대한설비공학회 2007 동계학술발표대회 논문집 pp. 203 ~ 208

07-W-032

근적외선을 이용한 인쇄기계의 건조특성 연구

최 규출†

† 동원대학 소방안전관리과

A Study on Drying Characteristics of Printing Machine Using NIR

Kyu-Chool Choi†

† *Department of Fire Safety Management, Tongwon College, Keongkido, Korea*

ABSTRACT : Drying characteristics are confirmed by experiment to a printing machine which use Gravure ink or metal ink for an optimum design of direct radiation drying system room using NIR. As a result, Drying is easily accomplished in short distance and low moving speed in Gravure ink, but drying is dropped in metal ink because of oil. This confirmed that the development of water metal ink had to be proceeded to accomplish a perfect drying condition.

Key Words: NIR(Near Infrared Ray), Gravure ink, metal ink, Radiation

1. 서론

적외선은 파장의 길이에 따라 원적외선, 근적외선, 중적외선으로 구분한다. 파장 범위가 15~100 μm를 원적외선, 0.75~1.5μm를 근적외선이라 한다. 적외선은 파장이 짧아지면 복사되는 에너지의 강도가 증가하는 법칙(Plank's law)을 이용하여 건조 열원으로 사용할 수 있다. 최근에는 다양한 분야에 근적외선 건조가 사용되고 있으며 이러한 건조를 근적외선(NIR, Near Infrared Ray)건조라 한다. 근적외선을 이용한 건조는 피 건조물에 근적외선을 직접 조사하는 직접건조방식과 열복사선을 이용하여 피 건조물 주변의 공기를 승온시켜 건조에 활용하는 간접건조방식으로 분류할 수 있다. 최근 산업용 기계의 건조용 열원으로 이용이 증가하고 있는 근적외선 건조는 기존의 열풍건조에 비하여 건조실 면적을 작게 하고 건조시간을 단축시킬 수 있어 각종 산업기계에 많이 이용하고 있다. 건조시간은 생산기계의 속도를 좌우하는 중요한 변수로 작용하기 때문에 빠른 시간에 고품질의 건조를 제공하는 것이 생산성을 향상시키는 중요한 변수이다. 특히 근적외선 방식의 건조시스템은 파장을 방사하는 램프의 위치나 흡열부의 형상이 건조 능력을 결정하는 주요 설계 인자로 작용하게 된다.

본 연구에서는 근적외선을 그라비아 인쇄용 잉크나 금속(Metal)잉크 건조 열원으로 사용할 때 일어나는 건조특성을 고찰하고, 건조에 영향을 미치는 피 건조물과 방사 램프간 거리, web의 이동속도에 의한 건조 성능을 실험하여 인쇄기계의 건조실 최적 설계조건을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 건조이론

건조는 피 건조물에 포함된 수분이나 각종 용액의 농도를 낮추어 재질의 변형이나 변질을 막아 장시간 보존하기 위한 방법으로 이용되거나, 때로는 다음 공정을 빨리 진행하기 위해 피 건조물의 습윤 상태를 제거할 목적으로 산업용 기계나 농수산물 보관에서 꼭 필요한 과정이라 할 수 있다. 건조과정은 피 건조물의 표면에서 용액이

증발하거나 외부로 배출되어지는 감률건조기간과 건조물 내부 수분이 배출되는 정률건조기간으로 분리하여 고찰할 수 있다. Fig. 1은 건조특성곡선으로 ①구역은 재료표면으로부터 증발이 일어나는 재료예열기간(Pre-heating period)이고 ②는 건조온도가 일정한 값을 가지고 함수율이 선형적으로 줄어드는 건조속도를 갖는 항률건조기간(Constant rate period)이라 한다. ③은 재료 내부의 수분이동이 표면으로부터 증발을 따르지 못하게 되어 재료온도는 표면에서부터 서서히 상승하는 구역이다. 따라서 공기와 재료의 온도차는 작아지므로 건조공기로부터 재료에 투입되는 열량은 감소하고 더욱 투입열은 증발 이외에 재료의 가열에 사용되므로 건조속도는 시간이 지남에 따라 차차 느려지게 된다. 그리고 결국 외부조건과 평형을 이루는 함수율에 이르러 건조가 종결된다. 이 기간을 감률건조기간(Falling rate period)이라 하며 이 과정을 거친 후 건조가 종료된다.

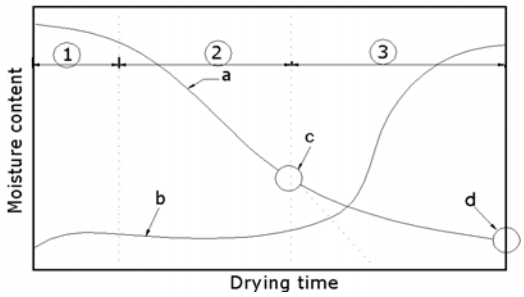

Fig. 1 Moisture content and solid surface temperature with drying time

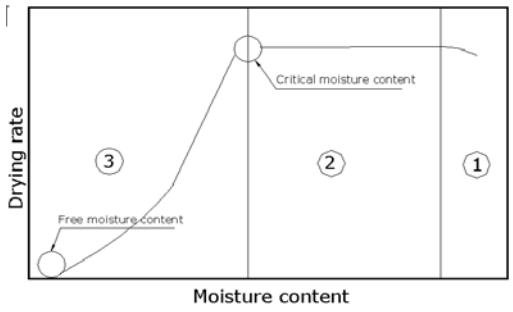

Fig. 2 Drying Characteristic Curve

2.2 NIR의 건조원리

근적외선을 이용한 건조는 열전달 현상 중 전도, 대류, 복사의 형태를 모두 이용하는 건조방법으로 낮은 비용으로 고품질 건조를 얻을 수 있다. 최근 경향은 근적외선을 이용한 건조가 효율이 높고, 에너지 절약형으로 인정되어 Painting 분야, 단색 Painting, Coating 부분에서 사용빈도가 증가되는 추세이다. 근적외선은 고체나 유체와 같은 매질이 없어도 전도, 대류, 복사의 빠른 열전달로 열손실 없이 건조물에 전달되므로 열효율 면에서 다른 건조에 비하여 유리한 편이다. 근적외선 건조의 열복사에 의한 열 전파속도는 3×10^8m/s 정도이고, 열 전달율은 85% 정도를 유지한다. 이러한 근적외선 파장을 이용하여 제작되는 건조기에는 튜브형(Tube), 램프형(Lamp), 패널형(Panel), 저항 발열형 세라믹히터 등 다양한 형태의 모양이 제작되어 산업현장에 보급되고 있다.

근적외선 발생에 사용되는 방사체의 전원을 산출하는 식은 Bolzmann법칙에 따라 식(1)과 같이 표현한다.

$$W = \epsilon \cdot \alpha \cdot A \cdot T^4 \quad \text{---------} (1)$$

ε : 방사율

σ : 상수 =5.67× 10^{-8} [Wm^{-2} T^{-4}]

A: 방사체 면적[㎡]

T:방사체 온도[K]

근적외선에서 나오는 짧은 파장에 의한 복사에너지는 Plank 법칙에 따라 수식(2)와 같이 표현된다. Plank 법칙은 방사체로부터 복사되는 에너지량의 분광분포 특성을 설명한 식으로 온도가 높아지면 복사에너지의 강도가 증가함을 볼 수 있다.

$$E_b = -\frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad \text{---------} (2)$$

T: 흑체의 절대온도[K]

C_1: 복사상수1 =3.742 × 10^8 [W.㎛^{4}/㎡]

C_2: 복사상수2 =1.439 × 10^4 [㎛.K]

복사 전열에 관련된 이론으로는 1893년 독일의

물리학자인 Wine(식(3))은 방사체의 절대온도와 최대 단색 방사도에서 파장과의 관계를 설명한 방사파장에 대한 변위법칙(Wine's displacement law)을 발표하였다.

또한 오스트리아 물리학자인 Boltzmann은 1884년 Stefan이 제안한 이론을 열열학적 이론으로 정리하여 Stefan-Boltzmann 법칙을 발표하였다. 이 법칙은 방사체 절대온도와 전방사도 사이에는 식(4)와 같이 흑체의 단위 표면 방출력은 절대온도의 4제곱에 비례한다고 발표하였다.

$$\lambda_m Tb = 2.8908 \times 10^{-3}\ [m.K] \text{-----} (3)$$

$$E_b = \sigma\, T_b^4\ [W/m^2] \text{----------} (4)$$

σ:Stefan-Boltzmann 상수= 5.67× 10^{-8}[W.m^2/Kv]

태양에서 발생되어지는 복사에너지는 단위시간당 3.8× 10^{26}[W] 정도를 방사하고 있으며, 그 중 지구상에 도착하는 에너지는 1.7×10^{17}[W]정도로 알려지고 있다. 이러한 태양의 복사에너지는 1월에는 1.43Kw/㎡정도, 6월에는 1.33Kw/㎡ 정도 나타나는 것으로 보고 되었다. 이렇게 지구로 보내지는 태양의 복사에너지는 5,700[K] 정도의 흑체가 방사하는 복사 에너지 량으로 간주한다.

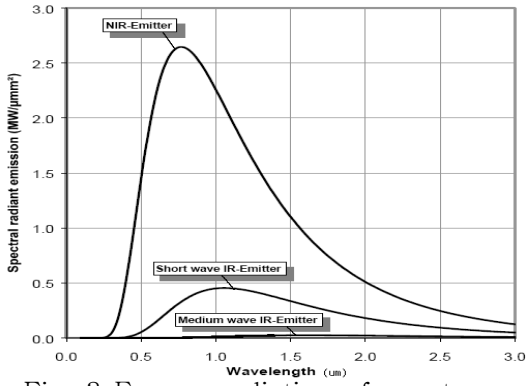

Fig. 3 Energy radiation of spectrum

Fig. 3은 파장별로 방사하는 에너지량을 나타내는 그림이고, Fig. 4는 파장별 에너지 전달율을 표시한 그림이다.

2.3 NIR 건조실험

2.3.1 건조실험 목적

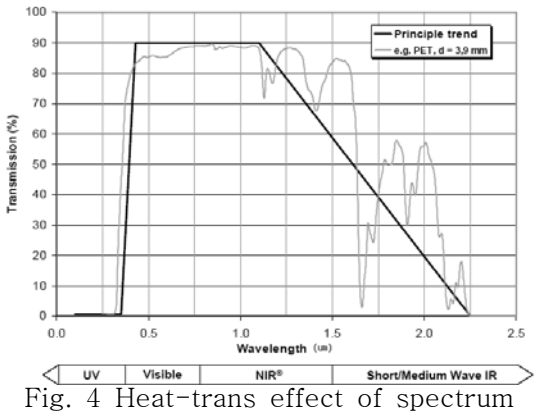

Fig. 4 Heat-trans effect of spectrum

NIR 건조방식은 고집적화된 복사 열에너지를 이용한 순간적 열전달 건조방식으로 인체에 무해하고 물질에 따라 서로 다른 투과, 반사, 흡수 작용을 통하여 인위적 생성을 가능케 함으로 산업용 건조에 이상적인 건조방법으로 등장하게 되었다. 여러 측면에서 유리한 NIR을 이용한 건조방식에서 건조물 모재의 종류와 건조물과 램프사이의 거리, web의 이송속도 등이 건조성능을 결정하는 요인으로 작용하게 되므로 다양한 실험을 통하여 피 건조물 별로 가장 효율적인 변수를 찾아 건조실 설계에 적용하여 친환경적인 고효율 순간 건조기술을 도입함으로서 건조속도를 최대화하고 건조실의 길이를 최소화하는 가장 이상적인 건조실을 설계하여 기계를 제작하는데 활용토록 한다.

2.3.2 실험장치 구성

NIR의 물리적 방사량은 1.5MW/㎡이고, 증발율은 1kg Water/1kWh 정도이다. 이번 실험에 사용되는 실험장치는 근적외선 발생 램프(용량4kWh) 3개를 하나의 그룹으로 구성하였다. 총 램프는 4개 그룹으로 12개(48kWh)를 사용하여 모재별로 램프 점등 여부를 제어하도록 구성되었다. 피 건조물 모재의 이송속도는 최대 30mpm까지 이동할 수 있도록 설계하였고, web의 이송거리는 3m로 제작 되었다. 이는 건조물 모재의 재질에 따라 이동속도를 달리하여 실험하고 재료별로 이동 거리를 조절할 수 있도록 하였다. 방사되는 근적외

선 역시 건조물 모재의 재질에 따라 램프의 점등 수를 제어함으로서 모재의 손상이나 변형을 방지할 수 있도록 제작되었다. 모재와 램프 사이의 거리는 10~500mm 범위에서 자유스럽게 조정되도록 하고, 램프는 web의 이송방향과 같은 방향으로 설치하여 방사 빛이 건조 모재에 골고루 비추어 지도록 구성한다.

Fig. 5는 실험용 건조기의 제작도 이고, Fig. 6은 제작된 근적외선 실험용 기계, Fig. 7은 상하 방향으로 이송이 가능한 램프의 Head부, Fig. 8은 근적외선 발생 램프 12개(48kWh)가 열을 방사하고 있는 그림이다.

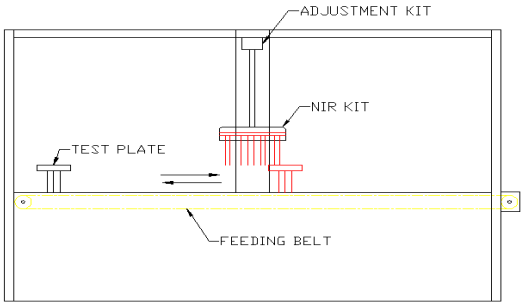

Fig. 5 Plate Drawing of dryer

Fig. 6 Testing machine of NIR

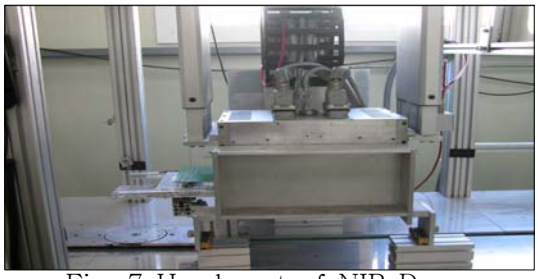
Fig. 7 Head part of NIR Dryer

2.3.3 실험 방법

실험을 통하여 NIR 건조율을 측정하고자 물과

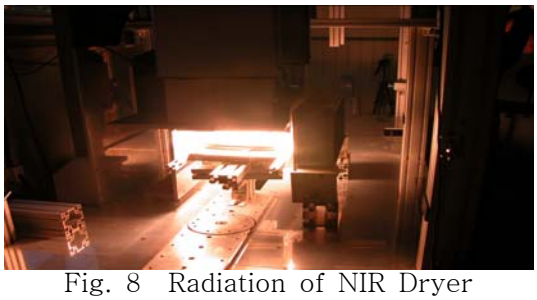
Fig. 8 Radiation of NIR Dryer

그라비아 인쇄잉크, Metal 잉크를 선택하여 실험하였다. 물은 일반적인 증발현상의 특성을 확인하고자 사용하였고, 잉크는 산업현장에서 사용중인 인쇄잉크를 건조 원료로 선택 하였다. 물은 50g을 종이와 강철 모재(母材) 위에 골고루 바른 후 NIR(48kWh)을 방사하여 물의 증발량을 측정하였다. 이때 web 이동속도는 15mpm(0.25m/s), 20mpm(0.34m/s), 30mpm(0.5m/s)의 세 가지 경우로 실험하고, 모재와 램프간 거리는 50, 100, 150mm의 세 가지 경우로 변경해 가면서 실험하였다. 그라비아 잉크와 메탈잉크의 경우는 강철판 모재에 50g의 잉크를 골고루 바른 후 물과 같은 이송속도와 램프 거리에서 실험하여 증발량을 측정하였다.

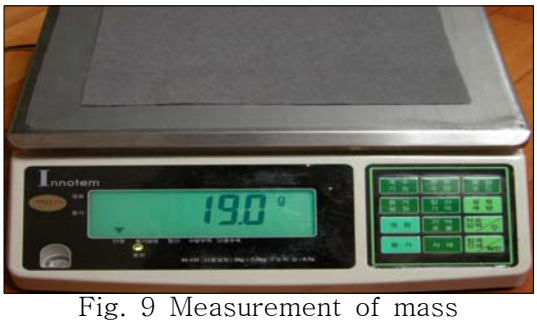

Fig. 9 Measurement of mass

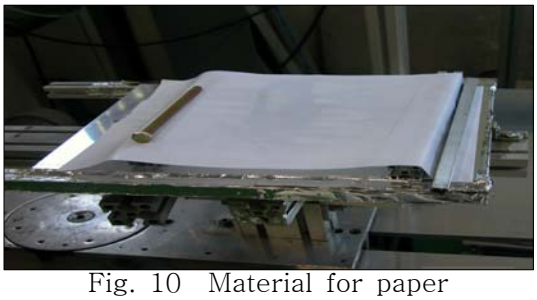
Fig. 10 Material for paper

Fig. 9는 물과 잉크의 증발량을 측정하는 저울(측정범위 0.5g)이고, Fig. 10.11.12는 실험에 사용한 모재로 물, 그라비아 잉크, 메탈잉크를 철판에 칠한 사진이다.

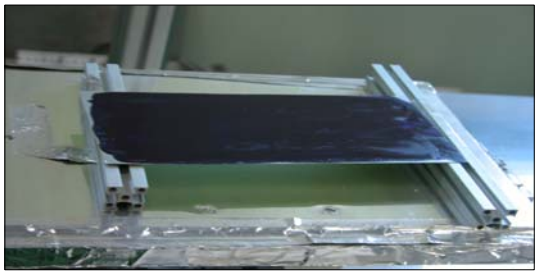

Fig. 11 Material of Gravure Ink

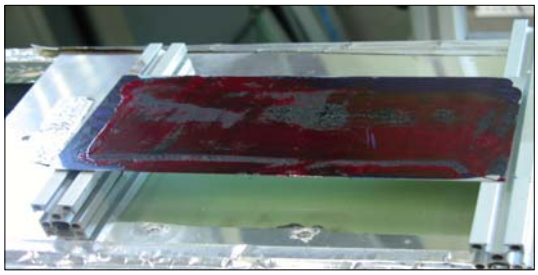

Fig. 12 Material of metal Ink

2.3.4 실험결과

피 건조물로 종이와 물을 사용한 실험결과는 종이의 표면에 묻어있는 물이 높은 복사열에 의하여 비산되어 건조여부의 확인이 어려웠다. 종이 속에 흡수된 물은 일반 건조현상에서 나타나는 것과 같이 1회 열복사로 완전히 증발됨을 확인하였다. 그러나 종이에 변색이 나타나 피 건조물이 물인 경우는 NIR 건조를 이용하는데 있어 문제점이 있는 것으로 예측한다. 근적외선 특성상 증발에 의한 건조와 비산에 의한 건조가 발생됨을 확인할 수 있었다. 그라바아 잉크 실험에서는 물과는 달리 건조가 매우 빨리 이루어짐을 보여준다. 이는 잉크에 포함된 솔벤트의 증발에 의하여 물보다 빨리 건조가 이루어짐을 알 수 있다.

Metal 잉크에서의 실험은 그라비아 잉크와는 달리 잉크에 포함된 금속 성분에 의하여 근적외선 침투효과가 낮아지는 관계로 건조성능이 그라비아 잉크보다는 현저하게 낮아지는 현상이 나타났다. 이는 향후 지속적인 연구가 필요한 부분이다. 근적외선을 metal 잉크에 적용하는 것은 합리적이지 못하다는 결과를 확인할 수 있었다. Fig. 13.14.15는 모재와 램프간의 거리를 바꾸어 가면서 건조율을 비교하여 본 결과로 물은 10sec 이내에 모두 건조되지 않았으며, 그라비아 잉크인 경우는 물보다 반 정도의 시간에 완전 건조가 이루어짐을 볼 수 있다.

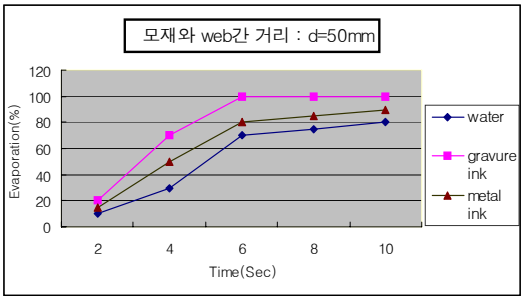

Fig. 13 Evaporation of distance 50mm

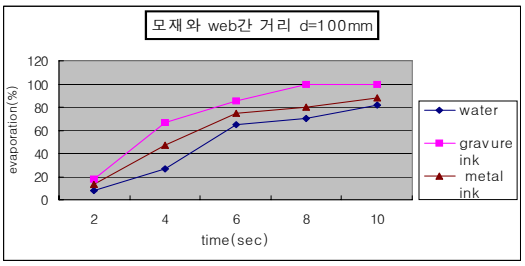

Fig. 14 Evaporation of distance 100mm

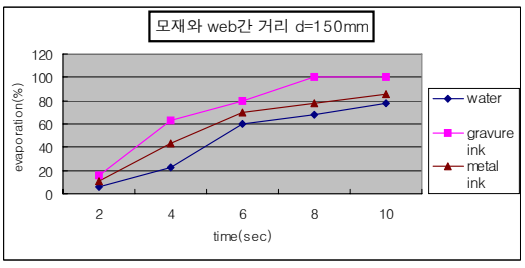

Fig. 15 Evaporation of distance 150mm

Fig. 16.17.18은 피 건조물별 건조속도 변화에 의한 건조율을 비교한 그림으로 물과 잉크는 건조특성이 서로 다른 것을 알 수 있다. 잉크는 짧은 시간에 완전 증발 건조가 이루어지나 물은 지정 시간 내에 모두 증발하지 못하고 잔량이 남는 것이 확인된다. web 이송속도에 의한 건조특성

역시 램프 거리와의 비교와 동일 건조특성을 나타냄을 확인하였다.

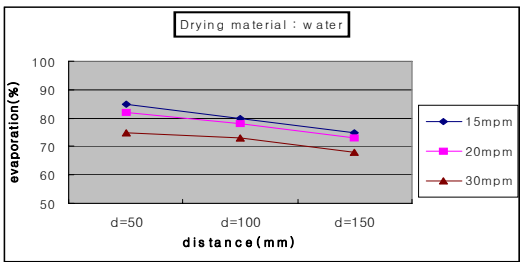

Fig. 16 Evaporation of water

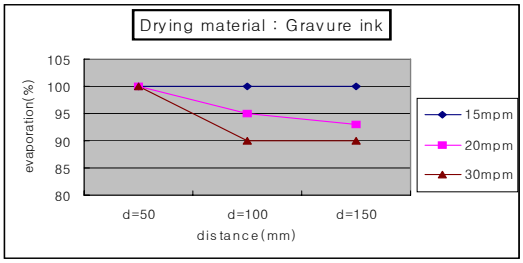

Fig. 17 Evaporation of Gravure ink

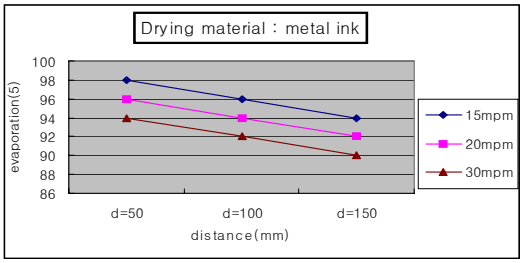

Fig. 18 Evaporation of metal ink

3. 결론

근적외선을 건조용 열원으로 사용하기 위해 모재와 램프간 거리와 web 이동속도를 변수로 하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

①물을 이용한 실험은 모재가 물을 충분히 흡수하고 골고루 분산되어 있다면 적은 전력량과 짧은 시간에 쉽게 건조가 이루어짐을 확인할 수 있다. 근적외선의 특성상 물은 증발에 의한 건조와 비산에 의한 건조가 동시에 발생함을 확인하였고, 물에서는 습윤된 피 건조물의 재질에 따라 근적외선 건조기의 사용여부가 결정되어야 함을 확인하였다.

②그라비아 잉크 실험에서는 필름에 인쇄하는 그라비아 잉크의 특성상 물보다 빠른 속도로 이송하여야 모재에 변형이 생기지 않는다. 근적외선을 이용할 경우 현재의 열풍건조 방식에 비해 짧은 거리의 건조실로도 충분히 고속 인쇄성능을 발휘할 수 있다. 고속으로 인쇄하는 그라비아 인쇄용 건조실로 근적외선 건조를 이용하여도 경제성이 있다는 사실을 확인하였다.

③금속 박판의 인쇄용인 metal 잉크에서의 건조실험은 메탈 잉크가 갖는 물리적 특성으로 인하여 건조능력이 그라비아 잉크에 비하여 현저히 떨어짐을 확인하였다. 이는 잉크에 포함된 금속성분이 근적외선의 침투력을 저하시켜 발생하는 현상으로 추정된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 현재 유성(油性)분으로 이루어진 metal 잉크를 수성(水性)분 잉크로 대체 개발하여야 할 것이다. 수성용 잉크가 개발되면 근적외선을 사용한 메탈 잉크에서의 건조가 경제성이 있으며 빠르고 간단한 건조가 가능하게 될 것이다.

참고문헌

1.C,J Erickon, "Handbook of Electrical Heating for industry", IEEE press, New York, 1955

2.Motohashi,K; General-Purpose For Infrared Ray Dryer, Journal-JAPANESE Society of Agricultural Machine, 2001

3.中野不二雄. 1987. 遠赤外線の茶くの利用, New Food Industry 29(4) : 1-3.

4.Abinyi, B,I., Feng, H., J., Edwards. C. G., Chew,B.P., Mattinson. D.S, and Fellman, T,K 2001, Quality retention in stanberry and carrnt process dried wit refractance windo system. Journel of Food Science, Vol.67, No 3, pp.1501~1056

5.本田重司 等. 1987. 遠赤外線利用技術に關する研究, 野菜乾燥における遠赤外線の效果, 北海道立工業試驗場報告286: 167-172