와 삶의 활력소가 되는 나의 포근한 안식처, 나의 사랑하는 가족에게 이 논문을 바칩니다.