

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2010.34.3.229

고정된 흰 체적에 기준한 원관 내부반경이 변하는 환형 흰의 최적화

강 형 석*†

* 강원대학교 기계의용공학부

Optimization of an Annular Fin with a Pipe of Variable Inner Radius for Fixed Fin Volume

Hyung Suk Kang*†

* Dept. of Mechanical and Biomedical Engineering, Kangwon Nat'l Univ.

(Received May 26, 2009 ; Revised October 5, 2009 ; Accepted October 12, 2009)

Key Words: Heat loss(열손실), Inside radius(내부반경), Convection characteristic number(대류특성 계수), Effectiveness(유용성), Fin length(흰 길이)

초록: 원관 내부반경이 변하는 사각형상 환형 흰의 최적 값들이 변수 분리법에 의하여 제시된다. 최적의 열손실이 존재할 수 있는 주위 대류특성계수의 범위가 나열된다. 최적 열손실, 그와 관련된 최적의 흰 유용성, 흰 길이 그리고 흰 높이가 원관 내부반경, 내부유체 대류특성계수, 흰 체적, 그리고 주위 대류특성계수의 함수로 표현된다. 결과 중 하나는 흰 체적과 흰 바닥반경이 고정되었을 때 최적 열손실, 유용성 그리고 흰 길이는 원관 내부반경의 증가에 따라 선형적으로 증가함을 보여준다.

Abstract: Optimum values of fin performance and dimensions for an annular fin with a rectangular profile and a pipe with variable inner radius are determined by using a variable separation method. The range of ambient convection characteristic number that results in optimum heat loss is listed. The optimum heat loss, corresponding optimum fin effectiveness, fin length, and fin height are presented as a function of the inner radius of the pipe, inner fluid convection characteristic number, fin volume, and ambient convection characteristic number. One of the results shows that the optimum heat loss, fin effectiveness and fin length increase linearly with the inner radius of the pipe when both the fin volume and fin-base radius are fixed.

- 기호설명 -

- Bi : 비오프 수, $\frac{hl}{k} = \frac{hr_b}{k} \frac{l}{r_b} = ML$
- h : 주위 열전달계수 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
- h_f : 내부유체 열전달계수 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
- I_0 : 0계 제1종 modified Bessel 함수
- I_1 : 1계 제1종 modified Bessel 함수
- k : 열전도율 [$W/m \cdot ^\circ C$]
- K_0 : 0계 제2종 modified Bessel 함수
- K_1 : 1계 제2종 modified Bessel 함수
- l : 흰 높이의 반 [m]
- L : 무차원 흰 높이의 반, l/r_b
- M : 주위 대류특성계수, $(hr_b)/k$

- M_f : 내부유체 대류특성계수, $(h_f r_b)/k$
- q : 흰으로부터의 열손실 [W]
- Q : 흰으로부터의 무차원 열손실, $q/(k\phi_f 2\pi r_b)$
- q_p : 단순 원관으로부터의 열손실 [W]
- Q_p : 단순 원관으로부터의 무차원 열손실, $q_p/(k\phi_f 2\pi r_b)$
- r : 흰 반경 방향 좌표 [m]
- R : 무차원 흰 반경 좌표, r/r_b
- r_b : 흰 바닥 반경 [m]
- r_e : 흰 끝 반경 [m]
- R_e : 무차원 흰 끝 반경, r_e/r_b
- r_i : 원관 내부반경 [m]
- R_i : 무차원 원관 내부반경, r_i/r_b
- T : 온도 [$^\circ C$]
- T_f : 내부유체 온도 [$^\circ C$]

† Corresponding Author, hkang@kangwon.ac.kr

- T_{∞} : 흰 주위 온도 [°C]
 z : 흰 높이 방향 좌표 [m]
 Z : 무차원 흰 높이 방향 좌표, z/r_b

그리스문자

- ϵ : 흰 유용성
 θ : 무차원 온도, $(T - T_{\infty}) / (T_f - T_{\infty})$
 λ_n : 고유 값, $n=1, 2, 3 \dots$
 ϕ_f : 변형된 내부유체 온도, $(T_f - T_{\infty})$ [°C]

하첨자

- b : 흰 바닥
 e : 흰 끝
 f : 내부유체
 i : 원관 내부반경
 p : 단순 원관
 ∞ : 주위

상첨자

- * : 최적

1. 서 론

흰은 주 열전달 표면으로부터 보다 더 많은 열 전달을 일으키기 위하여 보편적으로 사용되어 왔다. 몇몇 대표적인 예로는, 전자부품의 방열 부품, 화학과정, 자동차의 라디에이터 그리고 항공기 등 많은 시스템에서 열전달 향상을 위하여 사용되고 있다. 동시에 다양한 형상의 흰에 대한 연구⁽¹⁻³⁾가 많이 이루어져 왔다.

산업 현장에서 가장 보편적으로 사용될 수 있는 흰의 여러 형상 중 하나가 환형 흰이며, 이에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 환형 흰에 대한 많은 연구들 중 몇몇 예를 들면, Ullmann과 Kalman⁽⁴⁾은 사각, 삼각, 환형 그리고 포물선 형상의 환형 흰의 효율과 최적 차원을 발표하였다. Razelos와 Imre⁽⁵⁾는 변화되는 열적 매개 변수를 가진 사각, 삼각 그리고 사다리꼴 원형 흰을 조사하였다. 또한, Yu와 Chen⁽⁶⁾은 열전도율과 대류 열전달이 변화될 때 직각형상 원형 흰의 최적화를 논하였다. 이러한 연구들은 1차원 해석에 기준을 두었다.

환형 흰에 대한 2차원 해석을 사용한 연구들의

예로는, Kunda와 Das⁽⁷⁾가 변화하는 바닥온도를 가진 편심 환형 흰의 성능을 결정할 수 있는 수치기법을 제시하였다. 또한 Sikka와 Iqbal⁽⁸⁾은 표면으로부터 복사와 대류에 의해서 열을 전달시키는 원형 흰의 열전달 특성을 해석하였다. Kundu와 Das⁽⁹⁾가 준 해석적인 기법을 사용하여 타원형 원반 흰을 해석하고 최적화한 반면 Kang과 Look⁽¹⁰⁾은 사다리꼴 형상 환형 흰에 대한 최적화 절차를 제시하였다.

환형 흰의 최적화에 대한 본 연구도 2차원 해석적 방법을 사용하였다. 본 연구의 두 가지 특징 중 하나는 최적화의 기준을 일정한 흰의 체적 하에서 유용성이 의미가 있는 실제적인 흰 길이에서 발생하는 최대열손실을 최적의 열손실로 정의한 것이다. 또 다른 하나의 특징은 원관 내부 반경이 일정하고 흰 바닥 반경이 (i.e. 원관 외부 반경) 변하는 대신 흰 바닥 반경이 고정되어있고 원관 내부 반경이 변화하도록 하였다. 이와 같은 조건 하에서, 흰 체적, 원관의 내부 반경, 그리고 내부유체 대류특성계수의 변화에 따른 최적 값이 존재할 수 있는 주위 대류특성계수의 범위를 제시한다. 최적 값이 존재할 수 있는 범위에서 최적 열손실, 그에 관계되는 최적의 유용성, 흰 길이, 그리고 흰 높이가 원관 내부반경, 내부유체 대류특성계수, 흰 체적 그리고 흰 주위 대류특성계수의 함수로서 제시되어진다.

2. 2차원 해석적 방법

2.1 온도

Figure 1에서 보이는 사각 형상 환형 흰에 대한 2차원 지배방정식이 무차원 형태로 식 (1)로 주어진다.

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

무차원 지배방정식 (1)을 풀기 위하여 식 (2)부터 (5)까지 네 개의 무차원 경계 조건이 요구된다.

$$-\frac{\partial \theta}{\partial R} \Big|_{R=1} = \frac{1 - \theta \Big|_{R=1}}{R_i M_f + \ln \left(\frac{1}{R_i} \right)} \quad (2)$$

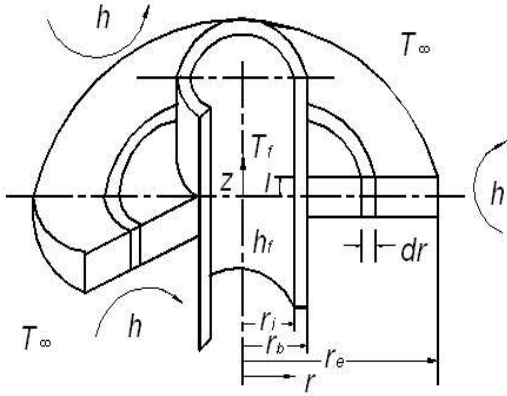


Fig. 1 Schematic diagram of a rectangular profile annular fin

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial R} \right|_{R=R_c} + M \theta \Big|_{R=R_c} = 0 \quad (3)$$

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

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial Z} \right|_{Z=L} + M \theta \Big|_{Z=L} = 0 \quad (5)$$

여기서 경계 조건식 (2)는 원관 내부유체로부터 원관 내부반경까지의 열대류, 원관 내부반경부터 흰 바닥반경까지의 열전도, 그리고 흰 바닥반경을 통한 열전도가 모두 같다는 것을 의미하며 경계 조건식 (3)은 흰 끝으로 전도에 의해 들어가는 열전달은 흰 끝에서 대류에 의하여 주위로 나가는 열전달이 같음을 나타낸다. 식 (4)는 흰의 형상과 주위조건의 대칭에 의하여 흰 중심면을 통한 열전달을 없다는 것을 뜻하며 식 (5)는 흰 윗면으로 전도에 의해 들어가는 열전달은 흰 윗면에서 대류에 의하여 주위로 나가는 열전달이 같음을 의미한다. 변수분리법을 이용하여 무차원 지배 방정식 (1)을 풀어 구한 해에 경계 조건식 (2)부터 (4)를 적용하여 구한 사각 환형 흰 내의 온도분포 식은 식 (6)으로 주어진다.

$$\theta(R, Z) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n f(R) \cos(\lambda_n Z)}{B_n + C_n D_n} \quad (6)$$

여기서,

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

$$B_n = I_0(\lambda_n) + f_n K_0(\lambda_n) \quad (8)$$

$$C_n = \lambda_n \left\{ \frac{1}{R_i M_f} + \ln \left(\frac{1}{R_i} \right) \right\} \quad (9)$$

$$D_n = f_n K_1(\lambda_n) - I_1(\lambda_n) \quad (10)$$

$$f_n = \frac{\lambda_n I_1(\lambda_n R_e) + M I_0(\lambda_n R_e)}{\lambda_n K_1(\lambda_n R_e) - M K_0(\lambda_n R_e)} \quad (11)$$

식 (6)부터 (11)에서 보여지는 고유 값 λ_n 은 흰 윗면 경계조건식 (5)를 풀어 정리한 식 (12)로부터 계산할 수 있다.

$$M = \lambda_n \tan(\lambda_n L) \quad (12)$$

2.2 열손실

사각형상 환형 흰으로부터의 열손실은 식 (13)을 사용하여 구할 수 있다.

$$q = -2\pi r_b \int_{-l}^l k \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=r_b} dz \quad (13)$$

식 (13)을 풀어 무차원 형태로 정리한 열손실은 식 (14)로 주어진다.

$$Q = \frac{q}{k \phi_f (2\pi r_b)} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n D_n \sin(\lambda_n L)}{B_n + C_n D_n} \quad (14)$$

2.3 흰 유용성

흰 유용성은 흰 바닥넓이와 같은 넓이의 단순 원관 외벽으로부터 나가는 열손실에 대한 흰의 열손실로 정의된다. 따라서 흰 유용성을 구하기 위하여 먼저 단순 원관 외벽으로부터의 열손실을 구해야 한다. 원관의 내부반경과 외부반경 사이에서 z 방향의 열전달을 무시한다면 흰이 없는 단순 원관에 대한 무차원 지배방정식은 식 (15)로 표현된다.

$$R \frac{d^2 \theta_p}{dR^2} + \frac{d\theta_p}{dR} = 0 \quad (15)$$

식 (15)를 풀기 위한 두 개의 경계조건은 각각 식 (16)과 (17)로 주어진다. 식 (16)은 물리적으로 원관 내의 유체로부터 원관 내부반경으로의 대류열전달은 원관 내부반경을 통한 전도에 의한 열전달과 같다는 의미이며 식 (17)은 원관 외부반경을 통한 전도열전달은 그 반경을 통해 외부로 나

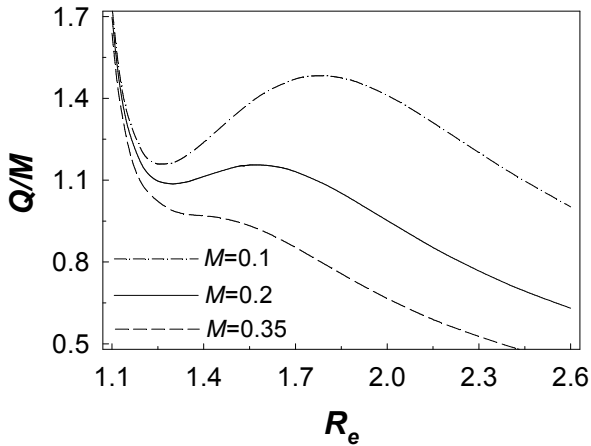


Fig. 2 Modified heat loss vs. the fin length ($V=0.3, R_i=0.95, M_f=20$)

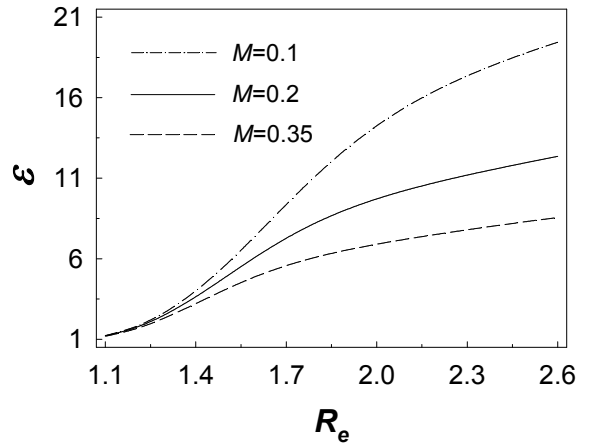


Fig. 3 Fin effectiveness vs. the fin length ($V=0.3, R_i=0.95, M_f=20$)

가는 대류열전달과 같다는 의미이다.

$$M_f(1 - \theta_p|_{R=R_i}) = - \left. \frac{d\theta_p}{dR} \right|_{R=R_i} \quad (16)$$

$$- \left. \frac{d\theta_p}{dR} \right|_{R=1} = M\theta_p|_{R=1} \quad (17)$$

경계조건식 (15)를 풀 후 경계조건식들 (16)과 (17)을 적용하면 단순 원관의 내부반경과 외부반경사이의 온도분포를 나타내는 식 (18)을 구할 수 있다.

$$\theta_p(R) = \frac{R_i M_f \{1 - M \ln(R)\}}{M + M_f R_i \{1 - M \ln(R_i)\}} \quad (18)$$

단순 원관 외부반경으로부터의 열손실은 식 (19)를 사용하여 계산할 수 있다.

$$q_p = -4\pi r_b k \phi_f L \left. \frac{d\theta}{dR} \right|_{R=1} \quad (19)$$

단순 원관 외부반경으로부터의 무차원 열손실은 식 (20)으로 주어진다.

$$Q_p = \frac{q_p}{k \phi_f (2\pi r_b)} = \frac{2LR_i M_f M}{M + M_f R_i \{1 - M \ln(R_i)\}} \quad (20)$$

정의에 의하여 흰 유용성은 식 (21)에 의하여 계산되어진다.

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_p} \quad (21)$$

2.4 흰 체적

Figure 1에서 보여지는 환형 흰의 체적은 식 (22)에 의하여 계산되어질 수 있다.

$$v = 2 \int_{r_b}^{r_c} 2\pi r l dr \quad (22)$$

본 연구에서 정의된 무차원 흰 체적은 식 (23)으로 표현된다.

$$V = \frac{v}{\pi r_b^3} = 2L(R_c^2 - 1) \quad (23)$$

3. 결과 및 고찰

Figure 2는 흰 체적이 일정할 때 세 경우의 주위 대류특성계수에 대하여 흰 길이의 변화에 따른 변형된 열손실의 변화를 보여주는데 각각 M이 0.1, 0.2 그리고 0.3인 경우에 R_e 가 약 1.25, 1.3 그리고 1.35이하에서 R_e 가 짧아짐에 따라 열손실이 급격히 증가하는 것을 보여준다. 이는 흰 체적이 일정하므로 흰 길이가 짧아짐에 따라 흰 바닥 높이가 커지기 때문인데 흰 유용성의 측

Table 1 Range of M for existence of optimum heat loss

$M < b$ for Q^*			
V	R_i	M_f	b
0.1	0.7	2	0.0864
		10	0.1625
	0.95	2	0.1451
		10	0.3494
0.5	0.7	2	0.0679
		10	0.1166
	0.95	2	0.1062
		10	0.2085

면에서 보면 흰의 효과는 아주 작아지게 되는데 이는 Fig. 3에서 보여질 것이다. 열손실에 주위 대류특성계수 값을 나누어 준 변형된 열손실을 세로좌표로 나타낸 이유는 변화 범위를 비슷하게 하여 최대값이 나타나는 현상을 좀 더 잘 보이기 위한 것이다. 흰 길이가 변함에 따라 $M=0.1$ 일 때는 실용적인 흰 길이인 약 $R_e=1.8$ 에서, 그리고 $M=0.2$ 일 때는 약 $R_e=1.57$ 에서 최대 열손실이 일어남을 보여주며 M 이 특정 값 보다 커지면 (i.e. $M=0.35$ 인 경우) 실용적인 흰 길이에서 최대 열손실이 발생하지 않음을 보여준다. 본 연구에서는 실용적인 흰 길이에서 발생하는 최대열손실을 최적의 열손실로 정의한다.

Figure 3은 Fig. 2에서 주어진 똑 같은 조건 아래에서 흰 길이의 변화에 따른 유용성의 변화를 보여준다. 이미 Fig. 2의 설명에서 언급하였듯이 흰 길이가 매우 짧아짐에 따라 열손실은 급격히 증가하는 반면 유용성은 1로 수렴하여 거의 흰의 효과가 없음을 보여준다. 또한 열손실은 M 이 0.1 과 0.2인 경우에는 최대값이 존재하나 유용성은 최대값이 존재하지 않고 계속 증가하는데 이는 흰 체적이 고정되어 있기 때문에 흰 길이가 길어질수록 흰 높이는 계속해서 낮아지기 때문이다. 따라서 최적의 유용성은 최대열손실이 일어날 때의 유용성으로 정의하며 최적의 흰 길이와 높이도 최대열손실이 일어날 때의 흰 길이와 높이로 정의한다.

Table 1은 무차원 흰 체적과 원관 내부반경 그리고 내부유체 대류특성계수의 변화에 따른 최적 열손실이 존재할 수 있는 주위 대류특성계수의

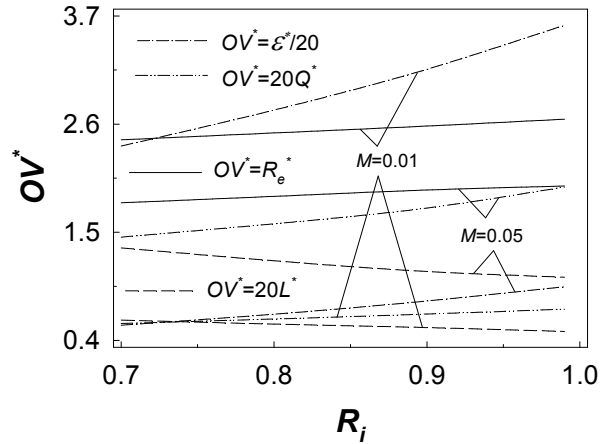


Fig. 4 Optimum values as a function of pipe inside radius ($V=0.3, M_f=10$)

범위를 나열한다. 이미 Fig. 2에서 다른 변수들이 고정되어 있을 때 주위 대류특성계수가 특정 값 보다 커지게 되면 최대열손실이 존재하지 않는 것을 보여주었다. Table 1로부터 무차원 체적이 커질수록 또는 원관의 내부반경이 작아질수록 (i.e., 흰 바닥 반경 두께가 두꺼워질수록) 또는 내부유체 대류특성계수가 작아질수록 최적열손실이 존재할 수 있는 주위 대류특성계수의 값이 작아지는 것을 알 수 있다. 본 논문의 많은 부분에서 나오는 $V=0.3$ 인 경우 $R_i=0.9$ 와 $M_f=20$ 일 때의 b 값은 0.2407로서 Table 1에서 주어진 $V=0.1, R_i=0.95$ 그리고 $M_f=10$ 인 경우와 $V=0.5, R_i=0.95$ 그리고 $M_f=10$ 인 경우 사이의 값임을 보여준다.

Figure 4는 무차원 흰 체적이 0.3으로 고정되었을 때 원관 내부반경의 변화가 최적의 열손실, 유용성, 흰 길이 그리고 흰 높이에 미치는 영향을 나타낸다. 각 최적 값에 적절한 값을 나누어 주거나 곱한 이유는 최적 값들의 변화범위를 비슷하게 하여 동시에 변화경향을 잘 볼 수 있도록 한 것이다. 원관 내부반경이 커짐에 따라 (i.e. 흰 바닥 두께가 얇아짐에 따라) 최적의 열손실, 유용성 그리고 흰 길이는 거의 선형적으로 증가하는 반면 최적의 흰 높이는 거의 선형적으로 감소함을 보여준다. 원관 내부반경이 커짐에 따라 최적 열손실이 증가하는 이유는 흰 바닥 두께가 얇아짐에 따라 원관 내부반경과 흰 바닥반경 사이의 열 저항이 감소하기 때문이다.

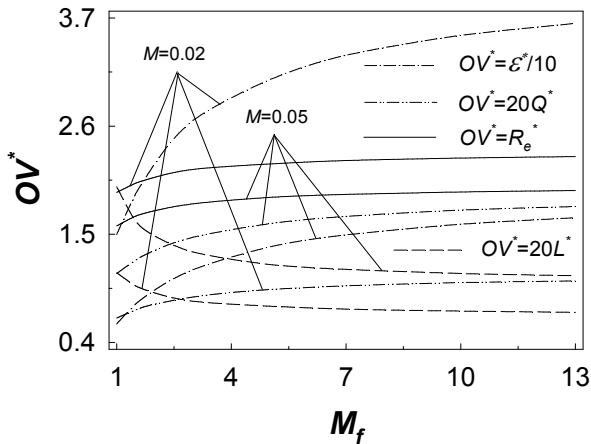


Fig. 5 Optimum values vs. inside fluid convection characteristic number ($V=0.3, R_i=0.9$)

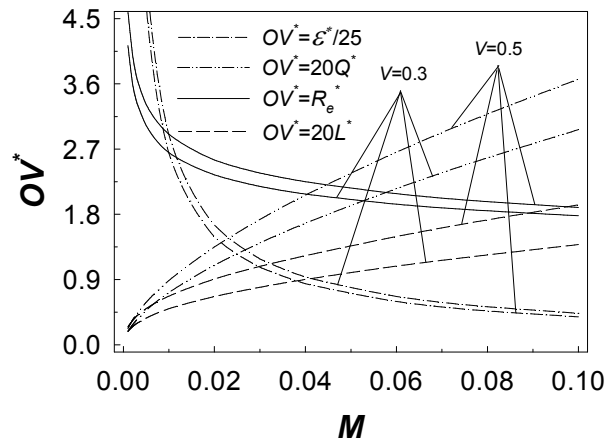


Fig. 7 Optimum values vs. ambient convection characteristic number ($M_f=20, R_i=0.95$)

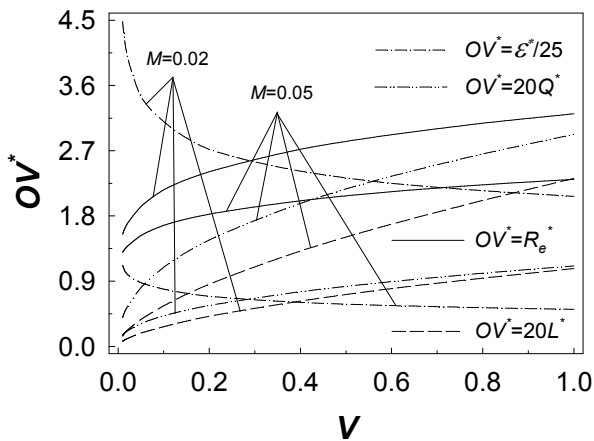


Fig. 6 Optimum values as a function of fin volume ($M_f=10, R_i=0.9$)

내부유체 대류특성계수의 변화에 따른 최적 열손실, 유용성, 흰 길이 그리고 흰 높이의 변화가 Fig. 5에서 보여진다. 내부유체 대류특성계수가 증가함에 따라 최적의 열손실, 유용성 그리고 흰 길이는 증가함을 보여준다. 반면 체적이 일정하기 때문에 최적 흰 높이는 감소함을 보여준다. 내부유체 대류특성계수의 변화에 따라 네 개의 최적 값들은 모두 M_f 가 5이하에서 변화가 현저하며 M_f 가 10이상에서는 상대적으로 변화율이 현저히 떨어짐을 보여준다. 이는 물리적으로 M_f 가 10이상에서는 M_f 의 증가에 따른 흰 바닥 온도의 증가가 현저하지 않기 때문이다.

앞의 논의에서는 무차원 흰 체적이 0.3으로 고정되었었다. 이제 고정된 흰 체적이 0.01부터 1까지 변화하는 동안 그에 따른 최적 값들의 변화가 Fig. 6에서 주어진다. 예상했던 대로 흰 체적이 증가함에 따라 확장 표면이 증가하고 이에 따라 최적의 열손실은 증가한다. 반면에 최적의 흰 유용성은 흰 체적이 증가함에 따라 감소하는데 이는 물리적으로 흰 체적이 증가함에 따라 최적 흰 길이에서 흰으로부터의 열손실 증가율 보다 최적 흰 높이와 같은 면적에서 단순 원관 외부반경으로부터의 열손실의 증가율이 크다는 것을 의미한다. 흰 체적이 증가함에 따라 최적의 흰 바닥 높이는 지속적으로 현저하게 증가하는 반면 최적의 흰 길이는 처음에 다소 현저하게 증가하다 그 이후 서서히 증가율이 작아짐을 보여준다. 또한 이와 같은 최적 흰 길이와 바닥 높이의 변화는 물리적으로 흰 체적이 커질수록 최적의 측면 흰 형상은 상대적으로 얇은 형상에서 두꺼운 형상으로 변함을 의미한다.

Figure 7은 주위 대류특성계수의 변화에 따른 최적 값들의 변화를 보여준다. 흰 체적의 경우와 같이 주어진 범위에서 주위 대류특성계수가 최적의 변수들에 미치는 영향이 상당히 큼을 보여준다. 주위 대류특성계수가 0.001부터 0.1까지 증가함에 따라 최적의 열손실과 흰 높이는 지속적으로 증가하는 반면 유용성과 흰 길이는 처음에 급격히 감소하다 서서히 감소율이 작아짐을 보여준다. 특히 주위 대류특성계수가 작아짐에 따라 유용성이 급격히 증가한다는 것은 자연대류에서 흰의 유용성이 현저히 좋음을 의미한다.

4. 결 론

흰 체적이 일정할 때 적절한 흰 길이에서 발생하는 최대열손실을 최적의 열손실로 정의하고 최적의 열손실이 일어날 때의 흰 길이와 높이 그리고 유용성을 각각 최적 흰 길이, 최적 흰 높이 그리고 최적 유용성으로 정의하여 사각 환형 흰에 대한 최적화를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 흰 체적이 커질수록 또는 원관의 내부 반경이 작아질수록 (i.e., 흰 바닥 반경 두께가 두꺼워질수록) 또는 내부유체 대류특성계수가 작아질수록 최적 값이 존재할 수 있는 주위 대류특성계수의 값이 작아진다.

(2) 원관 내부반경이 커짐에 따라 (i.e., 흰 바닥 반경 두께가 얇아짐에 따라) 최적의 열손실, 유용성 그리고 흰 길이는 거의 선형적으로 증가하는 반면 최적의 흰 높이는 거의 선형적으로 감소한다.

(3) 내부유체 대류특성계수가 10이상에서는 그 값의 변화가 최적 값에 미치는 영향이 미미하다.

(4) 구체적인 흰 설계의 한 예로 자연대류 하에서 보통 크기의 흰의 최적화를 위하여 흰 바닥반경이 6cm일 경우 Fig. 6에서 $M=0.02$ 와 $V=0.1$ 을 선택하고 흰의 재질은 AISI1010을 ($k=63.9\text{W/m}\cdot\text{C}$) 사용할 때, $h=(Mk)/r_b=0.02\times 63.9\text{W/m}\cdot\text{C}\div 0.06\text{m}=21.3\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ 와 $r_i=0.9\times 6\text{cm}=5.4\text{cm}$ 가 되고 Fig. 6으로부터 최적 흰 길이, $r_e^*-r_b=r_b(R_e^*-1)=0.06\text{m}\times(2.16-1)=6.96\text{cm}$ 이며 최적 흰 높이, $2l^*=2L^*\times r_b=2\times 0.272\div 20\times 0.06\text{m}=0.16\text{cm}$ 가 된다.

참고문헌

- (1) Aziz, A. and Nguyen, H., 1992, "Two-dimensional Effects in a Triangular Convecting Fin," *J. Thermophysics*, Vol. 6, No. 1, pp. 165~167.
- (2) Kang, H. S., 2008, "Optimization of a reversed trapezoidal fin using 2-D analytic method," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 22, No. 3, pp. 556~564.
- (3) 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.
- (4) Ullmann, A. and Kalman, H., 1989, "Efficiency and Optimized Dimensions of Annular Fin of Different Cross-Section Shapes," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 32, No. 6, pp. 1105~1110.
- (5) Razelos, P. and Imre, K., 1980, "The Optimum dimensions of Circular Fin with Variable Thermal Parameters," *ASME J. Heat Transfer*, Vol. 102, No. 3, pp. 420~425.
- (6) Yu, L. T. and Chen, C. K., 1999, "Optimization of Circular Fins with Variable Thermal Parameters," *Journal of The Franklin Institute*, Vol. 336(B), pp. 77~95.
- (7) Kundu, B. and Das, P. K., 1999, "Performance Analysis of Eccentric Annular Fins with a Variable Base Temperature," *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol. 36, pp. 751~766.
- (8) Sikka, S. and Iqbal, M., 1970, "Temperature Distribution and Effectiveness of a Two-Dimensional Radiating and Convective Circular Fin," *AIAA Journal*, Vol. 8, No. 1, pp. 101~106.
- (9) Kundu, B. and Das, P. K., 2007, "Performance Analysis and Optimization of Elliptical Fins Circumscribing a Circular Tube," *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 50, pp. 173~180.
- (10) Kang, H. S. and Look, D. C. Jr., 2009, "Optimization of a Trapezoidal Profile Annular Fin," *Heat Transfer Engineering*, Vol. 30, No. 5, pp. 359~367.

(1) Aziz, A. and Nguyen, H., 1992, "Two-dimensional Effects in a Triangular Convecting Fin," *J. Thermophysics*, Vol. 6, No. 1, pp.