

## 변형된 사각 핀의 이론적 성능해석

강 형 석<sup>†</sup>, 김 영 준

강원대학교 기계공학과

### Theoretical Performance Analysis of a Modified Rectangular Fin

Hyung Suk Kang<sup>†</sup>, Young Jun Kim

Department of Mechanical Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

(Received October 18, 2003; revision received May 27, 2004)

**ABSTRACT:** A modified rectangular fin is analyzed by two-dimensional analytic method and finite difference method. Relative error of heat loss from the modified rectangular fin between analytic method and finite difference method is presented. Comparisons of fin effectiveness and heat loss between a modified rectangular fin and a plane rectangular fin are made as a function of the non-dimensional fin length and wing height for different positions of wings by using analytic method. The ratio of the incremental rate of heat loss to that of the area of a modified rectangular fin is shown as a function of the wing height. One of the results shows that performance of a modified fin is more improved as the wing approaches the fin root.

**Key words:** Modified fin(변형된 핀), Heat loss(열손실), Fin effectiveness(핀 유용도), Wing(날개), Biot number(비오투 수)

#### 기 호 설 명

$a$  : 무차원 핀날개 시작지점 ( $a'/l$ )  
 $a'$  : 핀날개 시작지점 [m]  
 $A_m$  : 날개 달린 사각 핀의 무차원 넓이  
 $A_r$  : 사각 핀의 무차원 넓이  
 $b$  : 무차원 핀날개 끝지점 ( $b'/l$ )  
 $b'$  : 핀날개 끝지점 [m]  
 $b-a$  : 무차원 날개 폭  
 $Bi$  : Biot 수 ( $= hl/k$ )  
 $f$  : 증분비 ( $= \Delta x/\Delta y_1$ )  
 $g$  : 증분비 ( $= \Delta x/\Delta y_2$ )

$h$  : 주위의 열전달 계수 [ $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ ]  
 $H$  : 무차원 핀 날개 높이 ( $H'/l$ )  
 $H'$  : 핀 날개 높이 [m]  
 $k$  : 열전도율 [ $W/m\text{ }^\circ\text{C}$ ]  
 $l$  : 핀 높이의 반 [m]  
 $L'$  : 핀 길이 [m]  
 $L$  : 무차원 길이 ( $L'/l$ )  
 $Q_m$  : 날개 달린 사각 핀으로 부터의 열손실  
 $Q_r$  : 사각 핀으로 부터의 열손실  
 $T$  : 온도 [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $T_w$  : 핀뿌리 온도 [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $T_\infty$  : 주위 온도 [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $x$  : 무차원 길이 방향 좌표 ( $x'/l$ )  
 $x'$  : 길이 방향 좌표 [m]  
 $\Delta x$  : 핀 길이 방향 무차원 증분

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-33-250-6316; fax: +82-33-242-6013

E-mail address: hkang@kangwon.ac.kr

- $y$  : 무차원 높이 방향 좌표(=  $y'/l$ )  
 $y'$  : 높이 방향 좌표 [m]  
 $\Delta y_1$  : 핀 내의 핀 높이 방향 무차원 증분  
 $\Delta y_2$  : 날개 내의 핀 높이 방향 무차원 증분

### 그리스 문자

- $\theta$  : 무차원 온도( $(T - T_\infty)/(T_w - T_\infty)$ )  
 $\theta_0$  : 변형된 온도( $T_w - T_\infty$ ) [°C]  
 $\lambda_n$  : 고유값( $n=1, 2, 3, \dots$ )  
 $\epsilon_m$  : 날개 달린 사각 핀 유용도  
 $\epsilon_r$  : 사각 핀 유용도

### 상첨자

- ' : 차원 변수

### 하첨자

- $A$  : 해석적 방법  
 $F$  : 유한차분법  
 $m$  : 변형된 경우  
 $r$  : 사각 경우  
 $w$  : 핀 뿌리  
 $\infty$  : 핀 주위

## 1. 서 론

열전달은 온도차에 의하여 이동하는 에너지 형태인 열의 이동과정과 그 해석을 다루는 학문으로 열교환기, 보일러, 가열기, 공기조화기, 전자부품의 냉각, 폐열회수, 항공우주 분야<sup>(1)</sup> 등 광범위한 분야에서 응용되고 있다. 열전달 향상에 관한 연구는 계속하여 활발하게 이루어져 왔으며, 현재도 열전달을 향상시키기 위한 연구개발이 다양하게 진행되고 있으며 이러한 열전달 향상에 있어 핀은 상당히 중요한 역할을 해왔다. 특히 핀은 공기조화기 및 냉동기에 설치되어 있는 열교환기, 자동차의 라디에이터 부분, 컴퓨터의 중앙처리장치 및 비디오카드의 냉각장치 등 우리들 주위에서 밀접하게 사용되고 있다. 이와 같이 사

용되고 있는 핀들에 관련된 연구들은 무수히 많으며 특히 형상에 관련해서는 사각,<sup>(2-4)</sup> 환형,<sup>(5)</sup> 사다리,<sup>(6)</sup> 원통형,<sup>(7)</sup> 포물선형,<sup>(8)</sup> 핀(pin) 형<sup>(9)</sup> 등 이루 헤아릴 수 없이 많다. 결국 이와 같은 핀에 대한 수많은 연구들은 열전달을 향상시키는 것이 주 목적 중의 하나인데, 열전달을 향상시키는 방법으로는 주위의 열대류계수를 크게 하거나, 핀 주위의 온도를 낮추는 방법 또는 열전도율이 좋은 재질을 핀으로 사용하거나 핀의 형상을 변화시키는 방법 등이 있으나 열대류계수를 크게 하는 것은 제한적이고, 핀 주위의 온도를 낮추는 것은 비현실적이기 때문에 핀으로부터 열전달을 향상시키는 좋은 방법 중 하나는 핀의 형상을 변형시키는 것이다.<sup>(10)</sup> 따라서 본 논문에서는 2차원 해석적 방법을 사용하여 단순 사각 핀과 날개를 단 변형된 사각 핀을 비교 분석하여 열손실과 유용도(effectiveness) 측면에서 상대적인 성능향상에 대하여 연구하였다. 단순 사각 핀에 대한 데이터는 참고문헌 (3)을 이용하였으며, 본 논문에서는 따로 그 식들을 표기하지 않았다. 날개 달린 핀의 성능향상을 해석하기 위해서 날개의 위치를 핀뿌리 부근에서 핀 끝으로 이동시키면서 Biot 수는 0.001부터 0.1까지, 무차원 길이는 1부터 20까지, 무차원 핀 날개 높이는 1부터 2까지, 그리고 날개의 폭은 1부터 9까지 각각 임의로 변화를 주었다. 특히 변형된 사각 핀의 성능 데이터들의 신뢰를 위하여 각각 해석적 방법과 유한차분법으로 구한 변형된 사각 핀으로부터의 열손실과 온도분포의 비교가 주어진다.

## 2. 2차원 수치해석

### 2.1 해석적 방법

정상상태에서 Fig. 1에서 보여지는 변형된 사각 핀 형상에 대한 2차원 지배방정식을 무차원화하면 식(1)로 주어진다.

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

식(1)을 풀기 위하여 세 개의 경계조건과 하나의 에너지보존식이 요구되는데, 무차원 형태로 나타내면 다음과 같다.

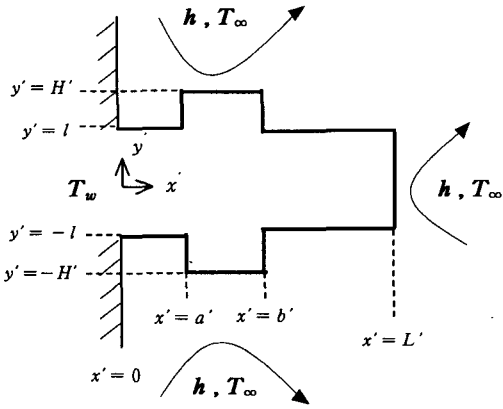


Fig. 1 Geometry of a modified rectangular fin.

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

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

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} + \text{Bi} \cdot \theta=0 \quad \text{at} \quad x=L \quad (4)$$

$$\int_0^1 \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} dy + \text{Bi} \cdot \left\{ \int_0^a \theta \Big|_{y=0} dx + \int_1^H \theta \Big|_{x=a} dy + \int_a^b \theta \Big|_{y=H} dx + \int_1^H \theta \Big|_{x=b} dy + \int_b^L \theta \Big|_{y=1} dx + \int_0^1 \theta \Big|_{x=L} dy \right\} = 0 \quad (5)$$

여기서,

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

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

날개 달린 사각 핀 내의 온도분포  $\theta(x, y)$ 는 식(2)부터 식(4)까지 보여지는 경계조건들을 가지고 지배방정식(1)을 풀어서 얻어지는데, 그 결과는 다음과 같다.

$$\theta(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} N_n \cdot f(x) \cdot \cos(\lambda_n y) \quad (6)$$

여기서,

$$N_n = \frac{4 \sin \lambda_n}{2\lambda_n + \sin 2\lambda_n} \quad (7)$$

$$f(x) = \cosh(\lambda_n x) - f_n \cdot \sinh(\lambda_n x) \quad (8)$$

$$f_n = \frac{\lambda_n \cdot \tanh(\lambda_n L) + \text{Bi}}{\lambda_n + \text{Bi} \cdot \tanh(\lambda_n L)} \quad (9)$$

식(6)에서 보여지는 고유값들(eigenvalues)  $\lambda_n$ 은 에너지보존식인 식(5)를 풀어서 정리하면 다음과 같다. 이때 첫번째 고유값  $\lambda_1$ 은 증진수색법(incremental search method)을 사용하여 구하고 두번째 고유값부터는 강제 해석적 방법을 사용하여 구한다. 또한 식(6)의 무한 급수에서는 충분히 수렴이 되는 200개의 고유값을 사용한다.

$$AA_n \cdot BB_n + \text{Bi} \cdot CC_n \cdot (\lambda_n \cdot EE_n + \text{Bi} \cdot FF_n) - \text{Bi} \cdot DD_n \cdot (\lambda_n \cdot FF_n + \text{Bi} \cdot EE_n) = 0 \quad (10)$$

식(10)의  $AA_n - FF_n$ 은 다음과 같다.

$$AA_n = \lambda_n \cdot \sinh \lambda_n L + \text{Bi} \cdot \cosh \lambda_n L - \text{Bi} \quad (11)$$

$$BB_n = (\lambda_n \cdot \sin \lambda_n - \text{Bi} \cdot \cos \lambda_n) \quad (12)$$

$$CC_n = \cos \lambda_n H - \cos \lambda_n \quad (13)$$

$$DD_n = \sin \lambda_n H - \sin \lambda_n \quad (14)$$

$$EE_n = \sinh \lambda_n (L - b) - \sinh \lambda_n (L - a) \quad (15)$$

$$FF_n = \cosh \lambda_n (L - b) - \cosh \lambda_n (L - a) \quad (16)$$

Fig.1에서 보여지는 날개 달린 사각 핀으로부터의 2차원 해석에 의한 열전달량은 식(6)을 Fourier의 열전도식에 적용하여 아래와 같이 구할 수 있다.

$$Q_m = 2k \cdot \theta_0 \sum_{n=1}^{\infty} N_n \cdot f_n \cdot \sin \lambda_n \quad (17)$$

또한 날개 달린 사각 핀에 대한 유용도는 그 정의에 의하여 다음과 같이 표현된다.

$$\epsilon_m = \frac{1}{\text{Bi}} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} N_n \cdot f_n \cdot \sin \lambda_n \quad (18)$$

2.2 유한차분법

변형된 사각핀을 39개의 노드(node)로 나눈 윗쪽 반의 형상을 Fig.2에 나타내었다. 각 노드에 대한 39개의 식들이 필요하며 아래와 같은 방법으로 계산될 수 있다.

For node 2

$$1 + f^2\theta_1 - 2(1 + f^2)\theta_2 + f^2\theta_3 + \theta_7 = 0 \quad (20)$$

For node 10

$$\begin{aligned} &\theta_5 + 2f^2\theta_9 \\ &- \left\{ 2(1 + f^2) + \text{Bi}f(\Delta x + \Delta y_2) + \frac{f}{g} + fg \right\} \theta_{10} \quad (21) \\ &+ gf\theta_{11} + \left( 1 + \frac{f}{g} \right) \theta_{18} = 0 \end{aligned}$$

For node 39

$$\begin{aligned} &\theta_{34} + f^2\theta_{38} \\ &- \left\{ 1 + f^2 + \text{Bi}f(\Delta x + \Delta y_1)g \right\} \theta_{39} = 0 \quad (22) \end{aligned}$$

각 노드에 대한 39개의 식들을 사용하여 각 노드에 대한 온도값을 구한 후 아래와 같이 변형된 사각 핀으로부터 열손실을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{Q}{k\theta_0} &= 2\text{Bi} \left\{ \Delta x \left( \frac{1}{2} + \theta_5 + \theta_{21} + \theta_{34} \right) \right. \\ &+ \frac{1}{2}(\Delta x + \Delta y_2)(\theta_{10} + \theta_{13} + \theta_{26} + \theta_{29}) \\ &+ \Delta y_2(\theta_{11} + \theta_{12} + \theta_{27} + \theta_{28}) \quad (23) \\ &+ \Delta y_1 \left( \frac{\theta_{35}}{2} + \theta_{36} + \theta_{37} + \theta_{38} \right) \\ &\left. + \frac{1}{2}(\Delta x + \Delta y_1)\theta_{39} \right\} \end{aligned}$$

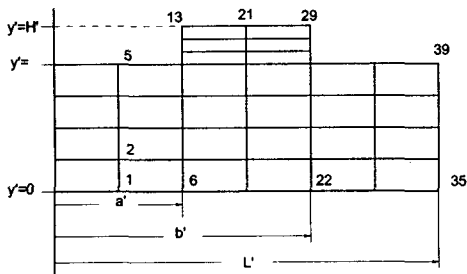


Fig. 2 Upper half modified rectangular fin.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 변형된 사각 핀에서  $H=1.15$ ,  $a=L/3$ , 그리고  $b=2L/3$ 일 때  $L$ 이 1.5와 3인 경우에 해석적 방법과 유한차분법 사이의 열손실의 상대오차를 Biot 수의 함수로 보여준다. 두 경우 모두 Biot 수가 증가함에 따라 상대오차는 균일하게 증가하나 Biot 수가 0.1일 때 상대오차는  $L=1.5$ 인 경우 약 0.38%,  $L=3$ 인 경우 약 0.97%로 1%를 넘지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 상대오차는 유한차분법에서 노드 수를 증가시킬수록 더욱 감소될 것으로 예상된다.

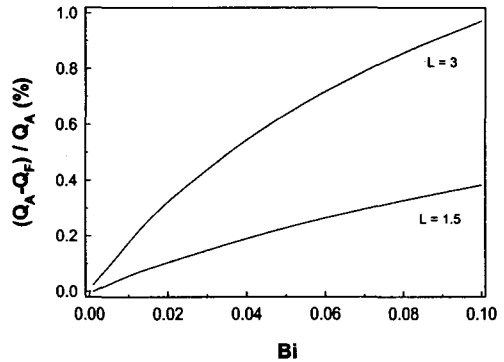


Fig. 3 Relative error of heat loss between analytic method and finite difference method for a modified rectangular fin ( $H=1.15$ ,  $a=L/3$ ,  $b=2L/3$ ).

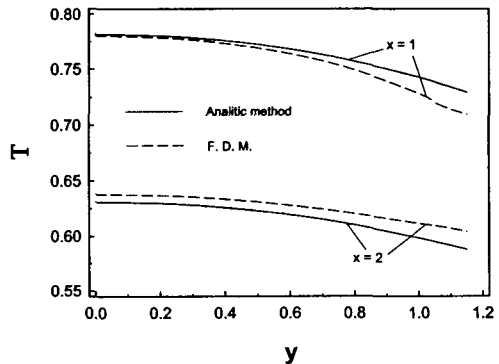


Fig. 4 Comparison of temperature profile along the fin height between analytic method and finite difference method ( $H=1.15$ ,  $L=3$ ,  $\text{Bi}=0.1$ ,  $a=L/3$ ,  $b=2L/3$ ).

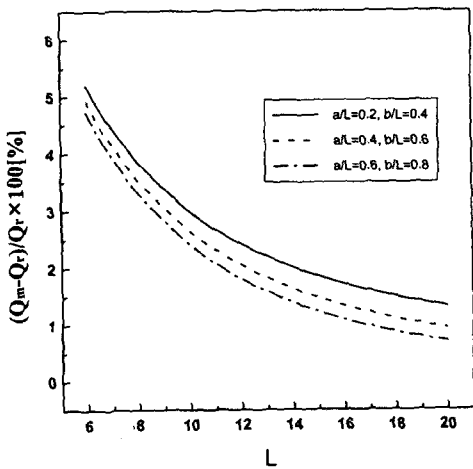
Table 1 Heat loss comparison from each side between conduction and convection for  $L=5, a=2, b=3$  and  $H=1.1$

	$Q/k\theta_0$			
	Bi=0.05		Bi=0.1	
	cond	conv	cond	conv
lhs	0.0852	0.0821	0.1518	0.1467
lvs	-0.0110	0.0034	-0.0146	0.0054
ths	0.0328	0.0317	0.0493	0.0477
rvs	0.0078	0.0029	0.0098	0.0042
rhs	0.0549	0.0530	0.0716	0.0693
tip	0.0248	0.0248	0.0306	0.0306
total	0.1945	0.1979	0.2985	0.3038
root	0.1977		0.3033	

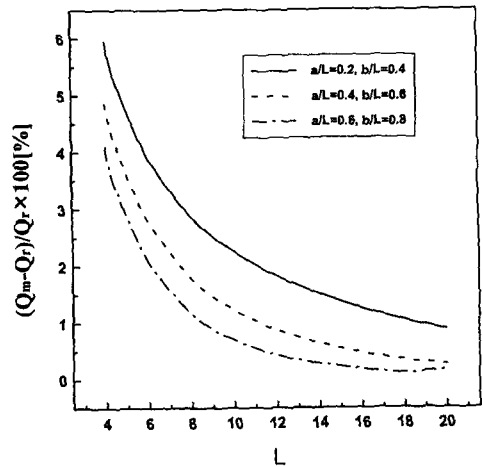
Fig. 4는  $H=1.15, a=L/3, b=2L/3, L=3$ , 그리고  $Bi=0.1$ 로 주어졌을 때 유한차분법과 해석적 방법을 사용하여 날개 시작 지점인  $x=1$ 과 날개가 끝나는 지점인  $x=2$ 에서 핀 높이를 따른 온도변화가 주어진다. 두 방법 사이의 온도차는 날개 시작 지점에서는 핀 중심에서는 온도차가 거의 없다가  $y$ 가 증가함에 따라 온도차가 커지며 날개가 끝나는 지점에서는 핀 중심에서 약간의 온도차가 나며  $y$ 가 증가함에 따라 온도차는 많이 증가하지 않는다. 특히  $x=1$ 인 지점에서는 전체적으로 해석적으로 구한 온도가 높은 반면  $x=$

2인 지점에서는 오히려 유한차분법으로 구한 온도가 더 높아짐을 보여준다.

이상과 같이 두 방법들의 간단한 비교로부터 두 방법들의 신뢰성을 바탕으로 나머지 결과들은 해석적 방법을 사용하여 구하였다. 먼저 Table 1은 임의의 변수들이 주어졌을 때 변형된 사각 핀 위쪽 반의 각 면에서 전도와 대류에 의하여 전달되는 열전달값을 나열한다. 이 Table에서  $Q/k\theta_0$ 는  $z$ 방향의 길이를 1로 놓았을 때 각 면을 통한 무차원 열손실을 나타내며 cond와 conv는 각각 이 무차원 열손실이 전도와 대류에 의하여 일어남을 의미한다. 핀 위쪽 반의 맨 좌측부터 lhs는 좌측 수평면(left horizontal surface), lvs는 좌측 수직면, ths는 위쪽 수평면(top horizontal surface), rvs는 우측 수직면, rhs는 우측 수평면, 그리고 tip은 핀 끝면을 의미한다. 또한 total은 각 면에서의 열손실의 합을 의미하며, root는 핀 뿌리를 통해 전도로 들어오는 열전달을 나타낸다. 각 면에서 전도에 의한 열전달과 대류에 의한 열전달의 값은 조금씩 다르며 이는 2차원 해석과 날개의 돌출에 따른 좌우 비대칭에 기인한 것으로 물리적으로 지극히 당연한 현상이다. 특히 흥미 있는 현상은 좌측 수직면(lvs)에서 전도값은 음의 값을 나타내는데, 이는 좌측 수직면에서는 아래로부터 전달되는 열이 대류에 의하여 좌측 유체로, 전도에 의하여는 핀 날개의 우측 방향으로 흐름을 의미한다. 각 면을 통한 전도에 의한 전



(a) Bi=0.01



(b) Bi=0.1

Fig. 5 Relative incremental rate of heat loss vs. non-dimensional fin length for  $H=1.2$ .

체 열전달과 대류에 의한 전체 열전달은 약 1.7% 정도의 상대오차를 나타내는데 이는 컴퓨터 프로그램의 계산 중 근사화에서 나온 오차로 볼 수 있으며, 특히 본 논문에서 경계조건으로 설정한 핀 뿌리를 통해 전도로 들어오는 열과 각 면을 통하여 대류로 방출되는 전체 열전달의 상대오차는 0.16% 내임을 보여준다.

Fig. 5(a)는 Biot 수가 0.01이고 무차원 높이  $H$ 가 1.2일 때, 핀의 날개 위치를 각각  $a/L=0.2$ 와  $b/L=0.4$ ,  $a/L=0.4$ 와  $b/L=0.6$ , 그리고  $a/L=0.6$ 과  $b/L=0.8$ 인 경우에 대하여 무차원 길이를 6부터 20까지 변화시킬 때, 사각 핀으로부터의 열손실에 대한 날개 달린 사각 핀으로부터의 열손실의 상대증가율을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 세 경우 모두 무차원 길이가 증가함에 따라 열손실의 상대증가율은 감소하나, 날개를 핀의 뿌리 쪽으로 가까이 설치할수록 열손실의 상대증가율이 더 큼을 알 수 있다. Fig. 5(b)는 Fig. 5(a)와 같은 조건에서 단지 Biot 수를 0.1로 바꾸고 무차원 길이를 4에서 20까지 변화시킬 때 사각 핀으로부터의 열손실량에 대한 날개 달린 사각 핀으로부터의 열손실의 상대증가율을 나타낸다. Biot 수가 0.01 경우일 때와 비교하면 열손실의 상대증가율의 변화 경향은 거의 비슷하나 전체적으로 그 값이 상당히 낮아짐을 보여진다. Fig. 5의 (a), (b)에서 무차원 길이의 범위를 각각 6과 4로

부터 20까지 변화시킨 것은 각각 무차원 길이가 그 이하로 줄어들며 따라 열손실의 상대증가율이 급격히 증가하기 때문에 날개 달린 위치에 따른 변화 경향을 뚜렷이 나타낼 수 없기 때문에 그 이상값부터 변화시킨 것이다.

Fig. 6은 Biot 수가 0.01이고 무차원 길이  $L$ 이 10일 때, 핀의 날개 위치를 각각  $a=2$ 와  $b=4$ ,  $a=4$ 와  $b=6$ , 그리고  $a=6$ 과  $b=8$ 인 경우에 대하여 무차원 높이  $H$ 를 1.1에서 2.0까지 변화시킬 때, 사각 핀의 유용도에 대한 날개 달린 사각 핀 유용도의 상대증가율을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 무차원 높이  $H$ 가 높아짐에 따라 각각의 날개의 위치에 대해 유용도의 상대증가율이 선형적으로 증가함을 보여준다. 특히 날개의 위치가 핀 뿌리 쪽으로 가까이 갈수록 상대증가율의 기울기가 커짐을 알 수 있으며, 날개의 위치가  $a=2$ ,  $b=4$ 인 경우에는 무차원 높이  $H$ 가 1.1일 때보다 2.0일 경우 약 10배의 증가율을 보인다.

Fig. 7은 핀 날개의 위치가  $a=3$ ,  $b=6$ 이고 무차원 길이  $L$ 이 15일 때, Biot 수 0.001, 0.01, 그리고 0.1인 경우에 대하여 무차원 높이  $H$ 를 1.1에서 2.0까지로 변화시킬 때, 사각 핀의 유용도에 대한 날개 달린 사각 핀 유용도의 상대증가율 변화를 보여준다. Biot 수가 증가함에 따라 유용도의 상대증가율이 감소함을 알 수 있으며, 무차원 높이

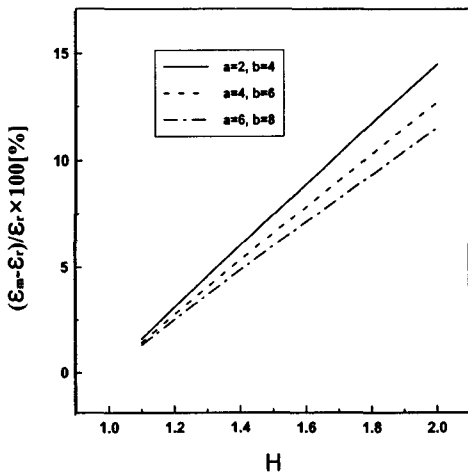


Fig. 6 Relative incremental rate of fin effectiveness versus  $H$  for  $Bi=0.01$  and  $L=10$ .

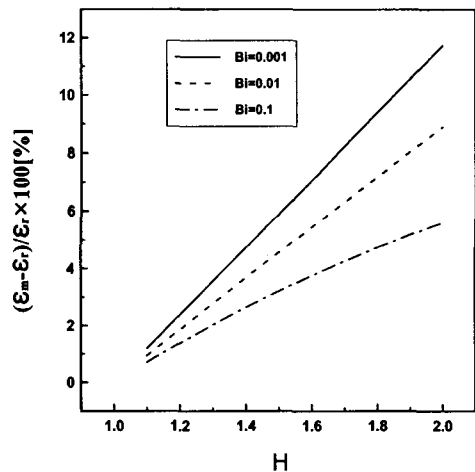


Fig. 7 Relative incremental rate of fin effectiveness versus  $H$  for  $a=3$ ,  $b=6$  and  $L=15$ .

Table 2 The variation of fin effectiveness with the width of the wings for the modified fin for  $a=1$ ,  $H=1.2$ , and  $L=10$

$b$	$\epsilon_m$		
	Bi=0.001	Bi=0.01	Bi=0.1
2	10.953462	8.547550	3.225886
4	10.949877	8.235567	3.193210
6	10.946893	8.221460	3.176196
8	10.94510	8.211761	3.167411
10	10.943905	8.206006	3.163178

가 커질수록 현저하게 차이가 커짐을 보여주는데, 특히  $H$ 가 2.0에서는 상대증가율이 Biot 수가 0.1 일 때 약 5.59%인 반면 Biot 수가 0.001인 경우 약 11.73%로 6% 이상의 차이가 남을 보여준다.

Table 2는 핀의 날개 높이가 1.2이고 무차원 길이  $L$ 이 10, 그리고 날개의 위치  $a=1$ 일 때 날개의 위치  $b$ 가 2에서 10까지 변화하는 동안 각각의 Biot 수 0.001, 0.01, 그리고 0.1에 대한 날개 달린 핀의 유용도의 변화를 보여주고 있다. 세 가지 경우의 Biot 수에 대해 날개의 폭이 커질수록 유용도는 약간씩 감소함을 보이고 있는데, 이는 날개폭을 줄이는 것이 보다 유용도의 향상에 좋음을 보여준다. 이와 같은 현상은 2차원 측면에서 날개폭을 넓힌다 하더라도 전체적인 면적변화는 없기 때문이며 핀의  $z$ 방향의 폭이 얇은 경

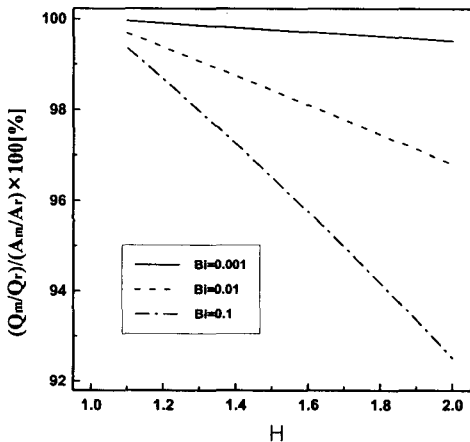


Fig. 8 The ratio of the incremental rate of heat loss to that of fin area versus  $H$  for  $a=2$ ,  $b=4$  and  $L=10$ .

우에는 실제 늘어나는 면적을 고려할 수 있는 3차원 해석으로부터 확인이 필요하다고 생각된다.

무차원 핀 길이  $L$ 이 10이고 날개의 위치  $a=2$ ,  $b=4$ 일 때 무차원 날개의 높이가 1.1에서 2.0까지 변화하는 동안 사각 핀에 대한 날개 달린 사각 핀의 면적증가율에 따른 열손실증가율의 비를 Fig. 8에서 보이고 있다. 먼저 Biot 수가 0.001일 경우에는 면적증가율에 따른 열손실증가율의 비가 무차원 높이의 변화에 대하여 거의 변화가 없으며 그 값도 거의 100%를 유지하고 있음을 보여준다. Biot 수가 커짐에 따라 날개의 높이가 증가할수록 면적증가율에 따른 열손실증가율의 비가 선형적으로 감소하며 기울기도 커지나 Biot 수 0.1일 때에도 92% 이상의 좋은 결과를 보여준다. 이는 물리적으로 면적을 상대적으로 증가시키는 것에 비례하여 열손실도 상대적으로 커짐을 의미한다.

#### 4. 결론

결과 및 고찰로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 변형된 사각핀에 대하여 각각 해석적 방법과 유한차분법으로 구한 열손실을 비교하였을 때 핀의 무차원 길이가 3, Biot 수가 0.1까지는 상대 오차는 1% 내를 보이며 노드 수를 증가시킬수록 오차는 더욱 줄어들 것으로 예상된다.

(2) 날개의 크기가 같을 경우 본 논문에서 주어진 Biot 수의 범위에서 날개 달린 사각 핀의 유용도 및 열손실은 날개를 핀 뿌리 쪽에 가까이 달수록 더 좋음을 보여준다.

(3) 무차원 핀 길이가 10, 날개 시작 지점이 2, 그리고 날개 끝 지점이 4일 때 날개의 높이를 2까지 높이면서 날개 달린 사각 핀의 면적을 증가시킬 때 사각 핀에 대한 날개 달린 사각 핀의 면적증가율 비에 대한 열손실증가율의 비는 Biot 수가 0.1에서 92% 이상을 나타내며 Biot 수가 작아질수록 그 비는 증가한다.

(4) 2차원 측면에서는(핀의  $z$ 방향 폭이 매우 넓은 경우) 날개를 핀 뿌리 쪽에 가까이 달 때 가능한 폭을 줄여 주는 것이 유용도를 향상시킨다.

#### 참고문헌

1. Mikhail, A. G., 1988, Fin gaps and body slots:

- Effects and modeling for projectiles and missiles, *J. Spacecraft*, Vol. 25, pp. 345-353.
2. Look, D. C. and Kang, H. S., 1992, Optimization of a thermally non-symmetric fin: preliminary evaluation, *Int. J. of Heat Mass Transfer.*, Vol. 35, No. 8, pp. 2057-2060.
  3. Song, N. J., 1999, An Analysis on the Performance of the Rectangular Fin and the Heat Transfer from the Fin Tip, MS Thesis, Kangwon National University, Chunchon, Korea.
  4. Kang, H. S., 2001, Optimization of a 3-D thermally asymmetric rectangular fin, *KSME Int. Journal*, Vol. 15, No. 11, pp. 1541-1547.
  5. Brown, A., 1965, Optimum dimensions of uniform annular fins, *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 8, pp. 655-662.
  6. Lee, S. J. and Kang, H. S., 2000, Trapezoidal fin analysis by the 3-D analytical method, *Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 4, pp. 388-397.
  7. Zubair, S. M., Al-Garni, A. Z. and Nizami, J. S., 1996, The optimal dimensions of circular fins with variable profile and temperature-dependent thermal conductivity, *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 39, pp. 3431-3439.
  8. Kim, K. T. and Kang, H. S., 1998, A heat loss comparison between the two parabolic fin models using two different numerical methods, *J. KSIAM*, Vol. 2, pp. 97-109.
  9. Ledezma, G., Morega, A. M. and Bejan, A., 1996, Optimal spacing between pin fins with impinging flow, *Transactions of the ASME.*, Vol. 118, pp. 570-577.
  10. Incropera, F. P. and DeWitt, D. P., 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons., 4th edition.