산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제21권 A호, 2001.
Journal of Industrial Technology, Kangwon Nat'l Univ.,Korea, No. 21 A, 2001.

사다리꼴 fin : 사각 fin과의 열손실 비교와 열손실에 미치는 경사요소의 효과

Trapezoidal Fin : Comparison of Heat Loss with Rectangular Fin and the Effect of Slope Factor on the Heat Loss

강 형 석* 윤 세 창**
Kang, Hyung-Suk Youn, Sea-Chang

Abstract

Heat loss from the trapezoidal fins having different upper side slope and that from a rectangular fin are investigated by the three dimensional analytic method. It is shown that the trapezoidal fins having different upper side slope become an approximate rectangular fin by just adjusting the slope factor. The comparison of the heat loss between a rectangular fin and an approximate rectangular fin is represented as a function of the non-dimensional fin length, fin width and Biot number to make sure that the analysis on the trapezoidal fins having different upper side slope is countable. One of the results is that the relative value of heat loss between a rectangular fin and an approximate rectangular fin is less than 1.5% for given ranges of non-dimensional length and width in case of Bi = 0.1.

Keywords : *Heat Loss, Biot Number, Slope Factor, Trapezoidal fin*

1. 서론

열전달에는 전도에 의한 에너지 전달이 있고, 마찬가지로 경계들과 주변들 사이에 대류(혹은 복사)에 의한 에너지 전달이 있다. 특히 공기와 같이 열전달계수가 매우 적은 유체를 다루는 열교환기, 즉 전열저항이 매우 높은 공냉식 열교환기의 열전달을 향상시키기 위하여 여러 형상의 fin을 설치하는데 fin은 고체와 인접한 유체사이에서의 열전달률을 향상시키기 위해 사용되는 확장표면이다. 열전달률을 증가시키는 방법으로는 유체의 속도를 증가시키거나 유체의 주위온도를 강하시키는 방법이 있는데 유체의 운동을 증가시켜 열전달률을 증가시키는데는 휀(fan)이나 펌프의 동력들과 관련이 있으나 한계가 있으며 주위의 온도를 강하시키는 것은 비현실적이라 하겠다. 따라서 관벽이나 벽면으로부터 유체로의 확장된 표면인 fin을 사용하는 것이다.

열교환기 종류 중 자동차나 공조기, 냉동용 등에 사용하는 증발기나 응축기에서는 강제통풍식 열교환이며 내부 및 외부로 열전달을 빠르고 혹은 쉽게 하기 위해서는 부착하는 fin의 재질(알루미늄, 동,철 등)이나 fin의 형상에 많은 관심을 갖게 되었고, fin의 최적성[1~3] 및 형상에[4~7] 대한 연구논문들이 수없이 발표되고 있다. 우리가 흔히 소형튜브나 파이프 등에 부착하는 fin은 끝이 뾰족한 형상의 얇은 판형이 대부분이고, 크게 확대하여 보면 사각이나 삼각형상의 모양을 하고 있다. 그러나 사각이나 삼각형상 fin의 열전달을 연구한 논문에서 보면 간접적인 실험을 통하였거나[8~9], 직접적인 이론 해석들은 1차원,[1,2,4,7] 2차원으로[3,10] 해석한 것이 주류였다.

따라서 본 논문은 경사요소 값을 변화시킴에 따라 형상이 근사적인 삼각에서 근사적인 사각으로 변할 수 있는 사다리꼴 fin에 대하여 3차원 해석적인 방법을 사용하여 열손실을 해석하였다. 3차원 해석적 방법을 사용할 때 사각 fin의 경우는 각 면

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 교수
** 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 박사

이 서로 직각을 이루기 때문에 6개의 경계조건을 직접 지배방정식에 적용하여 해석할 수 있는 반면 사다리꼴 형상의 fin은 아래 윗면이 경사를 이루고 있으므로 일반적인 사각 fin의 경계조건을 그대로 적용하지 못하고 5개의 경계조건에 1개의 에너지 평형 방정식을 적용함으로써 한 종류의 eigenvalue들을 구하기 위한 식이 대단히 복잡해질 뿐만 아니라 두 종류의 eigenvalue들이 각각 독립적이 아니고 종속적이 된다. 따라서 모양이 변화될 수 있는 사다리꼴 fin의 경사요소 값을 아주 작게 하여 근사적인 사각 fin으로 형상을 변화시킨 후 상대적으로 식이 간단한 직접적인 사각 fin에 대한 해석으로부터 구한 열손실 값과 비교함으로써 모양이 변화하는 사다리꼴 fin에 대한 식의 신뢰성을 보여준다. 이와 같은 신뢰성 및 정확성을 바탕으로 하여 무차원 fin 길이, 폭, Biot 수 그리고 경사요소의 함수로서 사다리꼴 fin으로부터의 열손실의 변화를 해석한다.

2. 3차원 수치해석

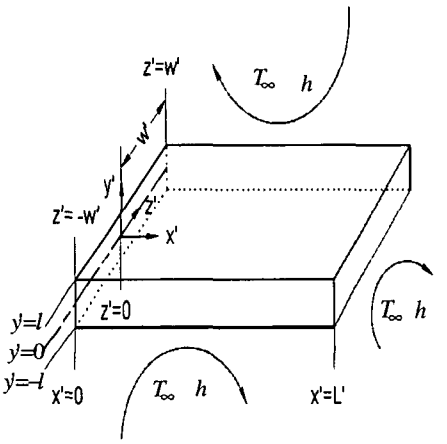


Fig. 1a Geometry of a rectangular fin

2. 1. Rectangular Fin

정상상태에서 Fig. 1a에서 보여지는 사각 휜의 형상에 대한 3차원 지배 방정식을 무차원화하면 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.

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

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

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

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

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

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

여기서,

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

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

휜내의 3차원 온도 $\theta_r(x,y,z)$는 식 (2)부터 식 (5)까지 보여지는 경계조건들을 가지고 지배방정식 (1)을 풀어서 얻어지는데, 그 결과는 식 (8)과 같다.

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

여기서,

$$f(y,z) = \cos(\lambda_m y)\cdot\cos(\mu_n z) \qquad (9)$$

$$N_{nm} = A_m\cdot B_n \qquad (10)$$

$$A_m = \frac{4\sin\lambda_m}{2\lambda_m+\sin(2\lambda_m)} \qquad (11)$$

$$B_n = \frac{4\sin(\mu_n w)}{2\mu_n w+\sin(2\mu_n w)} \qquad (12)$$

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

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

$$\rho_{nm} = \sqrt{(\lambda_m^2+\mu_n^2)} \qquad (15)$$

식 (9)에서 보여지는 고유치 λ_m과 μ_n은 각각 식 (16)과 식 (17)로 부터 구해진다.

$$\lambda_m \cdot \tan\lambda_m = Bi \tag{16}$$

$$\mu_n \cdot \tan(\mu_n w) = Bi \tag{17}$$

Figure 1a에서 보여지는 사각 휜으로 부터의 3차원 해석에 의한 열전달량은 식(18)에서 주어진다.

$$Q_r = 4kl\theta_0 \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty} N_{nm} \cdot \rho_{nm} \cdot f_{nm} \cdot C_{nm} \tag{18}$$

여기서,

$$C_{nm} = \frac{\sin(\lambda_m)}{\lambda_m} \cdot \frac{\sin(\mu_n w)}{\mu_n} \tag{19}$$

2. 2 Trapezoidal fin having different slopes

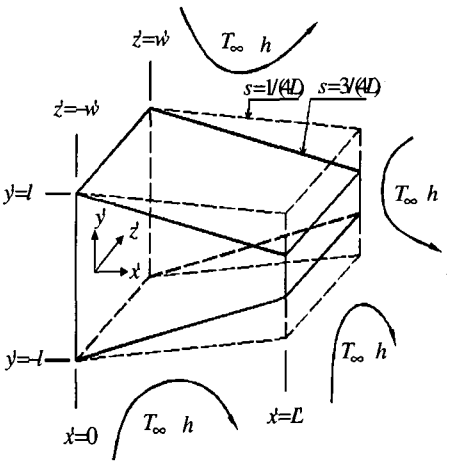


Fig. 1b Geometry of the trapezoidal fins having different upper side slope

Figure 1b에서 보여지듯이 정상상태에서 윗면 경사가 각기 다른 사다리꼴 휜의 형상에 대한 3차원 지배 방정식을 무차원으로 표현하면 앞의 사각 휜의 경우와 같은 형태인 식 (20)로 주어진다.

$$\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\theta}{\partial z^2} = 0 \tag{20}$$

식 (20)을 풀기 위하여 역시 다섯 개의 경계조건과 한 개의 에너지 평형식이 요구되는데, 이러한 조건들은 무차원 형태로 식 (21)부터 식 (26)까지 보여진다.

$$\theta = 1 \qquad \text{at } x = 0 \tag{21}$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial y} = 0 \qquad \text{at } y = 0 \tag{22}$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} = 0 \qquad \text{at } z = 0 \tag{23}$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial x} + Bi \cdot \theta = 0 \qquad \text{at } x = L \tag{24}$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} + Bi \cdot \theta = 0 \qquad \text{at } z = w \tag{25}$$

$$\begin{aligned} &-\int_0^1 \int_0^w \left[\frac{\partial\theta}{\partial x}\right]_{x=0} dz\, dy \\ &= -\int_0^{1-bL}\int_0^w \left[\frac{\partial\theta}{\partial x}\right]_{x=L} dz\, dy \\ &\quad + \int_0^L Bi\,[\,\theta]_{z=w}\, y\, dx \\ &+ \int_{1-bL}^1 \int_0^w Bi\sqrt{\frac{1}{b^2}+1}\;\theta\, dz\, dy \end{aligned} \tag{26}$$

사다리꼴 휜 내의 3차원 온도 $\theta_T(x,y,z)$는 식 (21)부터 식 (25)까지 보여지는 경계조건들을 가지고 지배방정식 (20)을 풀어서 얻어지는데, 그 형태는 사각휜의 경우와 같이 식 (27)으로 주어진다.

$$\theta_T(x,y,z) = \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty} N_{nm} \cdot f(x) \cdot f(y,z) \tag{27}$$

식 (27)에서 보여지는 각 변수들은 식 (9)부터 식 (15)까지 주어진 형태와 똑같이 주어지나 eigenvalues λ_m과 μ_n을 구하는 식이 상당히 복잡해지며 서로 종속적이 된다. 사다리꼴 fin의 경우 eigenvalues μ_n은 식 (25)을 정리한 식 (28)에서 직접 구할 수 있다.

$$\mu_n \cdot \tan(\mu_n w) = Bi \tag{28}$$

식 (28)에서 구한 μ_n을 에너지 balance를 만족하는 식 (26)을 정리한 식 (29)에 대입하여 또 다른 eigenvalues λ_m을 구한다.

$$(\rho_{nm}+\lambda_m\cdot s^2)\cdot\sin(\mu_n w)\cdot\rho_{mn}\cdot$$
$$\{\sin(\lambda_m)\cdot AA_{nm}-Bi\cdot\sin(\lambda_m(1-s\cdot L))\}$$
$$+\ Bi\cdot\lambda_m\cdot\mu_n\cdot\cos(\mu_n w)\cdot$$
$$\{\rho_{nm}\cdot\cos(\lambda_m(1-s\cdot L))\cdot(CC_{nm}-DD_{nm})$$
$$+\ \sin(\lambda_m(1-s\cdot L))\cdot\rho_{nm}\cdot\lambda_m\cdot s\cdot EE_{nm}$$
$$-\ \rho_{nm}\cdot AA_{nm}\cdot FF_{nm}$$
$$-\ s\cdot BB_{nm}\cdot(GG_{nm}-HH_{nm})\}$$
$$-\ Bi\cdot\sqrt{1+s^2}\cdot(\rho_{nm}^2+\lambda_m^2\cdot s)\cdot\lambda_m\cdot$$
$$\sin(\mu_n w)\cdot\{AA_{nm}\cdot\rho_{nm}\cdot\cos(\lambda_m)$$
$$-\ II_{nm}\ +BB_{nm}\cdot\lambda_m\cdot s\cdot\sin(\lambda_m)\}=0 \qquad (29)$$

식 (29)에서 보여지는 $AA_{nm}\sim II_{nm}$은 식 (30)부터 식 (38)까지 나타낸다.

$$AA_{nm}=\rho_{nm}\cdot\sinh(\rho_{nm}L)$$
$$+Bi\cdot\cosh(\rho_{nm}L) \qquad (30)$$
$$BB_{nm}=\rho_{nm}\cdot\cosh(\rho_{nm}L)$$
$$+Bi\cdot\sinh(\rho_{nm}L) \qquad (31)$$
$$CC_{nm}=Bi\cdot\rho_{nm}^2+Bi\cdot s\cdot\lambda_m^2+\lambda_m^2\cdot s^3 \qquad (32)$$
$$DD_{nm}=Bi\cdot\rho_{nm}^2\cdot s\cdot L$$
$$-Bi\cdot\lambda_m^2\cdot s^3\cdot L-\rho_{nm}^2\cdot s \qquad (33)$$
$$EE_{nm}=\rho_{nm}^2+\lambda_m^2\cdot s^2-\rho_{nm}^2\cdot s\cdot L$$
$$-\lambda_m^2\cdot s^3\cdot L-2\cdot Bi\cdot s \qquad (34)$$

$$FF_{nm}=\rho_{nm}^2\cdot\cos(\lambda_m)+\lambda_m^2\cdot s^2\cdot\cos(\lambda_m)$$
$$-2\lambda_m\cdot s^2\cdot\sin(\lambda_m) \qquad (35)$$
$$GG_{nm}=\rho_{nm}^2\cdot\lambda_m\cdot\sin(\lambda_m)$$
$$+\lambda_m^3\cdot s^2\cdot\sin(\lambda_m) \qquad (36)$$
$$HH_{nm}=\lambda_m^2\cdot s^2\cdot\cos(\lambda_m)-\rho_{nm}^2\cdot\cos(\lambda_m) \qquad (37)$$
$$II_{nm}=\rho_{nm}\cdot Bi\cdot\cos(\lambda_m(1-s\cdot L))$$
$$-\rho_{nm}\cdot\lambda_m\cdot s\cdot\sin(\lambda_m(1-s\cdot L)) \qquad (38)$$

Figure 1b에서 보여지는 각기 경사각을 달리하는 사다리꼴 휜으로 부터의 3차원 해석에 의한 열손실 식은 사각 fin의 경우와 같이 식 (18)의 형태로 주어진다.

3. 결과 및 고찰

사각 휜과 경사가 각기 다른 사다리꼴 휜에 대한 3차원 해석으로부터 먼저 사다리꼴 휜의 기울기를 거의 0으로 접근시킴으로써 근사적인 사각 휜으로 만든 후 사각 휜에 대한 직접적인 해석의 결과와 비교하여 변수의 변화에 따라 발생하는 상대오차를 알아본 후 경사가 각기 다른 사다리꼴휜의 해석에서 임의로 나머지 변수들을 일정하게 하였을 때 각각 무차원 길이, 폭 그리고 경사요소 값을 변화시키면서 그에 따른 열손실의 변화를 알아

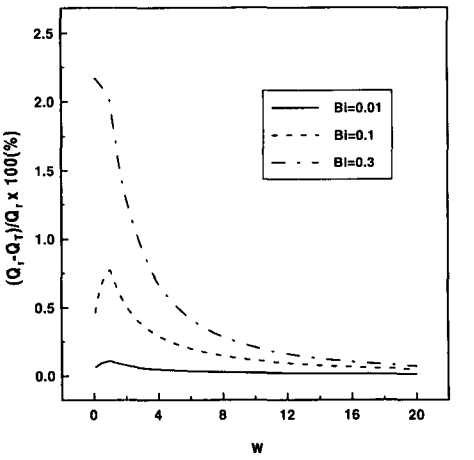


Fig. 2 The variation of the relative heat loss depending on w for L=10, s=1/(10000L)

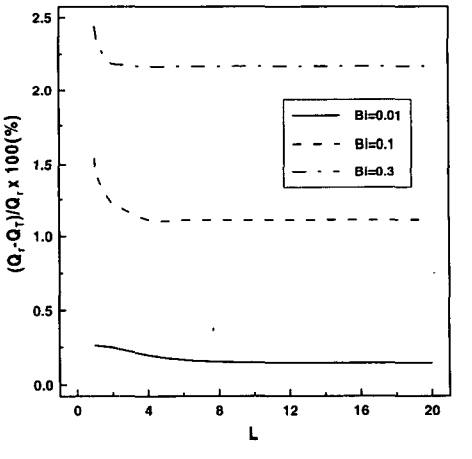


Fig. 3 The variation of the relative heat loss depending on L for w=0.1, s=1/(10000L)

보고 그와 함께 물리적 고찰을 한다.

Figure 2는 사다리꼴 휜의 윗면 기울기를 1/(10000L)로 하여 근사적인 사각 휜 형태로 한 후 무차원 길이가 10일 때 세가지 경우의 Biot 수에 대하여 무차원 폭을 0.1부터 20까지 변화시키면서 그에 따른 실제 사각휜의 열손실에 대한 상대오차를 나타낸다. 무차원 폭이 4이하에서0.1로 감소할

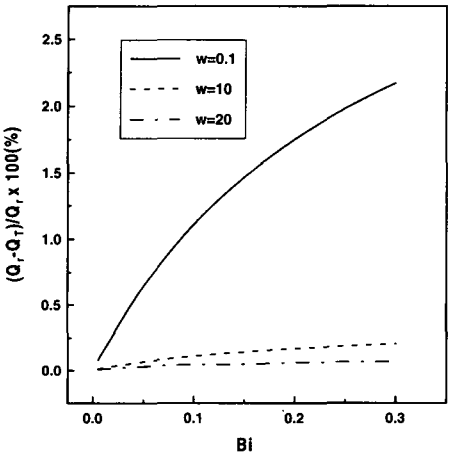


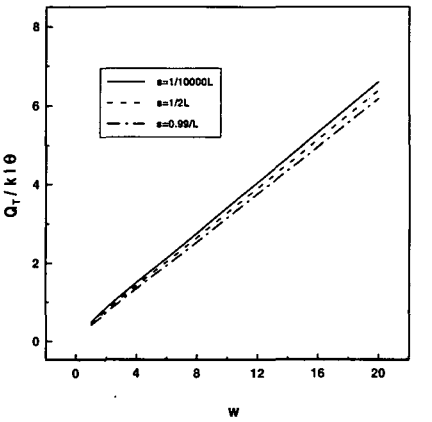
Fig. 4 The varion of the relative heat loss depending on the Biot number for L=10, S=1/(10000L)

Table 1. Temperature comparison along the center line between a rectangular and an approximate rectangular fin for L=10, W=0.1(y=0, z=0)

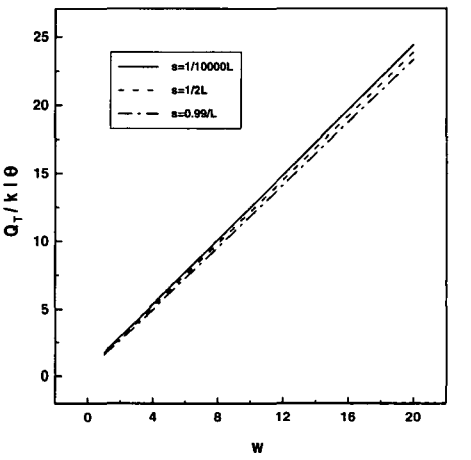
x	Bi=0.01		Bi=0.3	
	θ_r	θ_T $(s=\frac{10^{-4}}{L})$	θ_r	θ_T $(s=\frac{10^{-4}}{L})$
2	0.517948	0.518438	0.028319	0.030165
4	0.270306	0.270843	0.000782	0.000886
6	0.145942	0.146395	0.000021	0.000026
8	0.088140	0.088512	0.000001	0.000001
10	0.070538	0.070875	0.000000	0.000000

때 Biot 수가 0.1과 0.3일 경우는 상대오차가 급격히 증가함을 보여주는 반면 Biot 수가 0.01일 때는 전체적으로 상대오차가 상당히 작음을 알 수 있다. 또한 세 경우 모두 무차원 폭이 약 3.5 이상에서는 1%내의 상대오차를 가지며 약 16이상에서는 0.2% 내의 좋은 결과를 보여준다.

무차원 폭을 0.1로 고정한 상태에서 사다리 꼴 휜의 윗면 기울기를 1/(10000L)로 하여 근사적인 사각 휜 형태로 한 후 무차원 길이를 1부터 20까지 변화시키면서 그에 따른 실제 사각휜의 열손실



(a) L=10, Bi=0.01



(b) L=5, Bi=0.1

Fig. 5 The non-dimensional heat loss versus non-dimensional fin width

에 대한 상대오차의 변화가 Fig. 3에서 보여진다. 앞의 무차원 폭 변화에 따른 상대오차의 변화와는 달리 무차원 길이 변화에 따른 상대오차의 변화가 그리 크지 않으며 특히 무차원 길이가 약 2이상부

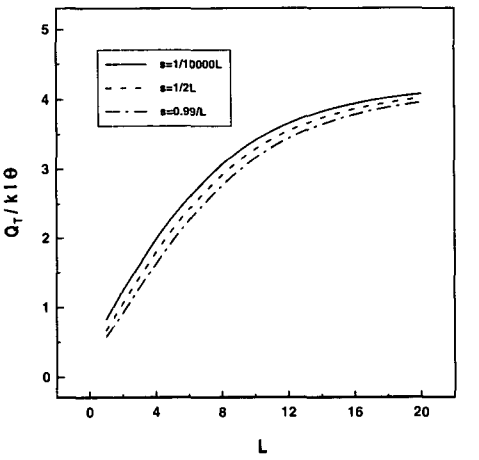
터는 거의 상대오차의 변화가 없음을 알 수 있다. 무차원 길이가 약 4이상에서는 각각 Biot 수가 0.01, 0.1 그리고 0.3인 경우 상대오차는 각각 약 0.2%, 1.1% 그리고 2.1%를 유지한다.

Figure 4에서는 세 가지 경우의 무차원 폭에 대하여 무차원 길이가 10이고 기울기가 사각휜에 가까운 1/(10000L) 일 때 Biot 수를 0.001에서 0.3까지 변화시키면서 이에 따른 실제 사각휜의 열손실에 대한 상대오차의 변화를 보여주고 있다. 무차원 폭이 좁은 0.1일때는 Biot 수의 증가와 함께 상대오차 값이 상당히 증가하나 Biot 수가 0.1정도까지는 약 1%내의 값을 가짐을 보여준다. 무차원 폭을 10 또는 20으로 비교적 크게 하였을 때는 Biot 수의 상승에 따른 상대오차의 증가량은 미미함을 나타내고 있다.

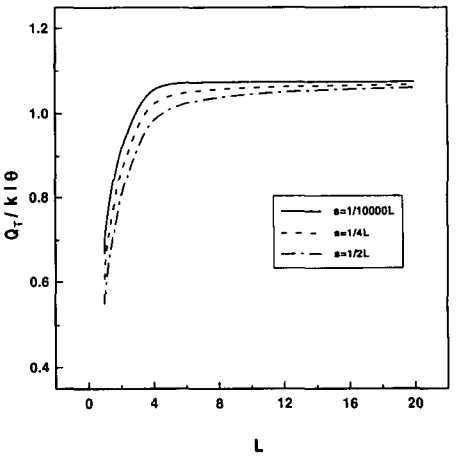
Table 1은 무차원 길이 L= 10, 무차원 폭 w= 0.1인 경우에 오차가 많이 나는 Biot 수 0.3일 때와 오차가 작은 Biot 수 0.01일 때 사각 fin과 거의 사각 fin에 근접한 사다리꼴 fin의 중심선을 따른 온도 분포의 비교를 나타낸다. 상대적으로 오차가 작은 Biot 수가 0.01일 때 중심선을 따라 x=0.2에서 온도값의 차이가 작은 반면 상대적으로 오차가 큰 Biot 수가 0.3일 때는 온도값의 차이가 제법 크다는 것을 보여준다. 또한 Biot 수가 0.3일 때는 fin 끝의 온도가 0가 됨으로써 끝에서는 더 이상 열손실이 일어나지 않음을 알 수 있다.

Figure 5a는 세 경우의 기울기 값에 대하여 무차원 길이가 10이고 Biot 수가 0.01일 때 무차원 폭을 1부터 20까지 변화시키면서 그에 따른 열손실의 변화를 나타낸다. 여기서 기울기가 1/2L은 fin 끝의 높이가 휜 base 높이의 반이 되는 사다리꼴 fin이며 1/10000L과 0.99/L은 각각 근사적인 사각 휜과 삼각 휜으로 생각할 수 있다. 세 경우 모두 휜 폭이 넓어짐에 따라 열손실은 거의 선형으로 지속적으로 증가함을 보여준다. 또한 주어진 폭의 범위에서 열손실의 크기는 기울기 값이 완만해 질수록 크다는 것을 보여준다. 앞의 그림에서 무차원 길이와 Biot 수를 각각 5와 0.1로 변화시킨 경우가 Fig. 5b에서 보여진다. 앞의 경우와 같이 무차원 폭이 넓어짐에 따라 세 경우 모두 열손실은 계속 선형적으로 증가함을 나타낸다. 이로부터 계속해서 폭을 넓히면 그에 따라 열손실도 계속해서 증가하리라는 것을 추측할 수 있으며 이는 물리적으로 온도가 높은 fin base를 넓히면 그에 따라 열손실은 선형적으로 증가함을 설명한다.

Figure 6a는 세 경우의 기울기 값에 대하여 무차원 폭이 10이고 Biot 수가 0.01일 때 무차원 길이를 1부터 20까지 변화시키면서 그에 따른 열손실의 변화를 나타낸다. 세 경우 모두 휜 길이가 길어짐에 따라 처음에는 열손실의 증가율이 크나 폭이 약 15이상 부터는 증가율이 상당히 완화됨을 보여준다. 또한 주어진 길이의 범위에서 열손실의 크기는 기울기 값이 완만해 질수록 크다는 것을 보여준다. 앞 그림과는 달리 무차원 폭을 0.5로 좁히고 Biot 수는 0.1로 크게한 후 무차원 길이를 1부터 20까지 변화시키면서 그에 따른 열손실의 변화가 Fig. 6b에서 보여진다. 여기서 기울기 값의 변화는 1/(10000L)부터 1/(2L)로 주었으며 1/(4L)은 휜 끝의 높이가 fin base 높이의 3/4이



(a) w=10, Bi=0.01



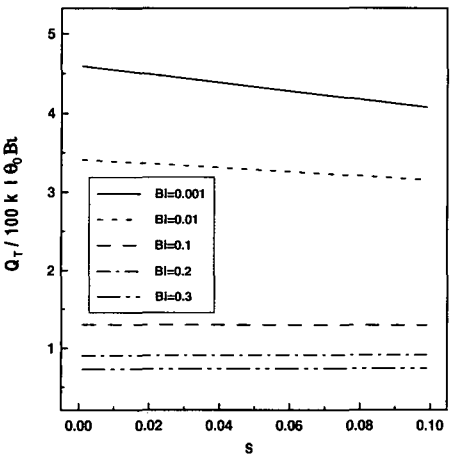
(b) w=0.5, Bi=0.1

Fig. 6 The non-dimensional heat loss versus L

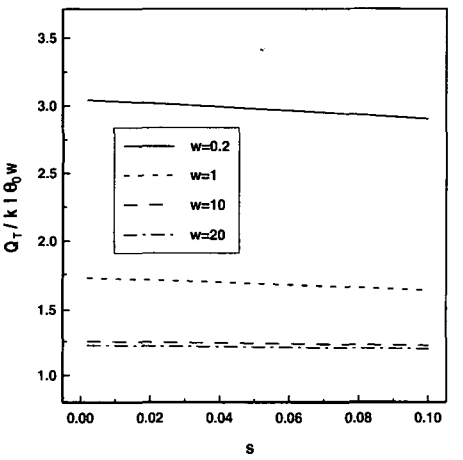
됨을 의미한다. 앞의 경우와 마찬가지로 기울기 값이 완만해질 수록 열손실은 커지나 현저히 다른

점은 무차원 길이가 약 4까지 열손실이 급격히 증가하다 그 이후에는 길이변화에 따라 열손실의 증가율이 거의 없다는 것이다. 이는 물리적으로 온도가 높은 fin base의 폭이 좁아서 무차원 길이가 약 4정도 되면 전달될 수 있는 열손실이 거의 다 일어났음을 의미하며 그 이후에는 휜길이를 더 늘리는 것이 무의미함을 보여준다.

Figure 7a는 무차원 폭과 길이를 각각 10으로 고정하고 다섯 가지 경우의 Biot 수에 대하여 기울



(a) L = 10, w = 10



(b) L=5, Bi=0.1

Fig. 7 Modified non-dimensional heat loss versus the slope factor

기 값의 변화에 따른 변형된 무차원 열손실의 변화를 나타낸다. Biot 수가 0.001일때는 기울기 값이 커짐에 따라 변형된 무차원 열손실이 선형적으로 감소하는데 이는 물리적으로 휜의 형상이 사각에서 삼각으로 변함에 따라 열손실이 작아짐을 의미한다. Biot 수가 커질수록 열손실의 감소 기울기가 작아져 Biot 수가 0.3일 경우는 오히려 미세하게 기울기가 증가하는데 이는 휜의 형상이 사각에서 삼각으로 변함에 따라 오히려 열손실이 커짐을 의미한다. 무차원 길이와 Biot 수를 각각 10과 0.1로 고정하고 네 가지 경우의 무차원 폭에 대하여 기울기 값의 변화에 따른 변형된 무차원 열손실의 변화가 Fig. 7b에서 보여진다. 무차원 폭이 좁은 0.2에서는 기울기 값의 증가에 따라 변형된 무차원 열손실이 선형적으로 감소하는데 이는 앞의 경우와 같이 휜의 형상이 사각에서 삼각으로 변함에 따라 열손실이 작아짐을 의미한다. 반면에 무차원 폭이 10과 20처럼 넓어지면 경사요소 값의 변화에 따른 무차원 열손실의 변화는 거의 없는데 이는 fin에서 일어나는 열손실의 크기가 휜의 형상에 거의 관계가 없음을 의미한다.

4. 결론

3차원 해석적 방법을 사용하여 윗면의 경사가 각기 다른 사다리꼴 휜과 사각휜에 대한 해석과 결과로부터 다음의 결론을 얻을 수 있다.

1) 경우에 따라 사각휜으로 부터의 열손실에 대한 근사적인 사각 휜의 열손실의 상대오차는 2.8%의 값을 나타내나 무차원 폭이 10이상에서는 Biot 수가 0.3까지도 0.3%내의 좋은 결과를 보여준다. 따라서 무차원 폭이 약 10이상 또는 그 외의 무차원 폭과 무차원 길이에 대해서는 Biot 수가 0.1정도까지 사다리꼴 휜에 대한 본 3차원해석에 신뢰성을 가질 수 있다.

2) 휜 폭이 좁고 Biot 수가 어는정도 클 때 (i.e. Bi≥0.1) 휜의 길이가 짧은 범위에서 열손실이 급격히 증가하며 그 이후에는 휜의 길이를 증가시켜도 열손실값은 거의 변화가 없다.

3) 무차원 폭이 크거나 어는 정도 큰 Biot 수에서는 (i.e. Bi≥0.1) 휜의 형상변화가 열손실값에 미치는 영향은 미미하다.

Nomenclature

Bi : Biot number ($h \cdot l / k$)

h : convective heat transfer coefficient ($W/m^2℃$)

k : thermal conductivity ($W/m℃$)

x' : coordinate along the fin length (m),

(base to tip)

x : non-dimensional coordinate along the fin length (x'/l)

y' : coordinate along the fin height (m)

y : non-dimensional coordinate along the fin height (y'/l)

z' : coordinate along the fin width (m)

z : non-dimensional coordinate along the fin width (z'/l)

l : fin half height at the base (m)

w' : fin width (m)

w : non-dimensional width (w'/l)

L' : fin length (m)

L : non-dimensional fin length (L'/l)

Q_T : heat loss from a trapezoidal fins having different slope

Q_r : heat loss from a rectangular fin

T : temperature (℃)

T_w : fin base temperature (℃)

T_∞ : ambient temperature (℃)

s : slope factor

Greek Letters

θ : non-dimensional temperature $(T_w - T)/(T_w - T_\infty)$

θ_0 : adjusted temperature ($T_w - T_\infty$)

θ_T : non-dimensional temperature within a trapezoidal fin

θ_r : non-dimensional temperature within a rectangular fin

λ_m : eigenvalues (m = 1, 2, 3, ⋯)

μ_n : eigenvalues (n = 1, 2, 3, ⋯)

ρ_{nm} : $\sqrt{\lambda_m^2 + \mu_n^2}$

참 고 문 헌

[1] S. Biyikli, 1985, "Optimum Use of Longitudinal Fins of Rectangular Profiles in Boiling Liquids", *ASME J. Heat Trans.*, Vol. 107, pp. 968~970.

[2] A. Aziz and A. D. Kraus, 1996, "Optimum Design of Radiating and Convecting-Radiating Fins", *Heat Transfer Engineering*, Vol. 17, pp. 44~77.

[3] G. Fabbri, 1997, "A Genetic Algorithm for Fin Profile Optimization", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 40, pp. 2165~2172.

[4] L. C. Burmeister, 1979, "Triangular Fin Performance by the Heat Balance Integral Method", *ASME J. Heat Trans.*, Vol. 101, pp. 562~564.

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

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

[7] W. Lau and C. W. Tan, 1973, "Errors in One-Dimensional Heat Transfer Analyses in Straight and Annular Fins", *ASME J. Heat Transfer*, Vol. 95, pp. 549-551.

[8] E. M. Sparrow and S. B. Vemuri, 1985, "Natural Convection/Radiation Heat Transfer From Highly Populated Pin Fin Arrays", *ASME J. Heat Trans.*, Vol. 107, pp. 190~197.

[9] E. C. Lemmon and H. W. Coleman, 1973, "Turbulent Heat Transfer to a Fin Leading Edge-Flight Test Results", *AIAA Journal*, Vol. 11, pp. 571~573.

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