

# 적외선열화상처리장치를 이용한 충돌제트의 전열특성에 관한 연구

김동균\*·배석태\*\*·김시범\*\*\*·이영호\*\*\*\*

## A Study on Heat Transfer Characteristics of Impinging Jet Using Infrared Thermal Image Processing System

D. K. Kim , S. T. Bae , S. P. Kim , Y. H. Lee

**Key Words:** Impinging jet(충돌제트) , Infrared(적외선) , Emissivity(방사율)  
Infrared Thermal Image Processing(적외선열화상처리장치)

### Abstract

This paper presents an information about the heat transfer characteristics of impinging jet in electronic equipment with infrared image processing unit. There have been many experimental investigations and theoretical studies on impinging jet because of application in a wide variety of industrial process including electronic equipment. In this study, we used infrared image processing unit to visualize heat transfer characteristics of impinging jet in electronic equipment. Infrared image processing unit is one of non-contact temperature measuring methods and it is possible to minimize flow resistance and this measurement is comparatively accurate. The main parameters are nozzle exit angle ( $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ ) and distance between nozzle and heat source is fixed  $6d$  ("d" is diameter of circular nozzle(10 mm). Reynolds number is 4500.

### 기호설명

- D : 노즐의 출구직경(mm)
- X : 충돌판의 횡방향좌표(mm)
- Y : 노즐에서의 유동방향좌표(mm)
- T : 충돌판에서의 온도( $^\circ\text{C}$ )
- $T_i$  : 노즐의 출구온도( $^\circ\text{C}$ )
- Nu : 국소열전달계수

### 그리스문자

- $\epsilon$  : 방사율(emissivity)

### 1. 서론

산업의 첨단화로 인해 기계요소의 고성능화와 전자 부품의 고집적화가 이루어지며 고온 및 과도한 열유속을 받는 상황이 급격히 증가되고 있다. 그러므로 열적인 과부하로 인한 기계부품의 손상을 방지하고 전반적인 생산시스템의 원활한 작동을 위해 적절한 냉각 시스템이 필수적이다. 여러 냉각방식중 충돌유동장치는 충돌면에서 상대적으로 높은 열전달효과를 가지고 고온면을 효과적으로 냉각시키기 때문에 전자부품 내부의 반도체 냉각에 많이 적용되고 있다. 충돌제트는 전자기기냉각뿐만 아니라 고온가스터빈이나 강화유리, 금속의 어닐링, 섬유나 종이 또는 필름의 건조등 산업의 여러 분야에서 광범위하게 응용되어 질 수 있기 때문에 여러 연구자들에 의해 연구가 선행되어 왔다. Florschuetz<sup>[1]</sup>등은 배열

\* 한국해양대학교 조선·해양기자재연구센터

\*\* 동명대학 기계시스템계열

\*\*\* 동아대학교 기계공학과

\*\*\*\* 한국해양대학교 기계·정보공학부

제트의 초기 직교류율의 영향에 의한 열전달특성을 보였고, Down<sup>[2]</sup>등은 충돌제트에서의 열전달과 물질전달에 관련된 온도, 기하학적 모양, 직교류, 난류등에 의한 매개변수와와의 관계를 요약하였다. Gardon<sup>[3]</sup>등은 자유제트가 표면에 충돌할 때 제트 출구와 충돌면 사이의 간격에 따라 난류가 열전달에 끼치는 영향을 보였다. Gau<sup>[4]</sup>는 제트의 난류 특성을 증대하기 위한 연구를 하였다. 이상과 같은 기존의 연구들은 주로 제트의 형상에 대하여 연구하여 이를 열전달과 유동특성으로 연관하여 고찰하였다.

본 연구에서는 전체 유동장을 전자기기 내부라고 가정하고, 전자칩으로 가정한 발열체의 충돌제트에 의한 냉각효과를 해석하기 위해 비접촉 온도계측방식중의 하나인 적외선열화상처리장치(Thermal Image Processing Unit : Thermo Tracer, Nec San-ei)를 이용하여 발열체의 온도분포특성을 고찰하였다. 절대온도영도(OK, -273 C)이상의 온도를 갖고 있는 물체는 표면으로부터 어떤 과정의 에너지를 방출하는데 적외선열화상처리장치는 이 에너지중의 적외선을 감지하여 주어진 온도를 특정한 색상으로 나타낸다. 이를 이용한 열유속계측기법은 발열체 표면에서의 연속적인 온도분포를 얻을 수 있고 온도장의 분포를 가시적으로 나타낼 수 있으며 유동에 대한 교란이 적다. 비접촉형식이라 측정 대상물에 영향을 주지 않고 응답이 빨라서 온도의 과도현상측정에 적합하지만 정밀한 측정을 하기 위해서는 측정 대상물의 방사율을 정확하게 알아야 하고 배경잡음의 영향을 제거해야 한다.

본 실험은 열전대(T-type)를 이용한 100회의 온도 측정을 하여 보정방사율값 ( $\epsilon=0.98$ )이 구해진 발열체를 사용하였으며 배경잡음의 가장 큰 원인인 습기를 최소화한 장소(습도 50%)에서 진행되었다

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 충돌제트의 열전달 특성을 고찰하기 위한 전체실험장치도이다. 주제트유동은 Fan을 사용하여 공기를 공급하였으며 속도제어는 Fan에 연결된 인버터(inverter)를 사용하였다. 노즐의 입구속도는 가변적으로 조절 가능하다. 또한 Fan의 작동시 발생하는 진동이 주배관으로 전달되는

것을 억제하기 위하여 고무재질의 연결배관을 사용하였다. 노즐의 입구유속의 측정은 열선유속계(Kanomax Climomaster 6511)를 이용하여 100회 측정한 후 조화평균하여 그 속도를 초기조건으로 설정하였다

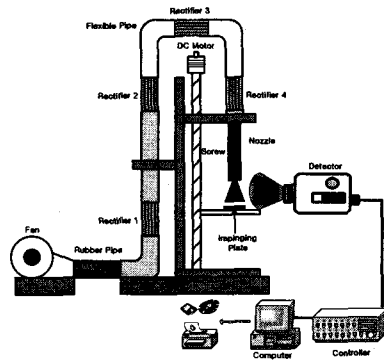


Fig. 1 Experimental apparatus

적외선열화상장치의 온도측정에서 대상체 고유의 방사율(emissivity) 과 측정대상체사이의 각도는 측정온도값에 영향을 미친다. 따라서 실험을 수행하기 앞서 이에 대한 보정이 필요하다. 적외선 카메라의 보정은 열전대를 이용하여 실험에서와 동일조건에서 사전에 예비실험을 수행하였다.

Fig. 2는 예비실험의 결과를 나타내 것이다. 온도는 열전대(T-type)가 부착된 발열체에 지난 후 측정하였다. 열전대에서 측정되는 온도데이터는 Data Logger를 통해서 실시간으로 PC에 기록된다. 기록된 데이터를 확인 한 후, 변화가 없는 시점에서 적외선열화상장치를 통하여 이미지를 획득하였다. 각 방사율과 카메라각도에 따라 측정된 열화상이미지는 화상처리프로그램(TH5100, Nec San-ei)를 이용하여 화상처리한 후 온도데이터를 획득할 수 있다. 열전대를 통해서 구한 온도데이터와 열화상처리한 후의 온도차이가  $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ 일 때로 하였다. 획득한데이터를 최소자승법에 의해 보간한 결과 적외선열화상장치의 각도는  $20.5^{\circ}$  였다. 또한 보정한 각도에서의 방사율( $\epsilon$ )을 구한 결과 0.98로 나타났다.

Fig 3은 본 연구에서 제트를 발생시키는 노즐을 나타낸 것이다. 사용된 노즐은 원형노즐이며

출구형상에 따라 Sharp edge type nozzle 과 Square edge type nozzle 두 종류이다. 노즐의 입구직경은 20mm 이며 출구직경은 10mm이다.

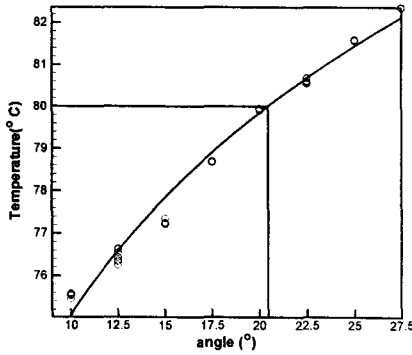
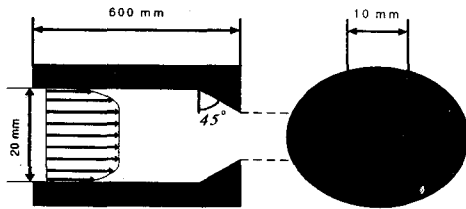
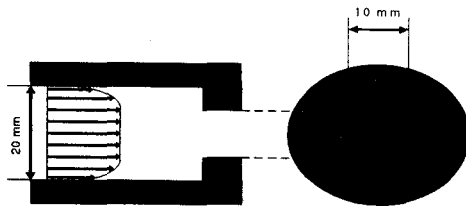


Fig. 2 Calibration of Thermal Image Processing Unit angle



(a) Sharp edge type nozzle



(b) Square edge type nozzle

Fig. 3 Configuration of circular nozzle

Fig. 4는 충돌판의 열제어시스템을 나타낸 것이다. 충돌판의 재질은 검은색도료로 착색한 알루미늄열판이며, 80℃의 등온조건을 유지하기 위하여 보정된 열전대(T-type)가 부착되어 있다. 열전대는 80℃로 설정된 온도컨트롤러에 연결되어

있으며, 이는 다시 충돌판에 전원을 공급하는 power supply에 연결되어 있다.

식(1) 과 식(2)는 본 연구에서 정의한 Reynolds number 와 Local Nusselt number 이다.

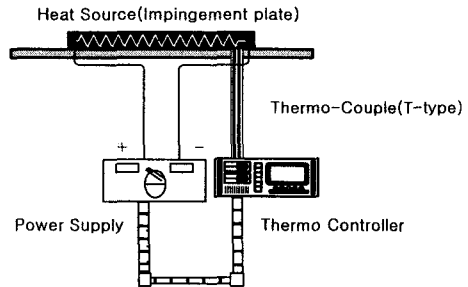


Fig. 4 Impingement Plate Control system

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (1)$$

여기서  $\nu$ : 공기의 동점성계수  
 $v$ : 노즐의 출구속도  
 $D$ : 노즐의 출구직경

$$Nu = \frac{hD}{k} = \frac{q_w}{T - T_i} \cdot \frac{D}{k} \quad (2)$$

여기서  $q_w$ : 충돌판에서의 열유속  
 $k$ : 공기의 열전도계수

### 3. 결과 및 고찰

비접촉식 온도측정장치인 적외선열화상처리장치를 이용하여 충돌제트의 열전달특성을 노즐의 형상과 노즐과 충돌판사이의 거리로 나누어 고찰하였다. 노즐의 형상은 sharp edge type nozzle 와 square nozzle type 두 가지에 대하여 실험을 수행하였다. 노즐과 충돌판사이의 거리는 노즐출구직경(D=10mm)로 기준으로 하여 4D, 6D, 8D, 10D, 12D 인 경우에 대해서 고찰하였으며, 이때 Reynolds number는 4500, 노즐의 출구온도는 15℃이다. Fig. 5는 노즐형상에 따른 거리비에서의 적외선열화상처리장치를 이용하여 촬영한 온도분포이미지이다. 적색은 고온부를 나타내며, 청색일수록 저온부를 의미한다. 충돌판에서 충돌

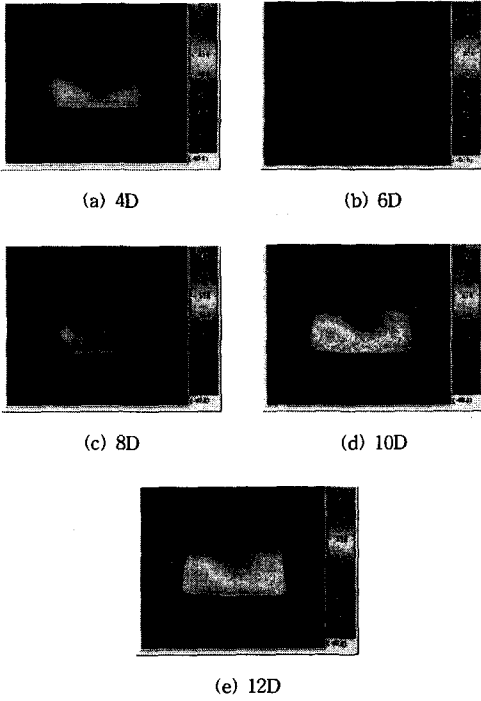


Fig. 5-1 Infrared Thermal Image of Sharp edge type nozzle

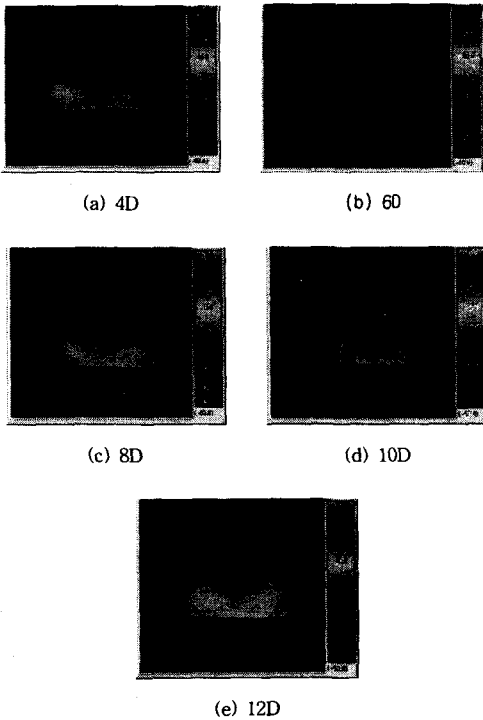


Fig. 5-2 Infrared Thermal Image of Square edge type nozzle

제트를 중심으로 좌우가 대칭적인 온도분포를 보인다. 거리비가 6D 인 경우가 온도분포가 다른 거리비에 비해 낮게 분포되고 있음을 알 수 있다.

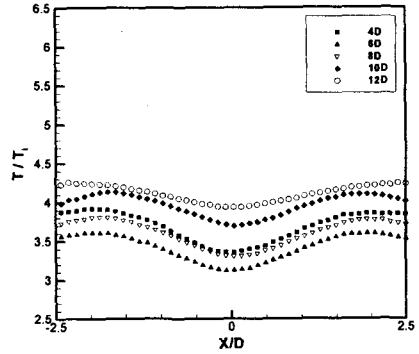


Fig. 6 Temperature distribution for Sharp edge type nozzle

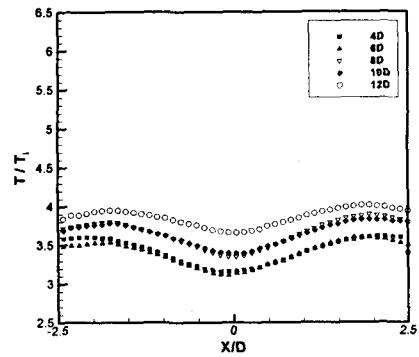


Fig. 7 Temperature distribution for Square edge type nozzle

Fig. 6 과 Fig. 7은 노즐의 형태가 Sharp edge type nozzle , Square edge type nozzle 인 경우, 거리비에 따른 충돌판(impingement plate)의 중심선에 따른 온도분포이다. 중심부에서의 온도데이터는 열화상처리장치를 통해 획득한 이미지에서 후처리프로그램(Thermal Image Processing Program TH5100 , NEC San-ei)을 이용하여 데이터를 추출하였다. 그림에서 횡축은 무차원 온도로서 충돌판의 온도를 노즐의 출구온도(15℃)를 기준으로 하여 나눈 값이다. 노즐의 형상에 관계없이 거리비가 노즐출구직경을 기준으로 거

리비가 6인 경우에 온도분포가 낮게 나타났으며 노즐과의 거리가 멀어질수록 온도분포가 높게 나타났다으며 10D 와 12D에서의 온도분포는 충돌제트의 영향이 점차 줄어들고 있음을 알 수 있다.

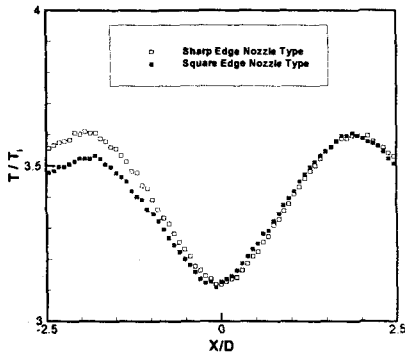


Fig. 8 Temperature distribution for each configuration of nozzle type

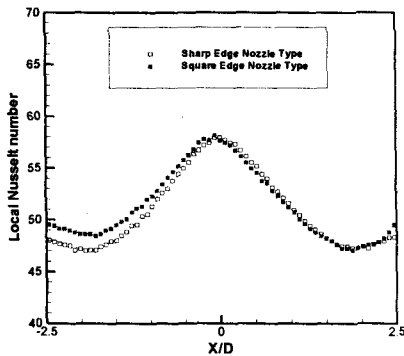


Fig. 9 Local nusselt number distribution for each configuration of nozzle type

Fig. 8은 노즐과 충돌판 사이의 거리비가 6인 경우, 노즐 출구각의 변화에 따른 충돌판에서의 온도분포이다. 충돌판의 중심부에서의 온도는 거의 동일한 온도를 보였지만, 중심에서 멀어질수록 Square edge type nozzle이 Sharp type nozzle보다 온도분포가 낮게 나타났다. 이는 노즐의 형상이 Square edge type nozzle이 충돌판에 전체적인 열전달 효과에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는  $Re=4500$ , 충돌판의 거리비가 6 인경우의 노즐형상에 따른 Local Nusselt number의 분포이다. 충돌제트의 영향으로 중심부에서 열전달이 높게 나타나고 있으며, 온도분포와 마찬가지로 square edge nozzle type이 Local Nusselt number가 높게 분포하고 있다.

#### 4. 결론

비접촉식 온도측정장치인 적외선열화상처리장치를 이용하여 충돌제트의 열전달특성을 노즐의 형상과 노즐과 충돌판사이의 거리로 나누어 고찰하였다. 노즐의 형상은 sharp edge type nozzle 와 square nozzle type 두 가지에 대하여 실험을 수행하였다. 노즐과 충돌판사이의 거리는 노즐출구 직경( $D=10\text{mm}$ )로 기준으로 하여 4D, 6D, 8D, 10D, 12D 인 경우에 대해서 고찰 하였으며, 이때 Reynolds number는 4500, 노즐의 출구온도는  $15^\circ\text{C}$ 이다. 고찰한 결과 노즐의 형상에 관계없이 노즐과 충돌판의 거리비가 6D 인 경우의 온도분포와 local nusselt number 가 가장 좋았으며, 노즐의 형상은 square edge type nozzle 이 sharp edge nozzle type 보다 열전달효과가 좋은 것으로 나타났다. 적외선열화상처리장치는 접촉식센서에 비해 열전달현상을 방해하지 않으면서 정성적인데이터 뿐 만 아니라, 화상처리프로그램을 통해 정량적인 데이터를 획득할 수 있다. 따라서 열전달현상에 간섭을 주지 않는 적외선열화상처리장치를 이용하면 보다 더 정확한 열전달특성을 고찰 할 수 있을 것이라 판단된다.

#### 참고문헌

- (1) Florschuetz, et al., 1984, "Evaluation of Internal Heat Transfer Coefficients for Impingement Cooled Turbine Airfoils", AIAA Paper No.68-564,AIAA 4th Propulsion Joint Specialist Conference, Cleveland, Ohio, June 10-14.
- (2) Downs, S. J, and James, E. H, 1987 "Jet Impingement Heat Transfer" A Literature Survey, ASME Paper No. 87-HT-35.
- (3) Gardon, R. and Akfrat, J. C., 1965, "The Role

of Turbulence in Determining the Heat Transfer Characteristics of Impinging Jet" Int.J. Heat Mass Transfer , vol. 8, pp.1261~1272.

(4) C. Gau, W. Y. Sheu and C. H. Shen, 1997, " Impingement Cooling Flow and Heat Transfer Under Acoustic Excitation," ASME J. Heat Transfer, Vol. 119, pp. 810-817