역 사다리꼴 핀의 최적화에 미치는 내 외 유체의 영향

강형석*

The Effect of Inside and Outside Fluids on the Optimization of a Reversed Trapezoidal Fin

Hyungsuk Kang*

ABSTRACT

A reversed trapezoidal fin with variable lateral surface slope is optimized using a two-dimensional analytic method. For a fin base boundary condition, convection from the inside fluid to the inside wall and conduction from the inside wall to the fin base are considered. Heat loss from the fin tip surface is not ignored. The maximum heat loss at the practical fin length, the corresponding optimum fin efficiency, fin length and fin base height are presented as a function of the fin inside and outside convection characteristic numbers. One of the results shows that the optimum fin shape becomes 'fatter and shorter' as the ratio of fin tip height to base height increases.

초 록

측면 표면 기울기가 변화하는 역 사다리꼴 핀이 2차원 해석적 방법을 사용하여 최적화된다. 핀 바닥 경계조건을 위해서, 내부유체로부터 내벽까지의 대류와 내벽부터 핀 바닥까지의 전도가 고려된다. 핀 끝 면으로부터의 열손실은 무시되지 않는다. 실제적인 핀 길이에서의 최대 열손실, 그 최대 열손실이 발생할 때의 최적의 효율, 핀 길이 그리고 핀 바닥 높이가 핀 내 외부의 대류특성계수의 함수로 나타내어진다. 결과 중 하나는 핀 바닥 높이에 대한 핀 끝 높이의 비가 커질수록 최적의 핀 형상은 두껍고 짧아지는 형상이 됨을 보여준다.

Key Words: Optimization (최적화), Convection Characteristic Number (대류특성계수), Fin shape Factor (핀 형상계수), Heat Loss (열손실)

Nomenclature

h: 핀 주위 열대류계수 [$W/m^2 \cdot K$]
h_e: 핀 끝 열대류계수 [$W/m^2 \cdot K$]
h_f: 내부 유체 열대류계수 [$W/m^2 \cdot K$]

† 2007년 7월 4일 접수 ~ 2007년 10월 11일 심사완료
* 정회원, 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부
연락저자, E-mail: hkang@kangwon.ac.kr

k: 열전도율 [W/m · K]
l_b: 핀 바닥 두께 [m]
L_b: 무차원 핀 바닥 두께 ($=l_b/l_c$)
l_c: 특성 길이 [m]
l_e: 핀 끝 길이 [m]
L_e: 무차원 핀 끝 길이 ($=l_e/l_c$)
l_h: 핀 바닥 높이의 반 [m]
L_h: 무차원 핀 바닥 높이의 반 ($=l_h/l_c$)
l_w: 핀 폭 [m]
M: 핀 주위 대류특성계수 {$=(h \cdot l_c)/k$}
M_e: 핀 끝 대류특성계수 {$=(h_e \cdot l_c)/k$}
M_f: 내부유체 대류특성계수 {$=(h_f \cdot l_c)/k$}
q: 핀으로부터의 열손실 [W]
q_{id}: 핀으로부터의 이상적인 열손실 [W]
Q: 무차원 핀으로부터의 열손실 {$=q/(k\phi_f l_w)$}
Q_{id}: 무차원 핀으로부터의 이상적인 열손실 {$=q_{id}/(k\phi_f l_w)$}
s: 핀 측면 기울기 [$=\{(1-\xi)L_{hl}\}/(L_e-L_b)$]
T: 온도 [K]
T_f: 내부유체 온도 [K]
T_∞: 주위 온도 [K]
v: 핀 체적 [m^3]
V: 무차원 핀 체적 {$=v/(l_c^2 \cdot l_w)$}
x: 핀 길이 방향 좌표 [m]
X: 무차원 핀 길이 방향 좌표 ($=x/l_c$)
y: 핀 높이 방향 좌표 [m]
Y: 무차원 핀 높이 방향 좌표 ($=y/l_c$)
β: 대류특성계수 비 ($=M_e/M$)
η: 핀 효율
θ: 무차원 온도, {$=(T-T_\infty)/(T_f-T_\infty)$}
λ_n: 고유 값 (n=1, 2, 3, · · ·)
ξ: 핀 형상 계수 ($0 \le \xi \le 1$)
ϕ_f: 변형된 내부유체 온도 [K] ($=T_f-T_\infty$)

위첨자
* : 최적

아래첨자
b: 핀 바닥
c: 특성
e: 핀 끝
f: 내부유체
h: 핀 높이
id: 이상
w: 핀 폭
∞: 주위

1. 서 론

열전달을 증가시키기 위한 보편적인 수단으로 핀이 광범위하게 사용되고 있다. 예를 들면 전자부품의 방열 핀, 응축기, 증발기, 자동차의 라디에이터 등에서부터 항공 우주분야에 이르기까지 거의 모든 분야에서 사용되어지고 있다. 핀에 관련된 연구 또한 계속해서 이루어지고 있는데[1, 2], 최근에는 핀의 최적화에 대하여 많은 관심이 주어지고 있다. 핀의 최적화를 위한 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 최적화 방법을 사용하여 사각, 삼각, 사다리꼴 그리고 환형 등 다양한 형상의 핀에 대한 최적화가 수행되어왔다[3-7]. 예를 들면, Chung등은 대류만을 고려한 사다리꼴 핀의 최적화를 다루었다[3]. Laror와 Kalman은 길이 형과 환형 타입의 사각, 삼각 그리고 포물선 형상의 핀들에 대한 최적화를 연구한 반면[4] Razelos와 Satyaprakash는 열적 성능을 묘사하는 사다리꼴 형상의 핀 해석을 발표 하였으며 또한 최적 문제에 대한 개선된 풀이를 제시하였다[5]. 또한 Yeh는 사각 핀들과 원통형 pin 핀들의 최적화 된 차원을 조사하였으며[6] Casarosa와 Franco는 일정한 두께를 가진 하나의 사각 핀에 대한 최적화된 설계에 접근하였다[7]. 이러한 최적화 연구들은 1차원 해석을 사용하여 조사되었다. 2차원 해석을 사용하여 최적화를 위한 연

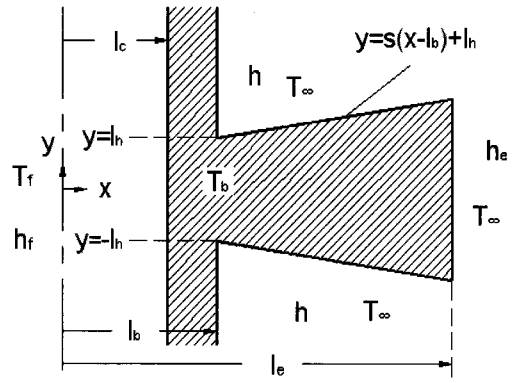

Fig. 1 Geometry of a reversed trapezoidal fin

구로는 Kang과 Cho가 측면 형상이 사각형인 환형 핀에 대한 최적화를 논의하였으며[8], Chung과 Iyer는 pin 핀들의 최적화를 근사적으로 구하기 위하여 적분법을 사용하였다[9]. Kang과 Look은 열적으로 비대칭 상태에서 고정된 핀 바닥 높이를 가진 사다리꼴 핀의 최적화를 다루었다[10].

또한 다소 독특한 형상에 대한 핀의 최적화를 다룬 연구들이 있는데 예를 들면, Bejan과 Almogbel이 T형상 핀의 정열들에 대한 기하학적 최적화를 보고하였다[11]. 최근에는 Kundu와 Das가 타원형의 디스크 핀을 준-해석적인 기법을 사용하여 해석하고 최적화하였다[12]. 이러한 다소 독특한 핀 형사의 최적화에서 핀 바닥 경계조건으로 일정한 온도가 주어졌다.

본 논문에서는 상대적으로 연구가 많이 이루어 지지 않았고 다소 독특한 형상의 역 사다리꼴의 핀의 최적화를 2차원 해석적 방법을 사용하여 다루었는데 특히 핀 내 외의 유체가 최적값들에 미치는 영향에 초점을 맞추었다. 핀의 체적이 일정할 때 실제적인 핀 길이에서 발생하는 최대의 열전달을 최적의 열손실로 정의하였으며 이러한 최적화를 수행할 때 핀 바닥의 경계조건으로 일정한 온도대신 내벽 안에 있는 유체로부터 내벽으로의 열대류와 내벽으로부터 핀 바닥으로의 열전도가 고려되었다. 또한 핀 주위의 열대류 계수에 대한 핀 끝의 열대류계수의 비가 최적화에 미치는 영향이 조사되었다.

2. 2차원 해석적 방법

2.1 열손실

Figure 1은 핀 측면 기울기가 변하는 역 사다리꼴 핀을 나타내는데 해칭 된 부분이 핀이며 핀 의 좌측부분이 내부유체 이고 핀의 우측부분은 외부유체를 나타낸다. Fig. 1에서 보여 지는 역 사다리꼴 핀에 대한 무차원 지배방정식은 식 (1)로 주어진다.

$$\frac{\partial\theta}{\partial X}+\frac{\partial\theta}{\partial Y}=0 \tag{1}$$

지배방정식 (1)을 풀기위하여 세 개의 경계조건과 하나의 에너지 균형 조건이 필요한데 이러한 조건들은 식 (2)부터 (5)까지 무차원 형태로 나타낼 수 있다.

$$\left.\frac{\partial\theta}{\partial X}\right|_{X=L_b}+\frac{1-\theta|_{X=L_b}}{1/M_f+L_b-1}=0 \tag{2}$$

$$\left.\frac{\partial\theta}{\partial X}\right|_{X=L_e}+M_e\cdot\theta|_{X=L_e}=0 \tag{3}$$

$$\left.\frac{\partial\theta}{\partial Y}\right|_{Y=0}=0 \tag{4}$$

$$-\int_0^{L_h}\left.\frac{\partial\theta}{\partial X}\right|_{X=L_b}dY = M\int_{L_h}^{s(L_e-L_b)+L_h}\theta\sqrt{\left(\frac{1}{s}\right)^2+1}\,dY - \int_0^{s(L_e-L_b)+L_h}\left.\frac{\partial\theta}{\partial X}\right|_{X=L_e}dY \tag{5}$$

물리적으로 경계조건 (2)는 내부유체로부터 핀 내벽까지의 대류, 핀 내벽으로부터 핀 바닥까지의 전도, 그리고 핀 바닥을 통한 열전달은 모두 같다는 조건으로부터 유도된 핀 바닥 경계조건이며 식 (3)은 핀 끝을 통하여 전도로 들어오는 열전달은 대류에 의하여 외부유체로 나가는 열

전달과 같음을 의미한다. 또한 경계조건 식 (4)는 위아래가 대칭인 관계로 핀 중심선을 통한 열전달은 없음을 의미하며 식 (5)는 핀 바닥의 윗면 반을 통하여 전도로 들어오는 열전달은 핀 위 경사면을 통하여 대류로 나가는 열전달과 핀 끝 면을 통한 전도 열전달의 합과 같음을 의미한다. 여기서 주지할 사항은 기울기가 0일 경우 (i.e. s=0 또는 ξ=1) 핀의 형상은 사각 핀이 되며, 이 경우는 에너지 균형 식 (5)가 사각 핀 위면에서의 경계조건으로 대치되어야 한다는 것이다. 지배방정식 (1)을 변수분리법을 사용하여 푼 후 경계조건 식들 (2)부터 (4)를 적용하면 역 사다리꼴 핀 내의 온도 분포를 나타내는 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$\theta(X,Y)=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{g_1(\lambda_n)f(X)\cos(\lambda_n Y)}{g_2(\lambda_n)+g_3(\lambda_n)} \quad (6)$$

여기서,

$$f(X)=\cosh(\lambda_n X)+g_4(\lambda_n)\sinh(\lambda_n X) \quad (7)$$

$$g_1(\lambda_n)=\frac{4\sin(\lambda_n L_h)}{2\lambda_n L_h+\sin(2\lambda_n L_h)} \quad (8)$$

$$g_2(\lambda_n)=\{1-\lambda_n R_t g_4(\lambda_n)\}\cosh(\lambda_n L_b) \quad (9)$$

$$g_3(\lambda_n)=\{g_4(\lambda_n)-\lambda_n R_t\}\sinh(\lambda_n L_b) \quad (10)$$

$$g_4(\lambda_n)=-\frac{\lambda_n\tanh(\lambda_n L_e)+M}{\lambda_n+M\tanh(\lambda_n L_e)} \quad (11)$$

$$R_t=1/M_f+L_b-1 \quad (12)$$

식들 (6)부터 (11)에서 보여 지는 고유 값들 λ_n은 에너지 균형 식 (5)를 풀어서 정리한 식 (13)으로부터 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}0=&g_5(\lambda_n)-g_6(\lambda_n)+g_7(\lambda_n)[\{g_8(\lambda_n)+g_9(\lambda_n)\}\\&\cdot\{g_{10}(\lambda_n)+g_{11}(\lambda_n)-g_{12}(\lambda_n)-g_{13}(\lambda_n)\}\\&+\{g_{14}(\lambda_n)+g_{15}(\lambda_n)\}\cdot\{g_{16}(\lambda_n)+g_{17}(\lambda_n)\\&-g_{18}(\lambda_n)-g_{19}(\lambda_n)\}]\end{aligned} \quad (13)$$

여기서,

$$g_5(\lambda_n)=\{\sinh(\lambda_n L_b)+g_4(\lambda_n)\cdot\cosh(\lambda_n L_b)\}\cdot\sin(\lambda_n L_h) \quad (14)$$

$$g_6(\lambda_n)=\{\sinh(\lambda_n L_e)+g_4(\lambda_n)\cdot\cosh(\lambda_n L_e)\}\cdot\sin\{(\lambda_n(2-\xi)L_h)\} \quad (15)$$

$$g_7(\lambda_n)=M/(\lambda_n\sqrt{1+s^2}) \quad (16)$$

$$g_8(\lambda_n)=\cosh\{\lambda_n(L_b-L_h/s)\} \quad (17)$$

$$g_9(\lambda_n)=g_4(\lambda_n)\sinh\{\lambda_n(L_b-L_h/s)\} \quad (18)$$

$$g_{10}(\lambda_n)=\sinh\left\{\frac{\lambda_n}{s}(2-\xi)L_h\right\}\cdot\cos\{\lambda_n(2-\xi)L_h\} \quad (19)$$

$$g_{11}(\lambda_n)=s\cdot\cosh\left\{\frac{\lambda_n}{s}(2-\xi)L_h\right\}\cdot\sin\{\lambda_n(2-\xi)L_h\} \quad (20)$$

$$g_{12}(\lambda_n)=\cos(\lambda_n L_h)\sinh(\frac{\lambda_n L_h}{s}) \quad (21)$$

$$g_{13}(\lambda_n)=s\cdot\sin(\lambda_n L_h)\cosh(\frac{\lambda_n L_h}{s}) \quad (22)$$

$$g_{14}(\lambda_n)=\sinh\{\lambda_n(L_b-L_h/s)\} \quad (23)$$

$$g_{15}(\lambda_n)=g_4(\lambda_n)\cosh\{\lambda_n(L_b-L_h/s)\} \quad (24)$$

$$g_{16}(\lambda_n)=\cosh\left\{\frac{\lambda_n}{s}(2-\xi)L_h\right\}\cdot\cos\{\lambda_n(2-\xi)L_h\} \quad (25)$$

$$g_{17}(\lambda_n)=s\cdot\sinh\left\{\frac{\lambda_n}{s}(2-\xi)L_h\right\}\cdot\sin\{\lambda_n(2-\xi)L_h\} \quad (26)$$

$$g_{18}(\lambda_n)=\cos(\lambda_n L_h)\cosh(\frac{\lambda_n L_h}{s}) \quad (27)$$

$$g_{19}(\lambda_n)=s\cdot\sin(\lambda_n L_h)\sinh(\frac{\lambda_n L_h}{s}) \quad (28)$$

핀 측면 기울기가 변하는 역 사다리꼴 핀으로부터의 열손실은 핀 바닥을 통하여 전도로 들어가는 열전달과 같으며, 식 (29)를 사용하여 구할 수 있다.

$$q=-2\int_0^{l_h}k\frac{\partial T}{\partial x}\Big|_{x=l_b}l_w\,dy \quad (29)$$

식 (29)를 정리하여 얻어진 무차원 형태의 열손실은 식 (30)과 같이 표현된다.

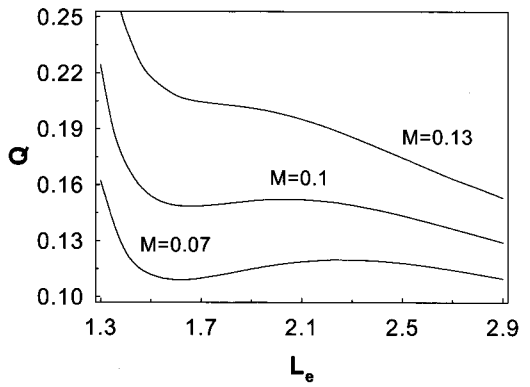

Fig. 2 Heat loss vs. the fin tip length (V=0.3, ξ=0.5, L_b=1.1, M_f=10, β=1)

$$Q=\frac{q}{kl_w\phi_f}=-2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{g_1(\lambda_n)g_5(\lambda_n)}{g_2(\lambda_n)+g_3(\lambda_n)} \quad (30)$$

2.2 핀 효율

핀 효율은 핀 표면 전체가 핀 바닥 온도와 같다는 가정아래 핀으로부터 발생하는 이상적인 열손실에 대한 실제 핀으로부터의 열손실의 비로 정의된다. 핀으로부터의 이상적인 열손실은 식 (31)을 사용하여 계산되어 질수 있다.

$$q_{id}=2h(T|_{x=l_b}-T_\infty)l_w\sqrt{(1+s^2)(l_e-l_b)^2}+2h_e(T|_{x=l_b}-T_\infty)l_w\{s(l_e-l_b)+l_h\} \quad (31)$$

식 (31)을 정리하여 무차원 형태의 식으로 나타내면 식 (32)와 같이 쓰어 진다.

$$Q_{id}=\frac{q_{id}}{kl_w\phi_f}=2\theta\Big|_{X=L_b}\cdot[M(L_e-L_b)\cdot\sqrt{1+s^2}+M_e\{s(L_e-L_b)+L_b\}] \quad (32)$$

핀 효율은 정의에 의하여 식 (33)으로 계산되어 질수 있다.

$$\eta=\frac{Q}{Q_{id}} \quad (33)$$

2.3 핀 체적

핀 측면 기울기가 변하는 역 사다리꼴 핀의 체적은 식 (34)를 사용하여 계산할 수 있으며 무차원 형태의 핀 체적은 식 (35)로 주어진다.

$$v=2l_w\int_{l_b}^{l_e}s(x-l_b)+l_h dx \quad (34)$$

$$V=\frac{v}{l_c^2 l_w}=(3-\xi)L_h(L_e-L_b) \quad (35)$$

3. 결과 및 고찰

먼저 본 연구해석 및 결과 도출 중에 계산상의 큰 실수가 없는지를 확인하기 위하여 1차원 해석적 방법에 의한 역 사다리꼴 핀의 해석결과와 간단히 비교를 하였다. 주위 조건 L_h=0.1, M=0.1, β=1, ξ=0.75, L_e=2 그리고 M_f=10일 때 Kang의 [13] Table 1에서 L_b=1.01과 1.2인 경우 $\theta(x=L_b)$는 각각 0.9174와 0.8187로 주어진 반면 본 연구에서 $\theta(x=L_b, y=0)$는 각각 0.9197과 0.8219로 상대오차가 0.4% 이내임을 보여준다.

환형 핀에서 핀 체적이 일정하고 핀의 길이와 바닥 높이가 변화되면 특정한 핀 길이에서 최대 열손실이 발생하는데[8, 14], 역 사다리꼴 핀의 경우에도 이 같은 변화 경향이 Fig. 2에서 보여진다. 이러한 현상은 핀 바닥 높이가 일정할 때 핀 길이가 길어짐에 따라 열손실이 처음에는 급격히 증가하다 그 이후 서서히 증가해서 매우 긴 핀 길이에서 최대열손실이 일어나는 현상과는 매우 대조적이다[10]. 먼저 Fig. 2는 핀 길이가 매우 짧아짐에 따라 열손실이 급격히 증가하는 것을 보여준다. 이는 핀 체적이 일정하므로 핀 길이가 짧아짐에 따라 핀 바닥 높이가 커지기 때문인데 핀 유용성의 측면에서 보면 핀의 효과는 아주 작아지게 된다. 핀 길이가 변함에 따라 M=0.07일 때는 실용적인 핀 길이인 약 L_e=2.25에서, 그리고 M=0.1일 때는 약 L_e=2.05에서 최대 열손실이 일어남을 보여주며 M이 특정 값 보다 커지면 (i.e. M=0.13) 실용적인 핀 길이

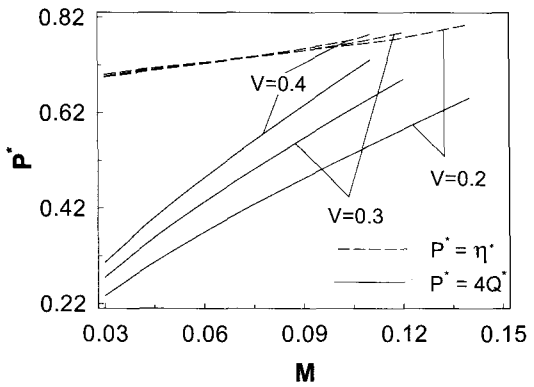

Fig. 3 Optimum performance vs. M (ξ=0.5, L_b=1.1, M_f=10, β=1)

에서 최대 열손실이 발생하지 않음을 보여준다. 본 연구에서는 실용적인 핀 길이에서 발생하는 최대열손실을 최적의 열손실로 정의하며 최적의 열손실이 일어날 때의 효율을 최적의 효율로 정의한다.

Figure 3은 다른 변수들이 일정하게 주어졌을 때 핀 주위의 대류특성계수의 변화에 따른 최적의 열손실과 최적의 열손실이 일어날 때의 핀의 효율의 변화를 나타낸다. 대류특성계수가 증가함에 따라 최적의 열손실과 효율 모두 지속적으로 증가함을 보여준다. 대류특성계수가 일정할 때는 체적의 변화에 따른 최적의 열손실의 변화는 현저한데 반해 효율의 변화는 상당히 미미함을 주지할 수 있다.

이와 같이 대류특성계수가 일정하게 주어졌을 때 체적의 변화에 따른 다소 미미한 효율 상호간의 상대적 변화에 대한 데이터가 Table 1에서 나열된다. 다른 변수들의 값은 Fig. 3에서 주어진 값들과 같다. 주지된 바와 같이 최적 효율의 상대 변화율은 주어진 범위 내에서 1%이내이며 상대적으로 작은 대류특성계수 값에서는 (i.e. M=0.03 and 0.05) 체적이 작을수록 최적 효율 값이 커지며 대류특성계수 값이 증가함에 따라 그 경향이 역전되기 시작해서 대류특성계수가 0.1일 때는 핀 체적이 클수록 최적 효율이 커지는 것을 알 수 있다.

Table 1 Relative variation of the optimum fin efficiency (ξ=0.5, L_b=1.1, M_f=10, β=1)

M	$\frac{\eta^*(V)-\eta^*(V=0.3)}{\eta^*(V=0.3)}$ (%)	
	V=0.2	V=0.4
0.03	0.53	-0.19
0.05	0.41	-0.17
0.07	0.23	0.08
0.1	-0.26	0.75

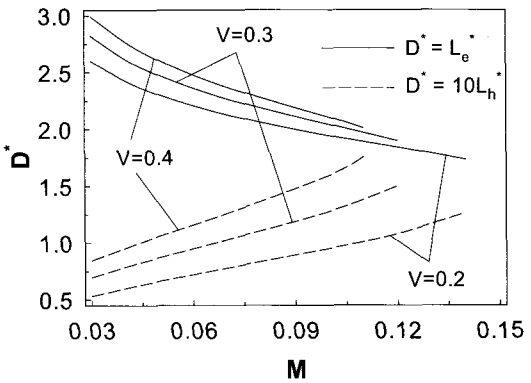

Fig. 4 Optimum dimension vs. M (ξ=0.5, L_b=1.1, M_f=10, β=1)

Figure 4는 Fig. 3과 같은 조건에서 대류특성계수의 변화에 따른 최적의 핀 끝 길이와 바닥 높이의 변화를 나타낸다. 여기서 최적의 핀 끝 길이 및 바닥 높이는 최적의 열손실이 일어날 때의 길이와 높이를 의미한다. 본 연구 결과 제시된 최적화 된 핀의 차원을 고려하여 핀의 설계를 함으로써 핀을 좀 더 효율적으로 적용하는데 도움이 되리라 판단된다. 대류특성계수가 증가함에 따라 최적의 핀 끝 길이는 감소하는데 이는 물리적으로 대류특성계수가 증가함에 따라 핀 길이 표면을 따라서 많은 열손실이 일어나기 때문이다. 핀 체적이 일정하기 때문에 최적의 핀 길이가 짧아짐에 따라 최적의 핀 바닥 높이는 높아짐을 보여준다. 또한 일정한 대류특성계수 값에서는 체적이 증가함에 따라 최적의 핀

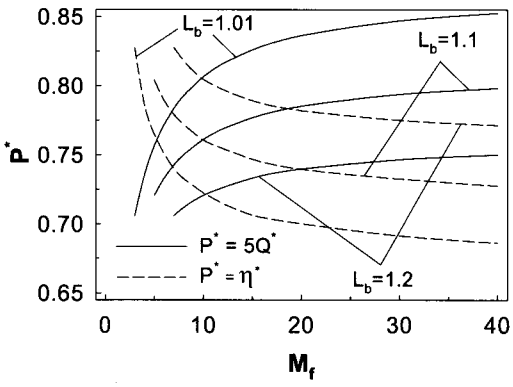

Fig. 5 Optimum performance vs. M_f (ξ=0.5, M=0.1, β =1, V=0.3)

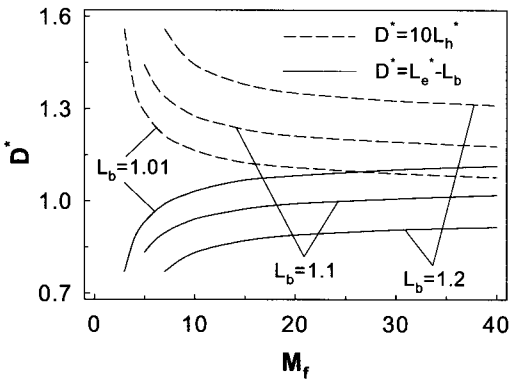

Fig. 6 Optimum dimension vs. M_f (ξ=0.5, M=0.1, β =1, V=0.3)

길이가 길어짐을 보여준다.

Figure 5는 다른 변수들이 일정하게 주어졌을 때 세 경우의 다른 핀 바닥 두께에 대하여 내부유체의 대류특성계수의 변화에 따른 최적의 열손실과 효율의 변화를 보여준다. 핀 외부는 기체이고 내부는 액체라고 가정할 때 보통 액체의 열전달 계수가 기체의 열전달 계수보다 수배에서 수백 배 크다. 따라서 내부유체 대류특성계수 값은 이런 점을 고려하면서 최적 값에 미치는 영향이 현저한 40까지 변화시켰다. 내부유체의 대류특성계수가 증가할수록 최적의 열손실은 증가하나 내부유체의 대류특성계수가 커질수록

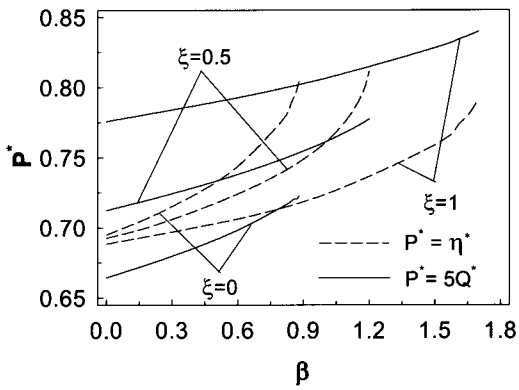

Fig. 7 Optimum performance vs. β (M=0.1, M_f=10, L_b=1.1, V=0.3)

그 증가율이 감소됨을 보여준다. 주지할 점은 환형 핀의 경우와 마찬가지로 역 사다리꼴 핀도 내부유체의 대류특성계수가 상대적으로 작아지게 되면 실용적인 핀 길이에서 최대 열손실이 존재하지 않는 것이다[8]. 최적의 효율은 최적의 열손실과 반대로 내부유체의 대류특성계수가 증가할수록 처음에는 급격히 감소하다 그 이후 서서히 감소함을 보여준다.

Figure 5와 같은 조건에서 내부유체 대류특성계수 변화에 따른 최적의 핀 길이와 바닥 높이의 변화가 Fig. 6에서 나타난다. 내부유체 대류특성계수가 증가할수록 최적의 핀 길이도 증가하며, 증가 경향은 최적 열손실의 증가 경향과 다소 비슷함을 보여준다. 그러나 내부유체 대류특성계수가 같을 때 핀 바닥두께가 커질수록 최적의 핀 길이는 짧아진다. 내부유체 대류특성계수 변화에 따른 최적의 핀 바닥 높이는, 핀 바닥 두께와 핀 체적이 일정하게 주어졌기 때문에, 최적 핀 길이 변화와는 반대로 내부유체 대류특성계수가 증가함에 따라 처음에는 급격히 감소하다가 서서히 감소함을 보여준다.

핀 체적 및 다른 변수들이 일정한 값으로 주어졌을 때 세 경우의 ξ에 대하여 대류특성계수비 β의 변화가 최적의 열손실과 효율에 미치는 영향이 Fig. 7에서 보여 진다. 실제 핀 외부의 기체 흐름에 따라 핀 끝 열대류계수는 핀 주위

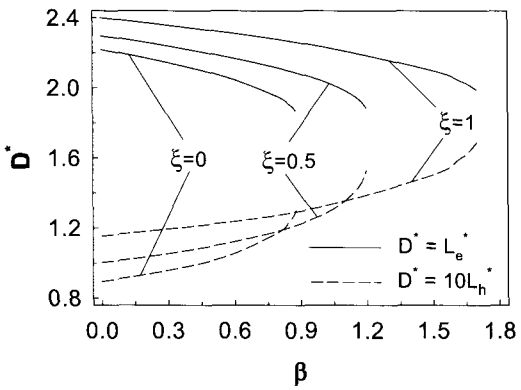

Fig. 8 Optimum dimension vs. β (M=0.1, M_f=10, L_b=1.1, V=0.3)

열대류계수와 다소 달라질 수 있다. 따라서 β의 범위는 계산상 편리한 핀 끝에서의 절연조건을 만족하는 0부터 핀 끝의 기체흐름이 핀 주위의 흐름보다 활발하며 주어진 조건에서 최적 값들이 존재하는 1.8까지 잡아주었다. 핀 형상계수 ξ가 1일 때는 기호설명과 Fig. 1에 나와 있는 핀 측면 기울기 s가 0이 되어 사각 핀이 되며 ξ가 0의 값이 되면 기울기는 $l_h/(l_e-l_b)$가 되어 핀 끝의 높이가 바닥 높이의 2배가 되는 역 사다리꼴 핀이 된다. 형상계수 ξ가 0과 1사이에서 변함에 따라 핀의 형상은 핀 끝 높이와 바닥 높이의 비가 변하는 역 사다리꼴 핀이 된다. 대류특성계수 비가 증가함에 따라 최적의 열손실과 효율 모두 증가함을 보여준다. 최적의 값이 존재하는 β의 범위는 ξ값이 작아질수록 작아지는데 이는 물리적으로는 핀 바닥의 높이에 대한 핀 끝의 높이 비가 커질수록 최적의 값이 존재하는 핀 주위 대류특성계수에 대한 핀 끝 대류특성계수 비가 작아짐을 의미한다. 대류특성계수 비가 일정할 때는 ξ가 커짐에 따라 최적의 열손실은 증가하는 반면 최적의 효율은 감소함을 보여준다.

Figure 8은 Fig. 7과 같은 조건에서 대류특성계수 비 β의 변화에 따른 최적의 핀 바닥높이와 핀 끝 길이의 변화를 나타낸다. 대류특성계수 비가 증가할수록 최적의 핀 끝 길이는 짧아지는 반면 고정된 핀 체적에 기인하여 핀 바닥 높이는 높아진다. 또한 β값이 고정되었을 때 핀 형상 계수가 커질수록 최적의 핀 끝 길이는 길어지고 바닥 높이는 낮아지는데 이는 물리적으로 최적의 핀 형상이 사각 핀으로 다가감에 따라 상대적으로 길고 얇아짐을 의미한다.

4. 결 론

일정한 체적에 기본을 두고, 다른 변수들이 일정하게 주어질 때 역 사다리꼴 핀의 최적화에 미치는 내 외 유체의 영향에 대한 해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻는다.

1) 핀 주위의 대류특성계수가 증가할수록 최적의 핀 효율은 증가하나 내부 유체 대류특성계수가 증가할수록 최적의 핀 효율은 감소한다.

2) 핀 주위의 대류특성계수, 내부유체 대류특성계수 그리고 대류특성계수 비 β가 증가할수록 최적 열손실은 증가한다.

3) 핀 바닥 높이에 대한 핀 끝 높이의 비가 커질수록 최적의 핀 형상은 전체적으로 두껍고 짧아지는 형상이 된다.

참 고 문 헌

1. Mikhail, A. G., "Fin Gaps and Body Slots: Effects and Modeling for Projectiles and Missiles," J. Spacecraft, Vol. 25, No. 5, 1988, pp.345-353
2. Karan, R. D. and Eby, R, J., "Linearized Solution of Conducting-Radiating Fins," AIAA J., Vol. 16, No. 5, 1978, pp.536-538
3. Chung, B. T. F., Abdalla, M. H. and Liu, F., "Optimization of Convective Longitudinal Fin of Trapezoidal Profile," Chem. Eng. Comm., Vol. 80, 1989, pp. 211-223
4. Laror, K. and Kalman, H., "The Effect of

Tip Convection on the Performance and Optimum Dimensions of Cooling Fins," Int. Commun. Heat Mass Transfer, Vol. 19, 1992, pp.359-362

5. Razelos, P. and Satyaprakash, B. P., "Analysis and Optimization of Convective Trapezoidal Profile Longitudinal Fin," ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 115, 1993, pp.461-463
6. Yeh, R. H., "An Analytical Study of the Optimum Dimensions of Rectangular Fins and Cylindrical Pin Fins," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 40, No. 15, 1997, pp. 3607-3615
7. Casarosa, C. and Franco, A., "On the Optimum Thermal Design of Individual Longitudinal Fins with Rectangular Profile," Heat Transfer Engineering, Vol. 22, No. 1, 2001, pp.51-71
8. 강형석, 조철현, "대류 직각 형상 환형 휜의 최적화," 한국추진공학회지, 제7권, 제1호, 2003, pp.1-9
9. Chung, B. T. F. and Iyer, J. R., "Optimum Design of Longitudinal Rectangular Fins and Cylindrical Spines with Variable Heat Transfer Coefficient," Heat Transfer Engineering, Vol. 14, 1993, pp.31-42
10. Kang, H. S. and Look, D. C. Jr., "Optimization of Thermally and Geometrically Asymmetric Trapezoidal Fins", AIAA J. of Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 18, No. 1, 2004, pp. 52-57
11. Bejan, A. and Almogbel, M., "Constructal T-shaped Fins," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 43, 2000, pp.2101-2115
12. Kundu, B. and Das, P. K., "Performance Analysis and Optimization of Elliptical Fins Circumscribing a Circular Tube," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 50, 2007, pp. 173-180
13. 강형석, "역 사다리꼴 핀의 최적화," 대한기계학회논문집 (B), 제30권, 제10호, 2006, pp.987-995
14. Kang, H. S. and Look, D. C. Jr., "Optimization of a Thermally Asymmetric Convective and Radiating Annular Fin," Heat Transfer Engineering, Vol. 28, No. 4, 2007, pp.310-320