

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
 Journal of the Korean Solar Energy Society
 Vol. 25, No. 4, 2005

서브머지드 단일수분류의 열전달에 관한 실험적 연구

엄기찬*

*인하공업전문대학 기계설계시스템정보과(ohmkc@inhac.ac.kr)

An experimental study of heat transfer in a submerged water jet

Ohm, Ki-Chan*

*Dept. of Machine Design System Information, Inha Technical College(ohmkc@inhac.ac.kr)

Abstract

An experimental study of heat transfer of submerged water jet impinging normally on a flat plate is presented. Heat transfer measurements obtained with Reverse cone type nozzle(Rcone) were compared to those obtained with Cone type nozzle(Cone) and Square edged type nozzle(Vert) of the same diameter($D=8\text{mm}$) for different jet velocities in the range of $3\sim 7\text{m/s}$ ($Re_D=30000\sim 70000$) and various nozzle-to target spacings ($H/D=2\sim 10$). The local Nusselt number profiles exhibited a sharp drop for $r/D\leq 0.5$ and 2nd, 3rd peaks revealed at $r/D=2, 3$ respectively, followed by a slower decrease there after. The peaks were weakened with increasing the nozzle-to target spacing and decreasing the jet velocity. The stagnation Nusselt number of the Reverse cone type nozzle was larger than those of the other two nozzles for $H/D=2, 10$, but Cone type nozzle had the highest value for $H/D=4\sim 8$. Also average Nusselt number of the Reverse cone type nozzle was higher than those of the other two nozzles at $H/D=2\sim 10$, except for $V_o=7\text{m/s}$ of $H/D=6$.

Keywords : 서브머지드 수분류(Submerged water jet), 열전달(Heat transfer), 정체점 누셀트수(Stagnation Nusselt number)

기 호 설 명

A : 열전달 면적, m^2
 D : 노즐출구 직경, m

h : 국소 열전달계수, $(\frac{1}{l} \int_0^l h dl)$, $W/m^2\text{C}$

\bar{h} : 평균 열전달계수, $W/m^2\text{C}$

H : 노즐-전열면간 거리, m

- I : 전류, Ampere
- k : 열전도율, $W/m^{\circ}C$
- q : 열유속, W/m^2
- r : 반경방향 거리, m
- V : 전압, Volt
- V_o : 분류속도, m/s
- ν : 동점성계수, m^2/s^2
- $Nu_D = hD/k$: 국소 Nusselt수
- $\overline{Nu}_D = \overline{h}D/k$: 평균 Nusselt수
- Pr : Prandtl수
- $Re_D = V_o D/\nu$: Reynolds수

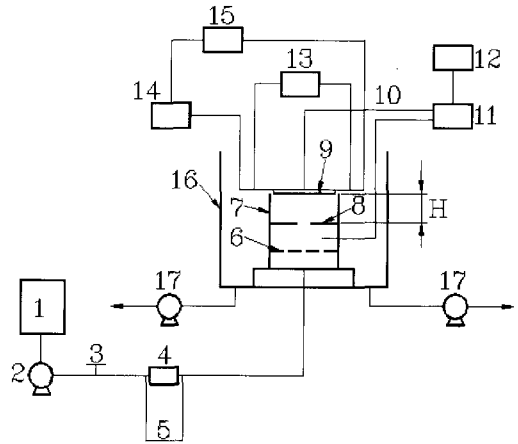
1. 서 론

분류를 이용하는 산업적 적용범위는 넓다. 우선, 분류는 물체의 냉각 또는 가열에 이용되며, 그 예로서는 고온금속의 어닐링 또는 담금질, 원자로의 냉각, 전자 패키지의 냉각, 제지 및 직물의 가열에 의한 건조 등을 들 수 있다. 그 열전달효과를 증진시키는 방법으로서 액 중에 잠겨있는 물체에 액 분류를 충돌시키는 소위 액 중 액분류(본 연구에서는 서브머지드 분류(submerged jet)로 표기함)를 이용하는 연구가 진행되고 있다.^{1~7)} 그러나 열전달의 증진 외에도 액체의 온도 균일화, 액체의 정화 방법에도 이용할 수 있다.

저자는 서브머지드 수분류^{6,7)}를 이용하여 자유 수분류⁸⁾보다 열전달 증진효과가 우수함을 제시하였으며, 사용한 노즐의 형상은 각각 Vert형⁶⁾과 Cone형⁷⁾ 노즐이다(그림 2 참조). 그런데 서브머지드 수분류의 열전달에 미치는 인자는 분류속도, 분류의 직경, 노즐-전열면간 거리 등이 있으나, 본 연구에서는 Rcone형 노즐(그림 2 참조)을 이용하여 이미 제시한 Vert형⁶⁾ 및 Cone형⁷⁾ 노즐의 경우와 비교하여 노즐 형상이 열전달에 미치는 영향에 대하여 그 특성을 제시하고자 한다.

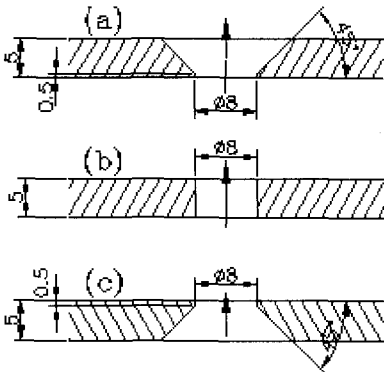
2. 실험장치 및 방법

실험장치는 문헌 6 및 7에서 사용한 것과 동일하며 그 개략도를 그림 1에 나타내었다. 또한, 그림 2에는 사용한 노즐의 형상을 나타내었다. 펌프 2에 의해 수송된 일반수도물은 분산판 6을 통과하면서 시험조 7내의 유속분포가 균일해지며, 본 실험에 사용한 Rcone형 노즐이 가공되어 있는 노즐판 8의 노즐을 통과하여 전열면 9에 충돌한다. 시험조 7은 내경 150mm, 외경 170mm의 내열 우레탄 원판 6(5mm ϕ 의 구멍을 지그재그로 피치 7.5mm로 가공)을 설치하였으며, 하부로부터 130mm 상부에 노즐판 8을 설치하고 그로부터 노즐-전열면간 거리에 따라 각각 높이 $H=16, 32, 48, 64, 80$ mm의 내열 우레탄통을 장착하였으며, 그 상부에 전열면이 설치된다. 전열면이 수중에 완전히 잠긴 상태일 때 전원 공급장치 14를 통해 전기적으로 가열을 한다. 그 전열면은 스테인레스 박판(두



- | | |
|-------------------|------------------|
| 1. Water tank | 10. Thermocouple |
| 2. Water pump | 11. Data logger |
| 3. Valve | 12. Computer |
| 4. Orifice | 13. Volt meter |
| 5. Manometer | 14. Slidac |
| 6. Distributer | 15. Ampere meter |
| 7. Water chamber | 16. Test chamber |
| 8. Nozzle plate | 17. Water pump |
| 9. Heated surface | |

그림 1. 실험장치의 개략도



- (a) Reverse cone type nozzle(Rcone).
- (b) Square edged type nozzle(Vert),
- (c) Cone type nozzle(Cone)

그림 2. 노즐의 형상

께 30 μ m, 폭 10mm, 길이 120mm)을 사용하고 정체점으로부터 4mm간격으로 15개의 T형 열전대(직경 50 μ m)를 설치하였다. 열유속 q 는 0.1 MW/m^2 으로 일정하게 하고(식 (1)참조), 노즐-전열면간 거리는 노즐직경(8mm)의 2~10배 ($H/D=2 \sim 10$)로 조정될 수 있으며 분류속도는 3~7m/s($Re_D = 30000 \sim 70000$)로 변화시켰다. 각 점의 온도는 데이터로거 11에서 10초 간격으로 5회 측정하여 평균치를 적용하였다.

$$q = \frac{I \cdot V}{A} \quad (1)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 정체점 열전달

그림 3은 세 종류의 노즐에 대하여 분류속도 $V_o=3 \sim 7$ m/s범위에서 노즐-전열면간 무차원 거리 (H/D)의 변화에 따른 정체점(노즐출구 중심의 수직선상에 있는 열전달표면의 점)의 Nusselt수 (Nu)에 대한 변화를 표시한 선도이다. $V_o=3$ m/s의 경우에는 Rcone형 노즐과 Vert형 노즐⁶⁾은 H/D 의 증가에 따라 Nu 가 단순히 감소하고 있는

며, Cone형 노즐⁷⁾은 $H/D=4$ 에서 최대치가 나타난다. 선도는 제시하지 않았지만 $V_o=4$ m/s의 경우도 $V_o=3$ m/s의 경우와 같은 경향이나 H/D 의 증가에 따른 Nu 의 감소율이 증가하고 Cone형 노즐의 경우 $H/D=4$ 에서의 최대치가 더욱 뚜렷하게 나타난다. 분류속도를 $V_o=5$ m/s로 증가시키면 Cone형 노즐뿐 아니라 Vert형 노즐의 경우도 $H/D=4$ 에서 Nu 의 최대치가 나타나고 있으며, Rcone형 노즐은 아직도 H/D 의 증가에 따라 Nu 가 단순 감소한다. $V_o=7$ m/s(본 실험의 최대 분류속도)에서는 세 노즐 모두 $H/D=4$ 에서 최대의 Nu 를 나타내고 있다.

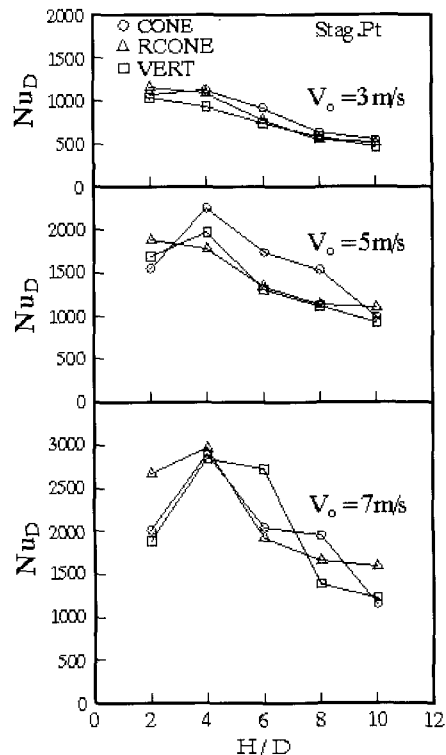


그림 3. 정체점 Nusselt수의 H/D에 따른 변화

이러한 현상은 문헌 9에서도 서브머지드 액분류에서 $Re_D > 9200$ 에서는 $3 < H/D < 5$ 에서 정체점의 열전달이 최대가 되며 $H/D \geq 6$ 에서는 H/D 의

증가에 따라 Nu가 감소하여 그 경향이 일치하고 있다. 또한 문헌 3과 문헌 4의 Vert형 노즐을 이용한 서브머지드 액분류(FC-77) 실험에서도 포텐셜 코어(H/D≤4)내에서는 H/D의 증가에 따라 정체점 열전달계수가 증가하여 H/D=4에서 최대치가 나타나고, H/D>4에서는 H/D의 증가에 따라 Nu가 감소하고 있다. 그들은 H/D<4영역에서는 H/D의 증가에 따라 분류 중심선 속도는 거의 변화하지 않지만 분류가 진행함에 따라 난류도가 증가하여 Nu가 증가하고, H/D>4에서는 H/D의 증가에 따라 분류속도의 감소에 의해 Nu가 감소한다고 밝히고 있다. 그러나 문헌 10의 서브머지드 공기분류실험에서는 본 실험의 Rcone형 노즐과 유사한 sharp-edged orifice형 노즐의 경우, Vert형 노즐보다도 H/D의 증가에 따른 분류속도의 감소량이 크게 나타나고 있으며, 문헌 5의 서브머지드 액분류(분류액 : transformer oil)의 실험에서 오리피스형 노즐의 경우 포텐셜 코어가 H/D=2라는 결과에 비추어 볼 때, 본 실험(H/D≥2)의 Rcone형 노즐은 $V_o=3\sim6\text{m/s}$ 의 경우 H/D≥2에서 H/D의 증가에 따라 속도 감소의 영향이 난류도 증가의 영향보다 커서 Nu가 단순 감소하는 경향을 나타낸다고 생각된다.

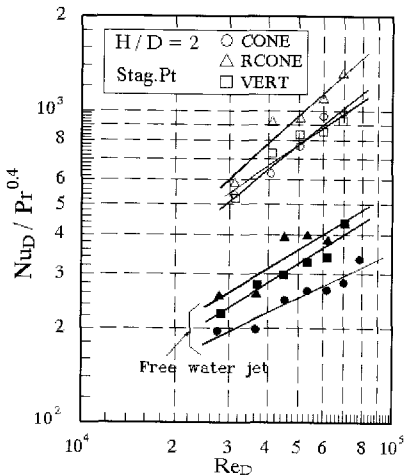


그림 4. 정체점 Nusselt수의 비교(H/D=2)

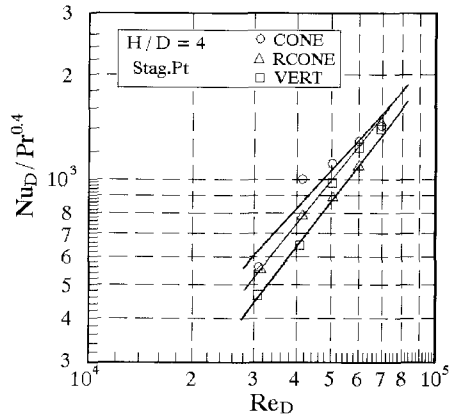


그림 5. 정체점 Nusselt수의 비교(H/D=4)

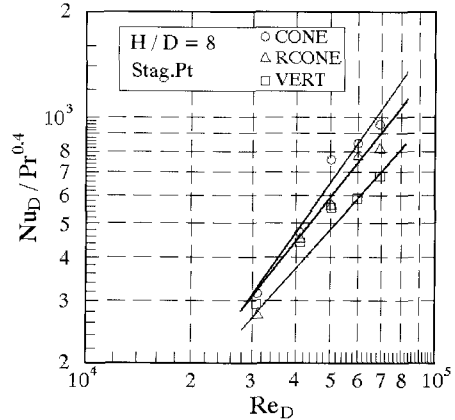


그림 6. 정체점 Nusselt수의 비교(H/D=8)

그림 4, 그림 5 및 그림 6은 각각 H/D=2, 4, 8에 대하여 정체점에서의 $Nu_D/Pr^{0.4}$ 와 Re_D 의 관계를 표시한 선도이다. 이들 선도에서 H/D=2(그림 4)에서는 Rcone형 노즐이, H/D=4(그림 5)와 H/D=8(그림 6)에서는 $V_o=7\text{m/s}$ ($Re_D=70000$)를 제외하면 Cone형 노즐⁷⁾의 경우가 정체점 열전달이 가장 크게 나타나고 있으며, H/D=10(선도 미제시)에서는 Rcone형 노즐이 가장 크다. 본 연구에서는 정체점 Nu의 변수로서 다음과 같은 식으로 표시하였다.

$$Nu_D = f(Re_D, Pr, H/D) \quad (2)$$

그런데 그림 3에서 보듯이 변수 H/D의 영향은 H/D<4와 H/D≥4영역의 경향이 다르므로 H/D=2조건과 H/D=4~10의 두 영역으로 나누어 정리하였다. 따라서 그림 4에 나타낸 H/D=2에 주목하면 각 노즐에 대해서 변수 H/D를 제외시켜 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$H/D=2 : Nu_D = a \cdot Re_D^m \cdot Pr^{0.4} \quad (3)$$

식 (3)에서 각 노즐의 상수 a와 지수 m은 표 1과 같다.

그림 3과 그림 4의 결과에서 보듯이 H/D=2에서는 Rcone형 노즐이 정체점 Nu가 가장 크고 아울러 Reynolds수(Re)의 증가에 따른 열전달의 증가율도 가장 크므로 정체점에 대한 열전달 향상의 측면에서 세 종류의 노즐 중 가장 바람직하다고 할 수 있다. 그림 4에는 자유 수분류⁸⁾의 결과를 상당하는 모양의 흑색 심볼로 표시하였다. 서브머지드 수분류가 자유 수분류에 비해 정체점 열전달이 우수하며, Vert형 노즐은 2.35~2.44배, Cone형 노즐은 2.62~3.45배, Rcone형 노즐은 2.3~2.96배로 열전달이 향상되었다.

표 1. 식 (3)의 상수 a와 지수 m

Type of nozzle	a	m
Vert type nozzle ⁶⁾	4.56×10^{-1}	0.6876
Cone type nozzle ⁷⁾	1.196×10^{-1}	0.811
Rcone type nozzle	4.669×10^{-2}	0.918

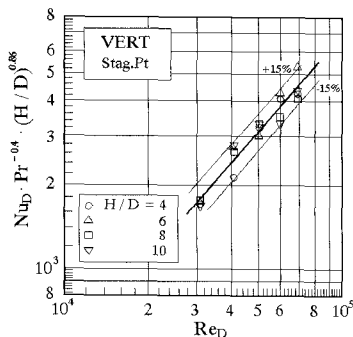


그림 7. 정체점 Nusselt수의 정리(Vert형 노즐)

그림 7, 그림 8, 그림 9는 각각 Vert형 노즐⁶⁾, Cone형 노즐⁷⁾, Rcone형 노즐의 H/D=4~10영역에서의 정체점 열전달을 표시한 선도이다.

H/D=4~10의 영역에서는 변수 H/D를 포함시킨 식 (2)를 적용할 수 있으므로 실험결과는 식 (4)와 같이 정리하였으며, 각 노즐에 대하여 식 (4)의 상수 C, 지수 n 및 p는 표 2와 같고, 그 정리식은 ±15%내에서 만족한다.

$$Nu_D = C \cdot Re_D^n \cdot (H/D)^p \cdot Pr^{0.4} \quad (4)$$

이상에서 H/D=4~8영역의 정체점 열전달은 Cone형 노즐이 가장 우수하며 H/D=10에서는 Rcone형 노즐이 우수하게 나타났다.

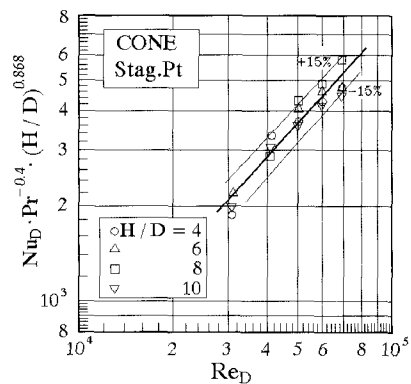


그림 8. 정체점 Nusselt수의 정리(Cone형 노즐)

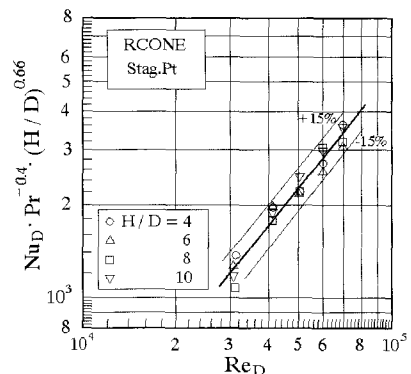


그림 9. 정체점 Nusselt수의 정리(Rcone형 노즐)

표 2. 식 (4)의 상수 C 와 지수 n, p

Type of nozzle	C	n	p
Vert type nozzle ⁶⁾	4.56×10^{-1}	1.151	-0.86
Cone type nozzle ⁷⁾	1.196×10^{-1}	1.098	-0.868
Rcone type nozzle	4.669×10^{-2}	1.241	-0.66

3.2 국소 열전달

그림 10은 본 실험에서 사용한 Rcone형 노즐의 경우, 반경방향 무차원 거리(r/D)에 따른 국소 Nusselt수의 분포를 나타낸 선도이다. $r/D=0 \sim 7$ 의 전 영역에서 국소 Nu는 분류속도가 증가할수록 큰 값을 보이고 있다. 정체점($r/D=0$)에서 Nu가 가장 크고, $r/D=0.5$ 까지 급격한 감소를 보이고 있으며 그 감소율은 H/D 가 작을수록 크다.

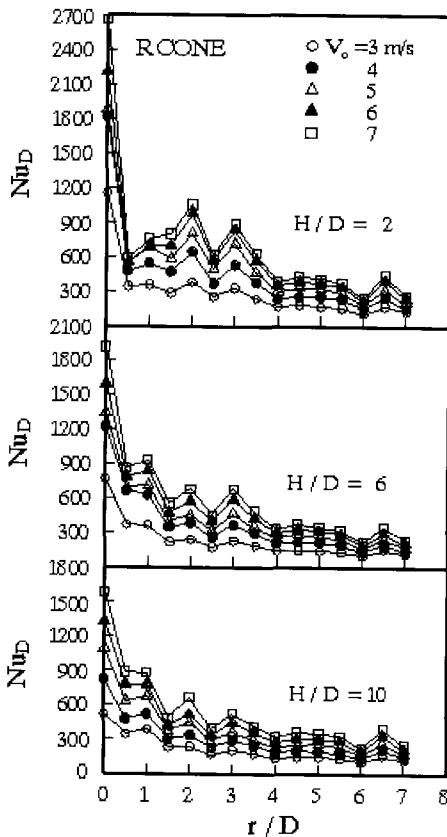


그림 10. 국소 Nusselt수의 반경방향 변화

$r/D=0.5 \sim 1.0$ 영역에서는 Nu의 변화가 크지 않으며, 저속인 $V_0=3\text{m/s}$ 를 제외하면 $H/D=2$ 에서는 $r/D=2$ 에서 제2 극대치, $r/D=3$ 에서 제3 극대치(제2 극대치보다 약간 작음)가 나타나고 있다. 이 현상은 정체점 영역과 벽면분류 영역간 충돌면에서 형성되는 회전와류(toroidal vortices)때문으로 생각된다.¹¹⁾

서브머지드 분류에서는 $H/D \leq 4$ 에서 제2 극대치가 $r/D=2$ 에서 나타나는 결과는 여러 연구자^{2),3),12)}에 의해서 보고 되었으며, 그 원인은 그 지점에서 층류로부터 난류로 천이하는데 기인한다고 밝혀졌다. 또한 경계층에서의 최대속도와 난류도의 곱이 $2 < r/D < 2.5$ 에서 최대로 측정된 결과¹³⁾와도 일치하고 있다.

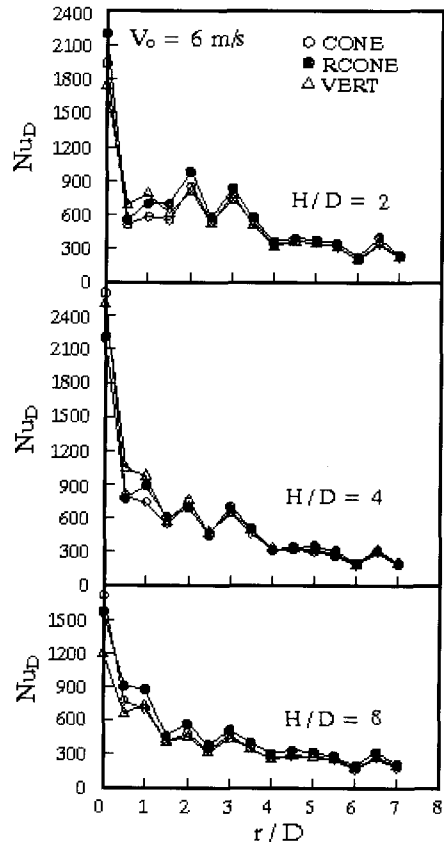


그림 11. 노즐형상에 따른 국소 Nusselt수의 비교

그러나 $H/D=4\sim 10$ 에서는 $r/D=0.5\sim 1.0$ 에서의 Nu 가 $r/D=2, 3$ 에서보다 큰 상태이며 $r/D=1\sim 3$ 영역에서는 H/D 가 증가함에 따라 Nu 의 극대치가 점차 미약해지고 그 후 r/D 의 증가에 따라 Nu 가 감소하는 경향으로 나타났다.

그림 11은 열전달계수의 반경방향 분포를 세 노즐형상에 대하여 비교한 선도이다. $r/D\geq 3$ 영역에서는 본 실험범위의 모든 H/D 에서 Nu 의 크기 및 분포가 세 종류의 노즐 모두 거의 같음을 알 수 있으며, $0.5\leq r/D\leq 1.0$ 영역에서는 $H/D=2\sim 4$ 조건에서 Vert형 노즐, $H/D=6\sim 10$ 에서 Rcone형 노즐의 Nu 가 우수하게 나타났다. $1.5\leq r/D\leq 3.0$ 영역에서는 $H/D=2$ 와 $H/D=8\sim 10$ 에서 Rcone형 노즐이 약간 높게 나타나고, $H/D=4\sim 6$ 에서는 세 종류의 노즐이 거의 유사한 Nu 의 값을 나타내고 있다.

3.3 평균 열전달

그림 12는 평균 Nusselt수의 H/D 에 따른 변화를 노즐형상에 따라 표시한 선도이다. 여기서 평균 Nusselt수($\overline{Nu_D}$)는 정체점으로부터 $r/D=7$ ($r=56\text{ mm}$)까지 열전달계수를 선적분한 값을 의미한다.

Rcone형 노즐의 경우는 본 실험범위의 모든 속도에서 H/D 의 증가에 따라 평균 Nu 가 감소하지만 Vert형 노즐($V_0\geq 5\text{m/s}$)⁶⁾과 Cone형 노즐($V_0\geq 4\text{m/s}$)⁷⁾은 $H/D=4$ 에서 최대치를 갖는다. 또 이 선도에는 물을 작동유체로 한 자유 수분류의 결과⁸⁾(흑색 심볼)를 $V_0=4\text{m/s}$ 와 7m/s 의 경우에 비교하였다. 자유 수분류와는 H/D 의 변화에 따른 경향이 반대인 결과가 나타났으며, 그 값도 $H/D\leq 8$ 에서는 서브머지드 수분류가 자유 수분류보다 크음을 알 수 있다. 이 현상은 문헌 1에서도 보고된 바 있고 서브머지드 분류에서는 전단층에서 발생하는 난류가 자유분류보다 크기 때문으로 밝히고 있다. 이 선도에서 본 실험의 전 속도범위에서 $H/D=2,$

8, 10에서는 Rcone형 노즐의 평균 Nu 가 가장 크고, 특히 $V_0=4\text{m/s}$ 에서는 전 범위의 H/D 에서 Rcone형 노즐이 가장 크다. $V_0=6\text{m/s}$ 의 $H/D=4$ (Vert형 노즐이 우수함)와 $V_0=7\text{m/s}$ 의 가장 크고, 특히 $V_0=4\text{m/s}$ 에서는 전 범위의 H/D 에서 Rcone형 노즐이 가장 크다. $V_0=6\text{m/s}$ 의 $H/D=4$ (Vert형 노즐이 우수함)와 $V_0=7\text{m/s}$ 의 $H/D=6$ (Vert형 노즐이 우수함)의 조건을 제외하면 전 범위에서 Rcone형 노즐의 평균 Nu 가 우수한 것으로 나타났다. 따라서 본 실험 범위의 전 H/D 영역에서의 평균 Nu 의 향상 측면에서 대체적으로 Rcone형 노즐이 가장 유리하다고 할 수 있다.

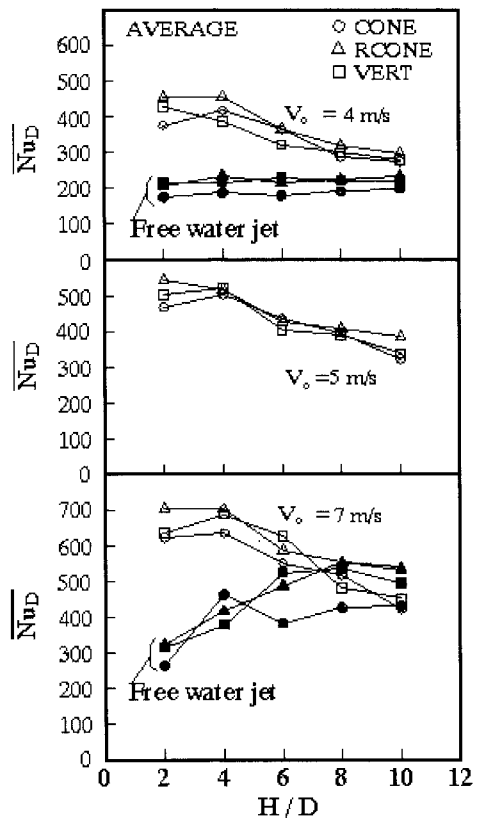


그림 12. 평균 Nusselt수의 H/D 에 따른 변화

평균 Nusselt수도 정체점의 Nusselt수와 같이

H/D=2와 H/D=4~10의 두 영역으로 분리하여 정리 하였다. H/D=2의 경우는 그림 13과 같으며 식 (5)로 표시할 때, 상수 \bar{a} , 지수 \bar{m} 은 각 노즐 형상에 따라 표 3과 같다.

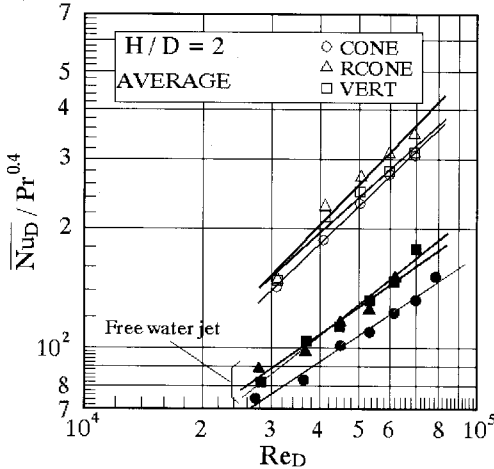


그림 13. 노즐형상에 따른 평균 Nusselt수 (H/D=2)

$$H/D=2 : \overline{Nu}_D = \bar{a} \cdot Re_D^{\bar{m}} \cdot Pr^{0.4} \quad (5)$$

표 3. 식 (5)의 상수 \bar{a} 와 지수 \bar{m}

Type of nozzle	\bar{a}	\bar{m}
Vert type nozzle ⁽⁶⁾	4.56×10^{-1}	0.6876
Cone type nozzle ⁽⁷⁾	1.196×10^{-1}	0.811
Rcone type nozzle	4.669×10^{-2}	0.918

이 선도에서 H/D=2에서의 평균 Nu는 Rcone형 노즐이 가장 우수함을 확인할 수 있으며, 다른 두 노즐에 비해 17.6~34%만큼 더 크게 나타나고 있다. 또한 문헌 8의 자유 수분류 결과(흑색 심볼)와 비교할 때 서브머지드 수분류인 본 실험결과가 훨씬 큼을 알 수 있다. 즉 H/D=2에서 Vert형 노즐은 자유수분류의 경우에 비해 1.77~1.94배, Cone형 노즐의 경우는 1.8~2.3배, Rcone형 노즐의 경우는 1.73~2.28배로 향상되었다.

H/D=4~10의 영역에서의 평균 Nu의 실험결과를 Vert형 노즐의 경우⁽⁶⁾는 그림 14에, Cone형 노즐⁽⁷⁾은 그림 15, Rcone형 노즐은 그림 16에 각각

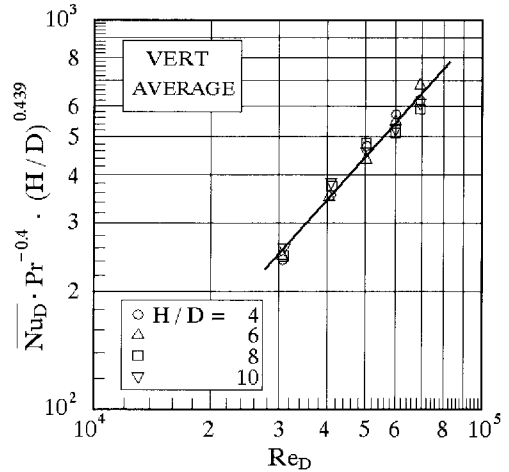


그림 14. 평균 Nusselt수의 정리(Vert형 노즐)

나타내었으며, 식 (6)의 형태로 정리하면 각 노즐 별로 상수 \bar{c} , 지수 \bar{n} 및 \bar{p} 는 표 4와 같다.

H/D=4~10 :

$$\overline{Nu}_D = \bar{c} \cdot Re_D^{\bar{n}} \cdot (H/D)^{\bar{p}} \cdot Pr^{0.4} \quad (6)$$

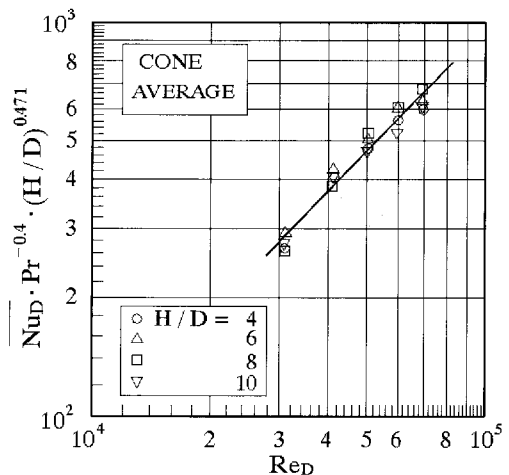


그림 15. 평균 Nusselt수의 정리(Cone형 노즐)

H/D=4~10의 평균 Nu는 Rcone형 노즐의 경우가 H/D의 증가에 따른 평균 Nu의 감소율이 가장 작게 나타났다.

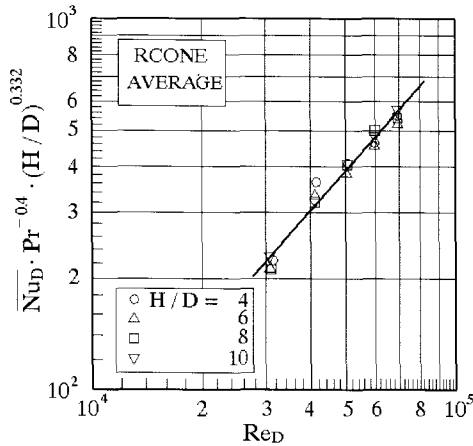


그림 16. 평균 Nusselt수의 정리(Rcone형 노즐)

표 4. 식 (6)의 상수 \bar{c} 와 지수 \bar{n} , \bar{p}

Type of nozzle	\bar{c}	\bar{n}	\bar{p}
Vert type nozzle ⁽⁶⁾	4.56×10^{-1}	1.151	-0.86
Cone type nozzle ⁽⁷⁾	1.196×10^{-1}	1.098	-0.868
Rcone type nozzle	4.669×10^{-2}	1.241	-0.66

4. 결 론

수중에서 수분류를 분출시켜 평면 전열면에 충돌시킬 때 열전달 효과를 증진시키기 위해 Rcone형 노즐을 사용하였으며, 기존의 Vert형, Cone형 노즐의 결과와 비교하였다. 노즐의 출구 직경은 8mm, 노즐-열전달 표면간 거리는 노즐 직경의 2~10배(H/D=2~10), 분류속도는 3~7m/s($Re_D=30000 \sim 70000$)이며, 다음의 결론을 얻었다.

- 1) Rcone형 노즐에 의한 정체점의 열전달계수는 분류속도 $V_o=3 \sim 5$ m/s범위에서는 H/D의 증가에 따라 단순감소하며, $V_o=7$ m/s에서는

H/D=4에서 최대치를 갖는다. 그러나 기존의 Vert형 및 Cone형 노즐은 $V_o \geq 4$ m/s에서 모두 H/D=4에서 열전달계수의 최대치가 나타난다.

- 2) 정체점의 열전달계수는 H/D=2와 10에서는 Rcone형 노즐이, H/D=4~8에서는 Cone형 노즐이 가장 우수하다.
- 3) 국소 Nusselt수는 정체점($r/D=0$)에서 가장 크고, H/D=2에서는 $r/D=2$ 에서 제2 극대치, $r/D=3$ 에서 제3 극대치가 나타난다. 그러나 H/D=4~10에서는 제2 및 제3 극대치가 미약해지며, 오히려 $r/D=0.5 \sim 1.0$ 의 Nusselt수가 더 크게 나타난다.
- 4) $r/D \geq 3.0$ 에서는 세 종류의 노즐 모두 국소 Nusselt수의 분포 및 크기가 거의 같으며, $0.5 \leq r/D \leq 1.0$ 에서는 H/D=2~4에서 Vert형 노즐, H/D=6~10에서 Rcone형 노즐의 Nusselt수가 우수하다. 또 $1.5 \leq r/D \leq 3.0$ 에서는 H/D=4~6에서는 세 종류의 노즐이 거의 같은 값을 갖지만, H/D=2 및 H/D=8~10에서는 Rcone형 노즐이 가장 크다.
- 5) 평균 Nusselt수는 H/D의 증가에 따라 감소하며, 세 종류의 노즐을 비교할 때 H/D=4의 $V_o=6$ m/s와 H/D=6의 $V_o=7$ m/s를 제외하면 전 H/D의 영역에서 Rcone형 노즐이 가장 우수하다.

후 기

본 연구는 2005년도 인하공업전문대학 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. D. J. Womac, S. Ramadhyani, F. P. Incropera, 1993, "Correlating equations for impingement cooling of small heat

- sources with single circular liquid jets", *J. of Heat Transfer*, vol.115, pp.106-115.
2. B. Elison and B. W. Webb, 1994, "Local heat transfer to impinging liquid jets in the initially laminar, transitional, and turbulent regimes", *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.37, No.8, pp.1207-1216.
 3. S. V. Garimella and R. A. Rice, 1995, "Confined and submerged liquid jet impingement heat transfer", *J. of Heat Transfer*, vol.117, pp.871-877.
 4. J. A. Fitzgerald and S. V. Garimella, 1997, "Flow field effects on heat transfer in confined jet impingement", *J. of Heat Transfer*, vol.119, pp.630-632.
 5. C. F. Ma, Q. Zheng, S. C. Lee, 1997, "Impingement heat transfer and recovery effect with submerged jets of large Prandl number liquid-1. Unconfined circular jets", *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.40, No.6, pp.1481-1490.
 6. 엄기찬, 2002, "서브머지드 단일 충돌 수분류에 의한 평판상의 열전달에 관한 연구", *한국전문대학교육연구학회논문집*, 제3권, 제4호, pp.523-531.
 7. 엄기찬, 2003, "원추형 오리피스를 이용한 서브머지드 충돌 수분류의 열전달에 관한 실험적 연구", *한국전문대학교육연구학회논문집*, 제4권, 제4호, pp.481-488.
 8. 엄기찬, 이종수, 유지오, 1997, "단일수분류 및 수분류군에 의한 열전달(1) -단일수분류- 대한기계학회논문집(B), 제21권, 제9호, pp. 1105-1114.
 9. Sergio Faggiani and Walter Grassi, 1990, "Impinging liquid jets on heated surfaces", *Proc. of 9th international heat transfer conference*, vol.1, pp. 275-285.
 10. Jungho Lee and Sang-Joon Lee, 2000, "The effect of nozzle configuration on stagnation region heat transfer enhancement of axisymmetric jet impingement", *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.43, pp.3497-3509.
 11. Sang-Joon Lee, Jung-ho Lee, Dae-Hee Lee, 1994, "Local heat transfer measurements flow elliptic jet impinging on a flat plate using liquid crystal", *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.37, No.6, pp.967-976.
 12. Martin, H, 1977, "Heat and mass transfer between impinging gas jet and solid surfaces", *Advances in heat transfer*, vol.13, pp.1-60.
 13. C. den Ouden and C . Hoogendoorn, 1974, "Local convective heat transfer coefficients for jets impinging on a plate : Experiments using a liquid crystal technique", *Proc. 5th Int. Heat Transf. Conf. Tokyo*, vol.5, pp. 293-297.