

# 와이어 스크린 배플이 설치된 채널에서의 열전달 특성 The Characteristics of Heat Transfer in a Channel with Wire-screen Baffles

김원철 · 아리바시아 크리시나 부트라 · 안수환 · 강호근  
W. C. Kim, B. K. Ary, S. W. Ahn and H. K. Kang

(접수일 : 2008년 11월 26일, 수정일 : 2009년 1월 20 일, 채택확정 : 2009년 2월 26일)

**Key Words** : Wire-screen Baffle(와이어 스크린 배플), Rectangular Channel(사각 채널), Heat Transfer(열전달), Dutch Weave(첩직), Plain Weave(평직), Inclination Angle(경사각)

**Abstract** : The heat transfer characteristics of flow through two inclined wire-mesh baffles in a rectangular channel were investigated experimentally with varying the mesh number of wire screens and inclination angle of the baffles. Two different types of wire meshes such as dutch and plain weaves, were used in this experiment. Three kinds of baffle plates with different mesh specifications in the dutch weave and four different kinds in the plain weave were manufactured. Baffles were mounted on bottom wall with varied angles of inclination. Reynolds number was varied from 23,000 to 57,000. It is found that the placement of inclined wire-mesh baffles in the channel affects the heat transfer characteristics by combining both jet impingement and flow disturbance. The wire screen modified the flow structure leading to a change in the heat transfer characteristics. The results show that the baffle plate with the most number of mesh (type SA) has the highest heat transfer rate.

## 기호 설명

$A$  : 와이어 메쉬의 개구, m; 전열 면적,  $m^2$   
 $B$  : 와이어의 두께, m  
 $D_h$  : 시험부 채널의 수력직경, m  
 $f$  : 마찰계수  
 $H$  : 시험부 채널의 높이, m  
 $h$  : 대류열전달계수,  $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$   
 $j$  : Colburn j계수,  $Nu/(Re.Pr^{1/3})$   
 $L$  : 시험부 채널의 길이, m  
 $\dot{m}$  : 질량 유량, kg/s  
 $Nu$  : 누셀트 수  
 $DP$  : 압력강하, Pa  
 $Pr$  : 프란틀 수  
 $\dot{Q}$  : 열전달 율, W

$Re$  : 레이놀즈 수  
 $T$  : 온도,  $^\circ\text{C}$   
 $u$  : 공기의 속도, m/s  
 $W$  : 시험부 채널 폭, m  
 $x$  : 시험부 입구에서부터의 거리, m

그리스 문자  
 $\alpha$  : 배플 경사각  $^\circ$   
 $\rho$  : 공기 밀도,  $kg/m^3$

아래 첨자  
 $b$  : 체적 평균  
 $o$  : 매끈한 원관  
 $ra$  : 채널 평균  
 $w$  : 벽 면

안수환(책임저자): 경상대학교 해양산업연구소 기계시스템공학과

E-mail : swahn@gaechuk.gsnu.ac.kr, Tel : 055-640-3125

김원철 : 경상대학교 기계시스템공학과

아리바시아 : 경상대학교 대학원 기계시스템공학과

강호근: 한국선급협회 기술연구소

## 1. 서 론

열 시스템에서 냉각방법에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그 중에서 Kays와 London<sup>1)</sup>은 체적 대비 열전달 면적을 증가시켜 열교환기 성능을 효과적인

방법을 제시하였다. 체적 대비 열전달 면적을 증가시키는 방법으로 미소입자를 이용한 순환 유동층 구조, 직조(weave)금속 스크린, 그리고 폼(foam)과 같은 개방 셀(cell)형 다공 구조물(porous matrix)을 사용하고 있다. 직조(weave)금속 스크린은 태양열 수열장치<sup>2)</sup>, 고효율 열교환기<sup>1)</sup>, 에너지 저장장치<sup>1)</sup>, Stirling냉각기의 재생장치<sup>3)</sup>, 전자 냉각기<sup>4,5)</sup>, 그리고 촉매 반응기<sup>6)</sup>에 적용되고 있다.

직조금속 스크린은 직조 방식에 따라 분류되며 4가지의 금속직조방식이 사용되고 있다. 즉, 첩직(dutch weave), 평직(plain weave), 능직(twill weave), 그리고 포리니어 직(fourdrinier weave)이 있으나 첩직과 평직이 가장 많이 사용된다. 첩직은 직사각형 개구를 갖고 평직은 정사각형 개구(opening)를 가진다<sup>7)</sup>. Duprat와 Lopez<sup>8)</sup>는 한 덩어리의 돌(monolith), 적층(stack)의 직조 스크린, 그리고 조밀 유동층과 같은 열재생 매체(media)에 대한 열전달 성능을 비교하였다. 열전달 효율의 우수성 때문에 적층의 직조 스크린이 광범위하게 사용되고 있다. Tian 등<sup>9)</sup>은 청동 직조 스크린 구조의 압력손실과 열전달 성능특성을 측정하였다. 그들은 다양한 방향과 셀 모양(cell shape)의 효과에 대해 연구한 결과 스크린에서의 열전달은 고체 전도와 강제 대류의 두가지 기구(mechanism)에 좌우된다고 보고 하였다. 주어진 레이놀즈 수에서 기공율과 표면적이 열전달을 제어하는 주요 변수가 되었다.

그러나 지금까지의 연구에서는 직조 스크린을 적층(layer by layer)으로 유동에 수직방향에 위치하게 설치하였다. 일반적으로 적층(layer by layer)의 수직방향으로 설치하면 열전달 향상보다 압력손실의 증가가 클 경우가 종종 있다.

이에 반해 Dutta와 Dutta<sup>10)</sup>는 채널내 경사진 다공 배플판을 설치한 경우 경사도와 기공율에 대한 열

전달향상 효과를 조사하였다. 그들은 경사 다공 배플이 동일한 구조에서 수직의 다공 배플판보다 열전달 성능이 우수하였다는 것을 보였다. 그리고 오 등<sup>11)</sup>은 한 개의 경사 다공 배플판이 설치된 사각채널에서 열전달 향상과 마찰계수 특성을 실험과 수치해석으로 조사하였다. 다공의 형태는 2.5 cm x 2.5 cm의 정 다이아몬드 형이었다. 오 등<sup>11)</sup>은 구멍 수가 3개인 경우 열전달 성능이 가장 우수하였고 구멍 수가 증가하여도 열전달 성능이 향상되지 못하였음을 보였다. 그리고 오 등<sup>12)</sup>은 경사된 와이어 스크린이 직사각형 채널에 설치된 경우에 대한 유체유동과 마찰계수를 실험적으로 조사하였다.

일반적 산업용 열교환기에서는 아직 스크린 와이어 배플의 사용이 매우 드문 편이다. 이에 본 연구에서는 금속제 스크린와이어 배플의 적용 가능성을 조사하고자한다. 그러므로 본 연구에서는 실용화를 위한 기초 연구로서 두 개의 와이어 스크린을 직 사각형 채널에 설치하고 열전달 특성을 실험적으로 조사하였다. 와이어 스크린 배플을 시험부 바닥 가열면 위에 설치하였고 배플 경사각은 3°, 5° 그리고 7°이었다. 와이어 스크린은 스테인레스 강재(AISI 304)이고 직조(weave) 구조는 첩직(dutch weave)과 평직(plain weave)의 두 종류를 취급 하였다.

## 2. 실험 장치

Photo. 1은 본 연구에 사용된 시험부의 모습이다.

채널의 좌우측 그리고 상부측은 5 mm 두께의 플렉시 글라스(Plexiglass) 판을 사용하였고 바닥은 5 cm송판(pine wood)을 사용 하였다. 시험 부 전체에 균일한 열 유속을 얻기 위해 0.1 mm두께의 스테인레스 판을 포일(foil)히터로 사용하였다. 포일 히터는 23개이고 각 히터의 치수는 19.8 cm x 3.0 cm x

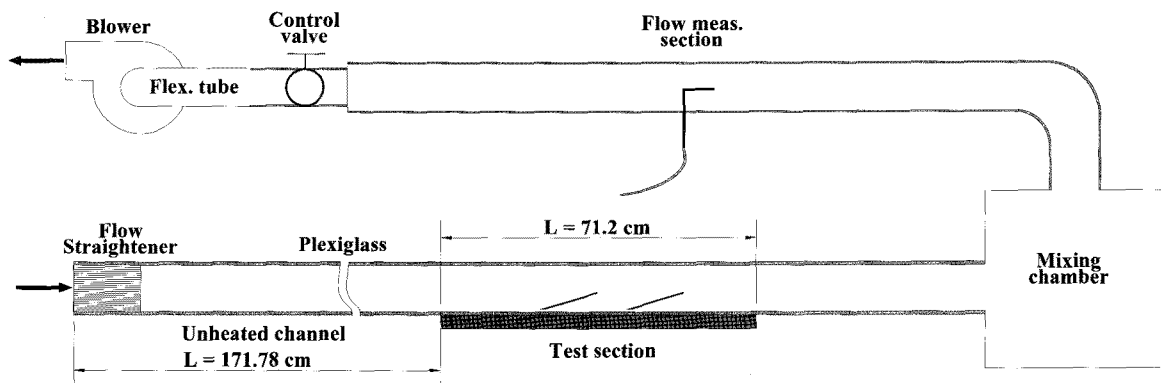


Fig. 1 Schematics of test apparatus

0.01cm이었다. 이들 포일 히터는 시험 부 바닥에 유체 유동에 수직 방향으로 직렬 연결하였고 온도 조절은 10 kVA용량의 슬라이다스를 이용하였고 벽면 가열 온도 범위는 30°C에서 115°C이었고 공급 전원은 단상의 220V이었다. 실험 중 실내온도는 22°C에서 25°C이었다. 23개의 열전대(T형)를 시험부중앙선에 포일 히터마다 1개 씩 고온접착제(thermal epoxy)로 접착하였다. 벽면 온도 측정용으로 설치한 것 이외에도 시험부 입구의 채널 가운데 1개와 시험부 출구에 바닥에서 상부면까지 수직의 등 간격으로 10개 설치하여 입구와 출구 온도를 각각 측정하였다. 온도측정은 40 채널의 자료획득 장치를 사용하였고 압력과 속도는 전자 마노미터를 이용하였다.

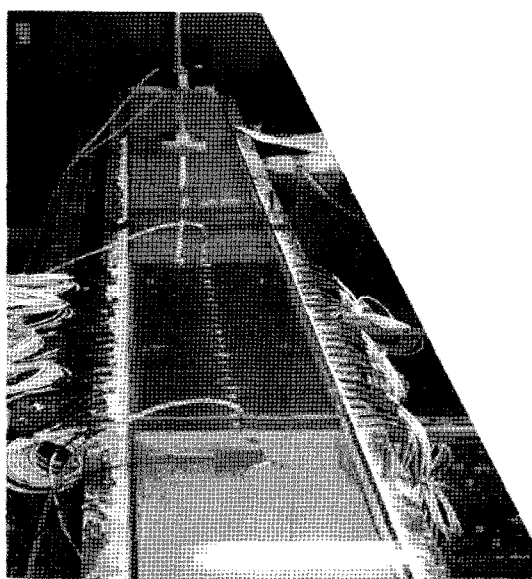


Photo. 1 Test section

Photo. 1은 실험장치의 모습이다. 유동 시스템은 흡입 방식으로 작동되고 수평으로 위치하였다.

본 연구에 사용된 두 종류의 배플 구조를 보여준다. 배플 들은 침직(dutch weave)과 평직(plain weave)의 두 종류를 사용하였다<sup>12)</sup>. 침직에는 3종류, 평직에는 4종류를 각각의 7종류의 배플 판을 사용하였다. 와이어 스크린의 사양은 Table 1에 나타나 있다. 와이어 스크린의 용어는 Fig. 2에서 정의 된다. A와 B는 와이어 스크린의 개도(opening)와 직경을 각각 의미한다. 요구하는 유량을 얻기 위해 제어 밸브를 설치하였다. 시험 부의 체적 평균 속도를 구하기 위해 피토 튜브를 시험 부의 아래쪽 원형 관 중심부의 속도를 측정하였다. 충분히 발달된 원형 관에서의 중심속도(U)에서 공식(1)의 멱급수 법칙에 의해 체적 평균속도(V)를 아래와 같이 구하였다.

Table 1 Wire mesh specification

Dutchweave wire mesh	Type	Mesh		Wire diam, B (mm)		Opening A (micron)
		Vert	Hor	Vert	Hor	
SA		24	110	0.38	0.25	115 ~ 125
SB		14	80	0.5	0.3	220 ~ 240
SC		12	64	0.62	0.42	270 ~ 290

Plain weave wire mesh	Type	Mesh	Wire diameter, B (mm)	Opening, A(mm)
SE	10	0.7	1.84	
SF	8	0.8	2.37	
SG	7	1.2	2.58	

$$\frac{V}{U} = \left(\frac{y}{R}\right)^{1/n} = \left(\frac{R-r}{R}\right)^{1/n} \quad (1)$$

여기서 r은 반경방향 거리이고 R은 원관의 직경이다. 그리고 원관의 체적 평균속도의 정의는 다음과 같다.

$$V = \frac{\int_0^R \left(\frac{R-r}{R}\right)^{1/n} U 2\pi r dr}{\int_0^R 2\pi r dr} \quad (2)$$

식(2)를 적분하면 아래와 같다.

$$V = U \frac{2n^2}{(2n+1)(n+1)} \quad (3)$$

원관의 난류유동에서 n값은 7로 적용하였다.

사각 채널의 시험부 체적 평균 속도( $u_b$ )는 연속법칙으로부터 계산되었다. 레이놀즈 수는 시험 부 채널 평균 속도( $u_b$ )와 수력직경으로부터 구하였다.

가열되지 않는 사각채널의 치수는 19.8 cm x 4 cm x 171.7 cm이다. 충분한 입구길이를 설치하여 시험 부에서 완전히 발달된 영역의 유동이 되도록 하였다. 시험 부의 치수는 19.8 cm(W) x 4 cm(H) x 71 cm(L)이다.

모든 열전대는 얼음욕조(ice bath)에서  $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 의 정확도로 보정하였다. 실험의 불확실성은 Kline과 McClintock<sup>13)</sup>의 방법으로 평가 하였다. 실험에 측정된 변수들은 벽면온도, 공기온도, 속도 그리고 압력강하이다. 레이놀즈 수와 누셀트 수의 최대 불확실성은 Table 2와 같이  $\pm 2.5\%$ 와  $\pm 7.8\%$ 이었다. 시험부에서의 자세한 배플의 위치는 본 연구자의 이전 연

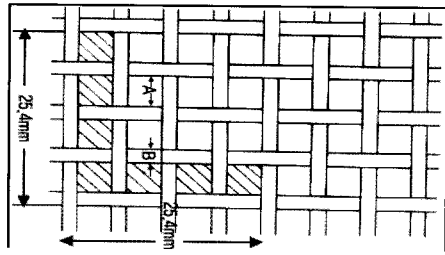


Fig. 2 Definition of wire screen

Table 2 Experimental uncertainties(Re=23,000)

Parameters	Uncertainties
Thermophysical property of air	±2.0%
Hydraulic diameter, $D_h$	±0.5%
Bulk velocity, $u_b$	±1.5%
Pressure difference, $\Delta P$	±9.2%
Reynolds number, $Re$	±2.5%
Friction factor, $f$	±9.5%
Temperature, $T$	±0.5 °C
Heat transfer coefficient, $h$	±7.5%
Nusselt number, $Nu$	±7.8%

구<sup>12)</sup>에 나타나 있다. 배플은 바닥 가열 벽면위에 설치하였고 배플 경사각은 3°, 5°, 그리고 7°에 대해 취급하였다. 모든 경우 첫째와 둘째 배플은 가열 시험부 시작점부터 9.5cm와 41cm아래쪽에 각각 설치하였다. 모든 배플들은 길이가 23.2 cm이고 폭이 19.8 cm이다. 냉각공기에 노출된 단위 표면에 대한 순 열전달율 ( $\dot{Q}/A$ ), 벽면 온도( $T_w$ ) 그리고 공기체적 평균온도( $T_b$ )로부터 열전달계수는 아래와 같다.

$$h = \dot{Q} / [A(T_w - T_b)] \quad (3)$$

여기서 A는 가열 벽면의 전체 열전달 면적이다. 열전달율( $\dot{Q}$ )은 아래와 같다.

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_{b2} - T_{b1}) \quad (4)$$

여기서  $T_{b1}$ 과  $T_{b2}$ 는 시험부 입구와 출구의 체적 평균온도를 각각 나타낸다. 누셀트 수는 직사각형 채널의 수력직경( $D_h$ )과 대류열전달계수( $h$ )를 이용하여 식(5)와 같이 정의 된다.

$$Nu = hD_h/k \quad (5)$$

그리고 배플이 설치된 사각채널 평균의 Coiburn's  $j$  계수는 아래와 같다.

$$j = Nu_{ra} / (Re.Pr^{1/3}) \quad (6)$$

여기서 아래첨자 ra는 배플이 설치된 경우를 의미한다. 기준 값으로 완전히 발달된 배플이 없는 원형관의 Colburn의  $j_o$  계수는 아래의 McAdams/Dittus-Boelter<sup>14)</sup>실험식을 사용하였다.

$$j_o = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} / Re.Pr^{1/3} \quad (7)$$

### 3. 실험결과 및 고찰

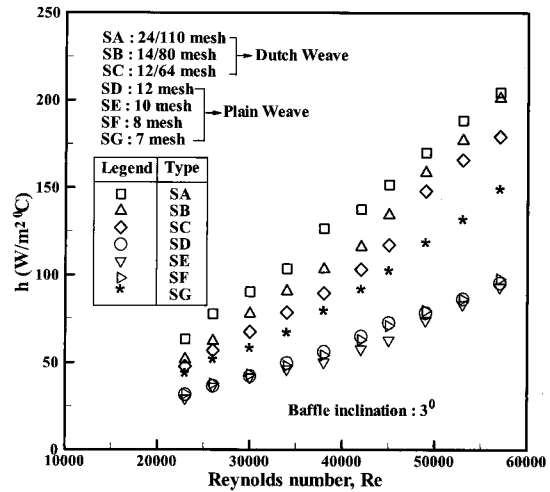


Fig. 3 Average heat transfer coefficients for a=30°

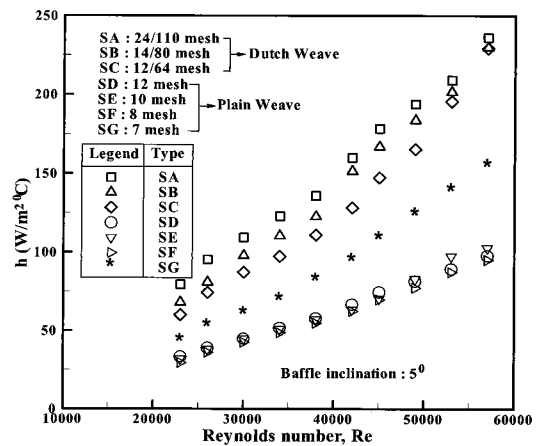


Fig. 4 Average heat transfer coefficients for a=50°

Fig. 3는 레이놀즈 수가 23,000에서 57,000의 범위에서 배플 경사각이 3°인 경우 다양한 와이어 스크린 배플에 대한 채널 평균 열전달계수이다. 관심을 끄는 특징은 평직인 SD, SE, 그리고 SF형 배플에서는 열전달 계수가 대체로 완만한 경사를 보였다. 이것은 평직이 SA, SB 그리고 SC의 침직 배플보다 높은 기

공밀도를 가지기 때문이라 사료된다. 동일한 현상이 5° 와 7°인 Figs. 4와5에서도 일어났다.

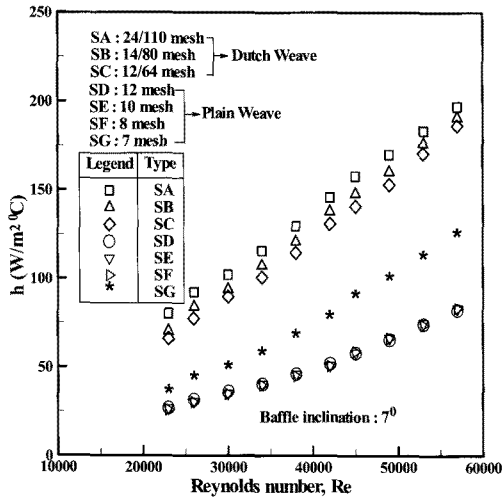


Fig 5 Average heat transfer coefficients for  $\alpha = 70^\circ$

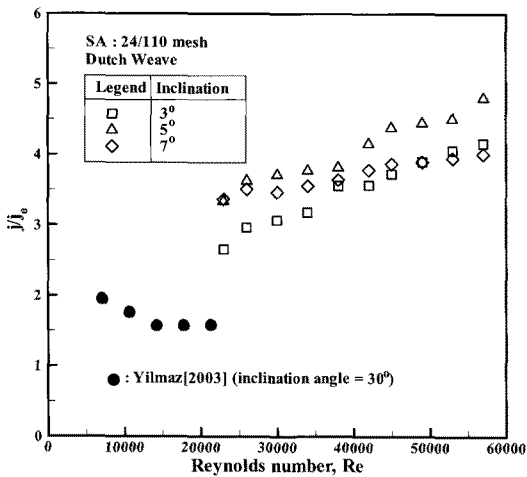


Fig. 6 Heat transfer enhancement (type SA)

Figs. 3에서 5는 채널평균 열전달 계수가 메쉬 수의 증가에 따라 증가함을 보여준다. SA형 배플이 모든 경사각에서 가장 높은 열전달계수를 보였다. 이는 높은 메쉬 수가 높은 난류 혼합을 발생시키는 유동구조를 생성하여 열전달을 향상시킨다는 사실에 기인한다고 사료된다. 평직 배플에서 SG(메쉬 수 7) 배플은 SD(메쉬수 12), SE(메쉬 수 10) 그리고 SF(메쉬 수 8)에 비해 메쉬 수는 거의 유사하지만 열전달 계수는 훨씬 컸다. 이러한 현상은 SG형 배플의 와이어 직경이 다른 배플보다 크기 때문에 배플 근처에서 큰 난류유동을 발생시키기 때문이라 사료된다.

Fig. 6은 첩직(dutch weave) 배플의 경사각도에 대한 Colburn's j계수를 보여준다. 기준 값으로 완

전히 발달된 영역의 원형관에 관한 공식<sup>7)</sup>의 McAdams/Dittus-Boelter<sup>14)</sup>의 실험식을 사용하였다.

비교를 위해 Yilmaz<sup>15)</sup>의 결과를 포함 하였다. Yilmaz<sup>15)</sup>의 결과는 본 연구보다 훨씬 작은 열전달계수 비를 보였다. 이는 본 연구의 경우 배플이 와이어 스크린으로 많은 구멍이 설치되고 경사각이 매우 작은 반면 Yilmaz<sup>15)</sup>의 연구는 구멍이 없는 배플 (solid baffle)판을 사용하고 경사각이 30°로 매우 크기 때문에 배플을 관통하는 유체의 유동이 억제되어 배플 뒤의 가열벽면 근처에 있는 유체가 정체되기 때문이라 사료된다. 그리고 경사각이 가장 큰 7°인 경우 레이놀즈 수에 따른  $j/j_0$  값의 변동 폭이 가장 작다. 이는 Fig. 6의 경우 가로와 세로 방향으로 메쉬 수가 각각 24와 110로 많은 메쉬 수를 가진 첩직 (dutch weave)형 와이어 배플이므로 경사각이 클수록 배플과 채널상부간의 틈이 작아져 그 틈으로 흐르는 주유동(main steam flow)이 줄어들고 배플을 관통하여 흐르는 유동이 많아지기 때문이라 사료된다.

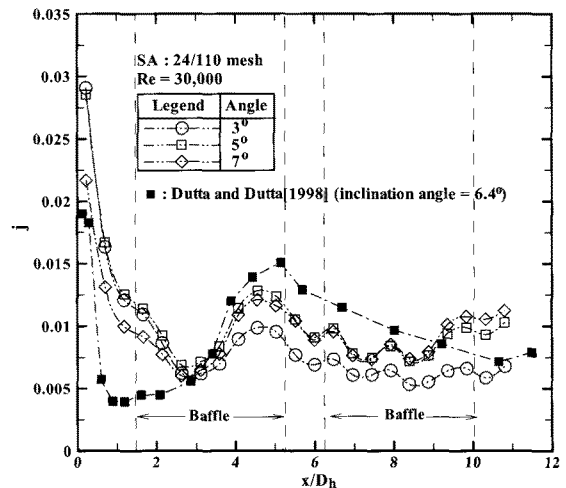


Fig. 7 Local Colburn's j factor (type SA)

Fig. 7은 첩직의 SA 배플에 대한 국부 Colburn의 j계수 값이다. 경사각이 가장 작은 3°인 경우에서 국부 Colburn의 j계수 가장 작았다. 이는 경사각이 낮을수록 와이어 메쉬(mesh)로 관통하는 유체유동의 저항이 증가하여 배플 아랫 부분에서 유체유동이 정체되기 때문이라 사료된다.

입구 영역에서 국부 Colburn의 j계수가 가장 크고 거리에 따라 급격하게 감소한다. 이는 입구 영역에서는 열 경계층의 기울기가 가장 크기 때문이라 사료된다. 본 연구에서는 첫째 배플을  $x/D_h=1.5$ 과 5.2 사이에 설치하였다. 배플입구에서 높은 Colburn의 j

계수가  $x/D_h=3$  근처에서 최소로 되고 4.5 근처에서 꼭지점(peak)을 형성한다. 이는 와이어 스크린의 설치로 인한 저항 때문에 바닥 가열면 위에 유동하는 유체속도가 작아져 바닥 가열벽면온도가 증가한다. 이러한 효과 때문에  $j$  값이 감소하고, 배플 뒤 영역에서는 재순환 유동 때문에  $j$  값이 증가한다고 사료된다. 둘째 배플의  $j$  값들은 첫째 배플에서 보다 거리에 따른 변화크기가 작다. 이는 둘째 배플에 유입되는 유체는 첫째 배플 때문에 대규모의 난류구조를 이미 보유하고 있기 때문이라 사료된다. 비교를 위해 배플 경사각이  $6.4^\circ$ 이고 구멍이 없는 배플(solid baffle)에 관한 Dutta와 Dutta<sup>10)</sup>의 결과를 포함 하였다. Dutta와 Dutta<sup>10)</sup>의 결과는 본 연구에 비해 배플에서 최소점과 꼭지점의 폭이 컸다. 이는 본 연구는 배플을 가열 시험부 입구에서 9.5 cm 뒤쪽에 설치하고 와이어 스크린을 사용한 반면 Dutta와 Dutta<sup>10)</sup>는 배플이 본연구보다 훨씬 앞인 1.23 cm에 설치하고 구멍이 없는 배플(solid baffle)을 사용했기 때문이라 사료된다.

본 연구와 Dutta와 Dutta<sup>10)</sup>의 연구의 경우 열전달 성능에서는 거의 비슷하나 펌프 동력과 관련이 있는 마찰저항에서는 Dutta와 Dutta<sup>10)</sup>의 경우에서 훨씬 컸기 때문에 구멍이 없는 배플보다 와이어 스크린 배플이 유리하다고 판단된다.

## 5. 결 론

평 직조에는 4종류, 첩 직조에는 3종류의 7종류의 금속 와이어 스크린을 배플로 제작하여 직 사각 채널에 설치하여 다양한 와이어 스크린에 대한 열전달 특성을 조사하였다. 주요 실험의 파라미터는 배플 경사각과 와이어 스크린 구조이었다. 주요한 결론은 아래와 같다.

1. 첩 직의 SA형 배플이 모든 경사각에서 가장 높은 열전달계수를 보였다. 이는 높은 메쉬 수가 높은 난류 혼합을 발생시키는 유동구조를 생성하여 열전달을 향상시킨다는 사실에 기인한다고 사료된다.

2. 첩직의 SA 배플에서 경사각이 가장 작은  $3^\circ$ 인 경우에서 국부 Colburn의  $j$ 계수 가장 작았다. 이는 경사각이 낮을수록 와이어 메쉬(mesh)로 관통하는 유체유동의 저항이 증가하여 배플 아랫 부분에서 유체유동이 정체되기 때문이라 사료된다.

3. 본 연구와 유사한 경사각에서 구멍이 없는 배플에 대한 Dutta와 Dutta<sup>10)</sup>의 결과를 비교하면 열전달

성능에서는 본 연구와 거의 비슷하나 펌프 동력과 관련이 있는 마찰저항에서는 Dutta와 Dutta<sup>10)</sup>의 경우에서 훨씬 컸기 때문에 시중의 산업용 열교환기에서 사용하는 구멍이 없는 배플보다 와이어 스크린 배플이 유리하다고 판단된다.

## 후 기

이 논문은 지방대학 혁신역량강화사업(NURI)에 의해 지원 되었음.

## 참고 문헌

1. W. M. Kays and A. L. London, 1994, "Compact Heat Exchangers", McGraw-Hill.
2. G. Sun, Y. Li, Y. Lu, B. Khan and G. S. Tompa, 1995, "Investigation of Efficiency Improvement on Silicon Solar Cells due to Porous Layers", Materials Research Society Symposium— Proceedings, Vol. 358, pp. 593~598.
3. L. Urieli and D. M. Berchowitz, 1984, "Stirling Cycle Engine Analysis", Adam Hilger Ltd., Bristol, Great Britain.
4. C. H. Chao and J. M. Li, 1998, "Foam-metal Heat Sinks for Thermal Enhanced BGA Package Applications," The Eleventh International Symposium on Transport Phenomena ISTPII, Hsinchu, Taiwan, No. 4, pp. 23~29.
5. Y. C. Lee, W. Zhang, H. Xie and R. L. Mahajan, 1993, "Cooling of a FCHIP Package with 100 W, 1 cm<sup>2</sup> Chip", Proceedings of the ASME International Electron Package Conference, vol. 1, ASME, New York, pp. 419~423.
6. A. N. Pestryakov et al., 1994, "Foam Metal Catalysts with Intermediate Support for Deep Oxidation of Hydrocarbons", React. Kinet. Catal. Lett. Vol. 53, pp. 347~352.
7. W. T. Wu et al., 2005, "Measurement and Correlation of Hydraulic Resistance of Flow through Woven Metal Screens", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 48, pp. 3008~3017.

8. F. Duprat and G. Lopez, 2001, "Comparison of Performance of Heat Regenerators: Relation between Heat Transfer Efficiency and Pressure Drop", *Int. J. Energy Res.*, Vol. 25, pp. 319~329.
9. J. Tian et al., 2004, "The Effects of Topology upon Fluid Flow and Heat Transfer within Cellular Copper Structures", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 47, pp. 3171~3186.
10. P. Dutta and S. Dutta, 1998, "Effect of Baffle Size, Perforation and Orientation on Internal Heat Transfer Enhancement", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 41, No. 19, pp. 3005~3013.
11. 오세경, 아리바시아 크리스나 부트라, 안수환, 2008, "정 다이아몬드 형 구멍이 있는 배플을 가진 채널에서 열전달과 마찰계수", *한국 동력기계 공학회지*, 12권 3호, pp. 26~31.
12. 오세경, 아리바시아 크리스나 부트라, 안수환, 2008, "와이어 스크린 배플이 설치된 채널에서의 유체유동 저항", *한국동력기계공학회 투고논문*.
13. S. J. Kline and F. A. McClintock, 1953, "Describing Uncertainty in Single Sample Experiments", *Mechanical Engineering*, Vol. 75, pp. 3~8.
14. W. M. Kays, M. E. Crawford, and B. Weigand, 2005, "Convective Heat and Mass Transfer", 4th ed., McGraw-Hill, New York.
15. M. Yilmaz, 2003, "The Effect of Inlet Flow Baffles on Heat Transfer", *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Vol. 30, No. 8, pp. 1169~1178.