

Oven형 건조 및 열풍건조에 대한 전도성 잉크의 건조 특성에 관한 연구

홍 승 찬*, 이 재 효†, 정 길 용
건국대학교 기계공학과

A study on the drying characteristics of conductive ink
by oven drying system and the hot-air drying system

Seung-Chan Hong*, Jai-Hyo Lee†, Gil-Yong Jung

Department of Mechanical Engineering, Konkuk University, Hwayang-dong, Seoul 143-70, Korea

ABSTRACT: Recently electronic circuit pattern printing technologies like antennas of RFID process are paid attention. oven drying system is being used since drying and curing time of RFID Tag Gravure printing normally takes from 5 minutes and up to 30 minutes long. In this case the parental material which is of a sheet shape is possible, however, for a massive and a continuous production drying and curing process must be done on-line. This research compared and analyzed the an oven type drying device and a traditional hot-air drying device. Considering the experiment result, the cell depth that shows low resistivity, which doesn't consider the pattern difference, is 31~33 μ m. Also, oven drying system showed some resistivity after around 120 seconds of drying time, and showed much better performance in minimum resistivity compared to the hot-air drying system.

Key words: Conductive ink, oven, Hot-air, curing, resistivity

———— 기 호 설 명 ————

그 리 스 문 자

S_h : Sherwood 수, $\frac{vL}{D_{AB}}$

Sc : Schmidt 수, $\frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{v}{D_{AB}}$

Re : Reynolds 수, $\frac{uL}{\nu}$

D_{AB} : 종(species) 확산계수

ν : 동점성 계수

μ : 점성 계수

ρ : 유체 밀도

1. 서 론

2004년 5월 정보통신부가 발표한 IT839 전략 중 “8대 신규 서비스“에 RFID(RadioFrequency Identification)가 포함되어 있다. 앞으로 정보화 시대가 가속화 될수록 이러한 정보화 시대를 실현시키는 핵심 기술인 RFID의 중요성은 점차

† Corresponding author

E-mail address: schong43@konkuk.ac.kr

증가할 것이다.

RFID 방식은 사물에 초소형 칩(chip)과 안테나를 태크 형태로 부착하여, 사물 및 주변 환경 정보를 무선 주파수로 네트워크에 전송하여 처리하는 비접촉형 자동식별 기술이다.⁽¹⁾ 최근 RFID 방식의 안테나와 같은 전자회로의 패턴을 인쇄하는 기술이 주목받고 있다. 핵심 소재인 전도성 잉크에 사용되는 금속은 입자가 나노 수준의 크기가 될 경우 경화 온도가 낮아져 녹는점 이하에서 경화가 가능해지므로 금속의 입자를 수십 나노 이하로 만들고 이를 분산을 시키고 잉크화 하면 낮은 온도에서 경화하여 전극을 형성할 수 있다.⁽²⁾ 전도성 잉크는 대부분 실버 나노 잉크가 사용되고 있으며 제조의 어려움으로 인하여 특정 몇 개 업체가 시장을 독점하고 있고 대량 생산보다는 실험실 수준의 제조로 인하여 1kg에 백 만원이 넘는 매우 고가에 판매되고 있다. 전도성은 일반적으로 비저항으로 표시되는데 은의 경우 $1.62 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}$ 의 비저항을 갖는다. 세계적인 전도성 잉크 제조 회사인 Parelec 사의 Parmod VLT ink(Gravure용)에서는 건조 및 curing(양생) 시간 3분에 온도를 150°C, 국내 잉크 제조 업체인 InkTek의 conductive Nano Silver Paste인 TEC-P010의 경우는 curing 시간 5분에 온도를 140°C를 권장하고 있다. 최근 일본의 TOKUSEN KOGYO Co에서는 curing 온도와 시간이 각각 110°C에서 1분 열처리하여 전기저항을 20~30 $\mu\Omega$ 을 얻었다. 그리고 인쇄 속도도 30m/min을 얻었다고 1st Int. Conference R2R Printed Electronics 2008에서 발표하였다. 그러나 RFID Tag용 Gravure printing을 하는 경우 카달로그 상에서는 건조 및 curing 온도와 시간을 각각 100°C, 2분으로 권장되고 있다.

최근 RFID 방식의 안테나와 같은 전자회로 패턴을 값싸게 제작하기 위해 연구되는 것은 인쇄식 방식으로 전도성 금속잉크를 사용하여 Gravure 인쇄방식으로 하는 것이 가장 바람직한 것으로 나타나고 있다. 여기에는 필연적으로 건조 및 curing 공정이 필요하다. 현재 대부분의 건조장치가 건조 및 curing 시간이 5분~30분 정도로 길기 때문에 주로 oven을 사용하고 있다. 이 경우 모재가 sheet 형태인 것은 가능하나 대량생산과 연속적인 생산을 위해서는 on-line 상에서 건조 및 curing 과정이 일어나야 한다.

본 연구는 RFID 인쇄용 on-line 건조장치 제작 및 성능향상을 위해 현재 일반적으로 RFID Tag용 Gravure printing에 사용되고 있는 oven형 건조 장치와 전통적인 Hot-air를 이용한 열풍 건조 장치를 비교 분석하였다. 본 연구의 결과를 적절히 활용하면 현재 oven형 건조 curing을 conveyer형으로 바꿀 수 있다.

지금까지 RFID 방식의 전자회로 패턴과 같은 전도성 잉크의 건조 특성에 관한 연구 자료가 거의 없었다. 대부분의 전도성 잉크 회사들이 제시하는 건조 특성 데이터는 oven형 건조 방식으로 curing 한 결과 이므로 conveyer형 열풍 건조 방식에 직접 적용하는 것이 불가능 하였다. 특히 일반적인 건조에 사용되는 conveyer형 hot-air를 이용한 열풍 건조 방식의 건조 특성 연구는 거의 없었으며 이로 인하여 대량생산과 연속적인 생산을 위한 on-line상에서의 건조 및 curing 과정에 대한 연구 또한 부족하였다.

실험에 관한 변수들은 가장 기본인 건조 방식의 변화에 따른 저항의 차이와 건조 온도, 건조 시간, 패턴의 cell depth 차이로 변수를 설정하여 실험하였다. 실험 매체는 RFID 안테나와 같은 전자회로 패턴 인쇄에 사용되는 전도성 잉크를 이용하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 건조 실험 요소

Pohlhausen equation⁽³⁾에 의하면

$$Sh = 0.664 Re^{\frac{1}{2}} Sc^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$Re = \frac{uL}{\nu}, Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad (2)$$

물질전달은 속도 u 와 거리 L 의 함수로 볼 수 있다. 또한 물질전달이 열전달의 메커니즘과 유사하므로 물질전달의 driving force인 $\Delta\xi$ (농도 차)는 열전달의 ΔT (온도차)에 해당한다. 따라서 물질 전달에 의한 건조량은 $F(Q, \Delta T)$ 의 함수라고 가정할 수 있다. (Q =풍량, ΔT =온도 차)

$Q, \Delta T$ 을 변경하면서 다음 실험 장치를 이용하여 실험 하였다.⁽⁴⁾

2.2 실험 장치

2.2.1 실험 방법

실험은 프린팅 장비를 이용하여 전도성 잉크를 PET 필름에 인쇄하고 이 필름을 oven형 건조 장치와 열풍 건조 장치에서 건조 및 curing 온도 변화 120℃, 135℃, 150℃에서 건조 및 curing 시간 변화 8초, 13초, 26초, 52초, 130초, 180초에 따른 PET 필름의 저항 변화를 측정한다.



Fig. 1 Entire of oven drying device .



Fig. 2 Entire of hot-air drying device.

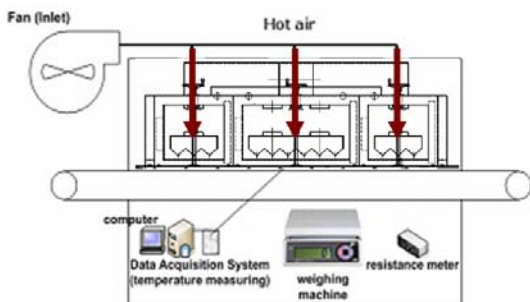


Fig. 3 Schmatic diagram of the hot-air drying system

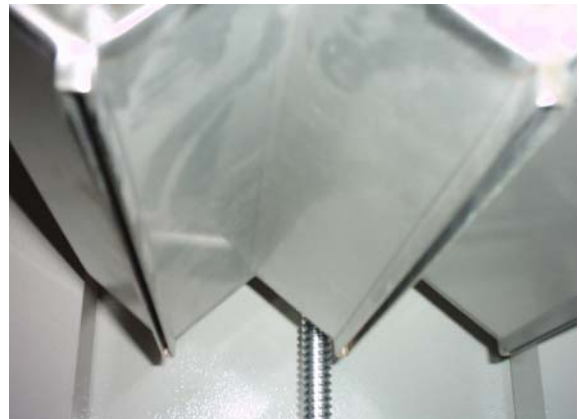


Fig. 4 Schmatic diagram of the nozzle type.

본 실험에 사용된 잉크는 세계적인 전도성 잉크 제조 회사인 Parelec 사의 전도성 잉크인 Parmod VLT ink를 사용하였고 사용된 PET 필름은 SKC의 SH34P 100 um PET 필름이 사용되었다. 프린팅 장비로는 고가의 전도성 잉크를 사용하기 때문에 한번에 많은 양을 사용하는 일반적인 프린팅 장비가 아닌 IGT Testing Systems사의 IGT Printability Tester F1 장비를 사용하였다.

또한, 정밀한 저항 측정을 위해 AIT 사의 측정 범위가 $10 \mu\Omega \cdot \text{cm} \sim 200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ 인 4-point probe 저항 측정 장비인 CMT-SR2000N 제품을 사용하였다.

Table 1은 실험에 사용한 전도성 잉크의 물성치 정보이다.

Table 1. Parelec : Parmod VLT

Pigment	silver
solvent	N-protein acetyl
Solid Content	~83 weight %
Viscosity	30 ~ 50 KcP
Specific gravity	~3.2 g/ml

2.2 실험데이터

oven형 건조 장치와 열풍 건조 장치와의 건조 성능 비교 분석에 앞서 먼저 실험에 사용한 전도성 잉크인 Parelec Parmod VLT의 경우 수입 과정에서 솔벤트가 제거된 상태에서 수입되기 때문에 실험에 사용하기 위해서는 실험 전 솔벤트를

섞어서 사용하게 되므로 실험에 사용된 전도성 잉크의 안전성 및 성능 검증을 위하여 Parelec 사의 제품 데이터와 oven에서의 건조 및 curing 후의 데이터를 비교하였다.

다음(Fig. 5)은 Parelec 사의 전도성 잉크 제품 데이터 상의 건조 및 curing 온도가 150°C 일 때 건조 시간 변화에 따른 저항값 변화를 그래프로 나타내면 다음과 같다.

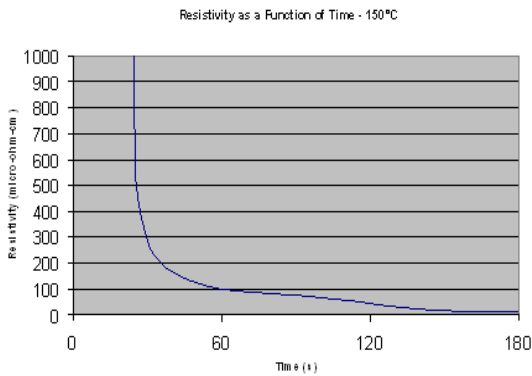


Fig. 5 Parelec data

다음(Fig. 6)은 oven 형 건조 장치에서 건조 및 curing 온도가 150°C 일 때 건조 시간 변화에 따른 저항값 변화를 그래프로 나타내면 다음과 같다. (oven, Re=18000, solvent 12%)

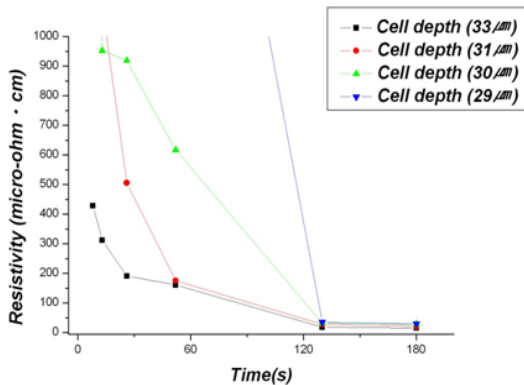
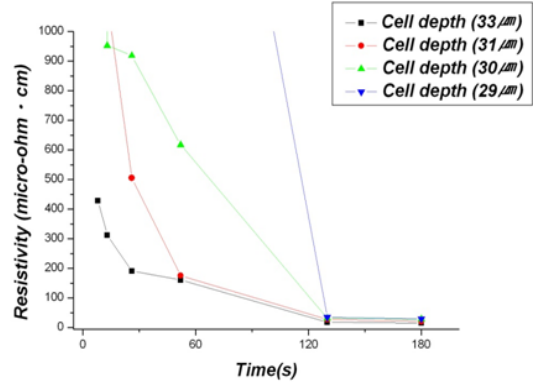


Fig. 6 Experiment data is changing cell depth

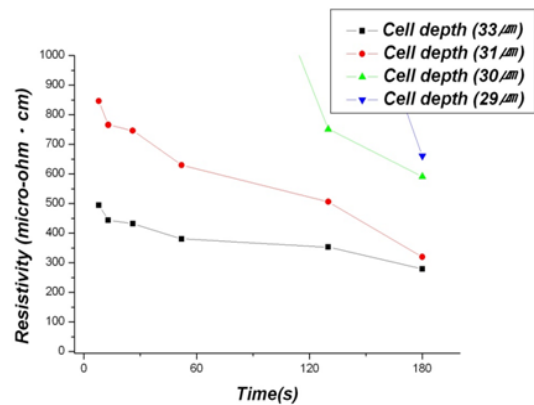
기초 실험 결과 프린팅 장비의 패턴 cell depth가 33~31 μm 에서는 실험 결과와 Parelec 사의 제품 데이터 값이 일치하였다. 이를 근거로 oven형 건조 장치와 열풍 건조 장치와의 건조 성능 비교 실험을 실시하였다.

다음(Fig. 7)은 건조 장치의 변화에 따른 시간 변화에 대한 저항값의 변화를 같은 cell depth의

변화에 따라 같은 온도(150°C)에서 실험한 결과를 나타내었다.



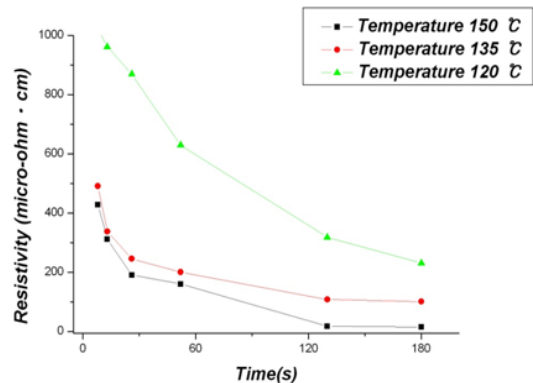
(a) oven , T=150°C



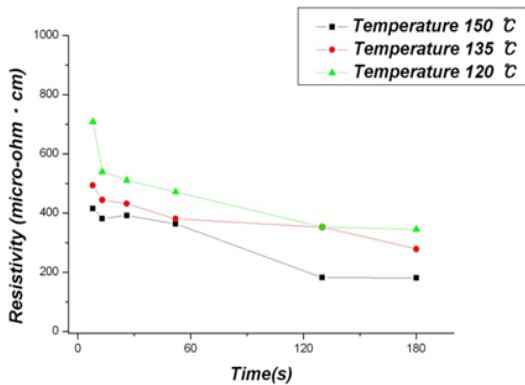
(b) hot-air , T=150°C

Fig. 7 Experiment data is changing cell depth.

다음(Fig.8)은 건조 장치의 변화에 따른 시간 변화에 대한 저항값의 변화를 같은 온도 변화에 따라 같은 cell depth(33 μm)에서 실험한 결과를 나타내었다.



(a) oven , cell depth = 33 μm



(b) hot-air , cell depth = 33 μm

Fig. 8 Experiment data is changing temperature.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 장치변화에 따른 실험 결과 (T=150°C)

Fig. 7를 살펴보면 건조 및 curing 온도가 150°C 일 때 oven형 건조 장치와 열풍 건조 장치에서 모두 cell depth가 깊을수록 저항이 작게 측정되었지만 cell depth가 31 μm 이상의 경우에서 비교적 안정적이었다. oven형 건조장치의 경우 건조시간이 증가할수록 저항이 감소하는 것을 알 수 있으며 건조 시간이 120초를 지나면 저항의 변화가 없이 거의 일정하게 나타났으며 약 10~20 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 를 나타내었다. 이에 반하여 열풍 건조 장치의 경우 oven형 건조 장치와 같이 건조 시간이 증가할수록 저항이 감소하지만 저항의 감소는 상대적으로 작았으며 300~400 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 를 나타내었다.

3.2 장치변화에 따른 실험 결과 (cell depth = 33 μm)

Fig. 8를 살펴보면 cell depth가 33 μm 일 때 oven형 건조 장치와 열풍 건조 장치에서 모두 건조 및 curing 온도가 높아지면 저항이 작게 측정되었다. oven형 건조 장치의 경우 건조 및 curing 온도가 135°C의 경우 건조 시간이 증가할수록 저항의 감소는 150°C와 차이가 거의 없었지만 최소 저항에서 차이를 보였다. 열풍 건조 장치의 경우 건조 및 curing 온도가 120°C이상일 경우 저항의 변화는 온도에 따라 크지 않았지만 oven형 건조 장치에 비하여 저항값이 좋지 않았다.

4. 결론

RFID 방식의 안테나와 같은 전자회로 패턴을 값싸게 제작하기 위한 전도성 금속잉크의 사용량을 최소화하면서 Gravure 인쇄방식에서 on-line 건조장치 제작 및 성능향상을 위한 건조 및 curing의 향상을 위한 연구 결과는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

(1) 인쇄 장치의 패턴 cell depth의 차이는 PET 필름으로 전이되는 잉크의 양에 영향을 미치는데 고가인 전도성 잉크의 특징을 고려하면 인쇄에 사용되는 잉크의 양을 최소로 하는 것이 경제적으로 이상적이다. 패턴 형태의 차이를 고려하지 않을 경우 낮은 저항을 나타낼 수 있는 패턴의 cell depth는 31~33 μm 이다. 이보다 낮은 cell depth에서는 저항이 좋지 않게 된다.

(2) oven형 건조 장치와 열풍 건조 장치의 비교 결과 oven형 건조 장치가 열풍 건조 장치보다 건조 및 curing 성능 면에서 뛰어났다. oven형 건조 장치의 경우 120초 정도의 건조 시간 이후에는 일정한 저항을 나타내었으며 최소 저항 면에서도 열풍 건조 방식보다 월등한 성능을 나타내었다. 이는 현재 사용되는 있는 전통적인 hot-air를 이용한 열풍 건조 방식이 전도성 잉크를 사용하는 인쇄방식에서는 건조 성능을 만족시키지 못한다는 것을 알 수 있다.

RFID 인쇄용 on-line 건조장치 제작 및 성능 향상을 위해서는 현재 일반적으로 사용되고 있는 전통적인 Hot-air를 이용한 열풍 건조 장치로는 불가능하다. 이는 전도성 잉크의 건조 특성과 수분 건조와 같은 전통적인 열풍 건조 특성에는 차이 점이 있으며 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 이와 함께 on-line 건조장치 제작 및 성능 향상을 위해서는 열풍 건조와 건조 특성이 다른 IR 및 UV 등을 이용한 건조 장치에서의 전도성 잉크의 건조 특성에 관한 연구 또한 추가적으로 필요할 것으로 보인다.

이와 같은 연구들을 통하여 on-line 상에서 건조 및 curing 과정이 일어난다면 현재의 oven형 건조 curing을 conveyer형으로 바꿀 수 있다. 이를 통하여 RFID 방식의 안테나와 같은 전자회로의 대량생산을 통하여 가속화 되는 정보화 시대에서 세계적으로 앞서 나갈 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 서울시 산학연 협력사업(10848) 지원을 받아 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Son, M. S., and Cho, B. L., 2006, Technology of RFID Tag , Polymer Science and Technology, Vol. 17, No. 1, pp. 4-17.
2. Kim, D. P., 2006, Electronic Devies Technology of RFID Tag , Journal of the KSME, Vol. 46, No. 12, pp. 45-49.
3. Griffien, J.,(1997) Suitability of the first order mass transfer concept for describing cyclic diffusive mass transfer in stagnant zones.
4. Lee, K. C., Lee, J. H., Kim H., and Lee J. H., 2007, Experimental Study on the Drying Rates of Impinging Air Slot jets with variations of flow rate, Temperature and Geometry, Proceedings of the SAREK, pp. 412-417.