

핀 바닥 두께가 변화하는 역 사다리꼴 핀의 최적 설계

강 형 석[†]

강원대학교 기계메카트로닉스 공학부

Optimum Design of a Reversed Trapezoidal Fin with Variable Fin Base Thickness

Hyung Suk Kang[†]

Division of Mechanical and Mechatronics Engineering, Kangwon University, ChunCheon 200-701, Korea

(Received July 26, 2007; revision received May 29, 2008)

ABSTRACT: A reversed trapezoidal fin with variable fin base thickness is optimized using a two-dimensional analytical method. For the fin base boundary condition, instead of a constant temperature, heat transfer from the inside fluid to the fin base is considered. Heat loss from the fin tip is not ignored. The maximum heat loss, corresponding optimum fin effectiveness, fin length and base height are presented as a function of the fin base thickness, shape factor and volume.

Key words: Effectiveness(유효성), Convection characteristic number(대류특성계수), Fin base thickness (핀 바닥 두께), Fin shape factor(핀 형상계수)

기 호 설 명

h	: 핀 주위 열대류계수 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
h_f	: 내부유체 열대류계수 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
k	: 열전도율 [$W/m \cdot ^\circ C$]
l_b	: 핀 바닥 길이 [m]
L_b	: 무차원 핀 바닥 길이 [= 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_f	: 내부유체 대류특성계수 {= $[h_f \cdot l_c]/k$ }
q	: 핀으로부터의 열손실 [W]
q_w	: 단순 외벽으로부터의 열손실 [W]
Q	: 핀으로부터의 무차원 열손실

Q_w	: 단순 외벽으로부터의 무차원 열손실 {= $q_w/[k\phi_f \cdot l_w]$ }
s	: 핀 측면 기울기 [= $\{[1-\xi]L_h\}/[L_e-L_b]$]
T	: 온도 [$^\circ C$]
T_f	: 내부유체 온도 [$^\circ C$]
T_∞	: 핀 주위 온도 [$^\circ C$]
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]

그리스 문자

ϵ	: 핀 유효성
θ	: 무차원 온도, {= $[T-T_\infty]/[T_f-T_\infty]$ }
λ_n	: 고유 값 [$n = 1, 2, 3, \dots$]
ξ	: 핀 형상 계수 [$0 \leq \xi \leq 1$]
ϕ_f	: 변형된 내부유체 온도 [$^\circ C$] [= T_f-T_∞]

[†] Corresponding author

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

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

상첨자

* : 최적화

하첨자

b : 핀 바닥
 c : 특성
 e : 핀 끝
 f : 내부유체
 h : 핀 높이
 w : 핀 폭 또는 단순 외벽
 ∞ : 핀 주위

1. 서 론

건축물의 공기조화 및 냉동을 위하여 열교환기의 사용은 필수적이다. 이러한 열교환기의 열전달을 증가시키기 위한 보편적인 수단으로 핀이 사용되고 있다. 따라서 핀에 대한 직·간접적인 많은 연구가 계속해서 이루어지고 있는데 최근에는 핀의 최적화에 대하여 많은 관심이 주어지고 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⁽¹⁻⁵⁾ 발표되었다. 예를 들면, Chung⁽¹⁾ 등은 대류만을 고려한 사다리꼴 핀의 최적화를 다루었다. Laror and Kalman⁽²⁾은 길이 형, 가시 형 그리고 환형 타입의 사각, 삼각 그리고 포물선 형상의 핀들에 대한 최적화를 연구한 반면 Razelos and Satyaprakash⁽³⁾는 열적 성능을 묘사하는 사다리꼴 형상의 핀 해석을 발표 하였으며 또한 최적 문제에 대한 개선된 풀이를 제시하였다. 또한 Yeh⁽⁴⁾는 사각 핀들과 원통형 pin 핀들의 최적화된 차원을 조사하였으며 Casarosa and Franco⁽⁵⁾는 일정한 두께를 가진 하나의 사각 핀에 대한 최적화된 설계에 접근하였다. 최근에 Jeong et al.⁽⁶⁾은 내벽에 유체가 있는 사다리꼴 핀에 대한 최적화를 수행하였다. 이러한 최적화 연구들은 1차원 해석을 사용하여 조사되었다.

2차원 해석을 사용하여 최적화를 위한 연구로는 Chung and Iyer⁽⁷⁾는 pin 핀들의 최적화를 근사적으로 구하기 위하여 적분법을 사용하였다. 최근에는 Kang and Look⁽⁸⁾이 열적으로 비대칭 상황에서 환형 핀에 대한 최적화를 논의하였다.

또한 다소 독특한 형상에 대한 핀의 최적화를 다룬 연구들이 있는데 예를 들면, Bejan and Al-mogbel⁽⁹⁾이 T형상 핀의 정열들에 대한 기하학적 최적화를 보고하였다. 최근에는 Kundu and Das⁽¹⁰⁾가 타원형의 디스크 핀을 준 해석적인 기법을 사용하여 해석하고 최적화 하였다. 이러한 다소 독특한 핀 형상의 최적화에서 핀 바닥 경계조건으로 일정한 온도가 주어졌다.

본 논문에서는 상대적으로 연구가 많이 이루어지지 않았고, 다소 독특한 형상인 역 사다리꼴 핀의 최적화를 2차원 해석적 방법을 사용하여 다루었다. 특히 핀 바닥의 경계조건으로는 일정한 핀 바닥 온도 대신 내벽 안에 있는 유체로부터 내벽으로의 열대류와 내벽으로부터 핀 바닥으로의 열전도가 고려되었다. 핀의 체적이 일정하게 주어졌을 때 실질적인 핀 길이에서 최대의 열전달이 일어날 때를 최적 열손실로 정의하였으며 최적 열손실이 일어날 때의 핀 유용성, 핀 길이 그리고 핀 바닥 높이를 각각 최적 핀 유용성, 최적 핀 길이 그리고 최적 핀 바닥 높이로 정의한다. 핀 체적 및 다른 변수들이 일정할 때 핀 바닥 두께, 형상계수 그리고 고정된 체적의 변화가 최적화에 미치는 영향을 나타내었다.

2. 2차원 해석적 방법

2.1 지배방정식 및 경계조건

정상상태일 때 Fig. 1에서 보여 지는 역 사다리꼴 핀에 대한 무차원 형태의 지배방정식이 식(1)로 주어진다.

$$\frac{\partial \theta}{\partial X} + \frac{\partial \theta}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

지배방정식(1)을 풀기위한 세 개의 경계조건과 하나의 에너지 균형조건이 식(2)부터 식(5)까지 무차원 형태로 씌어진다.

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

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=L_c} + M \cdot \theta|_{X=L_c} = 0 \quad (3)$$

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

$$-\int_0^{L_b} \left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=L_b} dY$$

$$= M \int_{L_b}^{s(L_c - L_b) + L_c} \theta \sqrt{(1/s)^2 + 1} dY \quad (5)$$

$$-\int_0^{s(L_c - L_b) + L_c} \left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=L_c} dY$$

물리적으로 경계조건 식(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 열전달과 같음을 의미한다. 핀이 z방향으로 길이가 긴 수평형이고 관내의 유체는 z방향으로 흐른다고 가정하면 z방향으로의 온도구배가 존재하지만 보통 열교환기의 해석에서 미소 단면을 잡아주어 흐름 방향의 전도를 무시한다. 또한 핀 위아래의 열대류 계수가 같다고 가정하면 대칭에 의하여 핀 중심을 통한 열전달이 일어나지 않는 조건이 경계조건 식(4)로 주어진다. 식(5)는 핀 바닥의 윗면 반을 통하여 전도로 들어오는 열전달은 핀 위 경사면을 통하여 외부유체로 대류에 의하여 나가는 열전달과 핀 끝 면을 통한 전도 열전달의 합과 같음을 의미한다. 여기서 주지할 점은 핀 측면 기울

기가 0이 되는(i.e. $s=0$ 또는 $\xi=1$) 사각 핀의 경우에는 에너지 균형조건 식(5)가 사각 핀 윗면의 경계조건 식(6)으로 대치된다는 것이다.

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right|_{Y=L_h} + M \cdot \theta|_{Y=L_h} = 0 \quad (6)$$

2.2 Fin의 온도 분포 및 열전달

지배방정식(1)을 변수분리법을 사용하여 핀 후 경계조건 식(2), 식(3) 그리고 식(4)를 적용하면 역 사다리꼴 핀 내의 온도 분포를 나타내는 식(7)을 얻을 수 있다.

$$\theta(X, Y) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{g_1(\lambda_n) f(X) \cos(\lambda_n Y)}{g_2(\lambda_n) + g_3(\lambda_n)} \quad (7)$$

여기서,

$$f(X) = \cosh(\lambda_n X) + g_4(\lambda_n) \sinh(\lambda_n X) \quad (8)$$

$$g_1(\lambda_n) = \frac{4 \sin(\lambda_n L_h)}{2 \lambda_n L_h + \sin(2 \lambda_n L_h)} \quad (9)$$

$$g_2(\lambda_n) = \{1 - \lambda_n R_w g_4(\lambda_n)\} \cosh(\lambda_n L_b) \quad (10)$$

$$g_3(\lambda_n) = \{g_4(\lambda_n) - \lambda_n R_w\} \sinh(\lambda_n L_b) \quad (11)$$

$$g_4(\lambda_n) = -\frac{\lambda_n \tanh(\lambda_n L_c) + M}{\lambda_n + M \tanh(\lambda_n L_c)} \quad (12)$$

$$R_w = 1/M_f + L_b - 1 \quad (13)$$

식(7)부터 식(12)에서 보여 지는 고유 값들 λ_n 은 에너지 균형 식(5)를 풀어 정리한 식(14)를 사용하여 구한다.

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

여기서,

$$g_5(\lambda_n) = \{\sinh(\lambda_n L_b) + g_4(\lambda_n) \\ \cdot \cosh(\lambda_n L_b)\} \sin(\lambda_n L_h) \quad (15)$$

$$g_6(\lambda_n) = \{\sinh(\lambda_n L_c) + g_4(\lambda_n) \\ \cdot \cosh(\lambda_n L_c)\} \sin\{(\lambda_n(2-\xi)L_h)\} \quad (16)$$

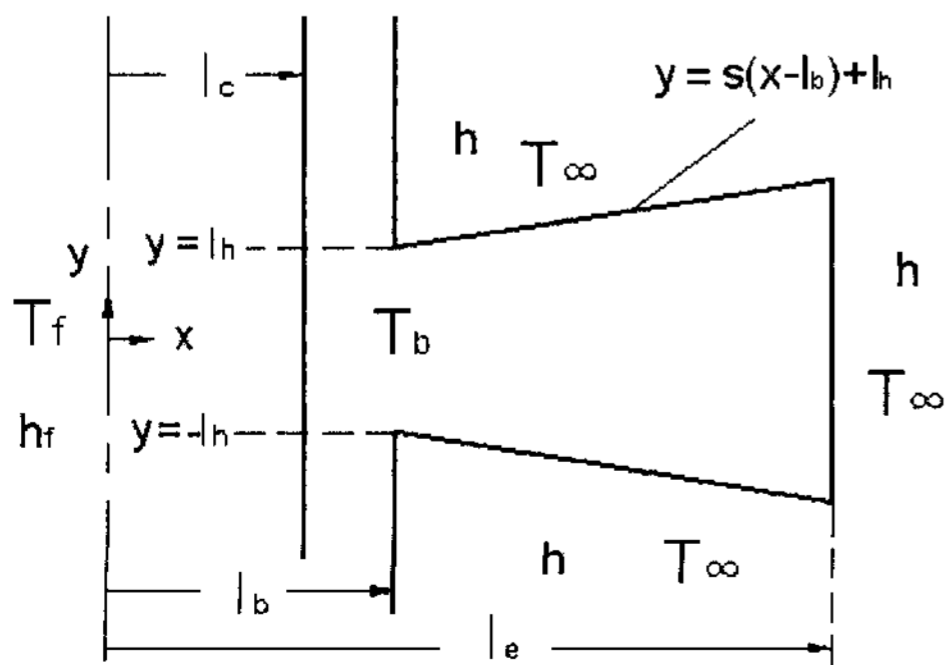


Fig. 1 Geometry of a reversed trapezoidal fin.

$$g_7(\lambda_n) = M/(\lambda_n \sqrt{1+s^2}) \tag{17}$$

$$g_8(\lambda_n) = \cosh\{\lambda_n(L_b - L_h/s)\} \tag{18}$$

$$g_9(\lambda_n) = g_4(\lambda_n)\sinh\{\lambda_n(L_b - L_h/s)\} \tag{19}$$

$$g_{10}(\lambda_n) = \sinh\left\{\frac{\lambda_n}{s}(2-\xi)L_h\right\} \cdot \cos\{\lambda_n(2-\xi)L_h\} \tag{20}$$

$$g_{11}(\lambda_n) = s \cdot \cosh\left\{\frac{\lambda_n}{s}(2-\xi)L_h\right\} \cdot \sin\{\lambda_n(2-\xi)L_h\} \tag{21}$$

$$g_{12}(\lambda_n) = \cos(\lambda_n L_h)\sinh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s}\right) \tag{22}$$

$$g_{13}(\lambda_n) = s \cdot \sin(\lambda_n L_h)\cosh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s}\right) \tag{23}$$

$$g_{14}(\lambda_n) = \sinh\{\lambda_n(L_b - L_h/s)\} \tag{24}$$

$$g_{15}(\lambda_n) = g_4(\lambda_n)\cosh\{\lambda_n(L_b - L_h/s)\} \tag{25}$$

$$g_{16}(\lambda_n) = \cosh\left\{\frac{\lambda_n}{s}(2-\xi)L_h\right\} \cdot \cos\{\lambda_n(2-\xi)L_h\} \tag{26}$$

$$g_{17}(\lambda_n) = s \cdot \sinh\left\{\frac{\lambda_n}{s}(2-\xi)L_h\right\} \cdot \sin\{\lambda_n(2-\xi)L_h\} \tag{27}$$

$$g_{18}(\lambda_n) = \cos(\lambda_n L_h)\cosh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s}\right) \tag{28}$$

$$g_{19}(\lambda_n) = s \cdot \sin(\lambda_n L_h)\sinh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s}\right) \tag{29}$$

핀 측면 기울기가 변하는 역 사다리꼴 핀으로부터의 열손실은 핀 바닥을 통하여 전도로 들어가는 열 전달과 같으며, 식(30)을 사용하여 구할 수 있다.

$$q = -2 \int_0^{l_h} k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=l_b} l_w dy \tag{30}$$

식(30)을 풀어서 정리한 무차원 형태의 열손실은 식(31)과 같이 표현된다.

$$Q = \frac{q}{k\phi_f l_w} = -2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{g_1(\lambda_n)g_5(\lambda_n)}{g_2(\lambda_n) + g_3(\lambda_n)} \tag{31}$$

2.3 핀 유용성

핀 유용성은 단순 외벽으로부터의 열손실에 대한 핀으로부터의 열손실의 비로 정의되며 무차원

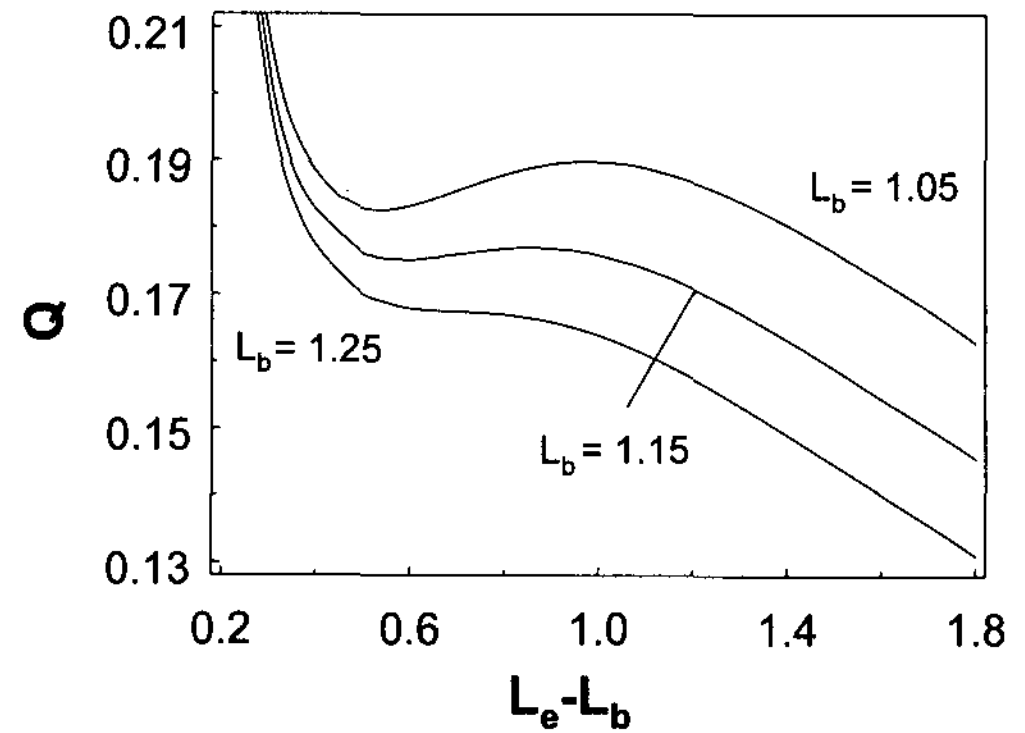


Fig. 2 Heat loss vs. the fin length(V = 0.5, ξ = 0.5, M = 0.12, Mf = 100).

높이 2Lh를 통한 단순 외벽으로부터의 무차원 열 손실은 식(32)와 같이 주어진다.

$$Q_w = \frac{q_w}{k\phi_f l_w} = \frac{2ML_h}{(1 + M/M_f) + M(L_b - 1)} \tag{32}$$

앞서 정의된 핀 유용성은 식(33)으로 표현된다.

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_w} \tag{33}$$

2.4 핀 체적

핀 측면 기울기가 변하는 역 사다리꼴 핀 자체만의 체적은 식(35)를 사용하여 구할 수 있으며 이 식을 풀어 무차원 형태로 정리한 핀 체적은 식(36)으로 주어진다.

$$v = 2l_w \int_{l_b}^{l_r} [s(x - l_b) + l_h] dx \tag{35}$$

$$V = \frac{v}{l_c^2 l_w} = (3 - \xi)L_h(L_e - L_b) \tag{36}$$

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 핀 체적이 일정할 때 세 경우의 핀 바닥 두께에 대하여 핀 길이의 변화에 따른 열손실의 변화를 보여주는데 핀 길이가 매우 짧아짐에 따

라 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 $L_b = 1.05$ 일 때는 실용적인 핀 길이인 약 $L_e = 1$ 에서, 그리고 $L_b = 1.15$ 일 때는 약 $L_e = 0.85$ 에서 최대 열손실이 일어남을 보여주며 L_b 가 특정 값보다 커지면(i.e. $L_b = 1.25$) 실용적인 핀 길이에서 최대 열손실이 발생하지 않음을 보여준다. 본 연구에서는 실용적인 핀 길이에서 발생하는 최대 열손실을 최적의 열손실로 정의하며 최적의 열손실이 일어날 때의 유용성을 최적의 유용성으로 정의한다.

Fig. 3은 핀 체적이 0.3으로 고정되었을 때 핀 바닥 두께의 변화가 최적의 열손실과 유용성에 미치는 영향을 나타낸다. 여기서 최적의 열손실

은 실제적인 핀 길이에서 방출되는 최대 열손실을 의미하며 최적의 유용성은 최대 열손실이 일어날 때의 유용성 값을 의미한다. 핀 바닥 두께가 두꺼워짐에 따라 최적의 열손실과 유용성은 모두 거의 선형적으로 감소함을 보여준다. 최적 열손실이 감소하는 이유는 핀 바닥 두께가 두꺼워짐에 따라 내벽과 핀 바닥 사이의 열 저항이 증가하기 때문이다. 핀 바닥 두께가 일정할 때는 M 이 커짐에 따라 최적의 열손실은 증가하는 반면 최적의 유용성은 감소하는 것을 주지할 수 있다. 또한 M 이 각각 0.12, 0.15인 경우에는 핀 바닥 두께가 각각 약 0.21, 0.09이상에서는 최대 열손실이 존재하지 않음을 의미한다.

최적의 핀 길이와 바닥 높이가 핀 바닥 두께의 함수로 Fig. 4에서 보여진다. 주어진 조건들은 Fig. 3과 같으며, 최적의 핀 길이와 바닥 높이는 최대

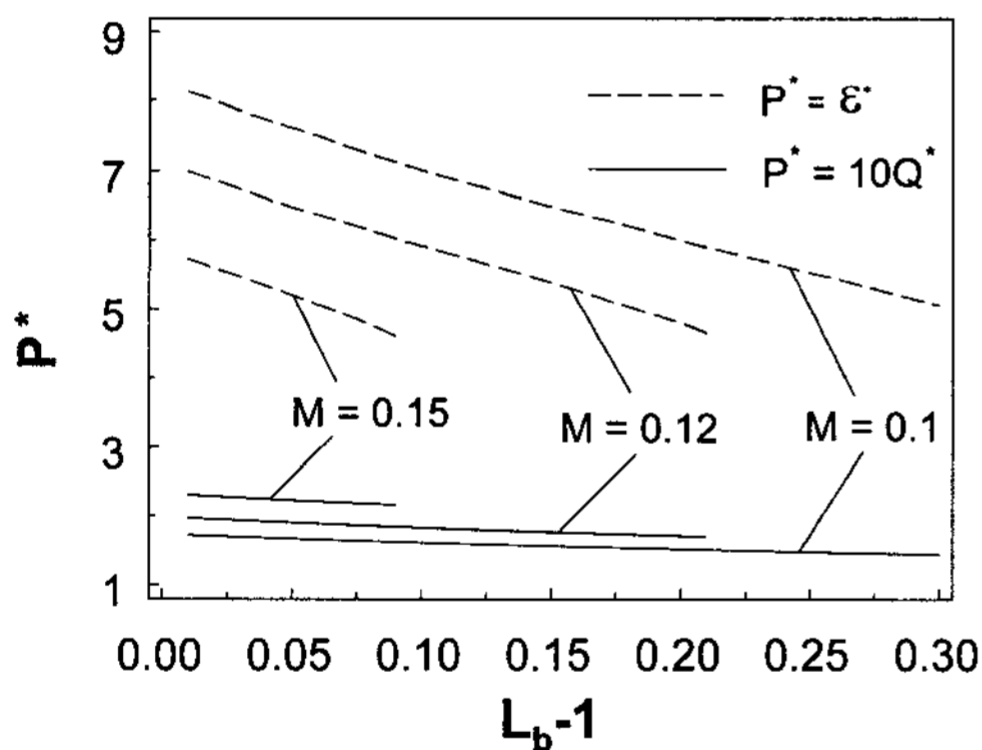


Fig. 3 Optimum performance vs. the fin base thickness($\xi = 0.5, V = 0.3, M_f = 100$).

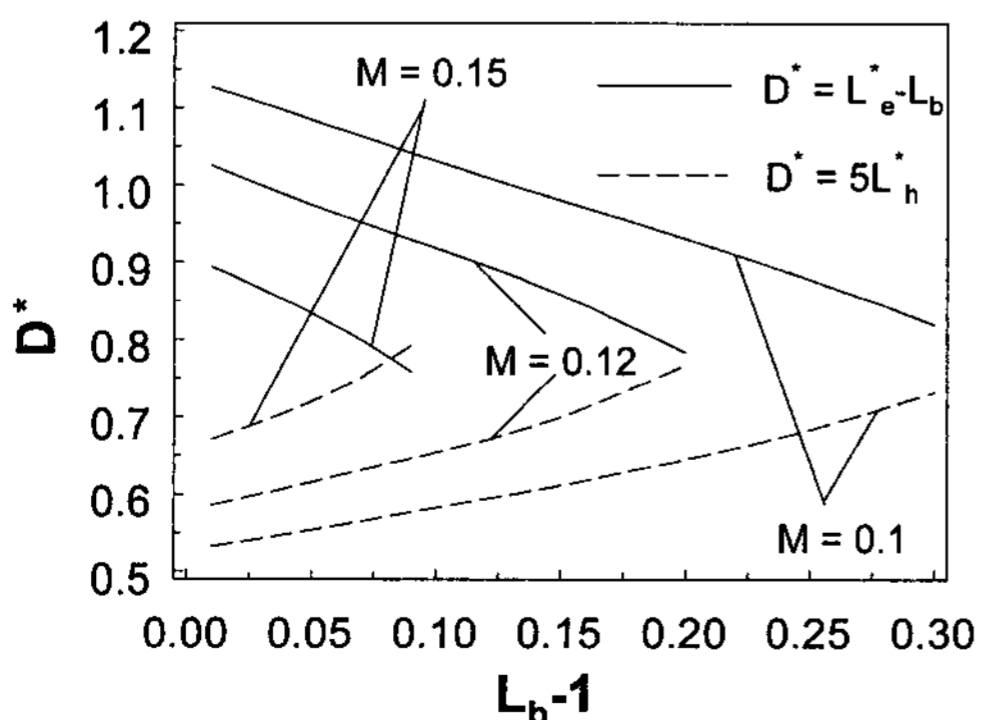


Fig. 4 Optimum dimension vs. the fin base thickness($\xi = 0.5, V = 0.3, M_f = 100$).

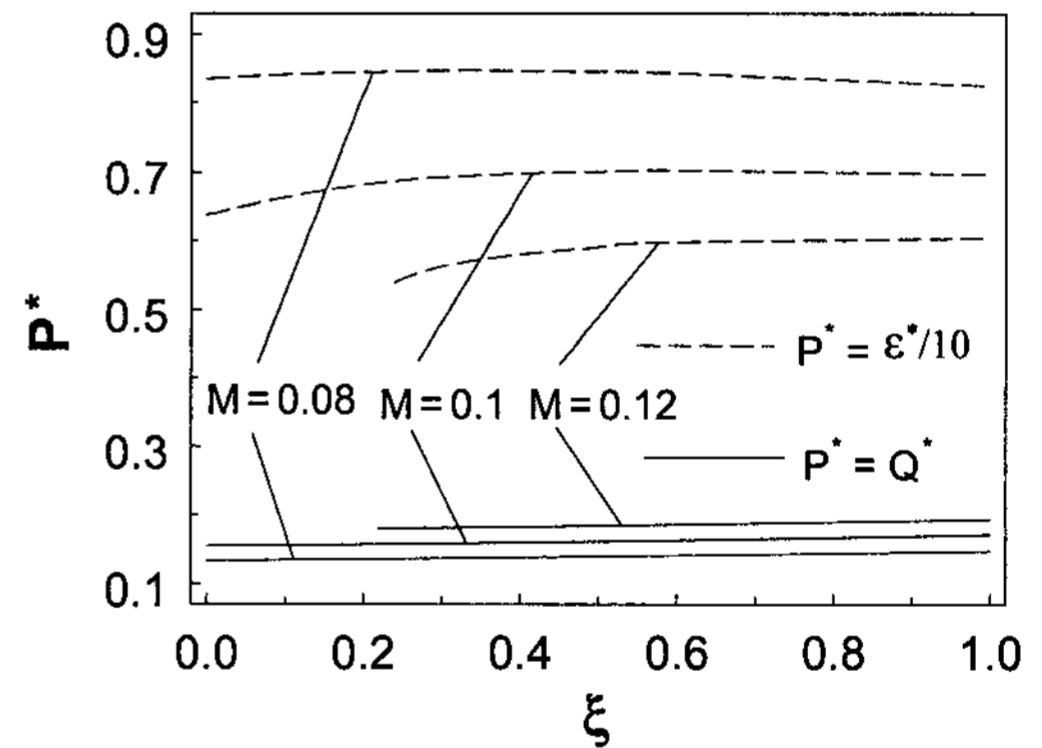


Fig. 5 Optimum performance vs. the fin shape factor($V = 0.3, L_b = 1.1, M_f = 100$).

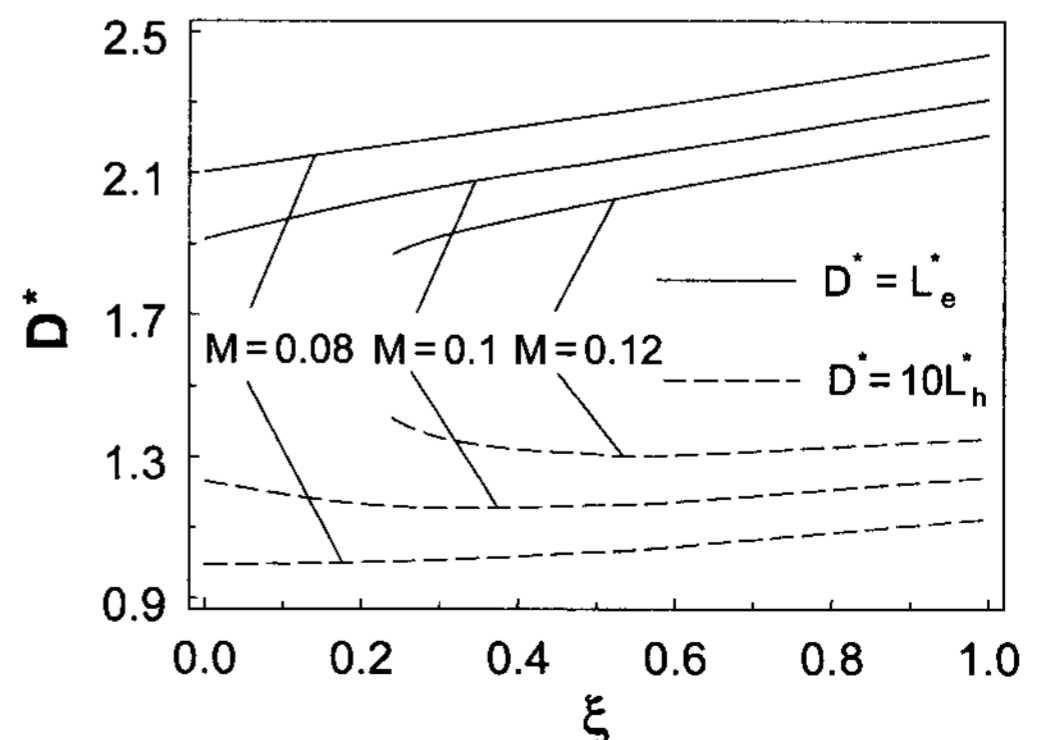


Fig. 6 Optimum dimension vs. the fin shape factor($V = 0.3, L_b = 1.1, M_f = 100$).

열손실이 일어날 때의 핀 길이와 바닥 높이를 의미한다. 바닥 두께가 두꺼워질수록 최적의 핀 길이는 지속적으로 짧아진다. 핀 체적이 일정하기 때문에, 최적의 핀 길이가 짧아짐에 따라 최적의 핀 바닥 높이는 높아진다. 또한 바닥 두께 값이 고정되었을 때는 M이 커질수록 최적의 핀 길이는 짧아짐을 보여준다.

무차원 핀 체적이 0.3으로 고정되어 있을 경우 핀 형상 계수 ξ 가 0부터 1까지 변하는 동안 ξ 의 변화가 최적 성능에 미치는 영향이 Fig. 5에서 보여진다. 핀 형상 계수 ξ 가 0부터 1까지 변한다는 것은 물리적으로 핀 끝의 높이가 핀 바닥 높이의 2배인 역 사다리꼴 핀의 형상에서 핀 끝과 바닥의 높이가 같은 사각 핀으로 변화하는 것을 의미한다. 대류특성계수가 0.12일 때는 핀 형상계수 값이 증가함에 따라 최적의 열손실과 유용성은 증가하나 유용성의 경우 그 증가율은 ξ 의 증가에 따라 작아짐을 보여준다. 그림에서 명확하게 나타나지는 않으나 대류특성계수가 0.08과 0.1인 경우는 핀 형상계수 값이 증가함에 따라 최적의 열손실은 계속 증가하나 유용성은 처음에는 증가하다 그 이후 감소하는데, 예를 들면, 대류특성계수가 0.08인 경우의 유용성은 $\xi=0$ 일 때 0.838에서 약 $\xi=0.3$ 일 때 0.849로 증가하다 $\xi=1$ 일 때 0.828로 감소한다. 대류특성계수가 0.12일 때는 ξ 가 약 0.24이하에서는 최적 값이 존재하지 않음을 의미한다.

Fig. 6은 핀 형상계수 ξ 의 변화가 최대 열손실이 일어나는 최적의 핀 끝 길이와 바닥 높이의 변화에 미치는 영향을 보여준다. 핀 형상계수가 증가할수록 최적의 핀 끝 길이는 지속적으로 증가하는 것을 보여주고 같은 핀 형상계수에서는 M이 작아질수록 최적의 핀 끝 길이는 길어지는 것을 알 수 있다. 최적의 핀 바닥 높이는 M이 0.08일 때는 ξ 의 증가에 따라 지속적으로 증가한

다. 또한 최적의 핀 바닥 높이가 ξ 의 증가에 따라 M이 0.1일 때는 감소하다가 증가하는 반면 M이 0.12일 때는 지속적으로 감소한다. 이러한 최적 핀 길이와 바닥높이의 변화가 Fig. 5에서 보여지는 최적 열손실과 유용성의 변화에 영향을 준다.

지금까지의 최적화에서 내부유체 대류특성계수 M_f 가 100으로 주어졌었는데 Table 1에서 형상계수가 각각 0.5와 1일 때 M_f 의 변화에 따른 핀 바닥 온도와 열손실의 변화가 나열된다. 먼저 핀 바닥온도와 열손실 모두 M_f 가 1에서 10으로 증가함에 따라 매우 급격히 증가하나 증가율이 계속 떨어져 100부터 1000까지 증가할 때는 증가율이 미미함을 알 수 있다. 또한 M_f 가 같을 때는 핀 형상계수 ξ 가 0.5인 경우의 핀 바닥온도가 ξ 가 1인 경우의 핀 바닥온도보다 낮은 반면 열손실은 그 반대 경향을 보여준다.

앞의 논의에서는 무차원 핀 체적이 0.3, 내부 유체 대류특성계수 값이 100으로 고정되었었다. 이제 내부 유체 대류특성계수 값이 10일 때 고정된 핀 체적이 0.1부터 1까지 변화하는 동안 그에 따른 성능들의 변화가 Fig. 7에서 나타난다. 예상했던 대로 핀 체적이 증가함에 따라 확장 표면이 증가하고 이에 따라 최적의 열손실은 증가한다. 반면에 최적의 핀 유용성은 핀 체적이 증가함에 따라 감소하는데 이는 뒤에 나오는 Fig. 8에서 보여주듯이 핀 체적이 증가함에 따라 최적 핀 바닥 높이가 지속적으로 현저하게 증가하기 때문이다. 최적의 성능들이 존재하는 체적의 범위는 M이 커짐에 따라 줄어드는 것을 주지할 수 있다.

Table 1 The effect of M_f on $\theta(X=L_b, Y=0)$ and $Q(L_b=1.1, L_e=2.1, L_h=0.1, M=0.1)$

M_f	$\theta(X=L_b, Y=0)$		Q	
	$\xi=0.5$	$\xi=1$	$\xi=0.5$	$\xi=1$
1	0.5265	0.5331	0.0862	0.0850
10	0.8603	0.8634	0.1409	0.1377
100	0.9184	0.9204	0.1505	0.1468
1000	0.9246	0.9265	0.1515	0.1478

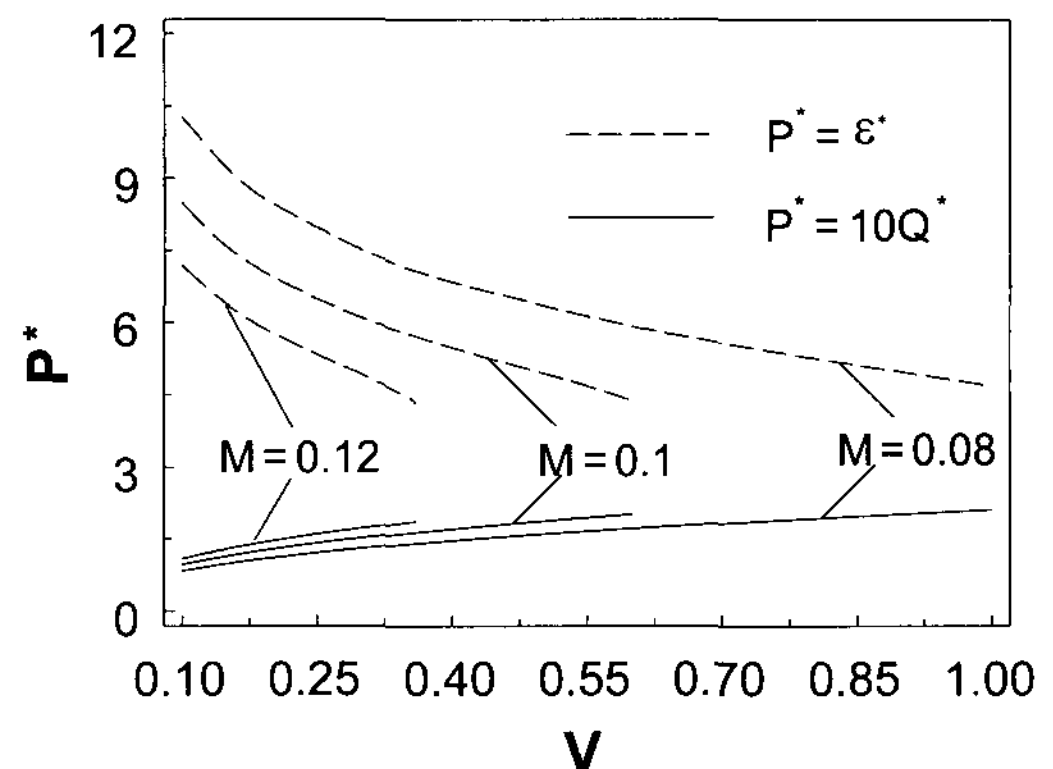


Fig. 7 Optimum performance vs. the fin volume ($\xi=0.5, L_b=1.1, M_f=10$).

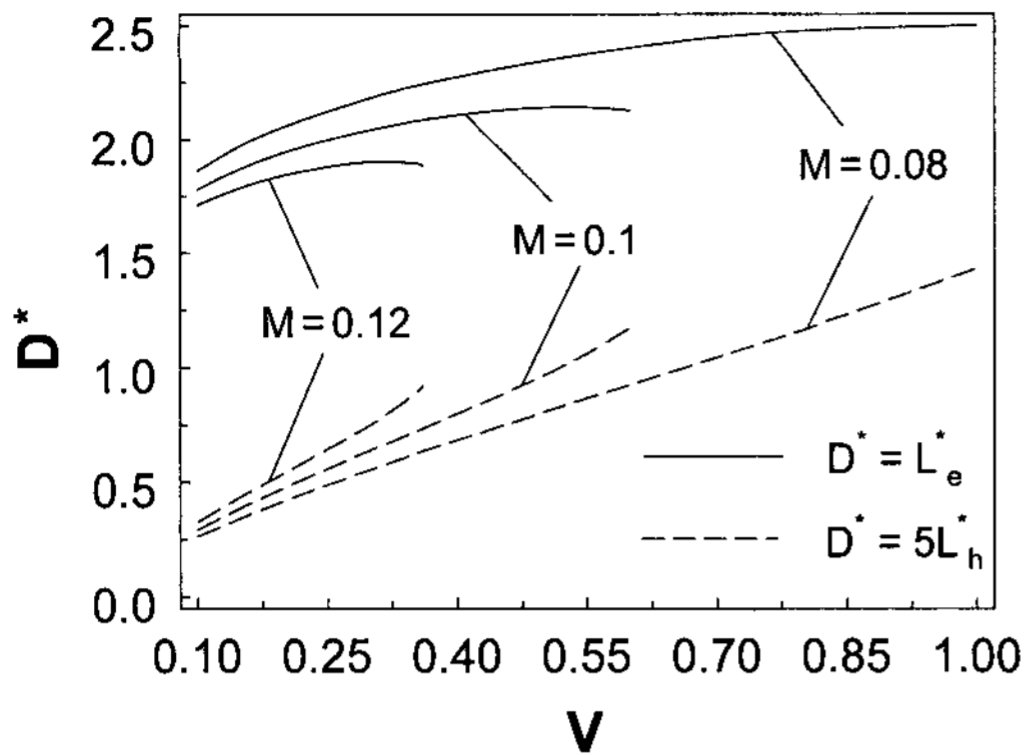


Fig. 8 Optimum dimension vs. the fin volume ($\xi = 0.5, L_b = 1.1, M_f = 10$).

Fig. 8은 고정된 핀 체적의 변화에 따른 최적의 핀 끝 길이와 바닥 높이의 변화를 나타낸다. 이미 앞에서 언급되었듯이 핀 체적이 증가함에 따라 최적의 핀 바닥 높이는 지속적으로 현저하게 증가하는 반면 최적의 핀 끝 길이는 처음에 다소 현저하게 증가하다 그 이후 서서히 증가율이 작아지기 때문에 핀 체적의 증가에 따라 최적 핀 유용성은 감소한다. 또한 이와 같은 최적 핀 끝 길이와 바닥 높이의 변화는 물리적으로 핀 체적이 커질수록 최적의 측면 핀 형상은 상대적으로 얇은 형상에서 두꺼운 형상으로 변함을 의미한다.

4. 결론

일정한 핀 체적에 기본을 두고, 다른 변수들이 일정하게 주어질 때 핀 바닥 두께가 변화하는 역 사다리꼴 핀의 최적화에 대한 해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻는다.

- 1) 핀 바닥 두께가 두꺼워질수록 최적 열손실, 핀 유용성 그리고 핀 길이 모두 거의 선형적으로 감소한다.
- 2) 핀 형상계수가 0부터 0.5까지 커짐에 따라 최적 열손실과 핀 길이는 증가하는 반면 유용성은 핀 주위 대류특성계수의 값에 따라 변화경향이 달라진다.
- 3) 고정된 핀 체적이 커질수록 최적의 역 사다리꼴 핀 측면 형상은 상대적으로 얇은 형상에서 두꺼운 형상으로 변한다.

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Jeong, B. C., Lee, S. J., Yoon, S. C. and Kang, H. S., 2006, Optimization of Convective Trapezoidal Profile Fin having Fluid inside the Wall, Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 95-102.
7. 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.
8. Kang, H. S. and Look, D. C. Jr., 2007, Optimization of a Thermally Asymmetric Convective and Radiating Annular Fin, Heat Transfer Engineering, Vol. 28, No. 4, pp. 310-320.
9. Bejan, A. and Almogbel, M., 2000, Constructal T-shaped Fins, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 43, pp. 2101-2115.
10. Kundu, B. and Das, P. K., 2007, Performance Analysis and Optimization of Elliptical Fins Circumscribing a Circular Tube, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 50, pp. 173-180.