사각 휜에 대한 성능해석

강형석* · 윤세창** · 이성주**
(1999년 4월 20일 접수)

Performance Analysis of the Rectangular Fin

Hyung Suk Kang, Sea Chang Yoon and Sung Joo Lee

Key Words: Relative Error(상대 오차), Fin Effectiveness(휜 유용도), Fin Resistance(휜 저항), Fin Efficiency(휜 효율)

Abstract

Performance of a rectangular fin is investigated by a three dimensional analytical method. Heat loss and the temperature obtained from the three dimensional analysis are compared with those calculated from a two dimensional analysis. Fin effectiveness, fin resistance and fin efficiency for the rectangular fin are presented as a function of non-dimensional fin length and fin width. The results are obtained in the following : (1) heat loss calculated from the two dimensional analysis is the same as that obtained from the three dimensional analysis with adiabatic boundary condition in z-direction, (2) heat loss obtained from the two dimensional analysis approaches the value for the three dimensional analysis as the non-dimensional fin width becomes large, (3) fin effectiveness increases as non-dimensional fin length increases and non-dimensional fin width decreases, and vice versa for fin efficiency.

기호설명

Bi : Biot 수 ($= h l / k$)
h : 주위의 열전달 계수 (W/m^2 °C)
k : 휜의 열전도율 (W/m °C)
x : 무차원 길이 방향 좌표 ($= x'/l$)
y : 무차원 높이 방향 좌표 ($= y'/l$)
z : 무차원 폭 방향 좌표 ($= z'/l$)
l : 휜 높이의 반 (m)
w : 무차원 휜폭의 반 ($= w'/l$)
L : 무차원 길이 ($= L'/l$)
Q_2 : 2차원 해석으로 구한 열전달 (W)
Q_3 : 3차원 해석으로 구한 열전달 (W)
$Q_{3,1}$: z방향으로 열흐름이 없다고 가정할 때 3차원 해석으로 구한 열전달 (W)
T : 온도 (°C)
T_w : 휜바닥 온도 (°C)
T_∞ : 주위 온도 (°C)
$R_{t,f}$: 휜 저항 (°C/W)

그리스문자

θ : 무차원 온도 ($T-T_\infty$)/(T_w-T_∞)
θ_0 : 변형된 온도 ($= T_w-T_\infty$) (°C)
θ_2 : 2차원 해석으로 구한 무차원 온도
θ_3 : 3차원 해석으로 구한 무차원 온도
λ_n : eigenvalues (n = 1, 2, 3, · · ·)
μ_m : eigenvalues (m = 1, 2, 3, · · ·)
ρ_{nm} : $\sqrt{(\lambda_n^2+\mu_m^2)}$

* 회원, 강원대학교 기계공학과
E-mail : hkang@cc.kangwon.ac.kr
TEL : (033)250-6316 FAX : (033)242-6013
** 회원, 경기공업대학 공조냉동과

ε_f : 휜 유용도

η_f : 휜 효율

상첨자

$'$: 차원 변수

1. 서 론

우리들 주변에서 휜이 사용되는 곳은 무수히 많다. 가정용 주방기기, 컴퓨터로부터 공조 및 냉동기, 최첨단 항공기까지 거의 사용되지 않는 곳이 없다. 사용되는 휜의 형상도 무수히 많으며, 이 같은 여러 형상의 휜들에 대한 연구도[1~4] 많이 발표되었다. 이러한 연구들 중에는 휜 자체에 대한 직접적인 해석을 한 연구뿐만 아니라, 다른 기기에 휜을 부착함으로써 그 효과를 보여주는 논문도[5~7] 많이 있다. 특히 휜 자체에 대한 직접적인 해석에는 여러 가지 방법이 있으나 주로 2차원 해석으로 많이 다루어져 왔고, 2차원 해석에 대한 1차원 해석의 오차를 보여주는 연구도[8~9] 많이 있다. 유한한 매개체에 대한 3차원 전도 문제에 관한 연구가[10~11] 몇몇 발표되었으나 휜 자체에 대한 3차원 해석을 통한 열손실 및 최적성에 관한 연구는 거의 이루어지지 않은 것으로 생각된다.

본 논문에서는 주변에서 많이 사용되어지며 비교적 형상이 단순한 사각 휜을 모델로 하여 3차원 해석을 하였다. 사용된 방법으로는 해석적 방법을 택하였으며 두 가지 경우에 대하여 알아보았다. 한 경우는 실제 3차원으로 해석하였으며, 또 하나의 경우는 z방향으로 열흐름이 일어나지 않는다고 가정하였을 때의 3차원 해석이다. 각각 이와 같은 두 경우로부터 구한 열전달에 대하여 2차원 해석으로 구한 열전달과의 상대오차를 보여주고 임의의 무차원 길이에 따른 실제 3차원 해석으로 구한 온도분포에 대하여 2차원 해석으로 구한 온도 분포 값의 상대오차를 알아본다. 비교를 위하여 사용된 2차원 해석으로 구한 온도와 열전달 값에 대한 식은 따로 표현하지 않고 참고문헌의[9] 식을 사용한다. 실제 사각 휜을 사용할 때 최적의 조건에 근접하기 위하여 임의로 무차원 길이를 주고 무차원 폭을 변화시키면서 그에 따른 휜유용도, 휜 저항, 그리고 휜 효율의 변화를 보여준다. 또한 임의로 주어진 무차원 폭에 대하여 휜 유용도, 휜 저항, 그리고 휜 효율을 무차원 길이의 함수로 나타낸다. 이와 같은 해석을 하는데 있어서 Biot 수는 0.01과 0.1을 택하였고 또한 계산을 간편하게 하기 위하여 휜재질의 열전도율, 주위의 열전달 계수, 그리고 휜의 바닥온도는 일정하며, 조건은 정상상태로 가정한다.

2. 3차원 수치해석

정상상태에서 Fig. 1에서 보여지는 사각 휜의 형상에 대한 3차원 지배 방정식을 무차원화 하면 식 (1)로 주어진다.

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

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

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

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

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

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

$$\frac{\partial\theta}{\partial y} + Bi\cdot\theta = 0 \quad \text{at} \quad y = 1 \qquad (6)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} + Bi\cdot\theta = 0 \quad \text{at} \quad z = w \qquad (7)$$

여기서,

$$\theta=(T-T_\infty)/(T_w-T_\infty),\ x=\frac{x'}{l},$$

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

그리고 $Bi=\frac{hl}{k}$ 를 각각 나타낸다.

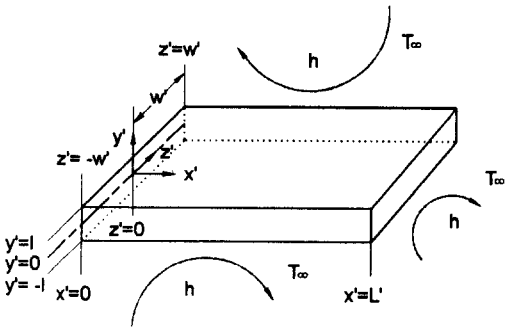

Fig. 1 Three dimensional geometry of a rectangular fin

휜 내의 3차원 온도 $\theta_3(x,y,z)$는 식 (2)부터 식 (7)까지 보여지는 경계조건들을 가지고 지배방정식 (1)을 풀어서 얻어지는데, 그 결과는 다음과 같다.

$$\theta_3(x,y,z) = \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty} N_{nm}\cdot f(x)\cdot f(y,z) \quad (8)$$

여기서,

$$f(y,z) = \cos(\lambda_n y)\cdot\cos(\mu_m z) \quad (9)$$

$$N_{nm} = A_n\cdot B_m \quad (10)$$

$$A_n = \frac{4\sin(\lambda_n)}{2\lambda_n+\sin(2\lambda_n)} \quad (11)$$

$$B_m = \frac{4\sin(\mu_m w)}{2\mu_m w+\sin(2\mu_m w)} \quad (12)$$

$$f(x) = \cosh(\rho_{nm}x) - f_{nm}\cdot\sinh(\rho_{nm}x) \quad (13)$$

$$f_{nm} = \frac{\rho_{nm}\cdot\tanh(\rho_{nm}L)+Bi}{\rho_{nm}+Bi\cdot\tanh(\rho_{nm}L)} \quad (14)$$

$$\rho_{nm} = \sqrt{(\lambda_n^2+\mu_m^2)} \quad (15)$$

를 각각 나타낸다.

식 (9)에서 보여지는 고유치 λ_n과 μ_m은 각각 식 (16)과 식 (17)로부터 구해진다.

$$\lambda_n\cdot\tan(\lambda_n) = Bi \quad (16)$$

$$\mu_m\cdot\tan(\mu_m w) = Bi \quad (17)$$

만약 z방향으로 열흐름이 없다고 가정한다면 μ_m은 다음 식으로 구할 수 있게 된다.

$$\mu_m\cdot\sin(\mu_m w) = 0 \quad (18)$$

Figure 1에서 보여지는 사각 휜으로부터의 3차원 해석에 의한 열전달량은 식 (19)로 주어진다.

$$Q_3 = 4kl\theta_0\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty} N_{nm}\cdot\rho_{nm}\cdot f_{nm}\cdot C_{nm} \quad (19)$$

여기서,

$$C_{nm} = \frac{\sin(\lambda_n)}{\lambda_n}\cdot\frac{\sin(\mu_m w)}{\mu_m} \quad (20)$$

그리고 $\theta_0 = T_w - T_\infty$ 를 나타낸다.

휜의 성능에는 휜 유용도, 휜 저항 그리고 휜 효율이 있다. 3차원 해석으로 구한, 휜 유용도는 식 (21)에, 휜 저항은 식 (22)에 그리고 휜 효율은 식 (23)으로 각각 나타낸다.

$$\varepsilon_f = \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{N_{nm}\cdot\rho_{nm}\cdot f_{nm}\cdot C_{nm}}{Bi\cdot w} \quad (21)$$

$$R_{t,f} = \frac{1}{4kl\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty} N_{nm}\cdot\rho_{nm}\cdot f_{nm}\cdot C_{nm}} \quad (22)$$

$$\eta_f = \frac{\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty} N_{nm}\cdot\rho_{nm}\cdot f_{nm}\cdot C_{nm}}{Bi\cdot(Lw+L+w)} \quad (23)$$

3. 결과 및 고찰

Figure 2는 Biot 수가 0.01일 때, 무차원 길이 L이 각각 1과 10인 경우에 무차원 휜폭의 반을 0.1부터 20까지 변화시킬 때, z방향으로의 열흐름이 없다고 가정했을 경우 3차원 해석으로 구한 열전달에 대한 2차원 해석으로 구한 열전달의 상대오차를 나타낸다. 그림에서 보여주듯이 상대오차는 무차원 폭과 길이 값에 관계없이 0으로 나타난다. 이로부터 2차원 해석으로 구한 열전달은 z방향으로 열흐름이 없다고 가정했을 때의 3차원 해석으로 구한 열전달과 같음을 알 수 있고, 실제 3차원 경우의 열전달 값과는 다르지만 실제 휜으로부터의 열전달 변화 경향을 충분히 나타낼 수 있음을 보여준다. 실제 3차원 해석으로 구한 사각 휜으로부터의 열전달에 대한 2차원

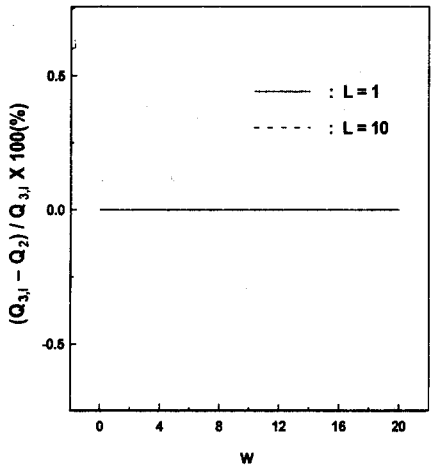

Fig. 2 Relative errors in the 3-D analytic method(no heat flow along the z direction) and 2-D analytic method of computing the heat loss as a function of w for Bi = 0.01

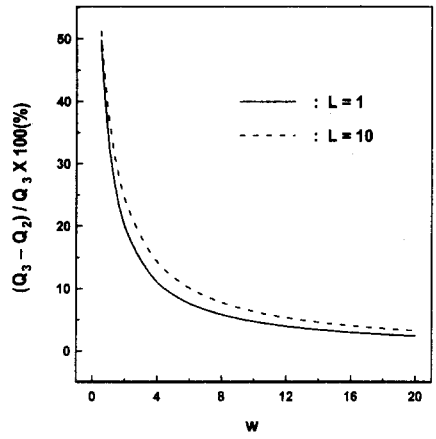

Fig. 3 Relative errors in the 3-D analytic method and 2-D analytic method of computing the heat loss as compared to the 3-D analytic method as a function of w for Bi = 0.01

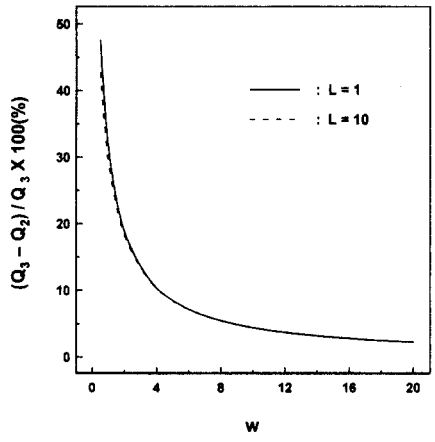

Fig. 4 Relative errors in the 3-D analytic method and 2-D analytic method of computing the heat loss as compared to the 3-D analytic method as a function of w for Bi = 0.1

해석으로 계산된 열전달의 상대오차 값이 Fig. 3에서 보여진다. 여기서 조건은 Fig. 2의 경우와 같이 Biot 수는 0.01로 놓고 무차원 길이 L이 각각 1과 10인 경우에 대하여 무차원 폭의 반을 (w) 0.1부터 20까지 변화시킨다. 무차원 길이가 1과 10 두 경우 모두 상대오차는 무차원 폭이 약 5까지 급격히 감소하다가 그 이후 서서히 감소함을 보여준다. 또한 L이 10일 때의 상대오차가 L이 1일 때 보다는 더 크며 무차원 폭이 커질수록 그 차이가 줄어듬을 알 수 있다. Figure 4는 Fig. 3에 비해 Biot 수를 0.01에서 0.1로 변화시킨 경우에 대한 계산 결과이다. 상대오차의 변화 경향은 Biot 수가 0.01인 경우와 유사하나, 무차원 길이가 1과 10일 경우 모두 상대오차 값의 차이가 별로 없으며 오히려 L이 10일 경우가 상대오차 값이 미세하나마 더 작아짐을 알 수 있다. Figures 3, 4로부터 무차원 폭이 약 4까지는 10 % 이상의 오차를 나타내며 휜폭이 높이의 20배에 달하면 2차원 해석으로 구한 열전달은 (또는 z방향으로 열흐름이 없다고 가정했을 때 3차원 해석으로 구한 열전달) 실제 3차원 휜으로부터의 열전달에 대하여 2.3 % 내의 상대오차를 가지게 됨을 알 수 있다. 결국 폭이 높이에 비하여 상당히 클 때는 2차원 해석으로 구한 열전달을 실

제 3차원 휜으로부터의 열전달 값의 근사치로 사용할 수 있음을 보여준다.

Table 1은 길이가 높이의 3배가되는 무차원 길이가 6일 때 Biot 수가 0.01, 0.1인 경우 휜 중심과 폭의 양단에서, 무차원 길이 좌표를 변화시키면서 실제 3차원 해석으로 구한 온도에 대한 2차원 해석으로 구한 온도의($\theta_2(x, y)$)[9] 상대오차를 나타낸다. 무차원 폭이 좁을 때는 (i.e. w = 1) 중심과 폭의 양단에서 모두 상대오차가 크며, Biot 수가 0.1인 경우가 0.01인 경우보다 상대오차가 더 큼을 보여준다. 무차원 폭이 넓을 때는 (i.e. w = 20) 중심에서는 상대오차가 극히 작음을 보여주고 Biot 수가 0.01일 때가 0.1때 보다 약간 더 크나 폭의 양단에서는 Biot 수가 0.1일 때가 0.01일 때 보다 훨씬 더 크게 나타난다. 이와 같은 현상은 폭이 좁을 때는 z방향으로 온도구배가 급격히 일어나며 이에 따른 휜 중심의 온도도 더 낮아지나 폭이 넓게 되면 z방향으로 온도구배가 완만해 지며 이에 따른 휜 중심의 온도도 폭이 좁을 때에 비하여 높기 때문이다. 또한 폭이 넓을 때 폭의 양단에서 상대오차가 Biot 수가 0.1일 때가 0.01일 때 보다 상당히 큰 것은 Biot 수가 0.1일 때는 z방향으로 온도구배가 좀 더 크기 때문이며 중심에서는 Biot 수가 0.01일 때가 0.1일 때 보다 약간 더 크나 상대오차가 극히 작음을 보여주는 것은 두 경우 모두 2차원 해석으로 구한 온도를 3차원 온도로 구한 값으로 보아도 무방함을 의미한다.

Figures 5~7은 무차원 폭이 1일 때 Biot 수가 0.01, 0.1인 경우에 무차원 길이를 0.1에서 20까지 변화 시킬 때 그에 따른 3차원 해석으로 구한 사각 휜의 휜 유용도, 휜 저항 그리고 휜 효율의 변화를 보여준다. Figure 5는 휜 유용도의 변화를 보여주는데 Biot 수가 0.01일 때 L이 약 10까지 꾸준히 증가하다가 그 이후에는 증가율이 줄어들고, Biot 수가 0.1인 경우 L이 약 4까지 증가율이 현저히 크게 나타나며 그 이후에는 증가율이 미미함을 보여준다. 보통 휜 유용도는 2이상일 때 유효한 측면에서, 두 Biot 수의 경우에 대하여 L이 약 0.6 이상은 되어야 함을 보여준다. 또한 휜 유용도의 증가율 측면을 고려하면 무차원 폭이 1일 때 Biot 수가 0.01인 경우 L이 약 12~14까지, Biot 수가 0.1인 경우 L이 약 4까지 유효함을 보여준다. 휜 저항의 변화는 Fig. 6에서 보여주는데 Biot 수가 0.01인 경우 L이 0.1부터 약 4까지 급격히 감소하고 그 이후 서서히 감소함을 보여주는데 이는 L이 약 4까지 열전달이 현저히 증가하다가 그 이상부터는 완만히 증가함을 의미한다. Biot 수가 0.1일 때는 L이 약 2까지 급격히 감소하고 그 후 서서히 감소함을 보여준다. 휜 효율은 Fig. 7에서 나타나듯이 주어진 L의 범위에서 Biot 수가 0.01일 때는 99.9 % 에서 34.2 %까지 변화하며, Biot 수가 0.1에서는 98.9 %부터 10.8 %로 변화한다.

Figures 8~10은 각각 무차원 길이를 1로 놓고 Biot 수가 각각 0.01, 0.1인 경우에 무차원 폭을 0.1부터 20까지 변화시킬 때, 3차원 해석으로 구한 사각 휜의 휜 유용도, 휜 저항 그리고 휜 효

Table 1 Relative error in the non-dimensional temperature along the fin length for L = 6 and y = 0

$$\frac{(\theta_3-\theta_2)}{\theta_3} X\ 100\ (\%)$$

x	w = 1, Bi = 0.01	
	z = 0	z = 1
1.2	- 4.73	- 5.25
3.6	- 12.67	- 13.23
6.0	- 15.81	- 16.39
	w = 1, Bi = 0.1	
	z = 0	z = 1
1.2	- 15.82	- 21.48
3.6	- 60.74	- 68.84
6.0	- 96.24	- 106.13
	w = 20, Bi = 0.01	
	z = 0	z = 20
1.2	- 0.008	- 1.95
3.6	- 0.023	- 3.66
6.0	- 0.030	- 4.18
	w = 20, Bi = 0.1	
	z = 0	z = 20
1.2	- 0.001	- 13.14
3.6	- 0.006	- 26.20
6.0	- 0.010	- 32.09

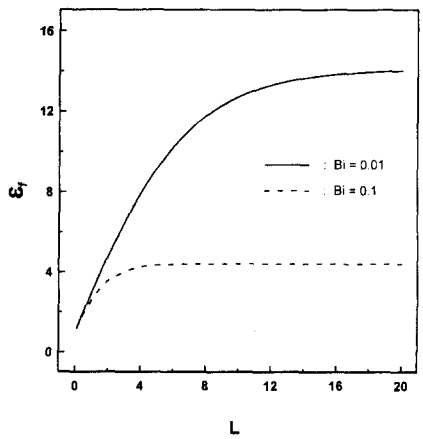

Fig. 5 Fin effectiveness vs. the non-dimensional fin length for w =1

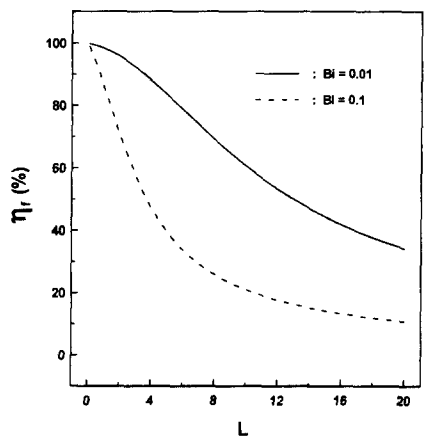

Fig. 7 Fin efficiency vs. the non-dimensional fin length for w = 1

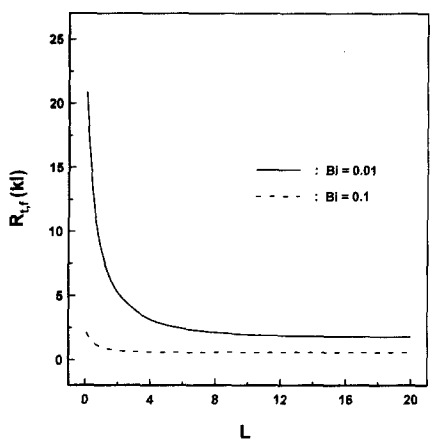

Fig. 6 Fin resistance vs. the non-dimensional fin length for w = 1

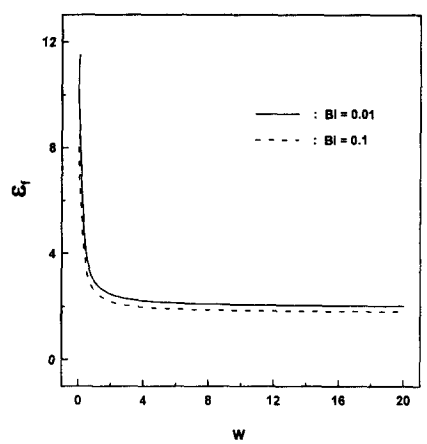

Fig. 8 Fin effectiveness vs. the non-dimensional fin width for L=1

율을 무차원 폭의 함수로 나타낸다. 휜 유용도의 변화는 Fig. 8에서 보여지는데 두 Biot 수 경우 모두 무차원 폭이 0.1~2 까지는 휜 유용도가 급격히 감소하나, 약 2이상부터는 상대적으로 감소율이 둔화된다. 특히 Biot수가 0.1일 때는 무차원 폭이 약 4이상에서는 휜 유용도의 값이 2이하를 나타내는데 이로부터 무차원 길이가 1이고 Biot 수가 0.1일 때는 무차원 폭을 4이상 하지 않는 것이 좋다는 것을 알 수 있으며, 다른 경우에 대하여도 이와 같은 해석으로 휜 설치의 유용도를 판단할 수 있다고 생각된다. Figure 9는 휜 저항의 변화를 나타내는데 Biot 수가 0.01일 때는 무차원 폭이 약 3까지 급격히 감소하다가 그 이후 20까지 서서히 감소하는 반면 Biot 수가 0.1인

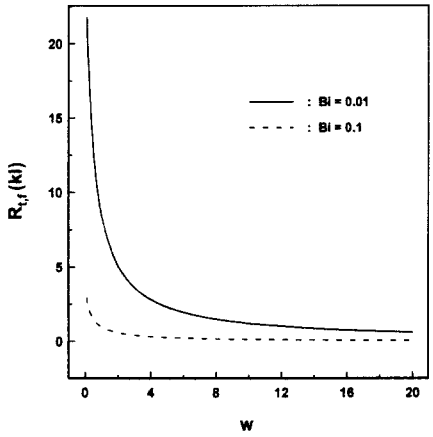

Fig. 9 Fin resistance vs. the non-dimensional fin width for L=1

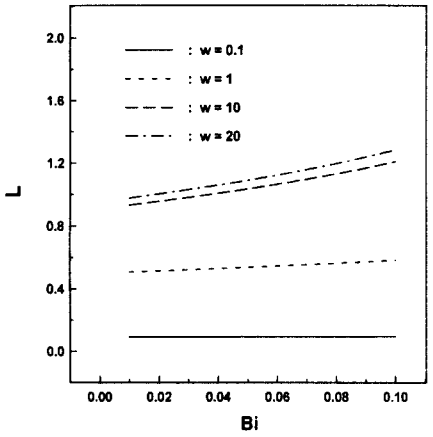

Fig. 11 The relation between non-dimensional fin length and Biot number for $\varepsilon_f > 2$

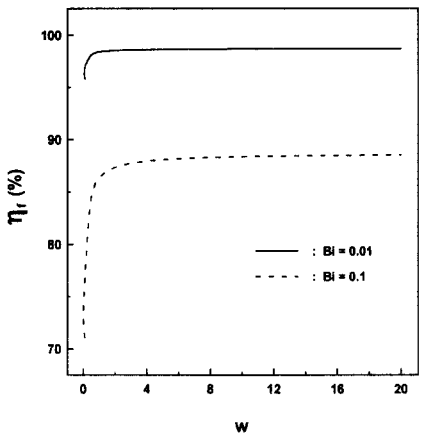

Fig. 10 Fin efficiency vs. the non-dimensional fin width for L=1

경우에는 무차원 폭이 약 1까지 급히 감소하고 약 4 이후부터는 변화율이 미미하다. 휜 효율의 변화는 Fig. 10에서 보여지는데 Biot 수가 0.01일 때는 무차원 폭이 약 0.5까지, Biot 수가 0.1일 때는 약 1까지 휜 효율이 현저히 증가하다가 그 후 증가율이 미미하며 Biot 수가 0.01일 때가 0.1일 때 보다 상당히 높은 값을 가진다. 지금까지의 휜 유용도, 휜 저항 그리고 휜 효율의 무차원 길이 및 무차원 폭에 대한 변화 및 관계를 정리해 보면, 휜 유용도는 주어진 무차원 폭에서 무차원 길이가 커짐에 따라 같이 커지나 주어진 무차원 길이에서 무차원 폭이 커짐에 따라서는 작아지며, 휜 효율은 변화 경향이 휜 유용도와 반대가 되는 것을 알 수 있다. 휜 저항은 주어진 무차원 폭에서 무차원 길이가 커짐에 따라, 주어진 무차원 길이에서 무차원 폭이 커짐에 따라 두 경우 모두 감소한다.

마지막으로 Fig. 11은 몇 가지 무차원 폭값에 대하여 유용도가 2 이상 되는 무차원 길이와 Biot 수 사이의 관계를 나타낸다. 무차원 폭이 0.1인 경우는 Biot 수에 따른 길이변화가 거의 없는 반면, 무차원 폭이 10과 20인 경우는 유용도 2이상을 유지하기 위해서 Biot 수가 증가함에 따라 무차원 길이의 증가가 요구된다. 또한 무차원 폭이 커질수록 유용도가 2 이상이 되기 위해서는 같은 Biot 수에서 요구되는 무차원 길이가 커짐을 보여 준다.

4. 결 론

지금까지 살펴본 결과 및 고찰로부터 다음과

같은 결론을 얻을 수 있다

(1) 휜의 무차원 폭과 길이에 관계없이 2차원 해석으로 구한 열전달은 z방향으로 열흐름이 없다고 가정했을 때 3차원 해석으로 구한 열전달 값과 같으며, 이는 2차원 해석은 실제 정확한 값보다는 보다 간편한 계산으로 변화 추이를 예측할 수 있음을 말해준다.

(2) 휜의 폭이 높이에 비해 상당히 클 때 휜 중심에서는 2차원 해석으로 구한 온도 분포 값과 실제 3차원 해석으로 구한 온도 분포 값은 거의 같으나 폭의 양단에서는 여전히 상당한 오차가 발생한다.

(3) 주어진 무차원 폭의 경우 (여기서는 w = 1) 휜 유용도나 휜 저항의 측면에서 Biot 수가 0.01일 때는 L이 약 10까지 휜의 유용도가 좋으며, Biot 수가 0.1일 때는 L이 약 4까지 유용함을 보여준다.

(4) 주어진 무차원 길이의 경우 (여기서는 L = 1) Biot 수가 0.01일 때 무차원 폭이 약 4까지, Biot 수가 0.1일 때는 무차원 폭이 약 1까지 휜의 유용성이 좋음을 보여준다.

특히 (3), (4)의 결론은 제한된 무차원 폭과 길이에 대하여 주어졌지만, 핀의 열전도율과 열전달 계수가 주어질 경우 실제 사각 휜을 사용할 때 본 논문에서 보여지는 식을 이용하여 다양하게 무차원 폭과 길이를 변화시키면서 사용될 휜의 최적성을 구하는데 많은 도움이 되리라 생각된다.

참고문헌

(1) Chung, B. T. F., and Nguyen, L. D., 1986, "Optimization of Design Parameters for Radiating Longitudinal Fins of Various Geometries," *AIAA-86-0150.*

(2) Hagen, K. D., 1988, "Perturbation Analysis of Tapered Fins with Nonlinear Thermal Properties," *J. Thermophysics*, Vol. 2, No. 3, pp. 276～279.

(3) Ullmann, A., and Kalman, H., 1989, "Efficiency and Optimized Dimensions of Annular Fins of Different Cross-Section Shapes," *Int. J. Heat Mass Transfer,* Vol. 32, pp. 1105～1110.

(4) Kang, H. S., 1997, "Comparison of Performances of the Various Shapes of Asymmetric Fins," *KSME Int. J.*, Vol. 11, No. 3, pp. 311～318.

(5) Moukalled, F., and Acharya, S., 1988, "Forced Convection Heat Transfer in a Finitely Conducting Externally Finned Pipe," *J. Heat Transfer,* Vol. 110, pp. 571～576.

(6) 이상천, 박병덕, 이재희, 한운혁, 1996, "수평 평활관과 마이크로핀 관내에서 HFC-134a의 응축 및 증발열전달 특성," 대한기계학회논문집 (B), 제 20권, 제 5호, pp. 1725～1734.

(7) 강희찬, 김무환, 1997, "2열 휜 튜브 열교환기의 공기 측 압력강하 및 열전달 특성을 고찰하기 위한 확대 모형 실험," 대한기계학회논문집 (B), 제 21권, 제 1호, pp. 113～124.

(8) Lau, W. and Tan, C. W., 1973, "Errors in One-Dimensional Heat Transfer Analyses in Straight and Annular Fins," *J. Heat Transfer*, Vol. 95, pp. 549-551.

(9) 강형석, 1993, "사각핀의 해석에서 3가지 다른 방법들로부터의 오차들," 강원대학교 논문집, Vol. 32, pp. 118～124.

(10) Bapu Rao, M. N., 1980, "Solutions to Heat-Conduction Problems by a Mixed Method", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 23, pp. 443～450.

(11) Al-Najem, N. M. and Özisik, M. N., 1985, "On the solution of Three-Dimensional Inverse Heat Conduction in Finite Media," *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 28, pp. 2121～2127.