

# 삼각 핀의 해석과 고정된 핀 바닥 높이에 기준한 최적화

강형석\*

## Analysis and Optimization based on the Fixed Fin Base Height for a Triangular Fin

Hyungsuk Kang

**Abstract** A triangular fin with variable fin base thickness and base height is analyzed and optimized for the fixed fin base height using a two-dimensional analytical method. At the middle of the fin length, the variation of the temperature along the fin height is listed. The influences of the fin length, base thickness and base height on the heat loss and fin efficiency are analyzed. The optimum heat loss, corresponding optimum efficiency and optimum fin length as a function of the fin base thickness are presented. The optimum heat loss and optimum fin tip length as a function of the convection characteristic number are represented.

**Key words** Triangular fin (삼각 핀), Optimization (최적화), Fin base height (핀 바닥 높이), Heat loss (열손실), Fin efficiency (핀 효율)

\* 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학부

■E-mail : hkang@kangwon.ac.kr ■Tel : (033)250-6316 ■Fax : (033)242-6013

### Nomenclature

h: heat transfer coefficient over the fin surface [ $W/m^2 \cdot K$ ]  
 k: thermal conductivity [ $W/m \cdot K$ ]  
 $l_b$ : fin base thickness [m]  
 $L_b$ : dimensionless fin base thickness ( $=l_b/l_c$ )  
 $l_c$ : characteristic length [m]  
 $l_e$ : fin tip length [m]  
 $L_e$ : dimensionless fin tip length ( $=l_e/l_c$ )  
 $l_h$ : one half fin base height [m]  
 $L_h$ : dimensionless one half fin base height ( $=l_h/l_c$ )  
 $l_w$ : fin width [m]  
 M: convection characteristic number  $\{=(h \cdot l_c)/k\}$   
 NX: normalized position of X  $\{=(X-L_b)/(L_e-L_b)\}$   
 q: heat loss from the fin [W]  
 $q_{id}$ : ideal heat loss from the fin [W]

Q: dimensionless heat loss from the fin  $\{=q/(k\phi_l l_w)\}$   
 $Q_{id}$ : dimensionless ideal heat loss from the fin  
 $\{=q_{id}/(k\phi_l l_w)\}$   
 s: fin lateral slope  $\{=L_h/(L_e-L_b)\}$   
 T: temperature [K]  
 $T_i$ : inside wall temperature [K]  
 $T_\infty$ : surrounding temperature [K]  
 w: fin width [m]  
 x: fin length direction coordinate [m]  
 X: dimensionless fin length coordinate ( $=x/l_c$ )  
 y: fin height direction coordinate [m]  
 Y: dimensionless fin height coordinate ( $=y/l_c$ )  
 $\eta$ : fin efficiency  
 $\theta$ : dimensionless temperature,  $\{=(T-T_\infty)/(T_i-T_\infty)\}$   
 $\lambda_n$ : eigenvalues ( $n=1, 2, 3, \dots$ )  
 $\phi_i$ : modified inside wall temperature [K] ( $=T_i-T_\infty$ )

superscript

\* : optimum

subscript

- b: fin base
- c: characteristic
- e: fin tip
- h: fin height
- i : inside wall
- id: ideal
- ∞: surrounding

## 1. 서론

최근 들어 지열, 풍력, 태양열 등 신 재생 청정에너지에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. 우리나라의 경우 에너지의 해외 의존도 및 석유 의존도가 매우 높아 2004년 통계청 자료에 의하면 매년 국내 소비 에너지 사용량의 약 97%를 수입에 의존하고 있는 실정이다. 기존의 화석연료에서 발생하는 이산화탄소에 의한 지구온난화현상도 심각한 문제 중의 하나라 볼 수 있다. 이러한 문제들에 대한 해결의 일환으로 각 국에서는 에너지 절약 기술과 아울러 대체에너지의 개발에 중단 없는 노력을 경주하고 있다. 태양은 봄, 여름, 가을, 겨울의 주어진 고도와 방위각에 따라 일정하게 움직이고 있으며, 이 태양에너지의 사용료는 전혀 요구되지 않는다. 또한 최근 들어 더욱 관심이 고조되는 청정에너지 중의 하나가 지열이다. 지열 에너지의 경우 초기 설치비가 많이 드는 등의 단점이 있으나 설치 공간 절약 및 저렴한 유지관리 등 많은 장점을 가지고 있다. 지열을 사용하는 시스템에 있어서 필수적인 장치가 열교환기 장치이며 이러한 열교환기들의 열전달 향상을 위한 방법 중 하나가 표면을 늘리는 것, 즉 핀을 사용하는 것이다.

다양한 형상의 핀들에 대한 연구들이 많이 이루어져왔는데 가장 보편적인 형상 중 하나인 삼각, 사다리꼴 그리고 사각 핀에 대한 논문들도 많이 발표되고 있다. 예를 들면, Ma 등은<sup>1)</sup> 핀 주위의 열전달 계수가 임의로 변할 때 2차원 사각 핀을 해석하였다. Chung 등은<sup>2)</sup> 사다리꼴 형상의 긴 핀에 대한 최적화를 다루었다. Aziz와 Nguyen은 삼각핀에 2차원 유한 요소법을 사용하여 광범위한 범위의 Biot 수와 바닥 높이에 대한 핀

길이 비에 대한 열전달 테이터를 구한 반면<sup>3)</sup> Kang과 Look은<sup>4)</sup> 열적 비대칭 삼각 핀에 대한 해석을 하였다. 또한 Casarosa와 Franco는<sup>5)</sup> 다른 균일한 열전달 계수들을 고려하며 일정한 두께의 긴 핀에 대한 최적화를 발표하였다.

이상의 논문들에서는 핀 바닥 두께 변화의 영향은 고려하지 않았다. 핀 바닥 두께 변화를 고려한 논문으로 Abrate와 Newnham은<sup>6)</sup> 유한차분법을 사용하여 핀 바닥 두께의 변화를 고려하여 삼각 핀을 2차원으로 해석하였다. 그리고 Kang 등은<sup>7)</sup> 핀 바닥 두께 변화의 영향을 고려하면서 역사다리꼴 핀의 1차원 해석과 최적화를 발표하였다.

본 논문에서는 2차원 해석적 방법을 사용하여 핀 바닥 두께와 핀 바닥 높이 변화를 고려하면서 삼각 핀의 열손실 및 핀 효율을 해석하였다. 또한 핀 바닥 높이가 고정된 경우에 최적의 열손실 및 최적의 열손실이 발생할 때의 핀 효율, 핀의 길이에 관한 최적화를 수행하였다. 이러한 최적화를 위하여 다소 임의적이지만 핀 길이의 증가에 따른 열손실의 증가 비를 고려하여 최대열손실의 98%를 최적의 열손실로 잡아주었다.

## 2. 2차원 해석적 방법

본 연구의 수치해석을 위하여 2차원 해석적인 방법이 사용된다.

### 2.1 온도

Figure 1에서 보여 지는 핀 바닥 두께와 핀 바닥 높이가 변화하는 삼각 핀에 대한 무차원 지배방정식은 식 (1)로 주어진다.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} = 0 \tag{1}$$

지배방정식 (1)을 풀기위하여 네 개의 경계조건이 필요한데 이러한 경계조건들은 식 (2)부터 식 (5)까지 무차원 형태로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=L_b} + \frac{1-\theta}{L_b} \Big|_{X=L_b} = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=L_e} + M \cdot \theta \Big|_{X=L_e} = 0 \tag{3}$$

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

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

물리적으로 경계조건 (2)는 핀 내벽으로부터 핀 바닥까지의 열전달은 핀 바닥을 통한 열전달과 같다는 것을 의미하며 식 (3)은 핀 끝에서 전도로 들어오는 열전달은 대류로 나가는 열전달과 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 같음을 의미한다. 지배방정식 (1)을 변수분리법을 사용하여 풀 후 경계조건 식들 (2)부터 (4)를 적용하면 삼각 핀 내의 온도 분포를 나타내는 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$\theta(X, Y) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{g_2(\lambda_n) f(X) \cos(\lambda_n Y)}{g_3(\lambda_n) + g_4(\lambda_n)} \quad (6)$$

여기서,

$$f(X) = \cosh(\lambda_n X) + g_1(\lambda_n) \sinh(\lambda_n X) \quad (7)$$

$$g_1(\lambda_n) = -\frac{\lambda_n \cdot \tanh(\lambda_n L_e) + M}{\lambda_n + M \cdot \tanh(\lambda_n L_e)} \quad (8)$$

$$g_2(\lambda_n) = -\frac{4 \sin(\lambda_n L_h)}{2 \lambda_n L_h + \sin(2 \lambda_n L_h)} \quad (9)$$

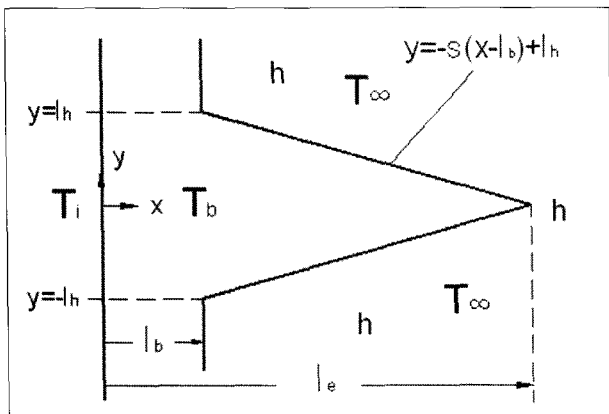


Fig. 1 Geometry of a triangular fin

$$g_3(\lambda_n) = \{1 - \lambda_n L_b g_1(\lambda_n)\} \cosh(\lambda_n L_b) \quad (10)$$

$$g_4(\lambda_n) = \{g_1(\lambda_n) - \lambda_n L_b\} \sinh(\lambda_n L_b) \quad (11)$$

식들 (6)부터 (11)에서 보여 지는 고유 값들  $\lambda_n$ 은 경계조건 식 (5)를 풀어서 정리한 식 (12)로부터 구할 수 있다.

$$0 = g_5(\lambda_n) + g_6(\lambda_n) \frac{M}{\lambda_n \sqrt{1+s^2}} \cdot \{ [g_7(\lambda_n) - g_8(\lambda_n)] \cdot \{g_9(\lambda_n) + g_{10}(\lambda_n)\} - \{g_{11}(\lambda_n) + g_{12}(\lambda_n)\} \cdot \{g_{13}(\lambda_n) + g_{14}(\lambda_n) - 1\} \} \quad (12)$$

여기서,

$$g_5(\lambda_n) = \sinh(\lambda_n L_b) \sin(\lambda_n L_h) \quad (13)$$

$$g_6(\lambda_n) = g_1(\lambda_n) \cosh(\lambda_n L_b) \sin(\lambda_n L_h) \quad (14)$$

$$g_7(\lambda_n) = \cosh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s} + \lambda_n L_b\right) \quad (15)$$

$$g_8(\lambda_n) = g_1(\lambda_n) \sinh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s} + \lambda_n L_b\right) \quad (16)$$

$$g_9(\lambda_n) = \cos(\lambda_n L_h) \sinh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s}\right) \quad (17)$$

$$g_{10}(\lambda_n) = s \cdot \sin(\lambda_n L_h) \cosh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s}\right) \quad (18)$$

$$g_{11}(\lambda_n) = \sinh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s} + \lambda_n L_b\right) \quad (19)$$

$$g_{12}(\lambda_n) = g_1(\lambda_n) \cosh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s} + \lambda_n L_b\right) \quad (20)$$

$$g_{13}(\lambda_n) = \cos(\lambda_n L_h) \cosh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s}\right) \quad (21)$$

$$g_{14}(\lambda_n) = s \cdot \sin(\lambda_n L_h) \sinh\left(\frac{\lambda_n L_h}{s}\right) \quad (22)$$

## 2.2 열손실

삼각 핀으로부터의 열손실은 핀 바닥을 통하여 전도로 들어가는 열전달과 같으며, 식 (23)을 사용하여 구할 수 있다.

$$q = -2 \int_0^{l_b} \kappa \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=l_b} l_w dy \quad (23)$$

식 (23)을 정리하여 얻어진 무차원 형태의 열손실은 식 (24)와 같이 표현된다.

$$Q = \frac{q}{\kappa l_w \theta_i} = -2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{g_2(\lambda_n) \{g_5(\lambda_n) + g_6(\lambda_n)\}}{g_3(\lambda_n) + g_4(\lambda_n)} \quad (24)$$

### 2.3 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 (25)를 사용하여 계산되어 질 수 있다.

$$q_{id} = 2h(T|_{x=l_b} - T_{\infty})l_w \sqrt{l_h^2 + (l_e - l_b)^2} \quad (25)$$

식 (25)를 정리하여 무차원 형태의 식으로 나타내면 식 (26)과 같이 써어 진다.

$$Q_{id} = \frac{q_{id}}{\kappa l_w \theta_i} = 2M \sqrt{l_h^2 + (L_e - L_b)^2} \theta|_{X=L_b} \quad (26)$$

핀 효율은 정의에 의하여 식 (27)로 계산되어 질 수 있다.

$$\eta = \frac{Q}{Q_{id}} \quad (27)$$

## 3. 결과 및 고찰

핀 바닥 두께와 높이가 변할 수 있는 삼각 핀에 대하여 다음과 같은 결과들을 얻는다.

### 3.1 삼각 핀의 해석

Figure 2는 일반화한 X좌표 NX를 따른 온도 분포의 변화를 나타낸다. 핀 길이가 길어짐에 따라 온도변화는 현저해짐을 보

여준다. 특히 핀 길이가 0.2부터 1로 변할 때에는 핀 바닥의 온도가(i.e. NX=0에서의 온도) 현저히 낮아지나 핀 끝 길이가 1.5부터 4까지 변할 때에는 핀 바닥의 온도는 거의 변하지 않음을 보여준다.

이러한 현상은 물리적으로 어느 정도의 핀 길이까지는 핀 길이의 변화가 핀 바닥의 온도 변화에 영향을 주나 핀 길이가 어느 정도 길어지면 핀 길이의 변화는 핀 바닥의 온도에 거의 영향을 주지 않음을 의미한다.

Table 1은 핀 길이의 반 되는 지점에서 (i.e. X=(L<sub>e</sub>-L<sub>b</sub>)/2+L<sub>b</sub>) 핀 높이 방향을 따른 온도의 변화를 나열한다. 핀의 형상이 삼각이기 때문에 핀 길이의 반 되는 지점에서의 핀 높이는 바닥 높이의 반이 된다. 핀 바닥 높이 L<sub>b</sub>가 커질수록 증가되는 열원에 의하여 온도가 높아지는 현상을 보여준다. 주어진 핀 바닥 높이에서 모두 핀 중심부에서는 높이 방향을 따른 온도 변화가 미미하다가 핀 바깥 면으로 다가감에 따라 온도가 상대적으로 현저하게 떨어짐을 보여준다. 또한 핀 바닥 높이가 커질수록 핀 중심부와 핀 바깥 면 사이의 온도차가 커짐을 나타낸다.

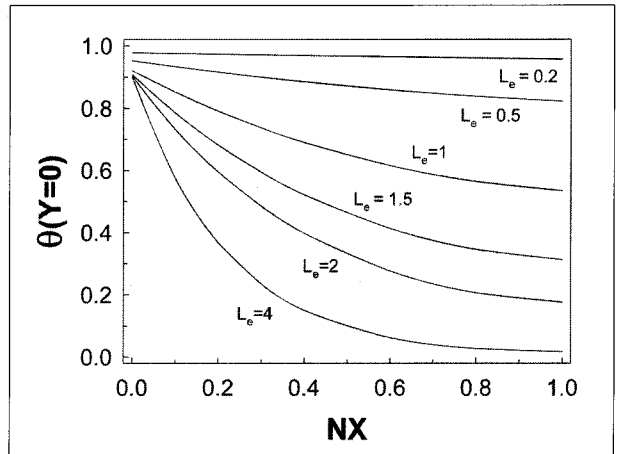


Fig. 2 Temperature profile along the = normalized position of X (L<sub>h</sub>=0.15, L<sub>b</sub>=0.1, M=0.2, Y=0)

Table 1 The effect of fin base height on the temperature variation (M=0.5, L<sub>b</sub>=0.1, L<sub>e</sub>=2.1)

θ(X=1)			
Y	L <sub>b</sub> =0.2	L <sub>b</sub> =0.5	L <sub>b</sub> =0.8
0	0.1890	0.3798	0.4895
L <sub>b</sub> /8	0.1889	0.3792	0.4883
L <sub>b</sub> /4	0.1885	0.3772	0.4846
3L <sub>b</sub> /8	0.1877	0.3738	0.4783
L <sub>b</sub> /2	0.1867	0.3691	0.4696

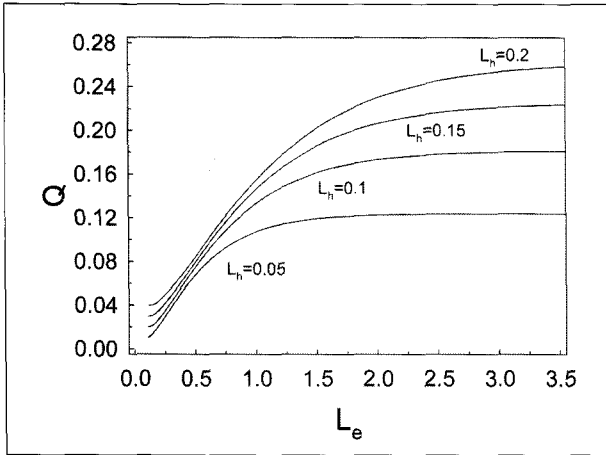


Fig. 3 Heat loss as a function of the fin tip length( $L_b=0.1, M=0.1$ )

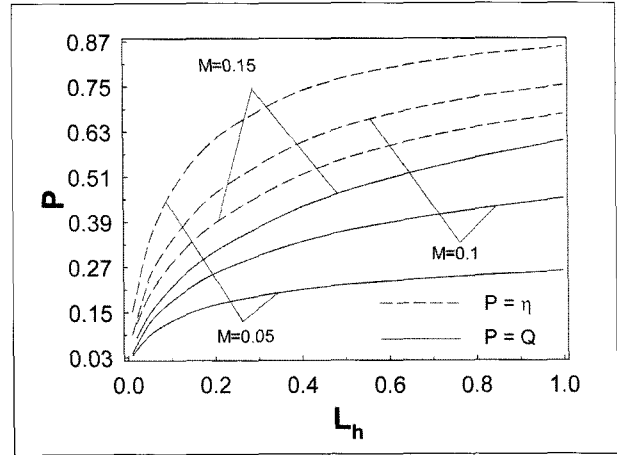


Fig. 5 Heat loss and efficiency vs. the fin base height ( $L_b=0.1, L_e=3$ )

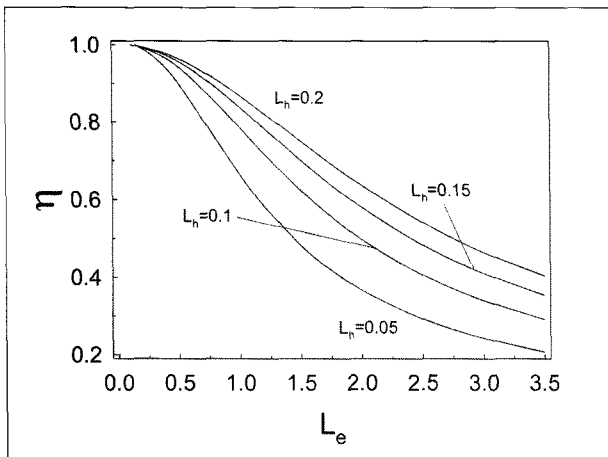


Fig. 4 Fin efficiency as a function of the fin tip length ( $L_b=0.1, M=0.1$ )

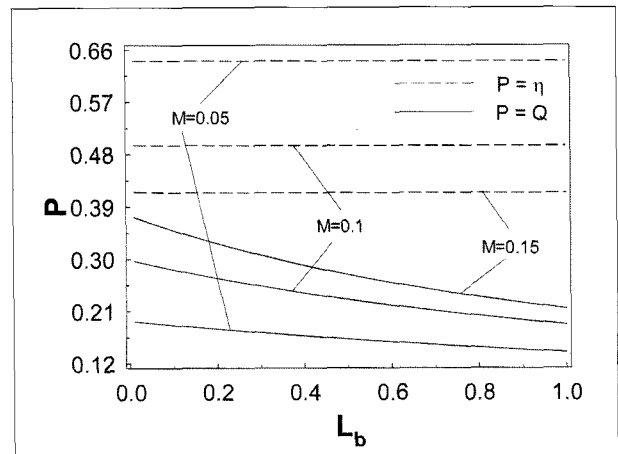


Fig. 6 Heat loss and efficiency vs. the fin base thickness ( $L_e-L_b=3, L_h=0.25$ )

네 경우의 핀 바닥 높이  $L_h$ 에 대하여 핀 바닥 두께  $L_b$ 가 0.1로 고정되고 대류특성계수  $M$ 이 0.1일 때 핀 끝 길이  $L_e$ 의 변화가 열손실량의 변화에 미치는 영향이 Fig. 3에서 보여진다. 핀 끝 길이가 길어짐에 따라 열손실량은 처음에는 다소 급격히 증가하다가 그 후 증가율이 점점 미미해 짐을 보여준다. 따라서 핀 바닥 높이가 고정되었을 때는 최대 열손실보다는 최대 열손실의 90%부터 98%정도의 열손실을 최적의 열손실로 잡아 주는 것이 바람직하다. 이는 나중 2%에서 10% 정도의 열손실을 더 얻기 위하여 핀 끝 길이를 상당히 늘려주어야 하기 때문이다. 본 연구에서는 다소 임의적으로 최대 열손실의 98%를 최적의 열손실로 잡아주었다.

Figure 4는 Fig. 3에서 주어진 조건과 똑 같은 조건 아래에서 핀 끝 길이의 변화에 따른 효율의 변화를 보여준다. 이미 주

지된 바와 같이 핀 길이가 길어짐에 따라 효율은 감소함을 보여준다. 같은 핀 끝 길이에서는 핀 바닥 높이가 커질수록 효율이 높아지는데 이는 핀 바닥 높이가 클수록 주어진 핀 끝 길이에 대하여 상대적으로 핀 길이가 짧아지기 때문이다.

핀 길이가 2.9로 고정되었을 때 핀 바닥 높이  $L_h$ 의 변화가 열손실과 효율의 변화에 미치는 영향이 Fig. 5에서 나타난다. 예상대로 핀 바닥 높이가 커질수록 열원의 증가로 인하여 열손실량은 증가함을 보여준다. 핀 바닥 높이가 커질수록 핀 효율도 증가하는데 이는 물리적으로 핀 길이는 일정할 때 바닥 높이가 커지면 상대적으로 핀의 형상은 짧아지기 때문이다. 열손실과 효율 모두 핀 바닥 높이가 커짐에 따라 처음에는 급격히 증가하다 그 이후 지속적으로 증가함을 보여준다.

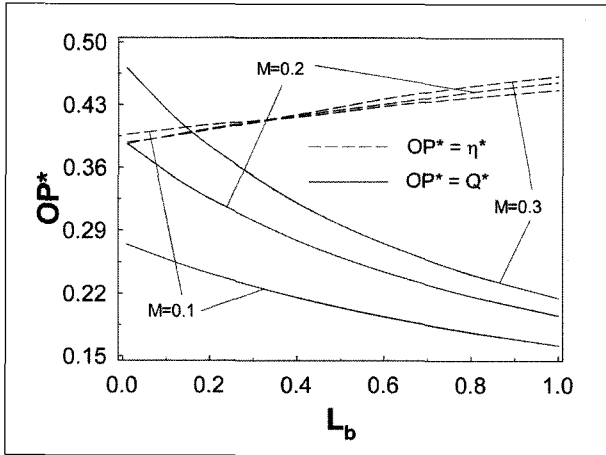


Fig. 7 Optimum performance as a function of the fin base thickness( $L_h=0.2$ )

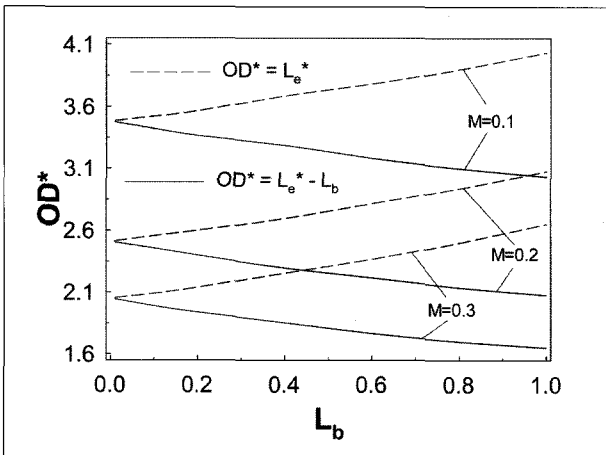


Fig. 8 Optimum dimension as a function of the fin base thickness( $L_h=0.2$ )

Figure 6은 핀 바닥 높이의 반이 0.25, 핀 길이가 3으로 고정되었을 때 핀 바닥 두께의 변화가 열손실과 효율의 변화에 미치는 영향을 보여 준다. 핀 바닥 두께가 커짐에 따라 내벽과 핀 바닥 사이의 열 저항의 증가로 인하여 열손실은 감소하게 된다. 핀 바닥 두께의 증가에 따른 열손실의 감소율은 대류특성계수가 커짐에 따라 현저해짐을 나타낸다. 핀 바닥 두께의 변화에 따른 효율의 변화는 거의 없는데 이는 물리적으로 핀 바닥 두께가 커지더라도 핀 길이와 핀 바닥 높이가 일정하기 때문에 핀 바닥 온도의 저하에 따른 이상적인 열손실의 감소에 대한 실제 핀으로부터의 열손실 감소비가 거의 변화가 없음을 의미한다.

### 3.2 삼각 핀의 최적화

무차원 핀 바닥 높이가 0.2로 고정되었을 때 핀 바닥 두께의 변화에 따른 최적의 열손실과 효율의 변화가 Fig. 7에서 나타난다. 여기서 최적의 효율은 최적의 열손실이 일어날 때의 효율을 의미한다. 핀 바닥 두께가 커짐에 따라 열 저항의 증가로 인하여 열손실이 감소하듯이 최적의 열손실도 감소함을 보여 준다. 핀 바닥 두께의 변화에 따른 효율의 변화는 거의 없는 것과는 달리 최적의 효율은 핀 바닥 두께가 커짐에 따라 증가함을 보여 준다. 이는 Fig. 8에서 보여 지듯이 핀 바닥 두께가 커짐에 따라 최적의 핀 길이가 짧아지기 때문이다.

Figure 8은 Fig. 7에서 주어진 똑 같은 조건에서 핀 바닥 두께의 변화에 따른 최적의 핀 끝 길이  $L_e^*$ 와 최적의 실제 핀 길이  $L_e^* - L_b$ 의 변화를 보여 준다. 최적의 핀 끝 길이나 최적의 핀 길이는 최적의 열손실이 일어날 때의 길이를 의미한다. 최적의 핀 끝 길이는 핀 바닥 두께가 커짐에 따라 증가하지만 증가하는 핀 끝 길이가 증가하는 핀 바닥 두께보다 작기 때문에 실제 최적의 핀 길이는 짧아짐을 보여 준다. 또한 핀 바닥 두께가 일정할 때는 대류특성계수가 커질수록 핀 길이를 따른 열손실이 빨리 일어나기 때문에 최적의 핀 길이는 짧아짐을 보여 준다.

Figure 9는 핀 바닥 두께가 0.1로 고정되었을 때 최적의 열손실과 최적의 핀 끝 길이를 대류특성계수의 함수로 보여 준다. 대류특성계수가 증가함에 따라 최적의 열손실은 처음에 다소 빨리 증가하다 그 이후 지속적으로 증가하는 반면 최적의 핀 끝 길이는 대류특성계수가 약 0.1까지는 급격히 감소하다가 그

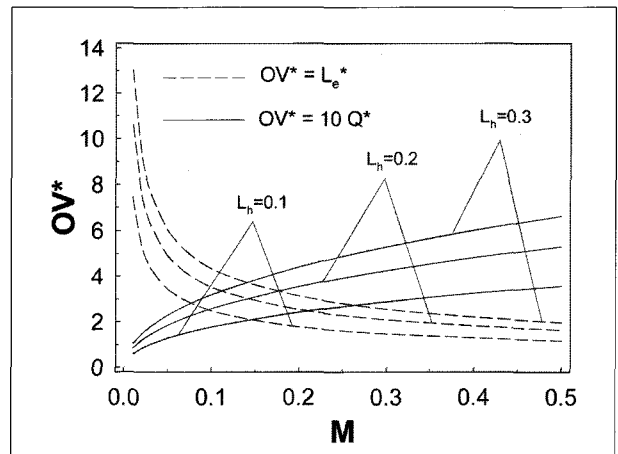


Fig. 9 Optimum values as a function of the convection characteristic number( $L_b=0.1$ )

이후에는 감소율이 서서히 둔화됨을 보여준다. 한 예로,  $L_f$ 가 0.3일 때  $M$ 이 0.01에서 0.1로 0.09가 증가하는 동안 최적의 핀 끝 길이는 약 8.7이 짧아지는 반면  $M$ 이 0.1부터 0.5로 0.4가 증가하는 동안에는 약 2.4가 짧아진다.

## 4. 결론

핀 바닥 두께와 높이가 변하는 삼각 핀의 해석과 최적화로부터 다음과 같은 결론을 얻는다.

1. 다른 변수들이 고정되었을 때 열손실과 효율 모두 핀 바닥 높이가 커짐에 따라 처음에는 다소 급격히 증가하다 그 이후 지속적으로 증가함을 보여준다.
2. 다른 변수들이 고정되었을 때 핀 바닥 두께가 커짐에 따라 열손실은 작아지나 효율의 변화는 거의 없다.
3. 핀 바닥 높이가 고정되었을 경우, 핀 바닥 두께의 증가에 따라 최적의 열손실과 그 때의 최적의 핀 길이는 감소하는 반면 최적의 열손실이 일어날 때의 효율은 증가한다.

## References

- (1) Ma, S. W., Behbahani, A. I. and Tsuei, Y. G., "Two-Dimensional Rectangular Fin with Variable Heat Transfer Coefficient," *Int. J. Heat Mass Transfer* Vol. 34, pp. 79~85, 1991.
- (2) Chung, B. T. F., Abdalla, M. H. and Liu, F., "Optimization of Convective Longitudinal Fins of Trapezoidal Profile", *Chem. Eng. Comm.*, Vol. 80, pp. 211~223, 1989.
- (3) Aziz, A. and Nguyen, H., "Two-Dimensional Effects in a Triangular Fin", *AIAA J. of Thermophysics and Heat Transfer* Vol. 6, No. 1, pp. 165~167, 1992.

- (4) Kang, H. S. and Look, D. C. Jr., "Thermally Asymmetric Triangular Fin Analysis", *AIAA J. of Thermophysics and Heat Transfer*, Vol. 15, No. 4, pp. 427~430, 2001.
- (5) Casarosa, C. and Franco, A., "On the Optimum Thermal Design of Individual Longitudinal Fins with Rectangular Profile", *Heat Transfer Engineering*, Vol. 22, No. 1, pp. 51~71, 2001.
- (6) Abrate, S. and Newnham, P., "Finite Element Analysis of Triangular Fins Attached to a Thick Wall," *Computers & Structures*, Vol. 57, No. 6, pp. 945~957, 1995.
- (7) Kang, H. S., Han, Y. M., Lee, G. H., Lee, S. J. and Yoon, S. C., "Analysis of Heat Exchanger in the Drying System using Solar Collector with Evacuated Tubes," *New & Renewable Energy*, Vol. 2, No. 1, pp. 46~55, 2006.

### 강형석



1984년 한양대학교 기계공학과 공학사  
1986년 한양대학교 기계공학과 공학석사  
1992년 University of Missouri-Rolla 기계공학과  
Ph.D

현재 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부 교수  
(E-mail : hkang@kangwon.ac.kr)