

전열제어를 위한 충돌제트의 거리비에 따른 열전달특성에 관한 연구

김동균* · 김정환** · 배석태*** · 김시범**** · 이영호*****

A Study on Heat Transfer Characteristics of Impinging Jet about Distance Ratio for Thermal Control

D-K Kim · J-H Kim · S-T Bae · S-P Kim · Y-H Lee

Key words : Impinging Jet(충돌제트), Infrared thermal image(적외선열화상이미지)

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 distance between nozzle and heat source. Reynolds number is 6000.

1. 서 론

산업의 첨단화로 인해 기계요소와 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 전자기기에

* 한국해양대학교 조선·해양기자재 Center
** 한국해양대학교 대학원 기계공학과
*** 동명대학 기계과
**** 동아대학교 기계공학과
***** 한국해양대학교 기계·정보공학부

각뿐만 아니라 고온가스터빈이나 강회유리, 금속의 어닐링, 섬유나 종이 또는 필름의 건조용 산업의 여러 분야에서 광범위하게 응용되어 질 수 있기 때문에 여러 연구자들에 의해 연구가 선행되어 왔다. Florschuetz¹⁾ 등은 배열체의 초기 직교류용의 영향에 의한 열전달특성을 보였고, Down²⁾ 등은 충돌제트에서의 열전달과 물질전달에 관련된 온도, 기하학적 모양, 직교류, 난류등에 의한 매개변수와의 관계를 요약하였다. Gardon³⁾ 등은 자유제트가 표면에 충돌할 때 제트 출구와 충돌면 사이의 간격에 따라 난류가 열전달에 끼치는 영향을 보였다. Gau⁴⁾ 는 제트의 난류특성을 증대하기 위한 연구를 하였다. 이상과 같은 기존의 연구들은 주로 제트의 형상에 대하여 연구하여 이를 열전달과 유동특성으로 연관하여 고찰하였다. 본 연구에서는 전체 유동장을 전자기 내부라고 가정하고, 전자칩으로 가열한 발열체의 충돌제트에 의한 전체적인 냉각효과를 해석하기 위해 비접촉온도측정방식인 적외선열화상처리장치(Infrared thermal image processing unit : Thermo Tracer, Nec San-ei)를 이용하여 노즐과 발열체의 사이의 거리에 따른 전열특성을 고찰하였다. 절대온도영도(OK, -273 °C)이상의 온도를 갖고 있는 물체는 표면으로부터 어떤 파장의 에너지를 방출하는데 적외선열화상처리장치는 이 에너지중의 적외선을 감지하여 주어진 온도를 특정한 색상으로 나타낸다. 이를 이용한 열유속 계측기법은 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 적당하지만 정밀한 측정을 하기 위해서는 측정 대상물의 방사율을 정확하게 알아야 하고 배경잡음의 영향을 제거해야 한다. 본 실험은 열전대(T-type)를 이용하여 100회의 온도 측정용 한 후 보정 방사율값 ($\epsilon=0.98$)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. 주체류용동은 펌을 사용하여 공기를 공급하였으며 속도제어는 팬에 연결된 인버터(inverter)를 사용하였다. 노즐의 입구속도가 가변적으로 조정 가능하다. 또한 팬의 작동시 발생하는 진동을 억제하기 위하여 고무재질의 배관을 사용하였다. 노즐의 입구유속의 측정은 열선유속계(Kanomax Climomaster 6511)를 이용하

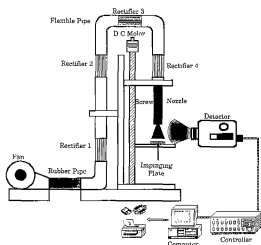


Fig. 1 Experimental apparatus

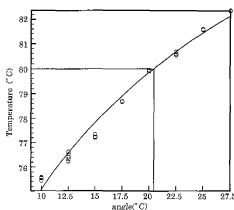


Fig. 2 Calibration of thermal image processing unit angle

여 100회 측정할 후, 조화평균하여 그 속도를 초기 조건으로 설정하였다.

적외선열화상장치의 온도측정에서 대상체 고유의 방사율(emissivity)과 측정대상체사이의 각도는 측정온도값에 영향을 미친다. 따라서 실험을 수행하기 앞서 이에 대한 보정이 필요하다. 적외선열화상처리장치의 보정은 열전대를 이용하여 본 실험에서와 동일한 조건에서 예비실험을 수행하였다.

Fig. 2는 예비실험의 결과를 나타내 것이다. 열전대에서 측정되는 온도데이터는 Data Logger를

통해서 실시간으로 PC에 기록된다. 기록된 데이터를 실시간으로 확인 한 후, 변화가 없는 시점에서 적외선열화상장치를 통하여 이미지를 획득하였다. 각 방사율과 카메라각도에 따라 측정된 열화상 이미지는 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 보정한 결과 적외선열화상장치의 각도는 20.5° 였다. 또한 보정한 각도에서의 방사율(ϵ)을 구한 결과 0.98로 나타났다.

Fig 3은 본 연구에서 제트를 발생시키는 노즐을 나타낸 것이다. 사용된 노즐은 Sharp edge type nozzle 과 Square edge type nozzle 두 종류이다. 노즐의 입구직경은 20mm 이며 출구직경은 10mm이다.

Fig. 4는 총괄관의 열제어시스템을 나타낸 것이다. 총괄관의 재료는 검은색도료로 착색된 알루미늄 열판이며, 80°C 의 동온조건을 유지하기 위하여 보정된 열전대(T-type)가 부착되어 있다. 열전대는 80°C 로 설정된 온도컨트롤러에 연결되어있으며, 이는 다시 총괄관에 전원을 공급하는 power supply에 연결되어 있다. 식(1) 과 식(2)는 본 연구에서 정의한 Reynolds number 와 Local Nusselt number 이다.

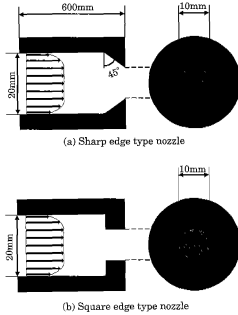


Fig. 3 Configuration of circular nozzle

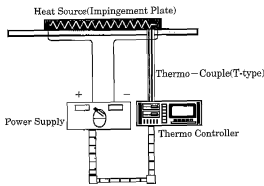


Fig. 4 Impingement plate control system

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

여기서 v : 공기의 동점성계수
 ν : 노즐의 출구속도
 D : 노즐의 출구직경

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

여기서 q_w : 총괄판에서의 열유속
 h : 공기의 열전도계수

3. 결과 및 고찰

비접촉식 온도측정장치인 적외선열화상처리장치를 이용하여 총괄제트의 열전달특성을 노즐의

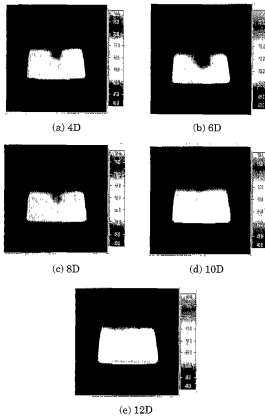


Fig. 5-1 Infrared thermal image of sharp edge type nozzle

형상과 노즐과 송출판사이의 거리로 나누어 고찰하였다. 노즐의 형상은 sharp edge type nozzle와 square nozzle type 두 가지에 대하여 실험을 수행하였다. 노즐과 송출판사이의 거리는 노즐출구직경($D=10\text{mm}$)로 기준으로 하여 4D, 6D, 8D, 10D와 12D인 경우에 대해서 고찰하였다. 또한 노즐에서 분출되는 제트의 Reynolds number는 6000, 노즐의 출구온도는 15°C 이다. Fig. 5-1과 Fig. 5-2는 노즐형상에 따른 거리비에서의 격외선열와상치리장치를 이용하여 촬영한 온도분포이미지이다. 격색은 고온부를 나타내며, 정색일수록 저온부를 의미한다. 노즐의 형상에 관계없이 거리비가 노즐출구직경을 기준으로 거리비가 6D인 경우 온도분포가 낮게 나타났으며 노즐과의 거리가 멀어질수록 온도분포가 높게 나타났으며 8D와 10D에서의 온도분포는 송출제트의 영향이 점차

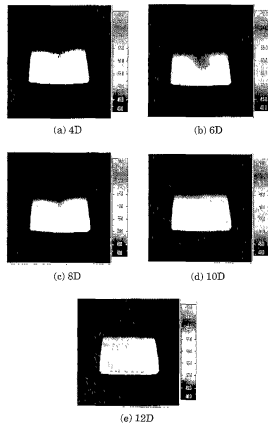


Fig. 5-2 Infrared thermal image of square edge type nozzle

들어가고 있음을 알 수 있다. 이는 거리비가 4D인 경우 제트가 중심부에만 국부적으로 송출되고, 발열체 전체에 고르게 송출되지 못하여 중심부의 냉각에만 영향을 주며, 거리비가 6D로 증가하면서, 제트의 송출판에서의 송출범위가 다소 확장되어 송출판의 전 영역에서 전체적인 온도가 감소하였다고 판단된다. 또한 거리비가 6D인 경우 이와 같은 경향은 두드러지는데 제트가 송출판 전 영역에 걸쳐 고르게 분포되어 송출판표면의 전체적인 온도분포가 낮게 나타난 결과를 보였다. 거리비가 10D와 12D인 경우는 온도분포가 다시 상승하는 경향을 보이는데 이는 제트의 에너지가 거리비가 8이상인 경우에는 발열체에 송출하기 위해 필요한 에너지가 다소 부족하여 온도가 다시 상승하는 결과를 보인다고 판단된다.

Fig. 6과 Fig. 7은 정량적인 온도데이터를 노즐

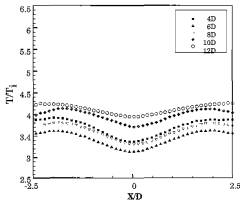


Fig. 6 Temperature distribution for sharp edge type nozzle

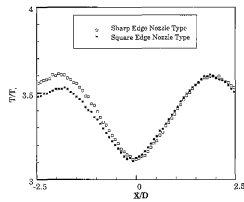


Fig. 8 Temperature distribution for each configuration of nozzle type

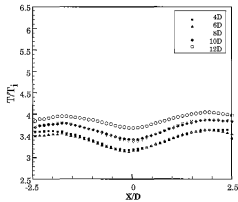


Fig. 7 Temperature distribution for square edge type nozzle

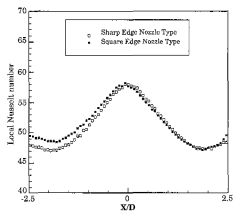


Fig. 9 Local nusselt number distribution for each configuration of nozzle type

의 형태가 Sharp edge type nozzle, Square edge type nozzle 인 경우, 거리비에 따른 송풍판 (impinging plate)의 중심선에 따른 온도분포이다. 중심부에서의 온도데이터는 열화상처리장치를 통해 획득한 이미지에서 데이터를 획득하였다. 그림에서 정확은 무차원 온도로서 송풍판의 온도인 노즐의 출구온도(15°C)를 기준으로 하여 나타낸 값이다. 온도분포의 전체적인 경향은 노즐의 형상에 관계없이 거리비가 6D 인 경우가 온도분포가 다른 거리비에 비해 낮게 분포되는 적외선열화상 이미지와 유사한 분포를 보인다. 노즐출구직영을 기준으로 거리비가 4D 에서 6D로 거리비가 증가

한 결과 중심부에서의 온도는 다소 증가하였으나, 송풍판 전체에 걸쳐 온도가 낮아지는 결과를 보이고 있다. 6D인 경우에는 전체적인 온도가 낮게 분포하고 있어 발열체의 전영역에 걸쳐 제트가 충돌하고 있음을 알 수 있다. 거리비가 8D인 경우 전체적인 온도가 상승하였는데 노즐과 송풍판사이의 거리비가 노즐에서 분출된 제트가 제대로 도달하지 못하는 거리라고 판단된다. 이와 같은 경향은 10D와 12D인 경우에서 두드러지는데 제트의 도달 영역에서 벗어난 거리임을 알 수 있다.

Fig. 8은 노즐과 송풍판 사이의 거리비가 6D인 경우의 노즐 출구각의 변화에 따른 송풍판에서의

온도분포이다. 총돌판의 중심부에서의 온도는 거의 동일한 온도를 보였지만, 중심에서 멀어질수록 Square edge type nozzle이 Sharp type nozzle보다 온도분포가 낮게 나타났다. 이는 노즐형상에 따라 출구에서의 속도분포와 관련된다고 판단된다. 즉 노즐의 형상이 square type nozzle인 경우, 노즐내부에서의 속도분포가 노즐출구부근에서 유동 저항을 많이 받게 되어 난류강도는 증가하게 된다. 증가한 난류강도는 계속되는 노즐입구에서 공급되는 속도에 의해 정제되지 않고 노즐 출구로 배출하게 된다. 또한 자유제트영역으로 제트가 분출되기 전에 좁아진 출구직경으로 인하여 노즐내부의 속도의 흐름이 가속된 후 오리피스형태의 유로를 지나면서, 발달된 속도분포특성을 가지면서 난류에너지가 증가하여 자유제트영역에서도 제트의 속도분포가 흐트러지지 않고 유지할 수 있기 때문이라고 생각한다. 이에 반하여 sharp edge type nozzle은 노즐의 형상이 square edge type nozzle에 비하여 난류강도가 작아서 자유제트영역에서 주위 유체의 영향의 간섭을 많이 받은 결과 제트의 에너지가 감소하였기 때문이라고 생각한다.

Fig. 9는 $Re=6000$, 총돌판의 거리비가 6D 인 경우의 노즐형상에 따른 Local Nusselt number의 분포이다. 총돌제트의 영향으로 중심부에서 열전달이 높게 나타나고 있으며, 온도분포와 마찬가지로 square edge nozzle type이 Local Nusselt number가 높게 분포하고 있다.

4. 결 론

비접촉식 온도측정장치인 적외선열화상처리장치를 이용하여 총돌제트의 열전달특성을 노즐의 형상과 노즐과 총돌판사이의 거리에 대하여 고찰하였다. 노즐의 형상은 sharp edge type nozzle

와 square nozzle type 두 가지에 대하여 실험을 수행하였다. 노즐과 총돌판사이의 거리는 노즐출구직경($D=10mm$)로 기준으로 하여 4D, 6D, 8D, 10D, 12D 인 경우에 대해서 고찰한 결과는 다음과 결론을 구할 수 있었다.

1. 노즐의 형상에 관계없이 노즐과 총돌판의 거리비가 6D인 경우의 온도분포와 Local Nusselt number 가 가장 좋았다.
2. 노즐의 형상은 square edge type nozzle 이 sharp edge nozzle type 보다 열전달효과가 좋은 것으로 나타났다.
3. 적외선열화상처리장치를 이용하면 측정대상의 전열현상에 영향을 주지 않으므로, 보다 더 정확한 전열특성을 고찰 할 수 있을 것이라 판단된다.

참 고 문 헌

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

저 자 소 개



김동균(金東均)

1970년생. 1995년 동아대학교 자원공학과 졸업. 1997년 동아대학교 기계공학과 대학원 졸업(공학석사). 2001년 동아대학교 기계공학과 대학원 졸업(공학박사). 현재 한국해양대학교 조선·해양 기자재센터 박사후연구원



김철환(金典奭)

1968년 2월생. 1988년 부경대학교 기계공학과 졸업(공학사). 2000년 부경대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 현재 한국해양대학교 대학원 기계공학과 박사과정 재학중. 당학회 회원.



백석태(裵錫泰)

1965년 1월생. 1987년 동아대학교 기계공학과 졸업. 1990년 동아대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1997년 동아대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사). 현재 동원대학 기계자동화계열 교수



김시범(金施範)

1956년 5월생. 1979년 서울대학교 기계공학과 졸업. 1981년 동대학원 기계공학과 졸업(석사). 1985년 동대학원 기계공학과 졸업(공학박사). 1984년~현재 동아대학교 기계공학과 교수.



이영호(李英浩)

1957년 2월생. 1980년 한국해양대학교 기전공학과 졸업. 1982년 한국해양대학교 대학원 석사과정 수료. 1989년 동경대학 기계공과 박사과정 수료. 1980~현재 한국해양대학교 조교, 집강, 조교수, 부교수(기계공학부) 당학회 편집위원('97-'98년도)