

충돌 제트에서 Rod 형상 변화에 따른 주변 유동 특성연구

손승우*, 이상범*, 강도훈*, 송민근*, 주은선**

A Study on The Flow Characteristics according to Changes of Rod Shape on Impinging Jet

Son, Seung-Woo*, Lee, Sang-Bum*, Song, Min-Geun* and Ju, Eun-Sun **

key Words: Rod Shape(막대 형상), Turbulent Intensity(난류강도), Impinging Plate(충돌평판), Particle Image Velocimetry(입자영상유속계)

Abstract

The objective of this study is to investigate characteristics of flow by the Rod shape and the choice of the turbulent intensity enhancement section. The Rod was setup vertically to the way of a nozzle exit flow and nozzle diameter is 17mm. Rod height is 5mm and its shapes are square, triangle, and circle. Characteristics of fluid such as velocity vector distribution, kinetic energy, turbulent intensity, and etc. were visualized, observed, and considered at 3 kinds of Re No. such as 2000, 3000, and 4000. The characteristics of flow field were investigated in each case of the distance rate from the nozzle exit to impinging plate(H/B=8, 10).

The temperature of water is 20°C and the measurement region divided by 3 sections(I, II, III). The nozzle diameter is 17mm.

As the experimental result by PIV measurement, scale of the vector profile showed a tendency to an unbalance parabola distribution as increasing of the Re No. When the impinging plates such as square, triangle, and circle shape are installed respectively in front of the flow accelerated, rod shape of the highest velocity vector is circle shape and rod shape of the highest turbulent intensity is square shape.

1. 서론

유체의 유동이나 열 냉각 방식에 있어서의 다변화된 형태는 수많은 연구나 논문을 통해 해석되고 이해되고 있다. 산업기기의 내·외부에서 제트류의 영향을 받는 일상의 냉각을 요하는 전자 제품 및 난류 흐름에 방치된 기기의 형태에 따른 유동과 효율적인 냉각 방식을 이해하고자 하는 연구가 이루어지고 있다.

유체 유동에 있어서 최근 충돌제트에 의한 난류 해석이 다각적으로 이루어지고 있는데, 특히 충돌 평판에 여타 조건을 부여하고 그 변화를 해석 이해함으로써 좀 더 세밀하고 실질적인 충돌 제트의 유동 특성들이 연구되고 있다. 최근 연구 성향을 보면 Gutmark¹⁾ 등은 노즐출구에서 출구폭의 100배의 거리에 충돌판을 설치하고서, 중심선상에서의 평균적인 속도분포가 충돌판에 의해 변하는 영역의 범위를 연구하였고, Martin²⁾은 평판에 충돌하는 제트출구의 여러 가지 노즐형상변화에 따른 열 및 물

질 전달량의 특성을 정리하였으며, Kum³⁾ 등은 rod의 형상변화에 따른 전열증진에 미치는 영향에 관한 연구를 하였다.

난류유동인 충돌분류를 보다 정확히 예측할 수 있는 PIV(Particle image velocimetry) 속도장 측정기술은 매우 빠른 속도로 발전하여 최근에는 연속적인 속도장 측정으로 시간에 따른 전개를 볼 수 있는 Cinematic PIV, 3차원 속도장 측정 방법⁴⁾인 Stereoscopic PIV와 Holography PIV 등이 개발되어 유동해석 연구에 활용되고 있다. 이러한 PIV측정 기술로 순간 속도장을 앙상블(Ensemble) 평균하여 정확한 난류 통계치인 난류강도(Turbulence intensity), 운동에너지 분포(Kinetic energy distribution) 및 Reynolds 전단응력 등의 유동특성을 해석할 수 있다. 본 연구에서는 Rod의 형상변화를 통해 충돌 벽면에 있어서의 유동특성을 보고자 함인데 사각(10×5mm), 삼각(10×5mm), 원형(지름 10mm)의 Rod를 설치하고, 출구 노즐의 거리비의 증가와 Re수 2000, 3000, 4000에 있어서 형상에 따른 유동의 특성을 연구하고자 한다. 각각 3구간의 영역에 있어서 Re수의 변화와 Rod형상의 변화가 출구 노즐의 증가에 따라 난류 생성에 미치는 정도를 관찰하고, 그 결과를 실생활에 있어서 전자 제품의 냉각, 난류 영향의 제어속에 있는 기기들의 작동 등과 같은 분야에 응용할 수 있도록 하고, 나아가서는 여러 조건이 가미된 난류 유동과 형상의 해석에 도움이 되고자 한다.

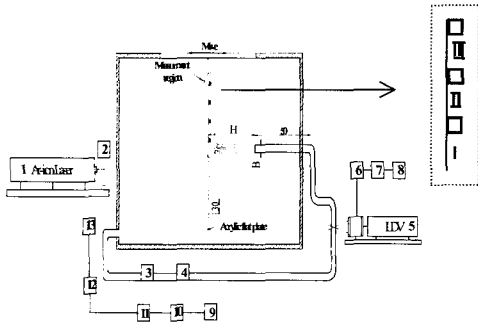
* 경상대학교 대학원, 1845636@hanmail.net

** 경상대학교 수송기계공학부, 항공기 부품기술연구센터, 공학연구원 책임연구원

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

유동장을 가시화하기 위한 본 연구의 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 전체적인 실험장치의 구성은 유체 유입부, 유출부, LDV를 이용한 속도 측정부, 레이저 광원 조사부, 유동순환을 위한 순환 펌프부, 영상취득을 위한 영상 획득 및 기록부, 평판 충돌부 등으로 구성되어 있다.



- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1. Ar-ion laser | 8. LDV host computer |
| 2. Cylindrical lens | 9. CCD camera |
| 3. Circulation pump | 10. High-speed camera |
| 4. Flow control valve | 11. Hi-8mm camcorder |
| 5. LDV | 12. Image grabber |
| 6. Photo multiplier | 13. PIV host computer |
| 7. Signal processor | |

Fig. 1 Schematic diagrams of the experimental setup and the detailed measurement region

2.2 실험 방법

아크릴로 제작된 수조(1500×250×800mm)에 물을 최대로 채운 후 펌프를 이용하여 유동장을 형성하였다. 유동장에서 작동 유체로 20℃의 수도수를 사용하였으며, 유체유동 순환을 위해 펌프(HANIL사 PB-40E-1-D)를 사용하였다. 충돌판은 전후 좌우 이동이 가능하도록 장치했으며, 충돌제트 분류가 2차원이 되도록 하기 위해 유로 상면에 평행판을 설치하였고, 노즐출구의 유동을 안정하게 유지하기 위해서 노즐 입구에 미세한 철망을 설치하여 분사 시켰다. 루프를 순환하는 유체의 속도는 LDV(Laser doppler velocimetry) 장비를 이용하여서 노즐중심의 평균속도를 10회 측정하여 그 평균값을 노즐을 통과하는 유동의 속도로 하였으며, 유량은 유량조절밸브를 통하여 정밀히 조절되었다.

유동가시화를 위해 사용된 산란입자는 비중이 1.02이고 직경이 약 100 μ m 전후의 polyvinyl chloride 백색 구형입자로, 정전기를 방지하기 위하여 계면활성제를 소량 혼입 하여 투입하였다. 그리고 조명장치로는 최대 10W출력의 2W상태에서 연속광 Ar-ion laser (Spectra-physics lasers사 model 2017), 파장(λ)은 초록색 514.5nm를 사용하였으며, 아크릴 수조의 옆쪽 면에서 조사하여 아크릴 평판(100×500mm)에 수직으로 설치된 사각(10×5mm), 삼각(10×5mm), 원형(지름 10mm)의 난류촉진체의 중앙에 정확히 조사되도록 설치하였다. 유동장에 조사되는 광은 실린더형 렌즈로 1차원으로 초점화 된 빔을 확산시키는 expanding beam 방식으로 2차원 평면광(Laser light sheet)을 형성한 후 두께 2mm 내외의 평면조명이 되게 하였다.

수직 평판에 부딪히는 충돌 분류는 상하 대칭이므로 상부면

만을 측정 대상영역으로 했다. 영상촬영장치는 수조의 전방에 설치하였으며, 촬영된 영상을 직접 확인하기 위해 외부에 고해상도 모니터를 설치하였다. 광원으로 측정영역에 sheet light를 형성하면 산란광이 발생하므로 이를 최소화하기 위하여 측정영역 외의 나머지 부분에 검은색 시트지를 사용하여 잡음성분을 최소화 하였다. CCD 카메라로 촬영된 영상을 Hi-fi 8mm 캠코더에 기록하고, Data translation사의 DT3155영상입력장치(640×480pixel, grey 8bit)를 이용하여 기록된 원시영상을 PC에 입력하였다. 영상처리작업은 호스트 컴퓨터인 PC에서 CACTUS 2,000 소프트웨어를 이용하였다.

Table 1은 본 실험에서 사용된 제반 실험 조건을 나타내고 있다.

Table 1. Experimental conditions

Item	Specification
Image grabber	DT3155(640×480 pixel, B&W)
Light source	2W Ar-ion laser
Particle seed	PVC(Polyvinyl chloride : 100 μ m)
Working fluid	City water(20℃)
Sheet light	Cylindrical lens($t=2$ mm)
Flow meter	Digital flow meter(magneto flow) LDV(Laser doppler velocimetry)
Flow regulation	Pump(1HP), Valve(BrCl)
Host computer	Intel pentium III
Image recorder	Hi-fi 8mm camcorder
Identification	Two-frame gray-level cross correlation algorithm
PIV software	Cactus 2,000

3. 실험 결과 및 고찰

Rod 형상으로서 사각형, 삼각형, 원형을, Re수로서 2000, 3000, 4000을, 작동유체로서는 수도수를 택하고, 출구 노즐 거리 비 8, 10 변화에 따른 유동 특성을 PIV측측 기법에 의하여 실험·관찰·검토한 결과는 다음과 같다.

3.1 Re수에 따른 유동 분포

Fig. 2는 Re수에 따른 유동의 속도 분포도를 보이고 있다. I 영역에서의 속도 분포도를 보면 Re수가 증가함에 따라 속도 분포는 난류성향을 보이고 충돌 벽면과 충돌한 후 주위 유동 영향을 강하게 미치고 그 유동 범위가 넓어짐을 볼 수 있다. 그림에서 보면 Re수 2000일 때보다 4000일 때의 유동 유입 면적이 거의 두 배에 이르고 있음을 볼 수 있는데 이에 비례하여 그 유동의 흐름도 상당한 영향을 미치고 있음이 II, III 구간에서 나타난다.

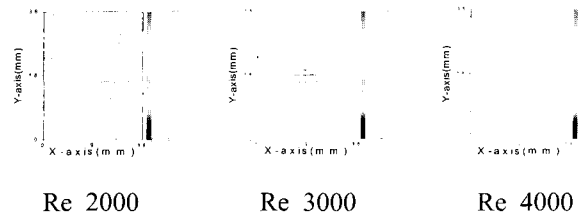


Fig. 2 Comparison of the velocity vectors distribution according to the Re No. at the I region

Fig. 3에서 Re수의 변화에 따라 유동은 그 높이를 변화하여 흐르고 속도 분포에 있어서 점점 강해짐을 볼 수 있다. Re 수

4000 일때 III영역의 유동은 rod의 영향으로 역류 현상을 보이고 있다. 각 Re수에 따라 2000 일 때보다 4000 일 때가 rod의 주변 난류가 크게 형성됨을 알 수 있다 rod를 따라 흐르는 유동의 힘이 뒷면에 이르러서는 바로 되면서 난류가 속도에 비례하여 크게 나타남을 알 수 있다. 와류의 생성을 보면 2000일 때가 4000일 때보다 다소 큰 형태의 와류를 보이고 있고 Re수가 클수록 와류의 크기가 다소 작아짐을 볼 수 있다. 삼각형의 Rod 형태는 사각형의 rod 형태보다 그 와류 생성이 작게 나타나고 있고 원형 Rod형태에 있어서는 Re수의 증가에 따라 그 생성이 아주 작게 나타나는 것을 볼 수 있다

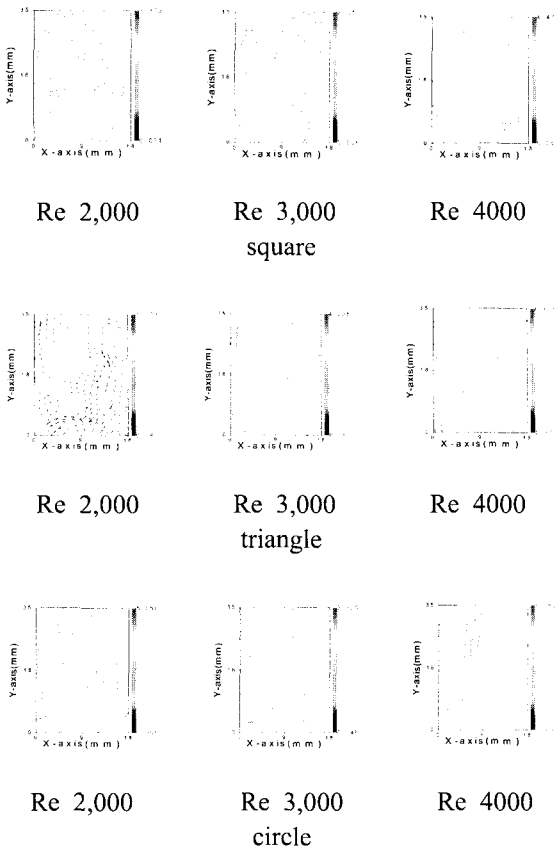


Fig. 3 Comparison of the velocity vectors distribution according to the Re No. at the III region

fig 4에서 보면 노즐 출구에서 충돌 평판까지의 거리에 따라 난류 강도의 값이 산란됨을 볼 수 있는데 거리비가 증가할수록 난류 강도가 불규칙적으로 넓게 분포 함을 알 수 있다

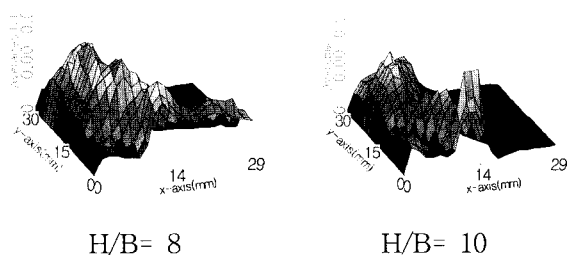


Fig. 4 Comparison of the kinetic energy when the square turbulence promoter set up at the nozzle diameter 17mm

Fig. 5에서 보면 운동 에너지가 Re수에 따라서 크게 변화함을 볼 수 있는데 난류가 형성되는 충돌 벽면 유동의 속도가 커

지는 Re수 4000의 경우에 그 난류 생성이 커지고 공간 또한 확장됨을 보이고 있다. 이는 난류 형성에 있어서 Re수의 증가가 rod 형태의 변화에 따라 각각 I, II, III 구역으로 갈수록 그 값이 상당히 크고 넓게 나타남을 보여준다. 원형과 삼각형의 rod에 있어서도 거의 비슷한 현상을 보여주고 있다. 각 구간에서 볼 때 I 영역의 유입 유체의 면이 난류 형성에 있어서 영향을 미치고 Re수 증가가 난류 형성에 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

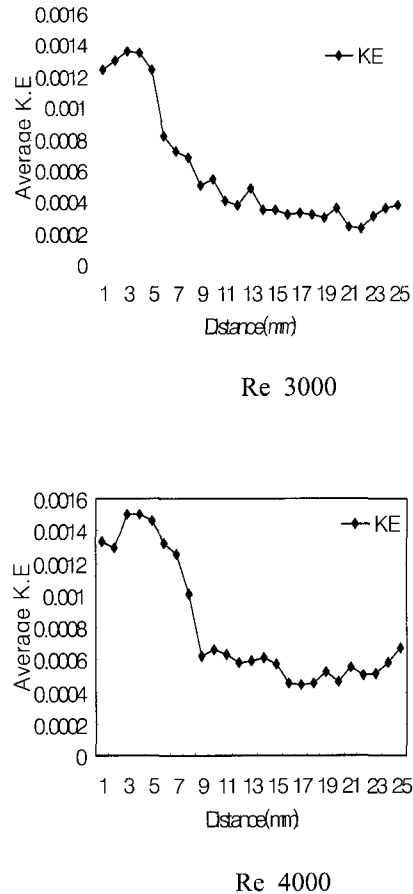


Fig. 5 Comparison of average kinetic energy change according to the distance increase at Re 3,000 and 4,000 at the II region in the case of square rod.

3.2 형상에 따른 유동분포

Fig. 6에서 충돌 유동이 사각형의 rod에 있어서 III영역에 미치지 못하고 역류하는 현상을 볼 수 있는데 이것은 흐름이 III영역에서 rod의 충돌과 더불어 충돌 벽면을 이탈하는 현상을 보여준다. 반면에 삼각형상의 rod에서는 충돌 벽면을 따라 흐르는 유동이 보이고 있으며 원형 rod에 있어서는 그 강도가 아주 확연하게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 원형의 rod에 있어서 그 흐름이 벽면에 아주 근접하여 나타나고 있고 강도 또한 크게 나타나고 있으며 사각형 rod나 삼각형 rod에 비해 상당히 그 유동 흐름이 잘 전달됨을 볼 수 있다. 사각형 rod의 형상에 있어서 역류는 rod밑의 와류에 있어 그 형상에 큰 영향을 주고 I, II 영역의 난류 형성으로부터 영향을 받지 못하는 형태로 인식할 수 있다. 따라서 사각 rod 형태의 유동에 있어서는 난류 형성이 삼각 rod와 원형 rod의 난류 형성과 비교하여 전달 정도가 강해진다고 볼 수 있다.

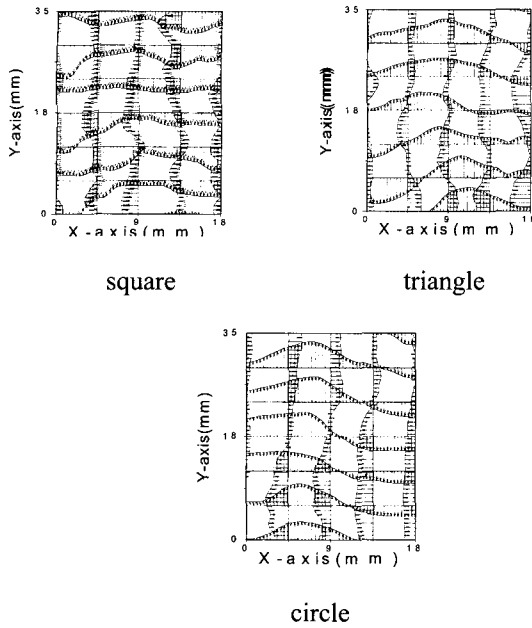


Fig. 6 Comparison of the velocity vectors profile according to rod shapes at Re 4,000

fig. 7은 2차원적인 난류 형태에 있어서 2영역의 난류 강도가 rod 형상에 따라 많이 달라짐을 보이고, 사각 rod의 난류강도를 살펴보면 흐름은 제약은 받더라도 다른 형상에 비해 강하게 나타나고 있음을 볼 수 있는데 삼각형보다 원형의 rod가 더 약하게 나타남을 알 수 있다. 난류 강도의 세기를 비교하여 볼 때 사각 rod > 삼각 rod > 원형 rod 로 나타나고 있다.

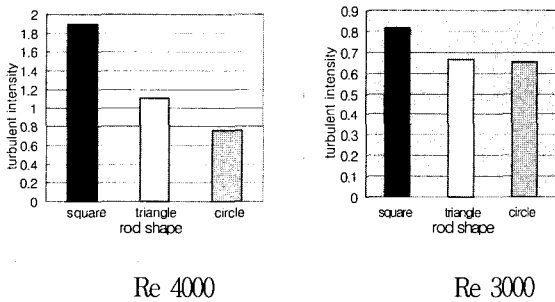


Fig. 7 Comparison of the turbulent intensity average at the II region.

4. 결론

본 연구에서는 Re수를 2000, 3000, 4000으로, rod 형상을 사각, 삼각, 원형으로, 출구 노즐의 거리비를 8, 10으로 두고 노즐과 충돌 벽면 간의 거리를 150mm로 두어 각각 변화에 따른 유동 특성을 비교·관찰·검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 각 Re수에 있어서 출구 노즐 거리비 증가에 따라 난류강도가 불균일하게 넓게 분포됨을 알 수 있다.
- 2) Re수 2000, 3000, 4000에 따른 유동의 형성을 비교해 볼 때 Re 수가 증가함에 따라 와류의 생성이 소규모로 많아지며

운동에너지의 증가는 rod 의 형상과는 관계없이 Re수의 증가와 더불어 확연히 강해짐을 알 수 있다.

- 3) rod의 형상에 따른 유동의 전달의 크기는 사각 rod <삼각 rod <원형 rod순으로 나타나고 있고, 유동의 형성에 있어서 충돌 벽면을 따라 흐르는 유동형성이 잘 이루어 질 수록 근접하게 따라 형성된다.
- 4) rod의 형상에 따른 난류 강도의 크기는 원형 rod <삼각 rod <사각 rod로 나타나고 있으며, 와류 형성도 난류 강도 형성에 따라 비례하여 증가한다.

후 기

본 논문은 2002년도 BK21 사업(지역 대학 육성 사업단)에 의해 지원 되었음.

참고문헌

- [1] Kim, Y. K., 1999, "The Characteristics of Flow and Heat Transfer in the Impinging Jet for the Various Initial Turbulent Intensity", Department of Mech. Eng. Graduate School, Pusan Nat. Univ.
- [2] Lee, S. J., 2001, "PIV/PTV Velocity Field Measurement Technique -Theory and Practice-", National Research Lab., Pohang Univ. of Science and Technology.
- [3] Kum, S. M., Kim, J. Y., Seo, J. Y., 1994, "An Experimental Study on Heat Transfer Augmentation by the Square Turbulence Promoter on Impinging Jet System", Solar Energy, Vol. 14, No. 1.
- [4] Martin, S. and Hans-Hermann, F., 2000, "Turbulence control in wall jets", Eur. J. Mech. B-Fluids 19 503-528.
- [5] Kacker, S. C. and Whitelaw, J. H., 1971, "The Turbulence Characteristics of Two-Dimensional Wall-Jet and Wall-Wake Flows", ASME J. Applied Mech., Vol. 38, No. 2, pp. 239-252.
- [6] Wolfshtein, M., 1970, "Some Solutions of the Plane Turbulent Impinging Jet", Trans. of ASME J. of Basic Eng., Vol. 92, pp. 915-922.
- [7] Gutmark, E., Wolfshtein, M., and Wynanski, I., 1978, "The Plane Turbulent Impinging Jet", J. of Fluid Mech., Vol. 88, pp. 737-756.
- [8] 이상준, 1999, "Cinematic PIV 기법을 이용한 난류유동장 해석", 대한기계학회 1999년유체공학부문 춘계학술대회 강연회 강연집 pp.50-64.
- [9] 이상범, 송민근, 손승우, 정광수, 주은선, 2001, "PIV 계측에 의한 고주파수 초음파 유동장 해석에 관한 연구" 대한기계학회 2001년도 춘계학술대회 논문집 E pp. 727-732.