

< 본 문 >

역 사다리꼴 핀의 최적화

강 형 석*

(2006년 6월 16일 접수, 2006년 8월 4일 심사완료)

Optimization of a Reversed Trapezoidal Fin

Hyung Suk Kang

Key Words: Optimization(최적화), Reversed Trapezoidal Fin(역 사다리꼴 핀), Dimension(차원), Heat Loss(열손실), Fin Effectiveness(핀 유용성)

Abstract

A reversed trapezoidal fin with the fluid in the inside wall is analyzed and optimized in this study. As a fin base boundary condition, the heat transfer from inside wall fluid to the fin base is considered. The values of fin base temperature with the variations of inside wall fluid convection characteristic number and fin base length are listed. The heat transfer, fin effectiveness, fin length and fin base height are optimized as a function of fin base length, convection characteristic number ratio, fin shape factor and fin volume.

기호설명

b : 핀 측면 기울기, $(1 - \xi)\ell / (L_e - L_b)$
 h : 핀 또는 외벽 주위의 열대류계수 $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$
 I_0 : 수정된 제1종 zero-order Bessel 함수
 I_1 : 수정된 제1종 first-order Bessel 함수
 k : 열전도율 $[W/m \cdot ^\circ C]$
 K_0 : 수정된 제2종 zero-order Bessel 함수
 K_1 : 수정된 제2종 first-order Bessel 함수
 ℓ' : 핀 바닥 높이의 반 $[m]$
 ℓ : 무차원 핀 바닥 높이의 반, ℓ' / L_i'
 L_i' : 유체 중심에서 내벽까지의 길이 $[m]$
 L_b' : 외벽 길이 또는 핀 바닥 길이 $[m]$
 L_e' : 핀 끝 길이 $[m]$
 L_b : 무차원 외벽 또는 핀 바닥 길이, L_b' / L_i'

L_e : 무차원 핀 끝 길이, L_e' / L_i'
 M : 핀 주위 대류특성계수, hL_i' / k
 M_e : 핀 끝 대류특성계수, $h_e L_i' / k$
 M_f : 내벽 안 유체의 대류특성계수, $h_f L_i' / k$
 q : 단위 폭 당 핀으로부터의 열손실 $[W/m]$
 Q : 핀으로부터의 무차원 열손실, $q / k\phi_f$
 q_w : 단위 폭 당 외벽으로부터의 열손실 $[W/m]$
 Q_w : 외벽으로부터의 무차원 열손실, $q_w / k\phi_f$
 T : 온도 $[^\circ C]$
 T_f : 내벽 안의 유체 온도 $[^\circ C]$
 T_∞ : 외벽 또는 핀 주위 온도 $[^\circ C]$
 x' : 길이 방향 좌표 $[m]$
 x : 무차원 길이 방향 좌표, x' / L_i'
 y' : 높이 방향 좌표 $[m]$
 y : 무차원 높이 방향 좌표, y' / L_i'
 V : 단위 폭 당 핀 체적 $[m^3/m]$
 V : 무차원 핀 체적, $V' / L_i'^2$

* 회원, 강원대학교 기계-메카트로닉스공학부
 E-mail : hkang@kangwon.ac.kr
 TEL : (033)250-6316 FAX : (033)242-6013

그리스 문자

β : 대류특성계수 비, M_f/M

ϵ : 핀 유용성

η : 핀 효율

θ : 무차원 온도, $(T - T_\infty)/(T_f - T_\infty)$

ξ : 핀 형상계수

ϕ_f : 변형된 온도, $T_f - T_\infty$ [°C]

상첨자

' : 차원변수

* : 최적

하첨자

b : 외벽 또는 핀 바닥

e : 핀 끝

f : 내벽 안의 유체

I : 내벽

ideal : 이상적

w : 외벽

∞ : 핀 또는 외벽 주위

1. 서 론

핀 또는 확장된 표면은 열전달을 증가시키기 위한 수단으로 광범위하게 사용되고 있다. 예를 들면 전자부품의 방열 핀, 열교환기, 응축기, 증발기, 자동차의 라디에이터 등에서부터 최첨단 항공 우주분야에 이르기 까지 매우 광범위한 분야에서 사용되고 있다.

따라서 핀에 대한 연구가 많이 이루어지고 있는데 최근에는 핀의 최적화에 대하여 많은 고려가 이루어지고 있다. 핀의 최적화를 찾는 방법 중 하나는 주어진 핀의 형상에서 체적이 일정하게 주어졌을 때 최대 열전달이 일어나는 핀의 차원을 구하는 것이다. 또한 핀의 정렬을 고려하거나 핀 바닥 높이가 고정된 경우 최대 열손실을 구하는 최적화 방법도 사용되고 있다.

이러한 최적화와 관련하여 사각, 삼각 그리고 사다리꼴 등 다양한 형상 핀의 최적화에 대한 많은 연구들이⁽¹⁻⁶⁾ 발표되었다. Bar-Cohen⁽¹⁾은 자연 대류에서 사각 핀의 최적의 정렬을 위한 핀의 두께를 발표하였다. Chung⁽²⁾ 등은 대류만을 고려한

사다리꼴 핀의 최적화를 다루었다. Laror와 Kalman⁽³⁾은 길이 형, 가지 형 그리고 환형 타입의 사각, 삼각 그리고 포물선 형상의 핀들에 대한 최적화를 연구하였다. Razelos와 Satyaprakash⁽⁴⁾는 열적 성능을 묘사하는 사다리꼴 형상의 핀 해석을 발표 하였으며 또한 최적 문제에 대한 개선된 풀이를 제시하였다. Yeh⁽⁵⁾는 사각 핀들과 원통형 pin 핀들의 최적화 된 차원을 조사하였다. Casarosa와 Franco⁽⁶⁾는 일정한 두께를 가진 하나의 사각 핀에 대한 최적화된 설계에 접근하였다. 이러한 최적화 연구들은 1차원 해석을 사용하여 조사되었다. 2차원 해석을 사용하여 최적화를 위한 연구로는 Kang과 Look⁽⁷⁾이 열적 기하학적 비대칭 상황에서 핀 높이가 고정 된 사다리꼴 핀의 최적화를 논의하였으며 Chung과 Iyer⁽⁸⁾는 pin 핀들의 최적화를 근사적으로 구하기 위하여 적분법을 사용하였다. 또한 Kang⁽⁹⁾은 3차원 해석을 사용하여 열적으로 비대칭 상태에 있는 사각 핀의 최적화에 대하여 연구하였다. 이와 같이 사각, 삼각 그리고 사다리꼴 등 여러 형상의 핀에 대한 최적화에 대한 연구가 많이 이루어졌으나 역 사다리꼴 핀의 최적화에 대한 연구는 없어 보이며 최근에 Han과 Kang⁽¹⁰⁾이 역 사다리 꼴 핀의 성능에 관하여 발표하였다.

본 논문은 1차원 해석적 방법을 사용하여 역 사다리꼴 핀의 최적화를 다루었는데 1차원 해석을 위해 핀 바닥 또는 핀 끝의 높이 값을 무시할 수 있을 만큼 핀 폭의(i. e. x , y 면에 수직인 방향) 값이 크다고 가정한다. 핀의 체적이 일정하게 주어졌을 때 최대의 열전달이 일어날 때를 핀의 최적화로 정의하였으며 이러한 최적화를 수행할 때 핀 바닥의 경계조건으로 내벽 안에 있는 유체로부터 내벽으로의 열대류와 내벽으로부터 핀 바닥으로의 열전도를 고려하였다.

2. 수치해석

2.1 온도분포 및 열전달

Fig. 1은 내벽 안에 유체가 있고 핀 위아래 면의 기울기가 변하는 역 사다리꼴 핀의 개요도를 나타낸다. 이와 같이 형상이 변하는 역 사다리꼴 핀을 위한 1차원 지배방정식이 무차원 형태로 식 (1)에서 주어진다.

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} + \frac{b}{b(x-L_b) + \ell} \frac{d\theta}{dx} - M \frac{\sqrt{1+b^2}}{b(x-L_b) + \ell} \theta = 0 \quad (1)$$

식 (1)에서 주어진 기울기 b 는 식 (2)로 표현되며 ξ 는 핀 형상계수로 범위는 0과 1사이로 주어지며 값이 1일 때는 사각 핀을 의미하며 ξ 값이 작아질수록 핀 바닥 높기와 핀 끝 높이의 차이가 커지는 역 사다리꼴 핀이 되며 ξ 값이 0이 되면 핀 끝 높이가 핀 바닥 높이의 2배가 되는 역 사다리꼴 핀이 된다.

$$b = (1 - \xi)\ell / (L_e - L_b) \quad (2)$$

무차원 지배방정식 (1)을 풀기 위하여 필요한 두개의 경계 조건이 무차원 형태로 식 (3)과 (4)로 주어진다.

$$-\frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=L_b} = \frac{1 - \theta|_{x=L_b}}{\frac{1}{M_f} + (L_b - 1)} \quad (3)$$

$$\frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=L_e} + M_e \cdot \theta|_{x=L_e} = 0 \quad (4)$$

물리적으로 경계 조건 (3)은 내부 유체로부터 핀 내벽으로 전달되는 대류에 의한 열전달이 핀 바닥을 통하여 흐르는 전도 열전달과 같다는 의미이며 경계조건 (4)는 핀 끝을 통하여 흐르는 전도 열전달이 핀 끝을 통하여 외부로 나가는 대류 열전달과 같다는 것을 나타낸다. 무차원 지배 방정식 (1)을 풀 후 경계 조건식 (3)과 (4)를 적용하여 풀면 역 사다리꼴 형상 핀 내의 온도분포를 나타내는 식 (5)를 얻게 된다.

$$\theta(x) = \frac{1}{R} [A \cdot I_0 \{f(x)\} + B \cdot K_0 \{f(x)\}] \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서,} \\ R = A \{I_0(E) - D \cdot I_1(E)\} \\ + B \{K_0(E) + D \cdot K_1(E)\} \end{aligned} \quad (6)$$

$$A = F \cdot K_1(G) - M_e \cdot K_0(G) \quad (7)$$

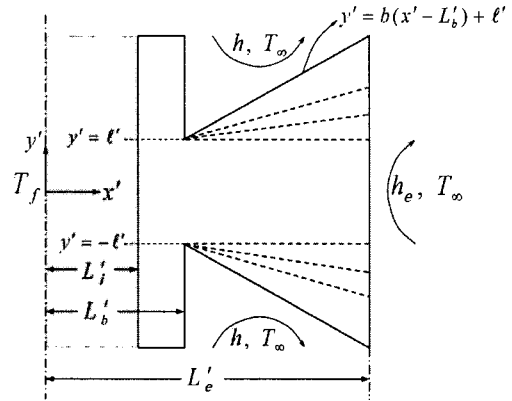


Fig. 1 Schematic of a reversed trapezoidal fin

$$B = F \cdot I_1(G) + M_e \cdot I_0(G) \quad (8)$$

$$f(x) = 2P\sqrt{b(x-L_b) + \ell} \quad (9)$$

$$D = \frac{P \cdot b}{\sqrt{\ell}} \left\{ \frac{1}{M_f} + (L_b - 1) \right\} \quad (10)$$

$$E = 2P\sqrt{\ell} \quad (11)$$

$$F = \frac{P \cdot b}{\sqrt{b(L_e - L_b) + \ell}} \quad (12)$$

$$G = 2P\sqrt{b(L_e - L_b) + \ell} \quad (13)$$

$$P = \frac{\sqrt{M}}{b} (1 + b^2)^{\frac{1}{4}} \quad (14)$$

Fig. 1에서 보여 지는 역 사다리꼴 핀으로 핀 바닥을 통하여 들어가는 단위 폭 당 전도 열전달은 식 (15)를 사용하여 구할 수 있으며, 무차원 열손실은 식 (16)으로 주어진다.

$$q = -k \cdot 2\ell \frac{dT}{dx} \Big|_{x=L'_e} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{q}{k\phi_f} \\ &= -\frac{2Pb\sqrt{\ell}}{R} \{A \cdot I_1(E) - B \cdot K_1(E)\} \end{aligned} \quad (16)$$

2.2 핀 유용성과 효율

핀 유용성을 구하기 위해서는 먼저 단순 외벽으로부터의 열손실을 계산하여야 한다. 단순 외벽으로부터의 열손실을 위한 무차원 지배 방정식은 식 (17)로 표현된다.

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} = 0 \tag{17}$$

지배 방정식 (17)을 풀기위한 두개의 무차원 경계조건들은 식 (18)과 (19)로 주어진다.

$$M_f \cdot (1 - \theta|_{x=1}) + \frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=1} = 0 \tag{18}$$

$$\frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=L_b} + M \cdot \theta|_{x=L_b} = 0 \tag{19}$$

주어진 두개의 경계조건들을 가지고 지배방정식 (17)을 풀면 내벽으로부터 단순 외벽까지의 온도분포를 나타내는 식 (20)을 구할 수 있다.

$$\theta(x) = \frac{M_f(M \cdot L_b + 1 - M \cdot x)}{M + M_f + M \cdot M_f(L_b - 1)} \tag{20}$$

단위 폭 당 외벽으로부터의 열전달은 식 (21)을 사용하여 구할 수 있으며, 외벽으로부터의 무차원 열손실이 식 (22)에서 주어진다.

$$q_w = -k \cdot 2\ell \frac{dT}{dx'} \Big|_{x'=L'_b} \tag{21}$$

$$Q_w = \frac{q_w}{k\phi_f} = \frac{2\ell M \cdot M_f}{M + M_f + M \cdot M_f(L_b - 1)} \tag{22}$$

핀의 유용성은 식 (23)으로 정의된다.

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_w} \tag{23}$$

핀 효율은 식 (24)와 같이 핀으로부터의 이상적인 열손실에 대한 실제 핀으로부터의 열손실의 비로 정의된다. 또한 무차원 형태의 핀으로부터의 이상적인 열손실은 식 (25)로 주어진다.

$$\eta = \frac{Q}{Q_{ideal}} \tag{24}$$

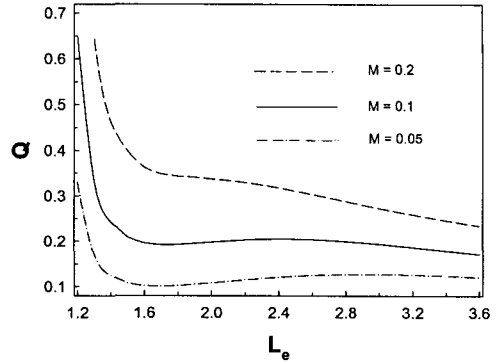


Fig. 2 Heat loss as a function of fin tip length for $V=0.5$, $L_b=1.1$, $M_f=1000$, $\beta=1$ and $\xi=0.75$

$$Q_{ideal} = 2 \{ M_e \ell + (L_e - L_b)(M\sqrt{1+b^2} + M_e b) \} \cdot \theta|_{x=L_b} \tag{25}$$

2.3 핀 체적

핀 체적을 일정하게 고정된 후 주어진 체적에서 최대 열손실을 구하기 위하여 핀 체적을 알아야 하는데 식 (26)을 사용하여 단위 폭 당 핀 체적을 계산할 수 있으며 무차원 형태의 핀 체적은 식 (27)로 주어진다.

$$V = 2 \int_{L_b}^{L_e} \{ \ell + b(x' - L'_b) \} dx' \tag{26}$$

$$V = \frac{V'}{L_i'^2} = \ell(L_e - L_b)(3 - \xi) \tag{27}$$

3. 결과 및 고찰

Fig. 2에서 무차원 핀 체적이 0.5로 고정된 경우 핀 끝 길이의 변화에 따른 핀으로부터의 열손실 변화가 보여진다. 주어진 M 들에 대하여 핀 끝 길이가 매우 짧아짐에 따라 열손실이 급격히 증가하는데 이는 체적이 고정되었기 때문에 열원에 가까운 핀 바닥 높이가 급격히 증가하고 fin 끝 길이는 짧아지기 때문인데 이와 같은 경우 핀의 의미는 없어진다. 그러므로 적절한 핀 길이를

Table 1 The effect of M_f and L_b on the fin base temperature for $\ell = 0.1$, $M=0.1$, $\beta=1$, $\xi = 0.75$ and $L_e=2$

M_f	$\theta(x=L_b)$		
	$L_b=1.01$	$L_b=1.1$	$L_b=1.2$
1	0.5474	0.5372	0.5303
10	0.9174	0.8646	0.8187
100	0.9839	0.9207	0.8658
1000	0.9911	0.9267	0.8708

고려할 때 먼저 M 이 0.05인 경우 핀 끝 길이가 약 2.9 근처에서 최대 열손실이 발생하며 M 이 0.1인 경우는 약 2.4 근처로 최대 열손실은 더 짧은 핀 끝 길이에서 일어난다. 이후 M 이 더 커져서 0.2인 경우에는 핀 길이가 증가할수록 열손실은 계속 감소하며 최대 열손실은 적절한 핀 길이에서 발생하지 않는다.

Table 1은 내벽 안에 있는 유체의 대류특성계수와 핀 바닥 길이의 변화에 따른 핀 바닥에서의 온도변화를 나열한다. 핀 바닥 길이 L_b 가 커짐에 따라 내벽과 핀 바닥 사이의 열 저항의 증가로 인하여 핀 바닥에서의 온도가 떨어짐을 보여준다. 내벽 안에 있는 유체의 M_f 가 클수록 유체로부터 내벽으로 대류 열전달이 잘 일어나는 것을 의미한다. 따라서 M_f 가 커질수록 핀 바닥의 온도가 높아짐을 보여준다. 핀 최적화의 본 연구에서 유체로부터 내벽으로 열전달이 충분히 잘 일어나도록 M_f 값을 1000으로 고정하였다.

역 사다리꼴 핀의 최적화 결과 분석 이전에 본 연구에서 사용한 1차원 해석에 의한 최적화의 타당성을 보여주기 위하여 Kang과 Look⁽¹¹⁾이 발표한 논문과 비교한 결과, 본 연구에서 주어진 대류특성계수, 핀 높이 그리고 핀 길이의 범위에서 구한 열손실은 2차원 해석으로 구한 열손실에 대하여 약 1% 내의 상대오차 범위에 있을 것으로 생각된다. 구체적으로, 예를 들면, 본 논문의 최적화 범위에서 변수들의 거의 최대가 되는 $M=0.15$, $\ell = 0.4$, $L_e=3$ 그리고 $L_b=1.01$ 이면 Kang과 Look⁽¹¹⁾의 연구에서는 $Bi=M\ell = 0.15 \times 0.4 = 0.06$, $L=L_e - L_b = 3 - 1.01 \approx 2$ 가 되는데, 이 경우 Kang과

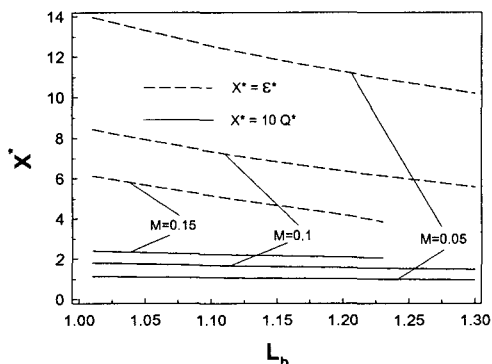


Fig. 3 Optimum performances vs. L_b for $V=0.3$, $M_f=1000$, $\beta=1$ and $\xi=0.75$

Look⁽¹¹⁾의 Fig. 6(a)와 6(b)로부터 각각 1차원과 2차원으로 구한 열손실의 상대오차는 $Bi=0.01$, $L=2$ 일 때 약 0.15%이며 $Bi=0.1$, $L=2$ 일 때는 약 0.97%이다. 따라서 보갑법에 의하여 $Bi=0.06$, $L=2$ 일 때 상대오차는 약 0.61%인데 형상이 약간 다른 역 사다리꼴 핀을 고려하더라도 본 논문의 $\ell = 0.4$ 는 Kang과 Look⁽¹¹⁾의 $\ell = 1$ 보다 작으므로 1% 이내일 것으로 생각된다.

Fig. 3은 핀 체적이 0.3으로 고정되었을 때 핀 바닥 길이의 변화가 최적의 열손실과 유용성에 미치는 영향을 나타낸다. 여기서 최적의 열손실은 최대 열손실을 의미하며 최적의 유용성은 최대 열손실이 일어날 때의 유용성 값을 의미한다. 핀 바닥 길이가 증가함에 따라 최적의 열손실과 유용성은 모두 감소한다. 이는 핀 바닥 길이가 증가함에 따라 내벽과 핀 바닥 사이의 열 저항이 증가하기 때문이다. 핀 바닥 길이가 일정할 때는 M 이 커짐에 따라 최적의 열손실은 증가하는 반면 최적의 유용성은 감소함을 보여준다. 또한 M 이 0.15인 경우에는 핀 바닥 길이가 약 1.23 이상에서는 최대열손실이 존재하지 않음을 의미한다.

최적의 핀 끝 길이와 핀 바닥 높이가 핀 바닥 길이의 함수로 Fig. 4에서 보여진다. 여기서 최적의 핀 끝 길이와 바닥 높이는 최대 열손실이 일어날 때의 핀 끝 길이와 핀 바닥 높이를 의미한다. 핀 바닥 길이가 증가할수록 최적의 핀 끝 길이의 변화는 미미하며 이는 핀 바닥 길이가 길

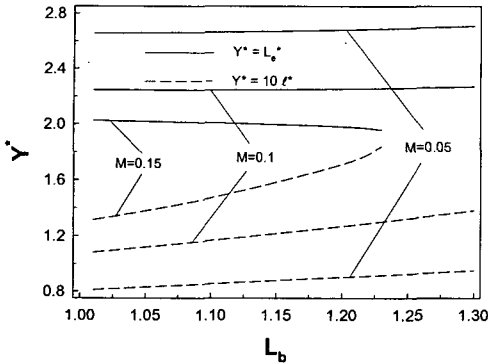


Fig. 4 Optimum dimensions vs. L_b for $V=0.3$, $M_f=1000$, $\beta=1$ and $\xi=0.75$

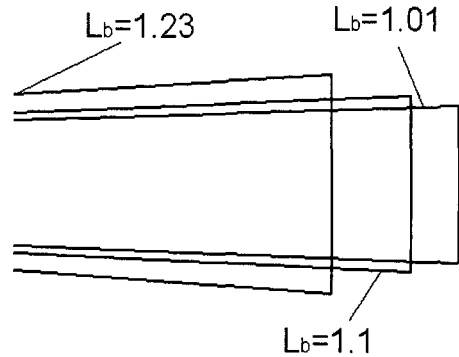


Fig. 4-2 Schematic diagram of optimum reversed trapezoidal fins for $M=0.15$ in Fig. 4

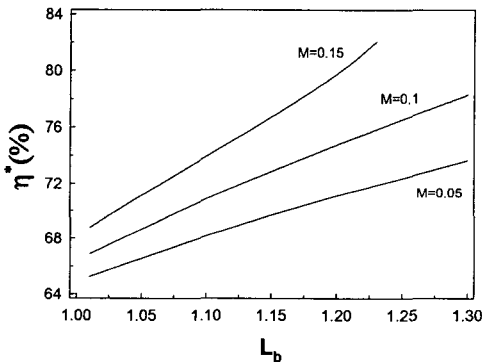


Fig. 4-1 Efficiency vs. L_b for optimum dimensions given in Fig. 4

어짐에 따라 실제 최적의 핀 길이 ($L_e^* - L_b$)는 작아지는 것을 의미한다. 핀 바닥 높이는 핀 바닥 길이가 증가함에 따라 증가하며 M 이 커질수록 그 증가율이 현저해진다. 또한 핀 바닥 길이 값이 고정되었을 때 M 이 커질수록 최적의 핀 바닥 높이는 높아지는 반면 최적의 핀 끝 길이는 짧아짐을 보여준다.

Fig. 4의 상황에서 L_b 의 변화에 따라 주어진 최적의 핀의 차원에 대한 효율이 Fig. 4-1에서 보여진다. 여기서 η^* 는 최적의 효율을 의미하는 것이 아니고 최대열손실이 일어날 때의 효율을 의미한

다. 보통은 대류특성계수가 커짐에 따라 효율이 작아지나 Fig. 4-1에서는 대류특성계수가 커짐에 따라 효율이 커지는 이유는 최적의 핀 길이가 짧아지기 때문이다. 주어진 대류특성계수들에 대하여 L_b 가 커짐에 따라 효율은 지속적으로 증가하는데 이는 L_b 가 커짐에 따라 최적의 핀 길이가 짧아지기 때문이다.

Fig. 4-2는 이해를 돕기 위해 Fig. 4의 M 이 1.5인 경우에 핀 바닥 길이가 변함에 따라 핀 바닥 높이와 핀 길이의 비에 기준하여 변화하는 최적의 역 사다리꼴 핀의 측면 형상을 보여준다. 세 경우의 핀 바닥 값에 대한 핀 형상에서 ξ 값이 0.75이기 때문에 핀 끝의 높이는 핀 바닥 높이의 5/4배로 일정하다.

Fig. 5는 핀 체적이 0.3으로 고정되었을 때 대류특성계수 비 β 의 변화가 최적의 열손실과 유용성에 미치는 영향을 나타낸다. 대류특성계수 비가 증가함에 따라 최적의 열손실은 증가하는 반면 최적의 유용성은 감소한다. 대류특성계수 비가 1이 아닌 경우 최적의 유용성을 구할 때 단순 벽면으로부터의 열손실은 M_e 대신 M 값을 적용하여 구하였다. 대류특성계수 비가 일정할 때는 M 이 커짐에 따라 최적의 열손실은 증가하는 반면 최적의 유용성은 감소함을 보여준다.

Fig. 6은 핀 체적이 0.3으로 고정되었을 때 대류특성계수 비 β 의 변화가 최적의 핀 바닥높이와 핀 끝 길이에 미치는 영향을 나타낸다. 대류 특성

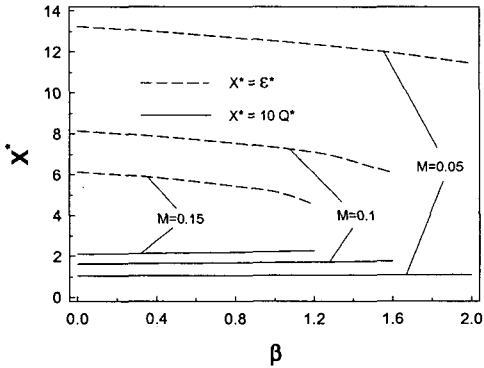


Fig. 5 Optimum performances vs. β for $V=0.3$, $L_b=1.1$, $M_f=1000$ and $\xi=0.75$

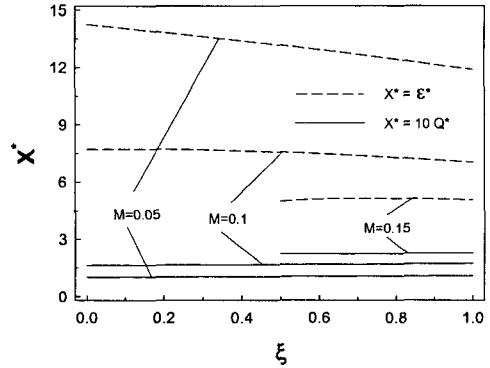


Fig. 7 Optimum performances vs. ξ for $V=0.3$, $L_b=1.1$, $M_f=1000$ and $\beta=1$

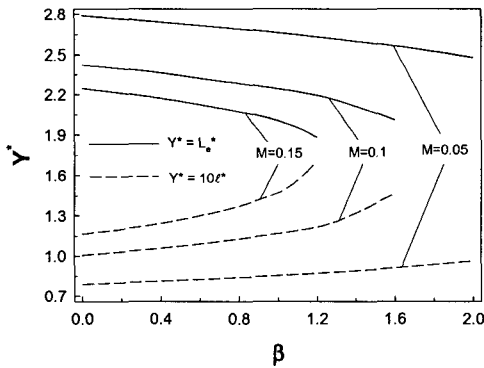


Fig. 6 Optimum dimensions vs. β for $V=0.3$, $L_b=1.1$, $M_f=1000$ and $\xi=0.75$

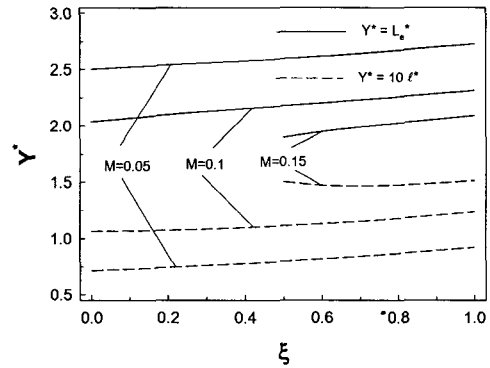


Fig. 8 Optimum dimensions vs. ξ for $V=0.3$, $L_b=1.1$, $M_f=1000$ and $\beta=1$

계수 비가 증가할수록 최적의 핀 끝 길이는 짧아지는 반면 핀 바닥 높이는 높아진다. 또한 β 값이 고정되었을 때 M 이 커질수록 최적의 핀 바닥 높이는 높아지는 반면 최적의 핀 끝 길이는 짧아짐을 보여준다.

핀의 체적이 0.3으로 고정되어 있을 경우 핀 형상 계수 ξ 가 최적 성능에 미치는 영향이 Fig. 7에서 보여진다. 이미 언급되었듯이 여기서 ξ 가 1인 경우는 단순 사각 핀을 의미하며 0이면 핀 끝의 높이가 핀 바닥 높이의 2배가 되는 역 사다리꼴 핀을 나타낸다. 핀 끝의 높이가 핀 바닥 높이의 2배가 되는 역 사다리꼴 핀에서 사각

핀으로 변할수록 최적의 열손실은 증가하는 반면 최적의 유용성은 감소한다. 대류특성계수 M 이 0.15일 때는 ξ 가 0.5 이하에서는 최적 값이 존재하지 않음을 의미한다.

Fig. 8은 핀 형상계수 ξ 의 변화가 최대 열 손실이 일어나는 최적의 핀 끝 길이와 바닥 높이에 미치는 영향을 보여준다. 핀 형상계수 ξ 가 증가할수록 최적의 핀 끝 길이는 지속적으로 증가하는 것을 보여주고 같은 ξ 에 대하여 M 이 작아질수록 최적의 핀 끝 길이는 증가하는 것을 알 수 있다. 최적의 핀 바닥 높이는 M 이 0.05와 0.1일 때는 ξ 의 증가에 따라 지속적으로 증가하는데

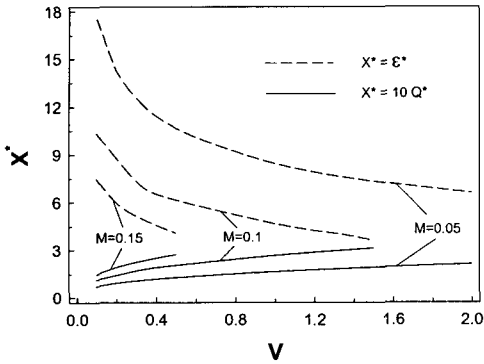


Fig. 9 Optimum performances vs. V for $L_b=1.1$, $M_f=1000$, $\beta=1$ and $\xi=0.75$

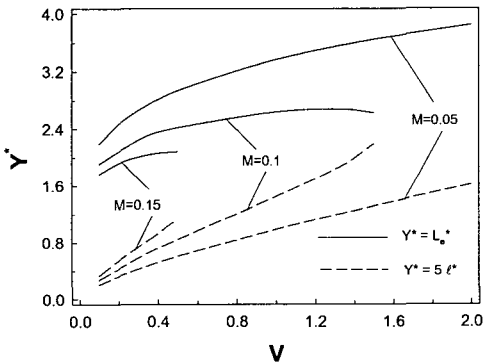


Fig. 10 Optimum dimensions vs. V for $L_b=1.1$, $M_f=1000$, $\beta=1$ and $\xi=0.75$

M 이 0.15일 때는 ξ 의 증가에 따라 감소하다가 증가한다.

지금까지의 논의에서는 무 차원 핀 체적이 0.3으로 고정되었었다. 핀 체적의 함수로 최적의 성능들의 변화가 Fig. 9에서 보여진다. 예상했던 대로 핀 체적이 증가함에 따라 확장 표면이 증가하고 이에 따라 최적의 열손실은 증가한다. 반면에 최적의 핀 유용성은 핀 체적이 증가함에 따라 감소하는데 이는 Fig. 10에서 보여주듯이 핀 체적이 증가함에 따라 핀 바닥 높이가 지속적으로 현저하게 증가하기 때문이다. 최적의 성능들이 존재하는 체적의 범위가 M 이 커짐에 따라 줄어든

것을 보여준다.

Fig. 10에서 최적의 핀 끝 길이와 바닥 높이가 핀 체적의 함수로 나타난다. 이미 언급되었듯이 핀 체적이 증가함에 따라 최적의 핀 바닥 길이는 지속적으로 현저하게 증가하는 반면 최적의 핀 끝 길이는 처음에 현저하게 증가하다 그 이후 서서히 증가율이 작아진다. 이는 물리적으로 핀 체적이 커질수록 최적의 측면 핀 형상은 상대적으로 얇은 형상에서 두꺼운 형상으로 변함을 의미한다.

4. 결론

내벽의 유체를 고려하는 역 사다리꼴 핀의 최적화에 대하여 다음과 같은 결론을 얻는다.

(1) 역 사다리꼴 핀 형상이 주어지고 핀 체적이 일정할 때 핀 바닥 길이 또는 대류특성계수비가 증가할수록 최대 열손실을 발생하기 위한 최적의 핀 바닥높이는 커진다. 물리적으로 대류특성계수비가 증가할수록 핀 끝에서의 열손실이 보다 활발하기 때문에 최적의 핀 길이는 짧아지게 되고 고정된 핀 체적으로 인하여 최적의 핀 바닥 높이는 증가하는 것으로 추측된다. 또한 핀 체적이 일정하게 주어졌을 때 핀 바닥 길이는 핀 체적에 관계가 없기 때문에 핀 바닥 길이가 커짐에 따라 최적의 핀 바닥높이는 높아질 수 있으며 이는 실제 최적의 핀 길이는 짧아짐을 의미한다.

(2) 핀 끝 높이가 핀 바닥 높이의 2배인 역 사다리꼴 핀에서 사각 핀으로 변할수록 최적의 열손실은 커지는 반면 최적의 유용성은 감소한다. 이와 같이 최적의 열손실과 최적의 유용성의 변화가 반대 경향을 보이는 것은 핀 체적이 고정되고 최적의 핀 바닥 높이가 커지기 때문이다.

(3) 핀 체적이 커질수록 최대의 열전달을 발생하기 위한 최적의 측면 핀 형상은 상대적으로 얇은 형상에서 두꺼운 형상으로 변하는데 이는 최적의 핀 길이는 조금씩 늘어나는 반면 최적의 핀 바닥 높이는 현저히 높아지기 때문이다.

참고문헌

- (1) Bar-Cohen, A., 1979, "Fin Thickness for an Optimized Natural Convection Array of Rectangular Fins," *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 101,

- pp. 564~566.
- (2) Chung, B. T. F., Abdalla, M. H. and Liu, F., 1989, "Optimization of Convective Longitudinal Fin of Trapezoidal Profile," *Chem. Eng. Comm.*, Vol. 80, pp. 211~223.
- (3) Laror, K. and Kalman, H., 1992, "The Effect of Tip Convection on the Performance and Optimum Dimensions of Cooling Fins," *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, Vol. 19, pp. 359~362.
- (4) Razelos, P. and Satyaprakash, B. P., 1993, "Analysis and Optimization of Convective Trapezoidal Profile Longitudinal Fin," *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 115, pp. 461~463.
- (5) Yeh, R. H., 1997, "An Analytical Study of the Optimum Dimensions of Rectangular Fins and Cylindrical Pin Fins," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 40, No. 15, pp. 3607~3615.
- (6) Casarosa, C. and Franco, A., 2001, "On the Optimum Thermal Design of Individual Longitudinal Fins with Rectangular Profile," *Heat Transfer Engineering*, Vol. 22, No. 1, pp. 51~71.
- (7) Kang, H. S. and Look, D. C. Jr., 2004, "Optimization of Thermally and Geometrically Asymmetric Trapezoidal Fins," *AIAA Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, Vol. 18, No. 1, pp. 52~57.
- (8) Chung, B. T. F. and Iyer, J. R., 1993, "Optimum Design of Longitudinal Rectangular Fins and Cylindrical Spines with Variable Heat Transfer Coefficient," *Heat Transfer Engineering*, Vol. 14, pp. 31~42.
- (9) Kang, H. S., 2001, "Optimization of a 3-D Thermally Asymmetric Rectangular Fin," *KSME International Journal*, Vol. 15, No. 11, pp. 1541~1547.
- (10) Han, Y. M. and Kang, H. S., 2005, "Performance Analysis of Reversed Trapezoidal Fins," *Proceedings of the KSME 2005 Fall Annular Meeting*, pp. 182~187.
- (11) Kang, H. S. and D. C. Look, Jr., 1999, "A Comparison of Four Solution Methods for the Analysis of a Trapezoidal Fin," *KSME International Journal*, Vol. 13, No. 6, pp. 487~495.