

〈論文〉

수직 평판으로부터의 복합자연대류에 미치는 복사효과

김경훈* · 김세웅*

(1991년 8월 26일 접수)

Effects of Radiation on Conjugate Natural Convection from a Vertical Plate Fin

Kyoung Hoon Kim and Se Woong Kim

Key Words : Vertical Fin(수직핀), Conjugate Natural Convection(복합자연대류), Radiation(복사), Integral Method(적분법)

Abstract

The problem of natural convection from a vertical fin is solved by coupling the thermal diffusion equation in the fin to the constitutive equations of the ambient medium involving the radiation of the medium. The analysis is accomplished by employing an integral method. The governing equations for the problem are solved by shooting method based on the Runge-Kutta Scheme at $Pr=0.7$. For the range of values of the fin parameter and the radiation-conduction parameter in the analysis, the numerical results show that the radiation effects play an important role in the heat transfer and enhance the heat transfer.

기호 설명

a : 흡수계수
 A : 핀의 단면적
 B : 복사계수 = $16\sigma(T_1 - T_o)^3/3ak$
 C : 온도계수 = $T_o/(T_1 - T_o)$
 E : 회효율 = Q/Q_{iso}
 f : 무차원 경계층 두께 = $(PLk/Ak_w)^{1/3}Gr^{1/3}\delta/L$
 g : 중력가속도
 Gr : Grashof수 = $\beta g(T_1 - T_o)L^3/\nu^2$
 k : 매체의 열전도도
 k_w : 핀의 열전도도
 L : 핀의 길이
 M : 회계수 = $(PLk/Ak_w)Gr^{1/4}$
 Nu : 무차원 국소열전달계수 = $qL/k(T_w - T_o)$

Nu_m : 무차원 평균열전달계수 = $Q/Pk(T_1 - T_o)$
 P : 핀의 둘레길이
 Pr : Prandtl수 = ν/α
 q : 핀표면으로부터의 열플럭스
 Q : 핀표면으로부터의 열전달율
 T : 매체의 온도
 T_1 : 핀뿌리 온도
 T_o : 주변온도
 T_w : 핀온도
 u, v : x 및 y 방향 속도성분
 u_o : 특성속도
 x, y : 좌표축
 Z : 복사비 = Q_{rad}/Q
 α : 열확산계수
 β : 열팽창계수
 δ : 경계층 두께

*정회원, 금오공과대학 기계공학과

- ν : 동점성계수
 η : 무차원 거리 = x/L
 θ : 무차원 온도 = $(T - T_0)/(T_1 - T_0)$
 σ : Stefan-Boltzmann 상수
 ϕ : 무차원 특성속도 = $(PLk/Ak_w)^{2/3} Gr^{-1/3}$
 u_0L/ν

하첨자

conv : 대류

rad : 복사

1. 서 론

고체 표면과 기체 사이의 열전달을 증가시키기 위한 수단으로 흰을 많이 사용한다. 각종 열교환기에서 흰의 성능은 열교환기의 성능에 큰 영향을 미치기 때문에 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁾. 종래의 흰에 대한 열전달 문제의 해석에서는 대부분 흰 표면에서 온도 또는 열프럭스가 일정하다는 가정하에 수행하였으나 실제 현상은 흰 내부의 열확산과 흰 표면에서의 대류 등에 의한 열전달이 상호 관련되어 있다.

Sparrow와 Acharya⁽²⁾는 흰 내부의 열확산 과정을 주위 유체의 지배방정식들과 연계한 복합자연대류 문제를 유한차분법을 이용하여 수치적으로 해석하여 흰에서의 온도분포와 국소열전달계수의 분포를 조사하였다. 이들은 흰계수가 큰 경우에는 국소열전달 계수가 흰 선단으로부터의 거리에 따라 단조감소하지 않고 국소값을 가진 후 증가하는 사실을 발견하였다. 이들은 이러한 현상을 흰 내부의 열확산을 고려하는 경우에는 흰 표면에서의 열전달로 인하여 흰의 온도는 흰 선단으로 갈수록 떨어지므로 흰 선단에서 흐름방향으로 온도차 즉 부력이 증가하게 되어 등온벽면 주위의 흐름에 비해 유동방향으로 추가적인 가속력을 받게 되어서 흰계수가 큰 경우에는 국소열전달계수가 반등한다고 설명하였다.

Sarma 등⁽³⁾은 균일한 열원을 내포하고 있는 흰에 대한 복합자연대류 문제를 적분법에 의해 해석하여 열원의 세기나 흰계수에 따른 온도분포, 국소열전달계수, 평균열전달계수 등의 변화를 조사하였다. 이들은 적분법에 의한 결과가 유한차분법에 의한 수치해석결과⁽²⁾와 잘 일치함을 발견하였으며 평균열전달계수는 흰계수와 거의 무관하게 일정하다

는 사실을 발견하였다.

그러나 흰으로부터의 전도와 대류의 복합열전달에 있어서 복사는 고온의 영역에서 뿐만 아니라 상대적으로 흰 성능 해석의 정확도를 높일 수 있다. ^(4,5) 최근들어 최상경 등⁽⁶⁾은 평판 흰에서의 강제대류 열전달에 미치는 복사효과에 대해서 유한차분법을 이용하여 수치적으로 연구하였으며, 이금배⁽⁷⁾는 복사를 고려하여 원형 흰에서의 열전달의 특성을 유한차분법을 이용한 수치적 방법으로 분석하였으며, 임승욱 등⁽⁸⁾은 원관내 유동에서의 복사 및 강제대류 열전달에 관해 수치 및 실험적으로 연구하였고, Morales와 Campo⁽⁹⁾는 관내부 흰 주위에서의 혼합대류에 복사가 미치는 영향을 유한차분법을 이용하여 수치적으로 연구하였다. 그러나 흰 주위의 복합자연대류에 미치는 복사효과에 대한 연구보고는 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는 수직 평판 주위의 복합자연대류 문제를 복사 효과를 고려하여 적분법을 이용하여 수치적으로 해석하였다. 본 논문에서 사용된 중요한 매개변수들을 흰계수 M , 복사계수 B , 온도계수 C 등이며 이들이 온도 분포, 국소열전달계수, 흰 효율, 평균열전달계수, 총열전달에 대한 복사비율 등에 미치는 영향에 관하여 연구하였다.

2. 이론해석

2.1 문제 설명

해석하고자 하는 문제의 모델은 Fig. 1과 같다. 흰의 길이는 유한하지만 흰의 두께가 길이에 비하여 매우 작으므로 흰 내부에서의 열확산은 1차원으로 전달된다고 가정하며 흰 끝에서의 열전달은 표면에서의 열전달에 비하여 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정한다. 유체는 비압축성이고 물성치들은 중력항의 밀도를 제외하고는 일정하며 중력항의 밀도는 온도의 선형함수인 Boussinesq 유체로 가정하였다. 유체의 유동은 정상상태 층류유동이라고 가정하였으며 점성소산은 무시하였다. 속도 및 온도 경계층의 두께는 같다고 가정하였다.⁽¹⁰⁾ 유체에서의 복사열전달은 온도경계층이 두껍거나 매질의 복사에 대한 흡수계수 a 가 큰 경우인 광학적으로 두꺼운 경우로 가정하였으며 매질에서 적용되는 에너지방정식의 흰표면에서의 극한과 흰표면에서의 복사방사에 의한 유효온도차(effective temperature slip)를 무시할 수 있다고 가정하여 복사열전

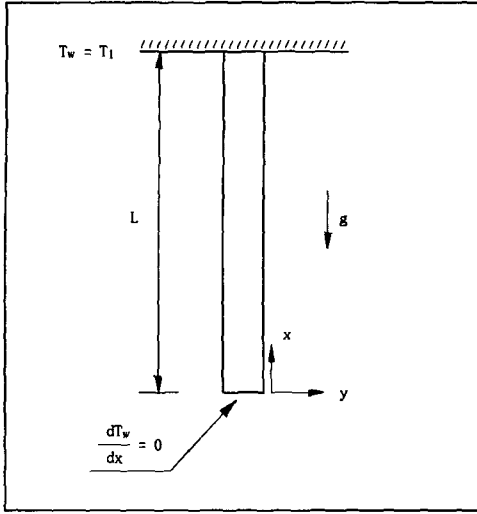


Fig. 1 Physical model of a vertical fin

달의 열플럭스 확산이 Fourier의 전도법칙과 같은 Rosseland 모델을 사용하였다⁽⁵⁾.

2.2 지배방정식

핀에서의 에너지방정식과 유체에서의 연속방정식, 운동량방정식 및 에너지방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g\beta(T - T_0) + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \tag{2}$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial q_{rad}}{\partial y} \tag{3}$$

$$Ak_w \frac{d^2 T_w}{dx^2} - P(q_{conv} + q_{rad})|_{y=0} = 0 \tag{4}$$

여기에서 유체에서의 복사 에 의한 열플럭스 q_{rad} 은 확산모델의 복사열플럭스식을 사용 하였다.

$$q_{rad} = -\frac{4\sigma}{3a} \frac{\partial T^4}{\partial y} \tag{5}$$

유체 경계층에서의 경계조건은 식(6.1), (6.2), 식(6.3) 및 식(6.4)와 같다.

$$y=0 \text{에서 } T = T_w, \quad u = v = 0 \tag{6.1}$$

$$y = \delta(x) \text{에서 } \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad T = T_0, \quad u = 0 \tag{6.2}$$

$$x=0 \text{에서 } \frac{dT_w}{dx} = 0, \quad u = 0, \quad \delta = 0 \tag{6.3}$$

$$x=L \text{에서 } T_w = T_1 \tag{6.4}$$

2.3 적분법에 의한 구성방정식의 유도

경계층내에서의 속도와 온도분포 $u(x, y)$ 와 $T(x, y)$ 를 특성속도 u_o 와 특성온도 $T_w(x) - T_0$ 에 대해 y 의 정식으로 가정하고 경계조건을 만족하는 속도와 온도분포를 구하면 식(7) 및 식(8)과 같이 된다.

$$\frac{u}{u_o} = \frac{y}{\delta} \left[1 - \frac{y}{\delta} \right]^2 \tag{7}$$

$$\frac{T - T_0}{T_w - T_0} = \left[1 - \frac{y}{\delta} \right]^2 \tag{8}$$

유체의 운동량방정식(2)와 에너지방정식(3)에 식(7) 및 식(8)을 대입 적분하고 연속방정식(1)과 경계층 개념을 이용하면 구성방정식(9)과 (10)이 얻어지며 흰에너지방정식(4)과 식(10)을 연립하여 적분하면 구성방정식(11)이 얻어진다.

$$\frac{1}{105} \frac{d}{dx} (u_o^2 \delta) = \frac{1}{3} g\beta\delta(T_w - T_0) - \frac{\nu u_o}{\delta} \tag{9}$$

$$\frac{1}{30} \frac{d}{dx} \{u_o(T_w - T_0)\delta\} = \frac{2(T_w - T_0)}{\delta} \left(a + \frac{1}{\rho C_p} \frac{16\sigma T_w^3}{3a} \right) \tag{10}$$

$$Ak_w \frac{dT_w}{dx} = \frac{\rho C_p P}{30} u_o(T_w - T_0) \delta \tag{11}$$

구성방정식(9), (10) 및 (11)에 대한 경계조건은 식(6.3) 및 식(6.4)이다.

구성방정식과 이에 대한 경계조건을 무차원화하기 위하여 다음과 같은 무차원수를 정의한다.

- 무차원 거리 : $\eta = x/L$
- 무차원 온도 : $\theta = (T_w - T_0)/(T_1 - T_0)$
- 무차원 경계층 두께 : $f = (PLk/Ak_w)^{1/3} Gr^{1/3} \delta/L$
- 무차원 특성속도 : $\phi = (PLk/Ak_w)^{2/3} Gr^{-1/3} u_o L/\nu$
- Grashof수 : $Gr = g\beta(T_1 - T_0)L^3/\nu^2$
- 흰계수 : $M = (PLk/Ak_w) Gr^{1/4}$
- 복사계수 : $B = k_{rad}/k = 16\sigma(T_1 - T_0)^3/3ak$
- 온도계수 : $C = T_0/(T_1 - T_0)$

식(12)의 무차원수들을 이용하여 구성방정식을 무차원화하면 다음의 무차원 구성방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{d(\phi^2 f)}{d\eta} = 105M^{4/3} \left(\frac{f\theta}{3} - \frac{\phi}{f} \right) \tag{13}$$

$$\frac{d(\phi\theta f)}{d\eta} = \frac{60M^{4/3}}{Pr} \{1+B(\theta+C)^3\} \frac{\theta}{f} \quad (14)$$

$$\frac{d\theta}{d\eta} = \frac{Pr}{30} \phi\theta f \quad (15)$$

무차원 경계조건들은 다음과 같다.

$$\eta=0 \text{에서 } \phi=f=0 \quad (16.1)$$

$$\eta=1 \text{에서 } \theta=1 \quad (16.2)$$

2.4 등온평판에서의 열전달

흰 전체가 흰뿌리 온도 T_1 으로 균일하게 유지되는 경우에는 $T_w = T_1$ 이므로 $\theta=1$ 로 일정하게 된다. 무차원 구성방정식(13)과 (14)의 해는 해석적으로 구해지며 식(17) 및 식(18)과 같다.

$$f = M^{1/3} \left[\frac{80\gamma}{7Pr} (21 + \frac{20\gamma}{Pr}) \eta \right]^{1/4} \quad (17)$$

$$\phi = M^{2/3} \left[\frac{560\gamma}{21Pr + 20\gamma} \eta \right]^{1/2} \quad (18)$$

여기에서 $\gamma = 1 + B(1+C)^3$ 이다. 등온평판에서 대류와 복사에 의한 열전달은 식(19)와 같이 얻어진다.

$$\frac{Q_{iso}}{Pk(T_1 - T_o)} Gr^{-1/4} = \frac{8}{3} \gamma \left[\frac{80\gamma}{7Pr} (21 + \frac{20\gamma}{Pr}) \right] \quad (19)$$

2.5 흰의 열전달계수, 복사열전달비 및 흰효율

대류 및 복사에 의한 열플럭스는 $y=0$ 에서 다음과 같이 표시된다.

$$q = q_{conv} + q_{rad} \quad (20)$$

$$\frac{q_{conv}L}{k(T_1 - T_o)} Gr^{-1/4} = \frac{2M^{1/3}\theta}{f} \quad (21)$$

$$\frac{q_{rad}L}{k(T_1 - T_o)} Gr^{-1/4} = B(Q+C)^3 \frac{2M^{1/3}\theta}{f} \quad (22)$$

국소 Nusselt수 Nu 를 Sparrow와 Acharya⁽²⁾, Sarma 등⁽³⁾의 연구결과들과 비교하기 위해서 그들과 동일하게 $Nu = hL/k$, $h = q/(T_w - T_o)$ 와 같이 정의하면 Nu 는 식(20), 식(21) 및 식(22)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$Nu = Nu_{conv} + Nu_{rad} \quad (23)$$

$$\frac{Nu_{conv}}{Gr^{1/4}} = \frac{2M^{1/3}}{f} \quad (24)$$

$$\frac{Nu_{rad}}{Gr^{1/4}} = B(\theta+C)^3 \frac{2M^{1/3}}{f} \quad (25)$$

대류 및 복사에 의한 열전달은 다음과 같이 표시

된다.

$$Q = Q_{conv} + Q_{rad} \\ = kP(T_1 - T_o) Gr^{1/4} \theta'(1)/M \quad (26)$$

$$Q_{conv} = \int_0^L q_{conv} P q x = kP(T_1 - T_o) \\ Gr^{1/4} 2M^{1/3} \int_0^1 \frac{\sigma}{f} d\eta \quad (27)$$

$$Q_{rad} = \int_0^L q_{rad} P q x = kP(T_1 - T_o) Gr^{1/4} 2M^{1/3} \int_0^1 B \\ (\theta+C)^3 \frac{\theta}{f} d\eta \quad (28)$$

흰의 평균 Nusselt수는 식(23)의 국소 Nusselt수의 평균으로 식(29)와 같다.

$$\frac{Nu_m}{Gr^{1/4}} = 2M^{1/3} \int_0^1 \{1+B(\theta+C)^3\} \frac{d\eta}{f} \quad (29)$$

흰의 총열전달에 대한 복사열전달의 비율 Z 로 놓으면 Z 는 식(30)이 된다.

$$Z = \frac{Q_{rad}}{Q} = \frac{2M^{4/3}}{\theta'(1)} \int_0^1 B(\theta+C)^3 \theta \frac{d\eta}{f} \quad (30)$$

흰효율은 흰표면에서의 열전달과 흰표면 전체가 흰뿌리 온도 T_o 로 유지되는 등온평판에서의 열전달의 비로 정의되며 식(19)과 식(28)로부터 구할 수 있다.

$$E = \frac{Q}{Q_{iso}} = \frac{3}{8\gamma M} \left[\frac{80\gamma}{7Pr} (21 + \frac{20\gamma}{Pr}) \right]^{1/4} \theta'(1) \quad (31)$$

3. 수치해석

구성방정식(13), (14) 및 (15)에 대한 경계조건식(6) 중에서 f 및 ϕ 에 관한 조건은 $\eta=0$ 에서 주어지나 θ 에 대한 조건은 $\eta=1$ 에서 주어진다. 방정식의 해는 $\eta=0$ 에서 $\theta=\theta_o$ 라 가정하고 Runge-Kutta 방법에 의해 방정식을 적분하여 $\eta=1$ 에서의 θ 값이 1에 수렴할 때까지 θ_o 의 값을 시행착오에 의해 반복제산하는 사격법을 사용한다.

구성방정식에서 미분값들은 $\eta=0$ 에서 특이성을 갖는다. 이를 극복하기 위해서 $\eta=0$ 근방에서 f 와 ϕ 의 점근거동을 조사해 보면 $f = \eta^{1/4}$ 에 비례하고 ϕ 는 $\eta^{1/2}$ 에 비례하므로 구성방정식에서 변수들을 다음과 같이 치환하여 표준 1차 미분방정식계를 구성한다.

$$x_1 = \theta \quad (32)$$

$$x_2 = \eta^{-1/4} \phi^2 f \quad (33)$$

$$x_3 = \eta^{1/4} \phi \theta f \quad (34)$$

$\eta=0$ 에서 $x_1 = \theta_0$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$ 이며 η 가 0인 미분값들은 극한값을 통해 구할 수 있다.

4. 결과 및 고찰

수직 흰 주위에서의 열전달에 영향을 미치는 주요 인자들은 매체의 Prandtl수 Pr, 흰계수 M, 복사계수 B, 그리고 온도계수 C 등이다. 본 연구에서는 $Pr=0.7$ 인 경우에 각 인자들이 흰의 온도분포, 국소열전달계수 및 열전달, 흰효율, 평균열전달계수, 총열전달 중 복사열전달비 등에 미치는 영향을 제시하였다.

Fig.2는 흰계수 M을 3, 온도계수 C를 1(즉 $T_1=2T_0$)로 고정시켰을 경우에 여러 가지 복사계수 B값들에 대한 흰의 무차원 온도분포의 변화를 보여준다. 흰의 온도는 흰뿌리에서 멀어짐에 따라 단조감소하며 복사계수 B가 증가할수록 낮아진다. B가 0이고 M이 3인 경우에, 즉 복사 효과를 무시한 경우에 흰의 온도분포는 Sparrow와 Acharya⁽²⁾의 경우나 Sarma 등⁽³⁾의 연구결과들과 그래프 상에서 완전하게 일치한다. 복사계수 B가 증가한다는 의미는 온도차 $T_1 - T_0$ 가 증가하거나 흡수계수 a 가 감소하는 것으로 볼 수 있으며, 흡수계수가 작아질수록 복사에 의한 열전달이 증가하여 흰의 온도가 낮아진다. 복사계수 B가 증가하는 경우는 흰계수 M이 증가하는 경우⁽²⁾와 온도계수 C가 증가하는 경우와 마찬가지로 모두 흰 표면에서의 열전달이 증가하여 흰의 온도분포가 낮아지므로 정성적으로 비슷하다고 할 수 있다.

Fig. 3에서는 온도계수 C와 복사계수 B가 1인 경우에 여러 가지 흰계수 M값들에 대한 무차원 국소열전달계수 $Nu/Gr^{1/4}$ 의 분포를 보여준다. 흰선단 부근에서 국소열전달계수는 경계층의 두께가 대단히 작음으로 해서 대단히 크며 흰 상부로 감에 따라 감소하여 극소값을 가진 다음 다시 증가하게 되며 전체적으로 복사를 무시한 경우에 비해서 크다. 국소열전달계수는 복사를 무시한 경우에도 흰계수가 작은 경우에는 단조감소를 하다가 흰계수가 커짐에 따라 극소값을 갖게 되는데 이는 흰표면에서의 열전달로 인한 흰온도의 저하로 등온표면과는 달리 흐름방향으로 온도가 상승하는 상황이 되어 부력이 증가하게 되고 따라서 유체를 등온표면에

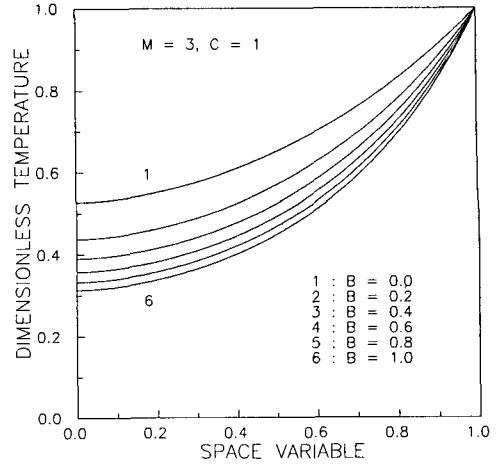


Fig. 2 Temperature distribution along the fin for different values of B's for $M=3$ and $C=1$

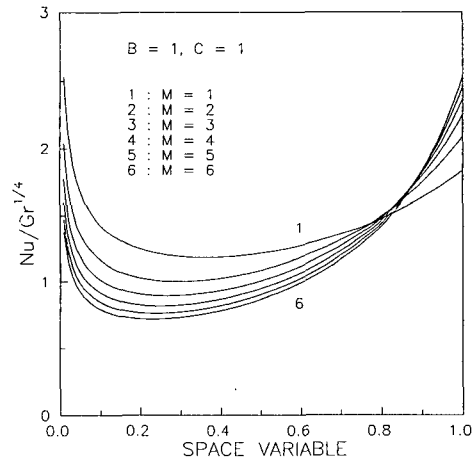


Fig. 3 Local heat transfer coefficient along the fin for different values of M's for $B=1$ and $C=1$

비해 가속하게 되므로 흰계수가 어느 한도 이상으로 크게 되면 이러한 가속으로 인하여 열전달계수가 증가하게 된다.⁽⁴⁾ 복사를 고려한 경우에는 표면에서 복사에 의한 열전달의 증가로 말미암아 이러한 역전 현상이 더욱 두드러지게 되고 복사를 무시한 경우에 국소열전달계수가 단조감소하는 흰계수 M에 대해서도 복사를 고려한 경우에는 역전현상이 일어날 수 있게 된다.

Fig. 4에서는 흰계수 M이 3, 온도계수 C가 1인 경우에 여러 가지 복사계수 B값들에 대한 무차원 국소열전달계수의 분포를 보여준다. 복사계수 B가 증가함에 따라 국소열 전달계수는 항상 증가하며 전술한 이유와 마찬가지로 국소열전달계수의 역전

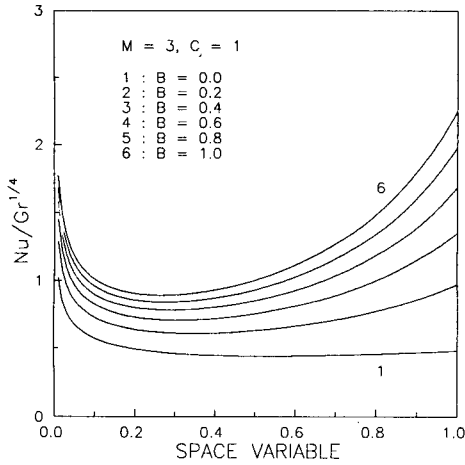


Fig. 4 Local heat transfer coefficient along the fin for different values of B's for $M=3$ and $C=1$

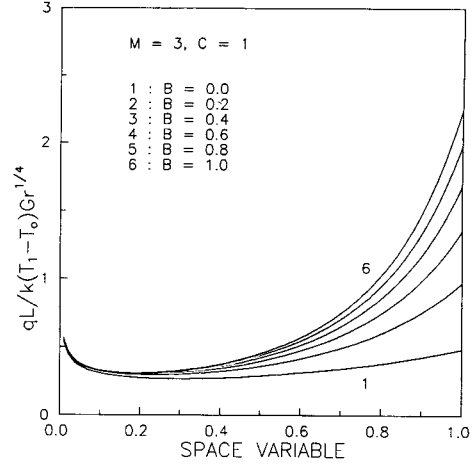


Fig. 6 Local heat flux along the fin for different values of B's for $M=3$ and $C=1$

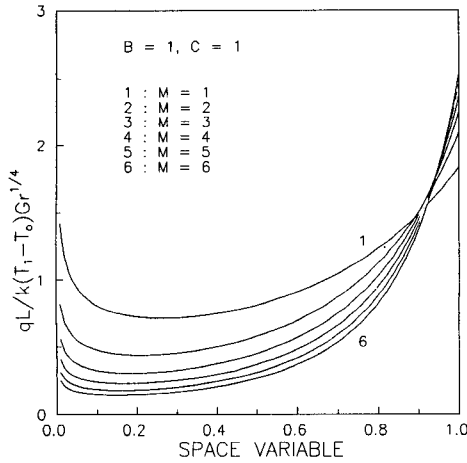


Fig. 5 Local heat flux along the fin for different values of M's for $B=1$ and $C=1$

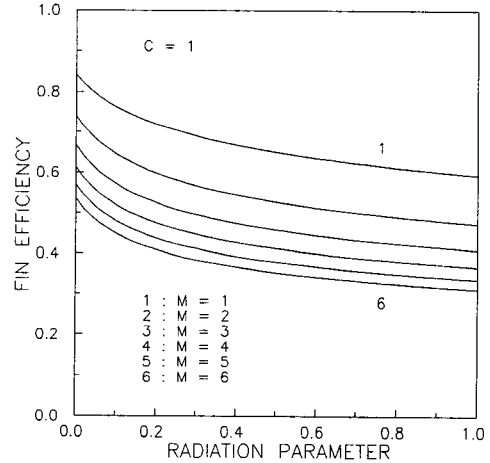


Fig. 7 Variation of fin efficiency as a function of B for $1 \leq M \leq 6$ and $C=1$

현상이 일어날 수 있다.

Fig. 5에서는 Fig. 3에서의 마찬가지로 $B=1$, $C=1$ 인 경우에 여러 회계수 값들에 대한 무차원 국소열전달 $q_{fin}L/k(T_1-T_0)Gr^{1/4}$ 의 분포를 보여 준다. 국소열전달 역시 국소 열전달계수와 마찬가지로 흰 선단에서 큰 값을 가지며 흰 상부로 감에 따라 감소하다가 극소값을 가지며 다시 증가한다. Fig.5와 Fig. 3을 비교하여 보면 국소열전달 분포는 국소열전달계수와 온도차의 곱으로 표시되며 흰 선단에 가까울수록 온도차가 작아지므로 국소열전달 계수에 비해 흰 선단 부근에서 현저하게 감소하며 흰뿌리에 가까워지면 두 분포가 거의 일치하게 된다.

Fig. 6에서는 Fig. 4에서의 마찬가지로 $M=3$, $C=1$ 인 경우에 여러 복사계수들에 대한 무차원 국소열전달의 분포를 보여준다. Fig. 6과 Fig. 4를 비교하여 보면 국소열전달 역시 B 가 증가함에 따라 항상 증가하며 극소값을 갖는다. 하지만 흰 선단 부근에서 국소열전달은 복사계수에 관계없이 거의 일정한 값을 갖게 된다.

Fig. 7과 Fig. 8에서는 흰효율 E 를 흰열전달과 흰 표면 전체가 흰뿌리 온도 T_0 로 유지되고 있다고 가정할 때의 열전달의 비로 정의할 때 각 계수들에 의한 변화를 보여준다. Fig. 7은 온도계수 C 가 1로 고정되었을 때 여러 가지 회계수 M 값들에 대해서 흰효율 E 의 복사계수 B 에 대한 변화가 보

여진다. 회효율 E 는 복사계수 B 가 증가할수록 단조증가하며 B 가 작은 경우에는 감소율이 크고 B 가 커질수록 감소율은 작아지게 된다. 또한 회효율은 회계수 M 이 증가할수록 작아지며 그 감소율은 M 이 증가할수록 작아진다.

Fig. 8에서는 회계수 M 이 3으로 일정할 때 여러 가지 온도계수 C 값들에 대해서 회효율 E 의 온도계수 C 에 대한 변화가 보여진다. 회효율은 복사계수에 대해서뿐만 아니라 온도계수에 대해서도 단조감소하는데 이는 같은 온도차이라 하더라도 그 온도영역이 고온으로 갈수록 회효율이 감소한다는 것을 의미한다.

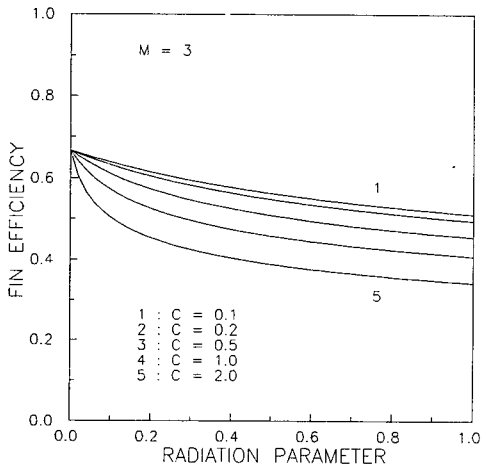


Fig. 8 Variation of fin efficiency as a function of B for $0.1 \leq C \leq 2$ and $M=3$

Fig. 9에서는 온도계수 C 가 1인 경우 여러 가지 회계수 M 값들에 대해서 복사계수 M 에 대한 무차원 평균열전달계수 Nu_m 의 변화가 보여진다. 그림에서 보는바와 같이 복사를 무시한 경우, 즉 $B=0$ 인 경우에는 회계수 M 이 변화여도 $Nu_m/Gr^{1/4}$ 는 거의 일정하나 복사계수 B 가 증가할수록 또는 회계수 M 이 감소할수록 증가한다.

Fig. 10에서는 회계수 $M=3$ 인 경우 여러 가지 온도계수 C 값들에 대해서 복사계수 B 에 대한 무차원 평균열전달계수 Nu_m 의 변화가 보여진다. 평균열전달계수는 복사계수 B 뿐만 아니라 온도계수 C 가 증가할수록 증가하며 그 변화 정도는 C 가 커

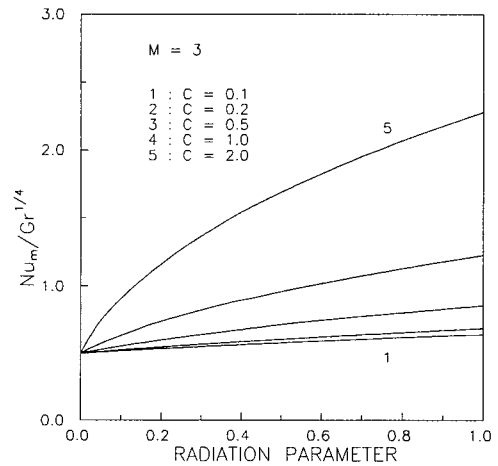


Fig. 10 Variation of average heat transfer coefficient as a function of B for $0.1 \leq C \leq 2$ and $M=3$

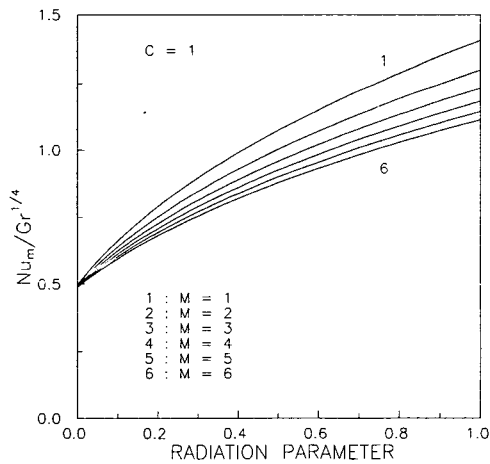


Fig. 9 Variation of average heat transfer coefficient as a function of B for $1 \leq M \leq 6$ and $C=1$

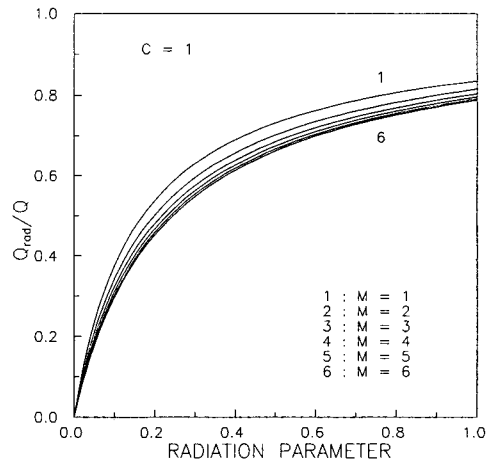


Fig. 11 Effect of B on the ratio of radiative heat transfer to total heat transfer for $1 \leq M \leq 6$ and $C=1$

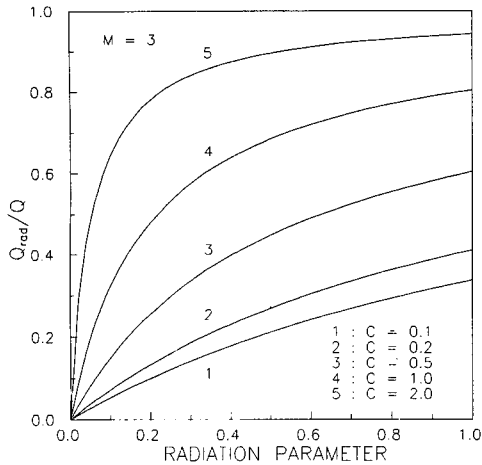


Fig. 12 Effect of B on the ratio of radiative heat transfer to total heat transfer for $0.1 \leq C \leq 2$ and $M=3$

질수록 현저해진다. 이는 온도차가 일정하게 유지되고 있다 하더라도 복사에 의한 열전달과 전도나 대류에 의한 열전달의 비가 절대온도의 3승에 비례하기 때문에 온도영역이 고온으로 갈수록, 즉 온도계수 C 가 커질수록 평균열전달계수의 상승폭이 커지게 되기 때문이다.

Fig. 11에서는 핀의 총열전달에 대한 복사열전달의 비를 복사비 Z 로 정의할 때 온도계수 C 가 1인 경우 여러 가지 복사계수 B 값들에 대한 변화를 보여준다. 복사비 Z 는 복사계수 B 가 작은 경우 복사계수에 따라 급격히 증가하다가 복사계수가 커짐에 따라 즉 온도차가 증가하거나 매질의 흡수계수가 작아짐에 따라 1에 점근적으로 접근하게 된다. 이는 복사계수가 증가함에 따라 복사에 의한 열전달의 비중이 증가하고 복사계수가 큰 경우에는 열전달이 거의 복사에 의존하고 따라서 복사효과를 반드시 고려해야 한다는 것을 의미한다. 그러나 복사계수가 큰 경우의 결과는 광학적으로 두껍다는 가정과 멀어짐으로써 정량적으로 오차가 커진다고 하겠다. 같은 복사계수에 대해서 핀 계수가 증가할수록 복사비는 감소하게 되는데 이는 핀계수가 커질수록 대류에 의한 열전달이 증가하기 때문이라고 생각된다.

Fig. 12에서는 핀계수가 3인 경우에 여러 온도계수 C 값들에 대해서 복사비 Z 의 복사계수 B 에 대한 변화를 보여준다. 열전달에 대한 온도계수의 영향은 전술한 바와 같이 같은 온도차라 하더라도 온

도영역이 고온으로 갈수록, 즉 온도계수 C 가 커질수록 복사 열전달량이 C 의 3승에 비례해서 커지기 때문에 복사비는 급격히 1에 가까워지게 되고 이는 고온영역으로 갈수록 복사가 절대적으로 중요해지는 것을 보여주는 것이며 온도가 그리 높지 않은 영역에서도 복사비는 무시하지 못할 비중을 차지하는 경우가 많다는 것을 보여주고 있다.

5. 결 론

수직 핀 주위의 복합자연대류 문제에 대하여 복사를 고려하고 적분법을 이용하여 수치적으로 해석하여 핀계수 M , 복사계수 B , 온도계수 C 등의 인자들이 핀의 온도분포, 국소열전달계수, 평균열전달계수, 핀효율, 총열전달 중 복사에 의한 열전달의 비율 등에 미치는 영향들을 조사하였다.

복사계수나 온도계수가 증가함에 따라 복사에 의한 열전달의 비중이 현저히 증가하여 복사열전달은 넓은 인자들의 범위에서 열전달에 상당한 영향을 미친다는 사실을 관찰하였다.

참고문헌

- (1) Gebhart, B. et al., 1988, "Buoyancy-Induced Flows and Transport," Hemisphere
- (2) Sparrow, E.M. and Acharya, S., 1981, "A Natural Convection Fin with a Solution-Determined Nonmonotonically Varying Heat Transfer Coefficient," ASME, J. Heat Transfer, Vol. 103, pp.218~225.
- (3) Sarma, P.K. et al., 1988, "Natural Convection From a Vertical Heat-Generating Fin-a Conjugate Problem," ASME, J. Heat Transfer, Vol. 110, pp.99~102
- (4) Cheng, E.H. and Özisik, M.N., 1972, "Radiation with Free Convection in an Absorbing, Emitting and Scattering Medium," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 15, pp.1243~1252.
- (5) Siegel, R. and Howell, J.R., 1981, "Thermal Radiation Heat Transfer," 2nd Ed., Hemisphere
- (6) 최상경, 민묘식, 손병진, 1989, "평판 핀에서의 강제대류 열전달에 미치는 복사효과," 대한기계학회 '89년도 추계 학술대회 초록집, pp.386~390.

- (7) 이금배, 1990, "원형핀에서 열전달 특성분석," 대한기계학회논문집 제14권, pp. 1621~1628.
- (8) 임승욱, 이준식, 이택식, 1990, "원관내 유동에서의 복사 및 강제대류 열전달에 관한 연구," 대한기계학회논문집 제14권, 제 6 호 pp. 1652~1660.
- (9) Morales, J.C. and Campo A., 1991, "Heat Transfer Enhancement in Internally Finned Tubes Accounting for Combined Convection and Participating Radiation," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.34, pp. 1861~1869.
- (10) Luis C. Burmeister, 1983, "Convective Heat Transfer," John Wiley & Sons