

수치계산에 의한 열전사 프린팅헤드의 열해석

조창주*, 정우남**

Thermal Analysis of Thermal Printing Head by Numerical Method

Chang-Joo Cho*, Woo-Nam Juhng**

ABSTRACT

A thermal printing head is used for heat transcription printing of facsimile or printer. The thermal printing head has multilayered thin films and heaters lined up. Thermal analysis of thermal printing head is important for a design of thermal printing head. Since the heating characteristics of thermal printing head is dependent on the thermal conductivities of multilayered material, this study made numerical analysis for three dimensional transient heat conduction in multilayered films by the finite difference method and investigated the effect of various thermal conductivities of thin films. The results of this study will be used to design thermal printing head and select the materials for thermal printing head.

Key Words : Thermal Printing Head(열전사 프린팅헤드), Multilayered Thin Films(박막적층), Thermal Conductivity(열전도율)

1. 서 론

열전사 프린팅헤드(thermal printing head)는 팩시밀리나 프린터 등에 사용되는 열전사 감열기록 장치이다. 헤드의 내부는 여러개의 얇은막에 의한 박막적층구조로 되어 있으며, 분해능에 따라 약 85 μ m의 간격으로 10~3000개의 발열부가 연속적으로 형성되어 있다. 열전사에 의한 인자는 헤드내부에 연결된 발열저항체에 의하여 발생된 펄스형의 열이 적층표면 상부에 있는 잉크를 녹여 종이에 부착 시키거나 감열지(thermal paper)에 전달됨으로써 이루어진다.

이때 헤드의 성능 및 분해능은 요구되는 면적에 얼마나

적절히 잉크를 짧은 시간 동안 녹여서 종이에 응고 시키는가에 따라서 결정된다. 너무 과도한 열이 잉크에 전도되거나, 적정기간의 경과후에도 열이 남아 있을 경우에는 글자가 번지는 현상이 일어나고, 너무 적은 열이 전도될 경우에는 글자가 잘 인쇄되지 않는 현상이 발생하게 된다. 따라서 열전사 프린팅헤드의 설계에 있어서 적층박막 내부의 순간적인 열전도 현상을 해석하여 온도분포 및 열전달율을 고찰하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 3차원 유한차분법을 이용한 수치해석에 의하여 적층박막의 순간적인 열전도 현상을 해석하여 프린팅헤드의 온도분포를 구하고, 적층박막재료의 열물성치가 열응답특성에 미치는 영향을 시간 및 위치에 따라 고찰하였다.

* 전남대학교 공업기술연구소

** 전남대학교 기계공학과

2. 이 론

2.1 열전사 프린팅헤드

열전사 프린팅헤드의 평면도가 Fig.1의 (a)에 나타나 있으며, (b)는 A-A'의 단면도를 나타내고 있다. A-A' 단면도에 나타난 적층의 구조는, 기판(substrate)위에 유리층(glaze)이 있고 그 위에 내마모성의 절연체인 보호막층(protection layer)이 덮여 있는 구조로 되어 있다.

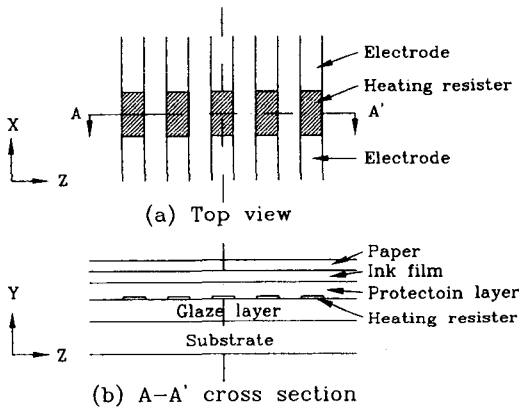


Fig. 1 Thermal printing head

유리층과 보호막층의 사이에는 열저항체(heating resistor)와 전극(electrode)으로 구성된 발열부가 형성되어 있다. 발열부의 전극에 펄스형의 전류가 흐르면 저항체에서 열이 발생한다. 이 열에 의하여 보호막층이 적절한 온도로 가열되며, 보호막층에 밀착되어 있는 잉크를 녹여 종이에 부착시키거나 감열지를 감열시킴으로써 인쇄가 이루어진다. 이때에 보호막층의 온도분포와 온도가 인쇄의 선명도를 좌우한다. 펄스형의 전류가 흐르는 시간(τ_w)은 약 0.8ms정도이며 6.3ms의 주기(τ_p)로 발열을 반복한다. 연속적인 인쇄는 펄스의 주기와 맞추어 연속적으로 잉크와 종이를 이송함으로써 이루어진다.

2.2 지배방정식

열전사 프린팅헤드의 온도분포를 해석하기 위한 지배방정식은 다음과 같이

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{k} g(x, y, z, t) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

으로 나타낼 수 있다.^(1,2,3) 여기서 k와 α 는 열전도율

(thermal conductivity)과 열확산계수(thermal diffusivity)이고, $g(x, y, z, t)$ 는 열원(heat source)이다.

2.3 열 원(heat source)

발열저항체에 펄스형의 에너지가 주기적으로 가해질 때, 가해진 에너지 크기를 f, 가해진 시간(펄스폭)을 τ_w , 주기를 τ_p 라 하고 이를 도식적으로 나타내면 Fig.2와 같은 방정식으로 나타내면 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$g(x, y, z, t) = \begin{cases} f, & 0.0 < \tau < \tau_w \\ 0.0, & \tau_w < \tau < \tau_p \end{cases} \quad (2)$$

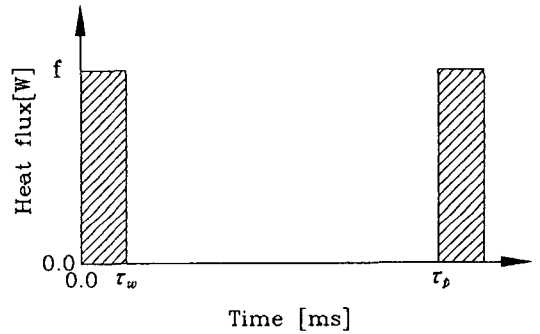


Fig. 2 Heat source

2.4 무차원화(Nondimension)

본 연구에 의하여 수행된 수치해석의 적용범위 확대와 편리함을 위하여, 모든 물성치에 대한 무차원은 보호막층의 값에 의하여 행하였으며, 변수에 대한 무차원은 다음과 같다.

$$\xi = \frac{x}{H}, \quad \eta = \frac{y}{H},$$

$$\zeta = \frac{z}{H}, \quad \tau = \frac{\alpha t}{H^2},$$

$$h_{dl} = \frac{hH}{k},$$

$$S(\xi, \eta, \zeta, \tau) = \frac{g(x, y, z, t)H^2}{T_{ref}k},$$

$$\Theta(\xi, \eta, \zeta, \tau) = \frac{T(x, y, z, t)}{T_{ref}}$$

여기서 H는 열전사프린팅헤드의 높이(즉, y축방향의 전체길이)이다.

3. 수치해석

본 연구의 수치해석은 Fig.1에 나타난 열전사 프린팅 헤드의 모형에서 종이와 잉크를 제거한 적층구조체를 해석대상으로 하였으며, 또한 동일한 형상을 갖는 발열체가 Fig.1과 같이 균일한 간격의 행과 열로 배열되어 있으므로, 열전도현상의 대칭성에 의하여 Fig.3과 같이 해석영역을 1개의 발열저항체로 제한하였다. 즉 1개의 발열저항체를 중심으로 x축과 z축의 양편에 같은 에너지를 발생시키는 또 다른 발열체들이 있으므로 주위의 발열체로 이동하는 열에너지는 없다고 가정하여 해석 할 수 있다.

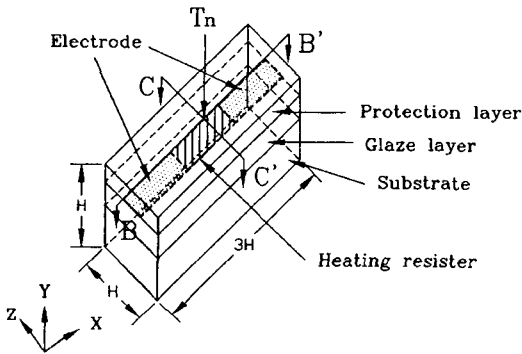


Fig. 3 Schematic of 3-dimensional analysis model ($H = 8.5 \times 10^{-4}m$)

또한 1개의 발열저항체는 발열체의 중심을 지나는 x축과 z축의 대칭에 의하여 Fig.4와 같이 수치계산영역을 1개 발열저항체의 1/4영역으로 제한하여 계산을 수행하였다.

Fig.4에 도시된 수치계산모형에서 내부온도분포를 계산하기 위해서, 기판은 46 X 16 X 16, 유리 층은 46 X

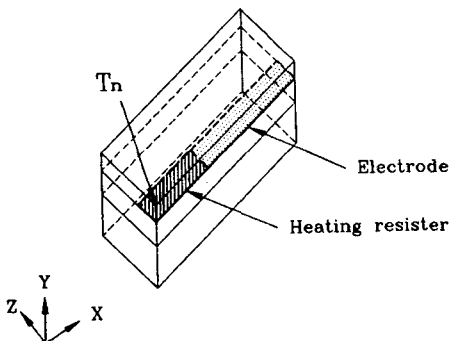


Fig. 4 Schematic of 3-dimensional numerical model

11 X 16, 발열부는 46 X 2 X 16, 보호막층은 46 X 6 X 16의 격자를 생성하여 계산하였다.

지배방정식(1)을 무차원화한 후, FTCS (Forward Time and Central Space)에 의하여 차분화된 방정식을 명시방법(explicit method)에 의하여 전개하면

$$\Theta_{i,j,k}^{n+1} = Fo(\Theta_{i+1,j,k}^n + \Theta_{i-1,j,k}^n + \Theta_{i,j+1,k}^n + \Theta_{i,j-1,k}^n + \Theta_{i,j,k+1}^n + \Theta_{i,j,k-1}^n) + (1-6Fo)\Theta_{i,j,k}^n + S^n(i,j,k) \quad (3)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 Θ , Fo 와 S 는 각각 무차원온도, Fourier 수와 무차원화 된 열원을 나타내고 있다.

경계조건은 각 층간의 열접촉저항을 무시하였고, 보호막층의 상면과 기저층의 하면을 제외한 모든 면을 단열조건으로 계산하였으며, 보호막층의 상면은 대류경계조건으로, 기저층의 아래면은 실온으로 고정하여 계산하였다.

수치계산을 위한 내부격자점 및 대류경계 수렴조건으로는 우리에게 잘 알려진 수렴조건인⁽⁵⁾ $F_0 < 1/4$ 와 $F_0(1+B_0) < 1/4$ 에 만족될 수 있도록(B_0 : Biot number), $\Delta\tau = 7.53 \times 10^{-7}$ 와 $\Delta\xi = \Delta\eta = \Delta\zeta = 0.0333$ 을 선택하여 $F_0 \approx 0.1$ 인 조건에서 계산을 실행하였으며, 각 조건에 따른 수치계산 실행시간은 CPU가 233MHz인 개인용 컴퓨터(RAM 96M)를 이용하여 약 8시간 정도 소요되었다.

무차원화하여 계산된 결과들은 실제의 값으로 환산하여 결과 및 고찰에 나타냈다.

4. 결과 및 고찰

4.1 보호막의 열전도율에 따른 표면 및 내부온도 분포

열전사프린팅 헤드에 있어서 잉크의 용융면적 및 형상은 인자품질에 크게 영향을 미치고, 잉크의 용융면적과 형상은 보호막의 표면 온도분포의 형상에 의하여 결정된다. 이에 따라 보호막의 열전도율 변화가 적층표면 온도 분포에 미치는 영향을 고찰하기 위하여, 보호막층과 유리층 사이에 위치한 발열저항체에 0.042W의 전류를 0.8ms(τ_w) 동안 통전한 직후(즉, 보호막층의 온도가 가장 높게 상승될 때)의 순간 온도분포와 등온선을 Fig. 5, 6, 7에 나타냈다.

Fig.5,6은 보호막층의 열전도율 변화에 의한 보호막층 상면의 중앙점(T_n)을 지나는 x축 및 z축에 따른 온도분포와 상면의 등온선을 나타낸 것이고, Fig.7은 Fig.3의 B-B'와 C-C'단면에서의 등온선을 나타낸 것이다.

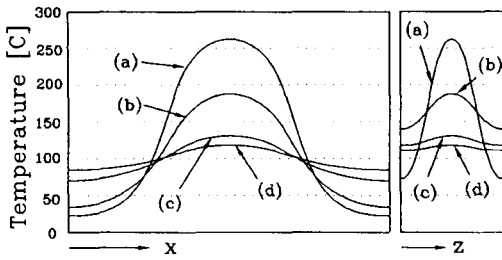


Fig. 5 Temperature distributions on surface of the protection layer.

(conductivity of glaze : 1 W/mK)
 (a) 1 W/mK (b) 10 W/mK
 (c) 50 W/mK (d) 100 W/mK

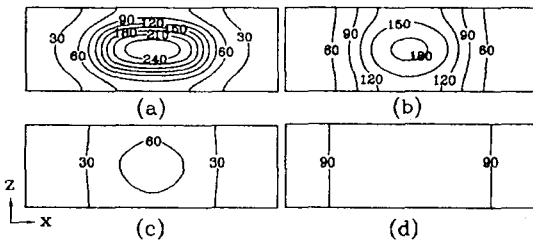


Fig. 6 Isothermal lines of protection layer surface for various thermal conductivities of the protection layer.

(conductivity of glaze : 1 W/mK)
 (a) 1 W/mK (b) 10 W/mK
 (c) 50 W/mK (d) 100 W/mK

결과에 의하면 보호막의 열전도율에 의하여 최고온도와 온도분포 형상이 크게 변한다. 즉, 보호막층의 열전도율이 낮은 경우(1 W / mK)에 약 100℃ 부근에서 급속히 온도가 상승되어 보호막 중심부의 최고온도가 약 265℃에 도달하고, 표면의 온도분포 형상은 발열체의 형상과 거의 같게 나타나고 있다. 그러나 보호막의 열전도율이 높아 지는 경우(10 ~ 100W/mK), 중심부의 온도상승은 거의 일어나지 않고 주변의 온도와 거의 같으며, 표면 온도분포의 형상도 발열체의 형상과 거의 무관하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉 보호막층의 열전도율이 높은 경우에는 발열부에서 발생한 열이 보호막층을 통과하는 동안 주위로 확산되어 넓은 온도분포를 갖으나, 보호막층의 열전도율이 낮은 경우에는 주위로 전도되는 열량이 적어 발열부의 윗 부분에 집중된 급한 기울기를 갖는 온도 분포가 형성된다.

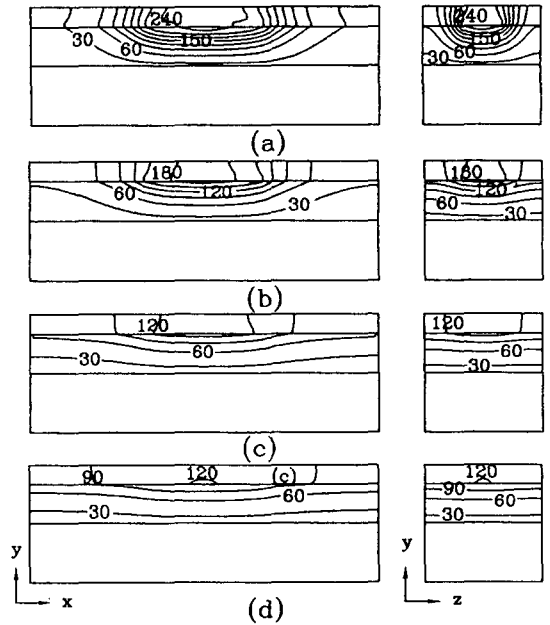


Fig. 7 Isothermal lines of B-B' and C-C' cross section.(Thermal conductivity of glaze layer : 1 W/mK)

(a) 1 W/mK (b) 10 W/mK
 (c) 50 W/mK (d) 100 W/mK

이러한 집중형 온도분포는 인접된 다른 발열부에 열적 영향을 거의 미치지 않으므로 특수한 고밀도 인쇄를 요한 열전사프린팅 헤드설계에서 고려해야 할 내용이다. 그리고 보호막층에 고열전도율의 재료를 사용해야 할 경우, 발열부에서 발생된 열이 주위로 확산되지 않도록 하는 또 다른 연구가 필요할 것이다.

4.2 보호막과 유리층의 열전도율에 따른 표면 온도분포

Fig. 8은 보호막층의 열전도율 뿐만 아니라 유리층의 열전도율에 따른 보호막층 상면의 중앙점(T_{in})을 지나는 x축 및 z축 상의 온도분포를 알기 위하여 나타냈다. 결과에 의하면, 보호막의 열전도율이 1 W/mK이고, 유리층의 열전도율이 1.0에서 0.1 W/mK로 변화할 때, 최고온도는 약 110℃ 상승하나, 보호막의 열전도율이 50W/mK일 경우에는 유리층의 열전도율이 1.0에서 0.1W/mK로 변화하여도 최고온도는 약 50℃ 정도의 상승이 일어난다.

즉, 온도분포의 형상에 있어서는 유리층의 열전도율에 의한 영향은 적지만 적층표면의 최고온도는 유리층의 열

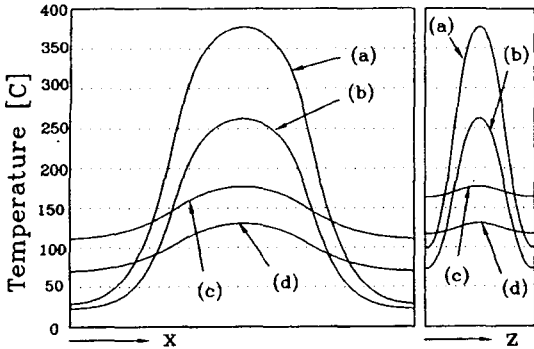


Fig. 8 Temperature distributions on surface of the protection layer for various thermal conductivities of the protection and glaze layer.

- glaze layer : protection layer
- (a) 0.1 W/mK : 1 W/mK
 - (b) 1.0 W/mK : 1 W/mK
 - (c) 0.1 W/mK : 50 W/mK
 - (d) 1.0 W/mK : 50 W/mK

전도율에 의하여 크게 의존하며, 특히 보호막층이 저열전도율일 경우에 유리층 열전도율의 영향을 크게 받는다.

4.3 보호막 및 유리층의 열전도율에 따른 열응답성

발열저항체에 직사각형 펄스 전류가 가해 졌을 경우, 보호막층 및 유리층의 열전도율이 적층표면의 중앙온도 (T_n)에 미치는 영향을 비교하기 위하여, 보호막층 및 유리층의 열전도율을 변화시키면서 계산된 표면 중앙온도를 시간(주기)에 따라 Fig.9,10에 나타냈다.

Fig.9에 의하면 보호막의 표면 중앙온도는 보호막의 열전도율에 의하여 크게 영향 받음을 나타내고 있다. 즉, 보호막의 열전도율이 1 (W/mK)의 경우에는 발열저항체에 전류의 통전과 동시에 급격한 온도 상승이 일어나고, 최고온도가 약 260℃에 달하지만, 열전도율이 커짐(50, 100W/mK)에 따라 펄스가 가해졌어도 온도상승은 완만하게 나타나며, 최고 온도도 각각 약 130, 120℃에 달한 정도이다. 또한 최고온도에 도달한 시간은 열전도율이 낮은 1 W/mK의 경우에 가장 오래 걸린다.

유리층의 열전도율에 따른 보호막층표면의 열응답특성이 Fig.10에 나타나 있다. 유리층의 열전도율에 따른 발열냉각곡선의 큰 변화는 보호막층의 열전도율이 낮고 유리층의 열전도율이 낮은 경우에 현저하게 나타난다. 보호막의 열전도율이 1 W/mK인 경우에 유리층 열전도율에 의한 적층표면 온도의 영향을 비교하면, 유리층 열전도율

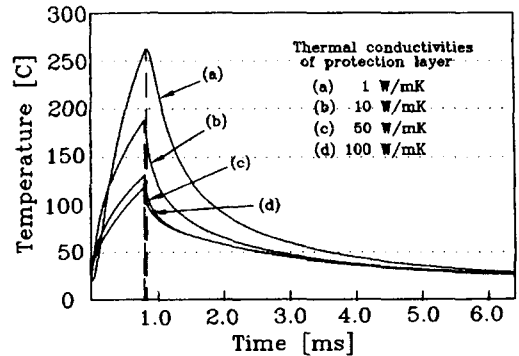


Fig. 9 Transient temperature variation for thermal conductivities of the protection layer.(Thermal conductivity of glaze : 1 W/mK)

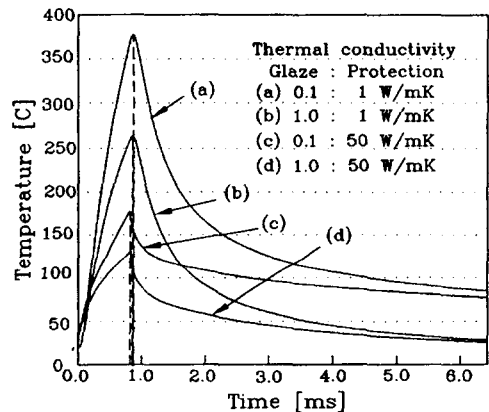


Fig. 10 Transient temperature variation for thermal conductivities of the glaze and protection layer.

이 1에서 0.1 W/mK로 낮아지는 경우에 최고온도가 약 110℃ 상승하고 최고온도에 도달한 시간도 약간 길다. 그러나 보호막의 열전도율이 50W/mK로 높은 경우에는 유리층의 열전도율이 1에서 0.1 W/mK로 변하여도 최고온도는 약 50℃ 정도 상승하고 최고온도에 도달한 시간도 거의 같다. 위와 같은 결과에서 알 수 있듯이, 보호막의 최고온도를 높이거나 집중된 온도분포를 얻기 위해서는 유리층의 열전도율을 낮추거나 보호막의 열전도율을 낮게 함으로써 얻을 수 있다. 그러나 Fig.10의 발열냉각곡선 (a)와 (c)에서 나타나듯이, 유리층의 열전도율이 너무 낮은 경우에는 인쇄주기가 6.3ms가 경과한 후에도 잔류온도가 약 80~90℃정도 되는 경우가 발생하게 된다. 이와 같이 인쇄주기가 경과된 후에도 많은 량의 열이 적

층표면에 남게 되면, 인쇄는 아주 짧은 주기(약 6.3ms)로 계속반복 되므로 잔류열이 다음 주기의 온도분포에 영향을 주어, 인쇄글자가 번지는 현상이 발생할 수 있으므로 이점도 충분히 고려되어야 한다.

이상의 결과를 고려해 볼 때, 보호막층과 유리층의 열전도율의 변화가 적층박막구조체의 표면 최고온도와 최고온도 도달시간에 큰 영향을 미치는것을 알 수 있다. 따라서 양질의 열전사 프린팅 헤드를 개발하기 위해서는 반드시 위 결과를 기초로 한 설계가 이루어져야 할 것이다.

5. 결 론

본 연구의 소재인 열전사 프린팅헤드는 팩시밀리나 프린터등에 사용되고 있을 뿐만 아니라, 향후 그 사용범위 및 응용범위가 매우 넓어질 것으로 예상되므로, 열전사 프린팅 분해능과 정밀도의 향상이 크게 요구되고 있다. 또한 양질의 프린팅헤드를 설계하기 위해서는 프린팅헤드에 대한 열적해석이 필수적이며, 본 연구의 수치해석적 연구에 의하여 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

1. 보호막의 최고온도를 높이거나 집중된 온도분포를 얻기 위해서는 보호막과 유리층의 재료로 열전도율이 낮은 물질을 사용해야 한다. 즉 보호막층의 재료로 열전도율이 낮은 물질을 사용함으로써 인쇄정밀도를 높일 수 있다.
2. 보호막층의 표면 최고온도는 보호막 및 유리층의 열전도율이 낮은 경우에 영향이 크며, 열전도율이 높은 경우에는 영향을 적게 받는다.

3. 보호막층 및 유리층의 열전도율은 적층박막 구조체의 표면 최고온도와 최고온도의 도달시간에 큰 영향을 미친다. 특히 유리층의 열전도율은 주기 경과 후의 잔류열량에도 큰 영향을 미친다.

본 연구를 통하여 박막의 열전도율, 표면온도 분포 및 열응답성의 관계를 구하였으며, 이 연구 자료로부터 열전사 프린팅헤드에 사용되는 열저항체(thermal resister) 및 보호층(protection layer)등의 재료 선택에 대한 자료를 제공하고, 열전사 프린팅헤드의 설계에 대한 개념을 보임으로써 보다 좋은 양질의 열전사 프린팅헤드 개발에 크게 도움이 될 것으로 기대된다. 또한 정확한 프린팅헤드의 열적설계를 하기 위해서는 적층박막층을 구성하고 있는 각 박막재의 정확한 열전도율 측정이 선행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Holman, J. P., "Heat Transfer," McGraw - Hill, Inc., 1981.
2. Özisik, M. N., "Heat Conduction," John Wiley & Sons, New York, 1993.
3. Arpaci, V. S., "Conduction Heat Transfer," Addison-Wesley, California, 1966.
4. Adams, J. A., and Rogers, D. F., "Computer Aided Heat Transfer Analysis," McGraw - Hill, Tokyo, 1973.
5. Minkowycz, W. J., "Handbook of Numerical Heat Transfer," John Wiley & Sons, New York, pp.71-78, 1988.