

적외선 패널히터의 온도분포 측정

이 공 훈[†] · 하 수 석* · 김 욱 중**

Measurement of Temperature Distribution in the Infrared Panel Heater

Kong Hoon Lee, Su Seok Ha, and Ook Joong Kim

Key Words: Infrared heating (적외선 가열), Panel heater (패널히터), Infrared thermal imaging system (적외선 열화상 장치), Pyrometer (적외선 온도계)

Abstract

Temperature distribution and heating characteristic of the panel heater for infrared heating have been investigated. The temperature variation with time is firstly measured with the thermocouple to figure out the response time of the heater to the power input. The heater reaches faster to the steady state in comparison to the ceramic heater. The infrared thermal imaging system is utilized to investigate the temperature distribution over the heater surface. The measured thermal images show that the thermal boundary layer induced by the free convection near the heater surface affects the temperature distribution on the surface. The images also show the fairly good uniformity of the temperature distribution in the core region of the surface.

1. 서 론

적외선 가열(Infrared Heating)은 전기에너지를 열에너지로 변환시켜 이용하는 방법으로서 효율도 높고 에너지 절약이 가능하며 보편성이 높아 산업분야 뿐만 아니라 의료 및 식품분야에까지 그 활용도가 증가하고 있는 실정이다. 최근에는 고품질의 기능을 하는 가열방법의 하나로서 표면 가열과 도장(Paintng), 코팅(Coating) 등의 건조 및 열가소성(Thermoplastic) 물질 성형을 위해 필요한 가열연화공정에 가장 일반적으로 사용되고 있다.^(1,2)

적외선복사에 의한 가열은 전도가열 및 대류가열과는 달리 열원에서 나온 열에너지의 이동형태가 전자파에 의해 이루어지는 전달방식이다. 전자파의 형태로 에너지를 전달시킬 때 중간에 전달을 위한 물체를 필요로 하지 않으므로 에너지를 전달하는 과정에서의 열 손실이 거의 없다.⁽³⁾ 이와 같이 열의 이동이 직접적이고 손실이 거의 없기 때문에 높은 효율로 짧은 가열 시간이 요구되는 곳에 유리하다.

일반적으로 적외선 복사는 가시 광선보다 긴 파장 영역, 즉 0.76 ~ 1000 μm 에서 방사되는 복사를 의미하며, 이를 다시 근적외선, 중적외선, 원적외선으로 구분하기도 한다. 적외선 히터는 히터의 표면온도에 따라 사용 가능한 적외선 파장 영역이 달라지므로 가열 대상의 흡수 특성에 따라 적절한 가열 온도를 선택하여 사용하는 것이 효율적이다.

적외선 히터는 형태에 따라 파이프형 히터

[†] 한국기계연구원 열유체공정기술연구부

E-mail : konghoon@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7291 FAX : (042)868-7335

* 경남대학교 대학원 기계공학과

** 한국기계연구원 열유체공정기술연구부

(Tublar heater), 패널형 히터(Panel Heater), 램프형 히터(Lamp type heater)가 있다.⁽⁴⁾ 패널형 히터(Panel Heater)는 패널모양의 적외선 복사체의 안쪽면 또는 내부에 저항발열체를 장착하여 발열체에 의해 가열된 복사체로부터 적외선 복사를 이용하는 방식의 히터이다. 패널형 히터는 건조 및 가열로 내에서 높은 에너지밀도를 높게 얻을 수 있으며, 반사판이 불필요하고 구역별 온도조절이 가능하다는 장점이 있다. 또한 온도분포가 균일하기 때문에 넓은 표면적의 비교적 얇은 물체를 가열하는데 적당하다. 이러한 패널 히터는 단독으로 사용하기보다는 균일 가열이 가능하도록 여러 개의 히터를 배열하여 사용하게 된다. 따라서 균일 가열을 위하여 적절한 히터의 배열을 찾는 것도 중요한 문제가 된다.⁽⁵⁾

본 연구에서는 도장, 코팅 등의 건조에 주로 사용하는 적외선 패널히터를 개발하기 위한 연구의 일환으로 패널히터 시제품을 제작하고 그 히터의 가열특성을 알아보기 위하여 온도분포를 측정하였다.

2. 실험장치

실험 장치는 Fig. 1과 같이 패널히터 가열부와 적외선 열화상 카메라(Scanner)를 이용하여 패널히터의 온도분포를 관찰하고 영상을 처리하여 저장하기 위한 영상저장부, 측정한 온도를 수집하고 저장하기 위한 데이터 취득부로 구성된다.

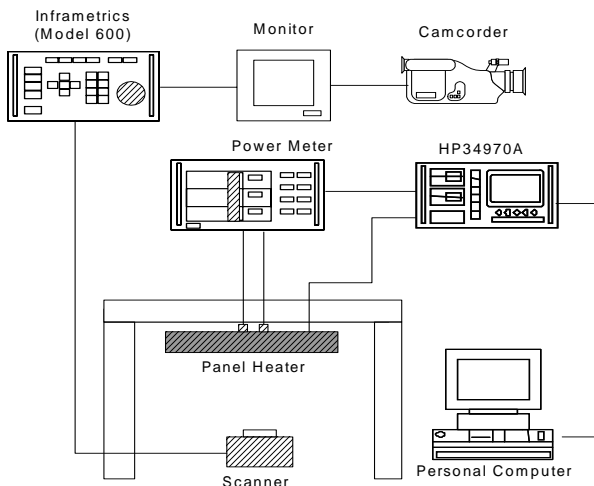


Fig. 1 Schematic of the experimental apparatus

2.1. 가열부

패널히터의 적외선 복사체는 1 mm 두께의 STS(Stainless steel) 판을 사용하여, 크기 200 mm × 100 mm로 제작하였으며, 복사에너지 방사율 향상을 위해 표면에 코팅을 하였다.

복사체 내부에 위치한 저항발열체는 크기 42 mm × 198 mm의 운모판 2개에 약 0.85 mm 두께의 열선을 각각 44회 정도 감아 제작하였다.

열선은 균일한 열분포를 위해 일정 간격을 유지하였으며 운모판 앞뒤로 코일이 서로 겹치지 않게 각도를 주었다. 코일과 STS 판 사이에 전기 절연을 위하여 운모판을 설치하였다.

열선과 운모판, 적외선 복사체인 STS판은 서로 밀착되어 위치하기 때문에 코일에서 발생하는 열 에너지는 극히 효율이 높고 균일하게 복사체에 전달되어 히터표면에서 적외선 복사에너지로 전환된다. 제작된 히터의 용량은 220 V에서 600 W로 2 kW 용량의 전력조정기를 사용하여 전력을 공급하였다.

2.2. 영상저장부

패널히터의 표면 온도분포를 측정하기 위해 실험에 사용한 영상처리장치는 미국 Inframetrics 사의 MODEL 600인 적외선 열화상 장치(Infrared Thermal Imaging System)로 적외선 카메라(Scanner), 모니터(Monitor), 제어장치(Digital Control Panel)로 구성되어 있으며, 측정대상물의 표면으로부터 방출되는 적외선 영역(3 ~ 12 μm)의 전자파를 감지, 검출하여 열화상인 온도색상 분포로 표시하는 장치이다. 광범위한 부위에 대해 비접촉식으로 표면온도를 측정하며, 측정 가능온도범위는 최소 -20 °C에서 최대 1500 °C까지의 온도를 측정할 수 있다. 온도의 측정범위는 필요에 따라 조정이 가능하며 민감도는 30 °C에서 0.1 °C이다. 열화상 카메라는 액화질소를 이용하여 냉각된다.

적외선 열화상 장치의 모니터로부터 나타나는 영상은 제어장치에 연결된 디지털 캠코더(Digital camcorder)로 저장된다.

2.3. 데이터 취득부

데이터 취득부는 온도 측정을 위한 열전대와 적외선 온도계, 데이터 수집을 위한 HP34970A,

데이터 저장과 처리를 위한 개인용 컴퓨터로 구성된다.

실험에 사용된 열전대는 K-type의 열전대를 사용하였고, 적외선 온도계 (Optical pyrometer)는 독일의 Infracore사에서 제작된 것으로 5.14 μm 의 파장에서 작동하며 최소 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 최대 1200 $^{\circ}\text{C}$ 까지의 온도를 측정할 수 있다. 온도의 측정 범위는 필요에 따라 조절하여 사용할 수 있다. 패널히터 하단부에는 적외선 온도계의 설치 및 이동이 가능한 이송장치를 설치하였다.

HP34970A를 데이터 수집장치로 활용하였는데 이 장치를 이용하여 적외선 온도계로 측정된 온도를 수집하여 개인용 컴퓨터로 전달, 저장한다. 패널히터에 공급되는 전력을 측정하기 위하여 전력 측정기 Yokogawa WT-130을 사용하였다.

3. 실험방법

패널히터는 전면부가 수직 또는 하방을 향하게 수평으로 실내에 노출시켜 설치하였다. 전원 인가시 패널히터의 가열상태를 관찰하기 위하여 히터 전면부 중앙에 K-type 열전대를 고온용 접착제를 사용하여 부착시켰다. 측정오차를 최소화하기 위하여 가능한 소량을 사용하여 열전대를 부착하였다.

패널히터 중심부의 온도변화를 보기 위해 열전대로 측정되는 히터중심온도를 5 초 간격으로 기록하였다. 적외선 열화상 장치를 사용하여 전압 인가 후 나타나는 히터 표면의 가열상태 및 온도

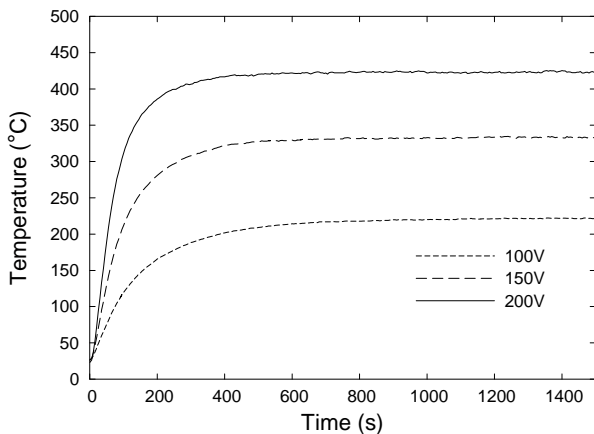


Fig. 2 Temperature Variation of the panel heater installed vertically

분포의 변화를 적외선 열화상 장치의 열영상으로 관찰하였으며 그 화면은 디지털 캠코더로 저장하였다.

투입 전력에 따른 변화를 관찰하기 위하여 전력조정기를 이용하여 입력 전압을 100, 150, 200 V로 변화시키면서 실험을 수행하였다.

측정 결과의 비교를 위하여 200 V의 전압으로 히터를 가열하여 히터의 표면온도가 정상상태에 도달하였을 때 적외선 온도계를 이용하여 일정간격으로 위치를 변화시키면서 히터표면온도를 측정하였다.

4. 결과분석

Fig. 2는 패널히터를 수직으로 세워 설치했을 때 히터중심부의 시간에 따른 온도변화를 100, 150, 200 V의 전압에 대하여 나타낸 것이다. 가열초기 전압인가와 동시에 온도상승이 나타나며, 전압의 증가에 따라 온도는 대략 100 $^{\circ}\text{C}$ 정도씩 증가하였다. 전압에 따른 패널 중심온도의 정상상태 도달시간은 100 V의 경우 약 600 초이나 150 V의 경우 500 초, 200 V의 경우 400 초 정도로 감소하여 정상상태에 이르는 시간이 짧아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 패널히터 전면부가 하방을 향하게 수평 설치시 히터중심부의 시간에 따른 온도변화를 나타낸 것이다. 가열 후 패널표면이 정상상태에 도달했을 때의 온도가 수직설치보다 24 $^{\circ}\text{C}$ 에서 최고 30 $^{\circ}\text{C}$ 정도 높게 나타난다. 이는 수직설치

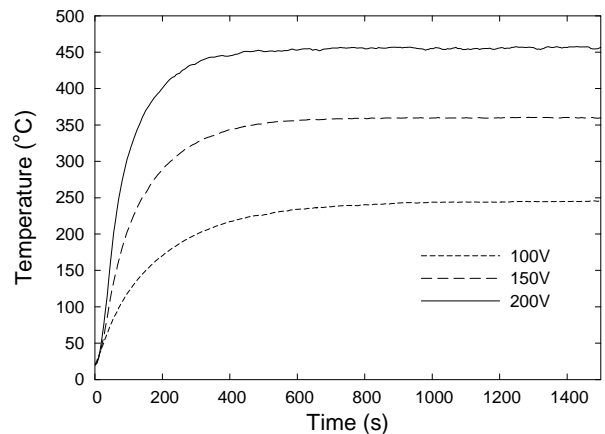


Fig. 3 Temperature Variation of the panel heater installed horizontally

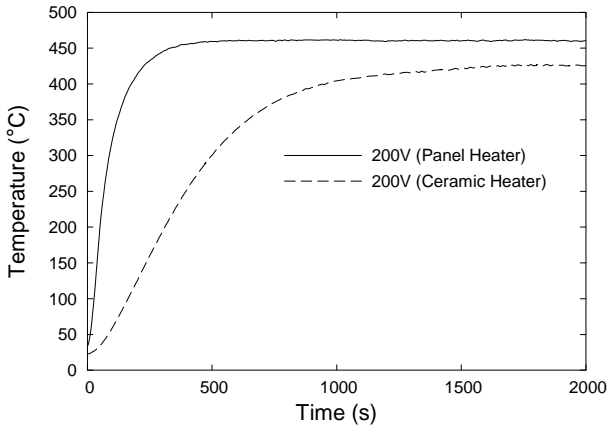
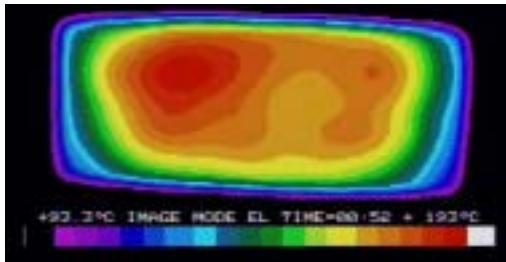
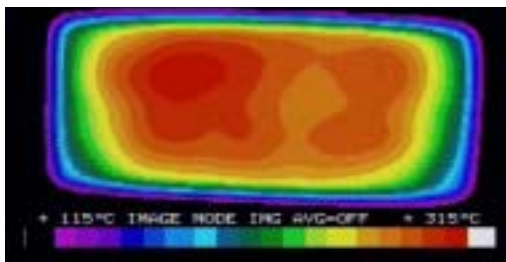


Fig. 4 Comparison of the temperature variations for the panel heater and the ceramic heater

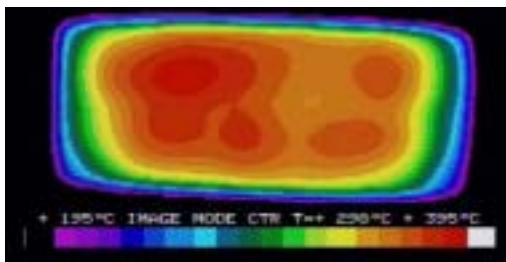
시 외기의 대류에 의해 중심부에서 발생한 열이 원활히 냉각되는데 반하여 수평 설치시 열이 패널중심부에 갇히게 되는 자연대류의 영향으로 온도가 높게 나타나는 것으로 보인다.



(a) 100 V



(b) 150 V



(c) 200 V

Fig. 5 Infrared thermal image for the panel heater installed vertically

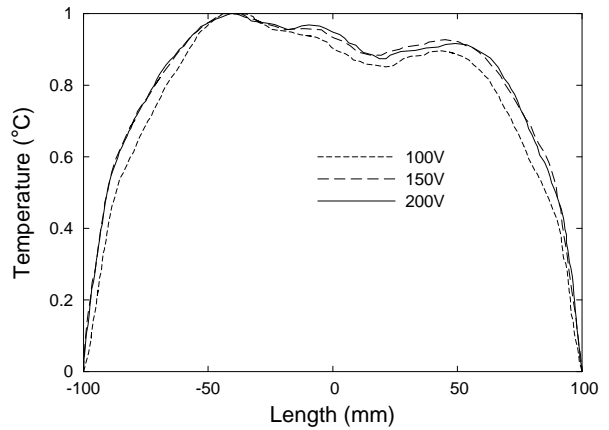
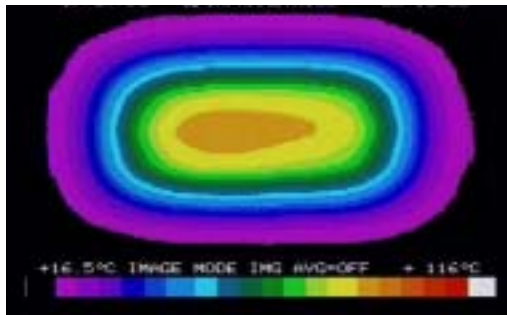


Fig. 6 Temperature distribution along the center line for the panel heater installed vertically

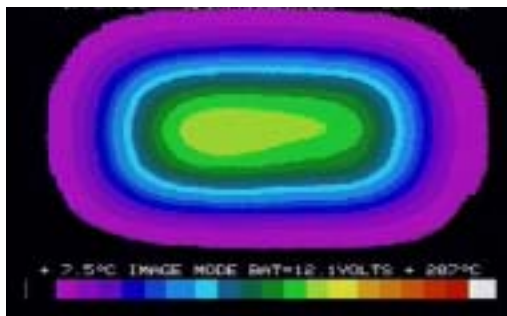
Fig. 4는 수평상태에서 전압 200 V로 가열할 때 패널히터와 세라믹히터의 시간에 따른 히터중심 온도 변화를 비교한 것이다. 실험에 사용한 세라믹 적외선 히터는 OSRAM SYLVANIA사의 제품으로 세라믹 내부에 저항체를 봉입하여 성형, 소성한 것으로 히터의 용량은 230 V에서 650 W이며, 크기는 120 mm ×120 mm의 정사각형의 형상을 하고 있다.

가열초기 패널히터는 전압인가와 동시에 온도 상승이 급격하게 나타나지만 세라믹히터는 얼마간의 시간지체 후 서서히 온도가 상승함을 알 수 있다. 이는 세라믹히터의 경우 상대적으로 낮은 세라믹의 열용량에 기인하여 히터 내부에 위치한 저항발열체에서 발생한 열이 세라믹 복사체에 전달되어 가열되는데 시간이 필요하기 때문이다. 정상상태의 온도에 도달했을 때의 온도차는 35 °C정도이며, 도달시간은 900 초 정도의 차이를 보인다. 이 결과로부터 패널히터는 세라믹히터에 비하여 반응속도가 빠르고 에너지 변환효율이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 패널히터를 가열용으로 사용하면 초기 가동 시간의 감소로 생산성 향상이 기대된다.

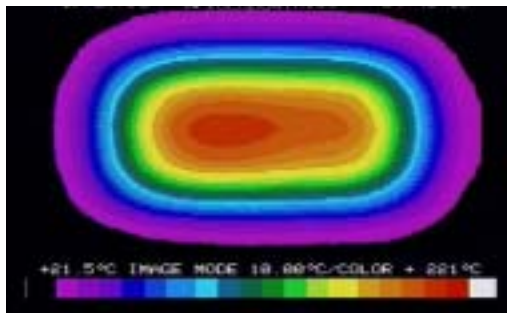
수직으로 설치된 패널히터의 온도분포를 비교하기 위해 비접촉식 온도 측정 장치인 적외선 열화상 장치를 이용하여 촬영한 것을 Fig. 5에 나타내었다. 전압변화에 관계없이 히터 좌측 윗부분에서 최고온도영역이 나타나며 이는 히터 내부의 좌측중앙부분에 위치한 코일 리드선의 영향과 저항발열체와 복사체의 밀착정도에 따라 전달되는 열에너지의 크기가 달라지기 때문인 것으로 생각



(a) 100 V



(b) 150 V



(c) 200 V

Fig. 7 Infrared thermal image for the panel heater installed vertically

된다. 전압이 상승함에 따라 히터 좌우 끝단부분의 온도구배가 커지며 히터표면의 온도가 높아진다. 히터 아랫부분보다 윗부분의 온도가 높고 온도구배도 크다. 이는 수직으로 설치한 히터표면에 형성되는 자연대류 경계층의 영향으로 국소적으로 냉각효과가 다르기 때문에 나타나는 현상에 기인하는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 열화상 장치로 촬영한 화면의 중심부에서 길이방향에 대한 온도분포를 무차원화하여 나타낸 것이다. 패널히터 좌우 끝으로부터 10 mm 지점까지 온도변화가 심하며 이후에 온도구배가 감소한다. 최고온도가 나타난 지점은 좌우 끝으로부터 대략 60 mm 지점이며, 전압변화에

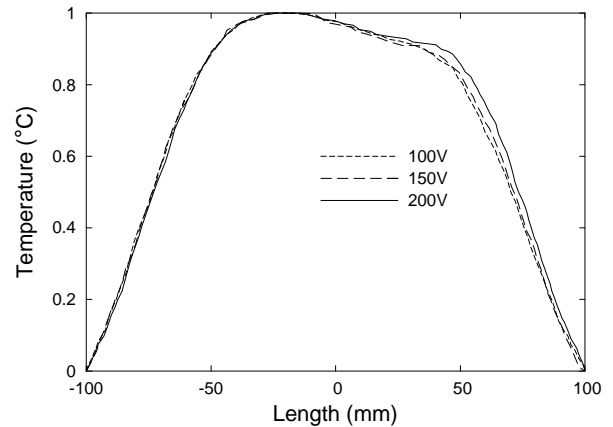


Fig. 8 Temperature distribution on the center line for the panel heater installed horizontally

관계없이 -50 mm 에서 +50 mm 사이에서 비교적 균일한 온도를 이루고 있다.

Fig. 7은 수평으로 설치된 패널히터의 온도분포를 나타내는 적외선 열영상이다. 수직설치와는 달리 온도분포가 비교적 상하 좌우 대칭으로 분포되어 있다. 그러나 여전히 최고 온도영역은 좌측으로 치우친 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 Fig. 7의 온도분포에서 패널히터 중심부분의 길이방향에 대한 온도분포를 무차원화하여 나타낸 것이다. 패널히터 좌우 끝으로부터 60 mm 지점까지 거의 일정한 온도구배로 온도가 증가하며, 최고온도가 나타나는 지점은 좌측 끝단으로부터 대략 80 mm 부근이다. 온도분포는 전압의 크기에 무관하게 거의 일정한 형태를 이루고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 패널히터를 200 V의 전압으로 가열하여 표면온도가 정상상태를 유지할 때 적외선 온

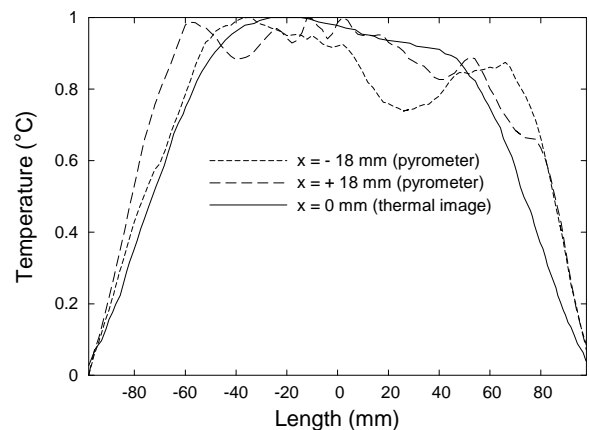


Fig. 9 Temperature distribution measured by the pyrometer in the lengthwise direction

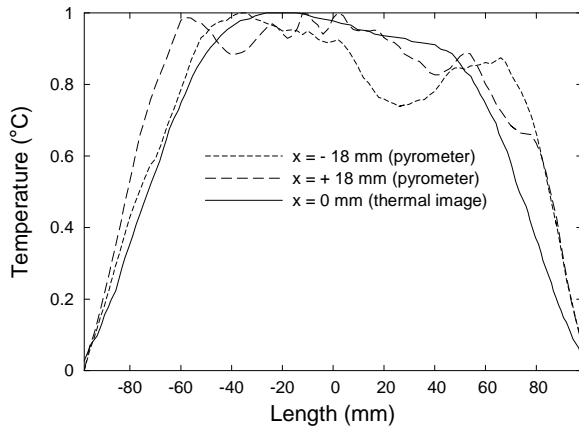


Fig. 10 Temperature distribution measured by the pyrometer in the transverse direction

도계를 이용하여 히터표면의 길이방향 및 폭방향 온도분포를 측정하여 나타낸 것이다. 측정에 사용한 적외선 온도계의 특성상 히터 끝단에서 3 mm 떨어진 지점부터 측정을 시작하였다. 그림은 패널히터 중심으로부터 폭방향으로 앞 뒤 18 mm 떨어진 지점에서 길이방향을 따라서 측정한 결과이다. 좌우 끝으로부터 40 mm 떨어진 지점까지 온도변화가 심하며 이후 비교적 균일한 온도분포를 보여준다. 균일분포 영역의 온도는 대략 450 °C 전후이다.

Fig. 10은 중심으로부터 길이방향으로 각각 4 mm 떨어진 지점의 폭방향에 대한 온도분포를 나타낸 것이다. 최고온도는 450 °C 정도이며 좌우 끝으로부터 30 mm 떨어진 지점이다. 이 지점은 좌우에 서로 대칭으로 위치한 열선이 감긴 운모판의 중간지점 부근이다. 패널 중심인 50 mm 부근에서 온도가 낮게 나타나는 것은 2개의 운모판 사이에 4 mm 정도의 열선이 없는 공간이 존재하기 때문이다.

5. 결 론

적외선 패널히터의 가열특성과 평균온도분포를 알아보기 위해 열전대와 적외선 온도계, 적외선

열화상 장치를 사용하여 온도를 측정하였다. 전압의 증가에 따라 정상상태 도달시간이 감소하고, 50 V의 전압증가에 대하여 히터표면온도는 100 °C 정도 증가하였다. 본 연구에서 제작하여 사용한 패널 히터는 세라믹히터에 비해 반응속도가 배 이상 빠르고, 최고온도도 높게 나타나며 히터의 효율이 높은 것을 알 수 있었다. 열화상 장치로 측정한 결과는 수직설치보다 수평 설치시 비교적 전후좌우 대칭적인 온도분포를 얻을 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 지원으로 수행 중인 산학연 컨소시엄 사업 과제의 일부로 관계자 여러분께 감사를 드리고, 또한 적외선 패널 히터의 설계 및 제작에 협조하여 주신 반도체산업(주)의 이갑희 사장님께도 감사를 드리는 바입니다.

참고문헌

- (1) Han, C. H. and Park, W. S., 1991, *Theory and Practice of Far Infrared Heating*, Korea Far Infrared Rays Development Institute, Seoul.
- (2) La Toison, M., 1966, *Infrared and Its Applications*, Tokyo Electrical Engineering College Press, Tokyo.
- (3) Modest, M. F. 1993, *Radiative Heat Transfer*, McGraw-Hill, New York.
- (4) Lee, S. K., 1992, *Technology and Application of Far Infrared*, KINITI Technical Report No. 71, Seoul.
- (5) Fedorov, A. G., Lee, K. H., and Viskanta, R., 1998, "Inverse Optimal Design of the Radiant Heating in Materials Processing and Manufacturing," *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 72, pp. 254-265.