

## 열교환 향상을 위한 경사각이 다른 사다리꼴 휨에 대한 성능해석

강형석\* · 윤세창\*\*

### Performance Analysis on the Trapezoidal Fins having Different Slope for Enhanced Heat Exchange

H.Suk. Kang\* · S.C. Youn\*\*

#### ABSTRACT

Performance of the trapezoidal fins having different upper side slope is investigated by the three dimensional analytic method. It is shown that one equation can be used to analyse the trapezoidal fins having different upper side slope by adjusting the slope factor only. The performances for these fins are represented as a function of the non-dimensional fin length, fin width, Biot number and the slope factor when the remaining variables are fixed arbitrarily. One of the results is that the fin effectiveness increases as Biot number, the non-dimensional fin width and the slope factor decrease and as the non-dimensional fin length increases in the case of  $Bi \leq 0.1$  but the trend of the fin shape effect on the effectiveness is somewhat irregular for higher Biot number(i.e.  $Bi = 0.3$ ).

#### 초 록

다른 윗면 경사각을 가진 사다리꼴 휨 들에 대한 성능 해석이 3차원 해석적 방법에 의하여 조사된다. 단지 경사요소 값을 조정함으로써 한가지 식으로 다른 경사각을 가진 사다리꼴 휨 들을 해석할 수 있는 것이 보여진다. 나머지 변수들을 임의로 고정하였을 때 휨들의 성능들이 무차원 휨 길이, 휨 폭, Biot 수 그리고 경사요소에 대한 함수로 보여진다. 하나의 결과로서 Biot 수가 0.1 이하의 경우에는 Biot 수, 무차원 휨 폭 그리고 경사요소가 감소함에 따라, 반면에 무차원 길이가 증가함에 따라 휨 유용도는 증가 하나 더 큰 Biot 수에서는(즉,  $Bi = 0.3$ ) 유용도에 대한 휨 형상의 효과의 변화 경향은 다소간 불규칙적이다.

\*강원대학교 기계공학과(Kangwon National University Dept. of Mechanical Engineering)

\*\*경기공업대학 기계과(Kyonggi Technical College Dept. of Mechanical Engineering)

## 기호 설명

$Bi$  : Biot 수 ( $= hl/k$ )  
 $h$  : 주위의 열전달 계수 ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )  
 $k$  : 환의 열전도율 ( $W/m \text{ } ^\circ C$ )  
 $s$  : 경사 요소  
 $x'$  : 길이 방향 좌표 (m)  
 $x$  : 무차원 길이 방향 좌표 ( $= x'/l$ )  
 $y'$  : 높이 방향 좌표 (m)  
 $y$  : 무차원 높이 방향 좌표 ( $= y'/l$ )  
 $z'$  : 폭 방향 좌표 (m)  
 $z$  : 무차원 폭 방향 좌표 ( $= z'/l$ )  
 $l$  : 환 높이의 반 (m)  
 $w'$  : 환폭의 반 (m)  
 $w$  : 무차원 환폭의 반 ( $= w'/l$ )  
 $L'$  : 환 길이 (m)  
 $L$  : 무차원 길이 ( $= L'/l$ )  
 $Q$  : 3차원 해석으로 구한 열전달 (W)  
 $T$  : 온도 ( $^\circ C$ )  
 $T_w$  : 환바닥 온도 ( $^\circ C$ )  
 $T_\infty$  : 주위 온도 ( $^\circ C$ )  
 $R$  : 환 저항 ( $^\circ C/W$ )

## 그리스 문자

$\theta$  : 무차원 온도 ( $(T - T_\infty) / (T_w - T_\infty)$ )  
 $\theta_0$  : 변형된 온도 ( $= T_w - T_\infty$ ) ( $^\circ C$ )  
 $\lambda_m$  : eigenvalues ( $m = 1, 2, 3, \dots$ )  
 $\mu_n$  : eigenvalues ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )  
 $\rho_{nm}$  :  $\sqrt{(\lambda_m^2 + \mu_n^2)}$   
 $\epsilon$  : 환 유용도  
 $\eta$  : 환 효율

## 1. 서 론

열전달을 연구하는 문제에 있어 환에 대하여 많은 관심을 가지게 되는데, 환의 조건 즉 변적을 크게 함으로써 열전달을 증가시킬 수 있다는 기본적인 이론을 근거로 하고 있다. 대류 열전달 계수가 낮은

공기와 같은 가스를 사용할 때 특히 환이 필요하다. 예를들면 전자부품의 냉각핀, 공냉식 자동차의 실린더부분, 가정용 냉장고의 응축기배관, 최첨단 항공기 등 열전달 장비의 핵심부분에 환의 사용이 매우 넓게 응용되고 있으며, 환의 모양도 사용되는 장치에 따라 무수히 많으며 이에 대한 연구논문도<sup>1-6)</sup> 상당량에 이른다. 산업용 열교환기의 성능예측, 환의 완벽한 설계에는 열성능 특성과 시스템의 경제성, 에너지에 대한 관심, 열역학적 해석, 투자에 대한 경제성등을 고려해 볼 때 환의 연구가 매우 중요함을 알 수 있다. 특히 열교환기의 고효율화 및 소형화는 매우 중요하며, 이를 위한 연구는 필수적이라 사료된다.

특히, 최첨단 항공기의 동력전달 엔진부분 및 가스터빈(블레이드, 베인, 버켓)에서의 냉각을 위하여 다양한 환이<sup>6-7)</sup> 사용되고 있다. 또한 설계측면에서 소형 열교환기의 열적성능에 대한 정확한 예측은 대부분의 항공우주 응용에 있어서 매우 바람직하다<sup>8)</sup>. 따라서 열전달율이 높고 소형이며 내구성이 뛰어난 열교환기를 위해서는 독자적인 환의 형상 및 개발에 많은 투자가 요구되나 현재 국내의 경우는 환 자체의 설계능력과 제작기술의 부족으로 인해 대외 기술에 의존하여 왔으나, 근래에 들면서 환의 형상 개발에 관한 연구와 환에 대한 이론적 수치해석방법등, 환의 성능예측을 위한 연구 등이 점차 증가하고 있다. 특히 환 자체의 해석 방법에는 여러 방법이 있으나 거의 2차원 해석이 주류<sup>4-5)9-10)</sup> 이루어졌다. 이와 같이 2차원 해석은 제한된 범위 내에서 실제 상황에 접근할 수 있으며 경우에 따라서는 변화 경향은 비슷하다 하더라도 실제 값과는 상당한 오차가 생길 수도 있다.

형상<sup>11-12)</sup>이나 무게에<sup>2)13)</sup> 기준을 둔 환의 최적 설계에 관한 연구들이 주로 1차원으로 해석되었으며, 또한 단순히 유한한 매개체에 대한 3차원 해석을 통한 열 전도 연구는<sup>14)</sup> 있었으나, 복잡한 형상의 환 자체에 대한 3차원 해석으로 구한 열 저항, 열 효율, 열 유용도에 대한 최적성에 관한 연구는 거의 이루어지지 않은 것으로 생각되며 이는 그 만큼 해석이 복잡해지기 때문으로 추측된다. 따라서 본 논문에서는 윗면의 경사각이 각기 다른 사다리꼴 환을 3차원 해석적 방법을 사용하여 성능 변화를 알아 본다. 실제의 사다리꼴 환을 사용할 때의 최적의 조

건에 접근하기 위해 사용한 변수들은 무차원 길이, 무차원 폭, Biot 수 그리고 흰의 윗면 경사값 등으로 무차원 길이와 무차원 폭은 각각 1에서 20까지 임의로 변화시키고, Biot 수는 0.01에서 0.4까지의 변화를 주고 흰의 위면 경사값을 변화시킴에 따라 흰의 형상을 근사적인 삼각흰에서 근사적인 사각흰으로 바뀌게 하면서 이에 따른 흰의 유용도, 효율 그리고 저항의 변화를 해석하였다. 특히 최적의 조건으로 일정한 형상이나 무게에 기준을 두지않고 흰의 사용척도로 중요시되는 주어진 변수들에 따른 유용도의 해석 결과에 중점을 두었으며 계산을 간편하게 하기 위해 흰의 열전도도, 열대류계수, 흰의 바닥 온도는 일정하며, 조건은 정상상태로 가정한다.

## 2. 3차원 수치해석

Fig. 1에서 보여지듯이 정상상태에서 윗면 경사가 각기 다른 사다리꼴 흰의 형상에 대한 3차원 지배방정식을 무차원으로 표현하면 식 (1)로 주어진다.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

식 (1)을 풀기 위하여 여섯 개의 경계조건이 요구되는데, 이러한 조건들은 무차원 형태로 식 (2)부터 식 (7)까지 보여진다.

$$\theta = 1 \quad \text{at } x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial y} = 0 \quad \text{at } y = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0 \quad \text{at } z = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} + Bi\theta = 0 \quad \text{at } x = L \quad (5)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} + Bi\theta = 0 \quad \text{at } z = w \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & - \int_0^1 \int_0^w \left[ \frac{\partial \theta}{\partial x} \right]_{x=0} dz dy = \\ & - \int_0^{1-bL} \int_0^w \left[ \frac{\partial \theta}{\partial x} \right]_{x=L} dz dy + \int_0^L Bi [ \theta ]_{z=w} y dx \\ & + \int_{1-bL}^1 \int_0^w Bi \sqrt{\frac{1}{l^2} + 1} \theta dz dy \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $\theta = (T - T_\infty) / (T_w - T_\infty)$ ,

$$x = \frac{x'}{l}, \quad y = \frac{y'}{l}, \quad z = \frac{z'}{l}, \quad w = \frac{w'}{l},$$

$$L = \frac{L'}{l} \quad \text{and} \quad Bi = \frac{hl}{k}$$

흰 내의 3차원 온도  $\theta(x, y, z)$ 는 식 (2)부터 식 (7)까지 보여지는 경계조건들을 가지고 지배방정식 (1)을 풀어서 얻어지는데, 그 결과는 식 (8)과 같다.

$$\theta(x, y, z) = \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} N_{nm} f(x) \cos(\lambda_m y) \cos(\mu_n z)$$

여기서,

$$N_{nm} = \frac{16 \sin \lambda_m \sin(\mu_n w)}{g_m \cdot g_n} \quad (9)$$

$$f(x) = \cosh(\rho_{nm} x) - f_{nm} \sinh(\rho_{nm} x) \quad (10)$$

$$f_{nm} = \frac{\rho_{nm} \tanh(\rho_{nm} L) + Bi}{\rho_{nm} + Bi \tanh(\rho_{nm} L)} \quad (11)$$

$$\rho_{nm} = \sqrt{(\lambda_m^2 + \mu_n^2)} \quad (12)$$

$$g_m = \{ 2\lambda_m + \sin(2\lambda_m) \} \quad (13)$$

$$g_n = \{ 2\mu_n w + \sin(2\mu_n w) \} \quad (14)$$

식 (8)에서 보여지는 eigenvalues  $\mu_n$  은 식 (15)으로 부터 구할 수 있다.

$$\mu_n \tan(\mu_n w) = Bi \quad (15)$$

식 (15)에서 구한  $\mu_n$ 을 에너지 balance를 만족

하는 식 (7)을 정리한 식 (16)에 대입하여 또 다른 eigenvalues  $\lambda_m$  을 구한다.

$$\begin{aligned}
 & (\rho_{nm} + \lambda_m s^2) \sin(\mu_n w) \rho_{nm} \{ \sin(\lambda_m) AA_{nm} \\
 & - Bi \sin(\lambda_m (1 - sL)) + Bi \lambda_m \mu_n \cos(\mu_n w) \\
 & \{ \rho_{nm} \cos(\lambda_m (1 - sL)) \} (CC_{nm} - DD_{nm}) \\
 & + \sin(\lambda_m (1 - sL)) \rho_{nm} \lambda_m s EE_{nm} - \rho_{nm} AA_{nm} FF_{nm} \\
 & - s BB_{nm} (GG_{nm} - HH_{nm}) \\
 & - Bi \sqrt{1 + s^2 (\rho_{nm}^2 + \lambda_m^2 s^2)} \lambda_m \sin(\mu_n w) \\
 & \{ AA_{nm} \rho_{nm} \cos(\lambda_m) - II_{nm} + \\
 & BB_{nm} \lambda_m s \sin(\lambda_m) \} = 0 \quad (16)
 \end{aligned}$$

식 (16)에서 보여지는  $AA_{nm} \sim II_{nm}$  은 식 (17) 부터 식 (25)까지 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 AA_{nm} &= \rho_{nm} \sinh(\rho_{nm} L) \\
 &+ Bi \cosh(\rho_{nm} L) \quad (17)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BB_{nm} &= \rho_{nm} \cosh(\rho_{nm} L) \\
 &+ Bi \sinh(\rho_{nm} L) \quad (18)
 \end{aligned}$$

$$CC_{nm} = Bi \rho_{nm}^2 + Bi s \lambda_m^2 + \lambda_m^2 s^3 \quad (19)$$

$$DD_{nm} = Bi \rho_{nm}^2 s L - Bi \lambda_m^2 s^3 L - \rho_{nm}^2 s \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
 EE_{nm} &= \rho_{nm}^2 + \lambda_m^2 s^2 - \rho_{nm}^2 s L \\
 &- \lambda_m^2 s^3 L - 2 Bi s \quad (21)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FF_{nm} &= \rho_{nm}^2 \cos(\lambda_m) \\
 &+ \lambda_m^2 s^2 \cos(\lambda_m) - 2 \lambda_m^2 s^2 \sin(\lambda_m) \quad (22)
 \end{aligned}$$

$$GG_{nm} = \rho_{nm}^2 \lambda_m \sin(\lambda_m) + \lambda_m^3 s^2 \sin(\lambda_m) \quad (23)$$

$$HH_{nm} = \lambda_m^2 s^2 \cos(\lambda_m) - \rho_{nm}^2 \cos(\lambda_m) \quad (24)$$

$$\begin{aligned}
 II_{nm} &= \rho_{nm} Bi \cos(\lambda_m (1 - sL)) \\
 &- \rho_{nm} \lambda_m s \sin(\lambda_m (1 - sL)) \quad (25)
 \end{aligned}$$

Fig. 1에서 보여지는 각기 경사각을 달리하는 사다리꼴 환으로 부터의 3차원 해석에 의한 열전달은 식 (26)로 주어진다.

$$Q = 4kl\theta_0 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} N_{nm} \rho_{nm} f_{nm} h_{nm} \quad (26)$$

여기서,

$$\theta_0 = T_w - T_{\infty}$$

환의 성능에는 유용도, 효율 그리고 저항 등이 있다. 3차원 해석으로 구한 경사가 각기 다른 사다리꼴 환에 대한 유용도는 식 (27)에, 환 효율은 식 (28)에 그리고 저항은 식 (29)로 각각 나타낸다.

$$\epsilon = \frac{1}{Biw} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} N_{nm} \rho_{nm} f_{nm} h_{nm} \quad (27)$$

$$\eta = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} N_{nm} \rho_{nm} f_{nm} h_{nm}}{f(s, w, L) + (L - \frac{1}{2} sL^2)} \quad (28)$$

$$R = \frac{1}{4kl \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} N_{nm} \rho_{nm} f_{nm} h_{nm}} \quad (29)$$

$$h_{nm} = \frac{\sin(\lambda_m)}{\lambda_m} \frac{\sin(\mu_n w)}{\mu_n} \quad (30)$$

$$f(s, w, L) = w(1 - sL + L\sqrt{s^2 + 1}) \quad (31)$$

### 3. 결과 및 고찰

앞의 3차원 해석으로부터 임의로 나머지 변수들을 일정하게 하였을 때 각각 Biot 수, 무차원 길이, 무차원 폭 그리고 기울기 값을 변화 시키면서 그에 따른 환 유용도와 효율의 변화를 알아보고 그와 함께 물리적 고찰을 한다.

먼저 Fig. 2a는 무차원 폭과 길이가 각각 10과 1로 주어졌을 때 각기 다른 기울기를 가진 사다리꼴 환들의 Biot 수의 변화에 따른 환 유용도의 변화를 나타낸다.

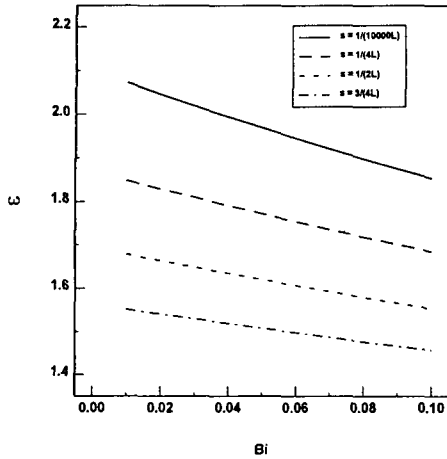


Fig. 2a. Fin effectiveness vs. Biot number for w=10 and L=1

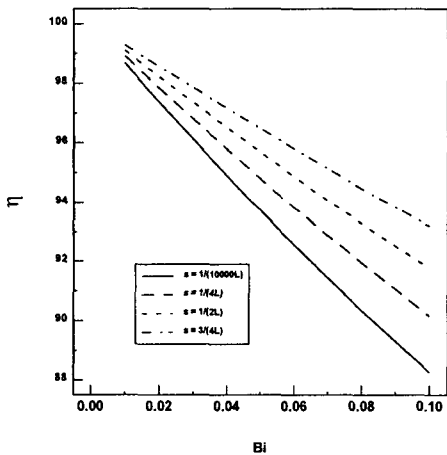


Fig. 2b. Fin efficiency vs. Biot number for w=10 and L=1

여기서 기울기가 1/(10000L)인 경우는 사각 환으로 볼 수 있으며 기울기 값이 커짐에 따라 효과는 커지며 네 경우 모두 Biot 수가 증가함에 따라 거의 선형적으로 유용도가 감소함을 보여준다. 특히 환의 설치기준을 유용도가 2이상으로 고려할 때 기울기가 1/(10000L)인 경우만 약 Biot 수가 0.04까지 유효하며 그 이외의 기울기를 가진 사다리꼴 환은 주어진 무차원 폭과 길이에서는 그리 유용하지 못함을 보여준다. Fig. 2b는 Fig. 2a와 같은 조건에서 Biot 수의 변화에 따른 환 효율의 변화를 나타

Table 1. The relative effectiveness with respect to the effectiveness for s = 3/(4L) in case of L=10, w=10

		$\frac{\epsilon_{s=i} - \epsilon_{s=3/4L}}{\epsilon_{s=3/4L}} \times 100 (\%)$		
		$\epsilon_{s=3/4L}$		
Bi	i	1/2L	1/4L	1/10000L
0.01		2.03	4.05	6.05
0.02		1.44	2.85	4.23
0.06		0.53	1.04	1.52
0.1		0.18	0.34	0.47
0.2		-0.22	-0.47	-0.74
0.3		-0.43	-0.88	-1.35
0.4		-0.57	-1.15	-1.76

낸다. 네 경우의 기울기 모두 유용도의 변화와 같이 Biot 수의 증가에 따라서 효율 값은 선형적으로 감소함을 보여주며 Biot 수가 커짐에 따라 각기 다른 기울기를 가진 환들의 효율의 차이가 커짐을 보여준다. 유용도의 변화에 비교하여 가장 현저한 효율의 변화는 유용도의 경우 주어진 Biot 수에 대하여 기울기 값이 작아질수록 그 값이 커지는데 비하여 효율의 경우는 그 반대의 경향을 보여준다. 이와 같은 현상은 물리적으로 환의 형상이 사각으로 감에 따라 유용도가 증가한다 하여도 전열면적이 사각의 경우가 삼각의 경우보다 크기 때문에 효율 측면에서는 그 반대가 됨을 의미한다. Table 1은 Fig. 2a-2b와 같은 조건에서 단지 무차원 길이를 1에서 10으로 늘린 경우에 Biot 수를 0.01부터 0.4까지 변화시킬 때 윗면 기울기가 3/(4L)에 대한 다른 기울기 값들의 상대 유용도의 변화를 나열한다. 무차원 길이가 1인 경우와 같이 Biot 수가 0.1까지는 기울기가 완만할수록 즉 물리적으로 형상이 사각쪽으로 가까이 갈수록 유용도가 더 높으나 0.1에서 0.2로 변하면서 오히려 이러한 현상이 반대로 나타남을 보여주며 그 이후 Biot 수가 커짐에 따라 이러한 현상이 조금씩 더 심화되는 것을 알 수 있다.

또한 이 Table에서는 알 수 없으나 나중 Fig.

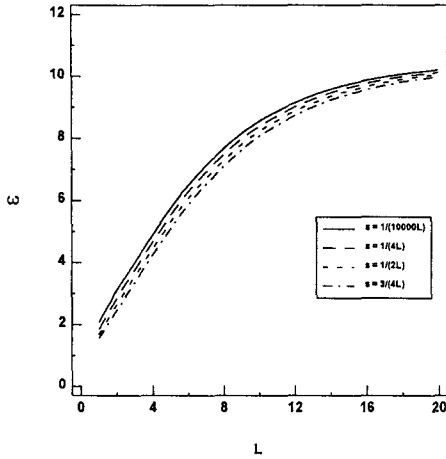


Fig. 3a. Fin effectiveness vs. the non-dimensional fin length for  $w=10$  and  $Bi=0.01$

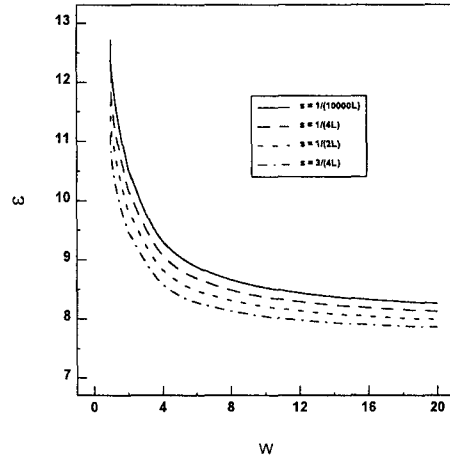


Fig. 4a. Fin effectiveness vs. the non-dimensional fin width for  $L=10$  and  $Bi=0.01$

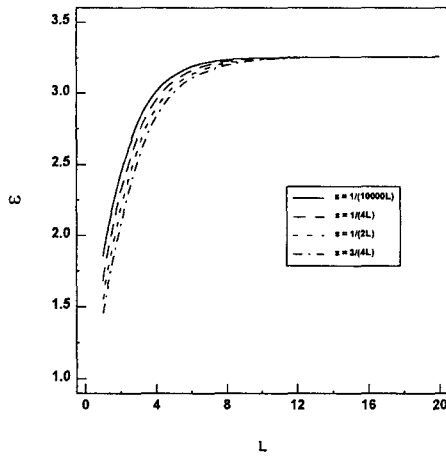


Fig. 3b. Fin effectiveness vs. the non-dimensional fin length for  $w=10$  and  $Bi=0.1$

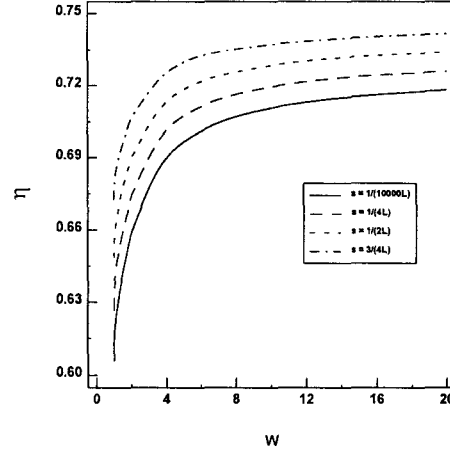


Fig. 4b. Fin efficiency vs. the non-dimensional fin width for  $L=10$  and  $Bi=0.01$

5a-5b를 보면 Biot 수가 0.1까지는 주어진 기울기 모두에 대하여 유용도가 상당히 좋음을 알 수 있다. 무차원 폭과 Biot 수가 각각 10과 0.01일 때 각기 다른 기울기를 가진 사다리꼴 핀들의 무차원 길이의 변화에 따른 핀 유용도의 변화가 Fig. 3a에서 나타난다. 무차원 길이가 1부터 20까지 변하는 동안 유용도의 크기는 Fig. 2a와 마찬가지로 기울기가 작을 수록 크며, 네 경우 모두 무차원 길이가 약 15까지는 그 값이 급격히 증가하나 그 이후에는 증가율이

둔화되며 무차원 길이가 약 2이상부터는 유용도가 모두 2보다 큼을 알 수 있다. Fig. 3b는 Fig. 3a와 같은 상황으로 단지 Biot 수가 0.01에서 0.1로 바뀐 경우이다. 무차원 길이가 약 10 이하에서 기울기가 작아짐에 따라 유용도가 커지는 것은 Biot 수가 0.01인 경우와 같으나 가장 큰 차이는 무차원 길이가 약 10 이후부터는 네 경우의 유용도가 거의 같고 증가율이 미미한 것이다. 따라서 Fig. 3b에 주어진 조건에서는 무차원 길이가 약 2부터 7사이에서

핀의 유효도가 좋음을 알 수 있다.

Fig. 4a는 무차원 길이와 Biot 수가 각각 10과 0.01로 놓았을 때 각기 다른 기울기를 가진 사다리꼴 핀들의 유효도를 무차원 폭의 함수로 나타낸다.

앞의 그림에서 유효도 값은 무차원 길이가 길어짐에 따라 같이 커졌으나 무차원 폭은 넓어짐에 따라 유효도 값은 작아짐을 보여 준다. 이와 같은 현상은 물리적으로 무차원 폭이 넓어짐에 따라 핀으로부터 열손실은 증가하나 핀의 부착 없이 그냥 벽면에서의 열손실의 증가율이 더 커짐을 의미한다. 그러나 기울기 값이 작아질수록 유효도 값이 커지는 경향은 같으며 네 가지 기울기 모두에 대하여 그 값은 무차원 폭이 약 5까지는 급격히 감소하며 그 후 서서히 감소하나 모두 8이상의 높은 값을 나타낸다. Fig. 4a와 같은 조건 아래에서 효율의 변화가 Fig. 4b에서 묘사된다. 두 그림을 비교하면 Fig. 2a-2b에서 Biot 수의 증가에 따라 유효도와 효율이 다 같이 감소한 반면 무차원 폭의 증가에 따라서는 유효도는 감소하나 효율은 증가함을 보여준다. 이와 같이 무차원 폭의 증가에 따른 효율의 증가는 물리적으로 온도가 높은 벽면의 폭이 커짐에 따라 핀 전체의 온도가 상승하며 이에 따른 효율의 증가로 해석될 수 있다. 또한 온도가 높은 흰바닥의 넓이가 커짐에 따라 열손실이 증가하게 되며 이는 열저항의 감소를 의미하는데 이는 Table 2에서 잘 나

타나 있으며 Table 2는 Fig. 4a-4b와 같은 조건에서 단지 Biot 수를 0.01에서 0.3으로 변화시켰을 때 무차원 폭의 변화에 대한 무차원 핀 저항의 변화를 나열한다.

여기서 무차원 폭의 증가에 따른 저항의 계속적인 감소는 열손실의 계속적인 증가를 의미하는데 무차원 폭이 2 까지는 기울기가 급할수록 저항값이 크다가 무차원 폭이 2에서 4까지 변화하면서 기울기 값이 완만할수록 저항값이 커지는데 그 차는 그리 크지 않을 뿐 더러 무차원 폭이 20까지 그 차이가 미미함을 보여준다. 이는 물리적으로 무차원 길이가 10 그리고 Biot 수가 0.3일 때 무차원 폭이 약 4이상에서는 핀의 성능이 핀의 형상에 별로 영향을 받지 않음을 의미한다.

Figure 5a-5c는 무차원 길이와 Biot 수를 일정하게 놓고 각각 무차원 폭이 1, 10 그리고 20인 경우에 기울기 값을 0.001부터 0.099까지 변화시킬 때 그에 따른 유효도의 변화를 나타낸다. 여기서 기울기가 0.001의 경우는 근사적인 사각 핀으로, 그리고 0.099인 경우는 근사적인 삼각 핀으로 생각할 수 있다. 먼저 Fig. 5a는 무차원 길이가 10이고 Biot 수가 0.01일 때의 경우인데 무차원 폭이 1일때가 10이나 20인 경우보다 유효도가 현저히 크다는 것을 보여주며 세 경우 모두 기울기가 증가함에 따라 유효도는 감소한다. 이는 물리적으로 삼각 핀에서 사각 핀으로 형상이 가까워짐에 따라 유효도가 선형적으로 증가한다는 것을 설명한다. 다른 조건은 다 같으면서 Biot 수만 0.01에서 0.1로 변한 경우가 Fig. 5b에서 보여진다. 앞의 그림과 비교할 때 전체적으로 유효도가 상당히 낮아졌음을 알 수 있으며 무차원 폭이 1인 경우는 Biot 수가 0.01인 경우와 마찬가지로 기울기 값이 커짐에 따라 유효도는 감소하나 무차원 폭이 10에서는 감소율이 극히 작으며 20에서는 미세하게 감소하나 그 값의 변화가 거의 없음을 보여준다. 마지막으로 Biot 수가 0.3인 경우가 Fig. 5c에서 보여주는데 앞의 두 경우와 마찬가지로 무차원 폭이 1일 때는 기울기가 증가함에 따라 유효도는 선형적으로 감소하는데 그 감소율이 상당히 낮다는 것을 알 수 있다. 반면에 무차원 폭이 10과 20에서는 모두 기울기가 커짐에 따라 유효도가 선형적으로 증가하여 앞의 두 경우와는 반대의 경향을 보

Table 2. The variation of the non-dimensional fin resistance along the non-dimensional fin width for different slope factor in case of  $L=10$ ,  $Bi=0.3$ .

		$R \cdot (kl)$			
$w$	$s$	3/4L	1/2L	1/4L	1/10000L
1		0.345039	0.343540	0.342226	0.341099
2		0.197488	0.197248	0.197085	0.197001
4		0.106752	0.106951	0.107181	0.107443
8		0.055631	0.055847	0.056077	0.056322
12		0.037625	0.037797	0.037978	0.038170
16		0.028430	0.028569	0.028715	0.028868
20		0.022848	0.022964	0.023085	0.023213

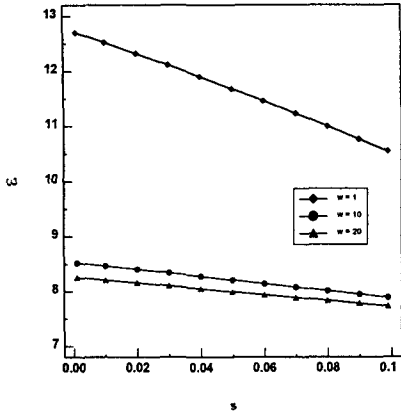


Fig. 5a. Fin effectiveness vs. the slope factor for  $L=10$  and  $Bi=0.01$

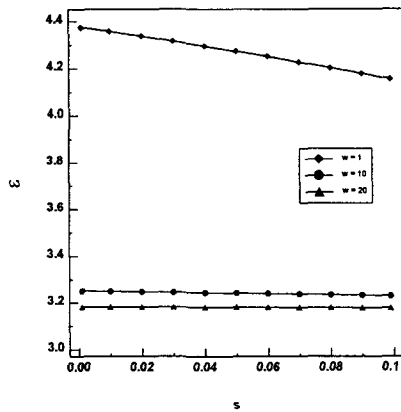


Fig. 5b. Fin effectiveness vs. the slope factor for  $L=10$  and  $Bi=0.1$

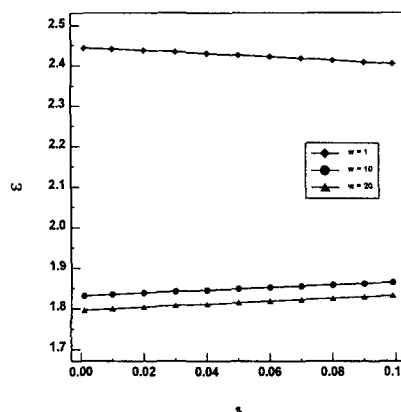


Fig. 5c. Fin effectiveness vs. the slope factor for  $L=10$  and  $Bi=0.3$

여준다. 이는 Biot 수가 어느 정도 커진다면 무차원 폭이 넓을 때 흰의 형상이 사각에서 삼각으로 변하면서 오히려 열전달이 더 잘 일어남을 의미한다. 특히 흰 설치의 기준을 유용도가 2 이상으로 잡아줄 때 Biot 수가 0.3에 이르면 무차원 폭을 크게 해 주는 것은 그리 바람직하지 않음을 나타낸다.

#### 4. 결 론

3차원 해석적 방법을 사용하여 윗면의 경사가 각기 다른 사다리꼴 흰 들에 대한 성능 해석과 결과로부터 다음의 결론을 얻을 수 있다.

다른 변수들을 고정하였을 때 Biot 수가 0.1까지는 Biot 수, 무차원 폭 그리고 흰 윗면 기울기가 작아짐에 따라, 반면에 무차원 길이는 커짐에 따라 흰 유용도는 증가하나 Biot 수가 그보다 커지면 경우에 따라서 흰 윗면 기울기가 커짐에 따라 유용도가 커지기도 하며 기울기의 변화에 따른 유용도의 변화 경향은 다소 불규칙적임을 보여준다. 효율은 주어진 범위내에서 Biot 수가 작아짐에 따라, 기울기와 무차원 폭은 커짐에 따라 증가한다. 전체적으로 효율과 유용도 값은 2차원 해석보다는<sup>10)</sup> 3차원으로 해석할 때가 다소 큰 값을 나타내었다. 이상과 같이 무차원 폭과 길이, Biot 수 그리고 흰 윗면의 기울기의 변화에 대한 유용도, 효율 그리고 저항의 변화를 제한적으로 알아보았는데 본 논문에서 사용된 3차원식을 사용하여 실제 주어진 상황에 맞는 데이터를 적용함으로써 적절한 흰의 형상과 크기를 결정하는데 큰 도움이 되리라 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. Hagen, K. D., "Perturbation Analysis of Tapered Fins with Nonlinear Thermal Properties", *J. Thermophysics*, Vol. 2, No. 3, 1988, pp. 276~279.
2. Ullmann, A. and Kalman, H., "Efficiency and Optimized Dimensions of Annular Fins of Different Cross-Section Shapes",



- Int. J. Heat Transfer, Vol. 32 1989, pp. 1105~1110
3. Chung, B. T. F. and Nguyen, L. D., "Optimization of Design Parameters for Radiating Longitudinal Fins of Various Geometries", AIAA-86-0150, 1986.
  4. Lau, W. and Tan, C. W., "Errors in One-Dimensional Heat Transfer Analyses in Straight and Annular Fins", ASME J. Heat Transfer, Vol. 95, 1973, pp. 549~551.
  5. Ma, S. W., Behbahani, A. I. and Tsuei, Y. G., "Two-Dimensional Rectangular Fin with Variable Heat Transfer Coefficient", Int. J. Heat Mass Trans., Vol. 34, 1991, pp. 79~85.
  6. Schnurr, N. M. and Cothran, C. A., "Radiation from an array of gray circular fins of trapezoidal profile", AIAA Journal, Vol. 12, 1974, pp. 1476~1480.
  7. Lemmon, E. C. and Coleman, H. W., "Turbulent heat transfer to a fin leading edge-Flight test result", AIAA Journal, Vol. 11, 1973., pp. 571~573.
  8. Ch, Ranganayakulu., K, N. Seetharamu. and K, V. Sreevatsan., "The effects of longitudinal heat conduction in compact plate-fin and tube-fin heat exchangers using a finite element method" Heat Mass Transfer, Vol. 40, No. 6, 1997, pp.1261~1277.
  9. Look, Jr. D. C., "2-D Fin Performance:  $Bi(\text{top}) > Bi(\text{bottom})$ ", ASME J. of Heat Trans., Vol. 111, 1988, pp. 780~782.
  10. Kang, H. S., "Comparison of Performances of the Various Shapes of Asymmetric Fins", KSME Int. J., Vol. 11, No. 3, 1997, pp.311~318.
  11. Snider, A. D. and Kraus, A. D., "Recent Developments in the Analyses and Design of Extended Surfaces", ASME J. of Heat Trans., Vol. 105, 1983, pp.302~306.
  12. Jany, P. and Bejan, A. "Ernst Schmidt's approach to fins with variable conductivity and the design of ducts for fluid flow", Int. J. Heat Mass Trans., Vol. 31, 1988, pp. 1635~1644.
  13. Hrymak, A. N., Mcrae, G. J. and Westerberg, A. W., "Combined Analysis and Optimization of Extended Heat Transfer Surfaces", ASME J. of Heat Trans. Vol. 107, 1985, pp. 527~532.
  14. Al-Najem, N. M. and Özisik, M. N., "On the solution of Three-Dimensional Inverse Heat Conduction in Finite Media," Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 28, 1985, pp.2121~2127.