

## 원관 내에 있어서의 흰 배열에 따른 압력 강하 및 유체 유동 특성에 관한 연구

오 철<sup>†</sup> · 황 용\* · 배성우\*\* · 김명환\*\*\* · 윤석훈\*\*\*

### A Study of Pressure Drop and Fluid Flow Characteristics by Pin Arrangement in a Circular Tube

C. Oh · Y. Hwang · S. W. Bae · M. h. Klm · S. H. Yoon

**Abstract** : This study was experimentally performed to investigate the pressure drop and fluid flow characteristics along circular tube. The experiments were carried out for a various of parameters, such as operating water velocity and kind of inner pin arrangement. The pressure drop and fluid flow characteristics were observed and measured. It was found that the experimental parameters gave a great influence on the pressure drop and fluid flow characteristics.

**Key words** : circular tube, fluid flow, pressure drop, inner pin arrangement

#### 사용기호

Alphabats

- u : velocity in the x-direction
- v : velocity in the y-direction
- X : distance in horizontal direction
- Y : distance in vertical direction
- P : pressure
- V : velocity
- T.I : turbulent intensity
- K.E : kinetic energy

#### 1. 서 론

최근 에너지 소비의 증가 추세로 인하여 산업 전반에 걸쳐 에너지 절약형, 즉 고성능 열교환기 개발이 절실히 요구되고 있다. 이런 고성능 열교환기에서 열전달 성능의 향상은 특히 중요하다. 열전달 성능을 증가시키기 위한 방법으로 과거에는 열전달 면적 및 유동특성을 개선하기 위하여 표면을 가공한 원관들이 사용되어 왔으나, 사용선박 및 목적에 따라서 보다 고효율형의 열교환기인 흰 내장형 열교환기의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

† 책임저자(한국해양대학교 기관시스템공학부), E-mail : ohcheol@mail.hhu.ac.kr

\* 한국해양대학교 기관시스템공학부

\*\* 한국해양대학교 대학원

\*\*\* 한국해양대학교 기관시스템공학부

이와 같이 열교환기에서 성능향상을 위하여 산업체에서 사용하는 열교환기 중 하나인 태양열 집열기나 잠수함 등에는 열전달 면적을 증가시키고 유체혼합을 촉진하기 위하여 보통 전열면에 핀이나 리브를 부착한다. 특히 관내에 흰이 부착된 열교환기를 시스템의 배출부에 설치함으로써 에너지를 회수하는 방법이 근래에 크게 각광을 받고 있다.

따라서 본 연구에서는 원관 내 흰 내장형 열교환기를 개발위한 기초 자료를 얻기 위하여 흰 배열을 다양한 형태로 변화시켜, 내부의 유동특성 및 압력강하 특성을 고찰하기 위한 실험적 연구를 하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 PIV 시스템의 구성

계측하고자 하는 유동문제를 정량적으로 파악하기 위해서는 전체 유동의 속도장 변화에 대한 정확한 유동정보가 있어야 한다. 그러나 우리 주변의 많은 유동이 난류운동과 빠르게 변화하는 불규칙성으로 인하여 많은 연구자들의 꾸준한 연구에도 불구하고 정확한 유동구조를 예측하는데 어려움을 지니고 있다.

이러한 배경에서 종래의 정성적인 가시화법과 디지털 영상처리기술을 접목한 PIV가 속도계측의 새로운 실험기법으로서 1980년대 초반부터 본격적으로 소개가 되었으며, 최근에는 전산유체역학에 필적할 수 있는 유동장의 대표적인 계측기법으로 크게 각광을 받고 있다.

#### 1) 추적 입자

PIV는 유동장에 분포된 입자의 미소시간 간격의 영상을 컴퓨터를 분석하여 속도벡터에 대한 데이터를 얻는 방법이므로 사용되는 입자의 선별기준은 유체와 입자운동사이의 차이를 최소화, 또는 없애기 위해서 유동 입자의 유체역학적 특성을 고려하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 물과 비중이 비슷한 1.02전후의 비중을 가지는 구형의 PVC입자를 추적 입자로 사용하였다.

#### 2) 영상입력 및 저장장치

최근의 PIV 속도장 측정시스템은 사진 필름대신에 CCD 카메라를 이용하여 유동의 입자 영상을 획득하는 추세로 나아가고 있다. 이에 본 실험에서는 768(H)×493(V)의 해상도를 가지는 1대의 CCD 카메라를 설치하여 영상을 획득하였다. 획득된 아날로그 신호의 이미지는 DT3152 보드를 통하여 디지털 신호화되어 컴퓨터에 저장을 하였다.

#### 3) 이미지 보드

이미지 보드는 TV, CCD카메라 등과 같은 영상매체를 통해 나타나는 영상신호(아날로그 신호)를 샘플 당 정의된 비트로 디지털 화하여 PC가 처리할 수 있는 신호로 바꾸어 주고 산술, 논리연산 및 영상처리조작을 행하여 정보를 분석하기 위한 하드웨어이다.

### 2.2 실험장치

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치의 계통도를 나타내고 있다. 실험장치는 크게 유체를 순환시키기 위한 순환부와 유동특성 및 압력강하특성을 측정하기 위한 측정부, 측정된 값을 가시화시키는 가시부로 구성된다.

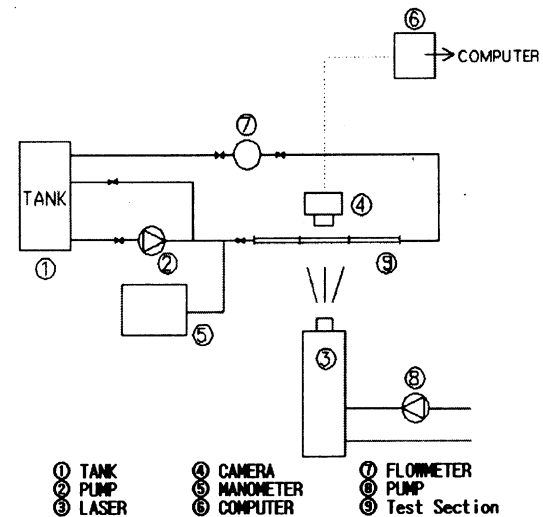


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

작동유체는 순수한 물을 사용하였으며, 유동특성을 측정하기 위하여 레이저를 이용한 PIV측정장치를 사용하였다. 또한 압력강하특성을 측정하기 위하여 정밀 차압계를 사용하였다. Fig. 2는 흰 하나의 형상을 나타낸 것이고 Fig. 3과 Fig. 4는 시험부를 나타낸다. 전체 길이가 350mm, 직경 13mm인 투명 유리관의 양쪽 137mm의 공간에 흰열을 나열하였고, 관 중앙은 레이저를 조사하여 CCD카메라로 촬영하기 위하여 빈 공간을 만들었다. Fig. 5~Fig. 7은 흰배열 상태를 각 각도별로 배열된 것을 나타낸 것이다.



Fig. 2 Fin



Fig. 3 Test section

### 2.3 실험방법

순환펌프로 물을 순환시켜 유체의 흐름이 안정되는 시점인 10분이 경과된 후에 PIV측정장비를 이용하여 유체유동특성을 계측하였으며, 압력강하는 정밀차압계를 이용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 흰 배열에 따른 영향

#### 1) 속도 프로파일

Fig. 8에는 평균유속 1.5m/s에서 각각의 흰배열에 따른 각각의 유동장에 대하여 속도프로파일을 나타내고 있으며, 이러한 속도 프로파일을 계측영역의 가로축을 기준으로 12등분한 선상에서 도시한 결과이다.

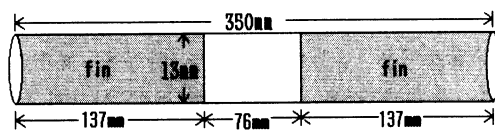


Fig. 4 Test section

Fig. 8(a)의 경우는 관 내 흰이 존재하지 않는

경우의 유체흐름으로 나타내고 있으며, (b), (c), (d)는 흰의 각도가 각각 0도, 90도, 180도의 경우를 나타내고 있으며, 흰 출추 직후에 있어서는 관내 흰이 존재하지 않는 경우와는 달리 상이한 흐름을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 흰의 배열각도가 커질수록 유동이 크게 발생함을 알 수 있다.



Fig. 5 Fin angle 0°

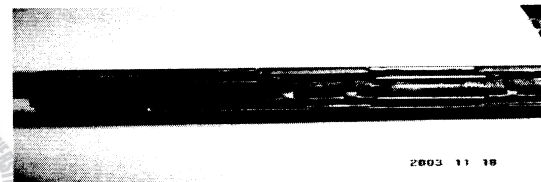


Fig. 6 Fin angle 90°

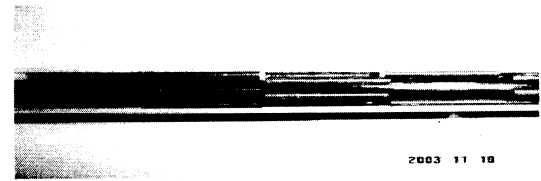


Fig. 7 Fin angle 180°

이는 흰의 배열 각도를 크게함에 따라서 흰과 흰사이에서 유체의 흐름에 대하여 저항은 크게 하지만 유동특성은 향상시키고 있음을 알 수 있다. 따라서 흰의 각도를 증가시키는 것이 열교환기에서 열전달의 향상을 도모할 것으로 생각된다.

#### 2) 난류 강도 (T.I)

Fig. 9는 평균유속 1.5m/s에서 각 모델에 대한 난류강도의 결과를 나타내고 있다. 난류유동은 속도, 압력과 같은 물리적인 양들이 시간과 공간에 대해 진동하는 불규칙적인 유체운동이며 일종의 에너지 교환과정으로 장시간 지속되는 와류구조가 그 안에 존재한다. 난류는 시, 공간에 관한 평균치에 불규칙적인 교란을 중첩시킨 것으로 생각

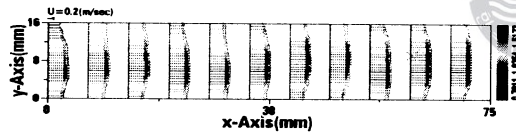
할 수 있으므로 불규칙적으로 변하는 속도를 시간 평균 속도에 도입함으로써 물체후류에서의 유동 특성을 고찰하고자 하였다. 난류강도는 속도변동 성분과 연관되어 유동장을 지배하는 중요한 유동 특성으로 각 격자점에서 다음의 식(1)로 구하여 나타내었다.

$$T.I = \frac{\sqrt{\frac{(u^2 + v^2)}{2}}}{\sqrt{u''^2 + v''^2}} \quad (1)$$

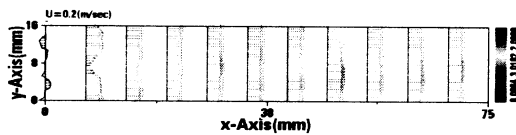
단,  $u', v'$  : 순간에 있어서의 속도 변동성분

$u'', v''$  : 시간평균속도

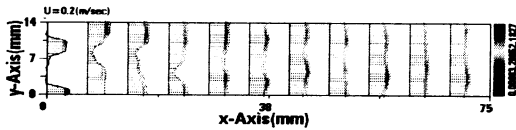
환이 내장되지 않은 관에서는 난류강도가 작게 나타나는 반면에, 환 내장형의 경우에는 환의 배열각도가 커질수록 유동이 크게 증가함에 따라 난류강도도 크게 증가함을 알 수 있다.



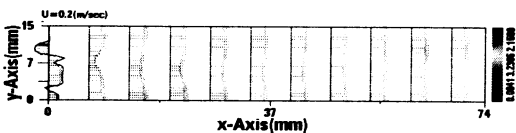
(a) Without fin



(b) Fin angle 0 degree



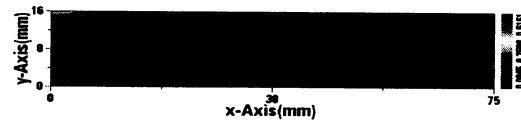
(c) Fin angle 90 degree



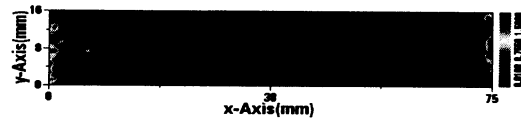
(d) Fin angle 180 degree

**Fig. 8 Velocity characteristics**

또한 환의 각도가 180도 인 경우가 0도 및 90도에 비하여 난류강도가 벽면근처에 존재하는 것을 알 수 있으며, 이는 열교환기에서 열전달의 향상에 관련되어 있는 부분으로 열전달 효과는 180도의 경우가 가장 우수할 것으로 생각된다.



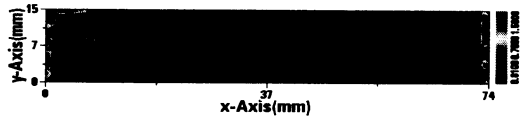
(a) Without fin



(b) Fin angle 0 degree



(c) Fin angle 90 degree



(d) Fin angle 180 degree

**Fig. 9 Turbulent intensity characteristics**

### 3.1.3 운동에너지

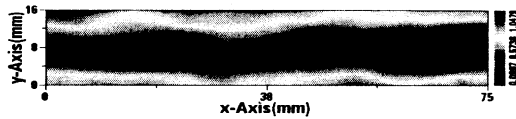
운동에너지는 다음의 식(2)에 의하여 구해지며 속도벡터 분포와는 다른 양상을 나타내고 있을 수 있다.

$$K.E. = \frac{u^2 + v^2}{2} \quad (2)$$

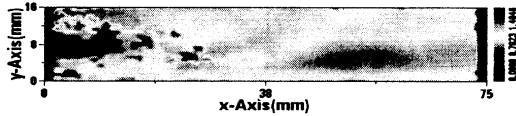
난류응력은 유동방향에서의 난동을 표현하며 속도, 압력과 같은 물리적인 양들이 시간과 공간에 대해 진동하는 불규칙적인 유체운동으로서 일종의 에너지 교환 과정으로 볼 수 있다.

Fig. 10에는 평균유속 1.5m/s일 때의 각각의 환 배열에 따른 운동에너지를 나타내었다. 환이 내장

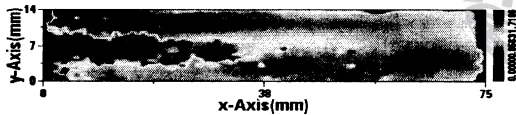
되지 않은 관에서는 운동에너지가 작고 관의 중심 부분에 나타나는 반면에, 흰 내장형의 경우에는 흰의 배열각도가 커질수록 유동이 크게 증가함에 따라 운동에너지가 크게 증가하며, 운동에너지의 분포가 관의 표면적에 크게 나타남을 알 수 있으며, 이는 열교환기에 있어서 열전달량의 증가를 시키는 역할을 할 것으로 생각된다.



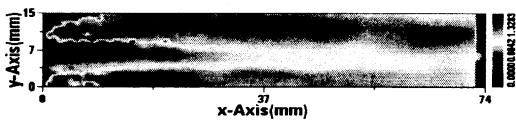
(a) Without fin



(b) Fin angle 0 degree



(b) Fin angle 90 degree



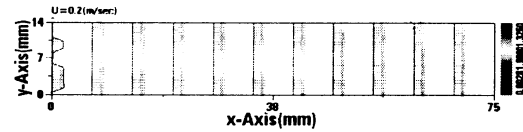
(c) Fin angle 180 degree

**Fig. 10 Kinetic energy characteristics**

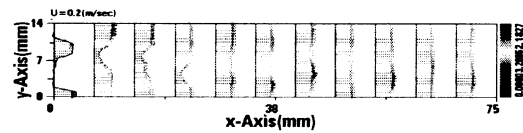
### 3.2 유속에 따른 영향

#### 3.2.1 속도 프로파일

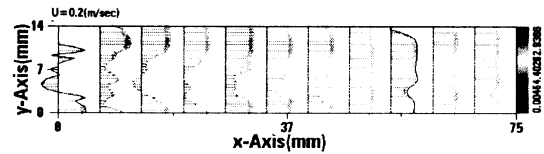
Fig. 11에서는 흰 배열각도가 90도인 경우에 있어서 평균유속의 변화에 따른 속도 프로파일을 나타내었다. 평균유속이 증가할수록 유동이 크게 증가하며, 유동의 증가분이 벽면쪽에 위치하고 있음을 알 수 있다. 이는 전절에서 설명한 바와 같이 열교환기에서 열전달효과의 향상에 도움을 줄 것으로 생각되며, 관내 부식 등을 고려하여 일반적으로는 Fig. 11(b)와 같은 방법을 이용한다.



(a)  $V = 1 \text{ m/s}$



(b)  $V = 1.5 \text{ m/s}$

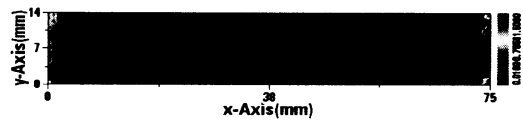


(c)  $V = 2 \text{ m/s}$

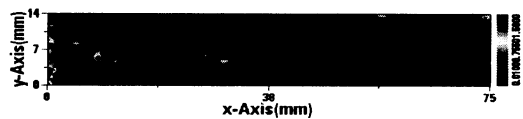
**Fig. 11 Velocity characteristics**

#### 3.2.2 난류 강도 (T.I)

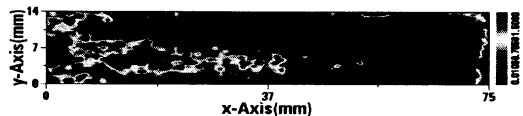
Fig. 12에는 90도일 때 유속에 따른 난류 강도의 변화를 나타내었다. 평균유속이 증가할수록 난류강도가 크게 증가하며, 난류강도가 벽면쪽까지 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.



(a)  $V = 1 \text{ m/s}$



(b)  $V = 1.5 \text{ m/s}$



(c)  $V = 2 \text{ m/s}$

**Fig. 12 Turbulent intensity characteristics**

### 3.2.3 운동에너지 (KE)

Fig. 13에는 90도일 때 평균유속의 변화에 따른 운동에너지의 변화를 나타내었다. 평균유속이 증가할수록 운동에너지가 크게 증가하며, 운동에너지가 벽면 쪽에 크게 분포되어 있음을 알 수 있다.

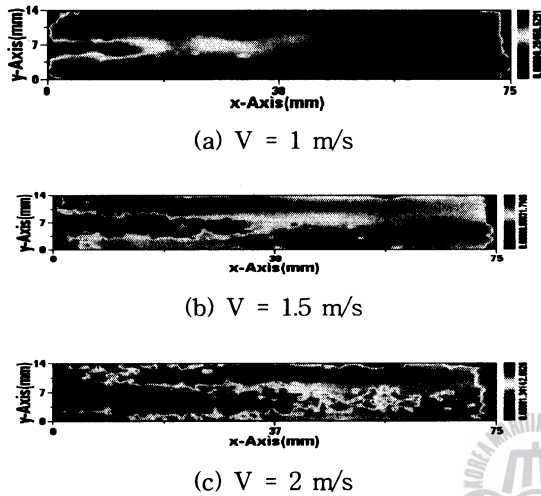


Fig. 13 Kinetic energy characteristics

### 3.3 압력 강하 특성

Fig. 14에는 평균유속 및 흰 배열각도에 따른 압력강하특성을 각각 나타낸다. 그림에서 관내 흰이 존재할 경우가 존재하지 않는 경우에 비하여 압력강하가 크게 나타나며, 평균유속이 증가할수록 압력강하가 크게 나타남을 알 수 있다.

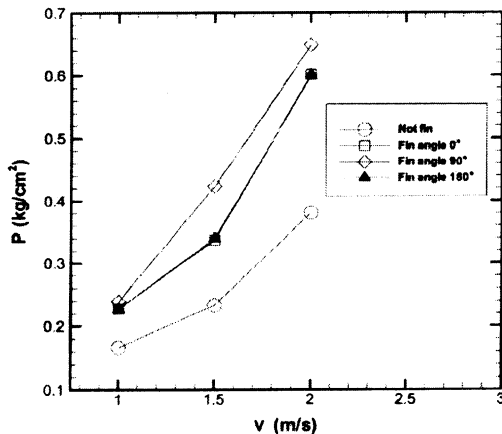


Fig. 14 Pressure drop characteristics

또한 흰 배열에 따른 압력강하는 흰의 각도가 90도인 경우가 압력강하가 가장 크게 나타나고 있으며, 이 결과 흰의 배열은 유동특성과 같이 고려하면 180도로 배열하는 것이 가장 바람직할 것으로 생각된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 원 관내의 흰 배열에 따른 유체의 유동특성 및 압력강하특성에 관한 실험적 연구를 통하여 본 실험범위 안에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 흰을 내장형한 경우가 흰을 내장하지 않은 경우보다 유동특성이 매우 뛰어나다.
2. 흰의 배열각도가 증가할수록 난류강도 및 운동에너지가 관 벽면에서 증가한다.
3. 평균유속이 증가할수록 난류강도 및 운동에너지가 크다.
4. 평균유속이 증가할수록 압력강하가 크게 나타나며, 흰 배열의 각도가 180도인 경우가 90도인 경우보다 작게 나타난다.

## 참고문헌

- [1] Davis, L. P., and Perona, J.J., "Developed of Free Convection Flow of a Gas in a Heated Vertical Open Tube", Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol 14, pp.889-903, 1971.
- [2] 최장운, 조대환, 이영호, PIV에 있어서의 입자 추적기법의 개선, 대한기계학회 추계학술대회 논문집 제2권, pp.360-365, 1993.
- [3] 이현, 김미영, 최장운, 이영호, PIV에 의한 물체 후류에서의 유동특성에 관한 연구, 한국유체공학술대회논문집, pp.403-406, 2000.
- [4] Riethmuller M. L., Particle Image Velocimetry and Associated Technique, von Karman Institute, 2000.