

# 충돌제트의 유동특성에 관한 실험적 연구(1)

○김동균\*, 김정환\*\*, 배석태\*\*\*, 김시범\*\*\*\*, 이영호\*\*\*\*\*

## An Experimental Study on Flow Characteristics of Impinging Jet (1)

### ABSTRACT

The flow characteristics of impinging jet flow are affected greatly by nozzle plate to distances. An sharp edge nozzle was used to achieve uniform mean velocity at the nozzle inlet, and its diameter is 10mm(d). Therefore, the flow characteristics on the impinging jet plate can be changed largely by the control of main flow. In the parent study, we investigate the effects of main flow length , its variable is nozzle plate to distances( 12d, 10d, 8d, 6d and 4d).

Key Word : Impinging jet(충돌제트) , 주유동(main flow) , PIV(particle image velocimetry)

### 1. 서론

충돌제트는 충돌면에서 국소적으로 높은 열전달 효과를 얻을 수 있기 때문에 터빈블레이드 냉각과 연소기 벽면 냉각 그리고 전자부품 내부의 반도체 냉각등 여러분야에 사용되고 있다. 이는 충돌제트가 고온면을 효과적으로 냉각할 수 있기 때문에 많이 적용될 수 있다. 그러므로 오랫동안 여러 연구자들에 의해 연구가 선행되어왔다. Gardon등<sup>(1)</sup>은 자유제트가 표면에 충돌할 때 제트출구와 충돌면사이의 간격에 따라 난류가 열전달에 미치는 영향을 보였고 Kataoka등<sup>(2)</sup>은 원형 노즐제트위에 생기는 주기적인 큰 규모의 와류를 관찰하여 와류의 주기가 충돌면에서의 열전달 효과를 바꾸어 줄 수 있다는 것을 알았다. 국내의 연구로는 조형희등<sup>(3)</sup>이 충돌제

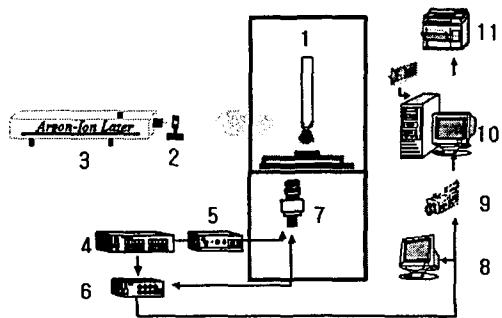
트에서 음향여기 효과에 관한 연구와 배열충돌제트에 관해 연구를 수행 하였으며 윤순현등<sup>(4)</sup>은 교차제트의 유동영역별 열전달 특성에 관해 연구 하였다. 이들 선행연구들은 나프탈렌 승화법, 연기 열선법, 수치해석, PIV 등 다양한 기법을 이용하여 충돌제트에 관해 연구 하였다. 그러나 노즐과 냉각 대상체 사이의 간격에 대해선 선행연구를 인용할 뿐 구체적인 언급이 없었다. 선행 연구자들의 연구결과는 주로 노즐과 평판사이의 거리비가 8배 정도일 때 열전달 효과가 최대라고 밝히고 있다.<sup>(1)</sup> 그러나 단순한 무차원수로서 이를 규정하기는 힘들며, 특히 전자장비 내부와 같은 복잡한 유동장에서는 열전달 효과가 어느정도인지 더욱 정의하기 곤란한 경우가 많다. 이에 본 연구에서는 전체 유동장을 전자장비 내부라는 폐공간 내에서의 충돌제트에 의한 열전달 현상과 유동특성을 PIV를 이용하여 고찰 하였다. PIV는 측정영역의 속도분포를 동시다점으로 측정할 수 있으며, 유동장의 교란을 주는 문제가 없으므로 본 실험과 같은 형상의 유동장에 적합한 측정기법이다.

\* 동아대학교 대학원  
\*\* 한국해양대학교 대학원  
\*\*\* 동명대학 기계과  
\*\*\*\* 동아대학교 기계공학과  
\*\*\*\*\* 한국해양대학교 기계·정보공학부

## 2. 실험장치 및 PIV계측

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에서 채택한 실험장치의 구성도이다. 주제트 유동은 송풍기를 사용하여 공기를 공급하였으며 속도제어는 송풍기에 연결된 인버터(inverter)를 사용하였다. 노즐의 입구속도가 가변적으로 조정 가능하지만, 본 연구에서는 노즐의 입구속도를 2m/sec로 고정 하였다. 입구유속의 측정은 열선유속계(Kanomax Climomaster 6511)를 이용해서 측정하여 초기조건으로 하였다. 유동장내의 유체입자 선별문제는 광원과 함께 PIV계측정도에 큰 영향을 미친다. 본 실험에서의 입자는 올리브유를 이용한 라스킨 노즐(laskin nozzle)을 이용하였다. 라스킨 노즐에서 발생한 미세입자를 송풍기로 흡입시켜 노즐로 직접 분사하였다. 외부로의 영향을 최소화 하기 위하여 실험장치전체를 특수 제작한 수조속에 설치하여 외기유입을 최소화 하였다. 제트를 분사하는 노즐은 균일한 속도분포를 가질수 있도록 만들었는데 이를 위하여 정류기(rectifier)를 설치 하였으며, 균일 출구 속도분포를 가질 수 있도록 하였고, 부가적으로 조명장치는 5W 출력의 아르곤-



1.Nozzle 2.Cylindrical lens 3.Argon-Ion Laser  
4.Pulse Generator 5.Image Intensifier Controller  
6.CCD Controller 7.Image intensifier CCD Camera  
8.Monitor 9.Hi-8mm Camera 10.Host Computer & Image Grabber 11.Printer

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

이온레이저를 사용하였다. 그리고 영상은 Hi-8mm 캠코더를 사용하여 기록하였으며, 펄스발생기(Kanomax사, 10 $\mu$ s)를 이용한 영상 강화CCD카메라(Image Intensifier CCD Camera, Hamamatsu사, C4273)를 사용하였다. 계측영역의 최대크기는 가로 및 세로가 각각 140mm $\times$ 122mm이다.

### 2.2 PIV계측

본 가시화실험에 있어서는 먼저 유동장 형성하고 추적입자를 유동장에 주입시킨 다음에 적당한 조명을 주사한다. 계측영역의 영상은 Hi-8 mm캠코더에 저장하며 저장된 유동장은 다시 재생과정을 거쳐 영상처리장치에 입력하게 된다. 영상처리장치로는 DT3155라는 이미지 그래버를 사용하였으며 본 연구에서 사용한 DT3155보드는 영상저장장치로부터 공급된 유동장의 아날로그 신호를 디지털 영상정보로 바꾸어 주는 역할을 하며 각종 전처리 조작은 PIV처리 상용코드인 CACTUS 2000을 사용하였다. 속도벡터 추출을 위한 유동장의 영상처리에는 반드시 전처리 과정이 필요하며, 이 과정으로 잡음제거, 회전보정 등을 거친 다음, 이치화된 영상으로 탐색반경을 결정한 후에 유동장의 거동 특성을 관찰하여 상관영역을 설정한다. 전처리 과정 중에 가장 큰 비중을 차지하는 것은 잡음제거에 있어 큰 효과를 얻을 수 있는 배경제거이다. 이것은 계측영역에서 입자를 제외한 고정물체를 제거하여 영상의 불필요한 부분을 최소화하며 처리영상에 포함된 노이즈를 제거하기 위한 것이다. 이를 위하여 연속된 200개의 원시영상의 계조치를 산술 평균한 다음, 실제로 처리하고자 하는 순간의 유동장으로부터 감산하는 방법을 택하였다. 잡음이 제거된 영상에 대해서 계측영역내 직선 윤곽선을 이용하여 CCD카메라의 위치에 대한 회전보정을 행하였다. 전처리가 끝나면 계산영역을 설정하고 장애물처리를 하여 계조치 상호상관법을 이용한 동일입자를 확인하고 후처리에 의해 속도벡터 등의 다양한 유동정보를 구하였다. 아래의 식 1은 상호상관계수를 나타내고 있다.

$$C_{fs} = \frac{\sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f}_i)(g_i - \bar{g}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f}_i)^2 \sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g}_i)^2}} \quad (1)$$

여기서  $f_i$ ,  $g_i$ 는 상관영역내의 각 픽셀의 계조치를 의미하며 “—”는 평균을 나타낸다. 계조치 상호상관법을 적용할 때 탐색반경(SAR)과 상관영역(CAS)의 설정은 속도벡터의 신뢰성 뿐만 아니라 계산시간의 단축에도 결정적인 영향을 미친다. 속도벡터의 격자수는 Case에 따라 다르지만 최대  $100 \times 120$ 이고, 상관계수를 구하기 위한 탐색영역의 반경은 9~10픽셀이다. 상관영역의 크기는 40~45픽셀이며 시간평균 속도벡터를 얻기 위해서 200개의 영상을 순차적으로 처리한 다음 산술평균하였다. 후처리 과정에서는 기록된 영상의 화질에 따라 발생한 고유의 에러성분인 이상치를 판별하여 에러벡터를 제거하는 에러제거, 격자점 재배치, 픽셀단위를 m/sec로 바꾸는 단위환산 등을 행하였다. Fig. 2는 실험에 사용된 충돌면에서 온도제어를 위한 측정장치의 단면도이다. 알루미늄으로 제작된 열판에 열전대(T-type)를 설치하였다. 열전대를 통해 출력되는 온도신호는 온도컨트롤러에 입력되고 온도컨트롤러에서는 발열체에 항상 균일한 전류가 공급되도록 회로를 구성하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

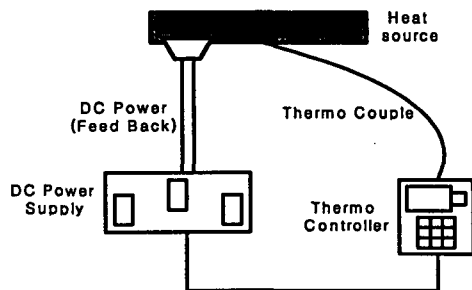


Fig. 2 Diagram of Heat source control system

충돌제트와 발열체사이의 거리에 따른 유동특성을 살펴보기 위해 출구직경(10mm)을  $d$ 라 하고 이를 기준으로 Case 1은 출구직경의  $12d$ (120 mm) Case 2는  $10d$ , Case 3는  $8d$ , Case 4 와 Case5 는  $6d$ ,  $4d$ 로 하였다. 각 Case에서의 입구유속은 2m/sec로 일정하며 발열체사이의 거리와 모든 조건은 모든 Case에서 동일하다.

Fig.3은 영상처리후 얻은 속도벡터를 도식화한 것이다. 발열체의 거리가 12배인 Case 1의 벡터분포를 살펴보면 발열체사이의 거리가 노즐출구로부터 다소 떨어져 있는 관계로 주유동의 흐름이 직선적이지 못하고 흐트러지는 경향을 보이며 확산의 영향 때문에 유동의 왜곡현상도 보인다. 이는 충돌제트가 발열체의 냉각에 그다지 영향을 주지 않을 것이라고 판단된다. 발열체사이와의 간격이 줄어들수록 흐트러짐이 감소하고 있다. 주유동이 발열체에 영향을 미치기 시작한 거리는 본 연구에서 고려한 경우 중 Case 3인  $8d$ 부터이다. Case 3의 속도분포를 살펴보면 주유동의 왜곡현상이 Case 1, Case 2에 비하여 현저히 줄어들었으며 주유동이 발열체 상부까지 근접해 있어 발열체 냉각에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. Case 4는 발열체 냉각에 가장 효율적인  $6d$ 인 경우이다. 주유동의 왜곡현상은 미약하며 발열체 상부 전반에 걸쳐 속도벡터가 일정하게 골고루 분포하고 있어 발열체 냉각에 유리할 것이라고 생각된다. Case 5는 발열체 사이의 거리가 노즐출구직경의 4배인 경우이며 이것은 유동장 전체에 걸쳐 평균속도가 다른 Case에 비해서 가장 빠르다. 그러나 주유동의 분포가 발열체 중앙부에 밀집되어 있는 관계로 발열체 가장자리에는 충돌제트의 효과가 감소할 것이라고 예상되며 이는 Case 5는 충돌제트의 주유동이 발열체 표면 냉각에는 국소적으로는 효과가 있겠지만, 발열체 전체표면온도 냉각의 측면에서는 효과가 감소할 것으로 생각된다.

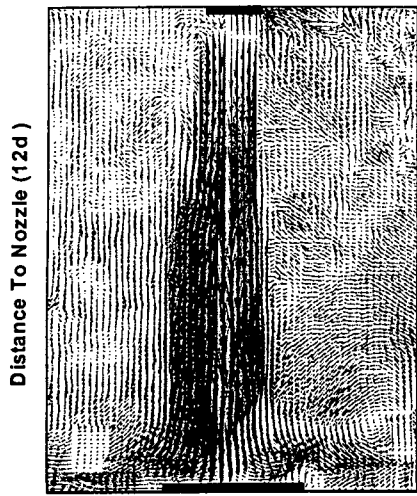


Plate  
(a) Case 1

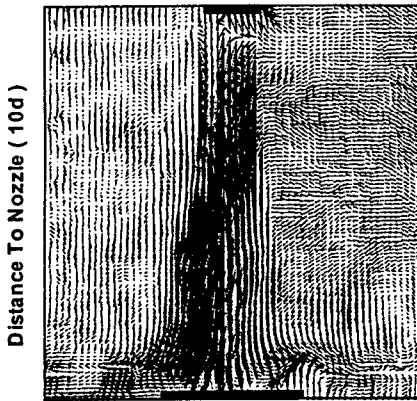


Plate  
(b) Case 2

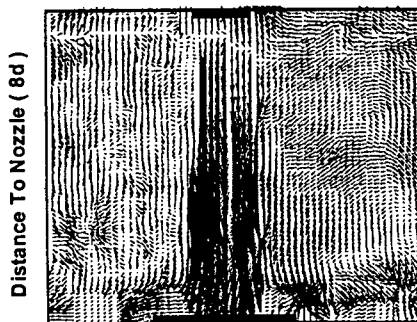


Plate  
(c) Case 3

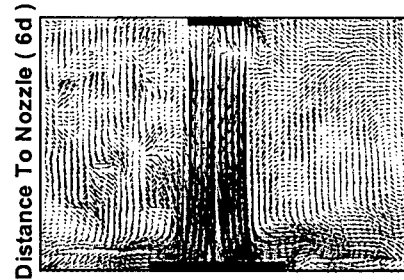


Plate  
(d) Case 4

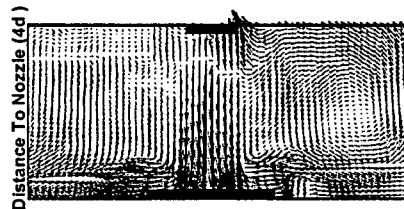
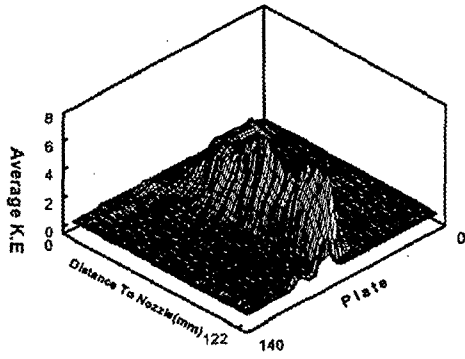


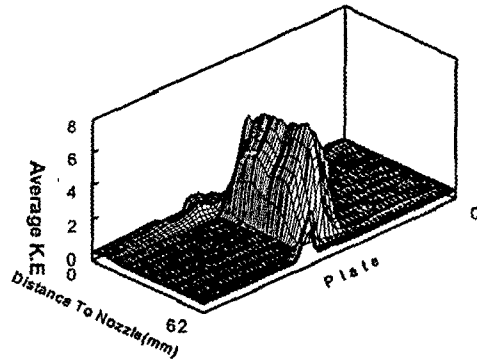
Plate  
(e) Case 5

Fig. 3 Velocity distribution of each Case

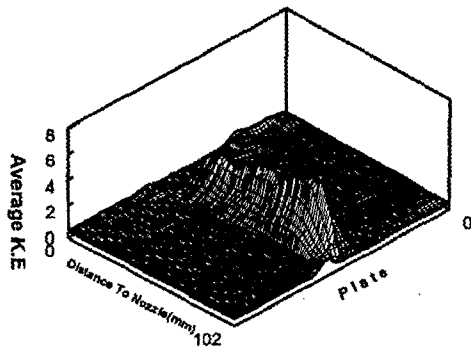
Fig.4 는 운동에너지를 나타낸 그림이다. 운동에너지의 분포를 살펴보면 Case 1 과 Case 2 을 비교하여 보면 운동에너지가 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 속도벡터분포와 같이 주유동의 왜곡현상 때문에 기인한다고 판단되며 주유동이 안정화되기 시작한 Case 3 부터는 운동에너지의 크기가 증가하는 경향을 보이고 있으며 그 크기는 Case 4 일 때가 최고치를 보이고 있으며 이는 속도벡터의 경향과 동일하다. 증가한 운동에너지는 Case 5 에서 다소 감소하는 경향을 보이는데 이는 주유동이 발열체 표면에 국소적으로 편중되는 결과이다.



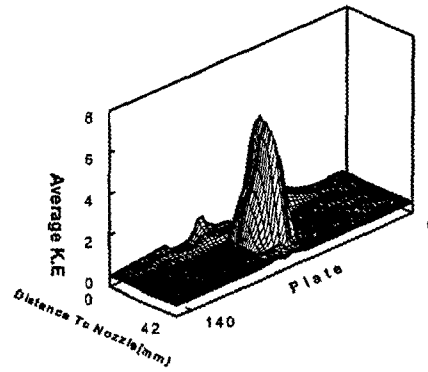
(a) Case 1



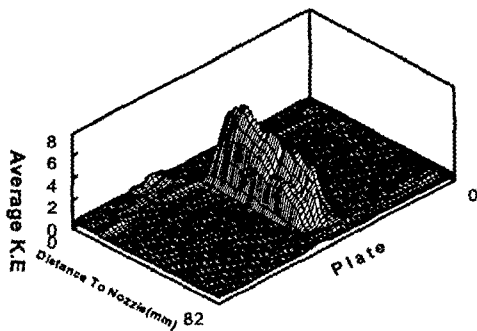
(d) Case 4



(b) Case 2



(e) Case 5



(c) Case 3

Fig. 4 Average kinetic energy distribution

#### 4. 결론

충돌제트의 유동특성을 PIV를 이용하여 노즐입구유속이 일정한 경우 노즐출구와 발열체사이의 거리를 노즐출구직경을 기준으로 12배, 10배, 8배, 6배, 그리고 4배로 변화시켜 속도분포와 운동에너지를 구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 속도분포를 살펴보면 발열체와 노즐사이의 거리가 출구직경의 12배 10배인 경우 주유동의 왜곡현상이 나타났다.

2. 본 연구에서 고려한 5가지 경우에는는 노즐과 발열체 사이의 거리가 출구 직경을 기준으로 하여 6배인 경우가 발열체 냉각효율 면에서 유리하다.

3. 운동에너지 분포에서는 속도벡터와 유사하게 노즐과 발열체 사이의 거리가 출구직경의 6배인 Case 4 가 최대값을 나타내었다.

### 참고문헌

1. Gardon, R. and Akfrot, J. C. ; "The role of turbulence in determining the heat transfer characteristics of impinging jet", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 8 pp.1261~1272(1963)
2. Kataoka, K., Mihata, I., Maruo, K., Suguro, M. and Chigusa, T. ; "Quasi periodic large scale structure responsible for the selective enhancement of impinging jet heat transfer", Proceeding of the 8th Int. Heat Transfer Conf. Vol.3, pp1193~1198(1986)
3. 황상동, 이창호, 조형희 ; "여기된 원형 충돌 제트의 유동 및 열전달 특성에 관한 실험적 연구", 대한기계학회 열공학부분 학술대회 논문집, pp122~129(1999)
4. 박봉균, 류원택, 윤순현, 이영호 ; "교차제트의 유동영역별 열전달 특성", 대한기계학회부산지부 2000년도 춘계학술대회논문집, pp273~278(2000)