

적층형 판 열교환기의 U턴부 유동해석

An analysis of fluid flow in U-bend area of laminated plate heat exchanger

이 관 수*, 박 철 군**, 정 지 완**
K. S. Lee, C. G. Park, J. Y. Chung

Key words : Laminated plate heat exchanger(적층형 판 열교환기), U-bend area(U턴부), Faulty area(유동결합영역), Friction factor(마찰계수)

Abstract

The flow characteristics inside U-bend tube of the laminated plate heat exchanger were numerically investigated. The behavior of fluid flow, and the variations of the faulty area and friction factor are examined according to the distance between the span and the wall and the diameter of the round attached to the end of span. The results show that the diameter(d) of the round attached to the span is mainly associated with the smooth circulation of fluid flow rather than the size of faulty area and the friction factor. As the distance(l) between the span and the wall decreases, the faulty area decreases, however the friction factor dramatically increases. It is also found that one can obtain a good result in the view of the flow characteristics and pressure drop at $d=7.5\text{mm}$ and $l=30.5\text{mm}$.

기 호 설 명

d : 가로막 끝의 원의 지름, m

D_h : 수력학적 지름, $2H$

f : 마찰계수

Fr : Froude수, \bar{V}^2/gD_h

H : 유로의 높이, m

l : 가로막과 벽면 사이의 거리, m

L : 유로의 길이, m

p : 정압, $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$

Q : 유량, m^3

R : 유동결합영역의 면적비, %

Re : Reynolds수, $\rho\bar{V}D_h/\mu$

u : x 방향 속도, m/s

U : x 방향 무차원 속도

v : y 방향 속도, m/s

V : y 방향 무차원 속도

\bar{V} : 입구평균유속

$|V|$: $\sqrt{U^2 + V^2}$

* 정회원, 한양대학교 기계공학부

** 한양대학교 대학원 기계공학과

그리스 문자

ρ : 밀도, kg/m^3
 μ : 점성계수, $kg/m \cdot s$

하첨자

in : 입구
out : 출구

1. 서 론

최근에 열교환기의 경량화, 소형화, 고성능화 추세에 따라 열교환기의 형태는 기존의 튜브-관 열교환기(fin-tube heat exchanger)에서 적층형 판 열교환기(laminated plate heat exchanger)로 바뀌고 있다. 적층형 판 열교환기의 형상은 Fig.1과 같이 판형 관을 일정한 간격으로 배열하고 그 사이에 핀을 부착한 형태이다. 열전달 향상을 위하여 관외부에는 루버핀(louvered fin)을 장착하였으며, 관내부에는 덤플(dimple) 또는 리브(rib) 형상의 돌출물을 생성하였다. 관내 유동 측면에서 보면, Fig.1에 나타난 것과 같이 유로의 입구와 출구가 같은 방향에 위치하기 때문에 유동은 입구로 들어가 판의 가로막(span)을 경계로 U-turn한 후 출

구로 나오게 된다. 이 과정 중 U-turn부(U-bend area)에서 열전달이 잘 일어나지 못하여 공기측의 온도가 높게 분포하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 U-turn부에서 유동이 유로의 전부분에 고르게 퍼지지 못하여 유동이 퍼지지 못하는 부분인 유동결함영역(faulty area)이 생기기 때문이다. 따라서 관내측 열전달 성능의 향상 방법으로 관내부 돌출물의 크기, 위치, 개수 등의 적절한 조절과 함께 U-turn부 유량 분포의 향상이 추가로 제기된다. 이러한 관내 유동과 관련된 기존의 연구들은 대부분이 실험에 의한 것들이기 때문에 관내 형상이나 크기 등이 약간만 변해도 실험 결과를 적용할 수 없는 단점이 있다. 또한 이러한 실험 결과들이 특허에 의해 사용이 제한되어 있기 때문에 이용하기 어려운 점도 있다. 따라서 임의적인 형상에 광범위하게 적용할 수 있는 수치해석 프로그램의 개발이 필요하다.

Ohara 등⁽²⁾은 연속적으로 리브가 있는 판형 증발기(plate evaporator)의 채널에서 압력강하를 측정하였다. Ohara와 Takahashi⁽¹⁾는 기존의 자동차형 열교환기에 대한 열전달 성능과 설계 등에 대해 장·단점을 분석한 후, 단점을 보완한 편탱크형 열교환기(single tank plate fin type heat exchanger)에서 작동유체가 U-turn하는 곳에서의 열·유동 특성을 실험적으로 조사하였다. 이 연구에서는 U-turn 구역에서 X-형태의 리브 배열 대신에 V-형태의 리브 배열을 제안하였고, 가로막의 최적길이를 조사하였다. Olson⁽³⁾은 열교환기의 유로 형상이 원형, 직사각형, 그리고 덤플(dimple)을 갖는 경우에 대하여 열전달 특성을 실험적으로 조사하여 마찰계수와 Nusselt수에 관한 관계식을 제안하였다. Rong과 Kawaji⁽⁴⁾는 편탱크형 증발기의 덤플 또는 엇갈림 리브(cross rib)가 달린 채널의 U-turn부에서 단열 2상 유동실험을 수행하여, U-turn부에 유동결함영역이 존재하는 것을 밝혔다.

본 연구에서는 덤플이 부착된 적층형 판 열교환기의 U-turn부에서 유동이 퍼지지 못하는 유동결함영역이 생기는 문제를 해석하기 위하여 내부형상을 고려할 수 있는 격자생성을 수행하고, 생성된 격자에서 수치해석을 수행한다. 또한 가로막과 벽면 사이의 거리와 가로막 끝의 원의 크기를 변화

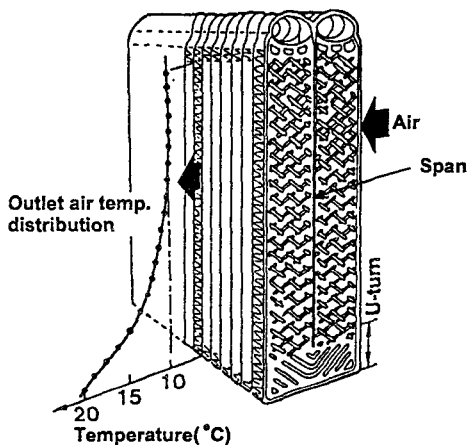


Fig.1 Schematic view of laminated plate heat exchanger with ribs⁽¹⁾

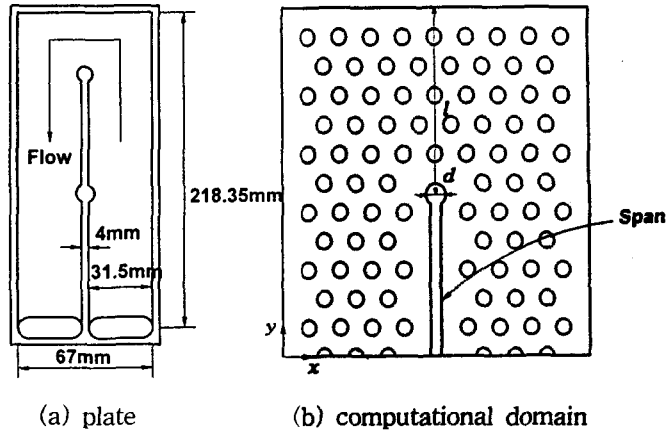


Fig.2 Schematic diagram of plate and U-bend area(dimple diameter : 3.2mm)

Table 1 Geometric parameters in the present study

| Geometric parameters | 1 | 2 | 3* | 4 |
|----------------------|------|------|------|------|
| l (mm) | 24.5 | 30.5 | 36.5 | 42.5 |
| d (mm) | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 |

* : baseline

시켜 이에 따른 유체의 거동과 유동결합영역 및 마찰계수의 변화를 해석하고, 적절한 유동 조건을 제시한다.

2. 이론 해석

2.1 수학적 모델

적층형 판 열교환기의 한 개의 유로는 Fig.2(a)와 같고, 이 연구에서 해석 모델로 선정한 U-turn부의 기하학적인 형상은 Fig.2(b)와 같다. 모듈의 형상에 대한 인자는 가로막과 벽면 사이의 거리 l 과 가로막 끝의 원의 지름 d 이고 이들의 변화치는 Table 1과 같이 각각 4개의 값을 선택하였다.

2.2 지배방정식

U-turn부의 유동 특성을 수치적으로 조사하기 위해서 도입한 가정은 다음과 같다.

① 2차원 정상상태, 비압축성 층류 단상 유동이다.

② 물성치는 일정하게 유지된다.

③ 부력항은 무시한다.

속도 성분에 대한 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{2}$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \tag{3}$$

이 연구의 격자는 상당히 밀집된 형태이기 때문에 수치해의 수렴성을 위하여 무차원화한 후 수치 계산하는 것이 바람직하다. 식(1)~(3)을 무차원화 하기 위해 다음과 같은 무차원수를 도입하였다.

$$X = \frac{x}{D_h}, \quad Y = \frac{y}{D_h}, \quad U = \frac{u}{\bar{V}}, \quad V = \frac{v}{\bar{V}},$$

$$P = \frac{p}{\rho \bar{V}^2}, \quad Re = \frac{\rho \bar{V} D_h}{\mu}, \quad D_h = 2H$$

여기서 D_h 는 수력학적 지름, H 는 유로의 높이, \bar{V} 는 입구평균유속, ρ 는 밀도, μ 는 점성계수, p 는 정압이다.

위에서 정의한 무차원수를 사용하여 식(1)~(3)을 무차원화하면 각각 다음과 같다.

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \tag{4}$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \tag{5}$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) \tag{6}$$

열교환기의 성능 중 압력강하 특성을 평가하는데 있어서 일반적으로 무차원수인 마찰계수(friction factor)를 구하여 비교하는 방법을 채택한다. 본 연구에서 마찰계수는 다음식을 사용하여 계산한다.

$$f = \frac{2\Delta P D_h}{L} \tag{7}$$

여기서 L 은 유로의 길이이다.

2.3 경계 조건

물리적인 현상으로부터의 경계조건을 나타내면 다음과 같다. 된다.

- 모든 벽 표면, 가로막과 덤플 : $U = V = 0$
- 입구조건 : $U = 0, V = 1$
- 출구조건 : $Q_{out} = Q_{in}$
- Q_{in} : 입구 유량
- Q_{out} : 출구 유량

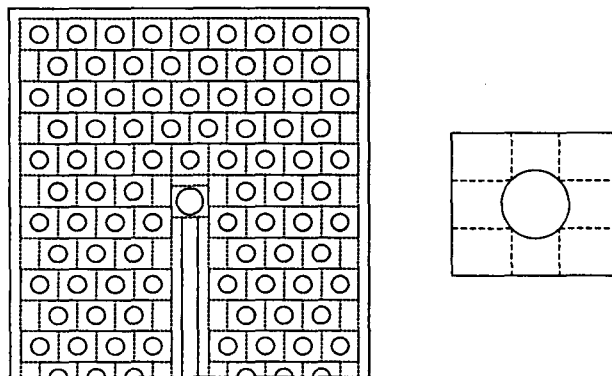
2.4 U-turn부 해석

편탱크형 적층형 판 열교환기에서 유동은 입구로 들어가 판의 가로막(span)을 경계로 U-turn한 후 출구로 나오게 된다. 이 과정에서 유동이 유로의 전부분에 고르게 퍼지지 못하고, 유동이 퍼지지 못하는 부분 즉 유동결함영역이 생기게 된다. 이러한 유동결함영역은 유로의 형상이나 크기 등에 따라 그 형태와 영역의 크기가 변하는데, 유동결함영역의 크기를 줄일수록 유동 특성과 열전달 성능이 좋아진다.⁽⁴⁾ 본 연구에서는 유동결함영역의 범위를 설정하기 위하여 덤플 후면의 재순환 영역과 U-turn부 모서리의 유체가 흐르지 않는 부분의 속도의 크기를 조사하였다. 조사 결과 이 영역의 속도는 대체적으로 평균유 속의 20%이하의 속도를 나타내었다. 따라서 유동결함영역의 한계속도를 평균유 속의 20%로 설정하고 이 영역의 분포를 구하였다. 또한 가로막과 벽면 사이의 거리와 가로막 끝의 원의 크기를 변화시키며 이에 따른 유동결함영역과 마찰계수의 변화를 해석하였다.

3. 수치 해석

3.1 격자 생성

유체 운동을 지배하는 편미분 방정식의 수치 계산은 편미분 방정식을 대수 방정식으로 변환하고



(a) Divisions of the computational domain (b) module

Fig.3 Divisions of the computational domain

해석 공간을 다수의 격자점으로 이산화하여 수행된다. 격자를 생성할 때 일반적인 격자 생성법은 해석 영역의 외부 경계가 비정규적인 형상을 갖고 있는 경우에는 원하는 격자를 구할 수 있지만, 해석 영역의 내부에 임의의 형상이 있는 경우에는 그 형상을 고려하여 줄 수 없는 단점이 있다. 따라서 이 연구에서는 기존의 격자 생성법을 보완하여 해석 영역의 외부 경계뿐 아니라, 내부에 임의의 형상이 존재하는 경우를 고려하여 줄 수 있도록 수정하였다.

본 연구에서 해석하고자 하는 모델은 직충형 판 열교환기의 U-turn부로서 관내측의 열전달을 향상시키기 위해 사각 채널의 내부에 덤플이 임의로 부착되어 있는 경우이다. 즉, 본 연구의 해석 대상은 Fig.2(b)에 나타낸 바와 같이 경계는 직사각형이고 내부에 원 또는 직사각형이 있는 형상이므로 앞에서 언급한 격자 생성 방법을 그대로 적용할 수 없다. 따라서 Fig.3(a)와 같이 해석 영역을 백여개의 영역으로 분할하고, 그 분할된 영역을 다시 Fig.3(b)와 같이 소영역으로 분할하여 각각의 영역에서 격자 생성을 하고 이를 다시 합하는 기법을 사용하였다. 이런 방법으로 생성된 격자계는 전체 해석 영역을 임의의 여러 영역으로 분할하여 각각에 대하여 격자 생성을 하였기 때문에, 각 소영역의 내부에 대해서는 부드러운 격자가 얻어지

지만, 합쳐지는 경계면 부분에서는 격자가 부드럽게 이어지지 않고 불연속적인 점이 나타나서 격자로서의 질이 떨어지게 된다. 이러한 격자계의 불연속성은 유동 계산에서 치명적인 오차를 불러올 수 있다. 따라서 본 연구에서는 분할된 영역에서 생성된 격자를 모두 합친 후, 다시 해석 영역을 내부 들출물의 형상이 흐트러지지 않는 범위내에서 소영역으로 분할하여 편미방 격자 생성법을 수행하는 격자 완만화(grid smoothing) 작업을 반복하였다. 또한 격자를 생성하는데 있어서 입구와 출구 조건을 용이하게 주기 위하여 U-turn부의 시작지점을 덤플 부분의 반으로 설정하였다. 이와같은 기법으로 생성된 격자계는 Fig.4와 같다.

3.2 지배방정식의 이산화

지배방정식은 유한차분법을 이용하여 이산화시켰고, 격자계는 프로그래밍이 용이한 엇갈리지 않은 격자계(non-staggered grid)를 사용하였다. 이 때, 엇갈리지 않은 격자계에서 발생하는 압력의 지그재그 현상을 해결하기 위하여 압력수정방정식에 4계 압력완충항(4th-order pressure damping term)⁽⁵⁾을 더하여 계산하였다. 또한 속도와 압력의 연관성을 고려하기 위해 예측자 및 다중수정자법을 사용하였다.

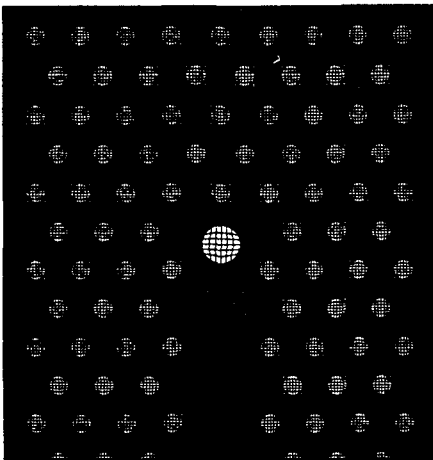


Fig.4 Grid system(173×213)

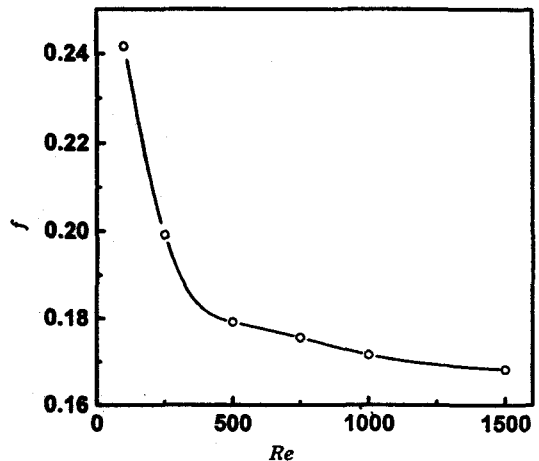


Fig.5 Friction factor vs. Reynolds number

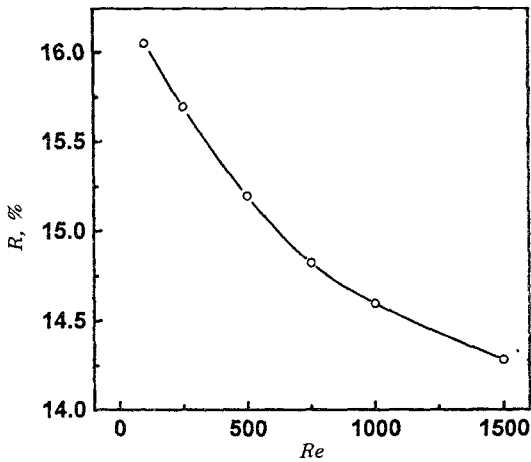


Fig.6 Percent of faulty area vs. Reynolds number

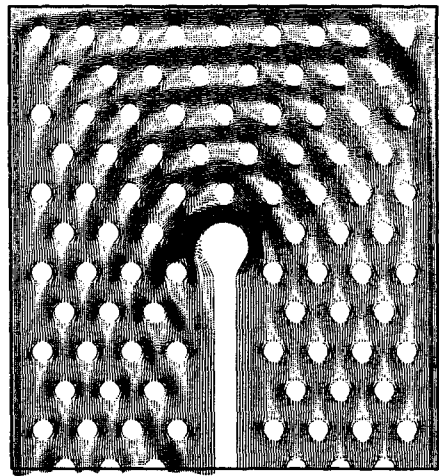


Fig.7 Velocity vectors for $d=7.5\text{mm}$ and $l=36.5\text{mm}$

4. 결과 및 고찰

4.1 Reynolds수의 영향

기하학적인 인자의 변화에 대한 결과를 구하기에 앞서 Reynolds수에 따른 마찰계수와 유동결합 영역을 조사하여 각각 Fig.5와 Fig.6에 나타내었다. 여기서 가로막 끝의 원의 지름(d)은 7.5mm, 가로막과 벽면 사이의 거리(l)은 36.5mm이고, R 은 U-turn부의 전열면적에 대한 유동결합영역의 면적비를 백분율로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 유동결합영역과 마찰계수는 Reynolds수가 커짐에 따라 감소하는 결과를 나타내었다. Reynolds수가 커지면 유속이 증가하므로 유체가 덩플 사이를 지나면서 덩플 후면에 더욱 전파되기 어려워져 이 부분의 유동결합영역은 증가하지만, U-turn부의 모서리까지 유체가 균일하게 분포되어 전체적인 유동결합영역은 감소하게 된다. 이후의 모든 수치계산 결과는 일반적인 운전조건으로 사용되는 Reynolds수가 1,000일 때를 기준으로 하였다.

4.2 유동장 분석

적층형 판 열교환기의 U-turn부에서 기하학적인 형상을 고려하여 각각의 경우에 대한 유동 특성을 알아보았다. 이 연구에서 수치계산한 16가지의 경우 중 가로막 끝의 원의 지름(d)이 7.5mm, 가

로막과 벽면 사이의 거리(l)가 36.5mm인 경우를 선택하여 유동장을 Fig.7에 나타내었다. 입구영역의 직선유로 부분에서 주기적으로 배열된 덩플에 따라 주기적으로 완전발달한 유동이 발생하며, 이 유동은 직선유로가 끝나면서 가로막 끝의 원을 따라 순환하여 출구영역의 직선유로 부분에서 다시 주기적으로 완전발달한다. 그림에서 볼 수 있듯이 이러한 유동 과정 중 덩플 후면에 재순환이나 유동이 흐르지 않는 영역이 발생하며, 이 영역은 U-turn부의 양쪽 모서리에서도 발생한다. 여기서 좌측 모서리의 유동결합영역이 우측 모서리의 유동결합영역보다 작게 분포하는 것을 볼 수 있는데, 이는 원심력에 의한 운동량이 U-turn부 위의 벽면에서 크게 되므로 이 부분의 유속이 증가하여 유동이 좌측 모서리까지 보다 잘 전파되기 때문인 것으로 추정된다.

4.3 마찰계수와 유동결합영역의 변화

가로막 끝의 원의 지름(d)의 변화에 따른 유동 특성을 알아보기 위하여 d 의 값을 4.5mm, 5.5mm, 6.5mm, 7.5mm로 변화시키며 수치계산을 수행하였다. 4가지의 경우 중 가로막 끝의 원의 지름(d)이 7.5mm, 가로막과 벽면 사이의 거리(l)가 36.5mm인 경우를 선택하여 속도에 따른 전열면적 분포를 Fig.8에 나타내었으며, 여기서 $|V|$ 는 각 지점에서의 무차원

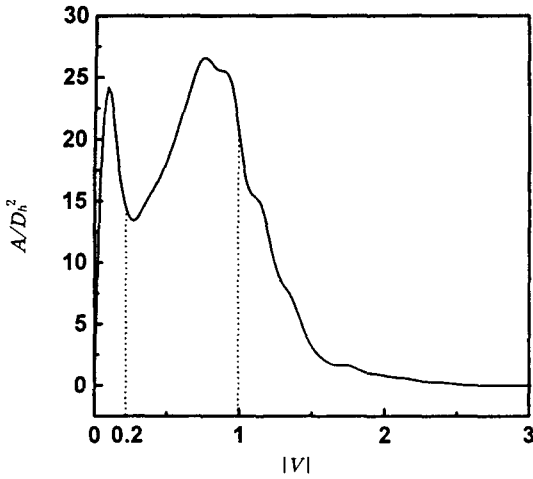


Fig.8 Area distribution vs. velocity for $d=7.5\text{mm}$ and $l=36.5\text{mm}$

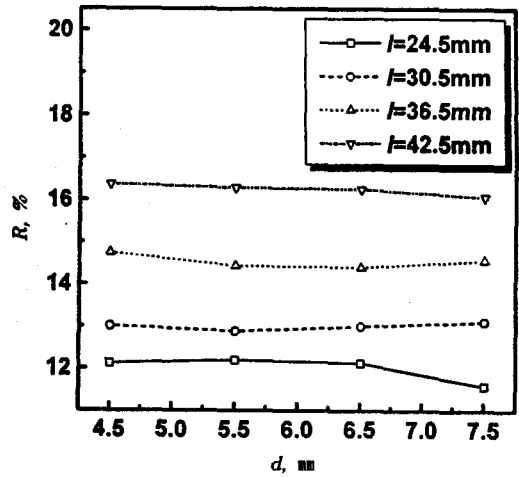


Fig.10 Percent of faulty area vs. diameter

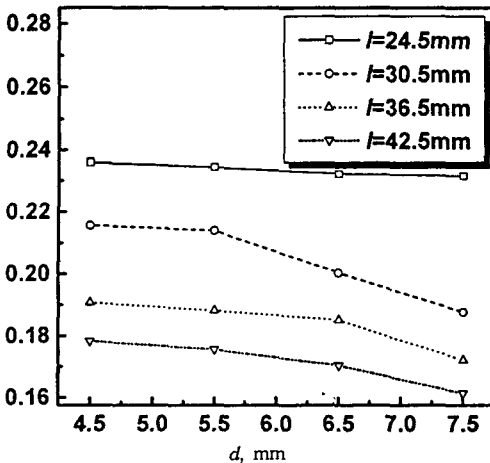


Fig.9 Friction factor vs. diameter

속도의 크기이고, A 는 전체면적에서 가로막과 덤플을 제외한 전열면적이다. 그림에서 볼 수 있듯이 기준속도 $|V|=1$ 에 근접한 속도가 전체 전열면적의 대부분을 차지하고 있으며, $|V|=0.2$ 이하인 유동결합영역도 약 15% 정도 분포함을 알 수 있다.

각각의 경우에 대한 마찰계수를 Fig.9, 유동결합영역의 크기를 Fig.10에 나타내었다. Fig.9에서 알 수 있듯이 마찰계수는 가로막 끝의 원의 지름(d)이 커짐에 따라 완만하게 감소하는 경향을 갖는다. 이것은 원의 지름(d)이 클수록 유동의 순환이 원

활하게 이루어져 U-turn부에서의 압력강하가 작아지기 때문인 것으로 추정된다. l 이 24.5mm인 경우에는 나머지 3가지 경우와 달리 마찰계수의 변화가 거의 없으며, 이는 U-turn부의 유로가 좁아져 유속이 빨라지면서 순환 체적이 더욱 커지기 때문이다. 이 경우에는 d 가 7.5mm로 커져도 유동의 원활한 순환을 기대할 수 없다. Fig.10에서 알 수 있듯이 유동결합영역은 가로막 끝의 원의 지름(d)의 변화에 별로 영향을 받지 않으며, 단지 지름이 작아지면 조금 증가하는 경향을 나타낸다. 지름이 작은 경우에 유동결합영역이 크게 나타나는 것은 유체의 순환시 원심력에 의해 발생하는 유체의 순환 지름이 가로막 끝의 원의 지름(d)보다 커지게 되어, 유동이 돌출부를 따라 흐르지 못하기 때문이다. 따라서 순환된 유체가 가로막과 접촉하여 원활하게 흐르지 못하고 가로막에 충돌하며, 직선유로에서 바로 주기적으로 완전발달한 유동이 생성되지 못한다. 이 외에 l 이 24.5mm일 때 d 가 7.5mm인 경우에만 유동결합영역이 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 d 가 7.5mm인 경우에만 가로막 끝의 원과 출구영역 시작지점의 가로막쪽 덤플 사이로 유동이 흐르기 때문이다. 따라서 유동결합영역의 차이는 이 영역의 차이가 그대로 반영된 것이다.

가로막과 벽면 사이의 거리(l)의 값을 24.5mm,

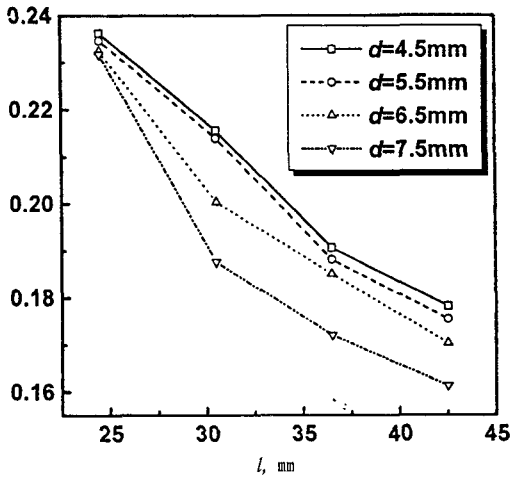


Fig.11 Friction factor vs. distance

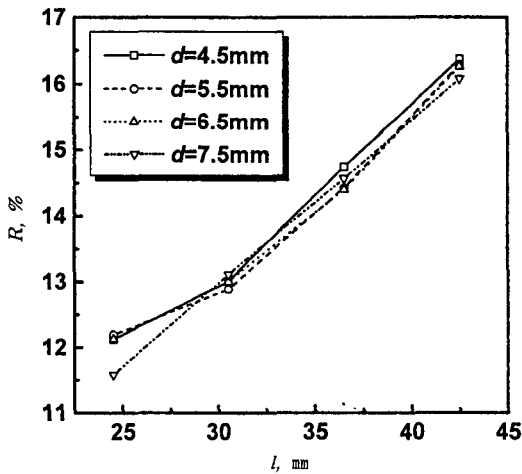


Fig.12 Percent of faulty area vs. distance

30.5mm, 36.5mm, 42.5mm로 변화시키며 수치계산을 수행하였다. \$l\$의 값을 작게 하면 유로내의 덤플 중 일부가 가로막과 접치게 되므로 이 일부의 덤플을 제거하여 격자를 생성하였고, \$l\$의 값을 크게 하면 유로내에 덤플이 없는 영역이 넓어져 이 부분에 추가로 덤플을 설정하여 격자를 생성하였다. 각각의 경우에 대한 마찰계수를 Fig.11, 유동결합영역의 크기를 Fig.12에 나타내었다. Fig.11에서 알 수 있듯이 마찰계수는 가로막과 벽면 사이의 거리(\$l\$)가 작아짐에 따라 계속 증가하는 경향을 나타낸다.

이것은 거리가 작아질수록 직선유로의 폭에 비하여 U-turn부 유로의 폭이 좁아져 병목현상을 일으켜 유동이 양쪽 모서리로 밀리면서 압력강하가 크게 나타나기 때문인 것으로 추정된다. 여기서 \$d\$가 4.5mm와 5.5mm인 경우에는 거의 유사한 결과를 나타내는데, 이는 가로막의 폭이 4mm이므로 지름 4.5mm와 5.5mm인 원은 유체의 순환을 리드하는데 큰 효과가 없기 때문이다. \$d\$가 6.5mm와 7.5mm인 경우에는 가로막의 폭에 비하여 상대적으로 큰 편이므로 유체의 순환을 리드하는 원으로서의 효과를 볼 수 있다. 이 때에 마찰계수는 \$l\$이 24.5mm에서 30.5mm까지의 구간에서는 급격히 감소하고, \$l\$이 30.5mm에서 42.5mm까지의 구간에서는 완만하게 감소한다. 이는 입구와 출구영역의 직선유로의 폭이 31.5mm이므로 U-turn부 유로의 폭이 이보다 작을 때까지는 유량의 정체가 심하지만, 그 이상(\$l \ge 31.5\$mm)이 되면서 병목현상이 감소하기 때문이다. Fig.12에서 알 수 있듯이 유동결합영역은 가로막과 벽면 사이의 거리(\$l\$)가 커짐에 따라 선형적으로 증가한다. 거리가 큰 경우에 유동결합영역이 크게 나타나는 것은 가로막 윗부분의 유로가 넓어져 유동이 가로막 끝의 원을 따라 순환하면서 유로의 윗부분에 잘 흐르지 않기 때문인 것으로 생각된다.

4.4 중력의 영향

이 연구는 적층형 판 열교환기의 유로가 수평으로 놓인 경우에 대하여 수치해석을 수행한 것이다. 일반적으로 실제 사용할 때에는 U-turn부가 아래를 향하여 수직으로 놓이는 경우가 많으므로, 가로막 끝의 원의 지름(\$d\$)이 7.5mm, 가로막과 벽면 사이의 거리(\$l\$)가 36.5mm인 경우에 대하여 중력을 고려하여 수치해석하여 앞의 결과와 비교하였다. 이 때 중력항을 고려한 \$y\$방향 무차원 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = & - \frac{\partial P}{\partial Y} - \frac{1}{Fr} \\
 & + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) \\
 Fr = & \bar{V}^2 / gD_h \quad (8)
 \end{aligned}$$

여기서 \$Fr\$은 Froude수이다.

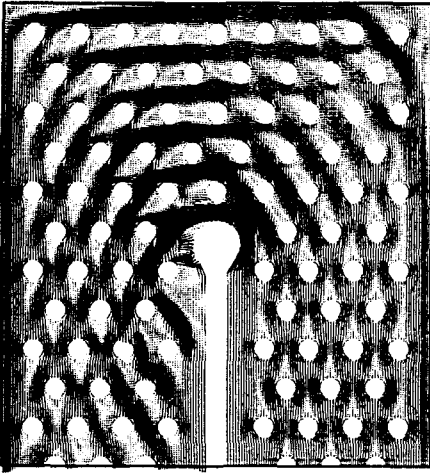


Fig.13 Velocity vectors with gravity effect for $d=7.5\text{mm}$ and $l=36.5\text{mm}$

초기에 U-turn부 모서리로 유동이 쏠리는 경향을 보이지만 정상상태에 이르면 중력을 고려하지 않은 경우와 유사한 유동형태를 나타낸다. 이에 대한 유동장을 Fig.13에 나타내었다. 유동이 가로막 끝의 원을 따라 순환하여 출구영역으로 올라갈 때 중력의 영향으로 매끄럽게 흐르지 못하고 재순환 유동이 생기는 것을 볼 수 있다. 마찰계수와 유동결함영역은 각각 0.5757과 10.09%로 중력을 고려하지 않은 경우의 0.1721과 14.56%에 비하여 마찰계수는 크고 유동결함영역은 작다.

마찰계수가 증가한 것은 U-turn부 모서리에 유동이 심하게 충돌하고 출구영역에서 유동의 상승이 어려워지면서 압력강하가 커지기 때문인 것으로 판단되고, 유동결함영역이 감소한 것은 중력의 영향으로 U-turn부 모서리로 유동이 고르게 퍼지기 때문인 것으로 생각된다.

4.5 결과 분석

이상의 결과에서 알 수 있듯이 가로막 끝의 원의 지름(d)에 따른 유동결함영역과 마찰계수의 변화는 작은 편이다. 하지만 지름이 작을 경우에 유동의 순환이 원활하게 일어나지 못하여 직선유로에서 주기적으로 완전발달하는데 필요한 거리가 늘어나는 것이 문제가 되므로, 어느 정도 적절한 크기의 지름이 필요하다. 가로막과 벽면 사이의 거

리(l)에 따른 유동결함영역과 마찰계수의 변화는 이에 비하여 큰 편이며, 적절한 유동 조건을 구하는데 있어서 중점적으로 다루어야 할 부분이다. l 의 값이 작은 경우에 유동결함영역이 감소하는 이점이 있지만, 마찰계수가 상대적으로 너무 커져 l 을 지나치게 작게 설정하는 것을 좋은 유동 특성을 갖는다고 보기는 어렵다. Fig.11과 Fig.12를 같이 고려해 보면 그래프상으로 이 분기가 되는 거리가 30.5mm임을 추정할 수 있다. 결과를 분석해 보면 지름은 유동결함영역의 크기에 많은 영향을 미치지 않으므로 마찰계수가 작은 7.5mm가 타당하고, 거리는 유동결함영역과 마찰계수의 두가지 측면에서 적절한 값을 갖는 30.5mm가 합리적이라고 판단된다.

5. 결 론

적층형 판 열교환기의 U-turn부의 유동 특성을 수치적으로 조사하고, 가로막과 벽면 사이의 거리와 가로막 끝의 원의 크기를 변화시켜 이에 따른 유체의 거동과 유동결함영역 및 마찰계수의 변화를 해석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 가로막 끝의 원의 지름(d)은 유동결함영역의 크기나 마찰계수의 변화보다는 유동의 원활한 순환에 주로 관계된다.

2) 가로막과 벽면 사이의 거리(l)가 작아짐에 따라 유동결함영역은 감소하지만 마찰계수가 상대적으로 크게 증가한다.

3) $d=7.5\text{mm}$, $l=30.5\text{mm}$ 일 때 유동 특성과 압력강하에 있어서 가장 좋았다.

후 기

본 연구는 1996년도 한국 과학재단의 목적기초(특정) 연구과제(과제번호: 96-0200-10-01-3) 지원의 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 동재단의 관계제위께 감사의 뜻을 포함합니다.

참 고 문 헌

1. Ohara, T. and Takahashi, T., 1988, "High performance development", International

- Congress and Exposition, Detroit, MI. pp. 241~251.
2. Ohara, T., Yamamoto, T. and Fujita, H., 1991, "Evaporative heat transfer and pressure drop in a rib-roughened flat channel (Effects of height and spacing of repeated transverse rib roughness)", ASME/JSME Thermal Engineering Proceedings Vol. 4, pp. 399~406.
 3. Olson, D. A., 1992, "Heat transfer in thin, compact heat exchangers with circular, rectangular or pin-fin flow passages", Journal of Heat Transfer, Transactions of the ASME, Vol. 114, pp. 373~382.
 4. Rong, X. and Kawaji, M., 1996, "Gas-liquid and flow rate distributions in single end tank evaporator plates", society of Automotive Engineers, Inc. pp. 133~141.
 5. 이관수, 백창인, 장보용, 임광욱, 1995, "전자장비에서 벽면의 대류열방출 및 통기구의 효과를 고려한 3차원 자연대류 냉각", 대한기계학회 논문집 제19권, 제11호, pp. 3072~3083.