

## 1열 원형 총돌수분류군에 의한 열전달의 실험적 연구 (제1보, 노즐형상의 영향)

### Impingement heat transfer within 1 row of circular water jets: Part 1-Effects of nozzle configuration

엄 기 찬\*, 김 상 필\*\*  
K. C. Ohm, S. P. Kim

**Key words:** Heat transfer(열전달), Single jet(단일분류), Array jets(군분류)

#### ABSTRACT

Experiments were carried out to obtain the effects of nozzle configuration and jet to jet spacing on the heat transfer characteristics of single line of circular water jets impinging on a constant heat flux plane surface. The nozzle configurations are Cone type, Reverse cone type and Vertical circular type, and the nozzle arrays are single jet(nozzle dia. 8mm), 1 row of 3 jets and 1 row of 5 jets. Jet velocities ranging from 3m/s to 8m/s were investigated for the nozzle to target plate spacing of 80 mm.

For the Cone and Reverse cone type nozzle arrays, the average Nusselt number of 1 row of 5 jets was larger than that of 1 row of 3 jets at  $Re_D < 45000$ , but that of 1 row of 3 jets was larger than that of 1 row of 5 jets at  $Re_D \geq 45000$ . For the Vertical circular type nozzle, however, the average Nusselt number of 1 row of 3 jets was larger than that of 1 row of 5 jets at all jet velocities. In the condition of fixed mass flow rates, the maximum heat transfer augmentation was obtained for 1 row of 5 jets and was over 2 times larger than that of the single jet for all nozzle configurations. The nozzle configurations that produce the maximum average Nusselt number are as follows: For 1 row of 3 jets, the Vertical circular type at  $Re_D \leq 45000$  and the Reverse cone type at  $Re_D > 45000$ . But, they are the Reverse cone type at  $Re_D < 55000$  and the Vertical circular type at  $Re_D \geq 55000$  for 1 row of 5 jets.

#### 기 호 설 명

$A$  : 열전달 면적 [m<sup>2</sup>]  
 $D$  : 단일노즐의 직경=0.008 [m]  
 $H$  : 노즐-전열면간 거리 [m]

$h$  : 국소 열전달계수 [W/m<sup>2</sup>K]  
 $\bar{h}$  : 평균 열전달계수 [W/m<sup>2</sup>K]  
 $I$  : 전류 [Ampere]  
 $k$  : 열전도계수 [W/mK]  
 $Nu_D$  : 국소 Nusselt수,  $\frac{hD}{k}$   
 $\overline{Nu_D}$  : 평균 Nusselt수,  $\frac{\bar{h}D}{k}$

\* 인하공업전문대학 기계설계과  
\*\* 동양공업전문대학 공장자동화과

- Pr : Prandtl수
- q : 열유속 [W/m<sup>2</sup>]
- r : 반경방향 거리 [m]
- Re<sub>D</sub> : Reynolds수,  $\frac{V_o D}{\nu}$
- V<sub>o</sub> : 노즐출구속도 [m/s]

**그리스 문자**

- ν : 동점성계수 [m<sup>2</sup>/s]

**1. 서 론**

공업적인 면에서 전열면상의 열전달계수 분포는 균일한 상태가 요구되고 있으며, 또 어떤 국소점의 열전달계수는 높거나 낮은 값이 요구되는 경우에도 단일분류로서는 그 요구를 충족시키기가 어렵다. 따라서 그 요구에 적합한 군분류를 구성하는 것이 필요하다. 그것은 노즐의 형상, 노즐간 피치, 노즐의 직경 및 배열, 노즐-전열면간 거리 등이며 분류속도 또는 유량과 분류의 방향에 따라 충족시킬 수 있다.<sup>(1)</sup>

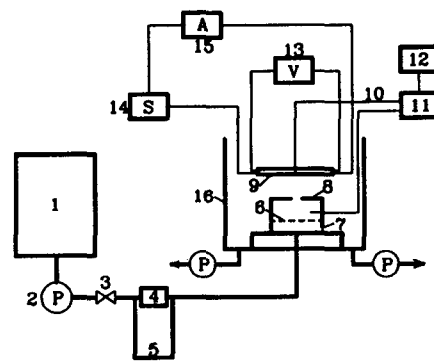
그 배열형식을 4각형 배열의 조합형으로 한 연구에서 평균 열전달계수는 노즐간 피치가 작을수록 증가하는 결과가 보고되고 있으며,<sup>(2-4)</sup> 3각형 배열의 조합형으로 한 연구에서는 분류유량이 일정할 때 평균 열전달계수가 노즐간 피치가 증가할 때 증대하는 결과가 보고되었다.<sup>(5)</sup> 두 배열의 평균 물질전달계수를 비교하면 노즐경이 일정할 때 4각형 배열의 조합형이 3각형 배열의 조합형보다 더 크나 노즐의 개구면적 비율이 같다면 두 배열 사이에 차가 거의 없는 것이 Bensmaili와 Coueret<sup>(6)</sup>에 의해서 규명되었다.

1열 군분류에 의한 연구는 Koopman과 Sparrow<sup>(7)</sup>에 의해 1열 공기분류군으로서 실험한 결과 노즐간 피치가 작은 경우에 평균 물질전달계수가 큼을 보고하였으며, Slayzak 등<sup>(8)</sup>은 1열 군분류를 2줄로 하여 줄간 피치변화에 따른 유동 및 열전달의 영향을 연구하였다. 또한 1열 군분류에 횡풍을 공급하는 연구<sup>(9,10)</sup>를 들 수 있는데, 이들 모두 노즐 사이가 아닌 노즐 중심선의 수직방향에 따른 열전달계수를 측정하고 있다. 따라서 저자는 우선 노즐형상을 원추형(Fig.2의 Cone type), 역원추형(Fig.2의 Reverse cone type, Rcone형), 수

직원통형(Fig.2의 Vertical circular type, Vert형)의 세 가지로 단일수분류에 의해 열전달이 가장 우수한 노즐형상이 역원추형을 밝혔고,<sup>(11)</sup> 역원추형의 노즐을 1열 3분류와 1열 5분류로 구성하여 노즐-전열면간 거리변화에 따라 노즐 사이의 국소 및 평균 열전달특성을 보고하였다.<sup>(1)</sup> 그러나 단일분류에서 열전달이 우수한 노즐형상이 군분류에서도 우수할까는 미지수이다. 따라서 본 연구에서는 원추형과 수직원통형 노즐을 이용한 1열 3분류와 1열 5분류의 군분류에 대하여 국소 및 평균 열전달특성을 노즐-전열면간 거리 80mm인 조건에서 실험적으로 규명하고 역원추형 노즐의 군분류 결과<sup>(1)</sup>와 비교하였다.

**2. 실험장치 및 방법**

실험장치와 방법은 문헌<sup>(1,11)</sup>과 같다. 즉 실험장치의 구성도는 Fig. 1<sup>(11)</sup>과 같으며, 노즐판으로부터 상향으로 분출된 수분류가 전열면(10×158×0.03mm의 스테인레스 박판)에 충돌할 때 전류계와 전압계에서 측정된 전류 I와 전압 V에 의하여 다음 식에 따라 열유속 q를 계산하였으며, q=0.1 MW/m<sup>2</sup>의 등열유속으로 실험하였다.



- 1. Water tank 2. Water pump 3. Valve
- 4. Orifice 5. Manometer 6. Distributer
- 7. Water chamber 8. Nozzle plate
- 9. Heated surface 10. Thermocouple
- 11. Data logger 12. Computer
- 13. Volt meter 14. Slidac
- 15. Ampere meter 16. Test chamber

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

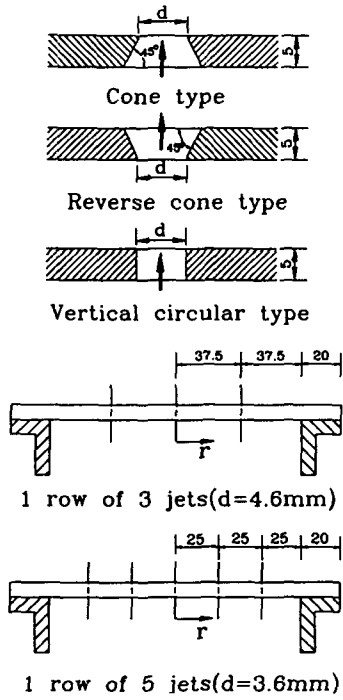


Fig. 2 Nozzle configuration and arrays of multi-jets.

$$q = \frac{I \cdot V}{A} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (1)$$

분류속도는 밸브에 의해 조정하여 오리피스와 수은 마노미터에서 측정하였다. 전열면의 이면에는 T형 열전대(50 μm)를 중앙노즐의 기하학적 정체점으로부터 6.25 mm 간격으로 10개 용착시켰으며, 3.125 mm 이동시켜 모두 20개 점의 온도를 데이터로거에서 10초 간격으로 5회 측정하여 그 평균치를 컴퓨터에 입력하였다.

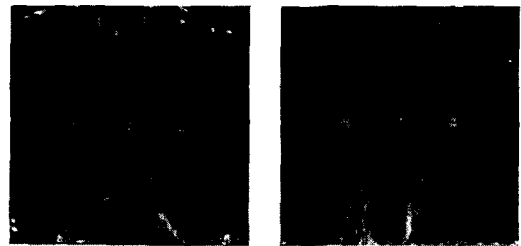
Fig. 2<sup>(1,11)</sup>는 노즐형상 및 군분류의 배치도이다. 각 노즐을 단일분류시는 노즐직경 D=8 mm, 1열 3분류에서는 노즐경 d<sub>3</sub>=4.6 mm, 노즐간 피치 37.5 mm이며 1열 5분류에서는 노즐경 d<sub>5</sub>=3.6 mm, 노즐간 피치는 25 mm이다. 이 분류계는 노즐의 개구면적이 같으므로 분류속도가 동일한 조건은 곧 분류유량이 동일함을 의미한다. 실험 조건은 노즐-전열면간 거리 80 mm, 분류속도는 3~8 m/s(Re<sub>D</sub>=27000~70000)이며 본 실험의 불확실성은 Nusselt 수 : 7.43%, Reynolds 수 : 4.2%이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

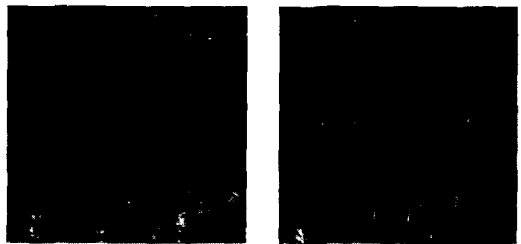
#### 3.1 군분류의 간섭 가시화

노즐로부터 수분류가 상향으로 분출하여 충돌판에 충돌하기까지는 약간의 액적류가 발생하며, 충돌시에는 훨씬 격심한 액적류가 하향 경사 방향으로 발생한다. 군분류의 경우는 노즐간 피치가 크지 않은 경우 충돌판에서 발생된 액적류가 이웃하는 분류기동에 간섭을 일으키고, 그로 인해 단일분류와는 달리 액적류에 의한 교란작용이 열전달에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 또한 군분류의 경우 충돌 후 벽면분류가 이웃하는 벽면분류와 서로 충돌하여 간섭면이 형성되며, 거의 수직하향으로 반원형태를 이루며 충돌판을 이탈한다.

Fig. 3은 Cone형 노즐의 군분류가 충돌판에 충돌할 때의 유동현상을 수직 상방에서 촬영한 사진이므로서 1열 3분류(이하 3분류)의 (a)는 분류속도 V<sub>0</sub>=3 m/s인 경우이며 액적류(방사상의 가는 흰색줄기)의 발생은 아주 미약하다. 그리고 간섭면(수직방향의 굵은 흰색선)은 노즐간 거의 중앙에 위치하고 있다. 그러나 분류속도를 4 m/s로



(a) 3 jets(V<sub>0</sub>=3 m/s) (b) 3 jets(V<sub>0</sub>=4 m/s)



(c) 5 jets(V<sub>0</sub>=3 m/s) (d) 5 jets(V<sub>0</sub>=4 m/s)

Fig. 3 Visualization of flows associated with single row of jets(Cone type nozzle).

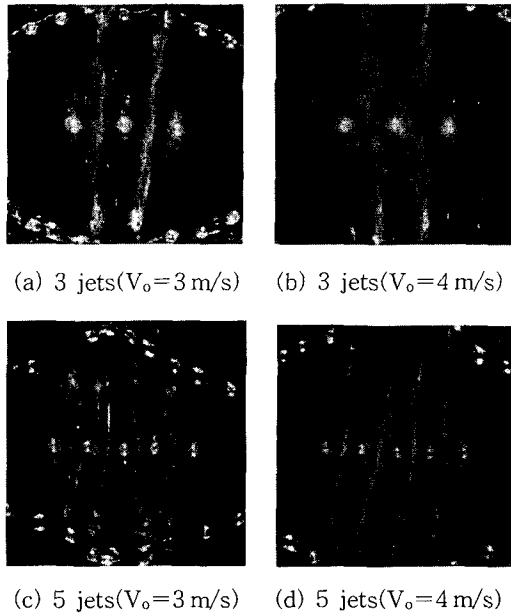


Fig. 4 Visualization of flows associated with single row of jets (Vertical circular type nozzle).

증가시키면 (b)에서 보듯이 양단분류에서 액적류에 의한 교란이 격심함을 관찰할 수 있으며, 상대적으로 중앙분류에서는 아주 약하게 나타나고 있다. 여기서 중앙분류 영역에서는 다분히 서브머지드(submerged)분류 영역(양쪽의 간섭면에 의해 유체의 정체시간이 길어지는 영역)이면서 유동이 제한을 받는 영역인 데 반해 양단분류는 유동제한이 훨씬 작은 ㅅ자유분류 영역(내측 간섭쪽은 유동제한을 받으나, 그 외측은 자유유동)이 된다. 5분류인 경우는  $V_0=3\text{ m/s}$ 에서 (c)와 같이 중앙분류에서는 액적발생이 아주 미약하고 양단 두 분류 쪽에서 약간 나타나고 있다. (d)와 같이  $V_0=4\text{ m/s}$ 에서는 역시 중앙분류에서는 액적발생은 거의 볼 수 없지만 이웃하는 분류영역에서는 유동의 제한을 받음에도 불구하고 액적류에 의한 교란작용을 볼 수 있고, 최외단 분류에서는 유동제한이 작은 영역으로서 ㅅ자유분류영역이다.

Rcone형 노즐군의 가시화 사진은 문헌<sup>(1)</sup>에서 제시하였으며, Vert형 노즐군의 경우를 제시하면 Fig. 4와 같다. 3분류인 Fig. 4(a)의 저속인  $V_0=3\text{ m/s}$ 에서는 Cone형[Fig. 3(a)]이나 Rcone형 노즐<sup>(1)</sup>과 달리 중앙노즐에서 유동제한을 받지만 교란현

상이 양단노즐보다 조금 약한 세기로 나타나고 있다. (b)의  $V_0=4\text{ m/s}$ 에서는 Cone형[Fig. 3(b)] 노즐과는 그 양상이 다르며 Rcone형 노즐<sup>(1)</sup>과 유사하여 중앙분류에서도 훨씬 격심한 교란현상을 관찰할 수 있다. Fig. 4(c)와 (d)는 5분류인 경우로서  $V_0=3\text{ m/s}$ 에서는 Cone형[Fig. 3(c)]이나 Rcone형 노즐<sup>(1)</sup>과 거의 유사한 상황이며,  $V_0=4\text{ m/s}$ 인 Fig. 4(d)의 경우는 중앙분류에서도 그 외의 양쪽 분류들보다는 약하지만 액적류가 발생하여 Vert형 노즐은 충돌 유동현상이 Cone형 및 Rcone형 노즐과 특성이 다를 것을 알았다. 이러한 교란현상은 충돌속도가 클수록 심화되며, 그 교란작용이 불규칙적으로 온도경계층을 파괴시켜 열전달이 촉진됨을 확인하였다.<sup>(1)</sup> 또한 새로운 분류수의 교환이 유동제한을 받는 영역은 느리고 ㅅ자유분류 영역은 빠르므로 열전달의 크기가 달라질 것으로 예상할 수 있다.

### 3.2 국소 열전달

Fig. 5는 Cone형 노즐의 경우 분류속도  $V_0=3, 4, 6\text{ m/s}$ 에 대하여 단일분류, 1열 3분류, 1열 5분류의 국소 Nusselt수를 비교하여 표시한 선도이다. 중앙분류 부근에서는 단일분류와 군분류의 Nusselt수의 차가 크지 않으나 그 외의 영역에서는 군분류의 국소 Nusselt수가 훨씬 크다. 저속인  $V_0=3\text{ m/s}$ 에서는 정체점에서 3분류의 경우나 5분류의 경우 공히 중앙분류보다 양단 분류들의 Nusselt수가 약간 더 크게 나타나며, 또한 5분류의 경우는 양쪽분류들의 값이 거의 같다. 이것은 Fig. 3(a)에서 중앙분류에 의한 충돌 후의 벽면분류는 양단분류에 비해 유동의 제한을 받아 다분히 서브머지드 분류의 특성을 가지므로 열전달계수가 더 작은 것으로 생각되며, Cone형 노즐군에서는 Fig. 3에서 보듯이 공통적으로 중앙노즐부에서 액적류에 의한 교란작용이 양단분류들에 비해 미약하게 나타나는데, 이러한 현상이 복합적으로 그 원인이 된다고 생각된다. 이러한 열전달계수의 차가 생기는 현상은 Slayzak 등<sup>(8)</sup>의 2열간 수분류군에서도  $V_0 \geq 3.3\text{ m/s}$ 에서 나타나는데, 속도가 클수록 더 심화된다고 보고하였다.

$V_0=4\text{ m/s}$ 에서는 정체점에서 역시 중앙분류보다 양단분류들의 열전달계수가 큰데, 5분류가 3분류보다 크게 나타나고 있으며  $V_0=6\text{ m/s}$ 로 분류

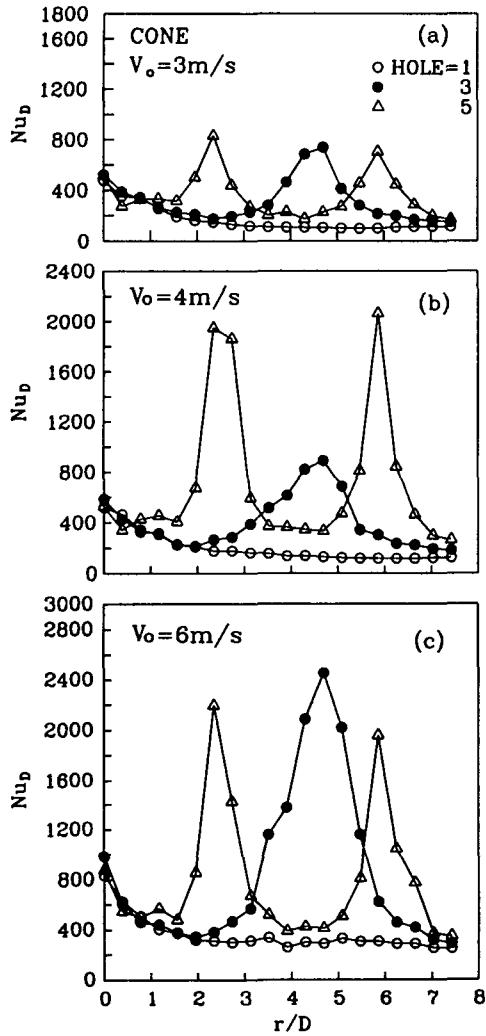


Fig. 5 Comparison of local Nusselt number profiles for single and multijets with Cone type nozzle.

속도를 증가시키면 양단분류들에서 3분류가 5분류보다 크게 나타난다. 이것은 Fig.3(b) 및 (d)에서는 Fig.3(a) 및 (c)보다 양단분류들 쪽에서 격심한 액적류의 발생으로 인해 교란작용이 심화되는 것과 관련이 있다고 생각된다. 그런데 수분류가 전열면에 충돌할 때의 운동량이 기본적으로 열전달의 크기를 좌우하지만 이 경우는 그 운동량과 교란작용이 복합적으로 일어나고 있는데, 그 현상들의 크기가 양단분류들에서 3분류와 5분류의 열전달 크기를 좌우하는 것으로 생각되며,  $V_0=5$

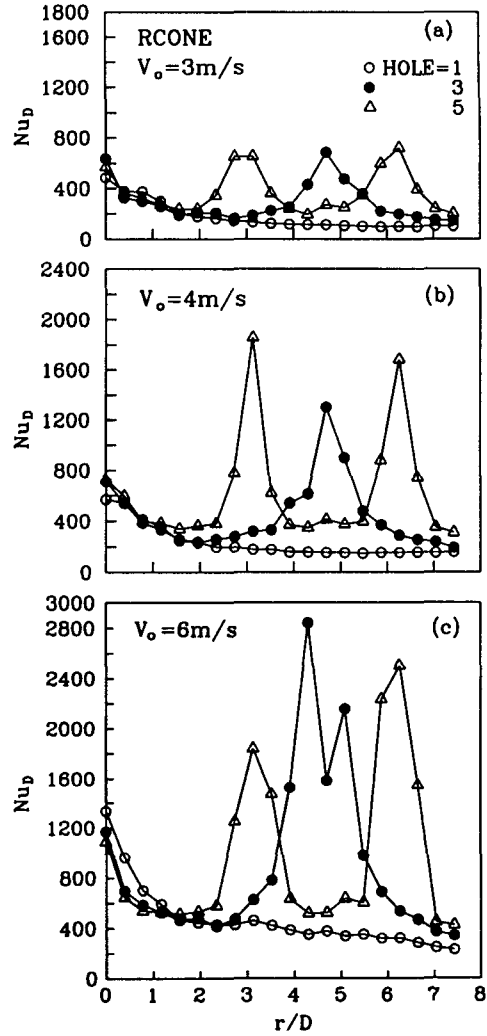


Fig. 6 Comparison of local Nusselt number profiles for single and multijets with Reverse cone type nozzle.

m/s의 데이터는 제시하지 않았으나 그 경향은  $V_0=6$  m/s의 경우와 같으므로 운동량이 교란작용을 증가하는 한계가  $V_0=5$  m/s인 것으로 생각된다.

Fig.6은 Rcone형 노즐에 의한 경우로서 문헌<sup>[1]</sup>에서 간섭현상의 사진과 함께 제시한 바 있으나 비교를 위해 나타내었다. Nusselt수 분포의 경향은 Cone형 노즐과 거의 유사하다. 그러나  $V_0=5$  m/s의 경우는  $V_0=4$  m/s의 경우와 유사하나 양단분류들의 정체점에서 5분류와 3분류의 Nusselt수의 차가 작으며, 운동량의 영향이 지배적인 분

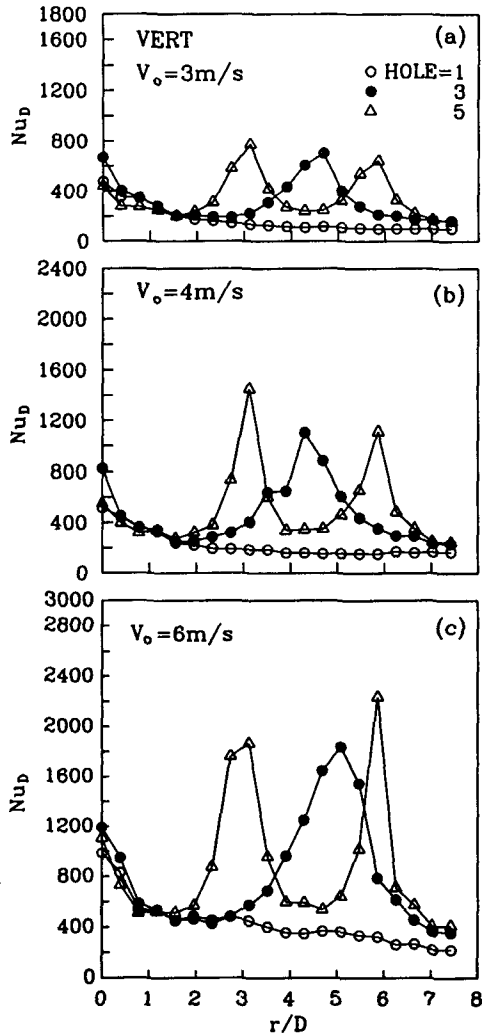


Fig. 7 Comparison of local Nusselt number profiles for single and multijets with Vertical circular type nozzle.

류속도는  $V_0 = 6 \text{ m/s}$ 라고 판단된다.

Fig. 7은 Vert형 노즐군의 국소 Nusselt수 분포를 나타낸 선도이다.  $V_0 = 3 \text{ m/s}$ 의 경우, 정체점에서 3분류는 중앙분류와 양단분류의 Nusselt수가 거의 같다. 이것은 Fig. 5(a)의 Cone형이나 Fig. 6(a)의 Rcone형과는 다른 현상이다. 이것은 Fig. 4(a)를 볼 때 중앙분류에서도 거의 양단분류와 같이 액적류에 의한 유동교란이 발생하기 때문으로 생각된다. 그러나 5분류의 Nusselt수는 Cone형이나 Rcone형과 같은 경향이며, 이것도 Fig.

4(c)의 중앙분류쪽의 교란은 거의 나타나지 않는 것과 관련된다고 생각된다. 분류속도를 증가시킨  $V_0 = 4 \text{ m/s}$ 에서는 그 경향이 Rcone형과 유사하지만 Nusselt수의 값이 작다. 그런데 3분류의 경우, 중앙분류와 양단분류의 Nusselt수의 차가 Cone형이나 Rcone형 노즐군에 비해 훨씬 작게 나타나며 그 현상은  $V_0 = 6 \text{ m/s}$ 의 경우도 동일하고, 5분류에서도 동일한 경향으로 나타나고 있는데, Fig. 4(b)와 (d)에서 관찰하면 중앙분류에서도 상당한 액적류가 발생하여 교란효과가 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 그러나  $V_0 = 6 \text{ m/s}$ 의 경우 Cone형이나 Rcone형 노즐군과는 달리 양단분류들의 정체점 Nusselt수는 5분류와 3분류가 거의 같은 값으로 나타나고 있으며, 이 현상은  $V_0 = 7, 8 \text{ m/s}$ 에서도 동일한 경향으로서 운동량과 교란효과가  $V_0 \geq 5 \text{ m/s}$ 에서 열전달에 미치는 영향이 거의 같은 정도로 작용한다고 생각되며, 따라서 노즐형태에 따라 특성이 다를 수 있다.

중앙분류 정체점 Nusselt수에 주목하면 Fig. 5~7에서 보듯이 모든 경우 3분류가 5분류의 경우보다 더 크게 나타나고 있다.

### 3.3 평균 열전달

평균 열전달계수  $\bar{h}$ 는 단일분류, 1열 3분류, 1열 5분류 공히 중앙정체점( $r/D = 0$ )으로부터  $r = 59.4 \text{ mm}$ 까지의 선분평균치를 의미하며 다음 식으로부터 구하였다.

$$\bar{h} = \frac{1}{l} \int_0^l h dr \quad (2)$$

Fig. 8은 Cone형 노즐에 의한 평균 Nusselt수를 Reynolds수에 따라 나타낸 선도로서 모든 속도에서 군분류가 단일분류에 비해 평균 열전달계수가 증진됨을 볼 수 있다. 그 증진율은 3분류의 경우 2.07~2.14배, 5분류의 경우는 1.87~2.76배로 나타났다. 또 비교적 저속의 경우( $Re_D < 45000$ )는 5분류가 3분류보다 열전달이 우수하지만 그 이상의 속도에서는 3분류가 더 우수하게 나타나므로 분류속도가 커지면 액적류에 의한 교란효과보다 운동량의 영향이 열전달에 더 강하게 작용한다고 생각된다. Womac 등<sup>(2)</sup>의 연구에서도 저속( $Re_D < 20000$ )에서는  $2 \times 2$ 배열의 군분류에서도 분

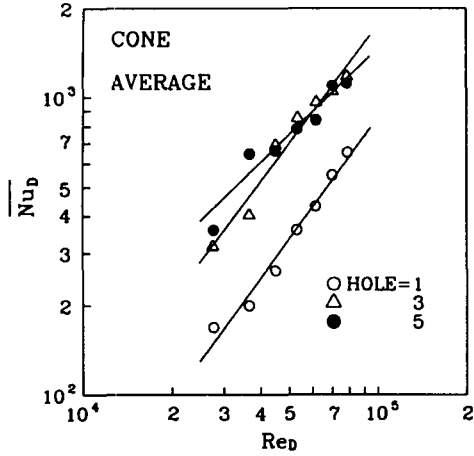


Fig. 8 Comparison of average Nusselt number for single jet and multijets with Cone type nozzle.

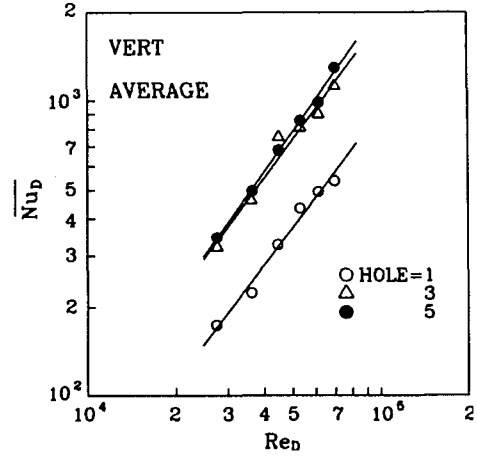


Fig. 10 Comparison of average Nusselt number for single jet and multijets with Vertical circular type nozzle.

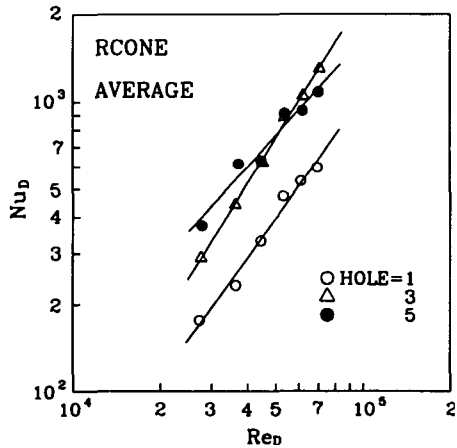


Fig. 9 Comparison of average Nusselt number for single jet and multijets with Reverse cone type nozzle.

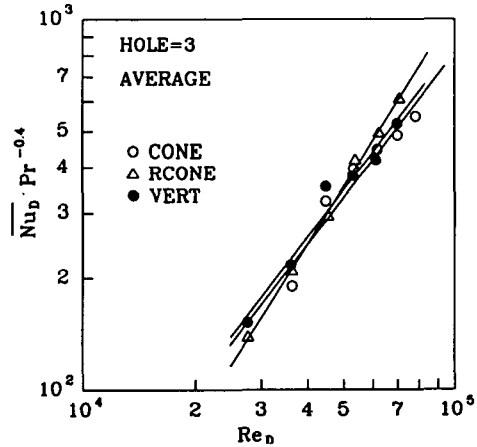


Fig. 11 Correlation of average Nusselt number for 1 row of 3 jets at different nozzle types.

류유량이 일정할 때 노즐경과 노즐간 피치가 작은 경우 평균열전달이 크게 나타나고 있다.

Fig. 9는 Rcone형 노즐의 경우로서 경향은 Cone형 노즐과 유사하다. 단일분류에 대한 3분류의 열전달증진율은 1.69~2.03배, 5분류는 1.76~2.24배로 향상되었다.  $Re_D \leq 54000$ 에서는 5분류, 그 이상의 속도에서는 3분류가 더 우수하여 Cone형 노즐과 같은 경향이다. 그런데 단일분류의 평균 열전달계수는 Cone형 노즐에 비해 Rcone형 노즐

이 훨씬 크다.<sup>(11)</sup>

그러나 Fig. 10의 Vert형 노즐에서는 3분류보다 5분류의 경우가 본 실험의 전 분류속도 범위에서 평균 Nusselt수가 약간 크게 나타나며, 따라서 Cone형 및 Rcone형 노즐의 특성과 다를 수 있다. 단일분류에 의한 평균 Nusselt수는 Cone형 노즐보다는 크나 Rcone형 노즐보다는 약간 작다.<sup>(11)</sup> 군분류의 단일분류에 대한 열전달 증진율은 3분류의 경우 1.96~2.0배, 5분류의 경

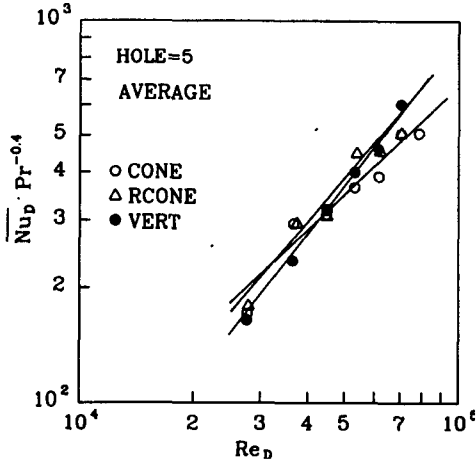


Fig. 12 Correlation of average Nusselt number for 1 row of 5 jets at different nozzle types.

우는 2.02~2.16배로 나타났다.

다음에는 평균 열전달의 크기를 세 노즐형태의 군분류에 대하여 비교하기 위해 1열 3분류의 경우는 Fig. 11에 나타내었다. 이 선도에서 평균 열전달은  $Re_D \leq 45000$ 에서는 Vert형 노즐,  $Re_D > 45000$ 에서는 Rcone형 노즐이 가장 크게 나타났으며, 1열 3분류에서 각 노즐형태별로 실험치를 무차원식으로 정리하면 다음과 같다.

Cone형:

$$\overline{Nu_D} = 2.55 \times 10^{-4} Re_D^{1.3} Pr^{0.4} \quad (3)$$

Rcone형:

$$\overline{Nu_D} = 1.15 \times 10^{-5} Re_D^{1.592} Pr^{0.4} \quad (4)$$

Vert형:

$$\overline{Nu_D} = 2.547 \times 10^{-4} Re_D^{1.305} Pr^{0.4} \quad (5)$$

Fig. 12는 1열 5분류의 경우로서, 평균 열전달이  $Re_D \leq 55000$ 에서는 Rcone형 노즐이 가장 우수하고  $Re_D > 55000$ 에서는 Vert형 노즐이 가장 우수하여 1열 3분류와는 상반된 결과로 나타났다. 1

열 5분류에 대한 평균 Nusselt수를 각 노즐형상별로 무차원화하면 다음과 같다.

Cone형:

$$\overline{Nu_D} = 1.397 \times 10^{-2} Re_D^{0.937} Pr^{0.4} \quad (6)$$

Rcone형:

$$\overline{Nu_D} = 3.155 \times 10^{-3} Re_D^{1.076} Pr^{0.4} \quad (7)$$

Vert형:

$$\overline{Nu_D} = 1.426 \times 10^{-4} Re_D^{1.364} Pr^{0.4} \quad (8)$$

#### 4. 결 론

본 연구에서는 노즐형태를 원추형(Cone형), 역원추형(Rcone형), 수직원통형(Vert형)으로 한 1열 3분류군(노즐경 4.6 mm, 노즐간 피치 37.5 mm)과 1열 5분류군(노즐경 3.6 mm, 노즐간 피치 25 mm), 노즐-전열면간 거리 80 mm, 분류속도 3~8 m/s의 범위에서 열전달의 실험을 하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) 1열 3분류의 경우, 수직원통형 노즐의  $V_o = 3$  m/s인 경우를 제외하면 세 형태의 노즐 공히 중앙분류 정체점보다 양단분류 정체점의 열전달 계수가 더 크며 그 차는 분류속도가 증가할수록 커진다.

(2) 저속인  $V_o = 3$  m/s에서는 세 노즐형태의 군분류에서 공히 중앙분류 이외의 양단분류 정체점들의 Nusselt수가 1열 3분류와 1열 5분류의 경우 거의 같은 값을 가지나  $V_o = 4 \sim 5$  m/s에서는 1열 5분류가 1열 3분류보다 크며,  $V_o \geq 6$  m/s의 고속분류에서는 Cone형 및 Rcone형 노즐의 군분류에서는 1열 3분류가 1열 5분류보다 크나 Vert형 노즐의 군분류에서는 유사한 값을 갖는다.

(3) 중앙분류의 정체점 열전달계수는 1열 5분류보다 1열 3분류의 경우가 더 크다.

(4) Cone형 및 Rcone형 노즐의 경우,  $Re_D < 45000$ 에서는 5분류가 3분류보다 평균 Nusselt수가 크며  $Re_D \geq 45000$ 에서는 3분류가 더 크다. 그러나



Vert형 노즐의 경우는 실험범위의 모든 속도에서 5분류가 3분류보다 약간 더 크게 나타났다.

(5) 동일유량의 조건에서 단일분류에 대한 균분류의 평균열전달의 증진은, Cone형 노즐의 경우는 최고 2.76배(5분류), Rcone형 노즐의 경우는 2.24배(5분류), Vert형 노즐의 경우는 2.16배(5분류)를 얻었다.

(6) 1열 3분류의 경우 평균 Nusselt수가 최대인 노즐형상은  $Re_D \leq 45000$ 에서는 Vert형,  $Re_D > 45000$ 에서는 Rcone형이며, 1열 5분류의 경우는  $Re_D < 55000$ 에서는 Rcone형 노즐,  $Re_D \geq 55000$ 에서는 Vert형 노즐로 나타났다.

## 후 기

본 연구는 인하공업전문대학 산업기술연구소 1999년도 교내 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

## 참고문헌

1. 엄기찬, 이종수, 금성민, 1997, 단일수분류 및 수분류군에 의한 열전달(2)-1열 수분류군-, 대한기계학회 논문집(B), 제21권 9호, pp. 1115-1125.
2. Womac, D. J., Incropera, F. P. and Ramadhyani, S., 1994, Correlating equations for impingement cooling of small heat sources with multiple circular liquid jets, ASME J. Heat Transfer, Vol. 116, pp. 482-486.
3. Pan, Y. and Webb, B. W., 1995, Heat transfer characteristics of arrays of free-surface liquid jets, ASME J. Heat Transfer, Vol. 117, pp. 878-883.
4. Obot, N. T. and Trabold, T. A., 1987, Impingement heat transfer within arrays of circular jets: Part. 1-Effects of minimum, intermediate, and complete crossflow for small and large spacings, ASME J. Heat Transfer, Vol. 109, pp. 872-879.
5. Behbahani, A. I. and Goldstein, R. J., 1983, Local heat transfer to staggered arrays of impinging circular air jets, ASME J. Heat Transfer, Vol. 105, pp. 354-360.
6. Bensmaili, A. and Coueret, F., 1990, Overall mass transfer between a solid surface and submerged or unsubmerged liquid multijets, J. Electrochem. Soc., Vol. 137, No. 6, pp. 1744-1750.
7. Koopman, R. N. and Sparrow, E. M., 1976, Local and average transfer coefficients due to an impinging row of jets, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 19, pp. 673-683.
8. Slayzak, S. J., Viskanta, R. and Incropera, F. P., 1994, Effects of interactions between adjoining rows of circular, free surface jets on local heat transfer from the impingement surface, ASME J. Heat Transfer, Vol. 116, pp. 88-95.
9. Metzger, D. E. and Korstad, R. J., 1972, Effects of crossflow on impingement heat transfer, ASME J. Engng. for Power. pp. 35-42.
10. Holdman, J. D. and Walker, R. E., 1977, Mixing of a row of jets with a confined cross flow, AIAA Journal, Vol. 15, No. 2, pp. 243-249.
11. 엄기찬, 이종수, 유지오, 1997, 단일수분류 및 수분류군에 의한 열전달(1)-단일수분류-, 대한기계학회논문집(B), 제21권 9호, pp. 1105-1114.