



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

오프셋 인쇄에서 도전성 페이스트의
평판인쇄 적성에 관한 연구



2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

인 쇄 공 학 과

한 동 균

공 학 석 사 학 위 논 문

오프셋 인쇄에서 도전성 페이스트의
평판인쇄 적성에 관한 연구

지도교수 윤 종 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

인 쇄 공 학 과

한 동 균

한동균의 공학석사 학위 논문을 인준함.

2015년 2월 26일



주 심 공학박사 구 철 회 (인)

위 원 공학박사 윤 중 태 (인)

위 원 공학박사 최 송 아 (인)

목 차

목차	i
List of figure	vi
List of tables	viii
Abstract	ix
1. 서 론	1
2. 이 론	3
2-1. 점도	3
2-2. 잉크의 전이이론	5
2-2-1. 공동설	5
2-2-2. 점탄성설	6
2-3. 전이 방정식	8
2-4.4 탐침법	10
3. 실 험	14
3-1. 실험 재료	14
3-2. 실험 장치 및 방법	15
3-2-1. 인쇄적성시험기	15
3-2-2. 바코더	16

4. 결과 및 고찰	17
4-1. 전이특성	17
4-1-1. 점도와 압력에 따른 광학농도 및 피막 두께	17
4-1-2. 잉크전이율	19
4-2. 인쇄적성	22
4-2-1. 테이프 박리 실험	22
4-2-2. 현미경 확대촬영	23
4-3. 비저항	25
5. 결 론	26
참고문헌	27

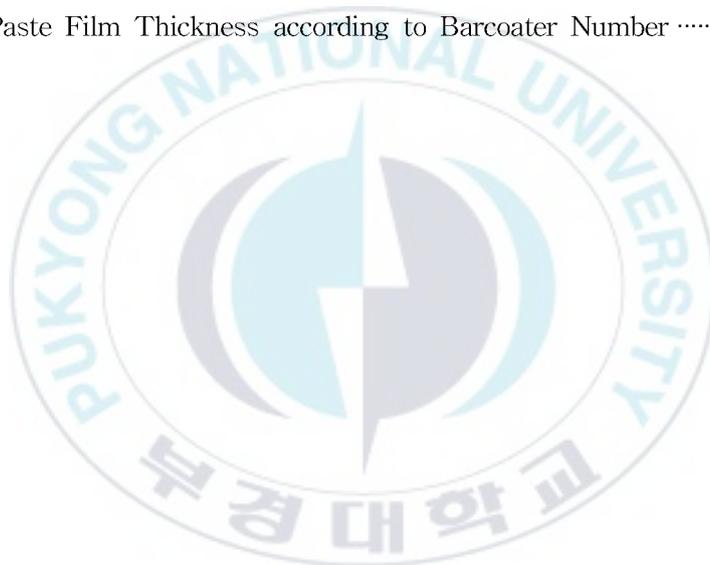


List of figures

Fig. 1. Shearing forcemechanism.	3
Fig. 2. Pressure distribution and velocity profile in the nip.	6
Fig. 3. Conceptual diagram of ink transfer.	9
Fig. 4. Single-configuration FPP method.	11
Fig. 5. Sample of rectangular shape.	12
Fig. 6. Photography of the printability tester IGT - C1 model.	15
Fig. 7. Optical density of sample 1 according to varnish content and printing pressure.	17
Fig. 8. Optical density of sample 2 according to varnish content and printing pressure.	18
Fig. 9. Paste film thickness of sample 1 according to varnish content and printing pressure.	18
Fig. 10. Paste film thickness of sample 2 according to varnish content and printing pressure.	19
Fig. 11. Amount of paste transfer about sample 1 according to varnish content and printing process.	20
Fig. 12. Amount of paste transfer about sample 2 according to varnish content and printing process.	20
Fig. 13. Film thickness of pastes according to content of varnish.	21
Fig. 14. Photography of sample 1 after pill out test.	22
Fig. 15. Photography of sample 2 after pill out test.	23
Fig. 16. Fine line of sample 1 magnified to 800 times their actual size.	24
Fig. 17. Fine line of sample 2 magnified to 800 times their actual size.	24
Fig. 18. Correlation of specific resistance and fine line width.	25

List of tables

Table 1. Correction Factor of Sample Thickness for Pin Spacing	12
Table 2. Correction Factor of Sample Size for Pin Spacing	13
Table 3. Chemical Substances of Pastes	14
Table 4. Major Chemical Components of Varnish	14
Table 5. Condition of the Printing Experiment using by IGT	16
Table 6. Paste Film Thickness according to Barcoater Number	16



A Study on the Lithographic Printability of Conductive Paste
in the Offset Printing

Dong-Kyun Han

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

Abstract

In this paper, lithographic printability of a conductive paste in offset printing was studied. Printed electronics has shorter process than photolithography process. Therefore, the purpose of this experiment is to decrease manufacturing costs and toxic substance with high speed printing and mass production by using offset roll to roll printing. In this experiment two types of different viscosity of silver paste mixed with varnish have been used. It has increased printability such as optical density, fine line width, paste film thickness and amount of paste transfer. On the other hand as amount of varnish increased the value of specific resistance have increased. If conductive varnish is added into conductive paste, conductivity and printability will increase so it is expected that conductive paste will be applied in offset printing.

1. 서 론

스마트시대에 들어선 지금 LCD(liquid crystal display), OLED(organic light emitting diode), PDP(plasma display panel)와 같은 다양한 평면판 표시 장치(flat panel display)는 발전해 왔다. 평면판 표시 장치 외에도 인쇄전자의 다양한 응용분야로 PCB(printed circuit board), RFID(radio frequency identification), 태양전지 등 이들에 적용되는 고해상도의 정밀 패턴 형성기술은 매우 중요한 부분이다.^{1),2)} 이와 같은 정밀 패턴을 형성하는데 사용되는 도전성 페이스트는 전자회로를 기존의 사진식각공정(photolithography) 방식을 이용한 애칭 방식이 아닌 인쇄 방식을 이용하는 인쇄 전자 분야에서 사용되는 중요한 원재료 중의 하나로 현재 활발한 개발 및 적용이 진행되고 있다. 이러한 도전성 페이스트를 사용함으로써 사진식각공정의 노광, 현상, 애칭 등의 복잡한 공정을 간략화 하여 제조공정 비용을 절감할 수 있고, 또한 애칭 공정에서 발생하는 유해 물질을 줄일 수 있어 친환경적 공정을 적용 할 수 있다. 위에서 언급한 도전성 페이스트를 인쇄 전자 분야에 적용하기 위해서는 인쇄 공정을 거쳐야 하는데, 현재 잉크젯인쇄, 그라비아 인쇄, 그라비아오프셋 인쇄, 리버스오프셋 인쇄, 스크린 인쇄 등 많은 연구결과가 나와 있다. 도전성 패턴의 형성방법으로 기존에는 주로 스크린 인쇄법을 사용하였으나, 스크린 인쇄법은 마스크의 한계에 의해 고정세 패턴 형성이 어렵고, 롤투롤 인쇄(roll-to-roll printing)가 힘들어 고속인쇄 및 대량생산이 어려운 문제점이 있다.³⁻⁷⁾ 이러한 스크린 인쇄법의 문제점으로 인해 유비쿼터스 기반을 형성하는데 막대하게 소요될 RFID 태그와 무선 센서등 롤투롤 인쇄 방식이 이들을 생산하는 기술로 사용될 전망에 따라 선진국에서는 연구 개발에 이미 상당한 투자를 하고 있다. 롤투롤 인쇄방식에 의한 전자소재 생산은 전통적으로 사용되던 인쇄기법에 최근의 정밀 제어 기술과 가공기술이 적용되어 매우 경제적으로 미세선폭 프린팅을 구현 할 수 있는

장비로 평가되고 있다. 특히 마이크로 수준의 미세 선 인쇄가 요구되며, 선의 단절이 전혀 없어야 되므로 이에 맞게 요구되는 사양에 따른 인쇄 적성이 개발되어야 한다.

본 논문에서 접근하는 인쇄 방식은 롤투롤 인쇄⁸⁾ 방식 중에서 오프셋 인쇄 방식으로 대량생산과 고속인쇄가 가능할 뿐만 아니라 고무 블랭킷을 사용하기 때문에 거친 면의 피인쇄체에도 선명하게 인쇄되고 인쇄력이 직접인쇄보다 강하며 판면의 문자와 화상이 인쇄물과 같아 패턴불량을 감지하는데 유리하다. 위와 같은 내용을 토대로 도전성 페이스트를 오프셋인쇄에 적용 시 최적의 인쇄적성을 찾는 것이 본 연구의 목적이다.



2. 이론

2-1. 점도

유체에서 점도는 크게 전단점도와 신장점도가 있다. 전단점도란 유체가 전단에 의해 흐를 때 이 흐름에 대해 느끼는 저항을 의미한다. 예를 들어 Fig. 1과 같이 고정된 평판 위에 유체가 있고 그 위에 또 다른 평판이 있다고 가정 했을 때, 위쪽 평판이 정해진 속도로 움직일 때 유체는 흘러가게 될 것이다. 이때, 평판에 작용된 응력은 식 (1)과 같고, F는 위판을 당기는 힘, A는 평판의 면적이다.

$$\tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1)$$

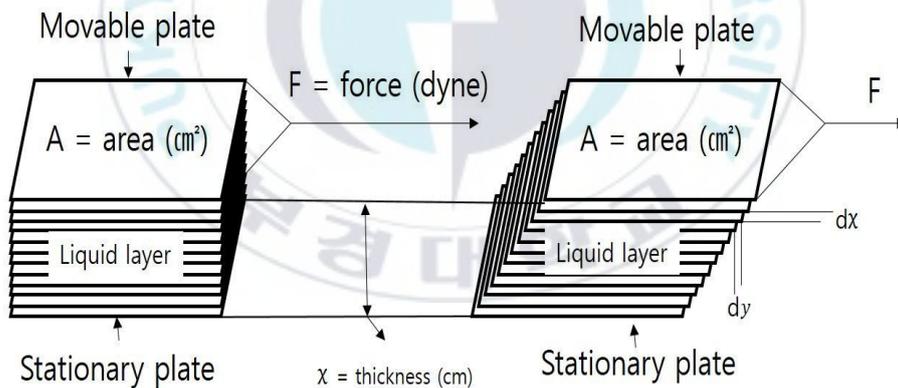


Fig. 1. Shearing force mechanism.

힘이 평판 바닥과 평행하게 작용되기 때문에 평판면의 방향과 힘의 방향이 수직이며 여기서 작용된 응력은 전단응력이다. 이러한 전단응력에 의해 형성된 유체의 속도 장은 고정된 아래평판과 닿고 있는 유체의 속도가 0이고 속도 V로 움직이는 위판과 닿고 있는 유체의 속도는 미끄럼이 없

는 경우에 V 이다. 즉 속도의 기울기가 존재하게 되는데 이를 수식으로 표현하면 식(2), (3)과 같고, 이 속도 기울기를 전단속도라 정의한다.

$$\gamma = \frac{dv}{dx_2} \dots\dots\dots(2)$$

$$\gamma = \frac{V}{h} \dots\dots\dots(3)$$

여기서 h 는 두 평판 사이의 거리이고 V 는 평판의 속도이다. 만약 더 큰 힘으로 위 평판을 당기면 속도가 더 커지게 되며, 이것은 더 큰 전단응력을 가하면 전단속도가 더 커지는 것을 의미한다. 만약 전단응력과 전단속도 관계가 선형으로 비례한다면 비례상수를 도입하여 아래와 같이 식(4), (5), (6)으로 나타낼 수 있다.

$$\tau \propto \dot{\gamma} \dots\dots\dots(4)$$

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \dots\dots\dots(5)$$

$$\tau = \eta \frac{V}{h} \dots\dots\dots(6)$$

위 식에서 알 수 있듯이 점도는 유체에 가해진 전단응력을 속도 기울기로 나눈 값을 말하며 이것은 흐름에 대한 저항을 나타낸다. 점도는 식 (7), (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \dots\dots\dots(7)$$

$$\eta = \frac{h}{V} \tau = \frac{h}{V} \left(\frac{F}{A} \right) \dots\dots\dots(8)$$

신장점도란 유체를 당길 때의 재료가 힘을 받아 신장되면서 흘러가는 것에 대한 저항이다. 신장점도는 고분자 성형공정 중 섬유방사 (fiber spinning) 나 블로성형 (blow molding)중에 중요하게 작용되는 물성 중 하나이다. 인쇄 공정 중에는 전단점도뿐만 아니라 신장점도도 고려해야 요소로 매우 중요하다. 신장속도가 작은 영역에서는 신장점도가 일정하게 나타나는데 이 구간의 점도를 Trouton점도라고 한다. Trouton점도는 뉴턴점도와 비교했을 때 약 3배이다. 하지만 고체 질량 백분율이 높은 잉크나 페이스트에서는 맞지 않는다. 신장속도가 큰 영역에서는 신장점도가 증가하는데 이 현상을 신장경화라고 한다. 이러한 현상은 분자배향에 의해 신장흐름의 저항이 증가해 나타나는데 이렇게 신장점도가 증가하는 정도는 재료에 따라 다르다. 유체가 신장될 때 나타나는 응력과 신장속도의 관계는 전단유동에서 살펴본 전단속도와 응력과의 관계와 같으며 식 (9), (10)으로 나타낼 수 있다.⁹⁾

$$\tau \propto \dot{\epsilon} \dots\dots\dots(9)$$

$$\tau = \eta_e \dot{\epsilon} \dots\dots\dots(10)$$

2-2. 잉크의 전이 이론

2-2-1. 공동설(空洞說)

롤러와 롤러 사이 또는 두 개의 평행한 판 사이에 있는 잉크가 각각 반대 방향으로 끌어당기는 힘에 의해 스트레스(stress)를 받는데, 이 스트레스가 커지면 잉크의 피막 내에 공동이 생기고, 이 공동이 성장하여

분열된다는 이론이 공동설¹⁰⁾이다. Fig. 2는 동일한 속도로 회전하는 롤러의 틈새 안에서 잉크의 압력과 속도의 분포도이다. 롤러가 회전하기 시작하면서 틈새 입구에서 급격히 압력이 증가하다가 최대점 A를 지나고 나면 틈새 중심에서 급격히 감소한다. 압력이 대기압과 같게 되는 B점에 이르면 유체는 층류로 유동하여 정압력이 걸리고, 이 점을 지나면 부압력이 작용한다. 그리고 틈새 출구를 통과한 잉크를 두 롤러가 상하로 끌어당기게 된다. 따라서, 압력이 최소로 걸리는 곳에서 유체의 피막이 스트레스를 받으면, 저속에서는 접축 중심을 향하여 아치상의 자유 계면이 생긴다. 그러나 고속에서는 스트레스를 완화하기 위하여 자유 계면이 이동할 충분한 시간이 없으므로, 피막의 내부에 작은 공동이 발생하고 이것이 급격히 성장하여 필라멘트상으로 늘어난 다음, 끊어지는 현상이 나타난다. 이러한 공동의 생성, 성장, 분열의 단계로 택을 설명하는 이론을 공동설이라고 한다.

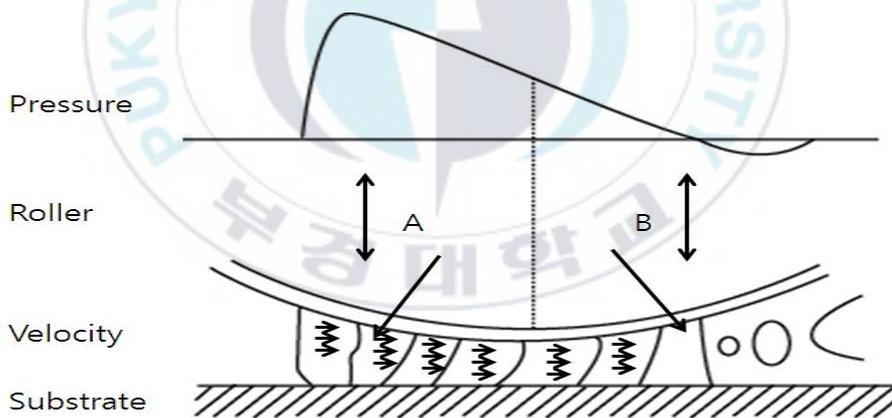


Fig. 2. Pressure distribution and velocity profile in the nip.¹¹⁾

2-2-2. 점탄성설(粘彈性說)

잉크는 단 시간 내에 일어나는 변형에 의해 점탄성적인 성질을 나타내는데 매순간마다 스트레스를 받는 시간에 따라서 점성액체 또는 탄성적

고체로 거동하고 대부분 점탄성인 물질처럼 변형한다는 이론¹²⁾이다. 이 이론은 빠른 속도에서는 스프링이 작용하고, 느린 속도에서는 대쉬포트 (dashpot)가 작용하는 원리와 같은 것이다. 이를 수학적으로 접근해보면 소 진폭 진동 면찰에 대한 선형 점탄성 물질에서 변형률에 대한 식은 식 (11)과 같다.

$$\gamma(\dot{t}) = iw\gamma_0 \exp(iw\dot{t}) \dots\dots\dots(11)$$

여기서, $i = \sqrt{-1}$, ω 는 주파수, γ_0 는 진폭이다. 이에 상응하는 변형률 속도는 식 (12)와 같다.

$$\gamma(\dot{t}) = \gamma_0 \exp(iw\dot{t}) \dots\dots\dots(12)$$

이 식을 일반적인 적분 방정식에 대입하면 식 (13)과 같다.

$$\sigma(t) = iw\gamma_0 \exp(iwt) \int_0^\infty \phi(\xi) \exp(-iw\xi) d\xi \dots\dots\dots(13)$$

주기 면찰에서 복소 면찰 탄성률 G^* 를 정의하면 식 (14)와 같다.

$$\sigma(t) = G^*(w)\gamma(t) \dots\dots\dots(14)$$

식 (11), (12), (13), (14)로부터 식 (15)를 얻을 수 있고, 복소 면찰 탄성률을 정리하면 식 (16)과 같다.

$$G^*(w) = iw \int_0^\infty \phi(\xi) \exp(-iw\xi) d\xi \dots\dots\dots(15)$$

$$G^* = \dot{G} + iG \quad \dots\dots\dots(16)$$

이와 같이 잉크를 점탄성적인 액체로 취급하여 다루는 것이 점탄성설이다.

2-3. 전이 방정식

인쇄적성을 과학적이고 공학적으로 연구하기 시작한 것은 1950년대부터이며 가장 먼저 해석하려고 했던 것은 잉크와 종이의 전이적성이다. 이 문제를 수학적으로 해석하기 위한 첫 단계는 인쇄판의 잉크 전이량에 따른 인쇄물의 잉크량을 정량적으로 측정하는 것이다. 가장 먼저 제안된 Walker-Fetsko 전이 방정식¹³⁾은 용지의 피복면적비(k값), 고정잉크 개념(b값), 그리고 자유잉크의 분열(f값)과 같은 세 가지의 개념으로 인쇄적성 계수들을 정의 하였다. Walker-Fetsko의 전이 방정식에서 사용된 세 개의 정수인 k, b, f를 잉크의 전이정수라고 하며, 가장 중요하게 생각되는 것은 f값이다. 피인쇄체의 물성에 따라 결정되기 쉬운 k, b 값과는 달리 f값은 롤러 틈새 사이에서의 자유잉크의 피막이 분열하여 종이에 전이되는 비율을 나타내므로, 실제 롤러와 롤러 또는 롤러와 피인쇄체 사이의 잉크들 중에서 어느 부분에서 분열이 되는지를 나타낸다. Fig. 3은 민짜인쇄에서 잉크의 전이메커니즘을 고려한 것으로써, 피인쇄체와 관련되는 k, b의 전이정수의 연관성을 배제하고 자유 잉크량만을 고려하였다. 이와 같이 전이정수는 인쇄재료와 인쇄공정상 조건들에 따른 인쇄잉크의 전이를 나타내는 변수이므로, 인쇄공정의 상태를 표현하는 중요한 변수로 사용된다. 잉크량을 증가시키면서 종이에 전이된 잉크량에 따른 곡선을 얻을 수 있다. 여기서 잉크량이 많을 때 즉, 포화점 이후부터는 1차함수로 표현 할 수 있으며, 식 (17)과 같다.

$$y = b + f(x - b) \quad \dots\dots\dots(17)$$

여기서 y 는 종이에 전이된 잉크량, b 는 고정화 잉크량, f 는 자유잉크의 분열비, x 는 인쇄판상의 잉크공급량이다. 식 (17)을 다시 쓰면 식 (18)과 같다.

$$y = fx + b(1-f) \quad \dots\dots\dots(18)$$

식 (17)을 전이율로 표현하면 식 (19)과 같다.

$$y/x = b/x + f(x-b)/x \quad \dots\dots\dots(19)$$

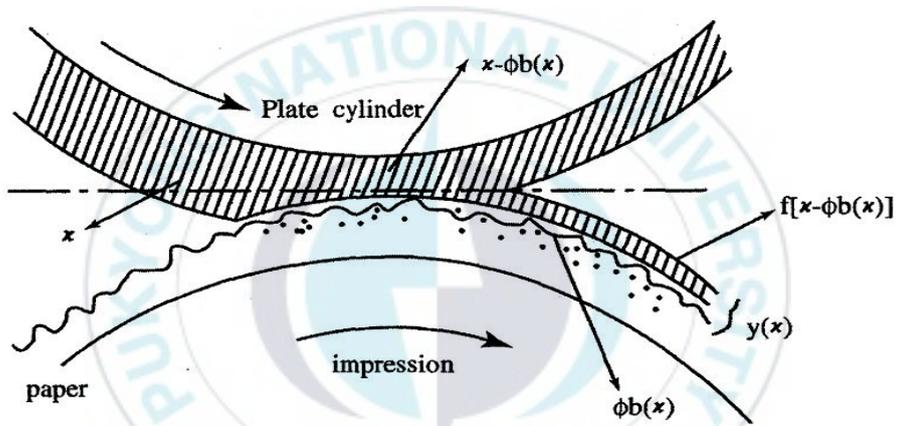


Fig. 3. Conceptual diagram of ink transfer.¹⁴⁾

그러나 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 (20)과 같이 표현할 수 있다.

$$F = 1 - e^{-kx} \quad \dots\dots\dots(20)$$

또한 실제 접촉된 영역에서 전이된 잉크의 양을 고려하면 식 (21)과 같다.

$$\Phi b = b(1 - e^{-x/b}) \dots\dots\dots(21)$$

이 개념으로 식 (18)를 다시 정리하면 식 (22)과 같이 된다.

$$y = (1 - e^{-kx})[b(1 - e^{-x/b}) + f[x - b(1 - e^{-x/b})]] \dots\dots\dots(22)$$

식 (22)가 Walker와 Fetsko의 전이 방정식이다. 따라서 식 (17)과 식 (19)에서 전이계수 b, f, k를 얻을 수 있다. 이 식은 종지와 잉크의 관계를 나타낸 것으로 종지와 잉크의 고유한 관계를 얻을 수 있다. k값은 적은 양의 잉크범위에서 얻은 값이므로 포화점 이상의 잉크 필름 영역에서는 사용할 수 없다.¹⁵⁾

2-4. 4 탐침법 (Four Point Probe Method)

전도성 박막 및 실리콘 웨이퍼의 비저항을 측정하는데 가장 널리 사용되는 방법으로 4개의 탐침이 동일선상에 일정한 간격으로 일렬로 배열된 구조로서 프로브를 시료의 표면에 접촉시켜 저항을 측정한 후 탐침 간격에 대한 시료의 크기 및 두께 보정계수를 적용하여 면저항을 계산하고, 시료의 두께를 곱하여 비저항을 구하는 방법이다. 이 기술의 면저항 측정원리는 Fig. 4와 같이 탐침 A와 D에 전류를 흘리고, 탐침 B와 C에서 전압을 측정하여 저항 R_S은 식 (23)과 같다.

$$R_S = \frac{V_{BC}}{I_{AD}} [\Omega] \dots\dots\dots(23)$$

그리고, 면저항 R_{SS}는 식 (24)와 같다.

$$R_{SS} = k_S \times R_S [\Omega/sq] \dots\dots\dots(24)$$

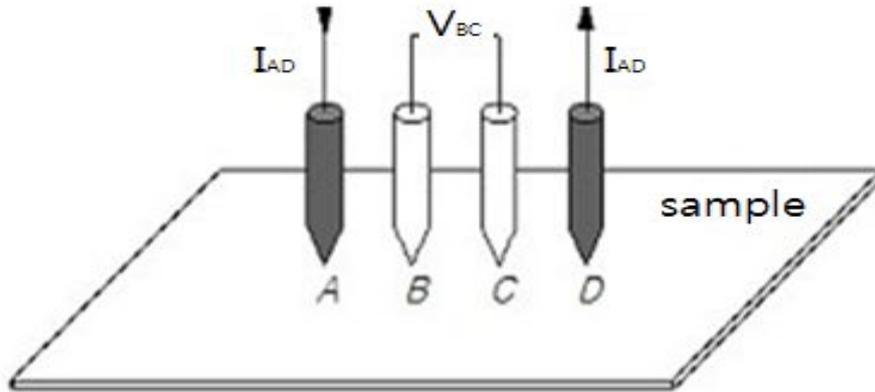


Fig. 4. Single-configuration FPP method.¹⁶⁾

식 (24)에 사용된 k_s 는 비례상수로서 식 (25)와 같다.

$$k_s = F(D/S) \times F(t/S) \times F(T) \times F(S) \dots\dots\dots(25)$$

또한 비저항 ρ 은 면저항을 구한 후 시료의 두께를 곱하여 구하며 식 (26)과 같다.

$$\rho = R_{SS} \times t [\Omega \cdot m] \dots\dots\dots(26)$$

상기의 식 (25)에서 $F(t/S)$ 는 탐침간격 S 에 대한 시료 두께의 보정계수로서 Table 1에 의해 적용된다. $F(D/S)$ 는 탐침간격 S 에 대한 시료크기 D 의 보정계수이며, 4-탐침법의 측정원리로부터 정의된 Fig. 5의 사각형 시료에 대한 보정계수는 Table 2에 의해 적용된다. $F(T)$ 는 측정 온도에 대한 보정계수로서 실리콘 웨이퍼를 비롯한 저항체들은 온도에 대한 영향이 있으므로 가능한 온도가 일정하게 유지되는 실험실에서 측정하여야 한다. 본 연구에서는 온도 챔버의 온도가 $(23.0 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ 이므로 식(27)에 의해 보정계수는 1.0을 적용할 수 있다.

$$F(T) = 1 - C_T(T - 23) \dots\dots\dots(27)$$

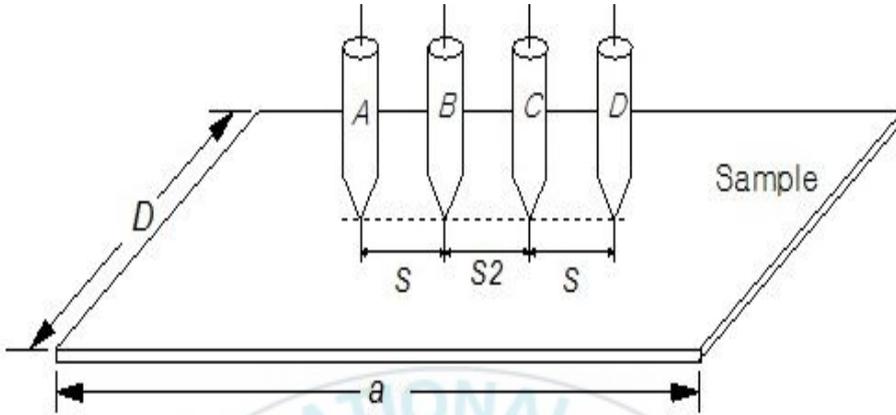


Fig. 5. Sample of rectangular shape.

$F(S)$ 는 탐침 간격에 대한 보정계수로서 식 (28)과 같다.

$$F(S) = 1 + 1.082 \times \left(1 - \frac{S_2}{S}\right) \dots\dots\dots(28)$$

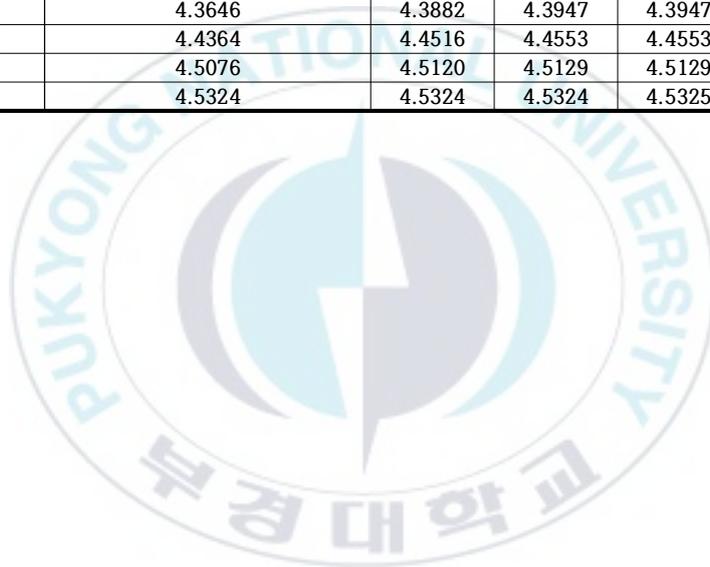
S_2 는 전압측정 probe 사이의 거리이며, $F(S)$ 는 $t \leq 0.5S$ 일 때, 0.1 % 이하의 정확도를 가지며 일반적으로 보정계수는 1.0을 적용한다.

Table 1. Correction Factor of Sample Thickness for Pin Spacing

$F(t/S)$	t/s
1.0000	0.100
1.0000	0.141
1.0000	0.200
0.9999	0.333
0.9974	0.500
0.9215	1.000
0.7983	1.414
0.6337	2.000
0.4067	3.333
0.2753	5.000
0.1385	10.00

Table 2. Correction Factor of Sample Size for Pin Spacing

D/S	For sample of circle shape, correction factor of F(D/S)	For sample of rectangular shape, correction factor of F(D/S)			
		a/D=1	a/D=2	a/D=3	a/D≥4
1.0	-	-	-	0.9988	0.9994
1.25	-	-	-	1.2467	1.2248
1.3	-	-	1.4788	1.4893	1.4893
1.75	-	-	1.7196	1.7238	1.7238
2.0	-	-	1.9454	1.9475	1.9475
2.5	-	-	2.3532	2.3541	2.3541
3.0	2.2662	2.4575	2.7000	2.7005	2.7005
4.0	2.9289	3.1137	3.2246	3.2248	3.2248
5.0	3.3625	3.5098	3.5749	3.5750	3.5750
7.5	3.9273	4.0095	4.0361	4.0362	4.0362
10.0	4.1716	4.2209	4.2357	4.2357	4.2357
15.0	4.3646	4.3882	4.3947	4.3947	4.3947
20.0	4.4364	4.4516	4.4553	4.4553	4.4553
40.0	4.5076	4.5120	4.5129	4.5129	4.5129
∞	4.5324	4.5324	4.5324	4.5325	4.5321



3. 실험

3-1. 실험 재료

도전성 페이스트에는 은, 금, 백금, 구리, 알루미늄 등 여러 소재를 사용한 페이스트가 존재한다. 본 실험에서는 Ag paste를 사용하였고, 물성은 Table 3과 같다.

Table 3. Chemical Substances of Pastes

Chemical substances	Ag paste (sample 1)	Ag paste (sample 2)
Viscosity (cps)	500	10,000
Conductor size (nm)	100	30
Sintered temperature (°C)	150	150
Sintered time (s)	1,800	2,400

이에 OP 바니스(overprint varnish)의 첨가비율을 달리하여 삼본롤밀(three roll mill)과 전자저울(sartorius 210S)을 이용하여 연육하고, 물성을 변화시킨 도전성 페이스트를 제조하였고, 이때 사용된 바니스의 화학 성분은 Table 4와 같다.

Table 4. Major Chemical Components of Varnish

Chemical substances	Usual name	Content(%)
Resin	Nitro Cellulose	10~20
Additive	Polyethylene Wax Compound	0.1~1
Solvent	Ethyl Acetate	20~30
	methyl ethyl ketone	40~50

3-2. 실험 장치 및 방법

3-2-1. 인쇄적성시험기

PCB, RFID, 태양전지 등 인쇄전자 분야에서는 웨이퍼부터 종이에 이르기까지 다양한 피인쇄체가 사용된다. 이러한 다양한 피인쇄체에 적용하기 위해서는 압력을 과하게 부여 할 경우, 피인쇄체가 손상되는 경우가 발생하기 때문에 인쇄압력이 중요하다. 이와 같이 일정한 속도와 압력에서 실험을 위해 제작된 인쇄적성시험기(offset printability tester, IGT-C1, Holland)를 사용하였으며, 인쇄 시 100 N부터 1 KN까지 압력 변화를 조절할 수 있는데 Fig. 6과 같다.



Fig. 6. Photography of the printability tester IGT - C1 model.

IGT 실험 조건은 Table 5와 같고, 유체의 공급량 조절은 부착된 IGT용 특수 피펫(IGT-408.200.031.D.001)을 사용하여 일정한 양을 공급하였다. IGT 매뉴얼에 따라 연육시간을 30초로 하였다. 블랭킷은 고무 디스크를 사용하였으며, 전이시간은 15초 동안 진행하였다. 이때 인쇄 압력은 실리콘 웨이퍼가 손상되지 않는 범위인 700 N이하로 변화 값을 주어 실험하였으며, 인쇄 속도는 20 cm/sec로 일정하게 유지하였다. 실험실 환경은 23 °C±2, 45~55 RH%를 유지하였다.

Table 5. Condition of the Printing Experiment using by IGT

Factor	Properties
Total time(sec)	45
Pressure(N/cm ²)	300, 500, 700
Printing area (cm ²)	77 (3.5W×22L)
Roll speed(cm/s)	30
Roll size(mm)	60
Temperature(℃)	23±2

3-2-2. 바코터

IGT 시험기에 대조군으로써 전이특성 차이를 보기 위해 바코터 (barcoater, RDS 05/ RDS 08, UINS)를 사용하여 동일한 실험을 하였다. 본 실험에 서는 RDS 05 와 RDS 08 두 모델을 사용하였다. 바코터 번호에 따라 얻 어지는 인쇄피막의 두께는 Table. 6과 같다. 이때 실험실 환경은 23±2 ℃, 습도는 45~55 RH%이었다.

Table 6. Paste Film Thickness according to Barcoater Number

RDS number	Film thickness (um)
05	11.43
08	18.3

4. 결과 및 고찰

4-1. 전이특성

4-1-1. 점도와 압력에 따른 광학농도 및 피막 두께

전자기기 외관의 인쇄 차폐력을 측정하기 위하여, 바니스 함량과 압력 변화에 따른 광학농도와 피막 두께의 변화실험을 하였고, 그 결과가 Fig. 7~10이다. Fig. 7, 8은 점도가 다른 두개의 은 페이스트에 바니스의 함량을 각각 10~30% 중량비로 혼합한 시료를 사용했을 때 압력별 농도 값 그래프이다. 그래프는 인쇄압력을 300~700 N까지 3단계로 나눠 지정하여 x축으로 두고, y축은 인쇄된 인쇄물의 농도로 두었다. Fig. 9와 Fig. 10은 앞선 실험과 같은 조건의 피막 두께 그래프이다. x축을 압력으로 두고, y축은 인쇄된 피막 두께로 두었다.

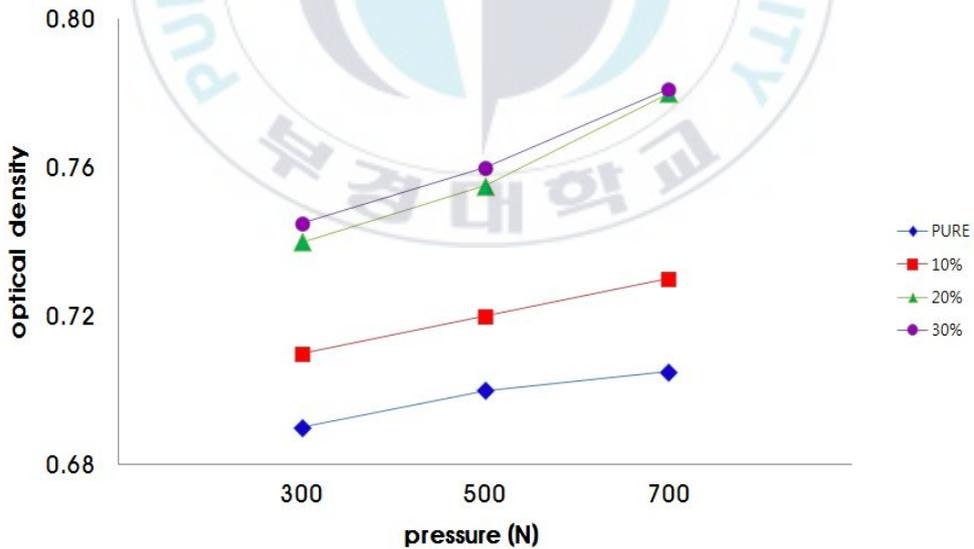


Fig. 7. Optical density of sample 1 according to varnish content and printing pressure.

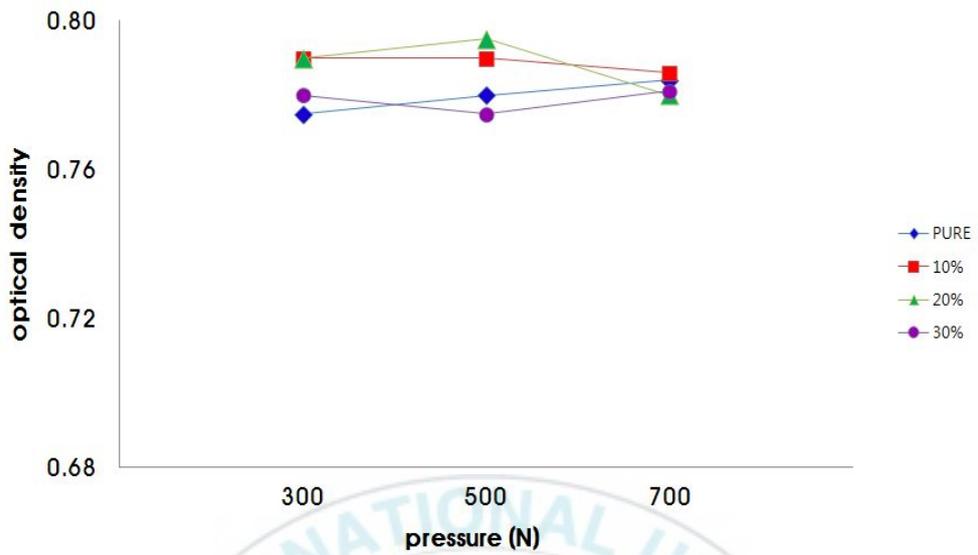


Fig. 8. Optical density of sample 2 according to varnish content and printing pressure.

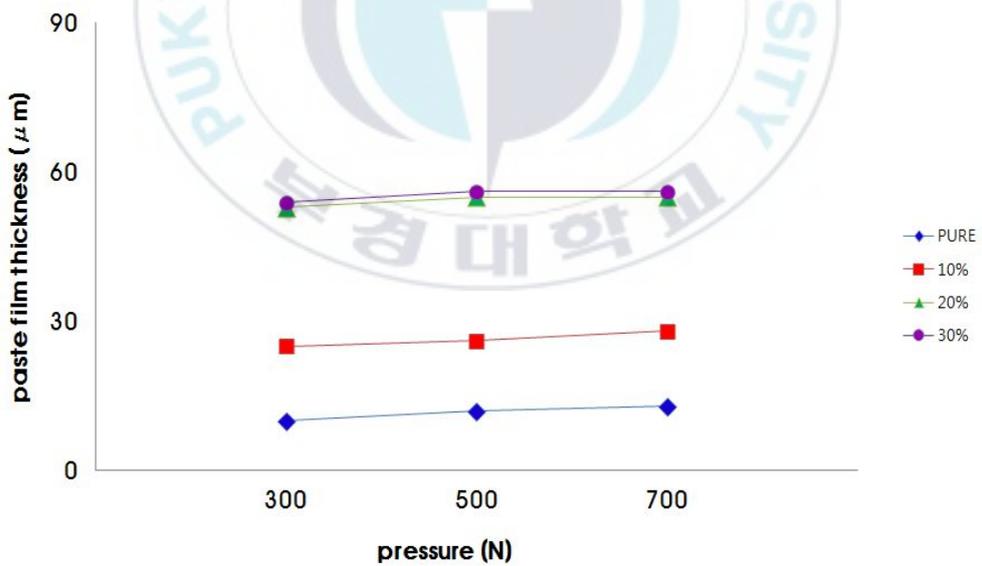


Fig. 9. Paste film thickness of sample 1 according to varnish content and printing pressure.

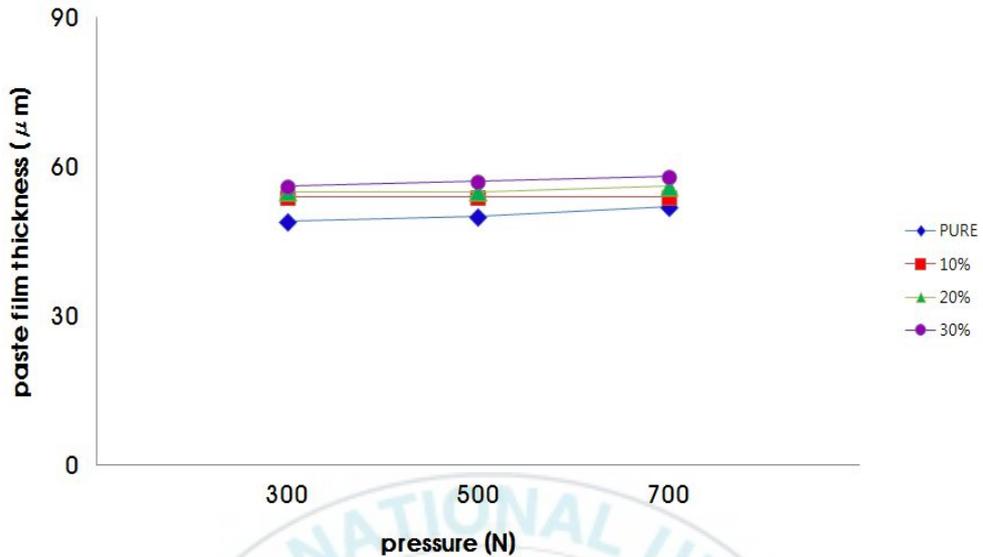


Fig. 10. Paste film thickness of sample 2 according to varnish content and printing pressure.

4-1-2. 잉크전이율

이전의 실험을 기준으로, 가장 인쇄적성이 좋은 인쇄압력 700 N에서 인쇄공정에 따른 잉크전이율 실험을 진행하였고, 그 결과는 sample 1은 Fig. 11, sample 2는 Fig. 12와 같다. 그래프의 x축은 바니스 함량이고, y축은 페이스트 전이량이다. 변수는 페이스트의 점도와 페이스트가 블랭킷으로 전이하는 오프공정(off process)과 블랭킷에서 피인쇄체로 페이스트를 전이하는 셋공정(set process)의 2가지 인쇄공정이다. Fig. 11에서 sample 1의 바니스 함량이 높을수록 페이스트 전이량이 크다는 것을 알 수 있다. 또한 저점도 sample 1에 바니스의 함량을 중량비로 10% 혼합한 시료와 20% 혼합한 시료 사이에서 페이스트의 전이량이 상대적으로 다른 시료들과 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 이에 반해, Fig. 12에서 sample 2와 바니스를 10% 첨가한 시료 사이에 작은 차이가 있지만, 바니스 함량에 크게 영향을 받지 않는다.

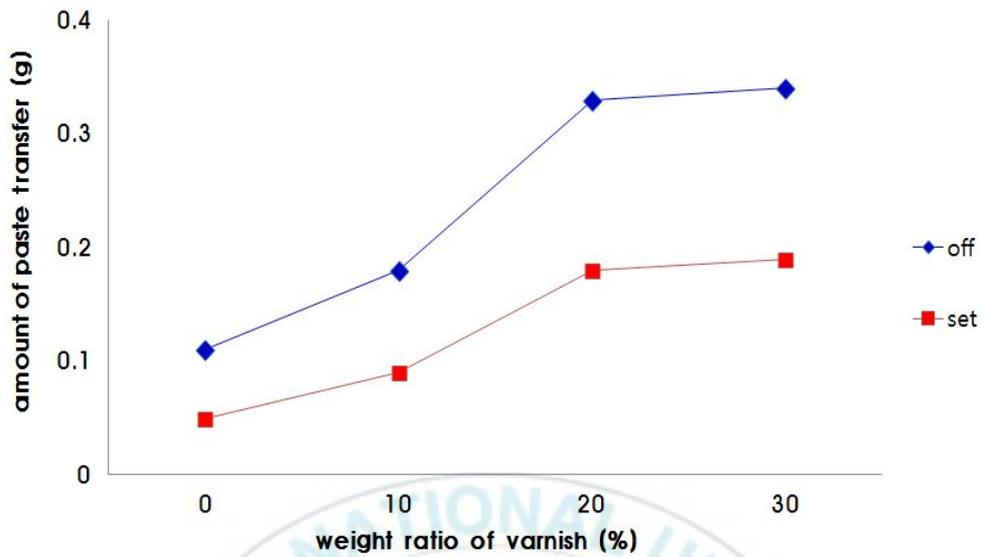


Fig. 11. Amount of paste transfer about sample 1 according to varnish content and printing process.

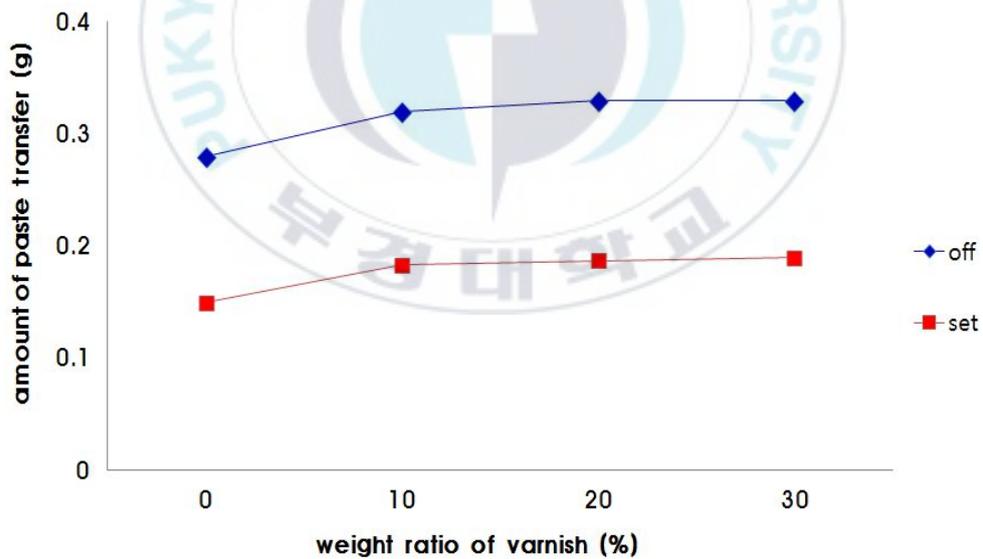


Fig. 12. Amount of paste transfer about sample 2 according to varnish content and printing process.

오프셋 인쇄를 객관적으로 평가하기 위하여, 대조군으로 바코터를 사용하여, 바니스 함량에 따른 피막 두께 측정 실험 결과는 Fig. 13과 같다. 그래프의 x축은 바니스 함량이고, y축은 피막 두께이다.

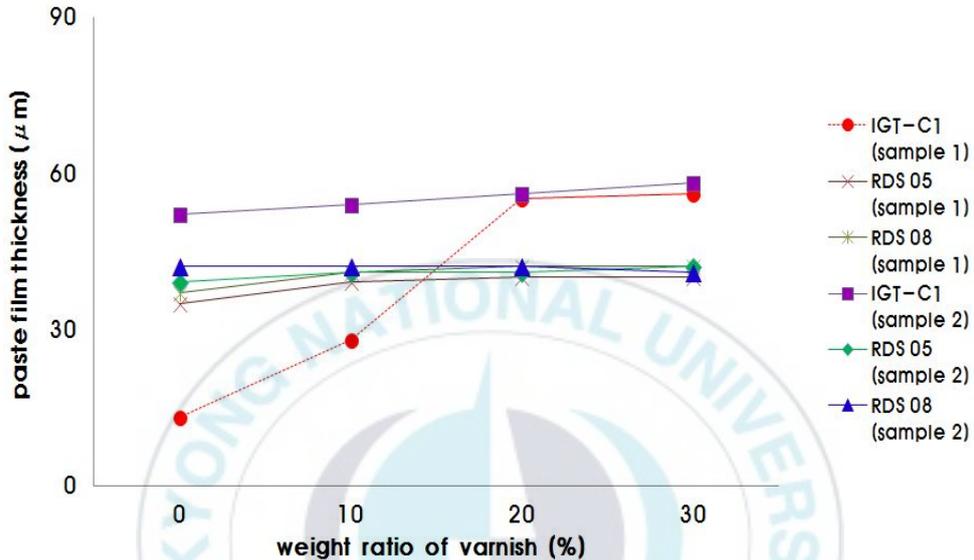


Fig. 13. Film thickness of pastes according to content of varnish. (printed by offset printing and barcoater.)

그래프에서 sample1과 바니스 함량 10%인 시료는 IGT-C1에서 인쇄한 인쇄물이 바코터로 인쇄한 인쇄물 보다 페이스트 피막 두께가 낮았다가 함량이 20%로 증가하면서 바코터로 인쇄한 인쇄물보다 피막 두께가 높아졌고, sample 2와 유사한 피막 두께 값을 나타낸다. 앞서 시행했던 실험과 더불어 이 점은 오프셋 인쇄의 전이특성 중 택값이 낮아서 블랭킷과 피인쇄체로 올바르게 페이스트의 전이가 되지 않다가 함량이 20%이 되면서 적정 택값에 도달하여 블랭킷과 피인쇄체로 페이스트 전이가 올바르게 되는 것으로 추정할 수 있다. 이에 반해, sample 2는 바니스 함량에 따라 피막 두께가 소폭 상승한다.

4-2. 인쇄적성

4-2-1. 테이프 박리 실험 (X-cut)

Table 5의 조건으로 오프셋 인쇄를 실시한 후, Table 3의 물성조건을 고려하여 150℃에서 소결하였고, 인쇄물의 점착력 실험을 위해 pill out tester로 박리실험을 진행하였다. 박리실험은 1mm간격으로 100목을 Tape (3M, 610) 접착 후 수직방향으로 3회 실시하였고, 그 결과 sample 1은 Fig. 14, sample 2는 Fig. 15와 같다. Fig. 14, 15에서 각각 A는 은 페이스트, B는 중량비로 10% 바니스를 첨가한 시료, C는 20%, D는 30%를 첨가한 시료이다. 실험결과 모든 sample이 고온의 소성과정에서 setting부터 hardening이 이루어져 테이프 박리실험 결과 뜯김이 일어나지 않았다.

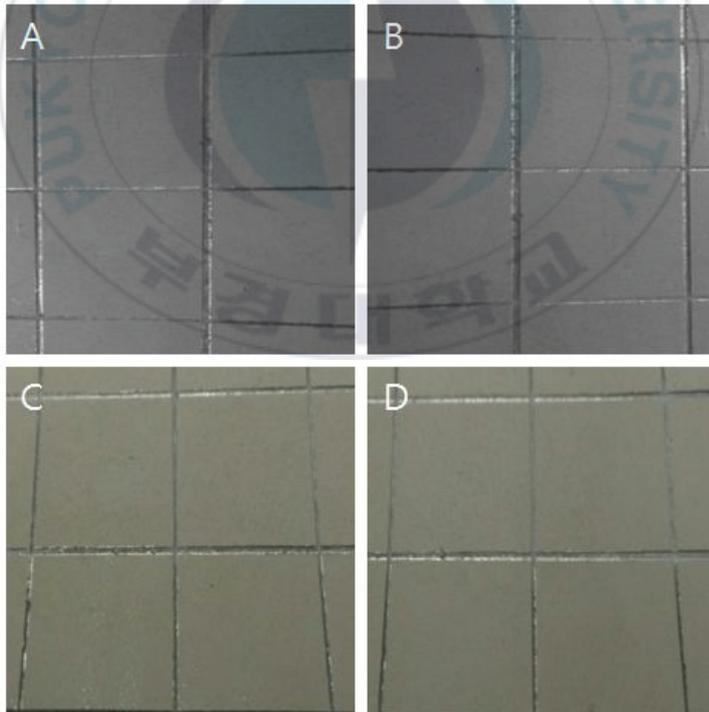


Fig. 14. Photography of sample 1 after pill out test.

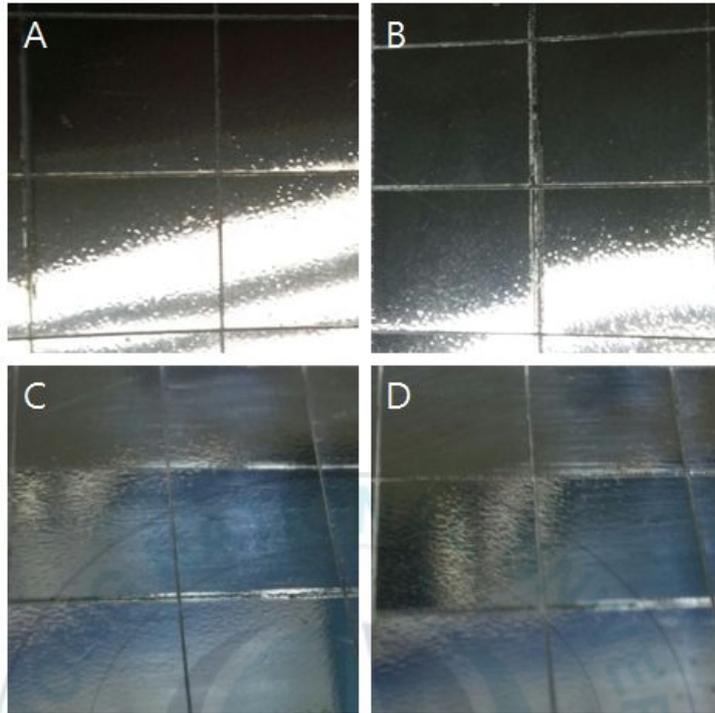


Fig. 15. Photography of sample 2 after pill out test.

4-2-2. 현미경 확대촬영

미세한 선폭을 가진 인쇄물의 객관적인 평가를 위하여 IGT-C1으로 인쇄한 시료를 광학 현미경으로 800배 촬영하였고, 그 결과는 Fig. 16, 17과 같다. 두 페이스트 모두 바니스 첨가 시, 피막 두께, 가장자리 선예성, 미세선폭 구현도가 크게 향상하였으나, 반대로 페이스트 내부 은 입자 사이에 바니스가 함유되어 인쇄물의 광택도가 감소하였다. 또한 sample2에서 바니스 함량이 높을수록 표면의 거칠기가 발생하였다. 이는 인쇄적성을 평가시 감점요인이 되고, 도전성 페이스트가 일정하고 안정된 전기전도도를 갖는 것에 큰 방해를 준다.

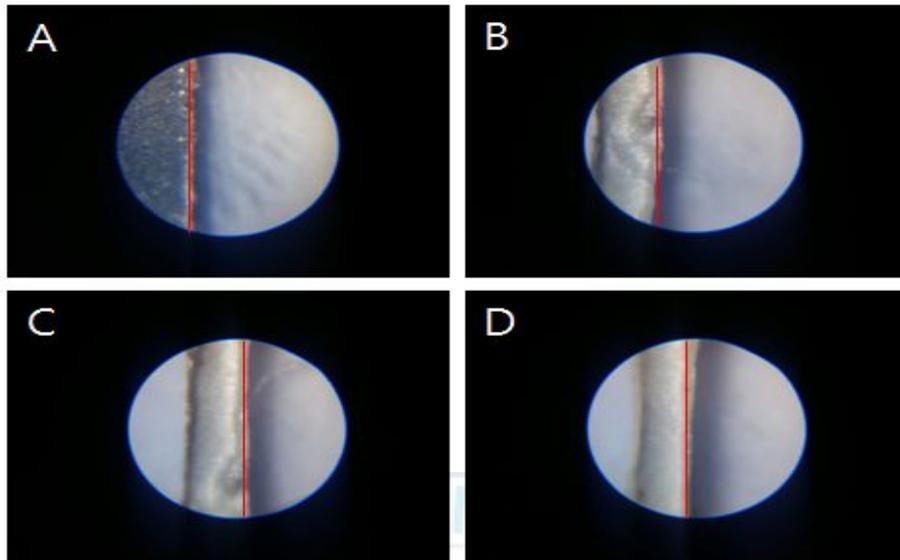


Fig. 16. Fine line of sample 1 magnified to 800 times their actual size.

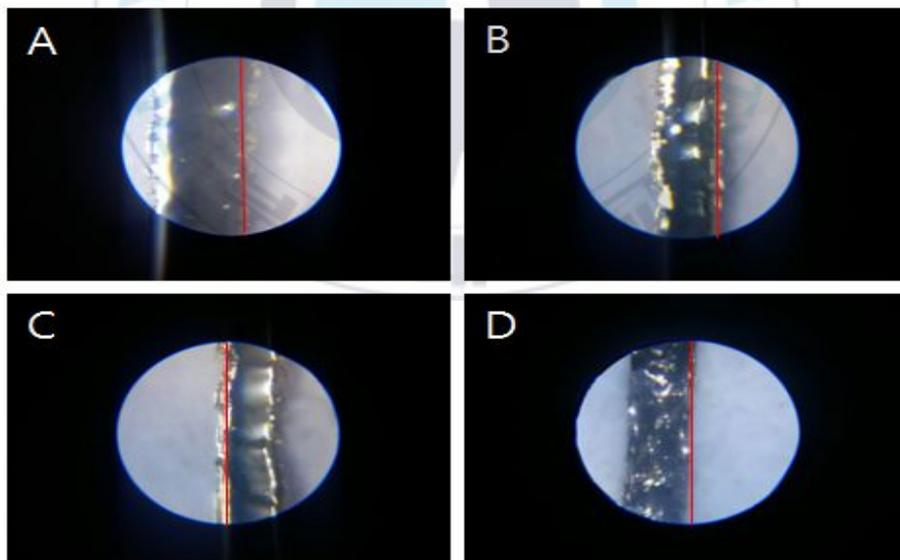


Fig. 17. Fine line of sample 2 magnified to 800 times their actual size.

4-3. 비저항

앞선 실험으로 은 페이스트의 인쇄적성을 확인하였고, 본 실험에서는 Table 1과 Table 2를 참고하여, 인쇄된 미세패턴의 비저항을 측정하였다. 그 결과 Fig. 18과 같고, x축은 미세선폭, y축은 비저항이다. sample 3은 sample 1에 10% 바니스를 첨가한 시료이다.

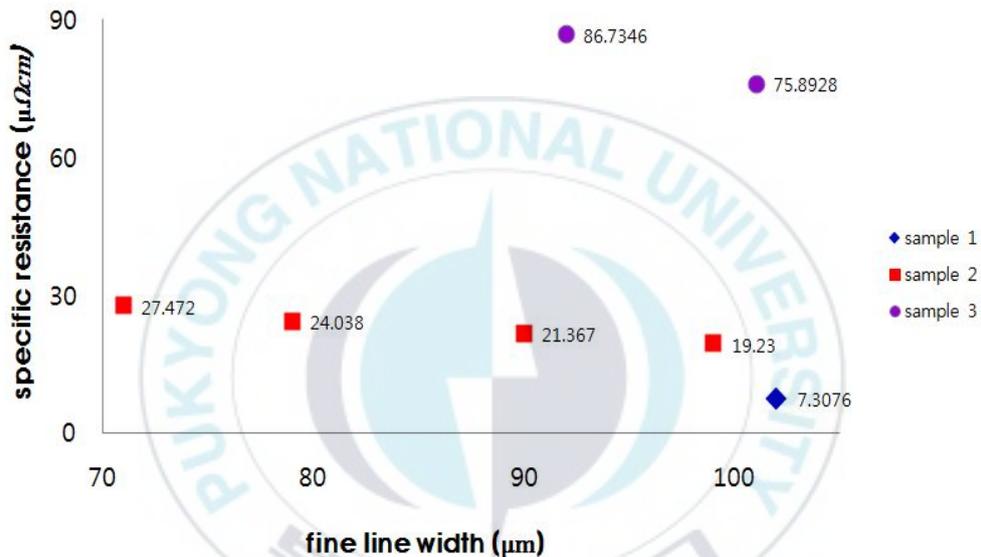


Fig. 18. Correlation of specific resistance and fine line width.

실험결과 저점도 sample 1은 최소선폭 102 μm 에서 비저항값 7.3076 $\mu\Omega\text{cm}$, sample 1에 10% 바니스를 첨가한 시료는 최소선폭 92 μm 에서 비저항 86.7346 $\mu\Omega\text{cm}$, sample 2는 최소선폭 71 μm 에서 비저항 27.4720 $\mu\Omega\text{cm}$ 을 갖는다. sample 1을 제외한 나머지 시료는 평균 73 μm 의 미세패턴을 구현하지만, 전기전도성을 갖지 않았다.

5. 결 론

본 논문은 도전성 페이스트의 오프셋 인쇄에 대한 인쇄적성 해석에 관한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) sample 1은 인쇄 압력을 증가하였을 때, 피막 두께는 평균 2.5 μm 증가, 광학농도값은 0.015 증가하였다. sample 2를 동일한 조건으로 실험한 결과 피막 두께는 평균 1.25 μm 증가, 광학농도값의 변화는 없다.

(2) 바니스를 중량비를 달리하여 첨가 시 sample 1의 피막 두께는 평균 43.5 μm 증가, 광학농도값은 평균 0.05 증가하였다. sample 2를 동일한 조건으로 실험한 결과 피막 두께는 평균 6.33 μm 증가, 광학농도값의 변화는 없다.

(3) 인쇄공정별 전이량 실험 결과 sample 1에 바니스 첨가량이 10% 에서 20%로 증가 하였을 때 적정 택값에 도달하여 피인쇄체로의 페이스트 전이량이 0.15g으로 가장 크게 증가하였다.

(4) sample 1에 바니스의 비중이 커질수록 바니스를 첨가한 시료 내에서 도전성 입자가 차지하는 비율이 감소하여, 비저항이 평균 80 $\mu\Omega\text{cm}$ 증가한다.

이상과 같은 결과에 의해 추후 도전성 페이스트에 도전성 바니스를 첨가하여, 전기전도도와 인쇄적성을 동시에 향상시켜, 도전성 페이스트의 오프셋 인쇄 적용이 가능해질 것이다.

참 고 문 헌

- 1) E. W. Grald, J. A. Kulkarni and A. Dutta, Application of Multiphysics Simulations to Solve Practical Coating Flow Problems, International Coating Science and Technology Symposium, 11, pp. 181~184 (2002).
- 2) M. A. Johnson, D. W. Bousfield, Viscoelastic Roll Coating Flows, International Coating Science and Technology Symposium, 11, pp. 1~4 (2002).
- 3) M. Lathi, S. Lepp.vuori and V. Lantto, Gravure-offset-printing technic for the fabrication of solid films, Surface science, 142, pp. 367~370 (1999).
- 4) M. Pudas, J. hagberg and S. Lepp.vuori, The absorption ink transfer mechanism of gravure offset printing for electronic circuitry, IEEE transactions on electronics packaging manufacturing, 25(4), pp. 335~342 (2002).
- 5) J. hagberg, M. Pudas and S. Lepp.vuori, Gravure offset printing development for fine line thick film circuits, Microelectronics international, 18(3), pp. 32~35 (2001).
- 6) M. Pudas, J. Hagberg and S. Lepp.vuori, Roller-type gravure offset printing of conductive inks for high-resolution printing on ceramic substrates, International journal of electronics, 92(5), pp. 251~269 (2003).
- 7) D. S. Kim, T. M. Kim, Technology Trends of Printed Electro-Mechanical System journal of Korea Society of Mechanical Engineers, 46(12), pp. 38~44 (2006).
- 8) T. Kololuoma, M. Tuomikoski, T. Mäkelä, J. Heilmann, T. Haring, J. Kalionen, J. Hagberg, I. Kettunen, H. Kopola, Towards roll-to-roll fabrication of

electronics, optics and optoelectronics for smart card and intelligent packaging, Proceedings of SPIE, 5364, pp. 77~85. (2004).

- 9) P Coussot, "Rheometry of pastes, suspensions, and granular materials, A John Wiley & Sons inc, pp. 86~87 (2005).
- 10) I. Ichikawa, Science in Paper, Ink and Printing, Insatsukyoku Choyokai, p. 132 (1970).
- 11) J. E. Jeong, A study on the flow at the exit of printing nip, Journal of Korean Printing Society. p. 4 (2012).
- 12) J. T. Youn, Study on the pressure distribution and ink splitting at the exit of printing nip, Journal of Korean Printing Society. Vol. 10, No. 1, pp. 55~67 (1992).
- 13) W. C. Walker and J. M. Fetsko, A concept of ink transfer during printing, AM. Ink Maker, Vol. 33, No. 12, p. 38 (1955).
- 14) E. J. Lee. Effect of PVC and solvent content on the printability into the matt papers in offset printing, Journal of Korean Printing Society. p. 15 (2012).
- 15) M. I. Kolte and P. Szabo, Capillary thinning of polymeric filaments, The Society of Rheology Inc, pp. 609~625 (1999).
- 16) J. H Kang, K. M. Yu, K. W. Koo and S. O. Han, Precision measurement of silicon wfer resistivity using single-configuration FPPM, The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 60, No. 7, pp. 1434 ~ 1437 (2011).